



**SIGLINGASTOFNUN ÍSLANDS**

---

# **GRINDAVÍKURHÖFN**

## **INNSIGLING**

Rannsóknir og tillögur til úrbóta

---

Skýrsla Siglingastofnunar Íslands. Nr. 1 - Maí 1997

Höfundar: Gísli Viggósson, Ingunn Jónsdóttir,

Sigurður Sigurðarson og Baldur Bjartmarsson

## EFNISYFIRLIT

|                                                                                      |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INNGANGUR</b>                                                                  | <b>5</b>  |
| 1.1 FORMÁLI                                                                          | 5         |
| 1.2 YFIRLIT                                                                          | 6         |
| <b>2. ÚRBÆTUR Á NÚVERANDI INNSIGLINGU</b>                                            | <b>13</b> |
| 2.1 GRUNNMÆLINGAR                                                                    | 13        |
| 2.1.1 INNGANGUR                                                                      | 13        |
| 2.1.2 MYNDUN JÁRNGERÐISSTAÐARVÍKUR                                                   | 13        |
| 2.1.3 DÝPTARMÆLINGAR                                                                 | 13        |
| 2.1.4 SJÁVARFALLAMÆLINGAR OG SJÁVARFLÓÐ                                              | 14        |
| 2.1.5 BOTNRANNSÓKNIR INNAN HAFNAR OG Í INNSIGLINGUNNI                                | 15        |
| 2.2 NÚVERANDI AÐSTÆÐUR Í INNSIGLINGUNNI                                              | 16        |
| 2.2.1 LÝSING Á INNSIGLINGUNNI                                                        | 16        |
| 2.2.2 SIGLING FISKISKIPA UM INNSIGLINGUNA                                            | 16        |
| 2.2.3 AÐSTÆÐUR Í HÖFNINNI OG RÉTT UTAN HAFNARMYNNIS                                  | 19        |
| 2.2.4 UPPLÝSINGAKERFI UM VEÐUR OG SJÓLAG                                             | 19        |
| 2.2.5 STAÐALKRÖFUR OG FLOKKUN GRINDAVÍKURHAFNAR                                      | 19        |
| 2.2.6 ÖRYGGI FISKISKIPA Í ÖLDU                                                       | 20        |
| 2.2.7 UM STÖÐUGLEIKA SKIPA STYTTRI EN 20 METRAR                                      | 28        |
| 2.3 ÚRBÆTUR Á NÚVERANDI INNSIGLINGU                                                  | 28        |
| 2.3.1 NIÐURSTÖÐUR LÍKANTILRAUNA 1974                                                 | 28        |
| 2.3.2 HÖNNUNARLEIÐBEININGAR FYRIR INNSIGLINGARENNUR                                  | 35        |
| 2.3.3 DÝPI Í INNSIGLINGARRENNU                                                       | 37        |
| 2.3.4 HÖNNUN INNSIGLINGARRENNU TIL GRINDAVÍKURHAFNAR                                 | 38        |
| 2.3.5 NAUÐSYNLEGT DÝPI Í INNSIGLINGARRENNU                                           | 38        |
| 2.3.6 HÖNNUNARFORSENDUR FYRIR INNSIGLINGARRENNU                                      | 39        |
| 2.3.7 VIÐMIÐUNARSKIP OG VIÐMIÐUNARALDA VIÐ ÖLDUDUFL                                  | 39        |
| 2.3.8 REYNISLUMÖRK ÖLDUHÆÐA VIÐ DUFL                                                 | 40        |
| 2.3.9 TILLÖGUR AÐ ÚRBÓTUM Í INNSIGLINGUNNI                                           | 40        |
| 2.3.10 INNRI INNSIGLINGARENNA - TILLAGA AÐ ÚRBÓTUM Í ÓSMERKJUM                       | 40        |
| 2.3.11 YTRI INNSIGLINGARENNA - TILLAGA AÐ ÚRBÓTUM Í DJÚPSUNDINU                      | 41        |
| 2.3.12 YTRI INNSIGLINGARENNA - TILLAGA AÐ BEINNI INNSIGLINGARENNU                    | 41        |
| <b>3. ÖLDUHÆÐAÚTREIKNINGAR</b>                                                       | <b>43</b> |
| 3.1 YFIRLIT OG FORSENDUR ÖLDUHÆÐAÚTREIKNINGA                                         | 43        |
| 3.2 ÖLDUMYNDUN OG ÖLDUSVEIGJA                                                        | 43        |
| 3.2.1 ÚTHAFSÖLDUMÆLINGAR                                                             | 43        |
| 3.2.2 ÖLDUSPÁ NORSKU VEÐURSTOFUNNAR                                                  | 44        |
| 3.2.3 ÖLDUMÆLINGAR VIÐ GRINDAVÍK                                                     | 45        |
| 3.2.4 ÖLDUMYNDUN                                                                     | 47        |
| 3.2.5 ÖLDUSVEIGJA                                                                    | 47        |
| 3.2.6 ÖLDUSVEIGJA, YFIRLIT YFIR KEYRSLUR                                             | 49        |
| 3.2.7 NIÐURSTÖÐUR ÚTREIKNINGA                                                        | 50        |
| 3.2.8 KVÖRÐUN ÖLDUSVEIGJUREIKNINGA MIÐAÐ VIÐ LÍKINDADREIFINGU SUÐLÆGRA ÁTTA EINGÖNGU | 52        |
| 3.2.9 SAMANBURÐUR ÖLDUSVEIGJUREIKNINGA OG ÖLDUMÆLINGA                                | 54        |
| 3.2.10 LANGTÍMA ÖLDUSPÁ FYRIR PUNKT Á 20 M DÝPI UTAN GRINDAVÍKUR                     | 54        |
| 3.2.11 YFIRFÆRSLA ÖLDU Á 20 M DÝPI YFIR Á DUFL OG ÚTHAF                              | 55        |
| 3.3 VIÐAUKI VIÐ KAFLA 3                                                              | 56        |

|                                                                    |            |
|--------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>4. LÍKANTILRAUNIR</b>                                           | <b>67</b>  |
| <b>4.1 INNGANGUR</b>                                               | <b>67</b>  |
| 4.1.1 KVÖRÐUN ÖLDUHÆÐA Í LÍKANI                                    | 67         |
| 4.1.2 VAL Á ÖLDUGERÐUM                                             | 68         |
| 4.1.3 KVÖRÐUN FJÖLDA GRUNNBROTA Í INNSIGLINGUNNI                   | 75         |
| 4.1.4 FJARSTÝRÐ LÍKANSKIP                                          | 76         |
| <b>4.2 NIÐURSTÖÐUR LÍKANTILRAUNA</b>                               | <b>79</b>  |
| 4.2.1 FORMÁLI                                                      | 79         |
| 4.2.2 NÚVERANDI INNSIGLING                                         | 80         |
| 4.2.3 ÚRBÆTUR Á NÚVERANDI INNSIGLINGU                              | 80         |
| 4.2.4 TILLAGA AÐ BEINNI INNSIGLINGARENNU                           | 85         |
| 4.2.5 BEIN LEIÐ ÁN GARÐA                                           | 85         |
| 4.2.6 BEIN LEIÐ MEÐ BRIMVARNARGÖRÐUM AUSTAN OG VESTAN INNSIGLINGAR | 86         |
| 4.2.7 ATHUGANIR Á BEINNI INNSIGLINGU MEÐ SKIPSLÍKANI               | 86         |
| 4.2.8 SIGLING LÍKANSKIPS Í ÖLDUSTEFNU 180°, BEIN INNSIGLING        | 93         |
| 4.2.9 SIGLING LÍKANSKIPS Í ÖLDUSTEFNU 225°, BEIN LEIÐ              | 93         |
| 4.2.10 HELSTU NIÐURSTÖÐUR                                          | 95         |
| <b>4.3 FRÁTAFIR</b>                                                | <b>102</b> |
| <b>4.4 VIÐAUKI VIÐ KAFLA 4</b>                                     | <b>106</b> |
| <b>5. HÖNNUNARSJÁVARSTAÐA OG SJÁVARFLÓÐ</b>                        | <b>129</b> |
| <b>5.1 INNGANGUR</b>                                               | <b>129</b> |
| <b>5.2 SJÁVARFÖLL</b>                                              | <b>130</b> |
| <b>5.3 TÍÐNI HÆSTU FLÓÐA Í REYKJAVÍK YFIRFÆRÐ TIL GRINDAVÍKUR</b>  | <b>130</b> |
| <b>5.4 SJÁVARFLÓÐ Í GRINDAVÍK</b>                                  | <b>131</b> |
| <b>5.5 ÞÆTTIR SEM Hafa ÁHRIF Á YFIRBORÐSHÆÐ SJÁVAR</b>             | <b>132</b> |
| 5.5.1 LOFTÞRÝSTINGUR                                               | 132        |
| 5.5.2 VINDÁHLAÐANDI                                                | 132        |
| 5.5.3 GRUNNBROT                                                    | 134        |
| 5.5.4 SOG VEGNA GRUNNBROTA, "SURF BEAT"                            | 135        |
| <b>5.6 REIKNILÍKAN FYRIR ÁHRIF LOFTÞRÝSTINGS OG VINDS</b>          | <b>136</b> |
| <b>5.7 SJÁVARHÆÐARBREYTINGAR Í VATNSLÍKANI</b>                     | <b>136</b> |
| 5.7.1 NÚVERANDI INNSIGLING, SUNNANÁTT                              | 137        |
| 5.7.2 BEIN INNSIGLING, SUNNANÁTT                                   | 139        |
| 5.7.3 NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA Á ÖLDU OG SOGUM VIÐ MIÐBAKKA             | 140        |
| <b>5.8 HÖNNUNARSJÁVARSTAÐA</b>                                     | <b>142</b> |
| 5.8.1 HÖNNUNARSJÁVARSTAÐA Á 20 M DÝPI UTAN GRINDAVÍKUR             | 142        |
| 5.8.2 HÖNNUNARSJÁVARSTAÐA Í GRINDAVÍKURHÖFN                        | 143        |
| <b>5.9 SJÁVARFLÓÐ Í GRINDAVÍKURHÖFN</b>                            | <b>143</b> |
| <b>6. HÖNNUN, FRAMKVÆMDIR OG KOSTNAÐUR</b>                         | <b>145</b> |
| <b>6.1 FRUMHÖNNUN BRIMVARNARGARÐA</b>                              | <b>145</b> |
| 6.1.1 NÚVERANDI INNSIGLING                                         | 145        |
| 6.1.2 BRIMVARNARGARÐUR ÚT Á SUNDBOÐA                               | 146        |
| 6.1.3 GARÐUR G2                                                    | 148        |
| 6.1.4 GARÐUR G3                                                    | 148        |
| 6.1.5 NEÐANSJÁVARGARÐUR MEÐ LEIÐIGARÐI                             | 149        |
| <b>6.2 BEIN INNSIGLING</b>                                         | <b>149</b> |
| 6.2.1 HÖNNUNARALDA                                                 | 149        |
| 6.2.2 HÖNNUNARSTÆRÐIR B1, B2 OG HÆÐ Á GARÐI.                       | 152        |

|                                                                            |            |
|----------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>6.3 FORSENDUR OG UNDIRBÚNINGUR FRAMKVÆMDA VIÐ ÚRBÆTUR Á DJÚPSUNDINU</b> | <b>153</b> |
| 6.3.1 SKIPTING VERKÞÁTTA                                                   | 153        |
| <b>7. TILLÖGUR OG KOSTNAÐARMAT</b>                                         | <b>157</b> |
| <b>7.1 TILLÖGUR AÐ ÚRBÓTUM Á NÚVERANDI INNSIGLINGU</b>                     | <b>157</b> |
| 7.1.1 BRIMVARNARGARÐAR                                                     | 157        |
| 7.1.2 MERKINGAR                                                            | 157        |
| 7.1.3 DÝPKANIR                                                             | 158        |
| <b>7.2 TILLÖGUR AÐ BEINNI INNSIGLINGU</b>                                  | <b>158</b> |
| 7.2.1 BRIMVARNARGARÐAR                                                     | 158        |
| 7.2.2 MERKINGAR                                                            | 158        |
| 7.2.3 DÝPKANIR                                                             | 159        |
| 7.2.4 UMHVERFISMAT                                                         | 159        |
| 7.2.5 GRJÓTNÁM                                                             | 159        |
| 7.2.6 BOTNRANNSÓKNIR                                                       | 159        |
| <b>8. HEIMILDIR</b>                                                        | <b>161</b> |



# 1. INNGANGUR

## 1.1 FORMÁLI

Grindavíkurhöfn hefur byggst upp í Hópinu sem kallað var, en það var grunnt lón innst í botni Járngerðarstaðarvíkur. Að utanverðu afmarkaðist Hópið af grjót- og malargranda.

Á árinu 1939 var hafist handa við að grafa skipgengan skurð í gegnum grandann. Árið 1945 var rennan dýpkuð niður á tæpa tvo metra og var breidd hennar um 25 m. Framan við rennuna reyndist vera klöpp sem var um metra undir fjöruborði. Ennfremur var unnið að dýpkun í rennunni af og til frá 1947 til 1961 en þá var farið í miklar sprengingar í rennunni. Minnsta dýpi í rennunni var þá orðið 4 m og breidd 40 m nema á einum stað 27 m. Ekki var þá talin þörf á meiri dýpkun.

Í tengslum við Vestmannaeyjagosið árið 1973 komu fram hugmyndir um að bæta hafnaraðstöðuna í Grindavíkurhöfn. Byggður var fyrsti áfangi Eyjagarðs og höfnin dýpkuð og innri hluti Ósrennunnar var sprengdur og dýpkaður með minnsta dýpi 4,3 m. Í framhaldi af því voru lögð drög að úrbótum á ytri hluta innsiglingarinnar. Dýptarmælingar og botnrannsóknir fóru fram í innsiglingunni. Jafnframt var gert líkan af höfninni og innsiglingunni í Kaupmannahöfn á árunum 1973 og 1974. Við líkantilraunir 1974 var aðaláherslan lögð á að bæta aðstæður í Djúpsundinu með því að draga úr grunnbrotum við Sundboðann. Tvær hugmyndir voru ræddar á þessum tíma en ekki prófaðar í líkaninu, en það var að dýpka rennu í Djúpsundinu og/ eða dýpka beina rennu í gegnum Sundboðann. Þessar hugmyndir voru utan við þann kostnaðarramma sem unnið var eftir. Á grundvelli líkantilraunanna var lagt til að byggja neðansjávangarð vestan Djúpsundsins. Samningar við verktaka lágu fyrir þegar hætt var við verkið. Á árinu 1980 hreinsaði grófuprammi upp laust efni úr rennunni, eftirstöðvar frá síðustu dýpkun.

Umræður um dýpkun innsiglingar lágu niðri um alllangt skeið. Innsiglingin var þá orðið þolanleg bátum með djúpristu allt að 4 m.

Fiskiskip hafa farið stækkandi í Grindavík eins og í öðrum höfnum en erfiðar aðstæður í höfninni og í innsiglingunni takmarka útgerð þessara skipa. Bátautgerð er mikil og á vetrarvertíð er miklum afla landað. Loðnuverksmiðjan í Grindavík tekur á móti töluverðu magni af loðnu. Miðað við umsvif flokkast Grindavík sem stór fiskihöfn samkvæmt staðalkröfum Siglingastofnunar.

Umræður um úrbætur á innsiglingunni hafa vaxið á undanförunum árum og voru rannsóknir og líkantilraunir settar inn á tillögu til þingsályktunar um hafnaáætlun 1993 - 1996. Þar var gert ráð fyrir að hefja öldumælingar á áætlunartímabilinu og líkantilraunir á árinu 1995. Gert var ráð fyrir 1. áfanga við dýpkun innsiglingarinnar á árunum 1995 - 96.

Á árinu 1996 var unnið að 1. áfanga að stækkun fyrir stór skip þegar 30 m breið renna með 7 m dýpi var sprengd og grafin frá Eyjagarði að Svíragarði og klapparhöft og hólar voru fjarlægðir með sprengingum úr Ósrennunni.

Undirbúningur að líkantilauninni hófst haustið 1994 þegar upplýsingakerfi var sett upp í Grindavíkurhöfn. Þá var öldudufl lagt út suður af innsiglingunni og veðurstöð ásamt sjávarfallamæli komið fyrir á Miðbakka og þessar upplýsingar gerðar aðgengilegar á hafnarskrifstofu. Innsiglingin og höfnin voru dýptarmæld haustið 1993 og veturinn 1996. Einnig hafa frekari botnrannsóknir farið fram.

Haustið 1995 var gert líkan af innsiglingunni og höfninni og var markmið líkantilauna að finna leiðir til úrbóta. Unnið var við líkantilaunir allt fram á haust 1996.

Í þessari skýrslu er gerð grein fyrir núverandi aðstæðum og fyrri tillögum til úrbóta. Í skýrslunni er yfirlit yfir markmið og forsendur líkantilauna, helstu niðurstöður og tillögur að framkvæmdum.

## 1.2 YFIRLIT

Grindavíkurhöfn er ein af 10 stærstu fiskihöfnum landsins. Innsiglingin er opin móti suðvestan og sunnan öldu og innsiglingarrennan er þröng og þarf að sigla eftir þremur leiðarlínum. Siglingaleið að höfninni er því mjög erfið og verður fljótt ófær skipum í brimi. Fiskiskip hafa farið stækkandi í Grindavík en innsiglingin svarar aðeins kröfum sem gerðar eru til bátahafna. Hún er illa fær stórum fiskiskipum vegna lítils dýpis, mikilla stefnubreytinga og þrengsla í öldu fyrir opnu hafi.

### Forsendur:

Æskilegt er að stórar fiskihafnir uppfylli vissar kröfur sem fram koma í hafnalýsingu Siglingastofnunnar, þ.e. bæði tæknikröfur og notendakröfur. Tæknikröfur lúta að skipulagi hafna og hafnasvæða og taka til eftirfarandi þátta: Innsiglingar, sæflatar hafnar, snúningsþvermáls, dýpis í innsiglingu og innan hafna, kyrrð við kanta og landrýmis við bryggjur. Fjögur fyrst töldu atriðin eru fyrst og fremst háð stærð hönnunarskips. Hönnunarskip eru lengstu skip og með mestu djúpristu sem væntanlega munu sigla reglulega um viðkomandi höfn.

Í líkantilaununum voru sett fram eftirfarandi markmið eða forsendur:

- Að fiskiskip 20 - 40 m löng geti siglt um innsiglinguna á öllum föllum og í allt að 6 m kenniöldu við dufl. Innsiglingin verði opin þessum skipum allt að 98 % af tímanum.
- Að loðnuskip/ fiskiskip allt að 60 m löng, 12 m breið og með djúpristu allt að 7,0 m geti komist inn á smástraumsfjöru og í 5 vindstigum.
- Að flutningaskip allt að 90 m löng, 12m breið og með djúpristu allt að 6,0 m geti farið um innsiglinguna á smástraumsfjöru.

Forsendur fyrir kyrrð innan hafnar voru einnig samkvæmt staðalkröfum og mæltu fyrir að kennialda við Miðbakka á móts við ósinn skyldi vera lægri en  $H_s = 0,25$  m í brimi sem kemur að jafnaði einu sinni á ári.

Forsendur fyrir hönnunarbreydd innsiglingarennunnar voru ákveðnar samkvæmt nýútkomnum leiðbeiningum frá PIANC þar sem teknir eru inn allir helstu umhverfisþættir svo sem straumur, vindur, ölduhæð, gerð botns og dýpi en einnig hraði og stjórn hæfni skips, merkingar rennu o.fl.

Forsendur fyrir nauðsynlegu dýpi eru fengnar úr staðalkröfum Siglingastofnunar þar sem segir að dýpi við bryggjur miðist við stórstraumsfjöru en innan hafnar og í innsiglingu við smástraumsfjöru. Lágmarksviðbót við djúpristu hönnunarskips þarf að vera 0,6 m innan hafnar en 1,0 m í innsiglingarennu við bestu skilyrði, en þó ekki minni en samanlögð djúprista og hæð kenniöldu þar til dýpið er orðið 1,5 x djúpristan. Áður en líkantilraunir hófust, lágu fyrir ölduhæðáútreikningar. Forsendur þeirra byggja á upplýsingum um hæð úthafsaldna frá ölduduflum við Garðskaga, Surtsey og utan Grindavíkur ásamt ölduspá norsku veðurstofunnar fyrir stað á Selvogsbanka.

Líkindafræðileg úrvinnsla öldumælinga út af Garðskaga var notuð til að gera langtíma spá fyrir ölduhæð fyrir suðvesturlandi. Þar kemur m.a. fram að 95% af tímanum er aldan lægri en 5,8m, 98% tímans er aldan undir 7,2 m og að búast megi við 12 m öldu að jafnaði einu sinni á ári.

Ölduspá norsku veðurstofunnar var notuð til að fá upplýsingar um öldustefnu á úthafinu, þar sem ölduduflin mæla ekki stefnu. Þar kemur fram að sunnan og suðvestanáttir eru bæði tíðastar og hæstar. Samanlögð tíðni þeirra er um 60%. Mjög góð samsvörun fæst milli langtímaölduspár á hafi og öldusveigjureikninga inn að strönd annars vegar og langtímaölduspár fyrir Grindavíkurduflið hins vegar. Til dæmis er 98% aldan á duflinu 6,8 m en vegið meðaltal öldusveigju óháð stefnu 6,9 m fyrir sömu tíðni. Alda með endurkomutíma 1 ár er 11,1 m á dufli, en það er sama ölduhæð og samkvæmt öldusveigjureikningum, óháð stefnu.

#### Framkvæmd:

Fyrri hluti tilraunanna beindist að því að bæta núverandi innsiglingu með dýpkun og gördum bæði ofan- og neðansjávar en seinni hlutinn fólst í athugunum á beinni innsiglingarleið með dýpkun frá höfn og út í gegnum Sundboðann og prófun ytri garða.

Til að skapa náttúrulegar aðstæður í líkaninu þurfa grunnbrot og straumar í innsiglingunni að svara til þess sem gerist í náttúrunni. Nauðsynlegt reyndist að hafa líkanið í tiltölulega stórum mælikvarða eða 1: 60, til að skapa sem réttastar aðstæður varðandi grunnbrot, strauma og siglingar skipa.

Tvær ölduáttir valda erfiðustu aðstæðum í innsiglingunni. Þær eru suðvestan- og sunnanátt. Innsiglingin er í talsverðu skjóli fyrir öldu úr öðrum ölduáttum eins og öldusveigjureikningar sýna. Sjávarhæðir í líkaninu er valdar með tilliti til siglingar skipa og er miðað við smástraumfjöru, stórstraumflód og hönnunarsjávarstöðu.

Leitast var við að kvarða ölduhæðir í líkaninu þar sem aldan er minnst trufluð af grunnbrotum og straumum. Minnst röskun á öldu og straumum er talin vera milli 10 og 20 m dýpis þar sem innsiglingarlínur úr Djúpsundinu og úr Ósmerkjunum skerast. Reiknuð var öldusveigja fyrir 3,5 m og 6,0 m háa kenniöldu úr suðvestri og suðri á

smástraumfjöru og stórstraumflóði frá dufli í valda staði inn á vikinni. Þannig fékkst kvörðun milli kenniöldu á hafi, á dufli og í innsiglingu.

Einnig fékkst samband milli fjölda grunnbrota í innsiglingunni og kenniöldu við dufl eftir ölduáttum. Í líkantilraununum var fjöldi grunnbrota einn mælikvarðinn á það hvort innsiglingin væri opin eða lokuð fiskiskipum allt að 40 m löngum.

Ákveðið var að styðjast við eftirfarandi viðmiðanir varðandi öryggi fiskiskipa:

- Talning grunnbrota var gerð á tímabili sem svarar til 33 mínútna í náttúrunni.
- Innsiglingin telst opin ef 4 einstakar öldur eða færri brotna þ.e. 2 % af öldunum. Hún telst hinsvegar lokuð þegar 2 til 3 öldur brotna í röð eða 10 til 12 einstakar öldur brotna, sem er 6 % af öldunum.

Fjarstýrð líkón af 50 m löngum togara og 95 m löngu flutningaskipi voru kvörðuð þannig að viðbrögð yrðu sem eðlilegust. Með því að sigla líkanskipunum við mismunandi aðstæður fékkst samband milli siglingar skipanna og kenniöldu við dufl.

Í seinni hluta tilraunanna var sigling skipanna, ásamt talningu grunnbrota, mælikvarði á hvort innsigling væri fær eða ekki.

Notaður var 50 m togari hálflestaður, sama skip fulllestað með djúpristu 6,5 m sem loðnuskip og 95 m flutningaskip hálflestað. Leitast var við að meta straumköst í innsiglingarennunni, en þau eru háð ölduhæð, ölduátt og sjávarstöðu. Innan hafnar voru kennialdan og sogin mæld og hækkun sjávarstöðu vegna grunnbrota. Jafnframt voru öldur mældar framan við brimvarnargarða á hönnunarsjávarstöðu.

#### Niðurstöður:

Athuganir á úrbótum á núverandi innsiglingu fólust í mismunandi útfærslum á grjótgörðum ásamt dýpkunum. Besta lausnin fannst með brimvarnargarði út á Sundboðann, straum og öldugarði austan Ósrennu og neðansjávargarði, með leiðigarði úr stórgrýti ofan á, vestan við Djúpsundið ásamt dýpkun sundsins í -9,0 m dýpi og í -7,0 m innar í rennunni. Brimvarnagarðarnir ofansjávar draga úr öldu inni í höfn og straumköstum í ómerkjum. Neðansjávargarðurinn þjónar þeim tilgangi að lækka öldu í Djúpsundinu og leiðigarðurinn lækkar öldu á ytri snúningi þar sem beygt er úr Djúpsundi í Snúninginn. Athugun á núverandi innsiglingu, fyrir úrbætur, með öldutalningu og öldumælingum leiddi af sér eftirfarandi viðmiðun: Innsiglingin taldist opin í suðvestanátt í allt að 4,5 m kenniöldu á dufli á fjöru og 5,8 m á flóði og mældist alda á ytri snúningi 3,5 m. Eftir úrbætur taldist innsiglingin opin við 7,2 m kenniöldu á dufli á fjöru og 7,8 m á flóði og ölduhæð á ytri snúningi mældist þá 2,1 m.

Í ljósi þess að fiskiskip fara sífellt stækkandi og að krókótt innsiglingin til Grindavíkur svarar ekki kröfum tímans var ákveðið að prófa beina innsiglingu þ.e. beint út eftir Ómerkjum í gegnum Sundboðann. Samkvæmt fyrri forsendum var gerð innsigling með 35 m breiðri innri rennu u.þ.b 400 m langri og 7,0 m djúpri og ytri rennu 65 m breiðri, 500 m langri með 9,5 m dýpi.

Mældar voru öldur í rennunni, brot talin og skipum siglt til að kanna strauma og aðstæður til siglinga. Fram kom við siglingu skipa og mælingu á

sjávarborðshækkunum í höfninni að byggja yrði ytri garða vegna strauma í innri rennu og til að draga úr sogum og hreyfingu í höfninni.

Mikil vinna var lögð í að finna heppilegustu legu ytri garða og garðenda með tilliti til strauma, öldu og frákasts. Um var að ræða þrjá valkosti í legu garðanna. Að vera með garða utan Sundboðans, upp á boðanum, eða á þeim stað sem valinn var. Fyrsta valkosti fylgdi ölduáraun sem var meiri en hægt var að takast á við með grjóthrúgugarði og öðrum valkosti fylgdi að hafnarmynni yrði þar sem rennudýpt yrði mest og erfitt yrði að takast á við strauma við þær aðstæður. Auk þess yrðu garðar á þessum stöðum mun lengri og kostnaðarsamari.

Með byggingu ytri garða flytjast straumvandamál frá Ósrennu út í ytri rennu þar sem auðveldara er að takast á við þau. Rennan er þar breiðari og hægt er að nokkru leyti að stjórna straumi með legu garðenda.

Talning grunnbrota fór fram í beinni innsiglingu með og án ytri garða fyrir sunnan og suðvestan öldu og einnig voru aðstæður athugaðar með siglingu togara í báðum öldustefnum. Samkvæmt þeim athugunum er innsiglingin með ytri gördum lengur opin í suðvestan öldu, en án garða er lítill munur á áttum.

Aðstæður í innsiglingunni voru athugaðar með siglingu loðnuskips og flutningaskips með og án ytri garða.

Beina leiðin skilar töluverðu fyrir minni fiskiskip en alls ekki jafn miklu og úrbætur á núverandi innsiglingu og hún er mun opnari fyrir sunnanáttinni. Hins vegar næst það markmið eftir að brimvarnargarðar hafa verið byggðir að nýja innsiglingin verður opin skipum gagnavart grunnbrotum í allt að 6,0 m hárrí kenniöldu við dufl eftir að brimvarnargarðar verða byggðir, nema í sunnan átt á fjöru.

Mestar verða úrbæturnar fyrir fiskiskip 40-55 m löng með djúpristu yfir fjóra metra en samkvæmt mati á frátöfum verða þær 1,7 % eftir að framkvæmdum lýkur en eru um 90 % í dag. Úrbætur fyrir djúprist loðnuskip og flutningaskip verða næstum jafn miklar og fyrir 40 - 55 m skip samkvæmt sömu athugunum.

#### Tillögur:

Til að auka öryggi og auðvelda sjósókn frá Grindavíkurhöfn er lagt til að gerð verði bein siglingarrenna frá hafnarmynni og út að 10 m dýpi. Til að stytta sem mest brimsiglingu og til að minnka dýpkun í innri hluta innsiglingarinnar er gert ráð fyrir að byggja tvo brimvarnargarða innan Sundboðans, Vestur- og Austurgarð. Þannig myndast ytri höfn með 80 m hafnarmynni sem skýlir höfninni fyrir ókyrrð og sjávarflóðum og Ósnum fyrir straumi. Siglingarrennan innan ytri garðanna verður um 400 m löng, 35 m breið og með 7 m dýpi á fjöru. Siglingarennan frá ytra hafnarmynni að Sundboðanum er um 150 m löng og verður um 70 m breið. Dýpið eykst á þeim hluta úr 7,0 m í 9,5 m við Sundboðann. Ysti hluti siglingarennunnar sem er um 330 m að lengd út að 10 m dýpi verður minnst 70 m breið með 9,5 m dýpi. Heildarlengd beinu innsiglingarinnar verður 900 m og þar af brimsigling um 400 m.

Minna er um brot í beinu innsiglingunni og takmarkast þau við ystu 2 -300 m rennunnar. Bein innsigling mun einnig draga úr ótta aðkomumanna við að fara um

innsiglinguna. Öll merking rennunnar verður einfaldari og færri atriði sem skipstjórnarmaður þarf að fylgjast með.

Helstu stærðir og magntölur eru:

- Vesturgarður frá landi og út innan við Sundboða, 250 m langur og um 80.000 m<sup>3</sup> að magni.
- Austurgarður frá austurfjöru á móts við Vesturgarð, 315 m langur og um 100.000 m<sup>3</sup> að magni. Garðarnir yrðu úr sprengdum kjarna og stórgrýti.
- Í innsiglingunni þarf samtals að bora og sprengja 34,000 m<sup>2</sup> svæði eða um 105,000 m<sup>3</sup> af klöpp og grafa laust efni af 12,000 m<sup>2</sup> svæði, alls um 30,000 m<sup>3</sup>.

Vegna umfangs brimvarnargarðanna og dýpkana í innsiglingunni er nauðsynlegt er að fara í umhverfismat vegna framkvæmdanna og er talið rétt að leit að hagkvæmasta grjótnáminu bíði þar til ákveðið er að hefja framkvæmdir við brimvarnagarða.

#### Framkvæmda- og fjármögnunaráætlun:

Samkvæmt drögum að hafnaáætlun 1997 - 2000, dagsettum í janúar 1997, er gert ráð fyrir að dýpkun innri hluta innsiglingarennunnar komi til framkvæmda 1997 og er áætlaður kostnaður 140 milljónir. Gert er ráð fyrir að ríkishluti verði fjármagnaður á árunum 1998 - 2000. Dýpkun ytri hluta rennunnar er áætluð að komi til framkvæmda á árunum 1999 og 2000 og er áætlaður kostnaður framkvæmdanna 360 milljónir. Miðað er við að ríkishluti í þeirri framkvæmd sé fjármagnaður á 8 árum. Gert er ráð fyrir að bygging brimvarnagarða komi inn í næstu hafnaáætlun (1999 - 2002).





## 2. ÚRBÆTUR Á NÚVERANDI INNSIGLINGU

### 2.1 GRUNNMÆLINGAR

#### 2.1.1 INNGANGUR

Í þessum kafla verður gerð grein fyrir myndun Járngerðastaðarvíkur, dýptar- og sjávarfallamælingum og botnrannsóknnum í innsiglingu og innan hafnar.

#### 2.1.2 MYNDUN JÁRNGERÐISSTAÐARVÍKUR

Jarðfræði svæðisins var lýst árið 1978 í ritgerð Jóns Jónssonar um Reykjanesskaga. Fjórum árum áður en ritgerð Jóns kom út, eða árið 1974, greindu þeir Jón Eiríksson og Björn Jóhann Björnsson frá jarðfræði Grindavíkur og Grindavíkurhafnar í skýrslu til Hafnamálastofnunar, og byggðu þar á kortlagningu Jóns Jónssonar. Einnig fjallaði skýrsla þeirra nokkuð um líkur á að hraunin í Grindavíkurhöfn hefðu runnið þar undir beru lofti, þ.e. ofansjávar. Töldu þeir líkur á, að dyngjuhraunin á svæðinu, hefðu runnið við 10 til 15 metrum lægri sjávarstöðu en nú er og þegar Sundhnúkahreunið rann hafi sjávarstaða verið eilítið (2 metrum eða svo) lægri en nú. Eins og kunnugt er, hefur það veruleg áhrif á gerð hraunsins ef það kemst í snertingu við vatn áður en það storknar. Ef það gerist, verður hraunið gjall- eða kargakennt.

Í Grindavíkurhöfn eru jarðlög, sem hafa myndast á síðustu árþúsundum. Hraunlögin, sem mynda berggrunn í höfninni, eru frá upphafi nútíma og hafa runnið við talsvert lægri sjávarstöðu en nú er. Hraunkarginn undir hrauninum gæti gefið þáverandi sjávarstöðu til kynna, en þó er ekki víst að hann hafi myndast í saltvatni. Ofan á þessum hraunlögum hefur myndast jarðvegur með ferskvatnspörungum. Á síðari hluta nútíma hefur sjór gengið yfir þetta svæði og fært jarðveginn í kaf, og þá hafa yngri hraunin runnið og myndað umgjörð um höfnina. Lónarif eða grandir hefur lokað Hópinu og myndað skilyrði fyrir upphleðslu fínkornaðs lónsets. Einhvern veginn á þessa leið er jarðsaga Grindavíkurhafnar síðustu tíuþúsund árin.

#### 2.1.3 DÝPTARMÆLINGAR

Framkvæmdir við Hópið hófust árið 1939. Sjómælingar Íslands mældu svæðið utan við innsiglinguna árið 1950 og innsiglinguna á árunum 1957, 1960 og 1974. Bandaríska fyrirtækið Alpine Geophysical Associates gerði dýptar- og endurvarpsmælingu af höfninni og hluta innsiglingarinnar árið 1973. Vita- og hafnarmál hafa dýptarmælt höfnina og Ósinn ótal sinnum og innsiglinguna á árunum 1993 og 1996.

Athyglisvert er hve mikill munur er á dýpi framan við Ósmerkin eftir dýptarmælingum. Þannig kom fram verulegur munur á mælingunum frá 1957- 60, 1973 og 1974 og eins milli mælinganna frá 1993 og 1996. Um er að ræða bæði mismunandi gæði mælinga og þéttleika mælinga. Þannig er allt að 4,5 m munur á fyrri mælingunum framan við Sundboðann. Eins skiptir máli hvenær mælingin er gerð á árinu þar sem þang og þari þekur stóran hluta innsiglingarinnar seinni part sumars og

fram eftir hausti. Merkið frá dýptarmæli getur endurvarpast frá þaranum þannig að dýpið mælist minna en það er í reynd. Mælingin frá 1993 var gerð áður en haust brimin rifu þangið og þarann upp. Mælingin frá 1996 var gerð í byrjun árs þegar inn-siglingin er búin að hreinsa sig og sýnir sú mæling talsvert meira dýpi og er stuðst við þá mælingu.

#### 2.1.4 SJÁVARFALLAMÆLINGAR OG SJÁVARFLÓÐ

Flóðmælingar til að ákvarða sjávarhæðir voru gerðar á tímabilinu júní til ágústs 1982. Ákvörðun sjávarhæða leiddi af sér eftirfarandi niðurstöður:

|                 |        |
|-----------------|--------|
| stórstraumsflóð | 3,35 m |
| smástraumsflóð  | 2,36 m |
| meðalsjávarhæð  | 1,75 m |
| smástraumsfjara | 1,14 m |
| stórstraumsflóð | 0,15 m |

Á árunum 1957 til 1965 mældi Lamont Doherty stofnun Columbia háskólans í New York sjávarföll í Grindvíkurhöfn. Þessar mælingar eru til á tölvutæku formi hjá Raunvísindastofnun Háskólans. Þessi gögn voru notuð til að kanna breytingar á ársmeðaltölum sjávarborðsmælinga í Grindavík, Reykjavík og Þórshöfn í Færeyjum. Í ljós kom mikið stökk milli ára 1962 til 1964 en sjávarborð hækkaði í byrjun hafísáranna 1965 til 1968.

Grindavík er þekkt fyrir sjávarflóð þegar mjög djúp lægð kemur upp að landinu rétt vestan við Grindavík á flóði og veldur aftaka brimi. Í skýrslu um sjávarflóð á Reykjanesi, 1984 er yfirlit yfir mestu sjávarflóð sem komið hafa á þessari öld. Sjávarflóðin 1925 og 1990 skera sig talsvert frá og til fróðleiks er birt greinagerð um sjávarflóðin frá 1925 úr Sögu hafnargerðar í Grindavík, 1970 eftir Magnús Konráðsson:

*Næst gerist það, að hinn 21. janúar 1925 gerði afskaplegt sjávarflóð í Grindavík, "sem eyðilagði allmikið af húsum við sjóinn og skemmdi stórkostlega uppsátrið í annarri vörinni og eyðilagði hina að mestu. Auk þess eyðilagði flóð þetta að mestur þrjár jarðir, sem liggja næst sjónum. Fluttist stórgrýtiskamburinn inn yfir túnin og bar yfir þau sand og möl og gerði í einu og öllu hinn mesta óskunda." Tilvitnun þessi er tekin úr bréfi, sem Einar G. Einarsson kaupmaður, skrifaði sýslumanni Gullbringu- og Kjósarsýslu. Í greinagerð frá Vitamálaskrifstofunni er lýst skemmdunum og er það mjög á sama veg og áður er frá greint. Segir það m.a., að eitt íbúðarhús hafi kastast ofan af grunninum og fluttist 40 m frá honum og "stóð þó þetta býli ca 60 m ofanvið malar-kambinn". Önnur hús og skúrar hafa einnig orðið fyrir margvíslegum skemmdum og hafa þó staðið 150 - 200 m ofan við áðurnefndan malarkamb. Er lagt til, að gerðir séu varnargarðar til að koma í veg fyrir, að sjórinn gangi á landið og valdi frekari skemmdum en orðið er.*

Þar sem sjávarflóðin frá 1990 er mönnum enn í fersku minni er ekki talin ástæða að fjalla um það hér en bent á skýrslu Hafnarmálastofnunar ríkisins. "Flóðaveðrið 9.jan 1990 og sjóvarnir á svæðum sem fyrir því urðu".

Reynslan sýnir að áætlað 100 ára flóðhæð utan brimgarðsins er um 4,0 m miðað við klukkustunda meðalsjávarhæð og innan brimgarðsins um 5,0 m og 5,5 m miðað við hæstu 10 mínútna meðalsjávarhæðina.

#### 2.1.5 BOTNRANNSÓKNIR INNAN HAFNAR OG Í INNSIGLINGUNNI

Ýmsar botnrannsóknir hafa verið gerðar í Grindavíkurhöfn og í innsiglingunni. Borað hefur verið með Borrobor, Steinwick bor sem eru í eigu Vita- og hafnamála og bor Jarðborana h.f. Hrími. Bandaríska fyrirtækið Alpine Geophysical Associates gerði dýptar- og endurvarpsmælingu af höfninni og hluta innsiglingarinnar árið 1973. Niðurstöður þessara rannsókna liggja fyrir í skýrslu: Grindavík Harbour Project, Site Investigations, Report on Test Drill Holes, June 1974.

Svæðin sem borað var í voru Sundboðinn, inn af ytri Snúning og í Ósmerkjunum. Boraðir voru samtals 43,4 m bormetrar. Borað var í ytri hluta Ósmerkjanna og reyndist þar líklega vera græf set. Innan við ytri snúning reynist vera klöpp og eins ofan á Sundboðanum. Hinsvegar kom í ljós þunn setlög neðar í Sundboðanum.

Orkustofnun samdi skýrslu um jarðfræði Grindavíkur: Geological Investigations in Grindavík SW-Iceland, mars 1974. Telja höfundar skýrslunnar að hraun hafi runnið út í innsiglinguna að vestan þegar sjávarstaðan var um 5 m neðar fyrir 2400 árum og myndað Sundboðann.

Tilgangurinn með þessum rannsóknum var að kanna hvort hægt væri að grafa ytri hluta Ósrennunnar og reyndist svo vera. Þá var kannað hvort klöpp væri í Sundboðanum og hvort hægt væri að dýpka svæðið innan ytri snúningsins.

Engar rannsóknir hafa farið fram á því hvort hægt sé að dýpka innsiglinguna án sprenginga nema endurvarpsmælingar Alpines en þær athuganir sýna einungis fastan botn. Til að fá úr því skorið hvort hægt sé að dýpka án sprenginga var gröfupramminn sem er að dýpka höfnina sumarið 1996 fenginn til að taka nokkur höft úr Ósrennunni og grafa holur við ytri snúning, í Djúpsundinu og í Sundboðann. Helsta niðurstaða þessara rannsókna er að bora þarf og sprengja megnið af botninum í höfninni og í innsiglingunni til að lágmarks dýpi náist. Laus efni sem hægt er að grafa er innan við hafnarmynnið og fremst í Ósnum og í innri snúningnum, innan við Sundboðann. Hvort heldur Djúpsundið er dýpkað eða innsiglingin er gerð bein þá þarf að bora og sprengja til að ná nægu dýpi. Niðurstöður þessara athugana ásamt borunum í innsiglingunni er að finna í skýrslu Kjartans Thors jarðfræðings, Jarðfræðirannsóknir í innsiglingunni að Grindavíkurhöfn, 1996.

## 2.2 NÚVERANDI AÐSTÆÐUR Í INNSIGLINGUNNI

### 2.2.1 LÝSING Á INNSIGLINGUNNI

Innsiglingin til Grindavíkur er um sund utan til í víkinni, skammt undan neðansjávar-rifi sem kallast Sundboði sem er um miðja víkina um 700 m frá hafnargörðum (sjá kort á næstu blaðsíðu). Dýpið niður á neðansjávarrifið er breytilegt frá 4 m upp í um 2 m úti á sjálfum Sundboðanum. Leiðin inn Djúpsundið sem er með stefnu 15,5° gryn timer hægt í fyrstu, þannig að frá 19 m dýpi í 15 m dýpi er um 300 m ( halli 1: 75 ). Þaðan að ytri snúning er um 460 m. Þaðan tekur við hallandi botn með halla 1 : 40 þannig að 12,5 m dýpi er um 300 m utan við ytri snúningi og 9,0 til 9,5 m um 200 m frá ytri snúning. Hættulegasti hluti innsiglingarinnar í Djúpsundinu er ytri snúningurinn og 200 m kaflinn næst ytri snúning en snúningspunkturinn er aðeins um 100 m austan við Sundboðann . Dýpið við ytri snúninginn er um 6,8 m og dýpið á innstu 100 m í Djúpsundinu er milli 6,4 og 7,0 m. Þar næst tekur við Snúningurinn sem er 350 m langur og er með stefnu 335,5° þannig að beygja þarf um 40° til vesturs. Minnsta dýpið í Snúningnum er um 5,4 m en dýpið er að jafnaði milli 6 til 7 m. Að lokum er það Ósinn um 400 m langur með stefnu 3° þannig að stefnubreytingin er 27,5°. Breidd ósrennurnar er um 30 m með minnsta dýpi um 4,3 m en dýpið í renn-unni er milli 4,5 til 5,5 m.

### 2.2.2 SIGLING FISKISKIPA UM INNSIGLINGUNA

Sigling til Grindavíkurhafnar er háð sjólagi, sjávarföllum og veðurhæð og stærð skipa og vélarafls og ásamt því hvort skipið er yfirbyggt eða ekki. Í Djúpsundinu kemur suð-vestan aldan inn í stefnu innsiglingarlínu og getur brotnað í sundinu hvar sem er háð ölduhæð. Á siglingu um Djúpsundið nota skipstjórnarmenn litla ferð, rétt nægjanlega til að halda stýringu. Þetta er gert til þess að koma í veg fyrir að skipið fari langt út úr innsiglingalínu ef ólag kemur á það og snýr því, en stutt er í gryn timer á báða vegu og erfitt að rétta af þungt skip við þessar aðstæður. Erfiðasti hluti leiðarinnar er beygjan úr Djúpsundi inn í Snúninginn, svonefndur ytri snúningur. Á þeim stað hefur minni bátum hvolft er ólag kemur á þá í beygjuni. Reyndir sjómenn á minni bátum reyna ekki að beygja við slíkar aðstæður heldur sigla undan inn fyrir Snúning. Þegar skip eru kominn inn í Snúninginn er þeim ekki hætt við áföllum þangað til þau koma í innri snúning þ.e. beygjuna inni Ósinn. Á þeim stað geta brot tekið sig upp. Á síðasta hluta leiðarinnar inn Ósinn er oft mjög mikil ókyrrð og straumköst þannig að nota verður mikið vélarafl til að halda stýringu.

Útsigling er mun auðveldari en þá er beðið í Ósnum eða í Snúningi eftir að ólög gangi yfir og síðan siglt á fullri ferð út. Varasamasti staðurinn er þá eins og áður ytri snúningur og ríður á að vera búinn að snúa skipinu út í Djúpsundið áður en ólög koma.

Innsiglingin er þröng og krókótt og dýpið of lítið, auk þess að vera löng. Brimsigling telst vera 1000 m og eru 1250 m út að hvíta geiranum í Hópsnesvita en eftir að komið er inn fyrir þau mörk á innleið verður ekki snúið við.





### 2.2.3 AÐSTÆÐUR Í HÖFNINNI OG RÉTT UTAN HAFNARMYNNIS

Höfnin má heita örugg fyrir stærri skip í öllum veðrum. Aðstæður geta orðið varasamar skipum í höfninni ef saman fer afbrigðileg flóðhæð og suðvestan stórsjór. Þá verða sjávarflóð, sem færa bryggjur í kaf. Vegna öldu- og sogahreyfinga innan hafnar er ekki hægt að hafa skip í viðlegu við fremri hluta Svíragarðs og vestari hluta Miðbakka. Eins geta skapast vandræði með smábáta. Dýpkunarframkvæmdir árið 1996 innan hafnar gera það að verkum að stærri fiskiskip og loðnuskip geta athafnað sig milli bryggja innan hafnar.

### 2.2.4 UPPLÝSINGAKERFI UM VEÐUR OG SJÓLAG

Til að auðvelda sjófarendum að fara inn í Grindavíkurhöfn þarf að koma til þeirra upplýsingum um aðstæður á svipaðan hátt og þegar flugvél lendir. Hafnarvörður á vakt og/ eða símsvari á að vera í stakk búinn til að veita upplýsingar um, ólög fyrir utan þ.e. ölduhæð og öldulengd ásamt vindhraða og vindstefnu, sjávarhæð og sogum inni í höfninni.

Komið hefur verið upp vindhraðamæli og vindstefnumæli við hafnarvogina á Miðbakka, sjávarborðs- og sogamæli við Miðbakka og öldumælisdufli út af innsiglingunni. Upplýsingar voru gerðar aðgengilegar á hafnarskrifstofu, bæði á tölvuskjá og með símsvara.

Könnuð var staðsetning öldudufils utan innsiglingar, þannig að ölduduflið mæli ölduhæðina sem brýtur í innsiglingunni. Til að finna bestu staðsetningu fóru fram öldusveigjureikningar til að ákvarða ölduhæð og stefnu frá hafi inn að hafnarmynni. Þessi athugun nýttist einnig til að kanna ölduhæðir á leiðinni inn innsiglinguna. Þar að auki gefur hún talsverða innsýn á sjólag í innsiglingunni og svæðinu utan hennar. Öldusveigjureikningarnir gefa mat á mældri ölduhæð við dufl og ölduhæðinni á rúmsjó suður af landinu.

Þegar komið er af hafi þá er siglt í hvíta geiranum á Hópnesvita þar til komið er í leiðarlínu í Djúpsundinu. Siglt er eftir leiðarlínunni í gegnum rauða geirann á Hópnesvita. Ef leiðalínan sést ekki þegar Hópnesviti er orðinn hvítur aftur telst höfnin lokuð vegna of lítils skyggis.

### 2.2.5 STAÐALKRÖFUR OG FLOKKUN GRINDAVÍKURHAFNAR

Í fréttabréfi Vita- og hafnamála frá maí 1995 og febrúar 1996 eru gerð grein fyrir staðalkröfum fyrir fiskihafnir og hafnaþarfagreiningu ásamt flokkun hafna. Almenn gildir um fiskihafnir að í þeim á að vera örugg viðlega og aðstaða til löndunar. Fiskihafnir verða að geta boðið upp á ýmsa þjónustu, svo sem vatn, rafmagn, olíu, ís, móttöku á sorpi og ýmsa viðgerðarþjónustu.

Hlutverk fiskihafnar er þríþætt:

- Að veita fiskiskipum sem besta aðkomu og örugga viðlegurými.
- Að aðstaða fyrir löndun fisks sé fullnægjandi og möguleikar á að flytja hann á markað eða vinnslu.
- Að hægt sé að fá þjónustu.

Grindavíkurhöfn flokkast sem stór fiskihöfn, en það er höfn með mikil umsvif, sem býður flesta þá þjónustu og samgöngur, sem skip og áhöfn þurfa á að halda. Aðstaða er fyrir stærstu strandflutningarskip og fiskiskip. Auðvelt er að koma afurðunum á markað.

Innsiglingin og höfnin verða einnig að uppfylla staðalkröfur fyrir stórar fiskihafnir, þ.e. bæði tæknikröfur og notendakröfur. Tæknikröfur lúta að skipulagi hafna og hafna-svæða og taka til eftirfarandi þátta: Innsiglingar, sæflatar hafnar, snúningsþvermáls, dýpis í innsiglingu og innan hafna, kyrrð við kanta og landrýmis við bryggjur. Fjögur fyrst töldu atriðin eru fyrst og fremst háð stærð hönnunarskips. Hönnunarskip eru lengstu skip og með mestu djúpristu sem væntanlega munu sigla reglulega um viðkomandi höfn. Þannig er ekki tekið mið af stærstu skipum sem hugsanlega koma til hafnar. Vegna nálægðar við aðrar hafnir og góðra vegasamgangna er tekið mið af meðalstórum flutningaskipum.

#### 2.2.6 ÖRYGGI FISKISKIPA Í ÖLDU

Öryggi skipa er háð ölduhæð, öldugerð og staðbundnum aðstæðum og hefur norska Siglingastofnunin tekið saman eftirfarandi viðmiðanir til skipstjórnarmanna:

| Öldugerð á siglingarleið              | viðmiðunarmörk kennialda                 | aðgæsla um borð vegna veðurs | athugasemdir                                      |
|---------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------|
| undiröldur                            | undir 4 m<br>milli 4 til 7 m<br>yfir 7 m | engin<br>takmörkuð<br>full   | reglulegar öldur á rúmsjó                         |
| óreglulegar öldur/<br>brjótandi öldur | undir 3 m<br>milli 3 til 5 m<br>yfir 5 m | engin<br>takmörkuð<br>full   | mjög óreglulegar öldur sem brotna                 |
| svæði sem eru hættuleg siglingu skipa | undir 3 m<br>milli 3 til 5 m<br>yfir 5 m | engin<br>takmörkuð<br>full   | varasöm grunnsævi með straumum og brjótandi öldum |

**Tafla 2.1 Leiðbeiningar norsku siglingastofnunarinnar varðandi aðgæslu við mismunandi aðstæður**

Samkvæmt þessum viðmiðunum þarf að huga að aðstæðum á grunnsævi og í innsiglingum þegar kennialdan er orðin 3 m og fulla aðgæslu er þörf þegar kennialdan fer yfir 5 m. Almenn gildir um stöðuleika skipa að stíf skip ( snöggar hreyfingar ) eru með góðan stöðugleika. Þegar skip er stöðugt er það fljótt að rétta sig við. Þegar veltu-tími lengist bendir það til að stöðugleikinn fari minnkandi og þegar sveiflutími veltu fer yfir 10 sekúndur er fiskiskip orðið óstöðugt. Hægar og þægilegar hreyfingar skipa í öldu sem hafa lítið fríborð hafa lítinn stöðugleika og lítið mótvægi gegn veltu.

Þegar skip ríður á öldu miðskips dregur verulega úr stöðugleika þess og við þessi skilyrði getur stöðugleikinn minnkað það mikið að skipið getur snúist þverr á stefnu og jafnvel hvolft.

Rannsóknir sem gerðar hafa verið á brotsjó hafa ekki ennþá leitt til þess að hægt sé að skilgreina nákvæmlega þau skilyrði í sjólaginu sem leiða af sér brotsjó. Þannig að það er ekki hægt að reikna líkindin fyrir brotsjó með mikilli vissu. Það er hinsvegar ljóst að krappleiki öldu yfir ákveðinni hæð getur valdið því að fiskiskip hvolfi.

Þegar aldan berst nær ströndinni eiga sér stað breytingar á öldugerðinni vegna fjöldi þátta sem hafa áhrif á ölduhæðina og stefnuna. Á meðal þessara þátta er öldusveigja vegna botnáhrifa, öldusveigja vegna strauma, öldubognun og frákast. Það er vel þekkt að þegar aldan nálgast ströndina þá leitast aldan við að koma sem þverast á ströndina og um leið styttist öldulengdin og aldan hækkar. Bratti framhliðar öldunnar hækkar smá saman uns aldan brotnar vegna takmarks dýpis. Þegar öldur brotna er það vegna þess að innri gerð öldunnar er ekki lengur stöðug og valda þá fjöldi atriða grunnbrotinu. Hvar einstaka öldur brotna á ákveðnu svæði og hve háar þær eru þegar þær brotna er breytilegt. Jafnvel í líkantilraunum þar sem flestir þættir eru vandlega skilgreindir og mældir, er ákveðinn óvissa hvar alda brotnar og hve há hún er þegar hún brotnar.

Þegar öldur mæta straumi hækka þær og brotna. Þekktir eru straumhnútar sem ríða yfir báta og sem geta valdið verulegu tjóni. Rannsóknir hafa sýnt að veikur straumur á móti getur aukið krappleikan verulega.

Þegar aldan leiðir inn innsiglingarennu velta skip lítið en lyfting og dýfa valda lóðrétttri hreyfingu skipa. Skip sem lensar á hálfri ferð, um 6 - 8 hnúta, fer mun hægar en aldan sem fer á um 20 hnúta ferð ( $\sqrt{g \cdot 10}$ ) þegar dýpið er 10 m. Miðað við 1000 m langa rennu tekur það skipið um 286 sekúndur að sigla rennuna og um 26 öldur lenda á skipinu miðað við 11s öldur en 72 öldur miðað við 4s öldur.

Skip sem siglir á móti lyftist á öldunni og heggur þegar það fer fram af öldunni en heldur stjórnhæfni nema hvað skip höggva misjafnlega mikið á hvort borð. Þegar skipið lensar ríður aldan undir skipið og eykst þá hraði skipsins um allt að fasahraða öldunnar. Þegar aldan er komin undir mitt skipið hægir á ferð skipsins sem nemur fasahraðanum. Aldan ríður undir skipið að aftan og lyftir skutnum. Þegar aldan er undir aftur hluta skipsins og er það há að skrífa og stýri koma upp úr sjó verður skipið stjórnlaust og stöðugleikinn minnkar verulega. Um leið og skipið er farið að halla fram minnkar stjórnhæfnin. Við þessar aðstæður er hætta á að skipið rási til hliðar og fari jafnvel út úr siglingarennunni. Þegar skipið siglir á móti öldunni hægir á ferð skipsins þegar aldan ríður undir stefnið en ferðin eykst þegar aldan ríður undir skutinn.

Ef opinn bátur fær á sig brjótandi öldu við þessi skilyrði og dekkið fyllist af sjó þá er hætta á ferðum ef báturinn nær ekki að losa sig við sjóinn af dekki fyrr en næsta alda brotnar yfir bátinn. Innsigling er því hættuleg opnum bátum ef tvær öldur brotna í röð. Ef skipið er á mikilli ferð í innsiglingu eykst hættan á að skipið rási og ef um stórt skip er að ræða á mikilli ferð, þá er hætta á að það reki peruna í botninn.

Myndir 2.1-2.4 á bls 23 og 25 sýna vel siglingu báta í Djúpsundinu í grunnbrotum. Myndirnar sýna Vörðunesið GK - 45 sem er 77 tónna ( lengd 25,2 m ) eikarbátur innst í Djúpsundinu þann 12 febrúar 1982. Skipstjórinn Sverrir Vilbergsson segir að það hafi verið suðvestan 8 - 10 vindstig og haugasjór. Mynd 2.1 sýnir Vörðunesið í Djúpsundinu rétt áður en það nær að ytri Snúning. Brimskaflinn aftan við bátinn nær alveg yfir víkina. Á mynd 2.2 er brotið komið undir bátinn og það brýtur inn að snúning að austan. Báturinn lyftist upp að aftan og um leið stingst það niður að framan þannig að síðurnar eru auðar. Í þessari stöðu er báturinn með lágmarks stöðuleika þar sem formstöðuleiki er í lágmarki. Á myndinni sést að brotið er að byrja að velta inn á dekkið stjórnbors megin. Mynd 2.3 sýnir bátinn á hliðinni og brotið komið undir stefnið. Báturinn er nú kominn inn úr snúningnum og skipstjórinn keyrir á fullu í stjórn til að rétta bátinn við þó svo að báturinn stefni upp í fjöru að austan eins og sést á mynd 2.4. Hugmynd skipstjórans var að bakka síðan inn í innsiglinguna. Á mynd 2.4 sést að ekkert brot kemur á eftir og því hefur báturinn nægan tíma og svigrúm til að beygja á bakborða og snúa aftur inn í Snúninginn. Ef annað brot hefði komið strax á eftir brotinu sem setti bátinn á hliðina þá hefði báturinn væntanlega kastast á hliðinni upp undir Austurfjöruna. Lausar trossur og net sem voru á dekki köstuðust út fyrir á fyrsta broti og er óvíst hvort hægt hefði verið að bakka út aftur þar sem netadræsur hefðu að öllum líkindum lent í skráfunni þegar reynt hefði verið að bakka.

Öryggi skipa í innsiglingu er háð m.a. líkunum á að skip verði fyrir grunnbrotum. Til að meta hættu á grunnbrotum í Djúpsundinu þarf að meta fjölda grunnbrota. Þar sem öldur brotna og straumur er á móti verða öldurnar bæði hærri og brattari að framan. Þetta er tilfellið í Djúpsundinu þar sem eiga sér stað grunnbrot og botnstraumur liggur út sundið. Það er óvíska þar sem grunnbrot eru tíðari en í Djúpsundinu. Því ríður á að þekkja tíðni hárra og brattrar aldna í Djúpsundinu til að geta sagt til um hve hættulegra það er að sigla Djúpsundið samanborið við aðstæður fyrir utan. Nauðsynlegt er að finna viðmiðunar ölduhæðina þegar öldur fara að brotna í innsiglingu og þegar tvær eða fleiri öldur brotna í röð.

Hreyfingar skipa í öldu er háð stærð skipa. Aldan leitast ávallt við að magna upp hreyfingar skipa sem eru nærri eigintíðni þeirra og hreyfingar skipanna aukast línulega með ölduhæðinni. Sveiflutími öldu fer eftir gerð hennar. Þannig eru stuttar vindbárur með sveiflutíma um 2 - 4 sekúndur en vind- og flóaöldur eru með sveiflutíma 4 - 9 sekúndur. Úthafsöldur eru með sveiflutíma frá 5 - 20 sekúndur. Eigintíðni dýfu, lyftingar og veltu smábáta eru á bilinu 2 - 3 sekúndur. Minni fiskiskip eru með eigintíðni á bilinu 3 - 6 sekúndur. Stærri fiskiskip á bilinu 4 - 13 sekúndur. Strandflutningaskip á bilinu 5 - 15 sekúndur. Stór flutningaskip sem eru yfir 200 m löng eru með eigin tíðni frá 8 - 20 sekúndur. Þegar skip sigla með eða móti öldustefnunni fara hreyfingar skipanna eftir hlutfallinu milli lengdar skipa og öldulengdar. Mest verður dýfan og lyftingin þegar lengd skipsins er um helmingur af öldulengdinni. Öldulengdin á grunnum sjó er háð dýpinu og sveiflutíma öldunnar,  $L = \sqrt{(g h) \cdot T}$ , þar sem  $g$  er þyngdarhröðunin,  $h$  dýpið og  $T$  sveiflutími öldunnar. Fyrir 12 m dýpi og 5 og 15 sek öldu er öldulengdin 55 m og 164 m. Um 28 m langt skip tekur mestar dýfur í 5







sek öldu en um 82 m skip í 15 sek öldu. Algengustu öldur eru um 11 sekúndur suður af landinu. Á 12 m dýpi er öldulengdin um 120 m þannig að 60 m skip taka mestu dýfur. Þannig er ljóst að hreyfingar skipa magnast upp við ákveðnar aðstæður háð sveiflutíma öldunnar og stærð skipsins.

Öldugerðin suður af Grindavík fylgir ákveðnu hlutfalli milli kenniölduhæðar og meðalsveiflutíma öldunnar og sveiflutíma ölduorkutopps samkvæmd töflu 3.6. Þannig er líklegasta hlutfallið um:

$$T_p = 3,0 * \sqrt{H_s}$$

$$T_z = 3,5 * \sqrt{H_s}$$

Samkvæmt töflum 3.6 og 3.19 þá er 3, 5 og 6 m suðvestan kennialda við dufl með meðal sveiflutími um 6,5, 8,3 og 9,2 sek. Þessar öldugerðir eru fyrst og fremst varhugaverðar fyrir stærri fiskiskip sem eru 30 til 60 m löng. Tíðni þessara öldugerða er 75, 95 og 98 % af tímanum.

Samkvæmt portúgölskum rannsóknum (1994), á sjóhæfni fiskiskipa miðað við öldugerðir reyndist 26 m langur netabátur vera með minnstu sjóhæfni þegar aldan er  $H_s = 1,2 - 2,5$  m og  $T_z = 4,6$  sek. Lítill skuttogari, 24 m langur reyndist vera með minnstu sjóhæfni við  $H_s = 3,3$  m og  $T_z = 4,6$  sek og togri, 65 m langur vera með minnstu sjóhæfni við  $H_s = 5,0 - 6,4$  m og  $T_z = 6,6$  sek.

Í innsiglingunni til Grindavíkur þarf því að einbeita sér að öryggi stærri fiskiskipa sem eru frá 30 til 60 m löng í 3 - 6 m hárrí öldu. Innsiglingin er talin lokast öllum skipum í hærri öldu en 6 m og jafnframt er talið ásættanlegt að höfnin sé lokuð í um 2 % af tímanum.

Að beiðni Vita- og hafnamálastofnunarinnar unnu Norðmennirnir próf. Dag Myrhaug og próf. Emil Dahle tvær greinar um öryggi fiskiskipa í hliðarsjó og studdust þeir við bæði íslensk og norsk öldugögn en íslensku gögnin voru frá öldumælingar sem gerðar voru suður af Vestmannaeyjum á árunum 1988 til 1994. Niðurstöður sínar kynntu þeir á alþjóða ráðstefnunni sem var haldin á Hornafirði árið 1994. Miklar umræður spunnust um öryggismál sjófarenda milli þeirra félaga og sjómanna á Höfn og fleiri og var einkum rætt um hve öruggari yfirbyggð fiskiskip væru borið saman við hefðbundin skip. Þessi fundur leiddi meðal annars til þess að Norska Sjóslýsanefndin fyrir Fiskiskip kom til landsins ásamt Dag Myrhaug og fleirum haustið 1994. Voru þeir hér á vegum Vita- og hafnamálastofnunar og kynntu sér starfsemi Sjóslýsanefndar, Siglingarmálastofnunar, Slysavarnarfélagsins, Landhelgisgæsluna og starfsemi Háskólans sem snéri að sjálfvirkri tilkynningarskyldunnar. Nefndin heimsótti meðal annars Grindavíkurhöfn þar sem þeim voru sýndar kvikmyndir af siglingu skipa í innsiglingunni og þá sérstaklega myndin sem tekin var þegar MV Ársæll Sigurðsson sökk þann 21 mars 1992.

Meginniðurstaða fundanna með Norðmönnum var að yfirburðir yfirbyggðra skipa varðandi öryggi væri ótvírætt. Flotgallar veita falskt öryggi við aðstæður eins og í innsiglingunni til Grindavíkur þar sem eru brjótandi öldur og iðustraumar miklir þannig að loft getur pressast niður í neðri hluta flotgallans svo að ekki er hægt að rétta sig við. Flotgallar eru hannaðir fyrir hreyfingar á rúmsjó en ekki fyrir brjótandi öldur.

Rannsóknir þeirra beindust einkum að hvernig orka frá háum og kröppum öldum sem koma á hlið færast yfir á skipið og veldur því að skipið fer að hallast. Til að halda í við ölduorkuna sem hallar skipinu þarf orku til að vinna á móti hallavæginu og nefnist sú orka hreyfistöðuleiki.

Að lokum er það mannlegi þátturinn hvort farið er eftir settum leiðbeiningum um aðgæslu um borð vegna veðurs. Hvort öll skilrúm vatnþétt séu lokað og lestar skákaðar í slæmum veðrum. Þannig verður að taka tillit til líkinda á að vatnþéttum skilrúmum sé ekki lokað. Á norskum fiskiskipum er það staðreynd að áhöfnin er ekki eins vakandi við að loka skilrúmum og áhafnir flutningaskipa. Í Noregi er skylda að merkja allar vatnþéttar dyr sem eiga að vera lokaðar með merkimiða.

Norðmenn ákváðu árið 1981 að öll ný fiskiskip milli 25 GRT og 45 m, skyldu uppfylla stöðugleikkröfur þar sem  $GZ$  er jákvætt yfir  $80^\circ$ . Þessum kröfum er náð með því að setja sem skilyrði að brú og yfirbygging væru með virkri vatnþétttri lokun og þar með er bæði brú og yfirbygging reiknaðar með í stöðugleikann. Með því að vanda til hönnunar skipa eins og hægt er, má stórauka stöðugleika þeirra gagnvart veltu.

Þessi skip þurfa því ekki frekari athugana við varandi hættu á að skipin hvolfi í háum og kröppum öldum. Öryggið byggist alfarið á að öll vatnþéttar lokur sé skákaðar í slæmum veðrum. Sjómenn fylgja hins vegar ekki þessum reglum eins og dæmin sanna. Norski fiskibáturinn “Bordanes” sökk í október 1993 vegna þess að lokur voru ekki skákaðar og 9 í áhöfn fórust, Sæveraas og fl. (1993).

#### 2.2.7 UM STÖÐUGLEIKA SKIPA STYTTRI EN 20 METRAR

Kanadamenn hafa rannsakað hreyfistöðugleika frambyggðs báts sem er 20 m langur. Báturinn uppfyllti allar stöðugleikakröfur og var hann látinn lensa og taka ölduna á sig á hlið að aftan. Þannig voru aðstæður mjög líkar aðstæðum í Djúpsundinu nema öldurnar sem brotnuðu á bátinn að aftan voru ekki grunnbrotsöldur heldur öldur sem brotna vegna þess að bratti framhliðar er orðinn of mikill og aldan brotnar framfyrir sig. Láréttur agnahraði í framhlið grunnbrota og aldna sem brotna fram fyrir sig á rúmsjó er nærri því sá sami miðað við ölduhæð. Því er hægt að styðjast við niðurstöður Kanadamanna við mat á viðmiðunarölduhæð fyrir minni báta.

Þegar 20 m frambyggður bátur hefur lítinn stöðuleika ( $GZ = 0,15$  m) við hallahorn  $47^\circ$  þá getur báturinn oltið þegar hann lensar er á 5 hnúta ferð og í 3,5 m öldu með sveiflutíma 5,6 s. Það þarf eina öldu til að velta skipinu þegar stöðugleikinn er lítill. Þegar stöðugleikinn er í lagi og báturinn fulllestaður þá veltur hann ef ferðin er meiri en 5 hnútar í ölduhæð 4,5 m og með sveiflutíma 6,4 s. Þegar ferðin er orðin 8 hnútar veltur báturinn þegar það ríður á öldunni við sömu ölduskilyrði og þegar ferðin er orðin 11 hnútar þá keyrir báturinn á öldunni og þvervendir og hvolfir. Þegar báturinn er stöðugur setur brjótandi alda bátinn á hliðina og það þarf aðra brjótandi öldu til að velta því. Það þarf mjög há krappa brjótandi öldu til að skipið velti á fyrstu öldunni.

Niðurstaðan er að háar brattar öldur í hliðarsjó að aftan geta hvolft báti sem uppfyllir allar stöðuleika kröfur. Hættulegast er þegar lunningin og hluti dekks er á kafi og skipið ríður á öldunni eða er á sömu ferð og aldan. Skip lendir á hliðinni með

lunninguna á kafi og hluta dekks þegar brjótandi alda hefur riðið yfir skipið. Eina sem getur bjargað skipinu frá því að hvolfa er að næsta alda er lág. Þannig getur skip bjargast frá brattri nærri brjótandi hárrí öldu við það að næsta aldan er lág.

Hvernig báturinn hvolfir við mismunandi skilyrði er sýnt á ágætu myndbandi sem er í eigu Siglingastofnunar. Samkvæmt þessum niðurstöðum eru viðmiðunarmörk minni fiskibáta miðað við frambyggða báta:

| Bátslengdir | Viðmiðunarlaga $H_s$ | Meðal sveiflutími, Tz |
|-------------|----------------------|-----------------------|
| Undir 10 m  | 1,9 m                | 4,2 s                 |
| 10 - 20 m   | 3,5 m                | 5,6 s                 |

Tafla 2.2 Viðmiðunarmörk hámarksöldu fyrir minni báta skv. kanadískum athugunum

Á grundvelli reynslu heimamanna í Grindavík og kanadísku athuganna þá eru viðmiðunarmörkin sett:

| Bátslengdir | Viðmiðunarlaga $H_s$ | Meðal sveiflutími, Tz |
|-------------|----------------------|-----------------------|
| Undir 10 m  | 2,5 m                | 4,2 s                 |
| 10 - 20 m   | 4,0 m                | 5,6 s                 |

Tafla 2.3 Viðmiðunarmörk hámarksöldu fyrir minni fiskiskip

## 2.3 ÚRBÆTUR Á NÚVERANDI INNSIGLINGU

### 2.3.1 NIÐURSTÖÐUR LÍKANTILRAUNA 1974

Í tengslum við Vestmannaeyjagosið árið 1973 komu fram hugmyndir um að bæta hafnaraðstöðuna í Grindavíkurhöfn. Byggður var fyrsti áfangi Eyjagarðs og höfnin dýpkuð. Jafnframt var innri hluti Óssins dýpkaður og lögð drög að úrbótum á innsiglingunni. Gerðar voru dýptarmælingar og botnrannsóknir af innsiglingunni. Jafnframt var gert líkan af innsiglingunni og höfninni í Kaupmannahöfn á árunum 1973 og 1974.

Við gerð líkantilraunanna 1974 var aðaláherslan lögð á að bæta aðstæður í Djúpsundinu með því að draga úr grunnbrotum við Sundboðann. Tvær hugmyndir voru ræddar á þessum tíma en ekki prófaðar í líkaninu en það var að dýpka rennu í Djúpsundinu eða dýpka beina rennu í gegnum Sundboðann. Þessar hugmyndir voru utan við þann kostnaðarramma sem unnið var eftir.

Líkanið var byggt í mælikvarða 1: 100 og voru prófaðar þrjár öldustefnur sem er réttvísandi: 180°, 195.5° og 201° en stefna leiðamerkja er 195.5°. Allar prófanir voru miðaðar við 125 öldur sem voru með 12 og 18 s sveiflutíma að jafnaði. Þannig svara 12 s öldur til 25 mínútna í náttúrunni og 18 s öldur til 38 mínútna. Prófaðar voru mismunandi ölduhæðir fyrir utan innsiglinguna og síðan voru taldar allar öldur sem brotnuðu á 200 m svæði fyrir framan ytri snúning, þ. e. Djúpsundið og um 100 m inn

fyrir hann. Jafnframt voru mældar ölduhæðir á þessu svæði og eins á stærra svæði. Einkum voru prófaðar tvær sjávarstöður, stórstraumsflóð +3.2 m og stórstraumsfjara +0.0 m.

Talið var að innsiglingin lokist bátum þegar tíminn milli ólaga er styttri en 5 mínútur. Miðað við 12 s vindöldur, þá svarar það til að 17% af öldunum brotna og miðað við 18 s öldur, þá svarar það til að 23% af öldunum brotna. Hins vegar eru aðstæður taldar öruggar þegar líða 10 mínútur milli ólaga eða sem svarar 9% eða færri öldur brotna miðað við 12 s öldur og færri en 13% fyrir 18 s öldur. Miðað er við kenniöldu á 20 m dýpi á fjöru í leiðarmerkjum og ölduhæð á rúmsjó sem er talin vera um 11% hærri.

Á næstu síðum eru yfirlit yfir tilraununirnar 1974. Mynd nr. 29 sýnir þær tillögur sem prófaðar voru í líkaninu. Tillaga nr. 11 gaf besta raun. Tveir neðansjávargarðar úr stórgrýti, mynd nr. 33, voru settir út samsíða leiðarlínunni í Djúpsundinu og náði annar þeirra eftir rifinu í land að vestan og að austan náði garðurinn einnig í land. Öldurnar brotnuðu eftir gördunum og sveigði eftir innri hluta þeirra. Við það lækkaði aldan það mikið eftir leiðarlínunni í miðri rennunni að aldan brotnaði ekki lengur. Einnig dró úr bakstraum sem grunnbrotin valda út eftir rennunni, mynd nr. 28.

Helstu niðurstöður voru að við snúning fækkuðu grunnbrotum um 90% á flóði og um 75% á fjöru. Lækkun kenniöldu mældist um 40% á flóði við ytri snúning og um 25 - 35% á fjöru. Hæstu brjótandi öldur lækkuðu um 25 - 40 % á flóði og um 10 - 25 á fjöru.

Þessar tilraunir sýndu að neðansjávargarðarnir tveir virkuðu eins og trekt sem dregur ölduna til beggja handa og þar með lækkar ölduna eftir leiðarlínunni í miðri rennunni. Við núverandi aðstæður brotna öldurnar við það að steypast fram fyrir sig, veltibrim, sem er lang hættulegast en með tilkomu neðansjávargarðanna þá springa öldurnar í toppinn sem er mun hættuminna. Eins og áður er komið fram var talið að vegna kostnaðar kæmu þessi tillaga ekki til greina þó svo að hún bætti aðstæður í Djúpsundinu verulega.

Til að draga úr kostnaði voru prófaðar margar tillögur sem höfðu það sammerkt að vera áfangar í tillögu nr. 11. Þessar tillögur eru sýndar á mynd nr. 29 og eru sýndar sem tillögur nr. 26 til 31. Byrjað var að kanna áhrif garðsins að austan. Prófuð var öldustefna S 21V og ölduhæð 6.3 m með sveiflutíma 12 s. Grunnbrot í Djúpsundinu mældust 37 við núverandi aðstæður en 2-3 grunnbrot mældust með allan austurgarð ofansjávar, (tillaga nr. 26). Lítill munur reyndist á fjölda talinna grunnbrota miðað við tillögur 27 til 31, eða milli 6 og 8 grunnbrot.

Mynd nr. 34 sýnir tillögu nr. 32, af neðansjávargarði úr stórgrýti vestan leiðarmerkja sem gaf besta raun miðað við magn og kostnað til að draga úr grunnbrotum á 200 m svæði í Djúpsundinu.







Helstu niðurstöður prófana voru að á meðalstórstraumsflóði eru núverandi aðstæður taldar öruggar í kenniöldu sem er allt að 5.0 m há í Djúpsundinu (leiðarmerkjum). Svarar sú alda til 5.6 m kenniöldu á rúmsjó. Með tilkomu neðansjávangarðsins hækka þessar kenniöldur í 5.5 m og 6.1 m. Við mjög varasamar aðstæður eru tilsvareandi ölduhæðir 5.5 m og 6.1 m fyrir núverandi aðstæður en með tilkomu garðsins verða þær 6.0 m og 6.7 m.

Á meðalstórstraumsfjöru eru aðstæður taldar öruggar við núverandi aðstæður í 2.5 m hárrí öldu í leiðarmerkjum og sem svara til 2.8 m kenniöldu á rúmsjó. Með tilkomu garðsins hækka þessar ölduhæðir í 3.2 m og 3.6 m. Við mjög varasamar aðstæður hækka þessar ölduhæðir í 4.0 m og 4.4 m.

Leitast hefur verið eftir að meta fjölda klukkutíma á ári sem innsiglingin er í mörkum þess að teljast örugg við núverandi aðstæður og eru þær taldar vera um 135 klst. á ári að jafnaði. Innsiglingin er talin mjög varasöm um 70 klst. á ári og líklega lokuð bátum um 15 klst á ári að jafnaði. Með tilkomu neðansjávangarðs vestan við leiðarmerki sunnan við Sundboða má reikna með að fjöldi klst. fækki um helming þegar innsiglingin er talin á mörkum þess að vera örugg, mjög varasöm eða lokuð.

### 2.3.2 HÖNNUNARLEIÐBEININGAR FYRIR INNSIGLINGARENNUR

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 botngerð og dýpi og gæði leiðarmerkja. Í hönnunarreglunum fyrir innsiglingarennur er tekist á við flesta þætti er snerta breidd rennunnar. Engar reglur eru til fyrir fiskiskip en þau eru yfirleitt með mun betri stjórnhæfni, tvískipt stýri ( Becher ), skiptiskrúfu og þverskrúfur auk þess að vera mun minni. Þó svo stjórnhæfni fiskiskipa sé góð þá eru aðstæður í innsiglingunni til Grindavíkur með því erfiðasta sem þekkist þannig að taka þarf full tillit til aðstæðna við úrbætur á innsiglingunni.

Botnbreidd innsiglingarrennu er gefin fyrir einbreiða rennu með líkingunni:

$$W = W_{BM} + \sum_{i=1} W_i + W_{Br} + W_p \quad (2.1)$$

Með því að setja í líkinguna viðeigandi stuðla úr töflum 4.1 -4.5 sem eru hlutföll af breidd hönnunarskips fæst botnbreidd rennu.

| Stjórnhæfni skipa             | góð   | sæmileg | léleg |
|-------------------------------|-------|---------|-------|
| Grunnbreidd rennu<br>$W_{BM}$ | 1.3 B | 1.5 B   | 1.8 B |

Tafla 2.4 Stuðlar fyrir líkingu 2.1

| Breidd<br>$W_i$          | Ytri renna , fyrir opnu hafi. | Innri renna í skjóli |
|--------------------------|-------------------------------|----------------------|
| a) Hraði skips ( hnútar) |                               |                      |
| - 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                  |

Tafla 2.5 Stuðlar fyrir líkingu 2.1

| Breidd<br>$W_i$                                                           | Hraði<br>skips | Ytri renna , fyrir<br>opnu hafi. | Innri renna<br>í skjóli |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------------|-------------------------|
| b) Vindur þvert á rennu ( hn.)                                            |                |                                  |                         |
| - hægur $\leq 15$ ( $\leq$ Beauf. 4 )                                     | óháður         | 0.0                              | 0.0                     |
| strekingur > 15 -33 (> Beauf.4 -7 )                                       | 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                   |
| c) Straumur þvert á rennu ( hn.)                                          |                |                                  |                         |
| - hverfandi < 0.2                                                         | óháður         | 0.0                              | 0.0                     |
| -hægur 0.2 -0.5                                                           | full f.        | 0.1 B                            | –                       |
|                                                                           | hálf f.        | 0.2 B                            | B                       |
|                                                                           | hæg f.         | 0.3 B                            | B                       |
| - í meðallagi > 0.5 - 1.5                                                 | full f.        | 0.5 B                            | –                       |
|                                                                           | hálf f.        | 0.7 B                            | 0.5 B                   |
|                                                                           | hæg f.         | 1.0 B                            | 0.8 B                   |
| - sterkur > 1.5 - 2.0                                                     | full f.        | 0.7 B                            | –                       |
|                                                                           | hálf f.        | 1.0 B                            | –                       |
|                                                                           | hæg f.         | 1.3 B                            | –                       |
| d) Með / mótstraumur í rennu ( hn.)                                       |                |                                  |                         |
| - lítill $\leq 1.5$                                                       | óháður         | 0.0                              | 0.0                     |
| - í meðallagi > 1.5 - 3                                                   | full f.        | 0.0                              | –                       |
|                                                                           | hálf f.        | B                                | B                       |
|                                                                           | hæg f.         | B                                | B                       |
| - sterkur > 3                                                             | full f.        | 0.1 B                            | –                       |
|                                                                           | hálf f.        | 0.2 B                            | B                       |
|                                                                           | hæg f.         | 0.4 B                            | 0.4 B                   |
| Kennialda $H_S$ og öldulengd $\lambda$ ( m )                              |                |                                  |                         |
| - $H_S \leq 1$ og $\lambda \leq L$ (Öldulengd styttri en skips-<br>lengd) | óháður         | 0.0                              | 0.0                     |
| - $3 > H_S > 1$ og $\lambda \approx L$ ( Öldulengd jöfn skipslengd)       | full f.        | $\approx 2.0 B$                  |                         |
|                                                                           | hálf f.        | $\approx 1.0 B$                  |                         |
|                                                                           | hæg f.         | $\approx 0.5 B$                  |                         |
|                                                                           | full f.        | $\approx 3.0 B$                  |                         |
| $H_S > 3$ og $\lambda > L$<br>( Öldulengd mun lengri en skipslengd )      | hálf f.        | $\approx 2.2 B$                  |                         |
|                                                                           | hæg f.         | $\approx 1.5 B$                  |                         |

Tafla 2.6 Stuðlar fyrir líkingu 2.1

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

|                                                                         |               |                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------|
| h) Dýpi í rennu<br>- $\geq 1.5 D$<br>- $1.5 D - 1.25 D$<br>- $< 1.25 D$ | 0.0<br>B<br>B | $\geq 1.5 D$<br>0.0<br>$< 1.5 D - 1.15 D$<br>0.2 B<br>$< 1.15 D$<br>0.4 B |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------|

Tafla 2.7 Stuðlar fyrir líkingu 2.1

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

Tafla 2.8 Stuðlar fyrir líkingu 2.1

### 2.3.3 DÝPI Í INNSIGLINGARRENNU

Dýpið í innsiglingarennnum hefur veruleg áhrif á stjórn hæfni skipa og er dýpið skilgreint sem hlutfallið milli dýpis (d) og djúpristu (D) þannig að:

|                |                   |
|----------------|-------------------|
| Mikið dýpi     | $d/D > 3,0$       |
| Meðal dýpi     | $1,5 < d/D > 3,0$ |
| Grunnsævi      | $1,2 < d/D > 1,5$ |
| Mikil grynnsli | $d/D < 1,2$       |

Samkvæmt hönnunarreglum frá PIANC ( 1995 ) er nauðsynlegt dýpi háð gerð botns, djúpristu skipa og ölduhæð. Þar sem skip sigla um innsiglingar sem eru í skjóli fyrir öldu þarf dýpið að vera minnst um 1,1 sinnum djúprista viðkomandi skips. Þar sem ölduhæð er yfir 1 m þarf dýpið að vera allt að 1,3 sinnum djúpristan og allt að 1,5 sinnum djúpristan í hærri öldu þegar sveiflutími öldu og öldustefna er óhagstæðar. Þessar reglur PIANC gilda fyrir stór flutningaskip en engar reglur eru til fyrir fiskiskip.

Reynslan frá mörgum fiskihöfnum hér á landi er að lágmarks bil milli kjalar og botns sé 0,6 m innan hafnar og 1,0 m í innsiglingarennnum við bestu skilyrði. Þar sem öldu gætir lítið er nauðsynlegt dýpi 1,15 sinnum djúpristan en dýpið þarf síðan að aukast um hæð kenniöldunnar. Ölduhreyfing veldur lyftingu, veltu og dýfu skips. Lóðréttar hreyfingar skipa eru taldar aukast línulega með aukinni ölduhæð. Reynslan sýnir að nauðsynlegt dýpi í innsiglingu er samantölgð djúprista og kennialda þar til dýpið er orðið 1,5 sinnum djúpristan.

### 2.3.4 HÖNNUN INNSIGLINGARRENNNU TIL GRINDAVÍKURHAFNAR

Við hönnun á dýpi og breidd innsiglingarennu er tekið mið af loðnuskipi/fiskiskipi þar sem þau rista meira en flutningaskip og þurfa að fara um í hærri kenniöldu. Miðað er við að loðnuskip sigli með hálfri ferð. Samkvæmt hönnunarreglum PIANC þarf botnbreidd innsiglingarennan að vera:

| Breidd                  | Ytri renna, fyrir opnu hafi, Hs>3 m | Ytri renna, fyrir opnu hafi, Hs<3m | Innri renna í skjóli með skjógarði | Innri renna í skjóli án skjógarðs |
|-------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Hraði skips hálf ferð   | 0.0                                 | 0.0                                | 0.0                                | 0.0                               |
| Stjórnhæfni skips       | 1.3 B                               | 1.3 B                              | B                                  | B                                 |
| Vindur þvert á rennu    | B                                   | B                                  | B                                  | B                                 |
| Straumur þvert á rennu  | 0.7 B                               | 0,7 B                              | 0.0                                | 0.8 B*                            |
| Með/mótstraumur í rennu | 0.1 B                               | 0.1 B                              | 0.0                                | 0.0                               |
| Kennialda og öldulengd  | B                                   | B                                  | 0.0                                | 0.0                               |
| Siglingaleiðbeiningar   | B                                   | 0.0                                | B                                  | B                                 |
| Gerð botns              | 0.2 B                               | 0.2 B                              | 0.2 B                              | 0.2 B                             |
| Dýpi í rennu            | 0.0                                 | B                                  | B                                  | B                                 |
| Viðbót vegna brúna      | 0.5 B                               | 0.5 B                              | 0.5 B                              | 0.5 B                             |
| <b>Samtals</b>          | <b>5,6 B</b>                        | <b>4,3 B</b>                       | <b>2,8 B</b>                       | <b>3,6 B</b>                      |

\* mikil straumköst

**Tafla 2.9 Botnbreidd innsiglingarennu fyrir fyrir loðnuskip samkvæmt reglum PIANC**

Samkvæmt þessum reglum þarf breidd á innsiglingarennu að vera minnst 5,6 sinnum breidd hönnunarskipsins (67,2 m) í ytri rennu þegar kennialdan er stærri en 3 m og 4,3 sinnum breiddin ( 51,6 m) þegar kennialdan er undir 3 m. Breidd á innri rennu með skjólgörðum þarf að vera 33,6 m en án skjólgarða 43,2 m við bestu skilyrði og er þá gert ráð fyrir hallandi brúnum. Ef miðað er við flutningaskip 16 m breitt þyrfti innri renna að vera um 44 m breið með skjólgörðum. Vegna aukins kostnaðar og með tilliti til minni djúpristu flutningaskipa og fáar komur verður að gera ráð fyrir að stærstu skipin fari inn á hálfköllu.

### 2.3.5 NAUÐSYNLEGT DÝPI Í INNSIGLINGARRENNU

Samkvæmt staðalkröfum Siglingastofnunnar er dýpi í innsiglingu miðað við smástraumsfjöru. Lágmarksviðbót við djúpristu þarf að vera 1,0 m við bestu skilyrði en þó ekki minni en samanlögð djúprista og hæð kenniöldu, þar til dýpi er orðið 1,5 x djúpristan.

Miðað við loðnuskip með 7 m djúpristu þarf lágmarksdýpi að vera  $7+1-1,14 = 6,9$  m. Mesta dýpi í rennuni miðað við loðnuskipið þyrfti að vera  $7+3,5-1,14 = 9,4$  m á stórstraumsfjöru.

### 2.3.6 HÖNNUNARFORSENDUR FYRIR INNSIGLINGARRENNU

Innsiglingarennan telst opin skipum ef stakar öldur brotna í rennunni og rennan telst lokuð þegar tvær eða fleiri öldur brotna í röð eða fleiri en 10 til 12 stakar öldur brotna á hálf tíma.

Innsiglingarennan þarf að uppfylla þær kröfur að vel búin fiskiskip með fulla aðgæslu um borð geti tekið höfnina í suðvestan kenniöldu við dufl sem er allt að 6 m há sem svarar til að innsiglingin sé opin um 98 % af tímanum.

Til að innsiglingarennan uppfylli kröfur um að 60 m langt fiskiskip, sem er 12 m breitt og ristir 7 m fullhlaðið, og geti tekið höfnina á smástraumsfjöru í allt að 6,0 m hárrí suðvestan kenniöldu við dufl, þarf breidd og dýpi innsiglingarennunnar að vera:

- Ytri renna þar sem alda er yfir 3 m þarf að vera minnst 67 m breið og lágmarks dýpi 9,5 m á stórstraumsfjöru.
- Ytri renna þar sem alda er undir 3 m þarf að vera minnst 52 m breið með lágmarks dýpi milli 7,0 til 9,0 m á stórstraumsfjöru.
- Innri renna þar sem alda öldu gætir lítið þarf að vera 35 m breið með lágmarks dýpi 7,0 m á stórstraumsfjöru.

### 2.3.7 VIÐMIÐUNARSKIP OG VIÐMIÐUNARALDA VIÐ ÖLDUDUFL

#### Forsendur fyrir siglingu skipa:

Að vel búin fiskiskip með fulla aðgæslu um borð geti komist inn á smástraumsfjöru í allt að 6 m hárrí suðvestan kenniöldu við öldudufl. Innsiglingin telst opin þegar allt að 4 einstakar öldur brotna og lokuð þegar tvær eða fleiri öldur brotna í röð eða 10 til 12 einstakar öldur brotna á hálf tíma. Þannig telst innsiglingin opin þegar allt að 2 % af öldunum brotna en lokuð þegar allt að 6 % af öldunum brotna.

Að loðnuskip/fiskiskip, allt að 60 m langt, 12 m breitt og með djúpristu allt að 7,0 m, geti komist inn á smástraumsfjöru í allt að 4,5 - 6,0 m m suðvestan kenniöldu við dufl og og þegar veðurhæð er undir 5 vindstigum

Að flutningaskip, allt að 90 m langt, 12 m breitt og með djúpristu allt að 6,0 m, geti farið um innsiglinguna á smástraumsfjöru og í 3,5 m suðvestan kenniöldu við dufl og þegar veðurhæð er undir 4 vindstigum. Kennialda við öldudufl þarf að vera innan 3,5 m til að hafnsögumaður geti farið um borð og frá borði utan innsiglingar. Í dag komast loðnuskip og flutningaskip á stórstraumsflóði og í allt að 3,5 m kenniöldu en skip með litla rist komast inn á hálf föllnu.

#### Forsendur fyrir kyrrð innan hafnar:

Til að uppfylla kröfuna um kyrrð innan hafnar þarf kennialdan við Miðbakka á móts við Ósinn að vera lægri en  $H_s = 0,25$  m í brimi sem kemur að jafnaði einu sinni á ári.

### 2.3.8 REYNSLUMÖRK ÖLDUHÆÐA VIÐ DUFL

Í samvinnu við heimamenn hafa verið fastsett mörk ölduhæðar á dufli  $H_{SD}$  fyrir örugga siglingu mismunandi stærða skipa að og frá höfninni. Þar fram koma fram

viðmiðunarmörk sem eru sú ölduhæð sem telja má skynsamleg mörk fyrir umferð um Djúpsundið með fullri aðgæslu.

| Núverandi aðstæður | Djúpsundið      |      |
|--------------------|-----------------|------|
| Kennialda $H_{SD}$ | Viðmiðunar mörk |      |
| Skipastærðir       | Fjara           | Flóð |
| Bátar undir 10 m   | 2,5             | 2,5  |
| 10 - 20 m          | 4,0             | 4,0  |
| 20 - 30 m          | 4,5             | 5,0  |
| 30 - 40 m**        | 5,0             | 5,0  |
| 40 - 55 m          | lokað           | 5,0  |
| 40 - 55 m***       | lokað           | 2,8  |
| > 55 m             | lokað           | 2,8  |
| > 70 m             | lokað           | 2,5  |

\*\*) Yfirbyggðir bátar \*\*\*) Fulllestuð loðnuskip  
Mörk kenniöldu eru byggð á mati heimamanna

**Tafla 2.10 Yfirlit yfir viðmiðunarmörk ölduhæða.**

Reynslan sýnir kennialdan þarf að vera innan við 3,5 m til að hafnsögumenn komist frá lóðsbát að og frá borði flutningaskips utan innsiglinga.

### 2.3.9 TILLÖGUR AÐ ÚRBÓTUM Í INNSIGLINGUNNI

Vandamál Grindavíkurhafnar eru annars vegar ókyrrð og þrengsli í Ósnum sem leiða af sér straumköst utan hafnarmynnis og of mikil ókyrrð og sog innan hafnar. Þessi ókyrrð innan hafnar getur síðan leitt af sér sjávarflóð í suðvestan aftökum. Hins vegar eru vandamál tengd þrengslum og grunnbrotum í ytri hluta innsiglingarinnar.

#### 2.3.10 INNRI INNSIGLINGARENNA - TILLAGA AÐ ÚRBÓTUM Í ÓSMERKJUM

Æskilegast er að skapa þau skilyrði í Ósnum að kröfunum um innri rennu séu uppfylltar. Til þess þarf ölduhæð í rennunni að vera undir 1 m og er þá hægt að komast af með lágmarks breidd og dýpkun í rennunni sem er minnst 35 m breið renna með 7 m dýpi á stórstraumsfjöru og 400 m löng. Þessi skilyrði leiða til að straumköstin í Ósnum verða innan marka og að krafan um kyrrð innan hafnar er uppfyllt. Þegar dregur úr ókyrrð innan hafnar dregur einnig úr líkunum á sjávarflóðum.

Þessum skilyrðum er einungis hægt að uppfylla með brimvarnargörðum utan hafnar, eins konar ytri höfn. Að vestan þarf brimvarnargarður að vera annað hvort vel innan eða á Sundboðanum. Að austan þarf garða til að draga úr öldu og straumi sem liggur að hafnarmynninu og ræðst lega og stærð þeirra af aðgerðum í ytri hluta rennunnar.

#### 2.3.11 YTRI INNSIGLINGARENNA - TILLAGA AÐ ÚRBÓTUM Í DJÚPSUNDINU

Ytri hluti innsiglingarinnar markast af Snúningnum sem er 350 m langur og innsta hluta Djúpsundsins sem er 200 m langt út á 9,5 m dýpi á fjöru. Hættulegasti hluti ytri innsiglingarennunnar er Ytri Snúningurinn og innsti hluti Djúpsundsins sem er um 200 m að lengd. Einstaka brot getur tekið sig upp við innri snúninginn þannig að beygjan milli Snúnings og Óssins getur verið varhugaverð.

Ókostir núverandi innsiglingar eru þær að beygja þarf um  $40^\circ$  til vesturs við ytri snúning á stað þar sem dýpið er 6,8 m á fjöru og grunnbrot eru tíðust í dag. Dýpið í Snúningnum er minnst 5,4 m og beygja þarf um  $27,5^\circ$  til norðurs inn í Ósmerkin. Þessi krókotta, þrönga og langa innsigling er einstök á Íslandi og því óttast aðkomubátar innsiglinguna.

Úrbætur felast í að innsti hluti Djúpsundsins þarf að uppfylla kröfuna um ytri rennu þar sem aldan er yfir 3 m. Rennan þarf að vera minnst 63 m breið og dýpið 9,4 m. Kennialdan þarf að vera undir 3 m í innri hluta Djúpsundsins og í Snúningurinn til að uppfylla kröfu norsku Siglingastofnunarinnar um takmarkaða aðgæslu um borð á fiskiskipum á grunnsævi. Í Snúningnum er öldustefnan nærri þvert á rennuna og ölduhæð undir 3 m sem leiðir til að breidd rennunnar getur minnkað niður í 46 m og 7 m dýpi á fjöru. Með þessum úrbótum uppfyllir núverandi innsigling öllum forsendum sem gerðar eru til innsiglingar við aðstæður eins og eru í Grindavík.

Til að draga úr kostnaði er lagt til að nýta betur dýpið innan við Sundboðann þar sem laus efni eru, með því að færa Snúninginn nær Sundboðanum. Við það lengjast Ósmerkin um 100 m og beygjurnar aukast úr  $27,5^\circ$  í  $37^\circ$  við innri snúning og úr  $40^\circ$  í  $50^\circ$  við ytri snúning.

Þessar úrbætur uppfylla allar kröfur Siglingastofnunar Íslands og gagnast heimaskipstjórnendum að fullu. Aðkomubáta munu áfram veigra sér við að fara um innsiglinguna og ekki taka höfnina þó svo að stæður leyfa. Innsiglingin er eftir sem áður löng, þröng og krókótt.

### 2.3.12 YTRI INNSIGLINGARENNA - TILLAGA AÐ BEINNI INNSIGLINGARENNU

Bein innsigling mun draga að mestu úr ótta aðkomubáta við að taka innsiglinguna og auka til muna öryggi sjófarenda þar sem um eina leiðarlínu er að ræða og öll merking innsiglingar því mun einfaldari og þar með staðsetning skipa í innsiglingunni.

Tillaga að beinni innsiglingu skiptist í innri rennu og ytri rennu. Byggja þarf tvo brimvarnargarða innan Sundboðann, Vestur- og Austurgarð, við ytri enda hennar til að aldan í innri rennunni verði undir um 1,0 m. Þessir garðar verða um 250 m að vestan og 315 m að austan. Gert er ráð fyrir að innri rennan verði um 400 m löng, 35 m breið og með 7 m dýpi á smástraumsfjöru. Siglingarennan frá ytra hafnarmynni að Sundboðanum er um 150 m löng og um 55 - 64 m breið og eykst dýpið úr 7 til 9,5 m.

Ysti hluti siglingarennunnar sem er um 324 m að lengd út að 10 m dýpi verður minnst 63 m breið með 9,5 m dýpi. Heildarlengd beinu innsiglingarinnar verður 900 m og brimsigling um 400 m. Með því að hafa fulla aðgæslu um borð og notfæra sér gögn úr

upplýsingakerfinu ásamt því að nýta nútíma siglingatæki teljast úrbætur á inn-siglingunni uppfylla kröfur Siglingastofnunar Íslands.

### 3. ÖLDUHÆÐAÚTREIKNINGAR

#### 3.1 YFIRLIT OG FORSENDUR ÖLDUHÆÐAÚTREIKNINGA

Hér verður gerð grein fyrir ölduhæðaútreikningum fyrir höfnina í Grindavík, forsendum, útreikningum og niðurstöðum.

Líkindafræðileg úrvinnsla öldumælinga út af Garðskaga er notuð til að gera langtíma spá fyrir ölduhæð utan Faxaflóa. Þar kemur m.a. fram að 95% af tímanum er aldan lægri en 5.8m, 98% tímans sé aldan undir 7.2m og að búast megi við 12m öldu að jafnaði einu sinni á ári. Ölduspá norsku veðurstofunnar er notuð til að fá upplýsingar um öldustefnu á úthafinu, þar sem ölduduflin mæla ekki stefnu. Þar kemur fram að sunnan og suðvestanáttir eru bæði tíðastar og hæstar. Tíðni þeirra er um 60%. Öldusveigjuforritið HISWA er notað til að reikna hvernig úthafsaldan berst inn að Grindavík. Forsendur ölduhæðaútreikninga byggja á upplýsingum um úthafsöldur. Fyrirliggjandi eru bæði niðurstöður öldumælinga með dufli út af Garðskaga, Surtsey og Grindavík svo og spád gögn yfir sjö ára tímabil við Selvogsbanka.

#### 3.2 ÖLDUMYNDUN OG ÖLDUSVEIGJA

##### 3.2.1 ÚTHAFSÖLDUMÆLINGAR

Öldudufl af Waverider gerð hefur verið staðsett út af Garðskaga frá 1982 með stuttum hléum. Á árunum 1982 til 1984 og 1988 til 1991 var staðsetning þess 64°04.9'N og 22°41.6'V, 8.5 sjómílar í vestur frá Garðskagavita á um 85 m dýpi. Árið 1991 var staðsetningunni breytt og duflið flutt yfir flakið af flutningaskipinu Miranda, nánar tiltekið á 64°03.3'N og 22°56'34"V á um 80 m dýpi.

Öldudufl af Waverider gerð hefur verið staðsett samfelld út af Surtsey frá september 1987. Frá október 1987 til september 1992 var staðsetning duflsins 63°15,2'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. Langtímaspá fyrir ölduhæð utan Garðskaga fyrir 3 tíma varanleika, unnin vorið 1995, er sýnd í töflu 3.1 og fyrir Surtsey, unnin í febrúar 1996, í töflu 3.2. Líkindadreifing öldu með endurkomutíma minna en eitt ár er nálgðuð með þriggja gilda Weibul líkindadreifingu, en fyrir endurkomutíma eitt ár og meira nálgðuð með Weibuldreifingu með þröskuldsgildi 5m fyrir Garðskaga og 2m fyrir Surtsey. Sveiflutími orkutopps öldurófsins er áætlaður með líkingunni  $T_p = 14.1 \cdot (H_s/g)^{1/2}$ , þar sem  $g$  er þyngdarhröðunin. Öldusveigjureikningarnir eru aftur á móti gerðir fyrir meðalsveiflutíma  $T_z$ . Hlutfall  $T_p$  og  $T_z$  er áætlað 1.3. Síðasti dálkurinn í töflunni gefur meðalvaranleika fyrir hverja ölduhæð byggða á reiknilíkani frá Kuwashima og Hogben. Mynd 1a og 1b, í viðauka, lýsa dreifingu ölduhæðar ( $H_{rms}$ ) sem falli af sveiflutíma ( $T_p$ ) og myndir 2a og b, og 3a og b sýna líkindadreifinguna skv. Weibull reiknilíkani og tilsvareandi varanleika ferla (duration plots) byggða á reiknilíkani frá Kuwashima og Hogben.

| % af tímanum | Endurkomu-tími | Hs (m) | Tp (s) | Tz (s) | Varanleiki (klst) |
|--------------|----------------|--------|--------|--------|-------------------|
| 60           |                | 2.6    | 7.3    | 5.6    | 27.1              |
| 70           |                | 3.1    | 7.9    | 6.1    | 22.3              |
| 80           |                | 3.7    | 8.7    | 6.7    | 18.5              |
| 90           |                | 4.8    | 9.9    | 7.6    | 14.2              |
| 95           |                | 5.8    | 10.8   | 8.3    | 11.8              |
| 98           |                | 7.2    | 12.1   | 9.3    | 9.7               |
| 99           |                | 8.1    | 12.8   | 9.8    | 8.7               |
|              | 1              | 12.5   | 15.9   | 12.2   | 5.9               |
|              | 5              | 14.3   | 17.0   | 13.1   | 5.2               |
|              | 10             | 15.1   | 17.5   | 13.5   | 5.0               |
|              | 25             | 16.1   | 18.1   | 13.9   | 4.7               |
|              | 50             | 16.8   | 18.5   | 14.2   | 4.5               |
|              | 100            | 17.5   | 18.8   | 14.5   | 4.4               |

Tafla 3.1 : Ölduspá fyrir Garðskaga byggð á mælingum frá öldudufli 1988-1995.

| % af tímanum | Endurkomu-tími | Hs (m) | Tp (s) | Tz (s) | Varanleiki (klst) |
|--------------|----------------|--------|--------|--------|-------------------|
| 60           |                | 3.4    | 8.3    | 6.4    | 26                |
| 70           |                | 3.9    | 8.9    | 6.8    | 22                |
| 80           |                | 4.7    | 9.8    | 7.5    | 18                |
| 90           |                | 5.8    | 10.8   | 8.3    | 14                |
| 95           |                | 6.9    | 11.8   | 9.1    | 11                |
| 98           |                | 8.2    | 12.9   | 9.9    | 9                 |
| 99           |                | 9.1    | 13.6   | 10.4   | 8                 |
|              | 1              | 13.0   | 16.2   | 12.5   | 6                 |
|              | 5              | 14.5   | 17.1   | 13.2   | 5                 |
|              | 10             | 15.2   | 17.6   | 13.5   | 5                 |
|              | 25             | 16.0   | 18.0   | 13.9   | 4                 |
|              | 50             | 16.6   | 18.3   | 14.1   | 4                 |
|              | 100            | 17.2   | 18.7   | 14.4   | 4                 |

Tafla 3.2 : Ölduspá fyrir Surtsey byggð á mælingum frá öldudufli 1988-1996.

### 3.2.2 ÖLDUSPÁ NORSKU VEÐURSTOFUNNAR

Nýlega vann norska veðurstofan í Bergen 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 öldustefnu. Tafla 3.3 sýnir líkindadreifingu úthafsöldu í punkti 2071 fyrir við Selvogsbanka eftir áttum og tíðni hverrar áttar. Staðsetning punktsins er 63.5°N, 21.5°V á um 120 m dýpi. Dreifingin er nálgðuð með þriggja parametra Weibulldreifingu fyrir 60%-99% tíðni en með Weibulldreifingu með 3 m þröskuldsgildi fyrir 1-100 ára endurkomutíma.

| % af tímanum | Endur-komu-tími | 0° N | 45° NA | 90° A | 135° SA | 180° S | 225° SV | 270° V | 315° NV | Allar áttir |
|--------------|-----------------|------|--------|-------|---------|--------|---------|--------|---------|-------------|
| 60%          |                 |      |        |       |         |        |         |        |         | 3.24        |
| 70%          |                 |      |        |       |         |        | 1.40    |        |         | 3.76        |
| 80%          |                 |      |        |       |         | 1.70   | 2.50    |        |         | 4.44        |
| 90%          |                 |      |        |       |         | 3.54   | 3.94    | 1.80   |         | 5.46        |
| 95%          |                 |      |        | 1.83  | 2.30    | 4.85   | 5.08    | 3.47   |         | 6.38        |
| 98%          |                 | 2.77 | 2.73   | 3.42  | 4.06    | 6.29   | 6.38    | 4.86   | 0.75    | 7.48        |
| 99%          |                 | 3.51 | 3.48   | 4.33  | 5.04    | 7.24   | 7.27    | 5.71   | 2.06    | 8.26        |
|              | 1               | 6.16 | 5.53   | 7.68  | 8.75    | 10.80  | 10.63   | 8.54   | 6.38    | 11.28       |
|              | 5               | 6.88 | 6.20   | 8.76  | 10.17   | 12.26  | 12.01   | 9.59   | 7.34    | 12.55       |
|              | 10              | 7.15 | 6.47   | 9.19  | 10.75   | 12.85  | 12.57   | 10.01  | 7.71    | 13.07       |
|              | 25              | 7.49 | 6.81   | 9.74  | 11.50   | 13.59  | 13.28   | 10.54  | 8.19    | 13.74       |
|              | 50              | 7.73 | 7.06   | 10.13 | 12.05   | 14.14  | 13.81   | 10.92  | 8.53    | 14.23       |
|              | 100             | 7.96 | 7.30   | 10.51 | 12.59   | 14.66  | 14.31   | 11.29  | 8.86    | 14.71       |
| Ölduátt      |                 | 4.0% | 4.4%   | 8.1%  | 9.5%    | 24.4%  | 34.0%   | 13.4%  | 2.3%    | 100%        |

**Tafla 3.3 : Líkindadreifing öldu eftir ölduátt byggt á ölduspá NMI á Selvogsbanka 1987-1993.**

Hér kemur fram að öldur úr suðaustri, suðri og suðvestri eru lang algengastar á Selvogsbankanum eða um 68% af tímanum. Líkindadreifing öldu fyrir þessar þrjár stefnur eingöngu er sýnd í töflu 3.4.

| % af tímanum | Endur-komu-tími | 135° SA | 180° S | 225° SV | Allar áttir |
|--------------|-----------------|---------|--------|---------|-------------|
| 60%          |                 |         |        |         | 3.39        |
| 70%          |                 |         |        |         | 3.94        |
| 80%          |                 |         |        | 3.36    | 4.64        |
| 90%          |                 |         | 4.31   | 4.59    | 5.71        |
| 95%          |                 | 3.19    | 5.49   | 5.65    | 6.67        |
| 98%          |                 | 4.63    | 6.83   | 6.88    | 7.82        |
| 99%          |                 | 5.55    | 7.74   | 7.74    | 8.63        |
|              | 1               | 9.16    | 11.23  | 11.03   | 12.19       |
|              | 5               | 10.55   | 12.64  | 12.38   | 13.75       |
|              | 10              | 11.12   | 13.22  | 12.92   | 14.41       |
|              | 25              | 11.86   | 13.95  | 13.62   | 15.26       |
|              | 50              | 12.40   | 14.48  | 14.14   | 15.89       |
|              | 100             | 12.94   | 15.00  | 14.64   | 16.51       |
| Ölduátt      |                 | 14.0%   | 36.0%  | 50.0%   | 100%        |

**Tafla 3.4 : Líkindadreifing öldu á hafi fyrir suðlægar áttir (SA, S og SV), byggt á ölduspá NMI á Selvogsbanka 1987-1993.**

### 3.2.3 ÖLDUMÆLINGAR VIÐ GRINDAVÍK

Öldumælidufl hefur verið staðsett út af Grindavík, á 63° 48.80 N, 22° 27.63 V á 62m dýpi, frá því í nóvember 1994. Mælingar hafa verið nokkuð samfelldar síðan.

Til að fá mat á langtíma ölduspá fyrir Grindavík má bera saman annars vegar langtíma ölduspá fyrir Garðskaga og Surtsey og hins vegar spá sem byggir á gögnum fyrir sama tímabil og Grindavíkur mælingarnar hafa staðið yfir. Tafla 3.5 sýnir þessa

útreikninga. Fyrstu tveir dálkarnir sýna langtímaspá fyrir Garðskaga og Surtsey (sbr. töflur 3.1 og 3.2), næstu dálkar sýna spár fyrir tímabilið nóvember 1994 til febrúar 1996 á sömu stöðum og frávik þessarar spár frá langtímaspánni. Meðaltal frávikanna er síðan notað til að leiðrétta ölduspána fyrir Grindavík og fæst þá sú langtíma ölduspá sem búast má við að gildi, þar sem duflið er staðsett.

| Tíðni  | Garðsk.<br>Langt.<br>'88-'95<br>Hs<br>(m) | Surtsey<br>Langt.<br>'88-'96<br>Hs<br>(m) | Garðskagi<br>Nóv.94-Feb.96 |     | Surtsey<br>Nóv.94-Feb.96 |    | Meðalt<br>% | Grindavík<br>Nóv.94-<br>Feb.96 |                     |
|--------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------|-----|--------------------------|----|-------------|--------------------------------|---------------------|
|        |                                           |                                           | Hs<br>(m)                  | %   | Hs<br>(m)                | %  |             | Hs<br>(m)                      | Langt.<br>Hs<br>(m) |
| 60%    | 2.6                                       | 3.4                                       | 2.5                        | 96  | 3.1                      | 91 | 94          | 2.5                            | 2.7                 |
| 70%    | 3.1                                       | 3.9                                       | 3.0                        | 96  | 3.6                      | 93 | 94          | 3.0                            | 3.1                 |
| 80%    | 3.7                                       | 4.7                                       | 3.6                        | 98  | 4.3                      | 91 | 95          | 3.6                            | 3.8                 |
| 90%    | 4.8                                       | 5.8                                       | 4.7                        | 98  | 5.4                      | 93 | 95          | 4.6                            | 4.8                 |
| 95%    | 5.8                                       | 6.9                                       | 5.7                        | 99  | 6.4                      | 93 | 96          | 5.5                            | 5.7                 |
| 98%    | 7.2                                       | 8.2                                       | 7.0                        | 98  | 7.7                      | 94 | 96          | 6.6                            | 6.8                 |
| 99%    | 8.1                                       | 9.1                                       | 8.0                        | 99  | 8.6                      | 95 | 97          | 7.4                            | 7.6                 |
| 1 ár   | 12.5                                      | 13.0                                      | 12.8                       | 102 | 12.3                     | 95 | 98          | 10.9                           | 11.1                |
| 5 ár   | 14.3                                      | 14.5                                      | 14.7                       | 103 | 13.9                     | 96 | 99          | 12.3                           | 12.4                |
| 10 ár  | 15.1                                      | 15.2                                      | 15.5                       | 103 | 14.5                     | 96 | 99          | 12.8                           | 13.0                |
| 25 ár  | 16.1                                      | 16.0                                      | 16.6                       | 103 | 15.4                     | 96 | 99          | 13.6                           | 13.6                |
| 50 ár  | 16.8                                      | 16.6                                      | 17.4                       | 103 | 16.0                     | 96 | 100         | 14.1                           | 14.1                |
| 100 ár | 17.5                                      | 17.2                                      | 18.2                       | 104 | 16.6                     | 96 | 100         | 14.6                           | 14.6                |

**Tafla 3.5 : Líkindadreifing öldu eftir ölduátt byggt á ölduspá NMI.**

Í töflu 3.6 er, á sama hátt og fyrir duflin við Garðskaga og Surtsey í töflu 3.1 og 3.2, sett fram mat á langtímaölduspá fyrir Grindavík ásamt sveiflutíma og varanleika.

| % af<br>tímanum | Endurkomu-<br>tími | Hs<br>(m) | Tp<br>(s) | Tz<br>(s) | Varanleiki<br>(klst) |
|-----------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| 60              |                    | 2.7       | 7.4       | 5.7       | 26                   |
| 70              |                    | 3.1       | 7.9       | 6.1       | 22                   |
| 80              |                    | 3.8       | 8.8       | 6.8       | 18                   |
| 90              |                    | 4.8       | 9.9       | 7.6       | 14                   |
| 95              |                    | 5.7       | 10.7      | 8.3       | 12                   |
| 98              |                    | 6.8       | 11.7      | 9.0       | 10                   |
| 99              |                    | 7.6       | 12.4      | 9.5       | 9                    |
|                 | 1                  | 11.1      | 15.0      | 11.5      | 6                    |
|                 | 5                  | 12.4      | 15.9      | 12.2      | 5                    |
|                 | 10                 | 13.0      | 16.2      | 12.5      | 5                    |
|                 | 25                 | 13.6      | 16.6      | 12.8      | 5                    |
|                 | 50                 | 14.1      | 16.9      | 13.0      | 5                    |
|                 | 100                | 14.6      | 17.2      | 13.2      | 5                    |

**Tafla 3.6 : Langtíma ölduspá fyrir öldudufl utan Grindavíkur byggð á öldumælingum.**

### 3.2.4 ÖLDUMYNDUN

Þegar vindur blæs yfir hafflötinn yfirfærast orka úr vindinum yfir í öldur. Fyrst myndast stuttar vindöldur, en ef vindur heldur áfram að blása lengjast öldurnar og þyngjast. Þær stærðir sem hafa áhrif á hve háar og langar öldur verða eru vindhraði, varanleiki storms og aðdrag, en það er lengd þess hafflatar sem vindur blæs yfir. Blási vindur nægilega lengi yfir hafsvæði með ákveðnu aðdragi nær alda ákveðinni hæð fyrir hvern vindhraða og er þá sagt að aldan sé fullmynduð. Tafla 3.7 gefur hugmynd um hvernig alda myndast.

|                | 7 vindstig<br>14.7 m/s |           |           | 9 vindstig<br>21.5 m/s |           |           | 11 vindstig<br>29.1 m/s |           |           |
|----------------|------------------------|-----------|-----------|------------------------|-----------|-----------|-------------------------|-----------|-----------|
| Aðdrag<br>(km) | Varanleiki<br>(klst)   | Hs<br>(m) | Tp<br>(s) | Varanleiki<br>(klst)   | Hs<br>(m) | Tp<br>(s) | Varanleiki<br>(klst)    | Hs<br>(m) | Tp<br>(s) |
| 10             | 1.7                    | 0.75      | 3.3       | 1.5                    | 1.2       | 3.8       | 1.3                     | 1.5       | 4.2       |
| 25             | 3.0                    | 1.2       | 4.5       | 2.8                    | 1.7       | 5.0       | 2.4                     | 2.5       | 5.6       |
| 50             | 5.0                    | 1.7       | 5.6       | 4.3                    | 2.4       | 6.3       | 4.0                     | 3.4       | 7.0       |
| 100            | 7.8                    | 2.5       | 7.2       | 7.0                    | 3.5       | 8.0       | 6.3                     | 4.8       | 9.0       |
| 500            | 24.0                   | 5.5       | 12.0      | 20.0                   | 7.7       | 14.0      | 18.0                    | 11.0      | 15.0      |
| 1000           |                        |           |           | 32.0                   | 11.0      | 17.0      | 28.0                    | 15.0      | 19.0      |

**Tafla 3.7 : Fullmynduð alda, ölduhæð og sveiflutími, og nauðsynlegur varanleiki fyrir mismunandi aðdrag og vindhraða. (Byggt á: Shore Protection Manual, 1984)**

### 3.2.5 ÖLDUSVEIGJA

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

#### 3.2.5.1 ÖLDUSVEIGJUFORRITID HISWA

Útreikningarnir eru gerðir með öldusveigjuforriti, HISWA, sem þróað er hjá Delft Hydraulics í Hollandi og er því lýst stuttlega hér á eftir.

Hefðbundnir öldusveigjureikningar nota yfirleitt aðferðir sem byggja á að reikna ölduslóðina frá ákveðnum punkti. Forritið HISWA byggir aftur á móti á að stuðlar eru notaðir til þess að lýsa orkujafnvægi ölduhreyfingarinnar. Orkujafnvægið er skilgreint sem ölduorka deilt með viðkomandi tíðni. Útbreiðsla öldunnar byggir á línulegum aðferðum og er ölduhreyfingin rakin stig af stigi í hreyfingarstefnu samkvæmt því reiknineti sem skilgreint er af notandanum. Dýpi og krappi öldunnar eru hluti af þeim stuðlum sem forritið notar til að lýsa ölduhreyfingunni. Mögulegt er að gera ráð fyrir því að orka eyðist í kerfinu vegna núnings við botn eða með því að aldan brotnar þegar hún kemur upp á grunnslóð. Einnig er hægt að gera ráð fyrir viðbótarorku í kerfinu

vegna áhrifa frá vindi, sjávarföllum eða straumum. HISWA gerir ekki ráð fyrir öldubogun (diffraction).

Eitt einkenni hafalda er að öldufaldar hafa takmarkaða lengd og að öldur í sama sjólagi hafa ekki allar nákvæmlega sömu stefnu. Almenna reglan er sú að stuttar vindöldur hafa styttri öldufalda og meiri stefnudreifingu, en lengri og þyngri öldur hafa lengri öldufalda og minni stefnudreifingu. Ein breytan sem HISWA vinnur með lýsir einmitt þessari stefnudreifingu og mælir hornið frá meðalstefnu sem ákveðinn hluti öldu-orkunnar liggur innan.

Einn kosturinn við HISWA öldusveigjuna er að reikningarnir fara fram á fínna og fínna neti eftir því sem nær dregur ströndinni. Þannig er reiknigeta forritsins nýtt best. Á opnu hafi þarf að taka fyrir stór hafsvæði þ.a. niðurstöðurnar verði réttar inn við ströndina, á þeim stað sem áhuginn beinist að. Þar er dýpi yfirleitt mikið og því hafa staðbundnar breytingar á botni ekki mikil áhrif á ölduna. Því getur botnnetið verið gróft þar. Þegar komið er nær ströndinni er unnt að taka fyrir minni hafsvæði, en þá þarf líka að taka meira tillit til dýpisbreytinga og því þarf botnnetið að vera fínna. Oft er það þannig að reiknigeta forritsins er nær fullnýtt frá ysta neti til hins innsta.

Niðurstöður úr forritinu er bæði hægt að fá á töfluformi og á myndum. Til að birta niðurstöður á töfluformi eru valdir ákveðnir öldustuðlar og þeir gefnir upp í fyrirfram ákveðnum punktum. Hægt er að velja úr nokkuð mörgum stuðlum, grunnupplýsingarnar eru ölduhæð, öldustefna og sveiflutími, en þar fyrir utan má nefna stefnudreifingu öldunnar, krappa hennar, agnahraða vegna ölduhreyfingar á botni, hlutfall brjótandi alda o.fl. Á myndrænu formi er hægt að velja um tvo möguleika, annars vegar jafnhæðarlínur fyrir hinar ýmsu stærðir og hins vegar stefnu örvar fyrir öldustefnu, straumstefnu, krafta o.fl.

### 3.2.5.2 KORTAGRUNNUR

Við útreikninga á sveigju öldunnar upp að ströndinni og inn að Grindavík var notaður sjávarbotn sem hnitaður var upp af sjókortum og dýptarmælingum. Svæðið suðvestur af landinu var fengið af sjókorti nr. 31 Dyrhólaey-Snæfellsnes sem er í mælikvarða 1:300.000. Ennfremur var stuðst við dýptarmælingar (C-2745, C-2746) fyrir Grindavík, sem gerðar hafa verið af Hafnamálastofnun. Öll sjókortin eru gefin út af Sjósmælingum Íslands.

### 3.2.5.3 BOTN- OG REIKNINET

Öldusveigjuforritið HISWA keyrir á rétthyrndu botnneti. Forritið SURFER var notað til að breyta hnituum gögnum í botnnet með ákveðinni möskvastærð. Þessi botnnet eru tiltölulega gróf yst en fínna þegar kemur inn að ströndinni og fínust inn við Grindavíkurböfn. Í öldusveigjureikningum er síðan lagt reikninet ofan á botnnetið. X-ás reikninarsins er lagður eftir öldustefnunni. Netin sem notuð voru við öldureikninga fyrir úthafsöldu úr r.v. 225°, 180° að Grindavík eru sýnd í viðauka.

### 3.2.6 ÖLDUSVEIGJA, YFIRLIT YFIR KEYRSLUR

Öldusveigjureikningarnir byggja á úthafsöldum skv. langtímaölduspá við Garðskaga. Keyrð var stefnuháð líkindadreifing á hafi með stefnudreifingu skv. norsku ölduspánni

(tafla 2a), eins og sýnt er í töflu 5. Langtímaspánni á Garðskaga er þá skipt upp í sömu hlutföllum og norska spáin segir til um eftir stefnum. Öldusveigjureikningar voru gerðir fyrir úthafsöldur með suðvestlægar (225°), suðlægar (180°) og suðaustlægar (135°) stefnur. Reiknað var fyrir öldur með 90% og 98% tíðni og 1árs og 100 ára endurkomutíma.

| % af tíma | Endurkomutími | 135° SA  |        | 180° S   |        | 225° SV  |        | Allar áttir |        |
|-----------|---------------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|-------------|--------|
|           |               | Hrms (m) | Tz (s) | Hrms (m) | Tz (s) | Hrms (m) | Tz (s) | Hrms (m)    | Tz (s) |
| 90%       |               |          |        | 3.11     | 8.54   | 3.46     | 8.66   | 4.80        | 7.6    |
| 98%       |               | 3.91     | 8.82   | 6.05     | 9.58   | 6.14     | 9.62   | 7.20        | 10.0   |
|           | 1             | 9.70     | 10.93  | 11.97    | 11.80  | 11.78    | 11.72  | 12.50       | 12.0   |
|           | 100           | 14.98    | 12.98  | 17.44    | 13.98  | 17.02    | 13.80  | 17.50       | 14.0   |
| Ölduátt   |               | 9.5%     |        | 24.4%    |        | 34.0%    |        | 100%        |        |

**Tafla 3.8: Stefnuháð líkindadreifing öldu á hafi sem keyrð var í öldusveigjureikningum**

Yfirlit yfir þá öldusveigjureikninga sem framkvæmdir voru er sýnt í töflu 3.9. Þar kemur fram að 98% aldan fyrir suðvestlæga stefnu var einnig reiknuð fyrir hærri sveiflutíma og að nokkrir reikningar voru gerðir fyrir meðalstórstraumsfjöru.

| Stefna | Hs (m) | Tz (s) | Sjávarh. (m) |
|--------|--------|--------|--------------|
| 225°   | 3.46   | 8.66   | +3.35        |
| “      | 6.14   | 9.62   | “            |
| “      | 11.8   | 11.7   | “            |
| “      | 17.0   | 13.8   | “            |
| “      | 6.14   | 11.15  | “            |
| “      | 6.14   | 12.69  | “            |
| “      | 3.46   | 8.66   | +0.15        |
| “      | 6.14   | 9.62   | “            |
| 180°   | 3.11   | 8.54   | +3.35        |
| “      | 6.10   | 9.60   | “            |
| “      | 12.0   | 11.80  | “            |
| “      | 17.40  | 14.0   | “            |
| “      | 3.11   | 8.54   | +0.15        |
| “      | 6.10   | 9.60   | “            |
| 135°   | 3.91   | 9.62   | +3.35        |
| “      | 9.7    | 10.93  | “            |

**Tafla 3.9: Yfirlit yfir öldusveigjureikninga.**

### 3.2.7 NIÐURSTÖÐUR ÚTREIKNINGA

Öldusveigjuforritið er látið skila niðurstöðum í nokkrum punktum frá dufla inn að Grindavíkurhöfn. Staðsetningu punktana má sjá á botnnetum í viðauka.

Í töflu 3.10-3.12 hér að neðan eru teknar saman helstu niðurstöður ölduhæðareikninganna við dufl á 62 m dýpi og meðaltal punkta 1 og 2 sem liggja á um 20 m dýpi á innsiglingarlínunni, en það er fyrsti mælistaðurinn í vatnslíkaninu.

Ekki er talið að öldusveigjureikningarnir gefi marktækar niðurstöður fyrir innan þá punkta. Í töflunum er einnig gefir hlutfall öldu í viðkomandi punkti og úthafsöldu.

|                                      | 225°<br>90%<br>Hs=3.46m, Tz=8.66s |          |              | 225°<br>98%<br>Hs=6.14m, Tz=9.62s |          |              | 225°<br>1ár<br>Hs=11.8m, Tz=11.7s |          |              | 225°<br>100ár<br>Hs=17.0m, Tz=13.8s |          |              |
|--------------------------------------|-----------------------------------|----------|--------------|-----------------------------------|----------|--------------|-----------------------------------|----------|--------------|-------------------------------------|----------|--------------|
|                                      | Hs                                | stefna   |              | Hs                                | stefna   |              | Hs                                | stefna   |              | Hs                                  | stefna   |              |
|                                      | [m]                               | %        |              | [m]                               | %        |              | [m]                               | %        |              | [m]                                 | %        |              |
| Sjávarstaða<br>+3.35m<br>Dufl<br>1-2 | 3.33<br>2.83                      | 96<br>82 | 224°<br>216° | 5.68<br>4.94                      | 93<br>80 | 223°<br>213° | 9.89<br>9.68                      | 84<br>82 | 219°<br>209° | 13.44<br>13.56                      | 79<br>80 | 217°<br>206° |
| Sjávarstaða<br>+0.15m<br>Dufl<br>1-2 | 3.30<br>2.81                      | 95<br>81 |              | 5.61<br>4.88                      | 91<br>79 |              |                                   |          |              |                                     |          |              |

**Tafla 3.10 : Ölduhæðir og stefnur fyrir úthafsöldu úr 225° .**

|                                      | 180°<br>90%<br>Hs=3.11m, Tz=8.54s |          |              | 180°<br>98%<br>Hs=6.10m, Tz=9.60s |          |              | 180°<br>1ár<br>Hs=12.0m, Tz=11.8s |          |              | 180°<br>100ár<br>Hs=17.4m, Tz=14.0s |          |              |
|--------------------------------------|-----------------------------------|----------|--------------|-----------------------------------|----------|--------------|-----------------------------------|----------|--------------|-------------------------------------|----------|--------------|
|                                      | Hs                                | stefna   |              | Hs                                | stefna   |              | Hs                                | stefna   |              | Hs                                  | stefna   |              |
|                                      | [m]                               | %        |              | [m]                               | %        |              | [m]                               | %        |              | [m]                                 | %        |              |
| Sjávarstaða<br>+3.35m<br>Dufl<br>1-2 | 3.07<br>2.86                      | 99<br>92 | 180°<br>179° | 5.93<br>5.59                      | 97<br>92 | 180°<br>179° | 11.31<br>10.98                    | 94<br>92 | 180°<br>179° | 16.27<br>14.47                      | 94<br>83 | 180°<br>179° |
| Sjávarstaða<br>+0.15m<br>Dufl<br>1-2 | 3.07<br>2.85                      | 99<br>92 | 180°<br>179° | 5.91<br>5.62                      | 97<br>92 | 180°<br>179° |                                   |          |              |                                     |          |              |

**Tafla 3.11 : Ölduhæðir og stefnur fyrir úthafsöldu úr 180°.**

|                                      | 135°<br>98%<br>Hs=3.91m, Tz=9.62s |          |              | 135°<br>1 ár<br>Hs=9.70m, Tz=10.93s |          |              |
|--------------------------------------|-----------------------------------|----------|--------------|-------------------------------------|----------|--------------|
|                                      | Hs                                | stefna   |              | Hs                                  | stefna   |              |
|                                      | [m]                               | %        |              | [m]                                 | %        |              |
| Sjávarstaða<br>+3.35m<br>Dufl<br>1-2 | 3.86<br>3.01                      | 99<br>77 | 135°<br>146° | 8.81<br>7.54                        | 91<br>78 | 138°<br>151° |

**Tafla 3.12 : Ölduhæðir og stefnur fyrir úthafsöldu úr 135°.**

#### Áhrif tíðni úthafsöldu:

Það kemur vel fram í þessum keyrslum að Grindavík er fyrir opnu hafi. Þannig hækkar alda á duflum við hverja hækkun öldu á hafi. Þessu er öfugt farið innarlega í Faxaflóa

þar sem úthafsaldan nær vissu hámarki og hækkar ekki þegar alda á hafi fer yfir þessi mörk.

Hlutfall öldu á dufli og öldu á hafi lækkar lítillega með hærri öldu, þó mismikið eftir stefnum. Fyrir SV átt er þetta hlutfall 96% fyrir öldu með 90% tíðni, en lækkar í 79% fyrir öldu með 100 ára endurkomutíma. Sambærilegar tölur fyrir S áttina eru 99% og 94%.

Aftur á móti gætir öldusveigjuáhrifa mun meira í punktum 1 og 2, heldur en á duflinu. Þannig helst hlutfall öldu þar í suðvestanátt nokkuð fast fyrir öldur með 90% tíðni upp í öldu með 100 ára endurkomu tíma, eða frá 82% niður í 80%. Í sunnan átt er þetta hlutfall 92% fyrir öldur með 90% tíðni og upp í 1 árs endurkomutíma, en fyrir 100 ára endurkomutíma fellur hlutfallið niður í 83%.

#### Áhrif stefnu úthafsöldu:

Að jafnaði kemur hæst hlutfall úthafsöldu inn að dufli úr hreinni sunnanátt. Fyrir úthafsöldu með 90% tíðni kemst 99% sunnaáttarinnar inn, en 96% suðvestanáttarinnar. Fyrir úthafsöldu með 1 árs endurkomutíma kemst 94% sunnanáttarinnar inn að dufli, 91% suðaustanáttarinnar og 84% suðvestanáttarinnar.

Punktar 1 og 2 á innsiglingarlínunni eru komnir í meira skjól fyrir suðaustanáttinni. Fyrir úthafsöldu með 1 árs endurkomutíma kemst 92% sunnanáttarinnar, 82% suðvestanáttarinnar, en 78% suðaustanáttarinnar.

#### Áhrif sveiflutíma:

Tafla 3.13 sýnir niðurstöður úr þremur keyrslum með fastri ölduhæð en mismunandi sveiflutímum. Á dufli lækkar aldan þegar sveiflutíminn lengist, úr 93% í 81% við 3 sekúndu lengingu. En þessu er öfugt farið í punktum 1 og 2, þar sem aldan hækkar úr 80% í 86%.

|                    | 225°<br>98%<br>Hs=6.14m, Tz=9.62s |    |        | 225°<br>98%<br>Hs=6.14m, Tz=11.15s |    |        | 225°<br>98%<br>Hs=6.14m, Tz=12.69s |    |        |
|--------------------|-----------------------------------|----|--------|------------------------------------|----|--------|------------------------------------|----|--------|
|                    | Hs<br>[m]                         | %  | stefna | Hs<br>[m]                          | %  | stefna | Hs<br>[m]                          | %  | stefna |
| Sjávarstaða +3.35m |                                   |    |        |                                    |    |        |                                    |    |        |
| Dufl               | 5.68                              | 93 | 223°   | 5.28                               | 86 | 221°   | 5.00                               | 81 | 219°   |
| 1-2                | 4.94                              | 80 | 213°   | 5.02                               | 82 | 210°   | 5.27                               | 86 | 207°   |

**Tafla 3.13: Áhrif sveiflutíma á öldusveigju suðvestanáldu með 98% tíðni.**

#### Áhrif sjávarhæðar:

Samanburður á ölduhæð fyrir stórstraumsflóð (+3.35m) og stórstraumsfjöru (+0.15m) var gerður fyrir úthafsöldur með 90% og 98% tíðni fyrir 225° og 180° stefnu, og er munur hverfandi upp að 20 m dýpi. Þetta kemur fram á dreifiriti þar sem ölduhæð á dufli er teiknuð sem fall af mældri sjávarstöðu innan hafnar. Þar er ekki að sjá neina fylgni ölduhæðar og sjávarstöðu. Fyrir ofan 20 m dýpi er ölduhæð aftur á móti mjög háð sjávarstöðu, eins og mælingar í vatnslíkani sýna.

### 3.2.8 KVÖRÐUN ÖLDUSVEIGJU REIKNINGA MIÐAÐ VIÐ LÍKINDADREIFINGU SUÐLÆGRA ÁTTA EINGÖNGU

Í kafla 3.2.2 var gerð sérstök líkindadreifing öldu á hafi fyrir suðlægu áttirnar þrjár, suðaustan, sunnan og suðvestan átt, tafla 3.4. Í kafla 3.2.6 var unnin stefnuháð líkindadreifing öldu byggð á gögnum fyrir allar áttir, tafla 3.8. Í töflu 3.14 er gerð sams konar stefnuháð líkindadreifing nema að einungis er tekið tillit til suðlægra átta.

| % af tíma | Endurkomu-tími | 135° SA  |        | 180° S   |        | 225° SV  |        | Allar áttir |        |
|-----------|----------------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|-------------|--------|
|           |                | Hrms (m) | Tz (s) | Hrms (m) | Tz (s) | Hrms (m) | Tz (s) | Hrms (m)    | Tz (s) |
| 90%       |                |          |        | 3.62     | 8.72   | 3.86     | 8.80   | 4.80        | 7.6    |
| 98%       |                | 4.26     | 8.94   | 6.29     | 9.67   | 6.33     | 9.68   | 7.20        | 10.0   |
|           | 1              | 9.39     | 10.81  | 11.52    | 11.62  | 11.31    | 11.54  | 12.50       | 12.0   |
|           | 100            | 13.72    | 12.48  | 15.90    | 13.35  | 15.52    | 13.20  | 17.50       | 14.0   |
| Ölduátt   |                | 14.0%    |        | 36.0%    |        | 50.0%    |        | 100%        |        |

**Tafla 3.14: Stefnuháð líkindadreifing öldu miðað við suðlægar áttir eingöngu, SA, S og SV.**

Niðurstöður öldusveigjureikninganna má kvarða til samræmis við þessa reikninga. Niðurstöður þess eru sýndar í töflum 3.15-3.17.

|                    | 225°<br>90%<br>Hs=3.86m, Tz=8.80s |    |        | 225°<br>98%<br>Hs=6.33m, Tz=9.68s |    |        | 225°<br>1ár<br>Hs=11.31m, Tz=11.5s |    |        | 225°<br>100ár<br>Hs=15.52m, Tz=13.2s |    |        |
|--------------------|-----------------------------------|----|--------|-----------------------------------|----|--------|------------------------------------|----|--------|--------------------------------------|----|--------|
|                    | Hs [m]                            | %  | stefna | Hs [m]                            |    | stefna | Hs [m]                             |    | stefna | Hs [m]                               |    | stefna |
| Sjávarstaða +3.35m |                                   |    |        |                                   |    |        |                                    |    |        |                                      |    |        |
| Dufl               | 3.71                              | 96 | 224°   | 5.86                              | 93 | 223°   | 9.48                               | 84 | 219°   | 12.26                                | 79 | 217°   |
| 1-2                | 3.16                              | 82 | 216°   | 5.09                              | 80 | 213°   | 9.28                               | 82 | 209°   | 12.36                                | 80 | 206°   |
| Sjávarstaða +0.15m |                                   |    |        |                                   |    |        |                                    |    |        |                                      |    |        |
| Dufl               | 3.68                              | 95 |        | 5.78                              | 91 |        |                                    |    |        |                                      |    |        |
| 1-2                | 3.13                              | 81 |        | 5.03                              | 79 |        |                                    |    |        |                                      |    |        |

**Tafla 3.15 : Leiðréttar ölduhæðir og stefnur fyrir úthafsöldu úr 225° .**

|                                      | 180°<br>90%<br>Hs=3.62m, Tz=8.72s        | 180°<br>98%<br>Hs=6.29m, Tz=9.67s        | 180°<br>1ár<br>Hs=11.52m,<br>Tz=11.62s     | 180°<br>100ár<br>Hs=15.9m, Tz=13.35s       |
|--------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
|                                      | Hs<br>[m]      stefna<br>%               | Hs<br>[m]      stefna<br>%               | Hs<br>[m]      stefna<br>%                 | Hs<br>[m]      stefna<br>%                 |
| Sjávarstaða<br>+3.35m<br>Dufl<br>1-2 | 3.57    99    180°<br>3.33    92    179° | 6.17    97    180°<br>5.76    92    179° | 10.88    97    180°<br>10.57    92    179° | 14.83    94    180°<br>13.19    83    179° |
| Sjávarstaða<br>+0.15m<br>Dufl<br>1-2 | 3.57    99    180°<br>3.32    92    179° | 6.09    97    180°<br>5.80    92    179° |                                            |                                            |

Tafla 3.16 : Leiðréttar ölduhæðir og stefnur fyrir úthafsöldu úr 180°.

|                                      | 135°<br>98%<br>Hs=4.26m, Tz=8.94s        | 135°<br>1 ár<br>Hs=9.39m, Tz=10.81s      |
|--------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|
|                                      | Hs<br>[m]      stefna<br>%               | Hs<br>[m]      stefna<br>%               |
| Sjávarstaða<br>+3.35m<br>Dufl<br>1-2 | 4.21    99    135°<br>3.28    77    146° | 8.53    91    138°<br>7.30    78    151° |

Tafla 3.17 : Leiðréttar ölduhæðir og stefnur fyrir úthafsöldu úr 135°.

### 3.2.9 SAMANBURÐUR ÖLDUSVEIGJUREIKNINGA OG ÖLDUMÆLINGA

Nú má bera saman niðurstöður öldusveigjureikninganna og langtímaölduspá fyrir mælingar á duflinu við Grindavík.

Niðurstaða öldusveigjuútreikninga á dufli fyrir hverja stefnu er umreiknuð hlutfallslega skv. töflu 3.14 til að fá niðurstöður óháðar stefnum. Vegið meðaltal þessara stefnuóháðu ölduhæða við dufl er síðan borið saman við langtímaölduspá á Grindavíkurdúflinu. Í ljós kemur að frávik öldusveigjureikninga á dufli frá langtímaölduspá byggðri á mælingum er aðeins um 1-2%.

| Tíðni<br>öldu  | Endur-<br>komu-<br>tími | Öldu-<br>mæling<br>á dufli | SA          |                | Öldusveigja<br>S |                | SV          |                | Vegið<br>meðal-<br>tal<br>óháð<br>stefnu | Frávik<br>frá<br>mælingu<br>á dufli |
|----------------|-------------------------|----------------------------|-------------|----------------|------------------|----------------|-------------|----------------|------------------------------------------|-------------------------------------|
|                |                         |                            | 135°        | óháð<br>stefnu | 180°             | óháð<br>stefnu | 225°        | óháð<br>stefnu |                                          |                                     |
| (% af<br>tíma) | (ár)                    | Hrms<br>(m)                | Hrms<br>(m) | Hrms<br>(m)    | Hrms<br>(m)      | Hrms<br>(m)    | Hrms<br>(m) | Hrms<br>(m)    | Hrms<br>(m)                              |                                     |
| 90%            |                         | 4.8                        |             |                | 3.57             | 4.73           | 3.71        | 4.61           | 4.7                                      | 2%                                  |
| 98%            |                         | 6.8                        | 4.21        | 7.12           | 6.17             | 7.06           | 5.86        | 6.67           | 6.9                                      | 1%                                  |
|                | 1                       | 11.1                       | 8.53        | 11.36          | 10.88            | 11.81          | 9.48        | 10.48          | 11.1                                     | 0%                                  |
|                | 100                     | 14.6                       |             |                | 14.83            | 16.32          | 12.26       | 13.82          | 14.9                                     | 2%                                  |

**Tafla 3.18: Samanburður á ölduhæð við dufl skv. mælingum og öldusveigjureikningum.**

Þannig er mjög góð samsvörun milli langtímaölduspár á hafi og öldusveigjureikninga inn að strönd annars vegar og langtímaölduspár fyrir Grindavíkur duflið hins vegar. Því er mögulegt að nota öldusveigjureikningana við ákvörðun á langtímaölduspá á 20 m dýpi utan Grindavíkur, þar sem ölduvélarnar verða í vatnslíkaninu.

### 3.2.10 LANGTÍMA ÖLDUSPÁ FYRIR PUNKT Á 20 M DÝPI UTAN GRINDAVÍKUR

Töflur 3.19 og 3.20 gefa stefnuháða líkindadreifingu öldu fyrir punkt á 20 m dýpi utan Grindavíkur, annars vegar fyrir allar áttir og hins vegar fyrir suðlægar áttir eingöngu.

| Tíðni       | Endurkomu-<br>tími | 135°<br>SA<br>Hrms<br>(m) | 180°<br>S<br>Hrms<br>(m) | 225°<br>SV<br>Hrms<br>(m) |
|-------------|--------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| (% af tíma) | (ár)               |                           |                          |                           |
| 90%         |                    |                           | 2,86                     | 2,83                      |
| 98%         |                    | 3,01                      | 5,59                     | 4,94                      |
|             | 1                  | 7,54                      | 10,98                    | 9,68                      |
|             | 100                |                           | 14,47                    | 13,56                     |

**Tafla 3.19: Stefnuháð líkindadreifing öldu á 20 m dýpi miðað við allar áttir.**

| Tíðni       | Endurkomu-<br>tími | 135°<br>SA<br>Hrms<br>(m) | 180°<br>S<br>Hrms<br>(m) | 225°<br>SV<br>Hrms<br>(m) |
|-------------|--------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| (% af tíma) | (ár)               |                           |                          |                           |
| 90%         |                    |                           | 3,33                     | 3,16                      |
| 98%         |                    | 3,28                      | 5,76                     | 5,09                      |
|             | 1                  | 7,30                      | 10,57                    | 9,28                      |
|             | 100                |                           | 13,19                    | 12,36                     |

**Tafla 3.20: Stefnuháð líkindadreifing öldu á 20 m dýpi miðað við suðlægar áttir eingöngu, SA, S og SV.**

### 3.2.11 YFIRFÆRSLA ÖLDU Á 20 M DÝPI YFIR Á DUFL OG ÚTHAF

Við talningu á öldubrotum í vatnslíkani var mikið unnið með ölduhæðir í líkani á 20 m dýpi milli 5 og 6 m. Í töflu 3.21 eru þessar ölduhæðir umreiknaðar yfir í SV öldu á dufl og á úthafi og síðan yfir í öldu með sömu líkindi, en óháð stefnu á hvorum stað fyrir sig.

| Punktur<br>1-2<br>Hrms<br>(m) | Gryk.dufl<br>SV<br>Hrms<br>(m) | Gryk.dufl<br>óháð stefnu<br>Hrms<br>(m) | Úthaf<br>SV<br>Hrms<br>(m) | Úthaf<br>óháð stefnu<br>Hrms<br>(m) |
|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| 5.0                           | 5.76                           | 6.7                                     | 6.2                        | 7.1                                 |
| 5.2                           | 6.00                           | 7.0                                     | 6.5                        | 7.4                                 |
| 5.4                           | 6.22                           | 7.2                                     | 6.7                        | 7.6                                 |
| 5.6                           | 6.45                           | 7.5                                     | 7.0                        | 7.9                                 |
| 5.8                           | 6.68                           | 7.8                                     | 7.2                        | 8.2                                 |
| 6.0                           | 6.91                           | 8.0                                     | 7.5                        | 8.5                                 |

**Tafla 3.21: Ölduhæð á 20 m dýpi yfirfærð á dufl og úthaf, annars vegar sem SV alda og hins vegar sem alda með sömu líkindi en óháð stefnu.**

### 3.3 VIÐAUKI VIÐ KAFLA 3

Mynd 1:a og 1:b      Dreifing ölduhæðar ( $H_{rms}$ ) sem fall af sveiflutíma ( $T_p$ )  
 Mynd 2:a og 2:b      Líkindadreifing skv. Weibull reiknilíkani  
 Mynd 3:a og 3:b      Varanleika ferlar (duration plots)

Yfirlit yfir botn- og reikninet      ( 3 blöð )



## 4. LÍKANTILRAUNIR

### 4.1 INNGANGUR

Til að skapa náttúrulegar aðstæður í líkaninu þurfa grunnbrot og straumar í innsiglingunni að svara til þess sem gerist í náttúrunni. Við uppsetningu líkansins er byggt á gögnum sem liggja fyrir og hönnunarforsendum, ásamt viðræðum við heimamenn. Tvær ölduáttir valda erfiðustu aðstæðum í innsiglingunni. Þær eru suðvestan- og sunnanátt. Innsiglingin er í talsverðri skjóli af öldu úr öðrum ölduáttum eins og öldusveigjуреikningarnir sýna. Sjávarhæðir í líkani er valdar með tilliti til siglinga skipa og er miðað við smástraumfjöru og stórstraumflóð og hönnunarsjávarstöðu.

Nauðsynlegt reyndist að hafa líkanið í mælikvarða 1: 60 til að skapa sem réttastar aðstæður varðandi grunnbrot, strauma og að hægt væri að sigla skipum í líkaninu. Á síðu 65 er sýnd afstöðumynd af líkaninu og þar sést að gólflötur, 20 \*40 m er notaður til hins ýtrasta. Grindavíkurlíkanið er ásamt Hornafjarðarlíkaninu stærstu hafnarlíkön sem gerð hafa verið hér á landi.

Leitast er við að kvarða ölduhæðir í líkaninu þar sem aldan er minnst trufluð af grunnbrotum og straumum. Minnst röskun á öldu og straumum er talin vera milli 20 og 10 m jafndýpislínanna þar sem innsiglingalínur úr Djúpsundinu og úr Ósmerkjunum skerast. Reiknuð hefur verið öldusveigja fyrir 3,5 m og 6,0 m háa kenniöldu úr suðvestri og suðri á smástraumfjöru og stórstraumflóði. Með því að tengja saman kenniöldu á hafi, við öldudufli og á svæðinu milli 20 og 10 m dýptarlínanna fæst beint samband milli hættulegasta hluta innsiglingarinnar og kenniöldu við dufl. Með þessari aðferð fæst kvörðun milli hafs og dufls og líkansins fyrir siglingu skipa í innsiglingunni.

Með því að mæla ölduhæðir í líkaninu í innsiglingaleiðinni fæst samband milli kenniöldu við dufl og ölduhæða í innsiglingunni. Einnig fæst samband milli fjölda grunnbrota í innsiglingunni og kenniöldu við dufl eftir ölduáttum. Kvarðað hefur verið líkan af 50 m löngum togara og 95 m löngu flutningaskipi sem eru fjarstýrð. Með því að sigla líkanskipunum við mismunandi aðstæður fæst samband milli siglingar skipanna og kenniöldu við dufl. Leitast er við að meta straumköst í innsiglingarennu en þau eru háð ölduhæð, ölduátt og sjávarstöðu. Innan hafnar er kennialdan og sogin mæld og hækkun sjávarstöðu vegna grunnbrota. Jafnframt eru öldur mældar framan við mannvirki á hönnunarstöðu.

#### 4.1.1 KVÖRÐUN ÖLDUHÆÐA Í LÍKANI

Í kafla 3. er gerð grein fyrir úthafsöldumælingum og öldumælingum við Grindavík ásamt öldusveigjуреikningum.

Við byggingu líkansins er tekið mið af að kvörðun ölduhæða fari fram framan við ytri hluta innsiglingarinnar. Út til hliða líkansins eru jaðarskilyrðin ekki rétt og ekki heldur innarlega í innsiglingunni en þar eru öldur margbrotnar. Því er kvörðun innarlega, t.d. innan Sundboðans óheppileg. Einna helst er að kvarða öldur milli 20 og 10 m dýpis og sem næst leiðalínunum úr Djúpsundinu og úr Ósmerkjunum. Með þessu móti eru mestar

líkur á að ölduhæðir sem leiða inn ytri hluta inn siglingarennunnar séu sem réttastar. Á mynd 4.2 á bls. 71 er sýnd staðsetning punkta sem öldusveigjureikningarnir eru miðaðir við og sem liggja á milli 20 og 10 m dýptarlínanna. Punktar 1 og 2 er á 20 m jafndýptarlínunni og því sem næst þar sem leiðarlínur úr Djúpsundinu og úr Ósmerkjunum skerast. Punktur 3A er á 14 m dýpi mitt á milli 20 og 10 m dýptarlína og þar sem innri mörk hvíta geirans úr Hópsnesvitanum liggja. Punktar 4 og 5A eru á 10 m dýpislínunni, pkt. 4 er framan við Djúpsundið og pkt. 5A framan við Ósmerkin. Til að fá sem nákvæmasta samband milli ölduhæða í Djúpsundinu og út af Ósmerkjunum er kvörðun valin milli ölduhæða við dufl og punkta 3A og 4 á leiðarlínu úr Djúpsundinu og pkt. 3A og 5A á leiðarlínu úr Ósmerkjunum.

Úrbætur á innsiglingunni miðast við að bæta aðstæður í brimi þegar kennialdan við dufl er lægri eða jafnhá öldu með tíðni milli 90 % til 98 % af tímanum. Við hærri öldu er innsiglingin lokuð. Því er valið að kvarða ölduhæðir í líkani við þessar ölduhæðir fyrir suðvestan- og sunnanáttir og á stórstraumsflóði og smástraumsfjöru.

Í töflu 5.1 er yfirlit yfir öldusveigjureikninga miðað við kenniöldur  $H_s = 3,46$  m og  $T_z = 8,5$  s og  $H_s = 6,14$  m og  $T_z = 11,15$  s.

| Ölduátt | Flóðhæð | Úthaf | Dufl | 1-2  | 3A   | 4    | 5A   |
|---------|---------|-------|------|------|------|------|------|
| 225°    | 3,35    | 3,46  | 3,33 | 2,84 | 2,42 | 1,95 | 2,09 |
| 225°    | 0,15    | 3,46  | 3,30 | 2,81 | 2,38 | 1,89 | 2,07 |
| 180°    | 3,35    | 3,11  | 3,07 | 2,85 | 2,80 | 2,16 | 2,59 |
| 180°    | 0,15    | 3,11  | 3,07 | 2,86 | 2,84 | 2,03 | 2,58 |

| Ölduátt | Flóðhæð | Úthaf | Dufl | 1-2  | 3A   | 4    | 5A   |
|---------|---------|-------|------|------|------|------|------|
| 225°    | 3,35    | 6,14  | 5,28 | 5,02 | 4,35 | 3,54 | 3,63 |
| 225°    | 1,14    | 6,14  | 5,23 | 5,09 | 4,45 | 3,60 | 3,69 |
| 180°    | 3,35    | 6,14  | 5,79 | 5,69 | 5,82 | 4,20 | 5,34 |
| 180°    | 1,14    | 6,14  | 5,78 | 5,73 | 5,90 | 3,95 | 5,12 |

Tafla 4.1 : Yfirlit yfir öldusveigjureikninga fyrir kenniöldur  $H_s = 3,46$  m og  $H_s = 6,14$  m

Staðsetning ölduvéla og svæðið sem líkanið náði yfir er sýnt á bls. 73 og eru ölduáttir ákvarðaðar samkvæmt öldusveigjureikningum 207° fyrir suðvestan átt ( 225°) og 180° fyrir sunnan átt ( 180°).

#### 4.1.2 VAL Á ÖLDUGERÐUM

Vandamál Grindavíkurhafnar eru ókyrrð og þrengsli í Ósnum, straumköst utan hafnar-mynnis og ölduhreyfing og sog innan hafnar. Jafnframt eru vandamál tengd þrengslum og grunnbrotum í ytri hluta innsiglingarinnar. Mat á aðstæðum við siglingu skipa í gegnum brimgarðinn og í öldu- og straumköstum eru ekki vel þekkt við líkantilraunir. Því hefur verið nauðsynlegt að þreifa sig áfram við val á mæliaðferðum og mæli-tæknin hefur verið að þróast smásaman á meðan á tilraunum hefur staðið. Í fyrstu var byrjað á að mæla öldur í innsiglingunni og var stuðst við tilbúna öldur sem hafa reynst vel við prófanir á hreyfingum skipa við bryggjur. Eftir talsverðar mælingar var

ákveðið að hverfa frá þessum öldum þar sem ólögin reyndust ekki vera í takt við raunveruleikann.

Því var leitað að þekktum brimum sem staðkunnugir þekktu og höfðu mælst nærri 6 m úr suðvestri við dufl. Valið var öldumæling frá 6 október 1994 á flóði. Af því veðri er til myndbandsupptaka. Einnig var stuðst við svipað veður frá 4 febrúar 1995. Þegar á tilraunirnar leið sýndi það sig að febrúar veðrið 1995 gaf svipaðar niðurstöður og veðrið frá október '96. Munurinn var einkum fólgin í að febrúar veðrið gaf lítið eitt hærri öldur við dufl en grunnbrotin voru ekki eins mikil og í októberveðrinu. Að lokum var eingöngu stuðst við októberveðrið og miðast helstu niðurstöður líkantilrauna við októberveðrið.

Mæliveðrin voru valin í samvinnu við Sverri Vilbergsson vaktstjóra. Fyrir valinu varð mælitímabil frá 6. október 1994 klukkan 1800 og 2100 síðdegis og frá 4. febrúar 1995 klukkan 0300 og 0600 um morguninn. Myndbandsupptaka er til af fyrra veðrinu sem Sverrir tók og kallast það öldugerð 94100618.grv. Þá var stórstraumsflóð klukkan 1830 og ölduhæð á dufli  $H_s = 5,5$  m og  $T_p = 14,3$  s og  $T_z = 11,4$  s. Klukkan 21 var ölduhæð  $H_s = 6,15$  m,  $T_p = 14,3$  s og  $T_z = 11,6$  s. Seinna veðrið nefnist 950-20403.grv, en þá var smástraumfjara klukkan 0430. Ölduhæð við dufl var klukkan 0300  $H_s = 5,87$  m,  $T_p = 14,4$  s og  $T_z = 10,0$  s en klukkan 0600 var  $H_s = 5,88$  m,  $T_p = 15,3$  s og  $T_z = 10,1$  s. Þessi veður eru algeng að því leyti að þau eru sambland af vind- og undiröldu.

Við mat á aðstæðum í Djúpsundinu voru gerðar öldumælingar eftir leiðarlínunni og sést staðsetning öldumæla á mynd 4.3 á bls. 72. Til að skapa réttar aðstæður í líkaninu var hver mæling keyrð einu sinni áður en mæling hefst. Síðan var mælt yfir tímabilið frá klukkan 18 og 21 fyrir veðrið 941006 og yfir tímabilið frá klukkan 18 og 21 fyrir veðrið 950204. Hver keyrsla í líkaninu tekur um 4 mínútur ( 33 mín. í náttúrunni ) þannig að mældar eru um 180 öldur í fyrra veðrinu en um 200 öldur í því seinna.

Við kvörðun á sambandinu milli ölduhæða við dufl og Djúpsundsins er tekið meðaltalið af ölduhæð á 14 m dýpi og 10 m dýpi,  $H_{sD} = ( 3A + 4 ) / 2$  og fyrir beina innsiglingu úr Ósmekjunum er tekið meðaltal af ölduhæð á 14m dýpi og 10 m dýpi,  $H_{sO} = ( 3A + 5A ) / 2$ .

Samband kenniöldu við dufl á bilinu 2 til 7 m og meðalölduhæðar fyrir Djúpsundið  $H_{s(3A+4)/2}$  og Ósmekin  $H_{s(3A+5A)/2}$  er fundin samkvæmt niðurstöðum öldusveigjureikninga í töflu 5.1:

#### Djúpsundið:

$$\text{Ölduátt } 225^\circ \quad H_{s \text{ dufl}} = 1,29 H_{s(3A+4)/2} + 0,25$$

$$\text{Ölduátt } 180^\circ \quad H_{s \text{ dufl}} = 1,13 H_{s(3A+4)/2} + 0,15$$

#### Bein innsigling:

$$\text{Ölduátt } 225^\circ \quad H_{s \text{ dufl}} = 1,28 H_{s(3A+5A)/2} + 0,21$$

$$\text{Ölduátt } 180^\circ \quad H_{s \text{ dufl}} = 1,00 H_{s(3A+5A)/2} + 0,17$$

Öldusveigjureikningarnir gefa eftirfarandi samband milli kenniöldu við dufl og á hafinu suður af landinu:



Ölduátt 225°:  $H_s = 1,39 H_{s_{dufl}} - 1,15$   
 Ölduátt 180°:  $H_s = 1,07 H_{s_{dufl}} - 0,12$

Hægt er að ákvarða ölduhæð við dufl með því að kvarða sambandið milli mögnunar á ölduvélum og ölduhæða á mælistöðum 3A, 4 og 5A.

Samband milli mögnunar á vél ( M ) og ölduhæðar við dufls,  $H_{s_{dufl}}$ :

Djúpsundið:

|              |                                |               |
|--------------|--------------------------------|---------------|
| Ölduátt 225° | $H_{s_{dufl}} = 2,03 M + 0,27$ | flóð og fjara |
| Ölduátt 180° | $H_{s_{dufl}} = 1,22 M + 1,20$ | flóð og fjara |

Bein innsigling:

|              |                                |       |
|--------------|--------------------------------|-------|
| Ölduátt 225° | $H_{s_{dufl}} = 2,21 M - 0,40$ | flóð  |
|              | $H_{s_{dufl}} = 2,13 M - 0,63$ | fjara |
| Ölduátt 180° | $H_{s_{dufl}} = 1,57 M + 0,36$ | flóð  |
|              | $H_{s_{dufl}} = 1,59 M - 0,31$ | fjara |

#### 4.1.3 KVÖRÐUN FJÖLDA GRUNNBROTA Í INNSIGLINGUNNI

Talning grunnbrota þróaðist smásaman og var ekki farið að telja grunnbrot markvisst fyrr en leið á tilraunirnar. Til að meta grunnbrotin í ytri hluta innsiglingarinnar eru öldubrotin talin og er greint á milli hvort um veltibrot er að ræða eða hvort öldur springa í toppinn. Eins er lögð áhersla á að finna viðmiðunar ölduhæðina þegar öldur fara að brotna og þegar öldur brotna og þegar fleiri öldur brotna í röð. Talningin fer þannig fram að taldar voru brjótandi öldur á svæðinu innan við 10 m jafndýptarlínu og frá 10 m jafndýptarlínu út á móts við hvíta geirann í Hópsnesvita.

Hver mæling er keyrð einu sinni áður en talning hefst. Síðan er mælt yfir tímabilið frá klukkan 18 og 21 fyrir veðrið 941006 og yfir tímabilið frá klukkan 18 og 21 fyrir veðrið 950204. Hver mæling tekur 33 mínútur og meðalsveiflutíminn á mæli 5A er  $T_z = 11$  s í fyrri veðrinu og 10 s í því seinna, þannig að fjöldi aldna er um 180 öldur í fyrri veðrinu en um 198 öldur í því seinna.

Ákveðið var að miða við eftirfarandi viðmiðanir varðandi öryggi fiskiskipa:

Talning grunnbrota var gerð á tímabili sem svarar til 33 mínútna í náttúrunni.

- Innsiglingin telst opin ef 4 einstakar öldur eða færri brotna þ.e. 2 % af öldunum og lokuð þegar 2 til 3 öldur brotna í röð eða 10 til 12 einstakar öldur brotna þ.e. 6 % af öldunum brotna.

#### 4.1.4 FJARSTÝRÐ LÍKANSKIP

Í líkaninu er reynt að líkja sem mest eftir náttúrulegum aðstæðum með því að nota fjarstýrð líkanskip sem líkast þeim fiskiskipum sem stunda sjósókn frá Grindavík eða hafa þar viðkomu.

Við prófanir á siglingu líkanskipa hafa verið notuð líkön af tveimur fiskiskipum. Stærri skipið er japanskur togari sem er 50,1 m langur en minni togarinn er 39,3 m langur. Til að líkja eftir siglingu fullhlaðins loðnuskips var 50 m togarinn lestaður þar til mesta djúprista náði 6,5 m. Til að líkja eftir siglingu flutningaskips var notað líkan af gamla Dettifossi sem var 95 m langur.

Helstu kennistærðir skipanna eru:

|                                         | <b>Togari 39 m</b> | <b>Togari 50 m</b> | <b>Flutningaskip</b> |
|-----------------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| <b>Mesta lengd</b>                      | 39,3 m             | 50,1 m             | 95,0 m               |
| <b>Breidd</b>                           | 7,2 m              | 10,8 m             | 14,3 m               |
| <b>Heildar þungi<br/>(Displacement)</b> | 246 t              | 890 t              | 4300 t               |
| <b>Djúprista að<br/>framan</b>          | 2,3 s              | 2,9 s              | 5,1 s                |
| <b>Djúprista að aftan</b>               | 4,3 m              | 5,5 m              | 5,3 m                |
| <b>Sveiflutími    veltu</b>             | 10,2 s             | 11,2 s             | 13,5 s               |
| <b>Sveiflutími    dýfu</b>              | 4,3 s              | 5,7 s              | 6,5 s                |

Bæði fiskiskipin eru með sveiflutíma veltu yfir 10 s sem þýðir minnkandi stöðugleika en um leið hæggar og þægilegar hreyfingar í öldu. Friðborð er frekar hátt.

Líkanskipið er látið sigla á því sem næst 7 hnútum eða u.þ.b. hálfri ferð. Hefst hver ferð í hafnarmynni og er siglt út að hvíta geiranum í Hópsnesvita sem er í 0,7 sm fjarlægð frá hafnarmynni. Hver keyrsla tekur sem svarar til 33 mínútur í náttúrunni og er miðað við að sigla tvisvar þessa leið á þeim tíma.

Almennt má segja að mun auðveldara er að sigla á móti öldu og að straumköst eru afgerandi þegar siglt er um þröngar innsiglingarennur. Styrkleiki straumkasta ræðst af ölduhæð, sjávarstöðu og ölduátt. Leitast er við að finna viðmiðunarmörkin þar sem innsigling telst opin eða lokuð togaranum.

Mjög erfitt er að mæla straumköst því þau eru púlserandi iðustraumur háður ölduhæð og ekki staðbundinn. Því verður að meta straumköstin út frá siglingu skipa.

Við siglingu er það einkum öldulengdin sem skiptir máli. Þegar öldur eru mun lengri en skipið er hætta á að skipin fari verulega út af leið sem ekki er ásættanlegt í þröngi innsiglingarennu. Þegar öldur verða of brattar og brotna undir skipinu að aftan getur brotið orðið það öflugt að skrúfan og stýrið verði óvirkt vegna loftblöndunar sem á sér stað í brotinu.

Vindálag getur haft veruleg áhrif á rek stærri skipa með mikið vindfang. Vindálagið hefur einkum áhrif á létt fiskiskip sem sigla einungis með kjölfestu, vistir og veiðafæri. Þá getur skipið bæði hallast talsvert undan vindálaginu og rekið. Stærri fiskiskip með þannig hleðslu eiga ekki að sigla um innsiglinguna til Grindavíkur ef eitthvað er að veðri.

Þegar líkanskipi er fjarstýrt þarf að taka tillit til eftirfarandi þátta. Líkanið er kvarðað samkvæmt Froude líkanlögum. Lengdarkvarði er 1: 60 en tímakvarði 1: 7,75. Þannig verður stjórnandinn að svara 7,75 sinnum hraðar en í náttúrunni. 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 möguleika á að skilja stefnubreytingar en á hinn bóginn hefur hann heildar yfirsýn yfir allar aðstæður bæði fjarlægð í ólög og strauma. Næmni fyrir stefnubreytingu sem sést á bóg skipsins um borð er ekki til staðar þannig að stjórnandi líkansins getur ekki orðið eins hæfur til að stjórn sínu skipi eins og skipstjórinn um borð. Jafnframt eru nokkrir mannlegir þættir eins og að það tekur 7,75 sinnum skemmri tíma að sigla líkanskipinu en í náttúrunni sem þýðir að full athygli þarf að vera til staðar á tíma sem er taplega 8 sinnum skemur. Á móti kemur að stjórnandinn þreytist fljótt og þar með dregur úr athyglinni. Í líkaninu er hægt að endurtaka siglingu við sömu skilyrði þannig að áhrif þjálfunar vegur þungt.

Einbeiting í skamman tíma eykur öryggi siglingarinnar, en á móti kemur að bregðast þarf við mun hraðar. Áhrifin af einbeitingu og hraðri svörun í skamman tíma borið saman við náttúrulegar aðstæður eru ekki þekkt. Þreyta og þjálfun vegur hvort annað upp. Miðað við að einungis er siglt um 5 til 10 sinnum og er talið að þjálfunin nái yfirhöndina. Ofan á þetta bætist að skip bæði í líkani og náttúru bregðast við misjafnlega. Að samanlögðu er talið að sigling með fjarstýrðu skipi geti gefið traustar upplýsingar um aðstæður og skip.

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

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

Þar sem:

b = breidd innsiglingarrennu

B = breidd hönnunarskips

U = straumur þvert á skipið

V = hraði skips

Miðað við 7 hnúta ferð á skipinu má straumur vera allt að 2,0 hnútar þvert á 70 m breiða ytri rennu miðað við að nýta 70 % af breidd hennar. Miðað við sama siglingarhraða má straumur vera 0,5 hnútar þvert á innri rennu miðað við 35 m breidd á rennu. Skilyrðin í líkantilraunum gagnvart straumi í ytri rennu eru ásættanleg en ekki

gagnvart innri rennunni. Til að geta siglt um innri rennuna þarf að skýla henni með ytri brimvarnargörðum eða breikka hana í um 47 m til að skipið geti tekið á sig allt að 2 hnúta þverstraum.

Innsiglingin telst opin þegar hæfur skipsstjórnandi sem gjörþekkir sitt skip getur siglt um innsiglingarennuna án þess að fara meir úr merkjum en sem nemur 70 % af breidd innsiglingarennu. Þetta skilyrði er sett til að koma í vega fyrir áhrif af völdum brattrra kanta sem eru vel þekkt og geta gert það að verkum að skip sogast að bakkanum. Miðað er við að ytri rennan sé 70 m breið þá þarf líkanskipið sem er 9,5 m breitt að sigla á 50 m breiðri rennu eða 5,1 sinnum breidd líkanshipsins. Innri rennan er 35 m breið þannig að líkanskipið þarf að sigla í 2,6 sinnum breidd sinni eða 25 m breiðri rennu.

Gefin er umsögn um hverja keyrslu þar sem leitast er við að finna viðmiðunar mörk fyrir siglingu inn og út innsiglinguna miðað við siglingahæfni og sjóhæfni togarans ásamt fjölda brota á siglingaleiðinni og styrkleika straumkastanna.

Prófanir með siglingu skipa voru einungis gerð við beinu innsiglinguna þar sem menn voru ekki tilbúnir fyrr til að treysta slíkum tilraunum. Eftir á að hyggja má segja að með siglingu skipsins er brotið blað við líkantilraunir hér á landi þar sem tilraunir með skip hafa eingöngu tekið mið af að mæla hreyfingar skipa sem eru bundin við bryggju.

Með öldumælingum, talningu grunnbrota og siglingu skipa er komin grunnur til að meta öryggi skipa við siglingu á grunnsævi. Sigling skipa gefur mun meiri skilning á hegðun skipa í öldum og í straumum og leiðir siglingin einkar vel í ljós strauma og staðbundin straumköst. Hinsvegar tókst ekki að finna heppilega mæliaðferð til að mæla staðsetningu skipa á siglingu þannig að hægt væri að endurtaka siglingu og bera siglingar saman. Í þess stað er stuðst við umsögn og eftirfarandi skilgreiningar.

Sigling líknaskips í 33 mínútur á hálfri ferð, 7 -8 hnútar

- Líkanskip: togari 50 m langur og ristir 5,5 m að aftan
- Innsiglingin telst opin ef skipið getur siglt á innan við tvisvar sinnum breidd sinni frá leiðarlínu eða innan við 70 % af rennubreiddinni. Innsiglingin telst lokuð ef skipið þarf meira rými en breidd rennunnar

## 4.2 NIÐURSTÖÐUR LÍKANTILRAUNA

### 4.2.1 FORMÁLI

Vinnu við líkanið má skipta upp í kafla sem að miklu leyti leiddu hver af öðrum. Að drjúgum hluta þurfti að þróa aðferðir og vinnulag við athuganirnar þar sem sumt af því sem gert var hefur ekki verið reynt áður a.m.k. hér á landi.

Í byrjun fór drjúgur tími í að finna rétta öldugerð og að kvarða öldu. Leitast var við að finna öldur 4-6 m háar með ólög sem voru í takt við það sem þekkt er frá innsiglingunni. Tilbúnaður öldur reyndust fjarri þessu þar sem ólög voru mikil með löngum hléum á milli sem leiddu af sér að miklar úrbætur þurfti til að ná árangri. Því var leitað að mælingum á öldu frá öldudufli við Grindavík og fundust tvö mælitímabil af þekktum veðrum sem heimamenn töldu einkennandi fyrir staðinn.

Annar kafli fólst í bótum á núverandi innsiglingu fyrir millistærð af skipum og voru þar athugaðar lausnir með garði út á Sundboða ásamt með neðansjávargarði og/eða straum og öldugörðum, án dýpkunar. Í framhaldi af því var farið í úrbætur á núverandi siglingaleið með tilliti til stækkandi flota með dýpkunum í Djúpsundi og Ósrennu, flutningi snúningslínu og leiðigarði á neðansjávargarði. Einnig var byrjað að telja brot í Djúpsundinu og móta markmið um úrbætur þannig að sunðið teldist öruggt. Markmiðið var að koma í veg fyrir brot í innri hluta Djúpsunds og að ölduhæð á ytri og innri snúningi yrði innan 3ja metra. Þetta markmið var sett þar sem sigling um Djúpsund og snúning fer fram með öldu á hornið og hlið. Með ofanefndum aðgerðum náðust fram verulegar endurbætur á núverandi innsiglingu og markmið uppfyllt.

Ekki var þó talið að innsiglingin með úrbótum skapaði þær aðstæður sem stór fiskihöfn þarf að hafa þ.e. að öll skip geti tekið höfnina án vandkvæða. Talið var að aðkomuskip myndu áfram veigra sér við að fara inn vegna þess hve innsiglingin er krókótt og þröng.

Þess vegna var farið út í að dýpka rennu út í gegnum Sundboðann, svokallaða beina leið. Þar með hófst síðari hluti líkantilrauna þar sem talning brota fór fram, beitt var fjarstýrðum skipslíkönum til að kanna strauma og brimsiglingu og meta hönnun innsiglingarennu. Megin vinnan fólst í prófunum á neðansjávargörðum, straum- og öldugörðum, lögun og legu ytri garða, ásamt endanlegri legu og lögun garðenda til að takast á við þverstrauma við hafnarmynnið. Samspil siglingar, undan og á móti öldu, og breytilegra hliðarstrauma var könnuð með líkanskipum, en það reyndist eina leiðin til að meta áhrif straumanna. Ennfremur var mæld hækkun sjávarborðs og hönnunarálág á ytri garða.

#### 4.2.2 NÚVERANDI INNSIGLING

Í töflum 4.19- 4.37. í lok kafla 4. eru helstu niðurstöður öldumælinga í innsiglingunni og talningu grunnbrota í Djúpsundinu á stórstraumsflóði og smástraumsfjöru fyrir suðvestan og sunnan ölduáttir.

Í suðvestan átt telst innsiglingin opin miðað við fjölda grunnbrota í allt að 4,5 m kenniöldu við dufl á fjöru og 5,8 m á flóði. Þá telst innsiglingin lokuð þegar aldan er orðin 4,9 m á dufli á fjöru og við 6,0 m á flóði.

Ölduhæð í Djúpsundinu eru innan við 2,6 m á fjöru, um 2,5 m við Ytri Snúning, innan við 2,3 m í Snúningnum og við Innri Snúning. Þessi mörk á ölduhæð haldast þó svo að alda fyrir utan hækki. Ástæðan er sú að dýpi í Djúpsundinu er það lítið að við örlítið hærri öldu fjölgar grunnbrotum verulega. Á flóði mælist ölduhæð í Djúpsundinu milli 3,4 til 3,8 m þegar innsiglingin er opin en 3,5 til 4,0 m þegar hún er lokuð. Ölduhæðin við Ytri Snúning er 3,4 til 3,5 m og um 3,0 m í Snúningnum en 3,4 m við Innri Snúning.

Helstu niðurstöður fyrir sunnan ölduáttir er að innsigling telst opin í allt að 4,9 m kenniöldu við dufl á fjöru og 4,9 m á flóði. Innsiglingin telst lokuð þegar aldan er orðin 5,2 m á dufli á fjöru og við 5,2 m á flóði.

Ölduhæð í Djúpsundinu eru innan við 2,7 m á fjöru, um 2,4 m við Ytri Snúning og innan við 2,4 m í Snúningnum og um 2,2 m við Innri Snúning. Á flóði mælist ölduhæð í Djúpsundinu og alla leið inn fyrir Innri Snúning milli 3,2 til 3,5 m þegar innsiglingin er opin en milli 3,5 til 4,0 m þegar hún er lokuð.

Meginniðurstaðan er að núverandi innsigling uppfyllir kröfur fyrir allt að 40 m löng fiskiskip sem eru yfirbyggð og með djúpristu innan við 4 m. Í reynd uppfyllir innsiglingin kröfur sem liggja milli smábátahafnar og bátahafnar samkvæmt staðalkröfum Siglingastofnunar.

Þegar skoðaðar eru öldumælingar við Miðbakka ( Sjf) þá mælast ölduhæðir innan marka  $H_s = 0,25$  m á fjöru en á flóði mælist aldan innan hafnar allt að 0,6 m um 98% af tímanum. Ölduhreyfingin innan hafnar er þannig langt yfir staðalkröfum Siglingastofnunar.

Á næstu síðu sést samanburður á ölduhæð á Innri snúningi og í Ósnum við mismunandi öldustefnur og sjávarhæðir.

#### 4.2.3 ÚRBÆTUR Á NÚVERANDI INNSIGLINGU

##### 4.2.3.1 NEÐANSJÁVARGARÐUR VIÐ DJÚPSUND ÁSAMT SUNDBOÐAGARÐI OG INNRI GÖRÐUM

Á mynd 4.4 á bls. 82 er sýnd fyrsta tillagan að úrbótum á innsiglingunni. Að vestan er brimvarnargarður út eftir Sundboðanum sem nær út í leiðarmerkin úr Ósnum. Að

austan eru tveir straum- og öldugarðar. Vestan við Djúpsundið er neðansjávargarður. Engin dýpkun er sýnd í innsiglingunni.

Á flóði er aldan milli 3,2 til 3,5 m í djúpsundinu þegar innsiglingin er opin en 3,3 til 3,7 m þegar hún er lokuð. Innsiglingin er opin í allt að 5,8 m öldu við dufl og lokuð við 6,3 m.

Eins og sést í töflu 4.23 - 4.24 er aldan innan hafnar og í Ósmerkjunum vel undir mörkum á fjöru. Aldan í Snúningnum um 2,1 til 2,4 m og í Ytri Snúning um 2,2 þegar innsiglingin er opin og 2,3 m við lokun.

Aldan í Djúpsundinu er innan við 3 m bæði þegar innsiglingin er opin og lokuð. Innsiglingin er opin í allt að 4,3 m öldu við dufl á fjöru og lokuð við 4,5 m.

#### 4.2.3.2 NEÐANSJÁVARGARÐUR VIÐ DJÚPSUND ÁSAMT SUNDBOÐAGARÐI OG INNRI GÖRÐUM. DÝPKUN Í -7,5 M Í DJÚPSUNDI.

Á mynd 4.5 á bls. 83 er sýnd innsiglingin eftir dýpkun með grjótgarði út Sundboðann og straumgörðum að austan ásamt neðansjávargarði. Helstu niðurstöður samkvæmt töflum 4.25 - 4.26 er að í sunnan öldu telst innsiglingin opin miðað við fjölda grunnbrota í allt að 6,7 m kenniöldu við dufl á fjöru og 6,7 m á flóði. Engar athuganir voru gerðar fyrir suðvestan átt í þessari uppsetningu.

#### 4.2.3.3 NEÐANSJÁVARGARÐUR MEÐ LEIÐIGARÐ UTAN VIÐ MITT DJÚPSUND. GARÐUR Á SUNDBOÐA ÁSAMT INNRI GÖRÐUM. DÝPI Í DJÚPSUNDI -9,0 m

Í suðvestan átt telst innsiglingin opin miðað við fjölda grunnbrota í allt að 7,2 m kenniöldu við dufl á fjöru og 7,6 m á flóði. Innsiglingin telst lokuð þegar aldan er orðin 7,4 m á dufli á fjöru og við 7,8 m á flóði.

#### 4.2.3.4 NEÐANSJÁVARGARÐUR MEÐ LEIÐIGARÐ 50 M INNAR. GARÐUR Á SUNDBOÐA ÁSAMT INNRI GÖRÐUM. DÝPKUN Í DJÚPSUNDI Í - 9,0 M.

Í suðvestan átt telst innsiglingin opin miðað við fjölda grunnbrota í allt að 7,2 m kenniöldu við dufl á fjöru og 7,8 m á flóði. Innsiglingin telst lokuð þegar aldan er orðin 7,4 m á dufli á fjöru og við 8,0 m á flóði.

Þessar úrbætur, neðansjávargarður með leiðigarði innst ásamt garði á Sundboða og innri görðum og dýpkun í -9,0 m í Djúpsundi (mynd 4.6, bls. 84), uppfylla kröfur Siglingastofnunar Íslands og gagnast heimabátum að fullu miðað við þá útgerð sem stunduð hefur verið frá Grindavík. Innsiglingin verður eftir sem áður löng, þröng og krókótt og uppfyllir ekki kröfur sem stærri fiskiskip og flutningaskip gera til innsiglingarinnar. Talið er að aðkomubátar muni eftir sem áður veigra sér við að fara um innsiglinguna og ekki taka höfnina þó svo aðstæður leyfi.







#### 4.2.4 TILLAGA AÐ BEINNI INNSIGLINGARENNU

Bein innsigling mun auka til mun öryggi sjófarenda þar sem um eina leiðarlínu er að ræða og öll merking innsiglingar því mun einfaldari og þar með staðsetning skipa í innsiglingunni. Að öllum líkindum mun afstaða aðkomubáta til innsiglingar til Grindavíkur breytast með tilkomu beinnar leiðar.

Tillaga að beinni innsiglingu skiptist í innri rennu og ytri rennu. Byggja þarf tvo brim-varnargarða innan Sundboðann, Vestur- og Austurgarð, við ytri enda innri rennu til að aldan í rennunni verði undir um 1,0 m. Þessir garðar verða um 250 m langir að vestan og 315 m að austan. Gert er ráð fyrir að innri rennan verði um 400 m löng, 35 m breið og með 7 m dýpi á smástraumsfjöru. Siglingarrennan frá ytra hafnarmynni að Sundboðanum er um 150 m löng og um 55 - 64 m breið og eykst dýpið úr 7 til 9,5 m. Ysti hluti siglingarrennunnar sem er um 324 m að lengd út að 10 m dýpi verður minnst 63 m breið með 9,5 m dýpi.

Heildarlengd beinu innsiglingarinnar verður 900 m og þar af brimsigling um 400 m. Með því að hafa fulla aðgæslu um borð, notfæra sér gögn úr upplýsingakerfinu ásamt því að nýta nútíma siglingatæki teljast úrbætur á innsiglingunni uppfylla kröfur Siglingastofnunar Íslands.

#### 4.2.5 BEIN LEIÐ ÁN GARÐA

Í töflum 4.31 - 4.37 eru helstu niðurstöður öldumælinga í innsiglingunni og talningu grunnbrota með og án garða, á stórstraumflóði og smástraumsfjöru fyrir suðvestan og sunnan ölduáttir. Afstöðumynd og uppsetning mæla er sýnd á mynd 4.7 á bls. 87.

Í suðvestan átt telst innsiglingin opin miðað við fjölda grunnbrota í allt að 5,3 m kenniöldu við dufl á fjöru og 6,7 m á flóði. Innsiglingin telst lokuð þegar aldan er orðin 6,4 m á dufli á fjöru og við 7,3 m á flóði.

Ölduhæðir framan við Sundboðasundið á 10 m dýpi er um 4,3 m á fjöru en 5,0 m á flóði og við Innri Snúning er aldan um 2,5 m á fjöru og 2,9 m á flóði. Ölduhæðir í Ósmerkjunum er innan við 2,0 m á fjöru en um 2,3 m á flóði.

Helstu niðurstöður fyrir sunnan ölduáttir er að innsigling telst opin í allt að 6,0 m kenniöldu við dufl á flóði. Innsiglingin telst lokuð þegar aldan er orðin 6,5 m á dufli á flóði.

Ölduhæðir framan við Sundboðasundið á 10 m dýpi er um 5,5 m á flóði og við Innri Snúning er aldan um 2,6 m á flóði. Ölduhæðir í Ósmerkjunum er um 2,5 m á flóði.

Þannig er aldan talsvert hærri í sunnan öldu í Sundboðasundinu heldur en í suðvestan öldu.

#### 4.2.6 BEIN LEIÐ MEÐ BRIMVARNARGÖRÐUM AUSTAN OG VESTAN INNSIGLINGAR

Afstöðumynd og uppsetning mæla er sýnd á mynd 4.8 á bls. 88. Í suðvestan átt telst innsiglingin opin miðað við fjölda grunnbrota í allt að 5,9 m kenniöldu við dufl á fjöru og 6,9 m á flóði. Innsiglingin telst lokuð þegar aldan er orðin 6,7 m á dufli á fjöru og við 7,6 m á flóði.

Ölduhæð framan við Sundboðasundið á 10 m dýpi er um 3,8 m á fjöru en 4,7 m á flóði og við Innri Snúning er aldan um 2,3 m á fjöru og 2,7 m á flóði. Ölduhæð í Ósmerkjunum er innan um 1,0 m á fjöru en um 1,5 m á flóði.

Helstu niðurstöður fyrir sunnan ölduátt er að innsigling telst opin í allt að 4,5 m kenniöldu við dufl á fjöru og 5,7 m á flóði. Innsiglingin telst lokuð þegar aldan er orðin 4,9 m á dufli á fjöru og 6,2 m á flóði.

Ölduhæð framan við Sundboðasundið á 10 m dýpi er um 4,2 m á fjöru og 5,3 m flóði og við Innri Snúning er aldan um 2,1 m á fjöru og 2,7 m flóði. Ölduhæð í Ósmerkjunum er um 1,0 m á fjöru og 2,7 m á flóði.

Þannig er aldan talsvert hærri í Sundboðasundinu í sunnan öldu heldur en í suðvestan öldu.

#### 4.2.7 ATHUGANIR Á BEINNI INNSIGLINGU MEÐ SKIPSLÍKANI

Í líkaninu fóru fram athuganir á straum og ölduáhrifum á siglingu inn og út innsiglingarennu, svonefnda beina leið, sem er u.þ.b. 400 m innri renna 35 m breið með 7,0 m dýpi og ytri renna sem er 500 m löng renna, 65 m breið með 9,5 m dýpi. Þar sem talað er um lengd í línu ( l/l ) er átt við fjarlægð frá fremra innsiglingamerki á miðbakka út rennuna.

Við siglinguna var notuð sama ölduróf ( 94100618.grv ) og valinn tími sem svarar til u.þ.b 33 mínútna við náttúrlegar aðstæður. Við athuganirnar var notað líkan af skuttogara 50 m löngum, 10,9 m breiðum með 5,4 m djúpristu og líkan af 95 m löngu og 14,3 m breiðu flutningaskipi með 5,3 m djúpristu.

Lagt var af stað á sama tímapunkti á öldurófinu í öllum siglingum, siglt út innsiglingu og sigldar um tvær ferðir á ofanefndum tíma. Siglt var á jafnri ferð og miðað við 7 hnúta hraða. Sem viðmiðun um hvort rennan væri fær var miðað við að skipið notaði ekki meira en 70 % af breidd rennurnar, þ.e. frávik frá innsiglingarlínu væri minni en 25 m á hvort borð í ytri rennu og minni en 12,5 m í innri rennu fyrir togarann. Myndir er sýna strauma og stefnur fyrir hvert eftirfarandi tilvika eru í lok kafla 4.













#### 4.2.8 SIGLING LÍKANSKIPS Í ÖLDUSTEFNU 180°, BEIN INNSIGLING

##### 4.2.8.1 SJÁVARHÆÐ + 3,35 M, ENGIR GARÐAR

Siglt var við mismunandi ölduhæðir frá 4,7 m upp í 6,0 m. Við lægstu öldu á dufli 4,7 m var bæði inn og útsigling greið og án erfiðleika. Við ölduhæð 5,1 m varð vart við mótstraum og óreglu í innri rennu á innsiglingu en lítilla áhrifa á útsiglingu. Við hærri öldur varð útstraumur þyngri og straumköst þvert á rennu sérstaklega við 250 m l/l og við hafnarmynni. Innsigling þyngdist og óregla var mikil. Niðurstaða: Innsigling telst opin við ölduhæð 5,1 m en lokuð við 5,5 m við þennan siglingahraða. Útsigling telst opin við ölduhæð 5,9 m en lokuð við 6,0 m. Minni vandamál voru í ytri rennu en þó var vart við þverstraum við 850 m l/l og þá aðallega á útsiglingu.

##### 4.2.8.2 SJÁVARHÆÐ +3,35, STRAUM OG ÖLDUGARÐAR AUSTAN INNRI RENNUNN

Sigling fór fram við sömu ölduhæð og að ofan er lýst. Vart varð sömu strauma og áður og á svipuðum stöðum en í mun minni mæli. Sigling um innri rennu gengur nokkurn veginn upp við ölduhæð 5,9 m á báðum leiðum en við ölduhæð 6,0 m fer að bera á erfiðleikum á innsiglingu. Niðurstaða: Opið inn við ölduhæð 5,8 m, lokað við 6,0. Sigling um ytri rennu var svipuð og áður er lýst.

##### 4.2.8.3 SJÁVARHÆÐ +3,35, YTRI GARÐAR AUSTAN OG VESTAN INN-SIGLINGAR

Við uppsetningu ytri garða flytjast straumvandamál frá innri rennu út í ytri rennu. Sigling um innri rennu varð óháð ölduhæð en straumköst verða til við ytra hafnarmynni. Þverstraumur myndaðist við hafnarmynnið þannig að við ölduhæð 5,9 m var ófært bæði út og inn vegna straumkasta frá vesturhlið rennu. Við ölduhæð 5,7 m er fært bæði út og inn en öllu erfiðara á innsiglingu. Mismunurinn stafar af því að á rennan þrengist strax við hafnarmynni og sigling inn er því erfiðari.

##### 4.2.8.4 SJÁVARHÆÐ +1,14, YTRI GARÐAR AUSTAN OG VESTAN INN-SIGLINGAR

Siglt var við ölduhæð frá 4,1 m upp í 4,9 m. Við 4,1 m ölduhæð varð vart þverstraums frá vestri við 650 - 700 m l/l (rétt utan hafnarmynnis). Straumáhrif eru meiri á út- en á innsiglingu. Sigling í lagi við 4,5 m ölduhæð en inn og útsigling lokuð við 4,9 m ölduhæð.

#### 4.2.9 SIGLING LÍKANSKIPS Í ÖLDUSTEFNU 225°, BEIN LEIÐ

##### 4.2.9.1 SJÁVARHÆÐ +1,14, YTRI GARÐAR AUSTAN OG VESTAN INN-SIGLINGAR

Siglt var við ölduhæð frá 3,7 m til 7,3 m á dufli. Sigling gekk vel að 6 m ölduhæð og við 6,2 m ölduhæð var straumlítið við hafnarmynni en orðið vart þverstraums frá

vestri á útsiglingu við 850-900 m l/l, sem stafar frá misdýpi vestan rennu. Á innsiglingu var einstöku sinnum vart botn/ölduáhrifa og dró þá töluvert úr hraða skipsins. Við 6,3 m ölduhæð var útsigling í lagi en á innsiglingu dró mjög úr hraða skipsins í ytri hluta rennu þegar alda var farin hjá. Stjórnhafni skipsins minnkaði verulega við þessar aðstæður. Við ölduhæð 6,7 var bæði út og innsigling ófær.

#### 4.2.9.2 SJÁVARHÆÐ +3,35, YTRI GARÐAR AUSTAN OG VESTAN INN-SIGLINGAR

Siglt var við ölduhæð frá 4,0 til 6,5 m á dufli. Við 4,0 m ölduhæð varð vart við straum á útsiglingu þvert á rennu til vesturs við u.þ.b. 700 m l/l og á innsiglingu rétt utan hafnarmynnis. Við hækkandi ölduhæð vex straumurinn og veldur hliðfærslu á útsiglingu en á innsiglingu snýst skutur skipsins til til vesturs skammt utan hafnarmynnis. Sigling út og inn gengur við ölduhæð allt að 6,3 m á dufli en áhrif straums aukast í hlutfalli við ölduhæð. Við ölduhæð 6,5 er bæði út og innsigling lokuð.

#### 4.2.9.3 SJÁVARHÆÐ +1,14, ENGIR GARÐAR

Siglt var við ölduhæð frá 5,3 m niður í 3,6 m á dufli. Aðalerfiðleikar í siglingu eru í innri rennu. Erfiðleikar eru í ytri hluta rennu á innsiglingu vegna straums frá vestri og mjög straumþungt á móti og þvert á í innri hluta rennu. Mun skár á útsiglingu. Innsigling telst fær út við 4,1 m á dufli en inn við 3,6 m á dufli.

#### 4.2.9.4 SJÁVARHÆÐ +3,35, ENGIR GARÐAR

Siglt var við ölduhæð frá 6,2 niður í 4,9 m á dufli. Sigling var erfið um innanverða ytri rennu vegna sterks straums frá vestri sérstaklega við 550 - 650 m l/l, bæði á út og innsiglingu. Ennfremur var innri renna slæm við 250 - 300 m l/l vegna óreglu og mótstraums. Siglt var með lækkun öldu í þrepum og við 4,9 m öldu telst innsigling fær bæði inn og út.

#### 4.2.9.5 SJÁVARHÆÐ +3,35, ENGIR GARÐAR, LESTAÐUR TOGARI OG FLUTNINGASKIP

Siglt var með sama togara og áður með djúpristu 6,5 m ( fulllestaður ) og 90 m löngu og 14,4 m breiðu flutningaskipi með djúpristu 5,4 m.

##### Niðurstöður:

Erfiðleikar eru í útsiglingu vegna strauma við 250-300 m lengd í línu (l/l) og á innsiglingu á mótum ytri og innri rennu og við 300/250 m l/l. Á ytra svæðinu ( ytri/ innri renna ) er um að ræða straum frá vestri þvert á línu en innar í rennunni er þverstraumur frá austri svipað og í núverandi rennu. Túlka má mörk innri rennu sem færa leið án garða og mörk ytri rennu með gördum.

| Togari        |                 |             |            |
|---------------|-----------------|-------------|------------|
| Mögnun        | H <sub>SD</sub> | Innri renna | Ytri renna |
| 2,0           | 4,0             | Í lagi      | Í lagi     |
| 2,2           | 4,4             | Í lagi      | Í lagi     |
| 2,3           | 4,6             | Ófær        | Í lagi     |
| 2,4           | 4,8             | “           | Ófær       |
| Flutningaskip |                 |             |            |
| 1,25          | 2,5             | Í lagi      | Í lagi     |
| 1,5           | 3,0             | Í lagi      | “          |
| 1,75          | 3,5             | Ófær        | “          |
| 2,0           | 4,0             | “           | “          |

Tafla 4.2 : Siglingamörk fulllestaðs togara og flutningaskips við sjávarhæð +3,35 m og án ytri garða.

#### 4.2.9.6 SJÁVARHÆÐ +1,14, ENGIR GARÐAR

Við siglingu voru notuð sömu skip og lýst er hér að undan.

##### Niðurstöður:

Á útsiglingu verður vart straums þvert á rennu frá vestri innst í ytri rennu og við u.þ.b. 800 m l/l er straumur frá austri. Í innri rennu verður vart straums frá vestri á bilinu frá skilum ytri/innri rennu og að 400 m l/l.

| Togari        |                 |             |            |
|---------------|-----------------|-------------|------------|
| Mögnun        | H <sub>SD</sub> | Innri renna | Ytri renna |
| 1,8           | 3,6             | Í lagi      | Í lagi     |
| 2,2           | 4,4             | Ófær        | Í lagi     |
| 2,3           | 4,6             | “           | Í lagi     |
| 2,5           | 5,0             | “           | Ófær       |
| Flutningaskip |                 |             |            |
| 1,2           | 2,4             | Í lagi      | Í lagi     |
| 2,0           | 4,0             | Ófær        | Í lagi     |

Tafla 4.3 : Siglingamörk fulllestaðs togara og flutningaskips við sjávarhæð +1,14 m og án ytri garða

#### 4.2.10 HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Í töflunum hér á eftir eru teknar saman megin niðurstöður líkantilaunanna varðandi talningu grunnbrota og siglingu skipa, ásamt mati á straumum í innsiglingunni og ölduhæðum innan hafnar.

## 4.2.10.1 GRUNNBROT Í INNSIGLINGUNNI

Í líkantilraununum fór fram talning grunnbrota ( sbr. kafla 4.1.3 ) og fundin mörk ölduhæðar á dufli þar sem innsigling telst opin. Talning grunnbrota var gerð á tímabili sem svaraði til 33 mínútna í náttúrunni. Innsigling telst opin ef minna eða jafnt og 2% af öldum brotna á því tímabili. Á nokkrum stöðum í eftirfarandi töflum eru ölduhæðir áætlaðar og byggist það á öldumælingum og siglingu.

| Kennialda $H_s$ (m)  | Suðvestan átt |      | Sunnan átt |      |
|----------------------|---------------|------|------------|------|
|                      | Fjara         | Flóð | Fjara      | Flóð |
| Núverandi aðstæður   | 4,5           | 5,8  | 4,9        | -    |
| Með úrbótum          | 7,2           | 7,8  | 7,2*       | 7,8* |
| Bein leið án garða   | 5,3           | 6,7  | 4,5*       | 6,0  |
| Bein leið með görðum | 5,9           | 6,9  | 4,5        | 5,7  |

\*) áætlað

Tafla 4.4: Mörk ölduhæða á dufli þar sem innsigling telst opin miðað við talningu grunnbrota.

## 4.2.10.2 NIÐURSTÖÐUR FRÁ SIGLINGU LÍKANSKIPA

Í líkantilraununum voru mörk innsiglingar fundin með siglingu togara og flutningaskips og fara niðurstöður í töflum hér á eftir.

| Kennialda $H_s$ (m)  | Suðvestan átt |     |      |     | Sunnan átt |     |      |     |
|----------------------|---------------|-----|------|-----|------------|-----|------|-----|
|                      | Fjara         |     | Flóð |     | Fjara      |     | Flóð |     |
|                      | Inn           | út  | Inn  | Út  | Inn        | Út  | Inn  | Út  |
| Bein leið án garða   | 3,6           | 4,1 | 4,9  | 4,9 |            |     | 5,1  | 5,9 |
| Bein leið með görðum | 6,3           | 6,3 | 6,3  | 6,3 | 4,5        | 4,5 | 5,7  | 5,7 |

Tafla 4.5: Mörk ölduhæða á dufli þar sem innsigling telst opin miðað við siglingu togara

| Kennialda $H_s$ (m)  | Suðvestan átt |     |      |     |
|----------------------|---------------|-----|------|-----|
|                      | Fjara         |     | Flóð |     |
|                      | Inn           | út  | Inn  | Út  |
| Bein leið án garða   | 3,6           | 3,6 | 4,4  | 4,4 |
| Bein leið með görðum | 4,6           | 4,6 | 4,6  | 4,6 |

Tafla 4.6: Mörk ölduhæða á dufli þar sem innsigling telst opin miðað við siglingu loðnuskips sem ristir 6,5

| Kennialda $H_s$ (m)  | Suðvestan átt |     |      |     |
|----------------------|---------------|-----|------|-----|
|                      | Fjara         |     | Flóð |     |
|                      | Inn           | út  | Inn  | Út  |
| Bein leið án garða   | 2,4           | 2,4 | 3,0  | 3,0 |
| Bein leið með görðum | 4,0           | 4,0 | 4,0  | 4,0 |

Tafla 4.7: Mörk ölduhæða á dufli þar sem innsigling opin miðað við siglingu flutningaskips

#### 4.2.10.3 SAMANBURÐUR Á MATI HEIMAMANNA OG NIÐURSTÖÐUM LÍKANTILRAUNA UM SIGLINGAMÖRK NÚVERANDI INNSIGLINGAR.

Í eftirfarandi töflu kemur fram samanburður á mati heimamanna á ölduhæð í núverandi innsiglingu m.t.t. skipastærða og niðurstöðum líkantilrauna. Um er að ræða mat á skynsamlegum mörkum siglinga um Djúpsundið fyrir báta 40 m og styttri. Mat á mörkum í líkani byggist á talningu brota.

| Núverandi aðstæður | Djúpsundið                   |      |                 |          |           |      |               |      |
|--------------------|------------------------------|------|-----------------|----------|-----------|------|---------------|------|
|                    | Kennialda H <sub>s</sub> (m) |      | Viðmiðunar mörk |          | Efri mörk |      | Suðvestan átt |      |
| Skipastærðir       | Fjara                        | Flóð | Fjara           | Flóð     | Fjara     | Flóð | Fjara         | Flóð |
| Bátar undir 10 m   | 2,5                          | 2,5  | 3,0             | 3,0      | 2,5       | 2,5  | 2,5           | 2,5  |
| 10 - 20 m          | 4,0                          | 4,0  | 4,0             | 4,0      | 4,0       | 4,0  | 4,0           | 4,0  |
| 20 - 30 m          | 4,5                          | 5,0  | 6,0/5,0*        | 6,0/5,0* | 4,5       | 5,8  | 4,9           | -    |
| 30 - 40 m**        | 5,0                          | 5,0  | 6,0             | 6,0      | 4,5       | 5,8  | 4,9           | -    |

\* ) Sigling inn / út    \*\*) Yfirbyggðir bátar

Mörk kenniöldu eru byggð á mati hafnarvarða en feitlettraðar tölur eru niðurstöður líkan tilrauna

**Tafla 4.8: Mat heimamanna á núverandi innsiglingu og niðurstöður líkantilrauna.**

Samkvæmt töflunni virðist vera gott samræmi milli mats heimamanna og niðurstæðna úr brotatalningu í líkani.

Við líkantilraunirnar hefur ekki verið leitast við að finna viðmiðunar mörk fyrir fiskiskip innan við 20 m löng þar sem talið er að aðstæður fyrir utan innsiglinguna takmarki að þessir bátar séu á sjó. Því er stuðst við sömu viðmiðunarmörk fyrir beinu innsiglinguna og sem gilda fyrir núverandi innsiglingu.

#### 4.2.10.4 ÚRBÆTUR Á NÚVERANDI INNSIGLINGU, HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Grunnbrot hafa afgerandi þýðingu varðandi öryggi minni fiskiskipa þegar þau sigla um innsiglinguna. Viðmiðunarmörk fyrir kenniöldu segja til um hvenær minni fiskiskipum er fært um innsiglinguna. Við núverandi aðstæður er innsiglingin opin í allt að 4,5 m hárrí kenniöldu á fjöru og 5,8 m á flóði í suðvestan átt og 4,9 m á fjöru og flóði í sunnan átt sbr. töflur 4.19 - 4.22 . Úrbætur á núverandi innsiglingu, það er dýpkun í Djúpsundi og bygging neðansjávangarðs og brimvarnargarðs á Sundboða skila mestum árangri fyrir minni fiskiskipin, 20 - 40 m löng, bæði í suðvestan og sunnan átt.

Samkvæmt brotatalningu sbr. töflur 4.29 og 4.30 verða viðmiðunarmörk kenniöldu eftir úrbætur 7,2 m á fjöru og 7,8 m á flóði fyrir suðvestan öldustefnu. Sunnan alda var ekki keyrð í líkani fyrir endanlegar úrbætur, en reynslan sýnir að innsiglingin er heldur lengur opin í sunnan átt við sömu ölduhæð á dufli.

## 4.2.10.5 BEIN INNSIGLING, HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Í eftirfarandi töflu koma fram viðmiðunarmörk kenniöldu  $H_S$  fyrir siglingu mismunandi skipastærða um beina innsiglingu. Mörk fyrir skip minni en 20 m eru sett fram í kafla 2.4.9, en mörk fyrir skip að 40 m byggjast á öldutalningu. Mörk fyrir togara 40 - 55 m, loðnuskips 40 - 65 m og 95 m flutningaskips í suðvestanátt byggjast á siglingu líkanskip. Fyrir flutningaskip í sunnanátt er ölduhæð byggð á mati með hliðsjón af siglingu í suðvestanátt.

|                     | Bein innsigling |      |            |      |           |      |            |      |
|---------------------|-----------------|------|------------|------|-----------|------|------------|------|
| Kennialda $H_S$ (m) | Suðvestanátt    |      |            |      | Sunnanátt |      |            |      |
|                     | Án garða        |      | Með görðum |      | Án garða  |      | Með görðum |      |
| Skipastærðir        | Fjara           | Flóð | Fjara      | Flóð | Fjara     | Flóð | Fjara      | Flóð |
| Bátar undir 10 m    | 2,5             | 2,5  | 2,5        | 2,5  | 2,5       | 2,5  | 2,5        | 2,5  |
| 10 - 20 m           | 4,0             | 4,0  | 4,0        | 4,0  | 4,0       | 4,0  | 4,0        | 4,0  |
| 20 - 30 m           | 5,3             | 6,7  | 5,9        | 6,9  | 4,5       | 6,0  | 4,5        | 5,7  |
| 30 - 40 m           | 5,3             | 6,7  | 5,9        | 6,9  | 4,5       | 6,0  | 4,5        | 5,7  |
| 40 - 55 m, togari   | 3,6/4,1         | 4,9  | 6,3        | 6,3  | 3,6*      | 4,5  | 5,1/5,9    | 5,7  |
| 40 - 65 m, loðna    | 3,6             | 4,4  | 4,6        | 4,6  | 4,5*      | 4,6* | 3,7*       | 4,2* |
| 95 m, flutningaskip | 2,4             | 3,0  | 4,0        | 4,0  | 2,4*      | 3,0* | 4,0*       | 4,0* |

\*) áætlað Feitletraðar tölur byggja á mati samkvæmt siglingu líkanskipa

**Tafla 4.9: Viðmiðunarmörk fyrir siglingu mismunandi skipastærða um beina innsiglingu**

Beina leiðin skilar töluverðu fyrir minni fiskiskip en alls ekki jafn miklu og úrbætur á núverandi innsiglingu og hún er mun opnari fyrir sunnanáttinni. Hins vegar næst það markmið að nýja innsiglingin verður opin skipum gagnavart grunnbrotum í allt að 6,0 m hárrí kenniöldu við dufl nema í sunnan átt á fjöru (4,5 m) eftir að brimvarnargarðar verða byggðir.

Megintilgangurinn með beinu leiðinni er að innsiglingin geti tekið við stækkandi skipum en það er ekki hægt með úrbótum á núverandi innsiglingu. Beygjurnar og þrengslin í núverandi innsiglingu uppfylla ekki kröfur sem gerðar eru til innsiglinga fyrir stærri skipin.

Samkvæmt flokkun Siglingastofnunar þá flokkast dýpi í núverandi innsigling milli smábátahafnar og bátahafnar. Með úrbótum á núverandi innsiglingu gæti hún í mesta lagi flokkast sem innsigling fyrir meðalstóra fiskihöfn.

Til að þess að aðkoma að Grindavíkurhöfn uppfylli kröfur fyrir stóra fiskihöfn verður að koma til bein innsigling. Með beinni innsiglingu og görðum er hægt að komast af með minnstu breidd innsiglingarennu og þar með minnstu dýpkun. Á hin bóginn liggur beina leiðin í gegnum Sundboðann sem gerir framkvæmdir við beinu leiðina dýrari þar sem dýpka þarf allt að 7 m í gegnum Sundboðann. Á móti kemur að við þessa framkvæmd teppist innsigling ekki nema að litlu leyti á framkvæmdatímanum.

Eins og fram kemur í töflu 4.9 er beina innsiglingin fær togurum í um og yfir 6 m hárrí kenniöldu við dufl nema á fjöru í sunnan öldu.

Þegar togarinn er lestaður niður á 6,5 m djúpristu þá kemst hann inn á 4,6 m hárri öldu eftir að brimvarnargarðar eru komnir. Það verður að teljast viðunandi, þar sem líkanskiptið svarar nokkurn veginn til fulllestaða loðnuskips.

Flutningaskiptið siglir inn í allt að 4,0 m hárri öldu eftir að brimvarnargarðar eru komnir.

#### 4.2.10.6 ÖLDUHÆÐIR VIÐ MIÐBAKKA

Í eftirfarandi töflu sjást áhrif dýpkunar og garða á ölduhæð við vestanverðan Miðbakkann miðað við ársveður.

| Einu sinni á ári     | Suðvestan átt |      | Sunnan átt |      |
|----------------------|---------------|------|------------|------|
|                      | Fjara         | Flóð | Fjara      | Flóð |
| Núverandi aðstæður   | 0,19          | 0,59 | 0,34       | 0,53 |
| Bein leið án garða   | 0,18          | 0,38 | -          | 0,53 |
| Bein leið með görðum | -             | 0,20 | -          | 0,20 |

**Tafla 4.10: Áhrif dýpkunar og garða á ölduhæð við Miðbakka.**

Til að uppfylla staðalkröfur Siglingastofnunar um kyrrð innan hafnar þarf að byggja báða brimvarnargarðanna.

#### 4.2.10.7 STRAUMAR Í INNSIGLINGUNNI

Við siglingu innan brimgarðsins er það samspil strauma og ölduhæða sem megin máli skipta um hvort innsiglingin sé fær skipum eða ekki. Leitast var við að finna þá legu brimvarnargarða, sem jafnframt því að skýla höfninni og draga úr sjávarflóðum innan hafnar, drægju sem mest úr áhrifum straumkasta á skip á siglingu. Prófaðar voru fyrst öldu- og straumgarðar og síðan fjölmargar staðsetningar brimvarnargarða.

Vert er að benda á að straumar sem fram komu í líkaninu t.d í Ósmerkjum voru mjög í samræmi við reynslu heimamanna af siglingum um það svæði. Þetta samræmi í straumum í Ósnum og í öldu í Djúpsundi varð kveikjan að því að nota líkanskip til að fá sem mestar upplýsingar út úr líkaninu.

Á yfirlitsmyndum í lok þessa kafla er sýnt hvar straumar höfðu áhrif á siglingu líkanskipa og kemur vel fram á myndunum hvernig ytri garðar flytja straumvandamál frá Ósrennu út í ytri rennu þar sem auðveldar á að vera að takast á við þau.

Brimvarnargarðarnir mynda ytri skjólhöfn sem skýlir Grindavíkurhöfninni. Innan brimvarnargarðanna verða straumar af völdum brima og saga innan marka. Þar sem ytri garðar verða innan brimgarðs verður ekki hægt að komast hjá straumum nærri hafnarmynni af völdum ólaga. Utan hafnarmynnis verða því straumar af völdum brima sem ekki er hægt að komast hjá. Til að draga sem mest úr sterkum þverstraumum hefur verið leitast við að finna bestu staðsetningu og legu á ytra hafnarmynni. Mynd 1.1 sýnir niðurstöður líkantilraunanna. Hafnarmynnið er staðsett vel innan Sundboðans þar sem öldustraumar þvert á hafnarmynnið eru minnstir. Til að auðvelda

siglingu inn úr straumnum og inn fyrir garðana er 65 m breið innsiglingin látin ná inn fyrir hafnarmynnið.

Eitt mesta öryggið sem brimvarnargarðarnir veita er að þeir stytta brimsiglinguna frá 10 m dýpi utan Sundboðans og að höfn úr 1000 m í 600 m. Æskilegast hefði því verið að færa brimvarnargarðanna upp á eða jafnvel út fyrir Sundboðann þannig að öll innsiglingin væri fyrir innan hafnarmynnið. Á móti kemur að þar kæmu saman hámarks öldustraumar þvert á hafnarmynnið og mesta dýpkun í innsiglingunni sem væri afar óheppilegt, jafnframt því að kostnaður við brimvarnargarðana yrði verulega hærri.

#### 4.2.10.8 MAT Á NAUÐSYNLEGRI BREIDD OG DÝPI INNSIGLINGAR

Í kafla 2.2.5 er sett fram mat á nauðsynlegu dýpi í innsiglingarennu. Í lágdaudum sjó þarf lágmark 1,0 m undir kjöl á skipi og upp að 3,5 m ölduhæð þarf dýpi sem svarar til djúpristu skips að viðbætti ölduhæð. Þegar aldan er hærri þarf dýpið að vera 50 % meira en djúprista skipsins.

Innsiglingin er opin loðnuskipum í allt að 4,6 m í suðvestan átt og allt að 3,7 m í sunnan átt og hún er opin togurum í allt að 6,3 m í suðvestan átt og í 5,1 m í sunnan átt á smástraumfjöru.

Í töflunni hér að neðan er yfirlit yfir ölduhæðir við þessi mörk og með því að miða við dýpismörkin fæst mat á nauðsynlegt dýpi þegar miðað er við 7 m ristur loðnuskipa og 6 m ristur togara. Í töflunni eru sett fram tvennskonar dýpkunarmörk. Nauðsynlegt dýpi sem fengið er frá öldumælingum í líkani og æskilegt dýpi þar sem dýpi er aukið vegna þeirrar óhjákvæmilegu óvissu sem fylgir kvörðun öldu og mælingum. Má þar nefna að aldan er mæld í miðri rennu þar sem hún er lægst. Til hliðar í rennunni er aldan hærri. Dýpisaukningin er í Sundboðanum þar sem óvissan er mest.

Hvað varðar breidd rennu þá er æskilegt að að full breidd ytri rennu nái inn fyrir hafnarmynni, inn að 460 m lengd í línu eins og klöpp leyfir. Sigling líkanskipa bendir eindregið til þess að erfitt muni vera að fara í þrönga innri rennu strax í hafnarmynni vegna áhrifa strauma á skip rétt utan garðenda. Einnig væri mjög til bóta að ytri renna rétt utan hafnarmynnis yrði víkkuð ef um græft efni væri að ræða. Þar sem dýpi á þessu svæði er að jafnaði um 6 m reynir ekki á þetta á siglingu nema á smástraumfjöru.

| Ölduhæð          |         |       | Lengd í línu frá Miðbakka   |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------|---------|-------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Skip             | Ölduátt | Dufl  | 1360                        | 1050 | 850  | 700  | 600  | 500  | 400  | 250  |
|                  |         | $H_s$ | Mæld ölduhæð í líkani $H_s$ |      |      |      |      |      |      |      |
|                  | 207°    | 3,68  | 3,27                        | 2,15 | 1,62 | 1,18 | 1,09 | 0,72 | 0,36 | 0,07 |
| Loðnuskip        | 207°    | 4,60  | 4,09                        | 2,69 | 2,03 | 1,48 | 1,36 | 0,90 | 0,45 | 0,09 |
| Togari           | 207°    | 6,30  | 5,24                        | 4,20 | 3,71 | 2,55 | 1,54 | 1,14 | 0,54 | 0,17 |
| Loðnuskip        | 180°    | 3,70  | 3,64                        | 3,44 | 2,51 | 1,47 | 1,35 | 0,86 | 0,45 | 0,15 |
|                  | 180°    | 4,14  | 4,09                        | 3,87 | 2,82 | 1,65 | 1,52 | 0,97 | 0,51 | 0,17 |
| Togari           | 180°    | 5,10  | 5,08                        | 4,95 | 3,51 | 2,4  | 1,92 | 1,16 | 0,57 | 0,21 |
|                  |         |       |                             |      |      |      |      |      |      |      |
| Nauðsynlegt dýpi |         |       |                             |      |      |      |      |      |      |      |
| Loðnuskip        | 180°    |       | 9,40                        | 9,30 | 8,40 | 7,30 | 7,20 | 7,00 | 7,00 | 7,00 |

|                         |      |  |             |             |             |             |             |             |             |             |
|-------------------------|------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                         | 207° |  | 9,40        | 8,60        | 7,90        | 7,30        | 7,20        | 7,00        | 7,00        | 7,00        |
| <b>Togari</b>           | 180° |  | 9,40        | 9,40        | 8,40        | 7,30        | 7,00        | 7,00        | 7,00        | 7,00        |
|                         | 207° |  | 9,40        | 9,10        | 8,60        | 7,40        | 7,00        | 7,00        | 7,00        | 7,00        |
|                         |      |  |             |             |             |             |             |             |             |             |
| <b>Nauðsynlegt dýpi</b> |      |  | <b>9,40</b> | <b>9,40</b> | <b>8,60</b> | <b>7,40</b> | <b>7,20</b> | <b>7,00</b> | <b>7,00</b> | <b>7,00</b> |
| <b>Æskilegt dýpi</b>    |      |  | <b>9,50</b> | <b>9,50</b> | <b>9,50</b> | <b>8,50</b> | <b>7,50</b> | <b>7,00</b> | <b>7,00</b> | <b>7,00</b> |

Tafla 4.11: Nauðsynlegt dýpi skv. öldumælingum og æskilegt dýpi.

Nauðsynlegt dýpi miðað við smástraumfjöru er 7,0 m út Ósmerkin og út að Innri Snúning sem er í 550 m fjarlægð frá Miðbakka. Fjarlægðin út að innri brún á Sundboða er um 700 m og þarf dýpið að vera þar um 7,4 m. Sundboðinn er um 300 m breiður út að 10 m dýpi. Nauðsynlegt er að dýpka rennuna þar niður á - 9,4 m en vegna þess að sprengdir fláar í köntum verða allt að 7,5 m háir, þar sem minnsta dýpi á Sundboðanum er 2 m, þarf þversnið í ytri hluta innsiglingarennu að vera eins og sýnt er á mynd 4.9 eða nær lóðréttir kantar frá kóta - 9,4 uppí - 6,5 og þar fyrir ofan fláar með halla 1: 1,5. Á sama hátt er lagt til að í innri rennu verði fláar 1: 1,5 ofan við kóta -5,0.

#### Mynd 4.9 Þversnið í ytri hluta innsiglingarennu

## 4.3 FRÁTAFIR

### 4.3.1.1 MAT Á ÖLDUHÆÐUM Á DUFLI

Öldumælingar við dufl gefa upplýsingar um tíðni ölduhæða óháð ölduáttum. Þegar meta á frátafir þarf að taka tillit til ölduátta. Samband ölduátta og ölduhæða við dufl er metið í kafla 4.4 um samanburð öldusveigjureikninga og öldumælinga. Í eftirfarandi töflu er gefið samband milli tíðni ölduhæða eftir þremur ölduáttum sem skipta máli og tíðni ölduhæða við dufl:

|                  |                     | Kennialda við dufl skv. öldusveigjureikningum |            |               |
|------------------|---------------------|-----------------------------------------------|------------|---------------|
| Tíðni öldu       | Öldumæling við dufl | Suðvestan átt                                 | Sunnan átt | Suðaustan átt |
| % af tíma        | Hs ( m )            | Hs ( m )                                      | Hs ( m )   | Hs ( m )      |
| 90%              | 4,8                 | 3,71                                          | 3,57       |               |
| 98%              | 6,8                 | 5,86                                          | 6,17       | 4,21          |
| Einu sinni á ári | 11,1                | 9,48                                          | 10,88      | 8,53          |
|                  | 100%                | 34 %                                          | 24,4 %     | 14%           |

Tafla 4.12: Tíðni ölduhæða eftir áttum og ölduhæð á dufli

Með því að nýta sér samband milli ölduhæða eftir ölduáttum og öldumælinga við dufl er hægt að finna viðmiðunarmörkin miðað við kenniöldu við dufl óháð ölduáttum. Þetta samband er:

$$H_{so} = 0,06 \times H_{Ssv}^2 + 0,79 \times H_{Ssv}$$

$$H_{so} = 0,015 \times H_{Ss}^2 + H_{Ss}$$

$H_{so}$  er kennialda við dufl óháð ölduáttum.

$H_{Ssv}$  og  $H_{Ss}$  eru kenniöldur við dufl annars vegar úr suðvestri og hinsvegar úr suðri.

Með þessum líkingum og niðurstöðum úr töflu 4.9 ( neðri mörkum) fæst mat á ölduhæð á dufli óháð öldustefnu  $H_{so}$  fyrir beina innsiglingu með og án garða.

| Núverandi aðstæður   | Bein innsigling Suðvestan átt |      |            |      | Bein innsiglin Sunnan átt |      |            |      |
|----------------------|-------------------------------|------|------------|------|---------------------------|------|------------|------|
|                      | Án garða                      |      | Með görðum |      | Án garða                  |      | Með görðum |      |
| Skipastærðir         | Fjara                         | Flóð | Fjara      | Flóð | Fjara                     | Flóð | Fjara      | Flóð |
| Bátar undir 10 m     | 2,4                           | 2,4  | 2,4        | 2,4  | 2,6                       | 2,6  | 2,6        | 2,6  |
| 10 - 20 m            | 4,1                           | 4,1  | 4,1        | 4,1  | 4,2                       | 4,2  | 4,2        | 4,2  |
| 20 - 30 m            | 5,9                           | 8,0  | 6,7        | 8,3  | 4,8                       | 6,5  | 4,8        | 6,2  |
| 30 - 40 m            | 5,9                           | 8,0  | 6,7        | 8,3  | 4,8                       | 6,5  | 4,8        | 6,2  |
| 40 - 55 m, togari    | 3,6                           | 5,3  | 7,4        | 7,4  | 4,8                       | 5,5  | 5,5        | 6,2  |
| 40 - 65 m, loðnuskip | 3,6                           | 4,6  | 4,9        | 4,9  | 4,8                       | 4,9  | 3,9        | 4,5  |
| 95 m flutningaskip   | 2,2                           | 2,9  | 4,1        | 4,1  | 2,5                       | 3,1  | 4,2        | 4,2  |

Tafla 4.13: Mat á ölduhæð á dufli óháð öldustefnu fyrir beina innsiglingu.

## 4.3.1.2 MAT Á FRÁTÖFUM BYGGT Á LÍKINDADREIFINGU ÖLDUHÆÐA

Jafnan fyrir líkindadreifingu fyrir ölduhæðir við dufl fyrir tímabilið nóvember 1994 til febrúar 1996 er

$$F(Hs_o \leq Hsc) = 1 - \exp(-((Hs_o - \varepsilon)/\theta))^\gamma$$

þar sem  $\varepsilon = 0,565$  m

$\theta = 2,056$  m

$\gamma = 1,278$

þar með fæst tíðni viðmiðunar kenniöldu við dufl sem er byggð á öldumælingum. Tafla 4.14 gefur yfirlit yfir tíðni kenniöldu sem er lægri eða jöfn viðmiðunarmörkunum fyrir mismunandi lengdir fiskiskipa, öldustefnur, með og án brimvarnargarða.

| Skipastærðir        | Bein innsigling<br>Suðvestan átt |      |            |      | Bein innsigling<br>Sunnan átt |      |            |      |
|---------------------|----------------------------------|------|------------|------|-------------------------------|------|------------|------|
|                     | Án garða                         |      | Með görðum |      | Án garða                      |      | Með görðum |      |
|                     | Fjara                            | Flóð | Fjara      | Flóð | Fjara                         | Flóð | Fjara      | Flóð |
| Bátar undir 10 m    | 65,6                             | 65,6 | 65,6       | 65,6 | 69,4                          | 69,4 | 69,4       | 69,4 |
| 10 - 20 m           | 87,4                             | 87,4 | 87,4       | 87,4 | 88,1                          | 88,1 | 88,1       | 88,1 |
| 20 - 30 m           | 95,6                             | 98,7 | 97,3       | 98,9 | 91,7                          | 96,9 | 91,7       | 96,3 |
| 30 - 40 m           | 95,6                             | 98,7 | 97,3       | 98,9 | 91,7                          | 96,9 | 91,7       | 96,3 |
| 40 - 55 m, tog-     | 83,0                             | 93,8 | 98,2       | 98,2 | 91,7                          | 94,5 | 94,5       | 96,3 |
| 40 - 65 m loðnuskip | 83,0                             | 90,6 | 92,1       | 92,1 | 91,7                          | 92,1 | 85,8       | 90,0 |
| 95 m flutningaskip  | 61,2                             | 74,4 | 87,4       | 87,4 | 67,5                          | 77,2 | 88,1       | 88,1 |

**Tafla 4.14:** Tíðni kenniöldu (%) sem er lægri eða jöfn viðmiðunarmörkunum fyrir mismunandi lengdir fiskiskipa, öldustefnur, með og án brimvarnargarða.

Með því að margfalda saman þá tíðni sem kennialdan er hærri en viðmiðunar aldan eða  $1 - F(Hs)$  og það tímahlutfall sem viðkomandi ölduátt varir fæst mat á frátafir.

| Skipastærðir         | Bein innsigling - suðvestanátt |      |            |      | Bein innsigling - sunnanátt |      |            |      |
|----------------------|--------------------------------|------|------------|------|-----------------------------|------|------------|------|
|                      | Án garða                       |      | Með görðum |      | Án garða                    |      | Með görðum |      |
|                      | Fjara                          | Flóð | Fjara      | Flóð | Fjara                       | Flóð | Fjara      | Flóð |
| Bátar undir 10 m     | 11,7                           | 11,7 | 11,7       | 11,7 | 7,5                         | 7,5  | 7,5        | 7,5  |
| 10 - 20 m            | 4,3                            | 4,3  | 4,3        | 4,3  | 2,9                         | 2,9  | 2,9        | 2,9  |
| 20 - 30 m            | 1,5                            | 0,4  | 0,9        | 0,4  | 2,0                         | 0,7  | 2,0        | 0,9  |
| 30 - 40 m            | 1,5                            | 0,4  | 0,9        | 0,4  | 2,0                         | 0,7  | 2,0        | 0,9  |
| 40 - 55 m, tog.      | 5,8                            | 2,1  | 0,6        | 0,6  | 2,0                         | 1,3  | 1,3        | 0,9  |
| 40 - 65 m, loðnuskip | 5,8                            | 3,2  | 2,7        | 2,7  | 2,0                         | 1,9  | 3,5        | 2,4  |
| 95 m flutningaskip   | 13,2                           | 8,7  | 4,3        | 4,3  | 7,9                         | 5,6  | 2,9        | 2,9  |

**Tafla 4.15:** Mat á frátafum (%) byggð á tíðni kenniöldu sem er hærri en viðmiðunaráldan.

Heildar frátafir fást með því að leggja saman báðar áttir

| Bein innsigling     |          |      |            |      |
|---------------------|----------|------|------------|------|
| Skipastærðir        | Án garða |      | Með görðum |      |
|                     | Fjara    | Flóð | Fjara      | Flóð |
| Bátar undir 10 m    | 19,2     | 19,2 | 19,2       | 19,2 |
| 10 - 20 m           | 7,2      | 7,2  | 7,2        | 7,2  |
| 20 - 30 m           | 3,5      | 1,2  | 3          | 1,3  |
| 30 - 40 m           | 3,5      | 1,2  | 3          | 1,3  |
| 40 - 55 m, tog-     | 7,8      | 3,5  | 2          | 1,5  |
| 40 - 65 m loðnuskip | 7,8      | 5,1  | 6,1        | 5,1  |
| 95 m flutningaskip  | 21,1     | 14,3 | 7,2        | 7,2  |

Tafla 4.16: Mat á heildarfrátöfum (%) með og án garða

Með því að áætla að fjöru- og flóðaðstæður vari um helminginn af tímanum hvor fæst mat á heildar frátafir fyrir beina innsiglingu með og án brimvarnargarða.

| Bein innsigling     |          |            |
|---------------------|----------|------------|
| Skipastærðir        | Án garða | Með görðum |
| Bátar undir 10 m    | 17,2     | 19,2       |
| 10 - 20 m           | 7,2      | 7,2        |
| 20 - 30 m           | 2,4      | 2,2        |
| 30 - 40 m           | 2,4      | 2,2        |
| 40 - 55 m, togarar  | 5,7      | 1,8        |
| 40 - 65 m loðnuskip | 6,5      | 5,6        |
| 95 m flutningaskip  | 17,7     | 7,2        |

Tafla 4.17: Mat á heildarfrátöfum (%) með og án garða

Frátafir fiskiskipa undir 20 m vegna grunnbrota í innsiglingunni, eru óháðar því hvort núverandi innsigling er valin eða bein innsigling og hvort brimvarnargarðar eru komnir eða ekki, því að aðstæður utan innsiglingar eru takmarkandi fyrir þennan flokk skipa. Frátafir eru samkvæmt töflu 4.16 um 20 % af tímanum að jafnaði. Aðstæður fyrir 20 - 40 m fiskiskip sem eru yfirbyggð og með djúpristu undir 4,0 m, til að taka Grindavíkurhöfn breytist lítið hvort bein leið verður valin eða Djúpsund. Frátafir eftir að garðar hafa verið byggðir verða um 2 % af tímanum að jafnaði á ári.

Mestar verða breytingarnar fyrir stærri fiskiskip sem eru milli 40 -55 m og með meiri djúpristu en 4,0 m. Þessi skip komast aðeins inn á flóði í dag í allt að 5,0 m hárri kenniöldu. Með tilkomu beinnar innsiglingar og brimvarnargarðanna verða frátafir um 1,7 % af tímanum í stað yfir 90 % í dag.

Eftir úrbætur á beinni innsiglingu verða frátafir loðnuskipa sem rista allt að 6,5 m og eru allt að 55 m löng um 5,6 % og loðnuskipa sem rista 7 m og eru 60 m löng verða frátafir um 7,3 % í stað 97,8 % af tímanum að jafnaði á ári í dag.

Frátafir flutningaskipa sem eru allt að 90 m löng og rista allt að 6 m eftir úrbætur á beinu innsiglingunni verða um það bil 7,2 % í stað allt að 64 % í dag.

| YFIRLIT YFIR FRÁTAFIR SKIPA TÍMABILIÐ FRÁ DESEMBER 1994 TIL MARS 1996 MIÐAÐ VIÐ BEINA INNSIGLINGU MEÐ BRIMVARNARGÖRÐUM |           |          |                      |                        |            |              |              |                |                  |                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------|----------------------|------------------------|------------|--------------|--------------|----------------|------------------|------------------|
| Ár                                                                                                                     | Mánuður   | Fj. mæl. | Fj. nothæfra mælinga | Hlutfall noth. mælinga | Bátar <10m | Bátar 10-20m | Bátar 20-40m | Togarar 40-55m | Loðnuskip 40-65m | Flutningask. 95m |
| 1994                                                                                                                   | Desember  | 744      | 294                  | 40%                    | 26,4%      | 8,4%         | 0,7%         | 0,0%           | 5,3%             | 8,4%             |
| 1995                                                                                                                   | Janúar    | 744      | 719                  | 97%                    | 30,7%      | 13,4%        | 1,2%         | 0,9%           | 9,2%             | 13,4%            |
|                                                                                                                        | Febrúar   | 672      | 665                  | 99%                    | 37,4%      | 10,8%        | 1,6%         | 1,6%           | 7,0%             | 10,8%            |
|                                                                                                                        | Mars      | 744      | 741                  | 100%                   | 28,1%      | 8,1%         | 1,8%         | 1,6%           | 5,7%             | 8,1%             |
|                                                                                                                        | Apríl     | 720      | 714                  | 99%                    | 21,9%      | 7,6%         | 1,7%         | 1,3%           | 5,4%             | 7,6%             |
|                                                                                                                        | Maí       | 744      | 720                  | 97%                    | 2,5%       | 0,2%         | 0,0%         | 0,0%           | 0,1%             | 0,2%             |
|                                                                                                                        | Júní      | 720      | 707                  | 98%                    | 3,8%       | 0,1%         | 0,0%         | 0,0%           | 0,0%             | 0,1%             |
|                                                                                                                        | Júlí      | 744      | 0                    | 0%                     | -          | -            | -            | -              | -                | -                |
|                                                                                                                        | Ágúst     | 744      | 541                  | 73%                    | 20,0%      | 3,3%         | 0,3%         | 0,2%           | 2,2%             | 3,3%             |
|                                                                                                                        | September | 720      | 105                  | 15%                    | -          | -            | -            | -              | -                | -                |
|                                                                                                                        | Október   | 744      | 743                  | 100%                   | 9,3%       | 2,1%         | 0,2%         | 0,1%           | 1,3%             | 2,1%             |
|                                                                                                                        | Nóvember  | 720      | 708                  | 98%                    | 10,7%      | 1,3%         | 0,0%         | 0,0%           | 0,6%             | 1,3%             |
|                                                                                                                        | Desember  | 744      | 705                  | 95%                    | 34,5%      | 15,2%        | 4,6%         | 3,6%           | 12,7%            | 15,2%            |
| 1996                                                                                                                   | Janúar    | 744      | 742                  | 100%                   | 28,9%      | 8,0%         | 1,0%         | 0,4%           | 5,7%             | 8,0%             |
|                                                                                                                        | Febrúar   | 696      | 688                  | 99%                    | 30,0%      | 7,3%         | 1,4%         | 0,9%           | 6,2%             | 7,3%             |
|                                                                                                                        | Mars      | 744      | 744                  | 100%                   | 27,1%      | 11,7%        | 1,9%         | 1,3%           | 7,6%             | 11,7%            |
| Hlutfall af heild                                                                                                      |           | 11688    | 9431                 | 81%                    |            |              |              |                |                  |                  |
| Heildarfrátafir:                                                                                                       |           |          |                      |                        | 22,0%      | 6,9%         | 1,2%         | 0,9%           | 4,9%             | 6,9%             |

Tafla 4.18: Yfirlit yfir áætlaðar frátafir skipa miðað við beina leið með görðum.

Bein innsigling til Grindavíkurhafnar uppfyllir kröfur sem gerðar eru til stórra fiskihafna. Innsiglingin uppfyllir kröfur sem stærri fiskiskip og flutningaskip gera til innsiglingarinnar. Talið er að aðkomubátar munu ekki veigra sér við að fara um innsiglinguna þegar aðstæður leyfa. Heildarlengd beinu innsiglingarinnar verður 900 m og brimsigling um 400 m. Gert er ráð fyrir að innri renna verði merkt með staurum með blikkljósum og radarspeglum líkt og í Sandgerði og að öflugum innsiglingaljósum verði komið upp fyrir rennuna. Með því að hafa fulla aðgæslu um borð og notfæra sér gögn úr upplýsingakerfi hafnarinnar og þau siglingatæki sem á markaði eru, teljast úrbætur á innsiglingunni uppfylla kröfur Siglingastofnunar Íslands.

#### **4.4 VIÐAUKI VIÐ KAFLA 4.**

**Frátafir við beina innsiglingu samkvæmt viðmiðunarmörkum og talningu**  
( 1 blað )

**Töflur yfir öldumælingar og brotatalningar** ( Tafla 4.19 - 4.37 ) 10 blöð.

**Straumar í innsiglingunni** ( 10 blöð )

## 5. HÖNNUNARSJÁVARSTAÐA OG SJÁVARFLÓÐ

### 5.1 INNGANGUR

Sjávarstaða á hverjum tíma er samsett af mörgum þáttum, stjarnfræðileg sjávarföll ráða þar mestu, en aðrir þættir koma til, aðallega veðurfarslegir. Breyting á loftþrýstingi við yfirborð sjávar veldur því að sjór streymir inn á svæði með lægri loftþrýstingi og sjávarborð hækkar þar. Þegar sterkur langvarandi vindur blæs af hafi upp að strönd hækkar meðalsjávarstaðan við ströndina og kallast það vindáhlaðandi. Þegar öldur brotna á grynningum hækkar sjávarstaðan innan brimgarðsins og kallast það ölduáhlaðandi. Veðurfarsþættirnir eru ekki stöðugir hvorki í tíma né rúmi. Þegar hafflöturinn hækkar á einum stað verður hann að lækka á öðrum. Þannig mynda þessir þættir langar sveiflur eða öldur, sem berast eftir haffletinum. Haföldur sem myndast þegar vindur blæs yfir hafflötinn hafa sveiflutíma á bilinu 1 til 30 sekúndur, sveiflur vegna grunnbrota ("surf beat") hafa sveiflutíma 50 til 300 sekúndur og sveiflur vegna vindáhlaðanda 1000 til 2000 sekúndur, Silvester 1974.

Mat á hönnunarsjávarstöðu er nálgæð frá ýmsum áttum. Fyrst eru sjávarföllin ákvörðuð út frá 2 mánaða mælingum og samanburði við betur þekkt sjávarföll í Reykjavíkurhöfn. Lagt er mat á hæsta stjarnfræðilega flóðhæð. Lauslega er greint frá helstu sjávarflóðum í Grindavík á þessari öld. Þá eru reiknuð með stöðufræðilegum aðferðum áhrif þriggja veðurfarsþátta hvers fyrir sig á sjávarstöðu, þ.e. öldu, loftþrýstings og vinds. Gerð er tilraun til að meta líkur atburða þar sem þættirnir leggjast saman. Þessar niðurstöður eru bornar saman við niðurstöður úr reiknilíkani sem lýsir hreyfifræðilegu sambandi loftþrýstings og vinds við sjávarhæð. Mælingar á sjávarhæðarbreytingum í vatnslíkani eru notaðar til að kvarða líkingu fyrir ölduáhlaðanda.

Sjólag utan og innan hafnar í Grindavík er mjög háð sjávarhæð. Vegna takmarkaðs dýpis brotna öldur á Sundboðanum og öðrum grynningum utan hafnar. Þannig takmarkar dýpið og sjávarhæðin þær öldur sem komast inn í innri hluta innsiglingar og inn í höfn. Í aftökum eru það því þeir þættir sem hafa áhrif á sjávarstöðuna, sem mestu ráða um ókyrrðina.

Hér er ætlunin að meta hönnunarsjávarstöðu með mismunandi endurkomutíma bæði utan og innan hafnar í Grindavík. Til að geta keyrt rétta sjávarstöðu í vatnslíkaninu þarf hönnunarsjávarstaðan á 20 m dýpi að vera þekkt. Hönnunarálag á brimvarnargarða verður bæði ákvarðað út frá keyrslum í vatnslíkani, en einnig með reikningum á dýpisháðum öldum framan við garðana. Þar er mjög mikilvægt að ákvarða sjávarstöðu með nokkurri nákvæmni.

## 5.2 SJÁVARFÖLL

Stjarnfræðileg sjávarföll ráða mestu um sjávarstöðu á hverjum tíma. Hreyfingar himintunglanna og aðdráttarkraftar þeirra koma af stað bylgjum á yfirborði sjávar. Mestu ráða hreyfingar tungls og sólar.

Á grundvelli sjávarfallamælinga á tímabilinu júní til ágúst 1982 voru sjávarföll innan hafnar í Grindavík ákvörðuð, tafla 1. Það var gert með samkeyrslu við mæld sjávarföll í Reykjavíkurböfn á sama tíma. Sjávarfallamælingar hófust í Reykjavíkurböfn árið 1951 og hafa sjávarföllin þar verið ákvörðuð með nokkurri nákvæmni. Við tíðnigreiningu og samkeyrslu mælinganna í Grindavík og Reykjavík voru 5 stjarnfræðilegir stuðlar sjávarfalla í Grindavík ákvarðaðir, þ.e. stuðlarnir  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_2$ ,  $N_2$  og  $O_1$ . Mælitímabilið í Grindavík var valið með tilliti til þess að yfir sumarmánuðina eru veðurfarslegir þættir í lágmarki.

|                       | Sjávarhæð (m) |      |
|-----------------------|---------------|------|
| Meðalstórstraumsflóð  | MSTSFL        | 3,35 |
| Meðalsmástraumsflóð   | MSMSFL        | 2,36 |
| Meðalsjávarhæð        | MSH           | 1,75 |
| Meðalsmástraumsfjara  | MSMSFJ        | 1,14 |
| Meðalstórstraumsfjara | MSTSFL        | 0,15 |

Tafla 5.1: Sjávarföll innan hafnar í Grindavík

Á árunum 1957 til 1965 mældi Lamont Doherty stofnun Columbia háskólans í New York sjávarföll í Grindavíkurböfn. Í úrvinnslu dönsku straumfræðistöðvarinnar, Danish Hydraulic Institute (DHI) (1974), á þessum gögnum, sem miðar við hæðarkerfi sem er 0,053 m neðar en núverandi kerfi, er hæsta stjarnfræðilega flóð (HSF) 3,65 eða 3,7 m í núverandi kerfi. Samkvæmt sjávarfallatöflum Sjómælinga Íslands er hæsta stjarnfræðilega flóð í Reykjavík 4,62 m og það kvarðað yfir til Grindavíkur er 3,86 m.

Nýlega eru hafnar mælingar á sjávarhæðum í Grindavíkurböfn. Með tíð og tíma koma þessar mælingar til með að gefa upplýsingar um hina ýmsu þætti sem hafa áhrif á sjávarhæð innan hafnar.

## 5.3 TÍÐNI HÆSTU FLÓÐA Í REYKJAVÍK YFIRFÆRÐ TIL GRINDAVÍKUR

Ólafur Guðmundsson og Páll Einarsson (1992) unnu líkindafræðilega úrvinnslu á sjávarborðsmælingum í Reykjavíkurböfn fyrir árin 1956 til 1989. Þeir unnu með klukkustundarmeðaltöl og tóku gögnin eins og þau komu fyrir, en leiðréttu ekki fyrir loftþrýstingi eða öðrum þáttum. Niðurstaða þessarar athugunar er sýnd í töflu 2, ásamt kvörðun yfir til Grindavíkur miðað við stórstraumsflóð á báðum stöðum.

|                      | Sjávarhæð (m) |           |
|----------------------|---------------|-----------|
|                      | Reykjavík     | Grindavík |
| Einu sinni á 30 árum | 4,9           | 4,1       |
| Einu sinni á 5 árum  | 4,8           | 4,0       |
| Einu sinni á 2 árum  | 4,7           | 3,9       |
| Tvisvar á ári        | 4,6           | 3,9       |
| 7 sinnum á ári       | 4,5           | 3,8       |
| 17 sinnum á ári      | 4,4           | 3,7       |
| 33 sinnum á ári      | 4,3           | 3,6       |
| MSSFL                | 4,0           | 3,35      |

**Tafla 5.2: Tíðni hæstu flóða í Reykjavík, klukkustundar gildi, samkvæmt Ólafi Guðmundssyni og Páli Einarssyni yfirfærð til Grindavíkur.**

Aðstæður innan Reykjavíkurhafnar og á 20 m dýpi utan Grindavíkur eru að því leiti svipaðar að þar gætir ekki ölduáhlaðanda og vindáhlaðanda aðeins að litlu leiti.

## 5.4 SJÁVARFLÓÐ Í GRINDAVÍK

Þær aðstæður, þegar veðurfarslegir þættir valda hækkun á sjávarstöðu og leggjast ofan á sjávarföllin, eru kölluð sjávarflóð.

Sjávarflóð eru tíð í Grindavík. Í töflu 3 eru gefnar dagsetningar hæstu sjávarflóða sem komið hafa á þessari öld samkvæmt yfirliti í skýrslu um sjávarflóð á Reykjanesi 1989.

|                    |
|--------------------|
| 21. janúar 1925    |
| 11. nóvember 1932  |
| 1. desember 1933   |
| 16. september 1936 |
| 19. október 1963   |
| 5. október 1971    |
| 16. mars 1972      |
| 6. nóvember 1972   |
| 24. október 1973   |
| 3. nóvember 1975   |
| 12. desember 1977  |
| 27. október 1989*  |
| 9. janúar 1990     |

\*) Tjón á trébryggju við Svíragarð

**Tafla 5.3: Yfirlit yfir mestu sjávarflóð í Grindavík á þessari öld**

Þann 21. janúar 1925 verður eitt versta flóð á öldinni. Það eyðilagði allmikið af húsum við sjóinn og skemmdi stórkostlega uppsátrið í annarri vörinni og eyðilagði hina að mestu. Í lýsingum af skemmdunum er greint frá að íbúðarhús, sem stóð um 60 m ofan við malarkambinn, hafi flust 40 m af grunninum. Í úrvinnslu DHI á þessum upplýsingum er metið að meðal flóðhæð sem varað hafi í eina klukkustund hafi verið +5,0 m.

Eftir flóðið 3. nóvember 1975 voru aðstæður skoðaðar af tæknimönnum frá Hafnamálastofnun. Eftir viðtöl við hafnarstjóra og ýmsa sjómenn á staðnum var mesta flóðhæð metin +5,5 m í fyllingum.

## 5.5 ÞÆTTIR SEM HAFNA ÁHRIF Á YFIRBORÐSHÆÐ SJÁVAR

Hér verður gerð grein fyrir þeim áhrifum sem veðurfarsþættirnir, loftþrýstingur, vindáhlaðandi og grunnbrot, hafa á yfirborð sjávar hver um sig. Síðar verður komið að því hvernig þessir þættir leggjast saman. Við útreikningana eru notaðar stöðufræðilegar aðferðir.

### 5.5.1 LOFTÞRÝSTINGUR.

Hækkun meðalsjávarstöðu vegna lækkaðs loftþrýstings er almennt reiknuð með jöfnunni:

$$\eta_{\text{loftþrýstingur}} = b \cdot \Delta P$$

þar sem  $\Delta P$  er þrýstingsmismunur. Stuðullinn  $b$  var ákvarðaður fyrir athugunarstað Yanagishima og Katoh (1990) í Japan  $b=0,69$  (sm/mb). Ólafur Guðmundsson og Páll Einarsson (1991) hafa unnið úr sjávarfallamælingum í Reykjavík og fundið að þar er stuðullinn  $b=0,84$ . Samkvæmt upplýsingum frá Trausta Jónssyni er loftþrýstingur með 1 árs endurkomutíma um 945 til 950 mb fyrir Reykjanes og fyrir 50 - 100 ára endurkomutíma 920 til 925 mb fyrir Reykjanes. Meðalloftþrýstingur ársins er 1005 fyrir suðvesturland. Samkvæmt úrvinnslu Þorbjörns Karlssonar, 1977, á loftþrýstingsmælingum er loftþrýstingur með 10 ára endurkomutíma 931 mb.

Samkvæmt þessu verður hækkun vegna loftþrýstings með 1 árs, 10 ára og 100 ára endurkomutíma:

$$\eta_{\text{loftþr } 1\text{ár}} = 0,48 \text{ m.}$$

$$\eta_{\text{loftþr } 10\text{ár}} = 0,62 \text{ m.}$$

$$\eta_{\text{loftþr } 100\text{ár}} = 0,69 \text{ m.}$$

### 5.5.2 VINDÁHLAÐANDI.

Þegar sterkur langvarandi vindur blæs af hafi upp að strönd hækkar meðalsjávarstaðan við ströndina og kallast það vindáhlaðandi. Þegar stór lægða kerfi blása yfir opnu hafi yfirfæra þau mikla orku til sjávarins og kom af stað hafstraumum í stefnu vindsins. Vindáhlaðandi er ekki stöðugt fyrirbrigði, heldur tímaháð, og má því líkja við langa bylgju. Þegar þessir hafstraumar koma upp að landgrunnið byrjar straumurinn eða bylgjan að hryggjast og sjávarborðs breytinga verður vart.

Hér verður vindáhlaðandi reiknaður samkvæmt tveimur aðferðum. Fyrri aðferðin var notuð af Ólafi Guðmundssyni og Páli Einarssyni, 1991, við úrvinnslu sjávarfallagagna í Reykjavík, en hin seinni af Þorbirni Karlssyni, 1977, við athugun á hæstu mögulegu sjávarstöðum á Grundartanga.

Vindáhlaðandi er reiknaður fyrir vind með 1 árs, 10 og 100 ára endurkomutíma, sem hér er áætlað út frá vindmælingum á Keilisnesi 26, 31 og 37 m/s.

Vindurinn veldur skerspennu á yfirborð sjávar sem er í réttu hlutfalli við vindhraða í öðru veldi, samkvæmt Pugh (1987):

$$\tau_s = C_D * \rho_A * v^2$$

þar sem  $\tau_s$  er skerspennan,  $\rho_A$  er eðlismassi andrúmslofts og  $v$  er vindhraði. Stuðlinum  $C_D$  er lýst með jöfnunni:

$$C_D = 6,3 * 10^{-4} + 6,6 * 10^{-5} * v$$

Þá verður áhlaðandinn:

$$\eta_{\text{vindur}} = (\tau_s * L) / (g * \rho_s * D)$$

þar sem  $\rho_s$  er eðlismassi sjávar,  $D$  er dýpi sjávar og  $L$  er vegalengd sem vindur blæs yfir.

Samkvæmt aðferð Pugh (1987) verður vindáhlaðandi fyrir 65 km vítt landgrunn og 200 m dýpi:

$$\eta_{\text{vindur 1 ár}} = 0,06 \text{ m}$$

$$\eta_{\text{vindur 10 ár}} = 0,10 \text{ m}$$

$$\eta_{\text{vindur 100 ár}} = 0,17 \text{ m}$$

Miðað við áhlaðanda vegna grunnbrota og loftþrýstings er áhlaðandi vegna vinds lítill og ljóst að ef vindáhlaðandi á að gefa eitthvað verulegt í sjávarstöðuhækkun þarf vegalengdin að vera löng og dýpi lítið.

Reiknum nú vindáhlaðanda samkvæmt aðferð sem víða er notuð, Bretschneider (1966). Þegar vindur blæs að strönd og sjávarbotninn eða landgrunnið er nálgað við að vera með jafnan halla yfir einhverja lengd  $L$ , þá er áhlaðandinn  $\eta_{\text{vindur}}$ , þegar stöðugu ástandi hefur verið náð, lýst með jöfnunni:

$$\eta_{\text{vindur}} = k * U^2 * L * \ln(h_1/h_2) / [g(h_1 - h_2)]$$

þar sem:  $k$  er núningsstuðull milli lofts og sjávar of tekinn sem  $3 * 10^{-6}$

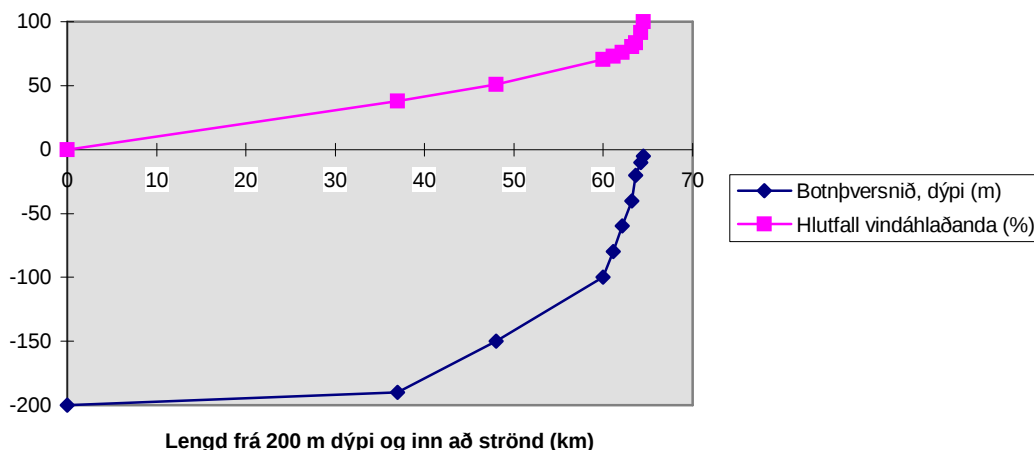
$U$  er vindhraði (m/s)

$L$  er lengd sjávarbotns sem vindur blæs yfir

$h_1$  og  $h_2$  eru sjávardýpi við enda á lengdinni  $L$

$g$  er þyngdarhröðunin 9,81 (m/s<sup>2</sup>)

Beitum nú jöfnunni í stökkum frá landgrunnsbrún og upp að ströndinni. Neðri hluti myndar 1 sýnir einfaldaðan botnprófil landgrunnsins frá 200 m dýpi og upp að strönd í Grindavík, alls um 65 km langan. Efri hluta myndarinnar sýnir hlutfall vindáhlaðanda sem byggist upp í átt að ströndinni. Yst á landgrunninu er um 37 km flatur kafli með um 200 m dýpi og á honum myndast um 40% vindáhlaðandans. Á 100 m dýpi hefur um 70% áhlaðandan komið fram og um 90% á 10 m dýpi.



Mynd 5.1 Neðri hluti myndarinnar sýnir botnþversnið landgrunnsins út á 200 m dýpi utan SSV frá Grindavík. Efri hlutinn sýnir hlutfall vindáhlaðanda sem byggist upp að ströndinni.

Niðurstöður þessara reikninga gefa eftirfarandi vindáhlaðanda fyrir mismunandi endurkomutíma vinds:

$$\eta_{\text{vindur 1 ár}} = 0,10 \text{ m}$$

$$\eta_{\text{vindur 10 ár}} = 0,15 \text{ m}$$

$$\eta_{\text{vindur 100 ár}} = 0,21 \text{ m}$$

Þessi aðferð gefur heldur hærri áhlaðanda en aðferð Pugh, sem lýst var hér að ofan.

### 5.5.3 GRUNNBROT.

Yanagishima og Katoh (1990) sýndu fram á að fyrir botnhalla 1/50 til 1/100 og ölduhalla 0,01 til 0,05 þá megi nálga aðferð Goda (1985) við reikninga á hækkun vegna grunnbrota með jöfnunni:

$$\eta_{\text{grunnbrot}} = a \cdot (H_0'^2 \cdot L_0^{1/2})^{0,4}$$

þar sem  $H_0'$  er ölduhæð á hafi og  $L_0$  öldulengd á hafi. Stuðullinn  $a$  var ákvarðaður fyrir athugunarstað á sandströnd í Japan  $a=5,2$  (fyrir niðurstöður í sm).

Athugum hækkun vegna öldu með 1 árs endurkomutíma á 20 m dýpi utan Grindavíkur  $H_s=11,0\text{m}$ ,  $T_p=15,0\text{s}$ ,  $L_0=350\text{m}$ , ölduhalli=0,031:

$$\eta_{\text{grunnbrot 1 ár}} = 1,14 \text{ m}, \eta_{\text{grunnbrot}}/H_s=0,10.$$

Hækkun vegna öldu með 10 ára endurkomutíma á 20 m dýpi utan Grindavíkur,  $H_s=12,9\text{m}$ ,  $T_p=16,2\text{s}$ ,  $L_0=410\text{m}$ , ölduhalli=0,032, er:

$$\eta_{\text{grunnbrot 10 ár}} = 1,34 \text{ m}, \eta_{\text{grunnbrot}}/H_s=0,10.$$

Hækkun vegna öldu með 100 ára endurkomutíma,  $H_s=14,5\text{m}$ ,  $T_p=17,2\text{s}$ ,  $L_0=460\text{m}$ , ölduhalli=0,031, er:

$$\eta_{\text{grunnbrot 100 ár}} = 1,51 \text{ m}, \eta_{\text{grunnbrot}}/H_s=0,10.$$

Niðurstöður Goda (1975) sýna að fyrir brattari strönd verði hlutfallið  $\eta_{\text{grunnbrot}}/H_s$  hærri, um 0,17 fyrir botnhalla 1/10. Einnig kemur fram að hækkun vegna grunnbrota

byrjar fyrst á dýpi sem er um einum til einum og hálfum sinnum ölduhæðin og að hækkunin vex upp að ströndinni. Til að sjávarhæð geti hækkað fyrir innan brimgarðinn þarf að koma til lækkun annars staðar. Samkvæmt Goda (1975) er lækkunin mun minni,  $\eta_{\text{grunnbröt}}/H_s$  um 0,01, en hún dreifist yfir stærra svæði og nær út á dýpi sem er um 3 sinnum ölduhæðin.

Til samanburðar skulum við reikna mesta ölduáhláðanda með aðferð Battjes (1974):

$$\eta_{\text{grunnbr}} = 0,3 * \gamma_b * H_b$$

þar sem:

$\gamma_b$  er hæsta hlutfall ölduhæðar og dýpis,  $H/h$ , “breaker index”

$H_b$  er ölduhæð í grunnbrotum eða á “breaker line”

Göngum út frá að  $\gamma_b$  sé 0,6 og  $H_b$  því 6,6 fyrir ársölduna, þá verður hæsti árs ölduáhláðandi 1,19 sem er nokkuð nálægt því sem aðferð Goda gefur.

Tengt grunnbrotunum eru langar sveiflur á haffletinum, þar sem hin ýmsu hafsvæði sveiflast á eigintíðni sinni. Þessar löngu sveiflur eru oft framkallaðar af nokkuð reglulegum ólögum. Í höfnum eru þessar sveiflur oft kallaðar sog. Sveiflutíminn fyrir þessar sjávarstöðubreytingar getur verið á bilinu hálf mínúta upp í nokkrar mínútur, líklega ekki meira en 10 mínútur. Grófar niðurstöður úr vatnslíkaninu gefa að sog innan hafnarinnar geti verið um 1 m.

#### 5.5.4 SOG VEGNA GRUNNBROTA, “SURF BEAT”.

Við úrvinnslu sjávarfallamælinga Lamont Doherty stofnunarinnar í Grindavíkurhöfn, Donn og Wolf, 1972, komu fram langar sveiflur sem reyndust hafa sveiflutíma 3 til 7 mínútur. Sveiflutíminn lengdist á lágrí sjávarstöðu, en styttest á hárrí. Útslagið frá meðalgildi mældist allt að 0,49 m.

Sveiflutími soganna bendir til að hafnarsvæðið hafi sveiflast á eigintíðni opins hólfs á móti hafi. Sveiflutími opins hólfs er reiknaður samkvæmt formúlunni:

$$T = 4 * L * (g * h)^{0,5}$$

þar sem  $L$  er dýpt hólfsins,  $g$  er þyngdarhröðunin og  $h$  er dýpið. Dýpt hólfsins er tekin sem sveigður ás frá innsta hluta vestur hafnarinnar og út fyrir rífið, um 375 m. Á tíma mælinganna var ekki búið að dýpka austur höfnina.

Sogin voru talin myndast vegna lækkunar loftþrýstings, þegar lægðarmiðja fer yfir, auk vindáhláðanda. Nú vita menn aftur á móti að ástæðunnar er að leita í öldunum, í tveimur þáttum sem báðir orsakast af ólögum. Ólög er það kallað þegar nokkrar háar öldur koma hver á eftir annarri og milli ólaga er talað um lag. Þegar öldur brotna á grynningum eins og Sundboðanum, þá dæla þær sjó inn fyrir brimgarðinn, sem síðan streymir út milli ólaga. Hinn þátturinn stafar af bundinni bylgju sem fylgir ólögum og og lagi á milli þeirra. Meðalsjávarstaða í háum öldum í ólögum er lægri en í lágum öldum í lagi. Þegar öldur brotna eða koma upp að strönd er talið að losni um þessa bundnu bylgjur. Vegna þess hve langar þær eru geta þær komið tiltölulega litlum hafnarsvæðum til að sveiflast á eigintíðni sinni.

## 5.6 REIKNILÍKAN FYRIR ÁHRIF LOFTPRÝSTINGS OG VINDS

Hér að framan er stuðst við einfaldar líkingar sem lýsa stöðufræðilegu sambandi loftþrýstingslækkunar og sjávarborðshækkunar annars vegar og sambandi vindstyrks og vindáhlaðanda hins vegar. Ekki er tekið tillit til hreyfifræðilegra áhrifa og þess flókna samspils ólíkra þátta, sem getur ráðið miklu um hæð sjávarflóðs. Til að lýsa sambandi loftþrýstings og vinds við sjávarhæð hefur verið sett upp reiknilíkan fyrir fyrir sjávarflóð við Ísland, sjá Gunnar G Tómasson, Kjartan Gíslason og Þorbjörn Karlsson, 1996.

Niðurstöður líkanreikninga hafa eru bornar saman við mælingar á sjávarstöðu til að meta hæfni reiknilíkansins til þess að líkja eftir sjávarflóðum við strönd landsins. Valin voru tvö mjög ólík veður, janúar 1990 og febrúar 1996, og voru niðurstöður reikninga í góðu samræmi við mælingar. Í veðrinu 9. janúar 1990 kom djúp lægð upp að landinu suðvestanverðu. Ferill lægðarmiðjunnar er rétt utan Faxaflóa og því eru áhrif loftþrýstings á sjávarstöðu mjög mikil. Ölduhæð varð sú hæsta sem mælst hefur hér við land og samspil hárrar sjávarstöðu og ölduálags olli töluverðum skemmdum á suður- og suðvesturlandi. Samt sem áður var ekki stórstreymi þegar veðrið gekk yfir og þegar lægðarmiðjan kom upp að landinu var sjávarstaða nær fjöru en flóði. Hluttur loftþrýstings og vinds í sjávarstöðu reiknaðist mestur 0,81 m í Reykjavík og 0,70 m í Grindavík. Þann 20 febrúar 1996 er stjarnfræðilegt flóð mjög hátt, kröpp og djúp lægð fer yfir Grænlandsjökul og til vesturs langt norðan við landið. Þannig lækkaði loftþrýstingur á landinu ekki mikið og áhrif hans á sjávarhæð því lítil. Lægðinni fylgdi stíf vestan átt, sem stóð nokkuð lengi. Þrátt fyrir vindáhlaðanda reiknast sjávarflóðið mest um 0,10 m í Reykjavík.

Af ofangreindu má vera ljóst að aðstæður hefðu getað orðið mun verri en raun varð á. Líkanið var notað til að reikna hver sjávarhæð hefði orðið ef janúar lægðin frá 1990 hefði gengið yfir landið á stjarnfræðilegu flóði eins og í lok febrúar 1996. Lægðarmiðjan var látin kom að landinu á mismunandi tíma og fundið hvaða tilvik gaf mesta flóð. Í Reykjavík hefði flóðhæð orðið 5,24 m og í Grindavík 4,32 m. Hluttur loftþrýstings og vinds í sjávarstöðunni reiknast mestur 0,77 m í Grindavík.

Athugum nú hvað þær aðferðir sem notaðar voru í kaflanum hér að framan gefa fyrir aðstæður eins og í janúar 1990 fyrir Grindavík. Loftþrýstingur er u.þ.b. 931 mb og vindhraði 58 hnútar, Guðmundur Hafsteinsson, 1990. Áhlaðandi vegna loftþrýstings er um 0,62 m og vegna vinds með aðferð Bretschneider um 0,13. Þ.e. heildaráhlaðandi vegna vinds og loftþrýstings um 0,75, sem er mjög nálægt því sem reiknilíkanið spáði fyrir um.

## 5.7 SJÁVARHÆÐARBREYTINGAR Í VATNSLÍKANI

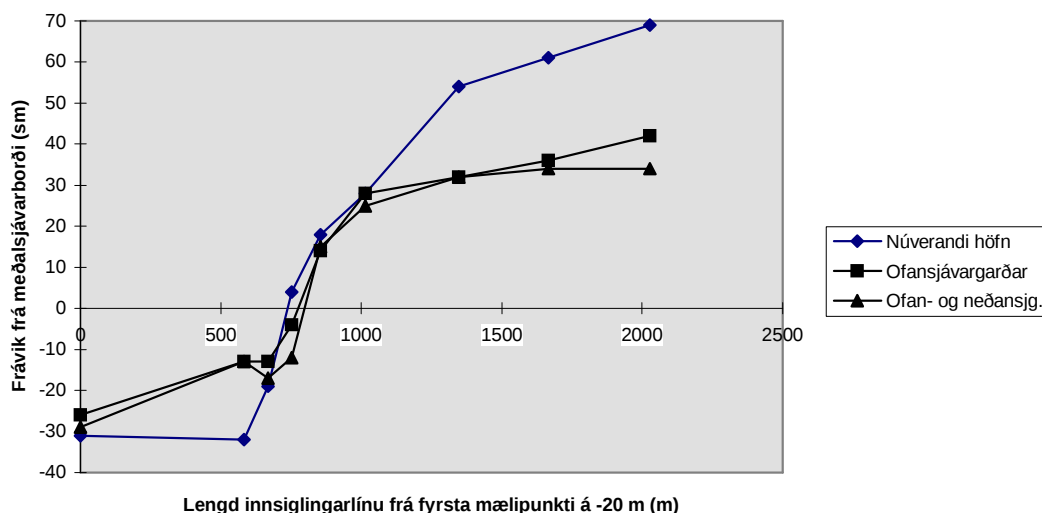
Vatnslíkanið er byggt nákvæmlega út á 30 m dýpi og stendur ölduvélin þar, en fyrsti mælistaður er á 20 m dýpi. Ölduvélin sendir frá sér öldur sem byrja að brotna þegar þær koma upp á grynningar. Þannig koma fram í líkaninu sjávarhæðarbreytingar vegna grunnbrota. Hér verða sýndar niðurstöður mælinga annars vegar þegar unnið var með núverandi innsiglingu, með dýpkun og auknu skjóli, og hins vegar þegar

unnið var með innsiglingu beint út. Mælingin er þannig framkvæmd að mæld er meðalsjávarstaða yfir hverjar 15 sekúndur.

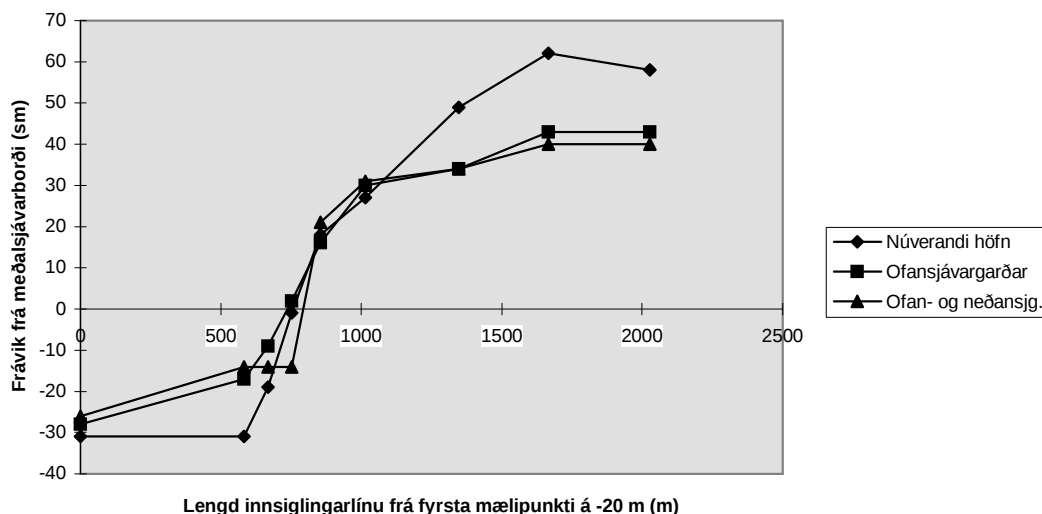
### 5.7.1 NÚVERANDI INNSIGLING, SUNNANÁTT

Hér verða sýndar niðurstöður mælinga á núverandi innsiglingu og eftir að henni hefur verið skýlt með ofan og neðansjávangörðum.

Myndir 5.2 og 5.3 sýna mældar sjávarborðsbreytingar í líkani á tveimur sjávarstöðum, +4,0 og +3,35, í sunnan átt og fyrir mismunandi uppstillingar í líkani. Mælingarnar voru gerðar með mögnun 8,0, en þá er ölduhæð á 20 m dýpi um 8,9 m. Efsta línan er núverandi höfn, næsta lína eftir byggingu ofansjávangarða og sú neðsta eftir byggingu ofan- og neðansjávangarða. Í þessari mælingu var djúpsundið ekki dýpkað. Lárétti ásinn er lengd innsiglingarlínu frá fyrsta mælipunkti á -20 m dýpi og inn í höfn. Næstu tveir mælipunktar í um 580 og 670 m fjarlægð eru í djúpsundinu, sá fjórði í 750 m er á ytra snúningi, 860 m á snúningnum, 1010 m á innra snúningi, 1350 m í ósmekjum, 1670 við þrýstimæli á miðbakka og 2030 m á Eyjabakka.



Mynd 5.2 Breyting á meðalsjávarhæð vegna grunnbrota í líkani, sunnan átt, sh +4,0



Mynd 5.3 Breyting á meðalsjávarhæð vegna grunnbrota í líkani, sunnan átt, sh +3,35

Fram kemur að sjávarstöðuhækkunar gætir ekki fyrr en á ytra snúningi, en í Djúpsundi lækkar sjávarborð. Þetta stafar af því að grunnbrot eiga sér stað inn allt djúpsundið og inn á ytri snúning, en ekki innar. Grunnbrotin dæla sjó inn fyrir Sundaboðann og valda sjávarborðs hækkun innar. Mest er hækkunin frá innra snúningi og inn úr. Fram kemur að eftir byggingu ofan og neðansjávangarða minnka sjávarborðsbreytingar niður í um 50 til 70 % af því sem þær eru í dag.

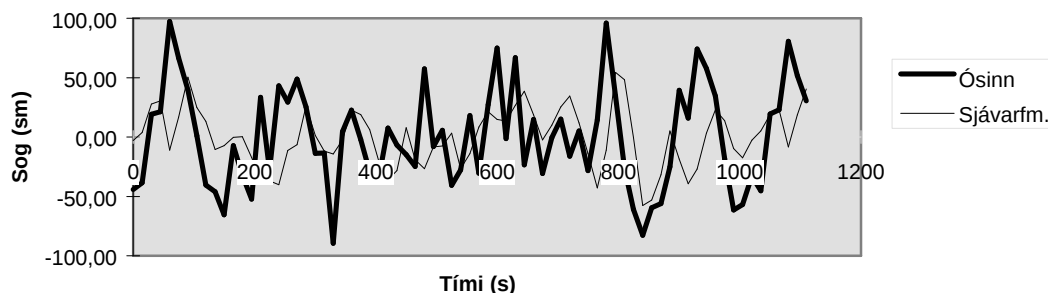
Náttúrulegt dýpi á ytra snúningi er um 6,5 m, þ.a. heildar dýpi á +4,0 og +3,35 er 10,5 m og 9,85 m, sem er rétt riflega ölduhæðin. Samkvæmt kenningum Goda, sem byggðir á gögnum frá beinni sandströnd, á þessi punktur að vera á dýpi, sem er ein og hálf ölduhæð. Samkvæmt sömu kenningum á sjávarborðs lækkunin aðeins að nema 0,01 ölduhæð, um 0,1 m, og ná út á dýpi sem er þrisvar sinnum ölduhæðin eða 27 m. Í vatnslíkani mælist lækkunin um 0,3 eða 0,2 m meiri en búast má við og stafar þetta væntanlega af því í náttúrunni hefði þessi lækkun dreifst yfir stærra sem en fyrir hendi er innan líkansins. Það er því ástæða til að bæta 0,2 m við mælda sjávarborðshækkun, sem er þá um 0,9 m á sjávarstöðu +4,0 og 0,8 m á +3,35 við núverandi aðstæður í innsiglingunni. Reikningar með líkingunni fyrir grunnbrot hér að framan gefa fyrir þetta sjólag 0,96 m hækkun, sem er 6 til 17 % hærra en mælist í líkaninu. Þetta verða að teljast nokkuð góðar niðurstöður, því það er ekki óeðlilegt að jafn flóknar aðstæður og eru við Grindavík víki nokkuð frá almennum fræðum.

Hér að ofan hefur verið talað um breytingu á meðalsjávarhæð. Aftur á móti eru töluverðar sveiflur á sjávarstöðunni frá einum tíma til annars. Tafla 5.4 sýnir breytingar frá meðalsjávarstöðu hvers mælis, staðalfrávik mælingarinnar, hæsta og lægsta gildi, ásamt 1%, 10% og 20% gildum. Við athugun á töflunni ber að hafa í huga að mæligögnin eru meðalsjávarstaða yfir 15 s eða um eina öldu. Í töflunni kemur fram að 1% af tímanum er sjávarstaðan tæpum 1 m hærri en meðalsjávarstaðan þar sem mælt var í Ósnum og um 0,5 m hærri innan hafnar. Þannig er heildar hækkun 1% af tímanum vegna grunnbrota þegar ölduhæð er 8,9 m á -20 m um 1,5 m í Ósnum og um 1,1 innan hafnar.

|          | Mælir 1<br>-20 m | Mælir 2<br>Djúps -8<br>m | Mælir 3<br>Djúps -6<br>m | Mælir 4<br>Ytri<br>snún. | Mælir 5<br>Snúning<br>ur | Mælir 6<br>Innri<br>snún. | Mælir 7<br>Ósinn | Mælir 8<br>Sjávarfm | Mælir 9<br>Eyjabakk<br>i |
|----------|------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------|---------------------|--------------------------|
| Staðalfr | 29               | 53                       | 43                       | 36                       | 39                       | 41                        | 43               | 24                  | 26                       |
| Max      | 70               | 90                       | 92                       | 77                       | 92                       | 77                        | 97               | 54                  | 48                       |
| Min      | -78              | -111                     | -126                     | -79                      | -90                      | -83                       | -90              | -58                 | -58                      |
| 1%       | 68               | 87                       | 89                       | 77                       | 87                       | 74                        | 96               | 51                  | 46                       |
| 10%      | 37               | 66                       | 53                       | 45                       | 52                       | 57                        | 58               | 27                  | 36                       |
| 20%      | 22               | 53                       | 34                       | 32                       | 33                       | 37                        | 35               | 22                  | 22                       |

**Tafla 5.4: Breyting frá meðalsjávarstöðu hvers mælis (sm).  
Sunnan átt, Hs 8,9 m á -20 m, sjávarstaða +3,35.**

Mynd 5.4 sýnir tímaröð söga vegna grunnbrota í Ósnum og innan hafnar.



Mynd 5.4 Sog vegna grunnbrota í Ósnum og innan hafnar, sveiflur um meðalsjávarstöðu hvors mælis (sm).

### 5.7.2 BEIN INNSIGLING, SUNNANÁTT

Í seinni hluta líkantilrauna var unnið með beina innsiglingu, með dýpkun siglingarrennu út í gegnum Sundboðann. Innri hluta þeirrar innsiglingar, núverandi Ósmerkjum, var skýlt með tveimur brimvarnargörðum, sitt hvorum megin.

Ysti mælirinn var á 20 m dýpi, á saman stað og í fyrri hluta rannsóknanna. Mælir tvö var á beinu innsiglingarlínunni úti á 10 m dýpi, næstu þrír á beinu innsiglingarlínunni 700, 500 og 250 m frá Miðbakka, sjötti mælirinn í stöðu sjávarfallamælis og sá sjöundi á Eyjabakka. Staðsetning mælis, sem er á innsiglingarlínunni 250 m frá Miðbakka, er u.þ.b. sú sama og mælis í Ósmerkjum áður.

| Mögnun | Hs | Mælir 1<br>-20 m | Mælir 2<br>-10 m | Mælir 3<br>Bl 700 m | Mælir 4<br>Bl 500 m | Mælir 5<br>Bl 250 m | Mælir 6<br>Sjávarfm. | Mælir 7<br>Eyjabakki |
|--------|----|------------------|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 2      |    | -5               | 11               | 17                  | 1                   | 23                  | 21                   | 57                   |
| 4      |    | -12              | 4                | 16                  | 11                  | 47                  | 46                   | 74                   |
| 6      |    | -20              | 2                | 24                  | 17                  | 64                  | 63                   | 83                   |
| 8      |    | -29              | 10               | 40                  | 21                  | 77                  | 77                   | 86                   |

Tafla 5.5: Bein innsigling án garða, breyting frá upphaflegir sjávarstöðu (sm). Sunnan átt á sjávarstöðu +3,35.

| Mögnun | Hs | Mælir 1<br>-20 m | Mælir 2<br>-10 m | Mælir 3<br>Bl 700 m | Mælir 4<br>Bl 500 m | Mælir 5<br>Bl 250 m | Mælir 6<br>Sjávarfm. | Mælir 7<br>Eyjabakki |
|--------|----|------------------|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 2      |    | -2               | -2               | -0                  | 2                   | 2                   | 4                    | 4                    |
| 4      |    | -2               | -7               | -17                 | 8                   | 10                  | 11                   | 14                   |
| 6      |    | -7               | -10              | -20                 | 19                  | 28                  | 29                   | 33                   |
| 8      |    | -19              | -10              | 2                   | 22                  | 40                  | 41                   | 43                   |

Tafla 5.6: Bein innsigling með gördum, breyting frá upphaflegir sjávarstöðu (sm). Sunnan átt á sjávarstöðu +3,35.

Á mynd 5.3 kemur fram að við 8,9 m ölduhæð á -20 m dýpi hækkar meðalsjávarstaðan í höfninni um 60 sm. Þegar innsigling verður dýpkuð beint út hækkar ölduáhlaðandinn upp í rúma 80 sm, sbr. töflu 5.5, og eftir byggingu brimvarnargarða lækkar áhlaðandinn í um 40 sm, tafla 5.6. Þannig verður hækkun

meðalsjávarstöðu vegna grunnbrota tveir þriðju af því sem hún er í dag eftir að höfnin er fullbyggð samkvæmt þessum plönun.

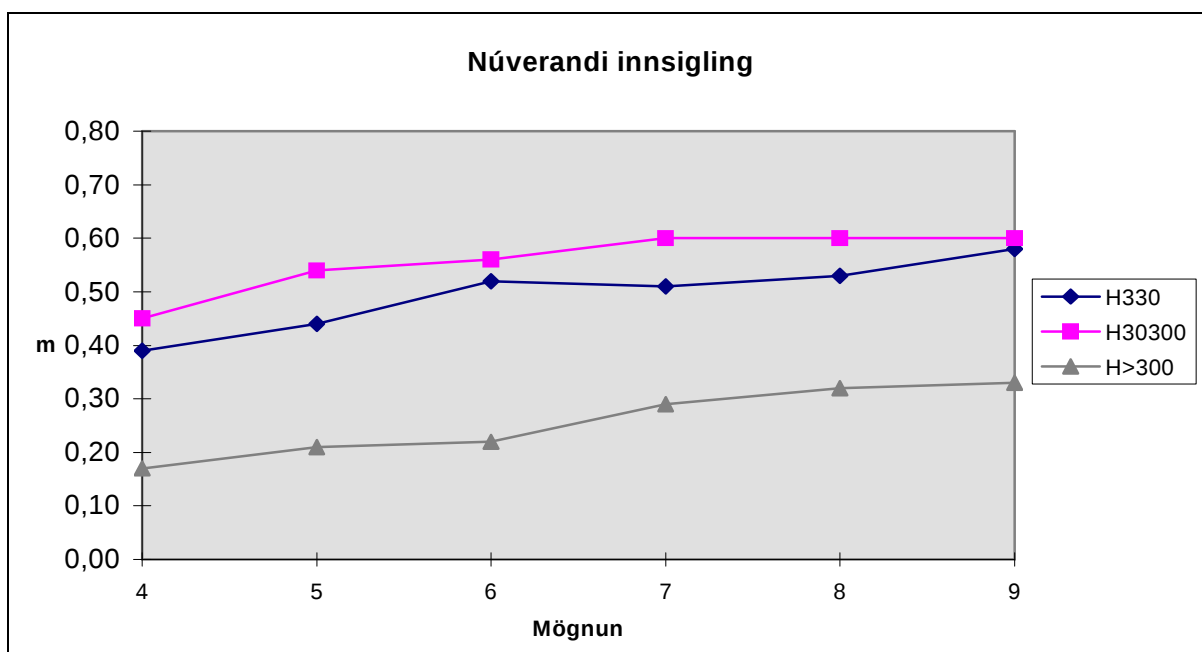
Eins og áður er sagt frá framkalla grunnbrotin sog í höfninni og koma þau vel fram í vatnslíkaninu. Tafla 7 sýnir fyrir beina innsiglingu með görðum breytingar frá meðalsjávarstöðu hvers mælis. Þar kemur fram að 1% af tímanum er sjávarstaðan um 0,4 m hærri en meðalsjávarstaðan innan hafnar og um 0,75 m í Ósnum. Þannig er heildar hækkun 1% af tímanum vegna grunnbrota þegar ölduhæð er 8,9 m á -20 m um 0,85 m innan hafnar og um 1,15 m í Ósnum.

|          | Mælir 1<br>-20 m | Mælir 2<br>-10 m | Mælir 3<br>Bl 700 m | Mælir 4<br>Bl 500 m | Mælir 5<br>Bl 250 m | Mælir 6<br>Sjávarfm. | Mælir 7<br>Eyjabakki |
|----------|------------------|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| Staðalfr | 30               | 28               | 21                  | 23                  | 35                  | 18                   | 27                   |
| Max      | 70               | 75               | 56                  | 54                  | 82                  | 37                   | 46                   |
| Min      | -106             | -75              | -49                 | -52                 | -72                 | -34                  | -70                  |
| 1%       | 61               | 68               | 52                  | 45                  | 75                  | 36                   | 44                   |
| 10%      | 35               | 34               | 27                  | 30                  | 52                  | 25                   | 30                   |
| 20%      | 26               | 20               | 17                  | 22                  | 29                  | 16                   | 21                   |

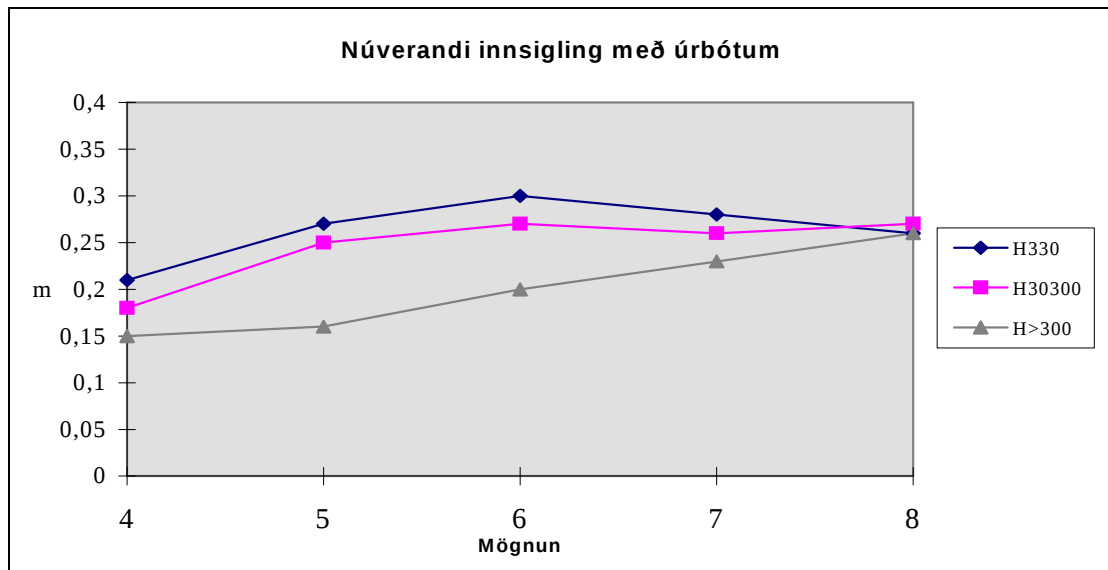
Tafla 5.7: Bein innsigling með görðum, breyting frá meðalsjávarstöðu hvers mælis (sm). Sunnan átt, Hs 8,9 m á -20 m, sjávarstaða +3,35.

### 5.7.3 NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA Á ÖLDU OG SOGUM VIÐ MIÐBAKKA

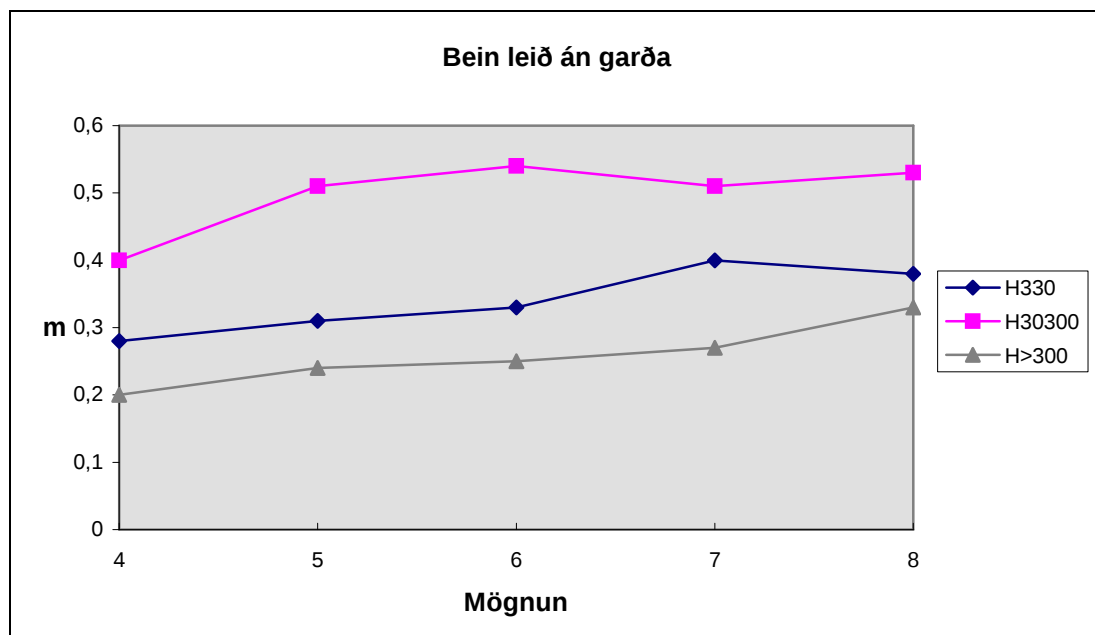
Í eftirfarandi línuritum koma fyrir kennialda ( $H_{330}$ ), sog styttri en 300s ( $H_{30300}$ ) og sog lengri en 300s ( $H_{>300}$ ) mælt í líkani við Miðbakka fyrir mismunandi aðstæður eins og fram kemur af línuritunum.



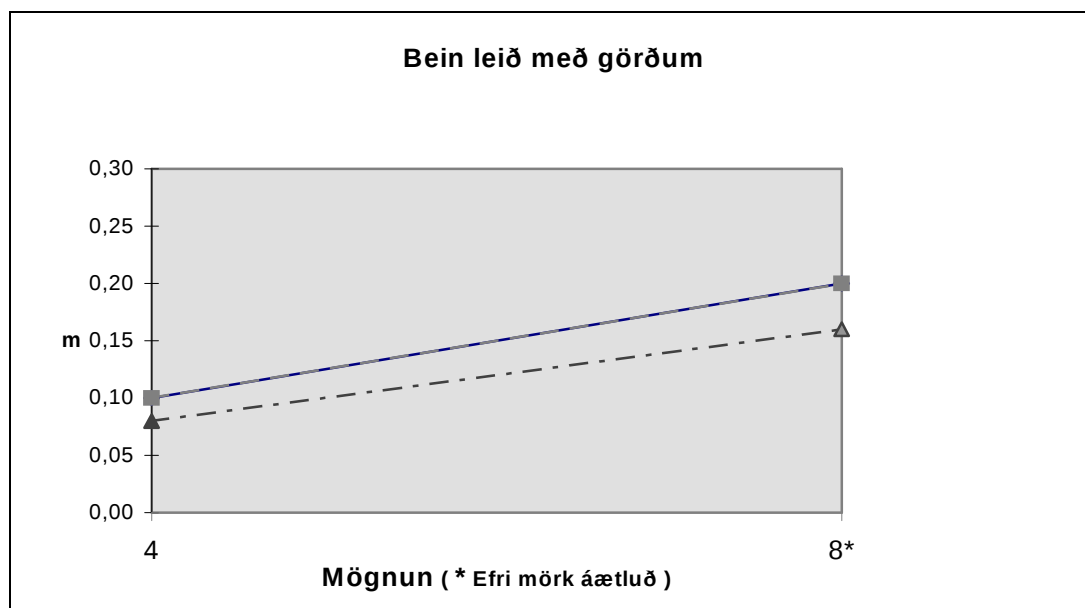
Mynd 5.5 Kennialda, sog og lengri sog við Miðbakka við núverandi aðstæður



Mynd 5.6 Kennialda, sog og lengri sog við Miðbakka við núverandi innsiglingu með úrbótum.



Mynd 5.7 Kennialda, sog og lengri sog við Miðbakka við beina innsiglingu án garða.



Mynd 5.8 Kennialda, sog og lengri sog við Miðbakka við beina innsiglingu með görðum.

## 5.8 HÖNNUNARSJÁVARSTAÐA

Væru hinir ýmsu þættir sem hafa áhrif á sjávarstöðu óháðir, þá væru líkur á að tveir þættir legðust saman margfeldi af líkum hvors um sig. Þeir atburðir sem hér eru til umfjöllunar eru hins vegar ekki óháðir, þar sem lágur loftþrýstingur, hár vindhraði og há alda eru háðir atburðir. Aftur á móti eru mestar líkur á að sjávarföllin séu óháð þessum atburðum. Í athugun sem Þorbjörn Karlsson, 1977, gerði fyrir Grundartanga í Hvalfirði lagði hann líkindafræðilegt mat á það hvernig hinir ýmsu þættir legðust saman. Í því tilfelli voru tvær þættir háðir, þ.e. vindáhlaðandi og loftþrýstingur, eins og í tilfelli hönnunarsjávarstöðu á 20 m dýpi, en innan hafnar í Grindavík bætist þriðji háði atburðurinn við sem eru grunnbrotin. Að svo komnu máli verður ekki farið í slíka reikninga.

### 5.8.1 HÖNNUNARSJÁVARSTAÐA Á 20 M DÝPI UTAN GRINDAVÍKUR

Gerum ráð fyrir að sjávarföllin á 20 m dýpi utan Grindavíkur séu þau sömu og voru ákvörðuð fyrir höfnina. Fyrir flóð með endurkomutíma 50 til 100 ár eru hér settir upp tveir möguleikar. Annars vegar meðalstórstraumsflóð + loftþrýstingur og vindur hvor með 10 ára endurkomutíma, og hins vegar hæsta stjarnfræðilega flóð + loftþrýstingur með 1 árs endurkomutíma:

$$\begin{aligned} \text{MSTFL} + \eta_{\text{loftþr 10 ár}} + \eta_{\text{vindur 10 ár}} &= 3,35 + 0,62 + 0,12 = +4,09 \text{ m} \\ \text{HSF} + \eta_{\text{loftþr 1 ár}} &= 3,70 + 0,48 = +4,18 \text{ m} \end{aligned}$$

Þriðja vísbendingin er úrvinnsla Ólafs og Páls á mælingunum í Reykjavík sem kvörðuð yfir til Grindavíkur gefur +4,1 m. Fjórða vísbendingin sem byggt er á er að leggja hluta loftþrýstings og vinds í reiknilíkaninu ofan á meðalstórstraumsflóð, sem gefur 4,1 m. **Á grundvelli þessara gagna er flóð með 50 til 100 ára endurkomutíma á um 20 m dýpi utan Grindavíkurhafnar ákvarðað +4,1 m.** Samt

sem áður er ljóst að sjávarflóð geta orðið töluvert hærri. Þar sem sjávarborðslækkun framan við brimgarðinn er meiri í vatnslíkaninu en í náttúrunni, verður 0,2 m bætt við meðalsjávarstöðu í vatnslíkani, þegar hönnunarsjávarstaðan er keyrð.

### 5.8.2 HÖNNUNARSJÁVARSTAÐA Í GRINDAVÍKURHÖFN

Með tilliti til ofmats á hækkun vegna grunnbrota, samanber niðurstöður úr vatnslíkani, hafa sjávarborðshækkunarir vegna grunnbrota verið lækkaðar um 15%.

Hér verða settir upp nokkrir möguleikar á flóðum, sem talin eru koma að jafnaði einu sinni til tvisvar á öld. Í fyrsta lagi meðalstórstraumsflóð + loftþrýstingur með 10 ára endurkomutíma + grunnbrot öldu með 1 árs endurkomutíma + vindur með 1 árs endurkomutíma:

$$\text{MSTFL} + \eta_{\text{loftþr 10 ár}} + \eta_{\text{grunnbr 1 ár}} + \eta_{\text{vindur 1 ár}} = 3,35 + 0,62 + 0,97 + 0,10 = 5,04 \text{ m}$$

Önnur nálgun getur verið meðalsmástraumsflóð + loftþrýstingur með 100 ára endurkomutíma + grunnbrot öldu og vindur með 10 ára endurkomutíma:

$$\text{MSMFL} + \eta_{\text{loftþr 100 ár}} + \eta_{\text{grunnbr 10 ár}} + \eta_{\text{vindur 10 ár}} = 2,36 + 0,69 + 1,14 + 0,15 = 4,34 \text{ m}$$

Þriðja nálgun er hönnunarflóðið úti fyrir + grunnbrot öldu með 1 árs endurkomutíma:

$$\text{Hönnunarsjávarstaða á -20m} + \eta_{\text{grunnbr 1 ár}} = 4,1 + 0,97 = 5,07 \text{ m}$$

Til hliðsjónar eru hér gefnar allra verstu aðstæður, hæsta stjarnfræðilega flóð, ásamt loftþrýstingi, grunnbrotum og vindi með 100 ára endurkomutíma:

$$\text{HSF} + \eta_{\text{loftþr 100 ár}} + \eta_{\text{grunnbr 100 ár}} + \eta_{\text{vindur 100 ár}} = 3,7 + 0,69 + 1,28 + 0,21 = 5,88 \text{ m}$$

Nálganir 1 og 3 eru metnar sem nokkuð raunhæfar, nálgun 2 er greinilega allt of lág, og verstu aðstæður samkvæmt þessum reikningum hafa sennilega endurkomutíma nokkur hundruð ár.

Í úrvinnslu dönsku straumfræðistöðvarinnar frá 1974 var miðað við hönnunarflóð +5,0 m. Mat á flóðhæð í nóvember veðrinu 1975 var +5,5 í fyllum. Ekki er ljóst hvort draga beri helming söga, sem eru um 1 m, frá þessari tölu til að finna hönnunarflóð.

**Á grundvelli þessara gagna er flóð í Grindavíkurhöfn, sem að jafnaði kemur einu sinni til tvisvar á öld, metið +5,0 til +5,5 m.**

## 5.9 SJÁVARFLÓÐ Í GRINDAVÍKURHÖFN

Margir samverkandi þættir valda sjávarflóðum í Grindavíkurhöfn. Sjávarflóðin eru samspil meðalsjávarstöðu og hæstu sjávarstöðu ásamt hæð langra söga og ölduhæðar.

Mesta hætt á tjóni af völdum sjávarflóða er þegar hæsta alda leiðir inn í höfn á háu lagi sem fellur saman við hæstu sjávarstöðu.

Þegar meta á úrbætur í höfninni gagnvart sjávarflóðum þarf að skoða hvern þessara þátta fyrir sig. Í töflu 8 er yfirlit yfir niðurstöður úr líkantilraunum fyrir þessa þætti.

|                | Núverandi aðstæður | Núverandi innsigling eftir úrbætur | Bein innsigling án garða | Bein innsigling með gördum |
|----------------|--------------------|------------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Flóðhæð        | 4,5                | 4,3*                               | 4,7                      | 4,3                        |
| Hæsta flóð, 1% | 4,9                | 4,3*                               | 5,1                      | 4,7                        |
| Sogahæð        | 0,61               | 0,27                               | 0,53                     | 0,20                       |
| Kennialda      | 0,59               | 0,26                               | 0,50                     | 0,20                       |

\*Áætlað

**Tafla 5. 8: Samantekt á aðstæðum við Miðbakka á stórstraumflóði einu sinni á ári að jafnaði.**

Í dag má reikna með hæsta flóði 4,5 m og hæstu sjávarstöðu 4,9 m einu sinni á ári. Þegar opnuð hefur verið bein leið í gegnum Sundboðann hækka sjávarflóð um 0,2 m en með tilkomu brimvarnagarða verða sjávarflóð 0,2 m lægri en þau eru í dag. Mesta breyting verður á sogum og ölduhæð innan hafnar með tilkomu brimvarnagarða og gildir það bæði fyrir úrbætur á núverandi leið og á beinni innsiglingu. Með tilkomu garðanna lækka sog úr 0,5 - 0,6 m í 0,2 - 0,3 m og ölduhæðir í höfninni fara niður fyrir viðmiðunarmörk Siglingastofnunnar sem eru 0,25 m. Þannig verður hægt að liggja hvar sem er innan hafnar í veðri sem kemur einu sinni á ári. Með því að leggja saman hæstu sjávarstöðu, hæstu sog og hálfa kenniölduhæð fæst mat á endanlegri flóðhæð í hverju tilviki.

| Aðstæður    | Núverandi | Núverandi m/ úrbótum | Bein leið | Bein leið m/ úrbótum |
|-------------|-----------|----------------------|-----------|----------------------|
| Flóðhæð (m) | 5,8       | 5,1                  | 5,8       | 5,0                  |

**Tafla 5.9: Mat á hæstu flóðhæð við mismunandi aðstæður.**

Þannig má reikna með að sjávarborðshæð í flóðum verði um 0,8 m lægri en við núverandi aðstæður, eftir að dýpkuð hefur verið bein leið og garðar byggðir.

## 6. HÖNNUN, FRAMKVÆMDIR OG KOSTNAÐUR

### 6.1 FRUMHÖNNUN BRIMVARNARGARÐA

Hér verður fjallað um ýmis atriði er varða frumhönnun brimvarnargarð. Hluti þessa texta var unnin samhliða vinnu við úrbætur á núverandi innsiglingu. Síðan var bætt við þann texta þegar unnið var við beina innsiglingu gegnum Sundboðann.

#### 6.1.1 NÚVERANDI INNSIGLING

Í fyrri hluta líkantilrauna var unnið með núverandi innsiglingu. Innsiglingin var dýpkuð og henni skýlt með brimvarnargörðum. Innri hluta innsiglingar var skýlt með um 410 m löngum garði út á Sundboða. Hafnarmynni var skýlt með rúmlega 40 m löngum garði austan við Ósmerkin, sem ekki var landtengdur. Dregið var úr þverstrumi í Ósmerkjum með um 90 m löngum garði frá landi að austanverðu. Djúpsundi og ytri snúningi var skýlt með neðansjávangarði og leiðigarði ofan á honum innst.

Brimvarnargarðar við innsiglinguna eru að mörgu leyti óvanalegir. Garðarnir að austan verða hefðbundnir grjótgarðar, en garðurinn út Sundboðann verður bermu- eða grjóthrúgugarður. Neðansjávangarðurinn verður með stórgrýti í efstu lögum en leiðigarðurinn ofan á honum verður hefðbundinn grjótgarður.

Þar sem garðarnir eru af mismunandi gerðum, auk þess sem álag á þá er mismunandi, næst góð nýtingu á stórgrýti úr námu, sem aftur leiðir til hagkvæmni við byggingu garðanna.

Eftir því sem öldur brotna oftar og meir í innsiglingunni lækkar hlutfallið milli hæstu öldu og kenniöldu og þar með minnka líkurnar á að stórgrýti í grjótgarði hreyfist til.

Brimvarnargarðurinn á Sundboðanum verður fyrir mun meiri ölduáraun en garðarnir að austan þar sem dýpið við fót mannvirkisins er breytilegt frá fjöruborði næst landi og út á 4 m dýpi miðað við fjöru. Stefna brimvarnargarðsins er höfð þannig að aldan hleypur upp eftir garðinum. Þessi stefnubreyting dregur verulega úr ölduáraun á hann.

Garðarnir á Sundboðanum og neðansjávangarðurinn verða fyrir mikilli ölduáraun á meðan á byggingu þeirra stendur. Því þarf að aðlaga gerð garðanna að aðstæðum þannig að þó að brimi þá raskist bygging garðanna sem minnst. Grjóthrúgugarður þolir brim á byggingartíma vel og frátafir verða í lágmarki þegar staðið er rétt að verki eins og fyrirskrifað verður í útboðsgögnum.

Á sama hátt verður neðansjávangarður fyrir lágmarksröskun á byggingartíma þar sem ölduáraunin er minnst niður við botninn en áraunin eykst eftir því sem nær dregur yfirborðinu. Því þarf stórgrýti ofan á allan neðansjávangarðinn.

Hönnunar forsendur fyrir mannvirkin í innsiglingunni eru eftirfarandi:

- Stöðugleiki grjótgaraðanna gagnvart ölduáraun er ásættanlegur þó smá tjón verði á mannvirkjum á meðan krafan um notagildi er uppfyllt.
- Við hámarksölduáraun á hönnunarsjávarstöðu er aðeins leyfð minni háttar færsla á stórgryti þannig að mannvirkið uppfylli að öllu leiti kröfur um notagildi.
- Færsla á stórgryti niður í innsiglingarennuna er ekki leyfð.
- Sprengt efni úr dýpkun og sprengdur kjarni má ekki berast upp í gegnum grjótkápu.

## 6.1.2 BRIMVARNARGARÐUR ÚT Á SUNDBOÐA

### 6.1.2.1 LEGA BRIMVARNARGARÐS

Notuð er grunnmynd brimvarnargarðs frá júní/júlí 1996. Samkvæmt henni er garðurinn um 410 m langur. Á fyrri grunnmynd frá janúar 1996 var hann metinn um 380 m langur.

### 6.1.2.2 HÖNNUNARALDA

Öldustefna er metin á grundvelli öldusveigju fyrir S og SV áttir. Í stöð 100 er innfallshornið um 28° og í stöð 250 um 24°. Þar sem endi garðs sveigir upp í ölduna er innfallshornið stærra nær endanum.

Til að meta hönnunaröldu á garðinn var öldumælt í líkani með og án ofan- og neðansjávangarða. Mælingin án garða var bæði gerð á sjávarstöðu +3,35 og +4,0, mælingin með gördum aðeins á sjávarstöðu +4,0, en það er hönnunarsjávarstaðan.

Áhrif garðanna á mælingar með og án garða eru margþætt. Neðansjávangarðurinn skýlir enda garðsins á Sundaboða, því mælist hærri alda án hans. Aftur á móti verður meiri ölduáhladdandi með tilkomu garðsins út á Sundaboðann og því nær hærri alda garðinum. Þá er alltaf eitthvað frákast frá garðinum, þó reynt væri að draga úr því með breiðri grjótblermu.

Áður en að neðansjávangarður er byggður mælist alda framan við enda garðsins að austan verðu (-5 m) hæst 5,9 m, en 4,8 m eftir. Framan við enda garðs að vestan verðu (-5 m) mælist alda hæst 4,9 m með gördum. Framan við stöð 300 á um 4 m dýpi mælist alda hæst um 4,5 m. Framan við stöð 150, á 5 m dýpi 150 m frá garði mælist alda hæst 5,35 m, en á 2 m dýpi um 30 m frá garði 4,6 m. Þar er hlutfall kenniöldu og dýpis 0,77. Við ákvörðun á hönnunaröldu ofar er ákveðið að halda sig við þetta hlutfall.

### 6.1.2.3 HÖNNUNARFORSENDUR

Gert er ráð fyrir að ekki líði langur tími frá því að garðurinn út á Sundaboða er byggður þangað til neðansjávangarðurinn er byggður. Þannig þarf ekki að taka tillit til hærri öldu á enda án neðansjávangarðs.

Hér er ákveðið að lækka hönnunaröldu sem svarar kósínus af aðfallshorninu,  $\beta$ :

$$H_s' = \cos\beta * H_s$$

Stöðugleikastuðullinn  $H_o$  er reiknaður er samkvæmt jöfnunni:

$$H_o = H_s / (\Delta D_{n50})$$

þar sem  $\Delta$  er hlutfallsleg eðlisþyngd, hér tekin sem 1,72, og  $D_{n50}$  er þvermál steins með meðalþyngd. Viðmiðunarmörk fyrir stöðugleikastuðullinn eru:

Ho ofan og framan á bermu á haus : 2,0 til 2,4

Ho ofan og framan á bermu á legg : 2,4 til 2,8

|           | H <sub>s</sub><br>(m) | Aðfalls<br>horn<br>$\beta$ | H <sub>s</sub> ' | Ho haus / Ho legg<br>2,0 / 2,4 |                 |          | Ho haus / Ho legg<br>2,4 / 2,8 |                 |          |
|-----------|-----------------------|----------------------------|------------------|--------------------------------|-----------------|----------|--------------------------------|-----------------|----------|
|           |                       |                            |                  | D <sub>n50</sub>               | M <sub>50</sub> | Grjótfl. | D <sub>n50</sub>               | M <sub>50</sub> | Grjótfl. |
| 0 - 75    | 2,3                   | 28°                        | 2,0              | 0,5                            | 0,3             | 0,5 - 2  | 0,4                            | 0,2             |          |
| 75 - 125  | 3,1                   | 28°                        | 2,7              | 0,65                           | 0,8             | 0,5 - 2  | 0,55                           | 0,5             |          |
| 125 - 200 | 4,6                   | 26°                        | 4,1              | 1,0                            | 3,0             | 2 - 5    | 0,85                           | 1,8             | 1 - 3,5  |
| 200 - 350 | 4,5                   | 24°                        | 4,1              | 1,0                            | 3,0             | 2 - 5    | 0,85                           | 1,8             | 1 - 3,5  |
| 350 - 400 | 5,0                   | 45°                        | 3,5              | 0,85                           | 1,7             |          |                                |                 |          |
| Endi      | 5,0                   |                            |                  | 1,45                           | 8,8             | 8 - 12   | 1,25                           | 5,1             | 4 - 8    |

**Tafla 6.1: Hönnunaralda á garð og nauðsynlegar grjótstærðir m.v. mismunandi stöðugleikastuðla.**

Af töflunni má draga þá ályktun að byggja skuli raðaðan garð að stöð 125, eða út að 0 m dýpi.

Í neðansjávargarðinn þarf mikið magn af grjóti yfir 4 tonn. Því er hugmyndin að hanna garðinn út á Sundaboða með það fyrir augum að nýta sem mest grjót undir 4 tonnum. Á þessu forhönnunarstigi er gert ráð fyrir bermu úr 1 - 4 tonna grjóti, með styrktarlagi úr 3 til 6 tonna grjóti ofan og framan á bermu. Í loka hönnun er hægt að vinna nánar úr þessu.

#### 6.1.2.4 HÖNNUNARSTÆRÐIR B1 OG B2

Við samanburð við aðra garða þá ber að hafa í huga að garðurinn út á Sundaboða fær hönnunarálág á sig mun tíðar en flestir aðrir garðar. T.d. hefur Bolungarvíkur garðurinn fengið á sig hönnunarálág en sennilega ekki oftast en einu sinni. Einungis nokkrir steinar hafa hreyfst í garðinum.

Hönnunarstærðirnar B1 og B2 eru skilgreindar þannig að B1 er lárétt fjarlægð frá miðri krónu út á bermubrun og B2 er lárétt fjarlægð frá kjarna út í bermubrun í bermukóta. Hönnunarkrafa fyrir B1 og B2 deilt með ölduhæð eru: B1/H<sub>s</sub> á enda og legg 4,9/4,7 og B2/H<sub>s</sub> á enda og legg 4,7/4,5. Hæð á garði ofan við hönnunarsjávurstöðu þarf að vera 1,1\*H<sub>s</sub>.

$$\Rightarrow \text{Hæð á garði} \quad +4,0 + 1,1*4,1 = +8,5$$

$$\Rightarrow \text{B1/H}_s \text{ á enda} \quad 4,9 * 5,0 = 24,5$$

$$\Rightarrow \text{B1/H}_s \text{ á legg} \quad 4,7 * 4,1 = 19,3$$

### 6.1.3 GARÐUR G2

Við hönnun á görðum G2 og G3 að austan verðu verður tekið mið af hönnun viðgerðar á Austurgarði árið 1990. Hann var settur í kóta +8,0 með einu lagi af 3-6 tonna grjóti í toppinn. Fyrir viðgerðina mældist fláinn utan á garðinum 1:3 til 1:4.

Garður sem skýlir hafnarmynni, um 42,5 m langur og hefur ekki landtengingu. Hönnunaralda ákvörðuð út frá mælingum í líkani á sh +4,0 er  $H_s=3,4$  m. Vegna þess hve grunnt er á garði er ölduhæð komin nálægt hámarki við um 7 m kenniöldu á viðmiðunarmæli í líkani. Við magntöku er gert ráð fyrir að dýpi undir garði sé 0,0

Garðurinn er hannaður sem hefðbundinn raðaður garður. Nauðsynleg hæð á garði m.v.  $1,35 \cdot H_s$  + hönnunarsjávarstaða er +8,6 m.

Steinastærð með aðferð Hudson og fláa 1:1,5 er 3 tonn með minnstu breidd í toppinn 3,1 m. Þessi meðalstærð gæti svarað til grjótflokks 2 til 5 tonn.

Steinastærð er fundin með aðferð van der Meer. Skemmdarstuðullinn S er skilgreindur sem flatarmál á rofi í þversniði, deilt með þvermáli steins af meðalþyngd í öðru veldi. Fyrir raðaða garða með fláa 1:1,5 og 1: 2 er  $S = 2$  skilgreint sem upphaf skemmda,  $S = 3-6$  sem miðlungs skemmdir og við  $S = 8$  er talað um að garður hafi gefið sig.

Hér er valið að nota tvö lög af 3 til 6 tonna grjóti,  $M_{50}=4,0$  t, með fláa 1:1,8 að utan verðu, en 1:1,5 að innan verðu, með tveimur undirlögum 0,3 til 1 tonn. Athugandi er að skipta út öðru 3 til 6 tonna laginu á endanum sem meira mæðir á nær ósmerkjunum, með einu lagi af 6 til 9 tonna grjóti.

### 6.1.4 GARÐUR G3

Um 90 m langur garður frá landi, sem stöðvar þverstrauma í innsiglingu í Ósmerkjunum. Hönnunaralda ákvörðuð út frá mælingum í líkani á sh +4,0 er  $H_s=2,2$  m. Þessi garður er á enn grynnri sjó en G2 og fer ölduhæð nálægt hámarki við um 5 m ölduhæð á viðmiðunarmæli. Við magntöku er gert ráð fyrir að dýpi undir garði sé +1,0

Garðurinn er hannaður sem hefðbundinn raðaður garður. Nauðsynleg hæð á garði m.v.  $1,35 \cdot H_s$  + hönnunarsjávarstaða er +7,0 m.

Steinastærð með aðferð Hudson og fláa 1:1,5 er 0,8 tonn með minnstu breidd í toppinn 2,0 m. Þessi meðalstærð gæti svarað til grjótflokks 0,5 til 2 tonn.

Með hliðsjón af grjótflokkum sem valdir voru fyrir garð G2 er hér valið að nota tvö lög af 1 til 3 tonna grjóti,  $M_{50}=1,7$  t, með fláa 1:1,5 að utan verðu, en 1:1,3 að innan verðu, með tveimur undirlögum 0,3 til 1 tonn. Á endann þarf að skipta öðru 1 til 3 tonna laginu út fyrir 3 til 6 tonna lagi.

### 6.1.5 NEÐANSJÁVARGARÐUR MEÐ LEIÐIGARÐI

Niðurstöður líkantilrauna af stöðugleika neðansjávargarðsins sýna að fremri hluti garðsins þarf að vera á 2,0 m dýpi miðað við stórstraumsfjöru og innri hlutinn á dýpi 1,0 m. Efstu tvö lögin þurfa að vera úr 4 til 12 tonna stórgrýti niður á 5,0 m dýpi en þar fyrir neðan þarf 1 til 4 tonna grjót nema næst innsiglingarrennu en þar þarf stórgrýti að ná niður á botn til að tryggja að stórgrýti fari ekki út í rennuna.

Í leiðigarðinn þarf að vera úr stærsta stórgrýti. Vegna þess að aldan brotnar ofan á og eftir fláum neðansjávargarðsins þarf að takast á við öldu sem brotnar framfyrir sig og getur valdið röskun á stórgrýti sem er raðað.

## 6.2 BEIN INNSIGLING

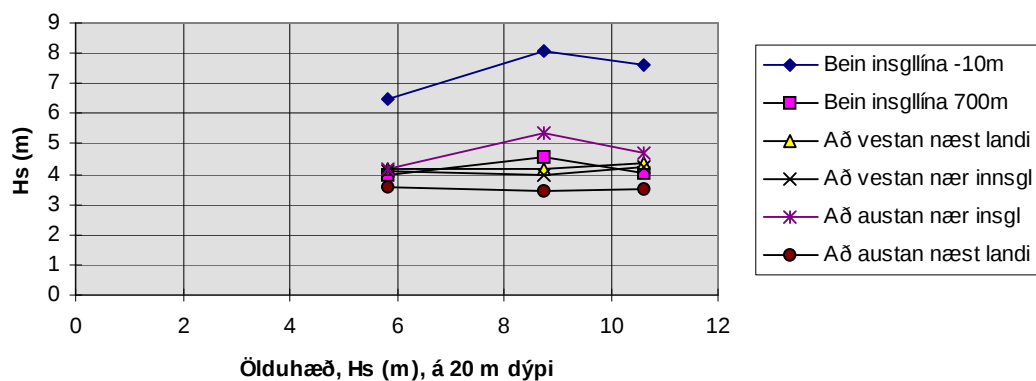
Í seinni hluta líkantilrauna var unnið með beina innsiglingu, með dýpkun siglingarrennu út í gegnum Sundboðann. Innri hluta þeirrar innsiglingar, núverandi Ósmerkjum, var skýlt með tveimur brimvarnargörðum, sitt hvorum megin.

### 6.2.1 HÖNNUNARALDA

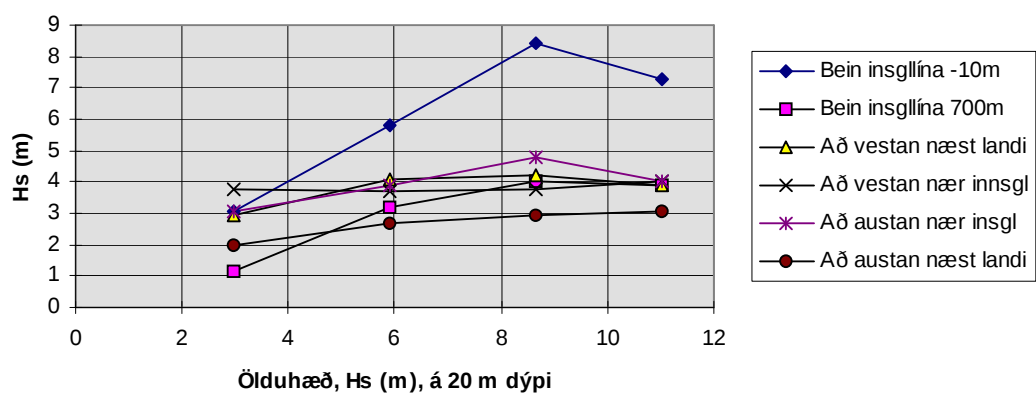
Til að meta hönnunaröldu á garðinn var bæði öldumælt í líkani með og án brimvarnargarða og mældar breytingar á sjávarhæð. Mælingarnar voru gerðar á sjávarstöðu +4,3. Sú sjávarstaða var ákvörðuð sem hönnunarsjávarstaðan +4,1 plús 0,2 m vegna þess að lækkun meðalsjávarborðs framan brimgarðs er meiri í vatnslíkani en í náttúru.

Myndir 1 og 2 sýna niðurstöður öldumælinga á innsiglingarlinu og framan við garðstæði að vestan og austan, mælt með og án garða. Niðurstöðurnar eru teiknaðar sem fall af ölduhæð á 20 m dýpi á núverandi innsiglingarlínu. Garðarnir voru settir út með plastpokum og valda því nokkru endurkasti.

Þó að ekki hafi verið keyrðar hærri öldur en sem nemur u.þ.b. ársölduhæð, en hún er 11,0 m úr S og 9,7 m úr SV í punktinum á 20 m dýpi, þá er augljóst af myndunum að ölduhæðin framan við garðstæðið hefur náð sínu hámarki. Þó að ölduhæð hækki í 100 ára gildi, sem er um 14,5 m úr S og 13,6 m úr SV, þá hækkar aldan innan brimgarðsins ekki.



Mynd 6.1 Mæling á ölduhæð framan við garðstæði, mælt með görðum. Bein innsigling dýpkuð út. Sunnan átt, sjávarstaða +4,3.



Mynd 6.2 : Mæling á ölduhæð framan við garðastæði, mælt án garða. Bein innsigling dýpkuð út. Sunnan átt, sjávarstaða +4,3.

Eins og við var að búast mælist aldan hærri með görðum, að vestan næst landi 4,3 m í stað 4,2 m, að vestan nær innsiglingarlínu 4,2 í stað 4,0, að austan nær innsiglingarlínu 5,3 í stað 4,8 og að austan næst landi 3,5 í stað 3,1 m. Ástæða þessa liggur að hluta til í endurkasti, en gæti líka legið í hækkun sjávarstöðu framan við garðana, sem veldur því að hærri öldu komast að þeim.

Því var breyting á sjávarhæð mæld bæði með og án garða, töflur 2 og 3. Á mælum 4 og 4 að vestanverðu mælist u.þ.b. sama sjávarstaða með og án garða. Á mæli 6 að austan næst innsiglingunni mælist um 7 sm hækkun og um 14 sm á mæli 7. Nú verður aukning á ölduhæð ekki meira en 70% af hækkun sjávarstöðu, eða innan við 0,1m.

| Hs<br>á 20 m<br>dýpi | Mælir 1<br>-20 m | Mælir 2<br>-10 m | Mælir 3<br>Bl 700 m | Mælir 4<br>Að vestan<br>næst landi | Mælir 5<br>Að vestan<br>nær innsgl | Mælir 6<br>Að austan<br>nær innsgl | Mælir 7<br>Að austan<br>næst landi |
|----------------------|------------------|------------------|---------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 3,0                  | 6                | 1                | 3                   | -4                                 | 0                                  | 0                                  | -7                                 |
| 5,9                  | -4               | -9               | -7                  | -8                                 | -5                                 | -15                                | -11                                |
| 8,7                  | -14              | -21              | 5                   | -4                                 | 5                                  | -2                                 | 10                                 |
| 11,0                 | -22              | -12              | 10                  | 4                                  | 16                                 | 4                                  | 16                                 |

**Tafla 6.2 : Bein innsigling án garða, breyting frá upphaflegir sjávarstöðu (sm). Sunnan átt á sjávarstöðu +4,3.**

| Hs<br>á 20 m<br>dýpi | Mælir 1<br>-20 m | Mælir 2<br>-10 m | Mælir 3<br>Bl 700 m | Mælir 4<br>Að vestan<br>næst landi | Mælir 5<br>Að vestan<br>nær innsgl | Mælir 6<br>Að austan<br>nær innsgl | Mælir 7<br>Að austan<br>næst landi |
|----------------------|------------------|------------------|---------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 3,0                  | 5                | -2               | -3                  | -8                                 | -6                                 | -4                                 | -11                                |
| 5,9                  | 3                | -7               | -2                  | -1                                 | 1                                  | -7                                 | -1                                 |
| 8,7                  | -7               | -12              | 7                   | 3                                  | 13                                 | 2                                  | 20                                 |
| 11,0                 | -17              | -10              | 16                  | 8                                  | 17                                 | 11                                 | 28                                 |

**Tafla 6.3 : Bein innsigling með görðum, breyting frá upphaflegir sjávarstöðu (sm). Sunnan átt á sjávarstöðu +4,3.**

Hér að ofan hefur verið talað um breytingu á meðalsjávarhæð. Aftur á móti eru töluverðar sveiflur á sjávarstöðunni frá einum tíma til annars. Tafla 4 sýnir breytingar frá meðalsjávarstöðu hvers mælis, staðalfrávik mælingarinnar, hæsta og lægsta gildi, ásamt 1%, 10% og 20% gildum. Í töflunni kemur fram að 1% af tímanum er sjávarstaðan um 1 m hærri en meðalsjávarstaðan á mælum 5, 6 og 7, en um 0,8 m á mæli 4.

|          | Mælir 1<br>-20 m | Mælir 2<br>-10 m | Mælir 3<br>Bl 700 m | Mælir 4<br>Að vestan<br>næst landi | Mælir 5<br>Að vestan<br>nær innsgl | Mælir 6<br>Að austan<br>nær innsgl | Mælir 7<br>Að austan<br>næst landi |
|----------|------------------|------------------|---------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Staðalfr | 31               | 28               | 22                  | 35                                 | 45                                 | 49                                 | 55                                 |
| Max      | 68               | 57               | 48                  | 93                                 | 104                                | 99                                 | 119                                |
| Min      | -112             | -64              | -49                 | -67                                | -84                                | -143                               | -122                               |
| 1%       | 60               | 55               | 45                  | 78                                 | 98                                 | 96                                 | 115                                |
| 10%      | 34               | 42               | 30                  | 45                                 | 61                                 | 63                                 | 74                                 |
| 20%      | 25               | 21               | 22                  | 31                                 | 41                                 | 42                                 | 45                                 |

**Tafla 6.4 : Bein innsigling með görðum, breyting frá meðalsjávarstöðu hvers mælis (sm). Sunnan átt, Hs 8,9 m á -20 m, sjávarstaða +4,3.**

Til að taka tillit til þess að hluta af tímanum stendur sjávarstaðan hærra og hleypir hærri öldu á garðinn, er hér ákveðið að bæta ofan á hönnunarölduna 50% af breytingu frá meðalsjávarstöðu sem búast má við 10% af tímanum.

Eins og hér að framan lækkum við hönnunaröldu sem svarar kósínus af aðfallshorninu,  $\beta$ . Aðfallshornið er metið í líkani. Í töflu 5 er gefin hönnunaralda á garðana ásamt nauðsynlegri grjóttærð m.v. mismunandi mörk á stöðugleikastuðli, Ho. Einnig er gefið mat á eðlilegan grjótflokk til að ná viðkomandi meðalþyngd.

|                   | Hs  | Aðfalls<br>horn | Hs'  | Ho haus / Ho legg<br>2,0 / 2,4 |                 |          | Ho haus / Ho legg<br>2,4 / 2,8 |                 |          |
|-------------------|-----|-----------------|------|--------------------------------|-----------------|----------|--------------------------------|-----------------|----------|
|                   | (m) | $\beta$         | (m)  | Dn <sub>50</sub>               | M <sub>50</sub> | Grjótfl. | Dn <sub>50</sub>               | M <sub>50</sub> | Grjótfl. |
| Vestan næst landi | 4,4 | 26°             | 4,0  | 0,97                           | 2,6             | 2-4      | 0,83                           | 1,6             | 1-3      |
| Vestan nær innsgl | 4,3 | 26°             | 3,9  | 0,94                           | 2,4             | 2-4      | 0,81                           | 1,5             | 1-3      |
| Vestan endi       | 4,4 |                 | 4,4  | 1,28                           | 6,0             | 5-8      | 1,07                           | 3,5             | 3-5      |
| Austan endi       | 5,1 |                 | 5,1  | 1,48                           | 9,3             | 8-12     | 1,24                           | 5,4             | 4,5-8    |
| Austan nær innsgl | 5,1 | 39°             | 4,0  | 0,96                           | 2,5             | 1,5-5    | 0,83                           | 1,6             | 1-3      |
| Austan næst landi | 3,5 | 50°             | 2,25 | 0,55                           | 0,45            | 0,3-1,0  | 0,47                           | 0,3             | 0,2-0,5  |

**Tafla 6.5 : Hönnunaralda á garð og nauðsynlegar grjótstærðir m.v. mismunandi stöðugleikastuðla.**

## 6.2.2 HÖNNUNARSTÆRÐIR B1, B2 OG HÆÐ Á GARÐI

Samanber kaflann um hönnunarstærðir fyrir garðinn út á Sundboðann, þá veljum við að hanna miðað við að hlutfall B1 og Hs á haus og legg sé 4,9 og 4,7. Eins og með garðinn út á Sundboðann gerum við ráð fyrir að hæð á garði ofan hönnunarsjávarstöðu, +4,1, sé 1,1 sinnum hönnunaralda.

|                   | B1/Hs | B2/Hs | Hs'  | B1   | B2   | Toppkóti |
|-------------------|-------|-------|------|------|------|----------|
|                   |       |       | (m)  | (m)  | (m)  |          |
| Vestan næst landi | 4,7   | 4,5   | 4,0  | 18,8 | 18,0 | 8,5      |
| Vestan nær innsgl | 4,7   | 4,5   | 3,9  | 18,3 | 17,6 | 8,4      |
| Vestan endi       | 4,9   | 4,7   | 4,4  | 21,6 | 20,7 | 8,9      |
| Austan endi       | 4,9   | 4,7   | 5,1  | 25,0 | 24,0 | 9,7      |
| Austan nær innsgl | 4,7   | 4,5   | 4,0  | 18,8 | 18,0 | 8,5      |
| Austan næst landi | 4,7   | 4,5   | 2,25 | 10,6 | 10,1 | 6,6      |

**Tafla 6.6 : Hönnunarstærðir B1, B2 og hæð á garði.**

Ekki er talið nauðsynlegt að upp fylla kröfu um hæð á garði á enda garðs. Vestari garðurinn verður því í kóta +8,5 og fremri hluti þess eystri einnig.

## 6.3 FORSENDUR OG UNDIRBÚNINGUR FRAMKVÆMDA VIÐ ÚRBÆTUR Á DJÚPSUNDINU

### 6.3.1 SKIPTING VERKÞÁTTA

Verkinu má skipta upp í nokkra þætti: námuvinnsla, flutningur á efni, byggingu ofansjávangarða, byggingu neðansjávangarða og dýpkanir.

#### 6.3.1.1 NÁMUVINNSLA

Vestan Grindavíkur í um 6 til 8 km fjarlægð hefur verið unnið stórgrýti í brimvarnargarða. Þetta grjót hefur reynst vel, það veðrast lítið og springur lítið, en hins vegar er það frekar létt eða um 2,8 tonn á rúmmetra. Með markvissri leit og rannsóknnum á grjótgæðum er talið að hægt sé að finna grjótnámur sem gefa gott grjót í brimvarnargarða með hátt hlutfall af stórgrýti.

Leitast verður við fá sem hæst hlutfall af grjóti yfir 1 t. Við frumathugun er gert ráð fyrir að grjótvinnslan geti gefið allt að:

|             |      |
|-------------|------|
| 4 - 12 tonn | 18 % |
| 1 - 4 tonn  | 32 % |
| > 1 tonn    | 50 % |

Áætlað heildarmagn í brimvarnargarðana er 170,000 m<sup>3</sup> og í neðansjávangarðinn um 90,000 m<sup>3</sup> og í leiðigarðinn um 20,000 m<sup>3</sup>. Auk þess er gert ráð fyrir að grafa upp úr innsiglingarennunni um 50,000 m<sup>3</sup> af sprengdu efni.

Heildar efnispörf í garðana, miðað við að nota efni úr uppgreftri við dýpkun í kjarna í neðansjávangarð, er um 230,000 m<sup>3</sup>. Miðað við ofangreinda frumspá um stærðardreifingu úr námu og að naman gangi upp verður framleiðslan:

|               |      |                              |
|---------------|------|------------------------------|
| 4 - 12 tonn   | 18 % | 41,000 m <sup>3</sup>        |
| 1 - 4 tonn    | 32 % | 74,000 m <sup>3</sup>        |
| Undir 1 tonni | 50 % | <u>115,000 m<sup>3</sup></u> |
| Samtals       |      | 230,000 m <sup>3</sup>       |

Þar sem reynslan af stórgrýtinu er góð í Grindavík er ekki talin ástæða til að fara í rannsóknarboranir við frumhönnun brimvarnargarða heldur einungis könnun á grjótgæðum.

Umfang brimvarnargarðanna er það mikið að nauðsynlegt verður að fara í umhverfismat vegna byggingu þeirra. Því er talið rétt að endanleg leit að hagkvæmasta grjótnáminu bíði þar til ákveðið er að hefja framkvæmdir.

Efnispörf úr námu er um 230.000 m<sup>3</sup>. Það er heldur meira en síðustu brimvarnargarðar sem hafa verið byggðir, Bolungarvíkur garðurinn var 200.000 m<sup>3</sup>, fylling og grjótvörn utan á aðalhafnargarðinn í Keflavík 150.000 m<sup>3</sup>, en garðarnir á Blönduósi, Dalvík og á Austurfjöru á Hornafirði eru allir um 100.000 m<sup>3</sup>.

Steinastærðir verða svipaðar og í Bolungarvík, þar sem stærsti grjótflokkur var 8 til 14 tonn og á Austurfjöru með stærsta grjótflokk yfir 8 tonn. Tæki við námavinnsluna voru bortæki, ein til tvær gröfur og hjólaskófla. Búast má við að vinnsluaðferðir og tæki verði svipuð og í þessum verkum.

Í garðinn út Sundboðann er nær eingöngu þörf fyrir grjót undir 4 tonnum að stærð. Því er mesta hagkvæmnin að vinna stærsta grjótið í neðansjávargarðinn og leiðigarðinn um leið og námuvinnsla fer fram í grjótgarðana.

#### 6.3.1.2 FLUTNINGUR Á EFNI

Áætluð vegalengd frá námu að brimvarnargarði að vestan er um 6 til 8 km. Efnið verður flutt sunnan byggðar og má því notast við stóra grjótflutningabíla og önnur stórvirk tæki sem gerið verkið hagkvæmara.

#### 6.3.1.3 BYGGING BRIMVARNARGARÐA

Undanfarin ár hafa brimvarnargarðar hér á landi verið byggðir með 25 til 42 tonna gröfum. Vörubílar og hjólaskóflur hafa verið notaðar til að fæða gröfurnar með efni. Ofansjávargarðarnir eru hefðbundin verk hvað þetta varðar. ( Gert er ráð fyrir að ekinn verði vegur út garðinn sem ekki er landtengdur og honum síðan mokað upp ).

#### 6.3.1.4 BYGGING NEÐANSJÁVARGARÐS

Gert er ráð fyrir að gróft efni úr dýpkun innsiglingarrennu verði notað neðst og innst í garðinn. Dýpkunartæki moka í pramma sem losar efnið í garðstæðinu. Ofan á það losa prammar sprengdan kjarna og grjót af millistærð úr námu á landi. Á flata hluta neðansjávargarðsins koma tvö lög af 4 til 12 tonna grjóti. Þykkt þessara laga er um 3,0 m. Dýpi á stórgrýtið er í - 2,0 m að utanverðu og - 1,0 m innar miðað við stórstraumsfjöru. Þannig þarf kjarninn að ná upp í -5,0 m og - 4,0 m.

Samkvæmt CIRIA/CUR handbókinni gæti verið nauðsynlegt að nota fljótandi gröfu eða krana og krefjast þess að steinum yrði komið fyrir einum og einum til að byggja upp tvö lög. Í sömu handbók er gefið að hæstu hönnunarlínur fyrir kjarna sem settur er út með prömmum sé 3,0 m neðan við fjöruborð og jafnvel neðar fyrir pramma með botnhlera.

Athugandi er hvort prammi eins og notaður var við brimvarnargarðinn í Keflavík geti losað þetta grjót. Pramminn er með botnhlera og hefur 3,3 m opnun, fullhlaðinn ristir hann 3,8 m og tómur 1,5 m. Við bestu skilyrði má grjót jafnvel ná ofar en 1,5 m eftir losun. Sjávarföll í Grindavík eru þannig að meðalsjávarhæð er +1,75 m, smástraumsflóð +2,36 m og stórstraumsflóð +3,35 m.

Leiðigarðurinn sem kemur ofan á neðansjávargarðinn verður byggður úr stórgrýti, yfir 8 tonn, tvö lög með tiltölulega flötum fláa, 1:2 að framan og 1:1,5 að aftan. Til að koma slíku grjóti fyrir þarf stóra gröfu á annað hvort fljótandi pramma eða fleka sem getur lyft sér upp fyrir sjávarborð.

#### 6.3.1.5 DÝPKUN INNSIGLINGARRENNU.

Við dýpkun innsiglingarrennunnar þarf stóra gröfu, fljótandi pramma eða fleka sem getur lyft sér upp fyrir sjávarborð, ásamt pramma til að flytja efnið.

Til viðmiðunar eru hér gefnar nokkrar upplýsingar um dýpkun innsiglingar inn að Sandgerðishöfn.

Dýpkun innsiglingar inn að Sandgerðishöfn og hafnar var boðin út á árinu 1990 og samið við finnska verktakafyrirtækið HAKA. Verkið var unnið á árinu 1991. Alls var 40.189 m<sup>2</sup> klapparsvæði sprengt og fjarlægðir 63.568 m<sup>3</sup> af lausu efni og klöpp. Innsiglingin var dýpkuð í -5,5 m á ystu 350 m, en í - 5,0 m innst við höfnina. Innsiglingarennan er um 800 m löng og 50 m breið. Innan hafnar var sömuleiðis dýpkað niður í -5,0 m. Þar var um að ræða um 8.200 m<sup>2</sup> svæði og um 18.000 m<sup>3</sup> af efni. Ennfremur var gengið frá tveimur innsiglingarmerkjum meðfram rennunni og eldri merki lagfærð. Verkið allt var unnið á tímabilinu frá maí til ágúst. Framkvæmdakostnaður á árið 1991 var 334 milljón kr. Við dýpkunina var notuð grafa sem svarar til um 100 tonna landtækis á fleka með þremur fótum



## 7. TILLÖGUR OG KOSTNAÐARMAT

### 7.1 TILLÖGUR AÐ ÚRBÓTUM Á NÚVERANDI INNSIGLINGU

Á mynd 7.1 eru sýndar tillögur að úrbótum á núverandi innsiglingu.

#### 7.1.1 BRIMVARNARGARÐAR

Til að auka kyrrð innan hafnar, draga úr straumkasti og ókyrrð í Ósnum er þörf á eftirfarandi framkvæmdum:

- Garður G1 frá landi og út á Sundaboða, 400 m langur og um 111.000 m<sup>3</sup> að magni.
- Garður G2 á austurfjöru, ekki landtengdur, 50 m langur og um 8.000 m<sup>3</sup> að magni.
- Garður G3 frá landi og út á Austurfjöru, 80 m langur og um 6,400 m<sup>3</sup> að magni.

Garðarnir vinna allir saman, þannig að kyrrð innan hafnar og í Ós minnkar mjög lítið fyrir en garðar G1 og G2 eru báðir komnir og til að draga úr straumkasti er þörf á bæði görðum G3 og G1. Með byggingu garðanna mun bæði draga úr ölduhreyfingu og hættu á flóðum innan hafnar. Einnig minnka kröfur um breidd og dýpi innsiglingar. Garðarnir eru úr sprengdum kjarna og stórgrýti.

Til að auka öryggi í innri hluta Djúpsunds og Snúningi er lagt til að byggður verði:

- Neðansjávar brimvarnargarður G4, 210 m langur og 57 m breiður, 100.000 m<sup>3</sup>.
- Á innri hluta garðsins er gert ráð fyrir leiðigarði sem er 35 m langur í toppinn, 15,000 m<sup>3</sup>.

Alda brýtur á neðansjávargarðinum og leiðigarðinum og dregur samtímis úr öldubrotum í innri hluta Djúpsunds og á ytra snúningi. Með neðansjávargarði er unnt að spara verulega í dýpkunum bæði vegna lægri öldu og með því að innri snúningur er færður utar. Garðinn þarf að byggja úr sprengdum kjarna og stórgrýti.

Samtals er magn stórgrýtis og kjarna í brimvarnargörðum um 230.000 m<sup>3</sup> og er heildarkostnaður við byggingu brimvarnargarða um 400 milljónir kr.

#### 7.1.2 MERKINGAR

Til að auðvelda sjófarendum siglingu og auka öryggi þarf að merkja innsiglinguna vel:

- Fjögur leiðarmerki, tvö rauð merki við ytri snúning og tvö græn við innri snúning.

Búast má við að kostnaður við merkingar verði um 10 til 15 milljónir.

### 7.1.3 DÝPKANIR

Með aukinni kyrrð í innsiglingu er hægt að komast af með minna dýpi og minni breidd innsiglingar. Til að innsigling uppfylli hönnunarskilyrði eru eftirfarandi dýpkanir nauðsynlegar:

- Ósinn inn í höfn, 34 m breið renna með 7,0 m dýpi, um 17.000 m<sup>2</sup> að flatarmáli.
- Snúningurinn, 46 m breið renna með 7,0 m dýpi, um 1000 m<sup>2</sup> að flatarmáli.
- Djúpsundið, 70 m breið renna með 7,5 m dýpi innst en 9,5 m dýpi utar, um 2100 m<sup>2</sup> að flatarmáli í -7,5 m, 4200 m<sup>2</sup> í -8,5 m og 7.700 m<sup>2</sup> í -9,5 m.

Samtals eru dýpkanir um 32.000 m<sup>2</sup> að flatarmáli og er heildarkostnaður við borun, sprengingar og uppgröft um 342 milljónir kr.

## 7.2 TILLÖGUR AÐ BEINNI INNSIGLINGU

Á mynd 7.2 eru sýndar tillögur að beinni innsiglingu og görðum.

### 7.2.1 BRIMVARNARGARÐAR

Til að bæta kyrrð innan hafnar, draga úr straumkasti og ókyrrð í Ósnum er þörf á eftirfarandi framkvæmdum:

- Vesturgarður frá landi og út innan við Sundaboða, 250 m langur og um 80.000 m<sup>3</sup> að magni.
- Austurgarður frá austurfjöru á móts við Vesturgarð, 315 m langur og um 100.000 m<sup>3</sup> að magni.

Vestur- og Austurgarður mynda saman ytri höfn með um 80 m breiðu hafnarmynni. Garðarnir vinna saman, þannig að kyrrð innan hafnar og í Ós minnkar mjög lítið fyrir en báðir garðarnir hafa verið byggðir. Með byggingu garðanna mun bæði draga úr ölduhreyfingu og hættu á sjávarflóðum innan hafnar. Einnig minnka kröfur um breidd og dýpi innsiglingar. Garðarnir yrðu úr sprengdum kjarna og stórgrýti.

### 7.2.2 MERKINGAR

Til að auðvelda siglingu um innri rennu áður en ytri garðar koma og flutningaskipum eftir lok framkvæmda er lagt til að innri renna verði merkt með tveim staurum. Enn fremur þarf að endurskoða leiðarljós í Ósrennu og tryggja að þau sjáist vel út á Járngerðarstaðavíkina.

### 7.2.3 DÝPKANIR

Með aukinni kyrrð í Ósnum er hægt að komast af með minna dýpi og minni breidd á siglingarrennunni. Til að innsigling uppfylli hönnunarskilyrði eru eftirfarandi dýpkanir nauðsynlegar:

- Ósrenna 410 m löng, 35 m breið rennan með 7 m dýpi.
- Ytri renna 540 m löng, 70 m breið renna með 9,5 m dýpi.

Samtals þarf að bora og sprengja 34,000 m<sup>2</sup> svæði eða um 105,000 m<sup>3</sup> af klöpp og grafa laust efni 12,000 m<sup>2</sup> svæði, alls um 30,000 m<sup>3</sup>.

### 7.2.4 UMHVERFISMAT

Þar sem umfang brimvarnargarðanna, dýpkana í innsiglingunni og grjótnámu er það mikið að nauðsynlegt er að fara í umhverfismat vegna þessara aðgerða er talið rétt að endanleg leit að hagkvæmasta grjótnáminu bíði þar til ákveðið er að hefja framkvæmdir.

### 7.2.5 GRJÓTNÁM

Með markvissri leit og rannsóknum á grjótgæðum er talið að hægt sé að finna grjótnámur sem gefa gott grjót í brimvarnagarða og með hátt hlutfall af stórgrýti.

### 7.2.6 BOTNRANNSÓKNIR

Niðurstöður botnrannsókna liggja fyrir í skýrslu Kjartans Thors jarðfræðings frá desember 1996. Þar sem ekki tókst að ljúka botnrannsóknum haustið 1996 er æskilegt að þeim ljúki áður en dýpkanir verða boðnar út. Kjartan Thors leggur til að prammi J&K Petersen verði fenginn til að bora 10 holur norðan Sundboðans til að kanna dýpi á fastan botn og afla upplýsinga um botnlög.



## 8. HEIMILDIR

### KAFLI 2 ÚRBÆTUR Á INNSIGLINGUNNI

- Jón Jónsson, 1978: Jarðfræðikort af Reykjanesskaga. OS JHD 7831.
- Jón Eiríksson & Björn Jóhann Björnsson, 1974. Geological Investigations in Grindavík SW-Iceland. Orkustofnun, OS-ROD 7408.
- Magnús Konráðsson, 1970: Saga hafnargerðar í Grindavík.
- Hafnamálastofnun ríkisins, 1990: Flóðaverðið 9. Janúar 1990. Fjarhitun.
- Grindavík Harbour Project 1974, Site Investigations, Report on Test Drill Holes, Almenna Verkfræðistofan.
- Anon, 1973: Final Report 3.5 kHz subbottom profiler survey Grindavík, Iceland. Prepared for Icelandic Harbor Authority by Alpine Geophysical Associates, Inc., New Jersey, U.S.A.
- Kjartan Thors, 1995: Grindavíkurhöfn, Jarðfræðirannsóknir 1995. Jarðfræðistofa Kjartans Thors.
- Kjartan Thors, 1996: Grindavíkurhöfn, Jarðfræðirannsóknir í innsiglingu að Grindavíkurhöfn 1996. Jarðfræðistofa Kjartans Thors.
- Fréttabréf Vita- og hafnamál frá maí 1995 og febrúar 1996.
- Vita- og hafnamálastofnun, 1996: Hafnalýsing. Flokkun fiskihafna, staðalkröfur og ástandskönnun, 55 hafnir.
- Hovedmanual, 1987: Stabilitet og sikkerhet for mindre skip i ekstreme vær-situasjoner. Sjøfartsdirektoratet 360.001.5.
- Emil Aall Dahle and Dag Myrhaug, 1994: Risk Analysis Applied to Capsizing of Smaller Vessels in Breaking Waves. Hornafjörður International Coastal Symposium.
- Dag Myrhaug, Daniela Belberova and Emil Aall Dahle, 1994: Estimation of frequency of encountering dangerous wave situations at sea. Hornafjörður International Coastal Symposium.
- Sæveraas, N., Aleksandersen, A. and Dahle, E.Aa, 1994: Report from the Governmental Fishing Vessel Accident Commission on the investigation of the loss of M/S BORDANES 1993. Norwegian Ministry of Justice.
- Stefan Grochowalski, 1989: Investigation into the Physics of Ship Capsizing by Combined Captive and Free-Running Model Tests. Transactions, Vol. 97, 1989.
- Myndband, 1989: Dynamics. Ship Capsizing In Quatering Seas. National Research Council of Canada, Institute For Marine Dynamics.
- Gísli Viggósson & Helge Gravesen 1974: Grindavík Harbour Project. Report on Hydraulic Model Tests. Danish Hydraulic Institute.
- PIANC, 1995: Approach Channels, Preliminary Guidelines. First report of the joint Working Group PIANC and IAPH, in cooperation with IMPA and IALA. Ptc II-30.
- Per Bruun, 1989: Port Engineering. Volume 1 and 2. Gulf Publishing Company.
- Construction Industry Research and Information Association, 1991: Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering.

### KAFLI 3 ÖLDUHÆÐAÚTREIKNINGAR

- Battjes, J.A., 1974: Computation of set-up, longshore currents, run-up and overtopping due to wind-generated waves. Comm. on Hydraulics, Report 74-2. Dept of Civil Engineering, Delft University of Technology.
- Bretschneider, C.L., 1966: Engineering aspects of hurricane surge. Í: Ippen A.T.(editor) Estuary and Coastline Hydrodynamics. McGraw-Hill.
- Danish Hydraulic Institute, 1974: Grindavik Harbour Project. Report on Hydraulic Model Tests.
- Donn, W.L., og Wolf, D.M., 1972: Seiche and water level Fluctuations in Grindavík Harbor, Iceland. Limnology and Oceanography, Vol 17, pp,639-643.
- Fjarhitun, 1983: Landbrot og flóðahætta á Reykjanesi. Könnun ástands og hugmyndir um úrbætur. Hafnamálastofnun ríkisins.
- Goda, Y., 1975: Irregular Wave Deformation in the Surf Zone. Coastal Engineering in Japan, vol. 18, pp 13-26.
- Goda, Y., 1985: Random seas and design of maritime structures. University of Tokyo Press.
- Guðmundur Hafsteinsson, 1990: Flóðaveðrið 9. janúar 1990. Í: Fjarhitun: Flóðaveðrið 9. janúar 1990 og sjóvarnir á svæðum sem fyrir því urðu. Hafnamálastofnun ríkisins.
- Gunnar Guðni Tómasson, Kjartan Gíslason og Þorbjörn Karlsson, 1996: Reiknilíkan fyrir sjávarflóð við Ísland. Verkfræðistofnun Háskóla Íslands.
- Jónas Elíasson og Sveinn Valdimarsson, 1993: Flóðhæðir í Reykjavíkurböfn. Verkfræðistofnun Háskóla Íslands.
- Ólafur Guðmundsson og Páll Einarsson, 1991: Úrvinnsla sjávarfallagagna, sjávarföll og hægfara sjávarborðsbreytingar í Reykjavík. Raunvísindastofnun Háskólans.
- Ólafur Guðmundsson og Páll Einarsson, 1992: Um tíðni lægstu fjara og hæstu flóða í Reykjavíkurböfn. Einblöðungur.
- Pugh, D.T., 1987: Tides, Surges and Mean Sea-level. John Wiley & Sons.
- Silvester, R, 1974: Coastal Engineering, 2. 4B Developments in Geotechnical Engineering. Elsevier.
- Sjósmælingar Íslands, 1996: Sjávarföll við Ísland 1996.
- Þorbjörn Karlsson, 1977: Storm Surge and Coastal Floods at Grundartangi, Hvalfjörður, Iceland. Almenna and Associates.
- Yanagishima, S. og Katoh, K., 1990: Field Observation on Wave Set-up near the Shoreline. Proc. of Coastal Engineering, ASCE.

## KAFLI 5 HÖNNUNARSJÁVARSTAÐA OG SJÁVARFLÓÐ

- Battjes, J.A., 1974: Computation of set-up, longshore currents, run-up and overtopping due to wind-generated waves. Comm. on Hydraulics, Report 74-2. Dept of Civil Engineering, Delft University of Technology.
- Bretschneider, C.L., 1966: Engineering aspects of hurricane surge. Í: Ippen A.T. (editor) Estuary and Coastline Hydrodynamics. McGraw-Hill.
- Danish Hydraulic Institute, 1974: Grindavik Harbour Project. Report on Hydraulic Model Tests.
- Donn, W.L., og Wolf, D.M., 1972: Seiche and water level Fluctuations in Grindavík Harbor, Iceland. Limnology and Oceanography, Vol 17, pp.639-643.
- Fjarhitun, 1983: Landbrot og flóðahætta á Reykjanesi. Könnun ástands og hugmyndir um úrbætur. Hafnamálastofnun ríkisins.
- Goda, Y., 1975: Irregular Wave Deformation in the Surf Zone. Coastal Engineering in Japan, vol. 18, pp 13-26.
- Goda, Y., 1985: Random seas and design of maritime structures. University of Tokyo Press.
- Guðmundur Hafsteinsson, 1990: Flóðaveðrið 9. janúar 1990. Í: Fjarhitun: Flóðaveðrið 9. janúar 1990 og sjóvarnir á svæðum sem fyrir því urðu. Hafnamálastofnun ríkisins.
- Gunnar Guðni Tómasson, Kjartan Gíslason og Þorbjörn Karlsson, 1996: Reiknilíkan fyrir sjávarflóð við Ísland. Verkfræðistofnun Háskóla Íslands.
- Jónas Elíasson og Sveinn Valdimarsson, 1993: Flóðhæðir í Reykjavíkurböfn. Verkfræðistofnun Háskóla Íslands.
- Ólafur Guðmundsson og Páll Einarsson, 1991: Úrvinnsla sjávarfallagagna, sjávarföll og hægfara sjávarborðsbreytingar í Reykjavík. Raunvísindastofnun Háskólans.
- Ólafur Guðmundsson og Páll Einarsson, 1992: Um tíðni lægstu fjara og hæstu flóða í Reykjavíkurböfn. Einblöðungur.
- Pugh, D.T., 1987: Tides, Surges and Mean Sea-level. John Wiley & Sons.
- Silvester, R, 1974: Coastal Engineering, 2. 4B Developments in Geotechnical Engineering. Elsevier.
- Sjómælingar Íslands, 1996: Sjávarföll við Ísland 1996.
- Þorbjörn Karlsson, 1977: Storm Surge and Coastal Floods at Grundartangi, Hvalfjörður, Iceland. Almenna and Associates.
- Yanagishima, S. og Katoh, K., 1990: Field Observation on Wave Set-up near the Shoreline. Proc. of Coastal Engineering, ASCE.