



# Streymur og alda

Í umhvørvisfyrising av firðunum

Karin M. H. Larsen<sup>1</sup>, Bárður Niclasen<sup>2</sup>, Gunnvør á Norði<sup>3</sup>,

Erna Olsen<sup>3</sup>, Øystein Patursson<sup>4</sup> & Knud Simonsen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Havstovan

<sup>2</sup> Náttúruvísindadeildin, Fróðskaparsetur Føroya

<sup>3</sup> Fiskaaling

<sup>4</sup> IVF RAO

Desember 2019

FYRIVARNI:

TILFAR OG UPPLÝSINGAR Í HESI FRÁGREIÐING ERU EFTIRKANNAD OG GÓÐSKUKANNAD VIÐ TEIMUM AVMARKINGUM, SUM HENDA VERKÆTLAN ÁSETIR. UPPHAVSFÓLK TIL TILFARIÐ OG UPPLÝSINGARNAR ELLA UMBOÐ TEIRRA EIGA IKKI AT ÁBYRGJAST NAKRAR NIÐURSTØÐUR OG AVGERÐIR, IÐ ERU GRUNDAÐAR Á TILFARIÐ OG UPPLÝSINGARNAR. TILFAR ÚR HESARI FRÁGREIÐING KANN BERT ENDURGEVAST, UM UPPRUNIN VERÐUR GREITT TILSKILAÐUR.

COPYRIGHT ©

KARIN M. H. LARSEN, BÁRÐUR NICLASSEN, GUNNVØR Á NORDI, ERNA OLSEN, ØYSTEIN PATURSSON & KNUD SIMONSEN. UMHVØRVISSTOVAN, HAVSTOVAN, NÁTTÚRUVÍSINDAÐEILDIN (FRÓÐSKAPARSETUR FØROYA), FISKAALING & IVF RAO

Layout:

Andrea Hidalgo, University of Western Ontario, 2014  
GITHUB.COM/LAURETHTEX/CLUSTERING





# Innihald

<b>1</b>	<b>Innleiðing</b> .....	<b>7</b>
<b>1.1</b>	<b>Verkætlanin</b>	<b>7</b>
<b>1.2</b>	<b>Hví skal gongd setast á slíkar kanningar</b>	<b>7</b>
<b>1.3</b>	<b>Samandráttur</b>	<b>9</b>
1.3.1	Fjarðarák .....	9
1.3.2	Rák myndlar .....	10
1.3.3	Myndlan av útláti .....	11
1.3.4	Alda, resuspensjón og haldføri .....	11
1.3.5	Mátingar og útgerð .....	11
1.3.6	Verkstovan .....	12
1.3.7	Tilmæli .....	13
<b>2</b>	<b>Fjarðarák</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Javnvágslýsing av fjarðaráki</b>	<b>15</b>
2.1.1	Avlæst botnlag .....	17
<b>2.2</b>	<b>Klassisk analysa av fjarðaráki</b>	<b>17</b>
<b>2.3</b>	<b>Ásetan av eddy-viskositetinum</b>	<b>20</b>
<b>2.4</b>	<b>Miðalrák orsaka av fíðartengdum ráki</b>	<b>21</b>
2.4.1	Sjóvarfals-saltleika-pumpan .....	21
2.4.2	Ávirkan av sjóvarfalsrákinum uttanfyri fjørðin .....	22
2.4.3	Lendis ávirkan .....	22
2.4.4	Ávirkan hjá asymmetrisku sjóvarfalsblandingini á lagdeilingina .....	23
2.4.5	Møgulig klassifikatióin av fjørði uttan jarðarsnúning .....	23
<b>2.5</b>	<b>Ávirkan av vindi</b>	<b>24</b>
<b>2.6</b>	<b>Ávirkan av jarðarsnúninginum</b>	<b>25</b>

<b>3</b>	<b>Myndlan</b>	<b>29</b>
<b>3.1</b>	<b>Myndlan av nærumhvørvinum</b>	<b>29</b>
3.1.1	Bygnaður á staðbundnum sjógvgóðsku myndlum	29
3.1.2	Nakrir nærumhvørvis myndlar	30
3.1.3	Samumtøka av nærumhvørvismyndlum	32
<b>3.2</b>	<b>Myndlan av kringøkinum</b>	<b>33</b>
3.2.1	Samumtøka av kringumhvørvismyndlum	35
<b>3.3</b>	<b>Dynamisk myndlan av nær og fjarumhvørvinum</b>	<b>35</b>
3.3.1	Horisontal rokninet	36
3.3.2	Eittlags modellir (2D)	37
3.3.3	Uppbýti av dýpinum	39
3.3.4	Fleirlags myndlar (3D)	39
3.3.5	Botnfalli við dynamiskum myndlum	43
3.3.6	Samumtøka av dynamiskum myndlum	44
<b>4</b>	<b>Alda - reinsan og haldføri</b>	<b>45</b>
<b>4.1</b>	<b>Resuspensión av rákið</b>	<b>45</b>
<b>4.2</b>	<b>Alda</b>	<b>46</b>
4.2.1	Alduástøði	46
4.2.2	Alduviðurskifti og haldføri av útgerð	48
4.2.3	Resuspensión vegna aldu	49
<b>4.3</b>	<b>Nyttuvirðið av eini aldumáting</b>	<b>49</b>
<b>4.4</b>	<b>Deiltilmæli</b>	<b>50</b>
<b>5</b>	<b>Mátingar og útgerð</b>	<b>51</b>
<b>5.1</b>	<b>Vatnstøðumáting</b>	<b>51</b>
<b>5.2</b>	<b>Streymmáting</b>	<b>51</b>
5.2.1	Montering av mátarum	53
<b>5.3</b>	<b>Aldumáting</b>	<b>54</b>
5.3.1	Alduparametrar	54
5.3.2	Útgerð til aldumáting	55
<b>5.4</b>	<b>Hydrografisk máting</b>	<b>56</b>
<b>5.5</b>	<b>Oxygenmáting</b>	<b>56</b>
<b>5.6</b>	<b>Deiltilmæli um slag av mátiútgerð</b>	<b>57</b>
<b>6</b>	<b>Tilmæli</b>	<b>59</b>
<b>6.1</b>	<b>Mannagongd</b>	<b>60</b>
<b>6.2</b>	<b>Klassifisering</b>	<b>61</b>
6.2.1	Áseting av eftiransingarøkið	61
6.2.2	Klassifiseringin	61

<b>6.3</b>	<b>Mátingar</b>	<b>62</b>
<b>6.4</b>	<b>Mátingar at lýsa einstøku alifirðirnar</b>	<b>63</b>
6.4.1	Fjørður, har rákið er sjóvarfallsdrivið	64
6.4.2	Fjørður, har rákið ikki er sjóvarfallsdrivið	64
6.4.3	Gáttafjørður við vanda fyri avlæstum botnlag	65
6.4.4	Fjørður har móguleiki er fyri alduresuspensiún	65
6.4.5	Sett upp í talvu	65
<b>6.5</b>	<b>Frágreiðingar</b>	<b>65</b>
6.5.1	Frágreiðing frá staðsettari streymmátning	66
6.5.2	Frágreiðing frá streymmátning frá báti at lýsa sjóvarfall	66
6.5.3	Frágreiðing frá streymmátning frá báti at lýsa fjarðarák	66
6.5.4	Frágreiðing frá aldumátning	67
6.5.5	Frágreiðing frá hydrografimátning	67
6.5.6	Frágreiðing frá oxygenmátning	67
6.5.7	Endalig frágreiðing	67
<b>6.6</b>	<b>Frameffir</b>	<b>67</b>
<b>7</b>	<b>Framdar streym- og aldumátningar</b>	<b>69</b>
<b>7.1</b>	<b>Dataveitarar</b>	<b>69</b>
<b>7.2</b>	<b>Sløg av data</b>	<b>69</b>
7.2.1	Streymmátningar á fastari knattstöðu	70
7.2.2	Aldumátningar	70
7.2.3	Aðrar mátingar	70
<b>8</b>	<b>Dømi</b>	<b>71</b>
<b>8.1</b>	<b>Sørvágsfjørður sum dømi</b>	<b>71</b>
	<b>Heimildir</b>	<b>73</b>
	<b>Fylgiskjøl</b>	<b>83</b>
<b>A</b>	<b>Verkstovan</b>	<b>85</b>
<b>A.1</b>	<b>Skráin fyri framløgupartin av verkstovuni</b>	<b>85</b>
<b>A.2</b>	<b>Framløgur</b>	<b>86</b>
A.2.1	Súni Petersen: Aquaculture regulations in the Faroes today	86
A.2.2	Ole Anders Nøst: Environmental modelling tools for aquaculture	89
A.2.3	Berit Rabe: An overview of Marine Scotland Science's aquaculture work.	96
A.2.4	Ted Schlicke: Regulating the expanding Scottish aquaculture industry	103
A.2.5	Birna Fjallstein: New DEPOMOD modelling of aquaculture sites in Faroese fjords	106
A.2.6	Knud Simonsen: On a classification of the fjords in the Faroe Islands	109
A.2.7	Øystein Patursson: Examples of measurements relevant for aquaculture fjord classification	114
<b>B</b>	<b>Datalisti</b>	<b>123</b>





# 1. Innleiðing

## 1.1 Verkætlanin

Á sumri 2019 legði Umhvørvisstovan eitt verkætlanarútboð á keypsportalin. Hetta hevði heiti “Streymur og alda í umhvørvisfyrising av firðunum” og var útboðsnr. 10229. Endamálið við verkætlanini var “at styrkja vitanina um streym- og alduviðurskifti á føroysku firðunum, sum skal vera grundarlag undir umhvørvisfyrising, serliga av alivinnuni”. Í hesum sambandi vóru vit nakrir einstaklingar á Havstovuni, Náttúruvísindadeildini, IVF RAO og Fiskaaling, sum tóku stig til at skriva eitt verkætlanaruppskot til hetta útboð. Eittans uppskot kom inn til Umhvørvisstovuna og eftir nakrar smávegis tillagingar, var sáttmáli undirskrivaður millum Umhvørvisstovuna og verkætlanarbólkin. Í hesum samráðingum var dentur eisini lagdur á, at hendan verkætlanin skal “seta sjøtil á” arbeiðið at menna umhvørviseftiransing av firðunum og frágreiðingin er sostatt ikki at skilja sum eitt liðugt tilmæli, tí stór tøk eru eftir at taka, um vit skulu kunna sammeta okkum við okkara granna alitjóðir á hesum øki.

Í verkætlanini skuldu vit skipa fyri at gera eina frágreiðing við heildarlýsing av i) ráki í firðum, ii) myndlan av firðum, íroknað yvirlit av umsitingarmyndlum og hvat verður nýtt í øðrum alitjóðum, iii) mátingum, sum tørstur er á til umhvørviseftiransing av alifirðum. Harumframt skuldu vit gera eitt tilmæli viðvíkjandi krøvum til mátingar og eitt yvirlit yvir framdar mátingar á innaru leiðum á Landgrunninum. Treytað av, at nøktandi data vóru tøk, skuldi eisini eitt dømi gerast fyri onkran fjørð.

Partarnir í verkætlanini hava allir sína servitan og royndir innan ymisk økir, sum á hvør sín hátt hava givið íkast til innihaldið í frágreiðingini. Fyri at fáa meiri kunning um, hvussu eftiransing av alifirðum verður framd í øðrum londum, var ein verkstova hildin við luttøku av trimum serfrøðingum frá okkara grannalondum. Hendan verkstovan hevur eisini givið íkast til frágreiðingina.

## 1.2 Hví skal gongd setast á slíkar kanningar

Føroyar eru tann fimt størsti framleiðarin av alilaksi í heiminum, og føroyska alingin stendur fyri nærum helvtini av føroyska útflutningsvirðinum. Alingin er tí av alstórum týdningi fyri føroyska búskapin, og tað er sera umráðandi at hon verður skipað og fyrisit in á tryggum grundarlagi.

Uppgávan hjá Umhvørvisstovuni er at skipa umhvørviseftiransingina av alíkjunum til tess at tryggja, at alingin er umhvørvisliga burðardygg. Í núverandi eftiransing er dentur lagdur á

at kanna, hvussu alingin ávirkar botnviðurskiftini. Um árinini eru ov nógv, skulu tiltøk setast í verk fyri at minka um tey. Harafturímóti er lítil dentur lagdur á streymmátningar. Einasta krav er ein ókislýsing av aliøkinum og fjørðinum har minsta, mesta og miðal streymferð og høvuðsstreymrætningur eru lýst. Greiðast skal eisini frá, um rákið er sjóvarfallsdrivið ella ikki. Einku stendur um, hvussu og hvar mátingar skulu gerast ella hví.

Streym- og alduviðurskiftini á aliøkjum seta grundleggjandi treytirnar, sum alingin skal virka undir. Streymur og alda eru avgerandi fyri, hvussu tilfar frá alingini spjaðist, og túska eisini fyri støðuna á botni, undir alibrúkum og á firðunum sum heild. Streymur og alda eru eisini avgerandi fyri spjaðing og smittu av sjúkum og lús, vanda fyri eitrandi algum, trivnaðin hjá alifiski og í mun til útgerð og staðseting av alibrúkum. Vitan um streym- og alduviðurskiftini gevur sostatt eitt alneyðugt vitanargrundarlag til nærum øll viðurskifti í samband við aling á sjónum.

Í alitjóðum, sum vit samanbera okkum við, eru neyv krøv sett til mátingar og myndlan. Í Skotlandi er minsta krav til umhvørviseftiransing, at streymmátningar vera gjørdar 3-4 staðni á økinum, og at myndlað verður við newDepomod, hvar tilfar frá alingini endar. Neyv lýsing er til mátikrøv og hvussu data og úrslit skulu latast. Fleiri krøv kunnu vera til mátingar, alt eftir hvussu viðbrekið aliøkið er. Krøvini vera sett fyri hvørt øki sær. Í Norra verður myndlað við MOM og minsta krav til umhvørviseftiransingina er streymmátning og oxygenmátning við alibrúkið. Onnur neyvari krøv til mátingar og myndlan eru í mun til smittu og aliútgerð.

Í báðum londunum eru hydrodynamiskir myndlar mentir, og teir verða brúktir í aliumsitingini. Í Norra verður t.d. *Trafiklyssystemet* nýtt til at umsita smittuvanda við lús. Í Skotlandi er eisini ein hydrodynamisk myndlaskipan *The Scottish Shelf Model*, sum er almenn og verður nýtt í ymiskari umsiting.

Um sjøtul verður settur á eitt skipað og miðvíst arbeiða at útvega mátingar, menna 3D myndlan av rákinum og myndlan av aldu, styrkir hetta munandi um vitanargrundarlagið, til tess at tryggja føroysku alingina, bæði í mun til umhvørviseftiransing og nærum øll onnur viðurskifti, sum hava við aling á sjónum at gera.

Ymiskar grundgevingar eru fyri, hví alivinnan skal fara undir at gera neyvari mátingar og myndlan av føroysku alifirðunum. Nakrar av hesum eru:

- Føroyskur laksur verður seldur sum komandi úr økjum har umhvørvið er reint og alingin burðardygg. Kann hetta ikki skjalfestast við óheftum mátingum, er vandi fyri, at hetta elvir til bakkast sum frá líður.
- Flestu føroysku aliøkini hava hægri aldu, enn vanligt er í øðrum londum. Hetta ger, at flestu økini kunnu bera meiri aling, enn vanligt aðrastaðni. Hetta kann undir verandi skipan ikki skjalfestast.
- Góðar mátingar eru eitt avgerandi stig á vegnum til at fáa rættar myndlar av umhvørvinum á føroysku alifirðunum, av ávirkanini frá alivinnuni á umhvørvið og av hvussu alivinnan ávirkast av umhvørvinum.
- eru nøktandi mátingar og myndlan gjørd fyri eitt øki, er hetta ein stuðul undir alivirkseminum í økinum og grundarlag fyri optimalari nýtslu av økinum.
- Við myndlum, sum eru eftirkannaðir við góðum mátingum, ber til neyvt at framrokna, hvussu broytingar á alingini fara at ávirka umhvørvi. Harvið ber til at optimera framleiðsluna á alifirðunum, soleiðis at sum mest fæst burturúr føroysku alivinnuni. Eisini gevur myndlan grundarlag til at endurskoða kravdu 5 km fjarstøðuna millum aliøkini.

Dømi uttan úr heimi, har myndlan stuðlar vinnuni, er forsagnartænastur fyri t.d.: aldu, streym, hita í sjónum, vandafullan alguvøkstur, smittuspreiðing umframt umhvørvisárin [Dabrowski et al., 2017, t.d.].

### 1.3 Samandráttur

Í verkætlanini skuldi, sum nevnt, gerast ein frágreiðing við heildarlýsing av fjarðaráki, rák myndlum og myndlan av útláti og mátingum. Harumframt skuldi eitt tilmæli til mátingar gerast eins og eitt yvirlit yvir framdar streym- og aldumátingar og eitt dømi um, hvussu hesar mátingar kunnu nýtast í eftiransingini.

I hesi frágreiðing er útgreinað lýsing av ymsu pørtunum at finna í kapittlunum niðanfyri. Kap. 2 er ein heildarlýsing av fjarðaráki við denti á hvørji fyribrygdi hædd má takast fyri í føroyskum firðum. Kap. 3 er um myndlan. Ymisk sløg av myndlum eru til ymisk endamál og her eru myndlar lýstir, sum verða brúktir til einfalda lýsing í einum fjørði og út til stórar myndlar, ið eisini lýsa fjarumhvørvið. Í Kap. 4 verður alduástøði lýst og hesin parturin endar við einum deiltilmæli til aldumátingar. Kap. 5 er um mátiúngerð til streym- og aldumátingar. Av tí, at hydrografiskar mátingar eru sera týðningarmiklar at lýsa umstøðurnar í nógvum føroyskum firðum, so eru hesar mátingar tiknar við her eins og í tilmælinum, tó at hetta ikki var við í verkætlanaruppskotinum. Hesin kapitulin endar eisini við einum deiltilmæli. Kap. 6 er útgreinað tilmæli til tær mátingar, sum í minsta lagi mugu gerast til klassifisering og eftiransan av alifirðum, meðan Kap. 7, er ein stutt lýsing av framdum streym- og aldumátingum; sjálvstøðugt yvir hesar er at finna í fylgiskjali B. At enda er í Kap. 8 sett upp eitt dømi fyri ein fjørð. Hetta dømi lýsir hvørjar mátingar skulu gerast har sambært tilmælinum.

Kap. 2 – 6 er, sum nevnt, útgreinað lýsing av evnunum, meðan tað í hesum parti eru stuttir samandrættir av hesum somu kapittlunum, tó við tveimum samandrættum fyri myndlar (partur 1.3.2 og 1.3.3) og við samandrætti av tilmælinum í parti 1.3.7. Partur 1.3.6 er samandrættur av verkstovuni; sjálvstøðugur kapittul er ikki skrivaður um verkstovuna, men skráin og framløgunar eru settar inn sum fylgiskjal A í hesi frágreiðing.

#### 1.3.1 Fjarðarák

Tað eru nógv ymisk viðurskifti, ið ávirka rákið á firðunum. Hetta eru viðurskifti inni á firðunum sjálvum, uttan av havi, úr luftini og av landi. Talan er t.d. um sjóvarfall, aldu, veður, frárenning frá upplandinum og skapið á botninum og fjørðinum sjálvum. Føroysku firðirnir eru rættiliga fjølbroyttir og sama lýsing kann illa nýtast til fleiri, tí ymiskt er, um rákið er stýrt av sjóvarfalli ella veðri, um gátt er og hvussu sambandið er út á opið hav. Tí er eisini ymiskt hvørjar avbjóðingar alararnir á teimum ymsu firðunum hava. Um tað er ov lítil blanding, avlæst botnlag og oxygentrot ella ov harður streymur og ov høg alda.

Klassiski hátturin at lýsa rákið á firðum er ein tveylagsskipan, har feskt vatn rennur í ovara lagið og skapar eitt rák úteftir, og har eitt mótrák er við sjógvi inneftir í niðara lagnum. Útrokningar fyri flutningin av sjógvi í hesi einføldu skipan verða einans gjørdar við nøgdini av feskvatni, ið rennur í fjørðin, og við fjarðarmunnan at kanna tjúkdina og saltinnihaldið í lögnum. Fyritreytirnar fyri hesi útrokning eru at roknað verður við miðalráki, at eingin broyting er í tíð og at eingin broyting er tvørturum fjørðin. Hesar treytir gera tað avbjóðandi at gera umboðandi mátingar, sum geva álítandi úrslit.

Hóast hesin einfaldi hátturin kann geva eina ábending um javnvágina hjá einum fjørði, so gevur hon onga ábending um hvørjar tilgongdir henda inni í fjørðinum, og sum eru orsök til, at sjógvurin blandast millum lögini. Seinnu árin er munandi vitan fingin um hesar tilgongdir, sum eru tengdar at skapi av lendi, styrkini av sjóvarfallinum og lagdeilingini. Ein roynd er gjørd at flokka rákið í firðum kring heimin í mun til hesi viðurskifti, og ein tanki er at kanna, um henda skipanin kann nýtast fyri føroysku firðirnar.

Eisini vindur hevur ávirkan á fjarðarákið. Hann kann styrkja ella veikja rákið og eisini venda tí. Vindurin kann eisini skapa meldrar so, at rákið fer ein veg á øðrum landinum og annan veg á hinum landinum og her hevur eisini lendið ávirkan. Vindurin letur eisini orku niður í sjógvin og viðvirkar til økta blanding.



Sambært eldri ástøði verður sagt, at í smølum firðum hevur jarðarsnúningurin lítt ávirkan, men síðani er víst, at lagdeilingin inni á fjørðinum hevur ávirkan á hesi viðurskiftini. Sambært eldra ástøðinum verða flestu av føroysku firðunum roknaðir fyri at verða smalir, men mátingar á flest øllum firðum vísa yvirhøvur eitt miðalrák fram við landi til høggru fyri rákrætningin. Eisini vísa nýggjari úrslit, at undir ávísimum umstøðum, givnum av styrkini av lagdeilingini, sjóvarfalsávirkanini og ymsum lendisumstøðum, kann týðandi rák verða tvørtur um fjørðin, sum niðri við botnin kann hugsast at ávirka flutningin av tilfar. Víst er til eina flokking, sum verður søgd at kunna lýsa hesi viðurskiftini, men enn mangla kanningar um henda flokkingin er hóskandi til viðurskiftini í føroysku firðunum.

### 1.3.2 Rák myndlar

Rák myndlar byggja á almennu rørslu- og varðveitslu líkningarnar. Í sermyndlum fyri nær- og kringøkini eru umfatandi avmarkingar og fyrirtreytir lagdar inn, fyri at fáa lutfalsligu einklu stóddfrøðiliga myndlarnar, ið telduliga eru lutfalsliga býligir at brúka. Í dynamiskari myndlan verður eitt rokninet lagt yvir økið, sum skal myndlast, og líkningarnar loystar fyri hvønn einstaka meska í einum roknineti við sera stuttum tíðarmillumbilum. Hesir myndlar eru krevjandi at brúka, bæði tá talan er um rokniorku á teldunum og førleika, men eru vorðnir alt meira vanligir kring heim.

Um sjógvurin ikki er lagdeildur, kunnu rættuligar neyvar simuleringar gerast við bert at rokna vertikala miðal ráki, og er hetta vanligur framgangsháttur í myndlan av sjóvarfalsrákinum. Um broytingar eru við dýpinum, so verður hetta gjørt við at umboða dýpi við fleiri lögum omaná hvørjum øðrum. Tað eru triggir ymsir hævudsháttir at gera hetta, sum allir hava sínar fyrimunir og vansar, og stundum verða ymsir av hesum háttunum brúktir til ymsar partar av dýpinum í sama myndli. Tá fleiri lög verða brúkt, má eisini vertikala ferðin roknast, og verður hetta gjørt ymiskt alt eftir hvør leistur fyri lagdeiling er valdur. Tað finnast fleiri rættuliga ymsir háttir, bæði stóddfrøðiliga og bygnaðarlaga, at loysa nevndu líkningar, men felags fyri allar háttir er, at hetta slagi av myndlan gevur tíðarrøðir av øllum parametrum í øllum meskum í rokninetinum.

Ein myndil er avmarkaður til økið, sum hann fevnir um, og tørva dynamiskir økismyndlar kunning frá rondunum, sum er vatnskorpan og har myndilin endar í opnum havi. Hvussu umfatandi hetta er, velst um hvussu veruleikakendur myndilin skal verða, ella um hann verður brúktur til at greina ávísar tilgongdir á meira hugtaksligum støði. Um ein fult veruleikakendur myndil er málið, so er fyri vatnsorpuna brúk fyri øllum vanligum veðurparametrum og vatnførningi úr áunum. Tað mest vanliga er at fáa hetta til vega frá veðurmátingum, men í vaksandi mun verður koblað saman við veðurmyndlar. Fram við rondunum í opnum havi er neyðugt við neyvum tølum fyri rák, vatnstøðu, og um lagdeiling er við, eisini fyri saltinnihald og hita. Neyvleikin í slíkum myndlum er tengdur at neyvleikanum í tølunum uttanífrá á rendurnar, og á stóddina á roknimeskunum. Jú minni teir eru, jú neyvari verður myndilin, men hetta krevur fleiri roknipunktir fyri at fevna um sama landafrøðiliga øki og er avmarkingin tá roknimátturin hjá tøku teldunum.

Við dynamiska myndlan verður roynt at endurskapa ráki í økinum, og mangan er neyðugt við slíkari myndlan fyri at greina staðbundnar mátingar. Stóri fyrimunurin við dynamiskari myndlan í mun til mátingar er, at til ber at síggja ráki og aðrar tilgongdir í øllum økinum, eisini har sum ikki er máta. Eisini fæst móguleiki til at greina samanhagir millum ymsar parametrar, sum hævdu kravt ovurhonds stóra orka at fingið til vega við mátingum. Hinvegin, fyri at kann á hvønn mun myndilin er sum veruleikin, verða úrslitini samanborin við mátingar, har sum tær eru tøk. Í flestu førum er talan um streym og vatnstøðumátingar, og er talan um 3D-myndlar, so eisini hita og saltinnihald. Til ber eisini at samanbera við aðrar parametrar, sum t.d. sedimentir og ymsar lívfrøðiligar parametrar, um viðkomandi deilmyndlar eru tiknir við.

Dynamisk myndlan er í stóran mun brúkt í menningin av aliumsitingin í Noregi seinastu árin, og verður í vaksandi mun eftirspurt bæði av myndugleikunum og vinnuni í øðrum alitjóðum. Í



Skotlandi verður dynamisk myndlan av aliøkinum eitt beinleiðis krav fyri at fáa aliloyvi frá ár 2020.

### 1.3.3 Myndlan av útláti

Útbreiðslan á botnin av tilfarið, sum søkkur niður úr aliringunum, verður í umsitingarhøpi í stóran mun mett um við sermyndlum fyri nærøkin. Serliga útbreidd er norska MOM skipanin og skotska DEPOMOD skipanin. Hesar skipanir hava hvør sín deilmyndil til at rokna umseting frá biomassa og fódurnøgð til mongd av skarni, sum fellur á botn. Í báðum førunum verða úrslit frá streymmátning í økinum nýtt til at rokna, hvussu víða spjaðingin er, og roknar við hesum við, at ráki er eins í øllum økinum. Nøgðin á botninum verður síðani umroknað til vísitøl líknandi teimum, sum brúkt eru við sýnistøku í eftiransingini. Markvirðir eru sett fyri hesi vísitølini, og út frá teimum verða avmarkingar sett í aliloyvi í mun til mesta biomassa og fódurnøgð í hesum báðum skipanunum. Eisini rokna tær, hvussu stórt ávirkaða økið er, og er tað partur av eftiransingini at kanna í hvønn mun ávirkanin av alingini er innanfyri roknaðu økini. Hesar skipanirnar meta ikki um ávirkan, sum møgulig er í kringøkjunum, ella eru av møguligum staðbundnum broytingum í streymviðurskiftunum í økinum.

Myndlar eru fyri, hvussu stóra lívfrøðiliga ávirkan ein fjørður tolar, áðrenn hettar ávirkar oxygen viðurskiftini á botninum uttan fyri sjálvt aliøkið - og einahelst tá talan er um gáttarfirðir, sum í tíðarbilum hava eitt avlæst botnlag. Hesir myndlar geva eina heildarmeting fyri ein fjørð, og geva hugtaksliga fatan av hvørjar havfrøðiligar tilgongdir hava týðning fyri at frískur sjógvur verður blandaður niður ímóti botni, og harvið eitt mál fyri evnini hjá fjørðinum at taka ímóti søkkandi lívfrøðiligum tilfari, men geva ikki staðbunda kunning inni á sjálvum fjørðinum.

Um rákið er tókt frá einum dynamiskum myndli (Partur 1.3.2), so ber til at gera metingar av, hvussu bitlaútlát fellur á botn. Úrslit frá slíkum myndlum vísa, at skiftandi streymstyrki, ójavn lendi, og ein meira veruleikakend normal fordeiling í søkkiferðum heldur enn miðalferð, hava stóra ávirkan á hvar útlát leggur seg á botnin, og hvussu tað ferðast víðari eftir botninum. Serliga um resuspensión er við í metingunum, verður munurin eyðsýndur. Dømir eru, sum vísa at tilfar kann fyrast rættuliga langa leið frá alistaðnum, áðrenn tað legst á botnin, eins væl og dømir eru um at tilfar legst aftur hagani tey eru resuspenderaði, tí streymviðurskiftini laga seg soleiðis at hesum staðnum. Í grannalondunum, eins og her heima, flytir alingin seg út frá streymliga friðarligu økjum, sum myndlarnir, ið nú í mestan mun verða brúktir í umsitingini av alingini, upprunaliga vórðu mentir til. Hetta, og úrslitini frá dynamiskari myndlan av útláti, hava tí elvt til, at spurningar eru settir fram um verandi mannagongdir við sýnistøku eru nøktandi, tá flutt verður út úr teimum heilt friðarligu økjum.

### 1.3.4 Alda, resuspensjón og haldføri

Nógv føroysk aliøki hava væl hægri aldu enn hvat kemur fyri á útlenskum aliøkjum. Hetta merkir, at útgerðin á hesum økjum skal vera nakað sterkari enn vanligt, um sama trygd skal vera fyri at laksur ikki sleppir. Hinvegin hevur størri aldan eisini eitt reinsandi árin á botnin, vegna endurflotan av dálkandi tilfari og iltan av botnlagnum. Ynskja vit eina álítandi mynd av dálking frá skarni og fódurleivdum á alifirðunum, er tískil neyðugt at kenna alduviðurskiftini á teimum firðum, har ávirkanin frá alduni er týðandi. Mælt verður til at aldumátningar verða gjørdar á aliøkjum, ið eru útsett fyri høgari aldu, ella har sum botnurin ofta verður reinsaður vegna aldu.

### 1.3.5 Mátingar og útgerð

Umstøður á einum alifjørði verða lýstar við mátingum av rørslum í sjónum og øðrum parametrum. Rørslur verða mátaðar við streym- og aldumátarum. Streymprofilmátarar máta streym í størsta partinum av vatnsúluni, men mangla ein part av vatnsúluni niður móti botni og ovast í sjónum. Har sum rákið ikki er sjóvarfallsdrivið og møguliga lagdeilt, er ringt at meta um, hvussu rákið er

har sum streymprofilmátarin ekki røkkur. Tí verður í slíkum fòrum mælt til at máta niðri við botn og, um dýpið er meiri enn 40m, ovast í sjónum við einum punktmátara, sum mátar streymin í einum punkti.

Ymisk útgerð kann brúkast til at máta aldu við. Mælt verður til at brúka alduboyu ella streymprofilmátara. Alduboyur fáast við streymprofilmátara, og máta rákið niður gjøgnum sjógvin, meðan tá streymprofilmátari verður nýttur til aldumáting, verður rákið mátað upp gjøgnum sjógvin.

Streymmáting kann gerast í einum størri øki við bátmonteraðum streymprofilmátara, og serliga um slík máting verður brúkt saman við staðsettari máting, kann hon geva betur innlit í rákið í økinum.

Lagdeiling í sjónum verður kannað við hydrografimáting har ein CTD, sum mátar salt og hita í mun til dýpið í einum loddrøttum profili verður nýtt. Hydrografimáting verður oftast gjørd í einum størri øki við, at fleiri loddrættir profilar verða gjørdir.

Oxygeninnihaldið í sjónum hevur stóran týdning í samband við aling. Langtíðar oxygen máting fer fram við tóli, sum mátar í einum stað, meðan oxygenmáting í einum øki kann gerast við CTD.

### 1.3.6 Verkstovan

Í hesi verkætlan skulu vit m.a. lýsa og gera eitt yvirtilt yvir mest brúktu streym- og aldumyndlarnar í øðrum alitjóðum og tískil var lagt upp til at halda eina verkstovu við luttøku av 2-3 umboðum úr okkara grannatjóðum. Verkstovan bleiv ásett til at vera 19. November 2019 við luttøku av Ole Anders Nøst frá Aquaplan-Niva í Noreg og Berit Rabe frá Marine Scotland Science í Skotlandi, umframt at Ted Schlicke frá SEPA (Scottish Environment Protection Agency) í Skotlandi luttók umvegis internetið. Verkstovan var skipa á tann hátt, at fyrrapartin vóru framløgur í Kongshøll har umboð fyri Umhvørvisstovuna, Biofar og verkætlanarbólkin, umframt útlendsku luttakararnir, lögdu fram. Umboð fyri alifeløgini og Havbúnaðarfelagið vóru boðin við til hetta tiltakið, eins og Biofar, Fiskaaling og Umhvørvisstovan høvdu fleiri umboð á fundinum. Fyrraparturin endaði við kjaki har øll høvdu høvi at spyrja røðararnar nærri um teirra framløgur. Skráin fyri hendan partin av verkstovuni og avrit av framløgunum eru lögð í fylgiskjal A.

Seinnapartin helt verkstovan fram á Havstovuni við luttøku av útlendsku gestunum, verkætlanarbólkinum og Ingvarð Fjallstein frá Umhvørvisstovuni. Í hesum partinum skiftust verkætlanarluttakararnir um at hava stuttar framløgur, sum lögdu upp til kjak um hesi evnir:

- Krøv til mátingar (streym-, aldu-, hydrografi-, og aðrar mátinar)
- Klassifisering av firðum
- Dáta og goymslur
- Myndlar

Nakrar av niðurstøðunum frá verkstovuni vóru í stuttum hesar:

#### **Krøv til mátingar:**

- Eftiransingarøkini mugu endurskoðast. Hyggjast má at hvørjum øki sær og støða takast í hvørjum einstøkum føri. Streymmátingar á 4-5 støðum mugu gerast í hvørjum øki, umframt streymmátingar frá báti.
- Aldumátingar – støða takast í hvørjum einstøkum føri, um mátingar skulu gerast fyri vertrarhálvuna.
- Hydrografi eigur at verða gjørd í eitt ár, har lagdeiling kann væntast.
- Uppmátingar av botninum eiga at verða gjørdar, har hesar mangla.

#### **Klassifisering av firðum:**

- Mugu áseta minstu krøv til mátingar. Harafurat má støða takast í hvørjum einstøkum føri, tí ongir firðir eru líka.
- Okkurt slag av uppbýti má eisini verða, t.d um øki er sjóvarfallsdrivið, um lagdeiling

og ávirkan frá aldu kann væntast.

**Data og goymslur:**

- Kravdu mátingarnar eiga at verða handaðar myndugleikanum (Umhvørvisstovuni) saman við stuttari frágreiðing. Mátingar og frágreiðingar skulu góðtakast av myndugleikanum og avtala kann móguliga gerast um, hvør hevur atgongd til data.
- SEPA setir slík krøv og meiri er at finna um teirra krøv á heimasíðuni hjá SEPA (<https://www.sepa.org.uk/>).

**Myndlar:**

- Sambært Ole Anders Nøst er best at brúka myndlar saman við mátingum, tí tá fæst ein heildarlýsing av økinum. Myndilin kann eisini geva ábendingar um hvar mátingar eiga at gerast. Sum er, mangla bæði ovurteldur (til myndlan) og fígging at seta gongd á myndlan av føroysku firðunum.

Niðurstøðurnar frá verkstovuni eru síðani viðgjørðar nærri og orðaðar til tilmæli í hesi frágreiðing.

### 1.3.7 Tilmæli

Tilmæli til hvat er besti háttur at skipa streym- og aldumátingar fyri at lýsa eitt aliðki/alifjórð. Endamálið við tilmælinum er at lýsa eina mátiætlan, sum er samansett soleiðis, at hon er vælegnað til fyriskipan av umhvørviseftiransingini av føroysku alifirðunum. Tí er høvuðsdentur lagdur á, at mátiætlanin skal

1. kunna brúkast til undankanning áðrenn eitt aliðkið verður tikið í brúk
2. lýsa fysisku umstøðurnar sum kunnu hugsast at ávirka spjaðing, sedimentatió og re-suspensión av útláti frá alivirksemi, sum søkkur á botn
3. kunna nýtast til staðseting av botnsýnum, ið lýsa ávirkanina av alivirksemi á botnviðurskiftini.

Harnæst er dentur lagdur á, at mátiætlanin kann nýtast til flestu onnur viðurskifti av áhuga fyri vinnuna. Við at gjøgnumføra slíka mátiætlan fæst ein heildarfatan av øllum alifjórðinum. Tá ber til at leggja alingina til rættis á optimalan hátt, og tí fáa sum mest burturúr hvørjum einstøkum fjórði.

Mátingarnar vera gjørðar í tøttum samstarvi við Umhvørvisstovuna, og heilt stutt kann mannagongdin lýsast við, at tøk data, móguliga saman við onkrum nýggjum data, verða brúkt at klassifisera fjórðin, og út frá tí verður gjørd ein góðkend mátiætlan, sum alifelagið skal fylgja. Út frá mátiúrslitunum verður frágreiðing gjørd um umhvørvisstyrkina á fjórðinum. Mannagongdin er nærri lýst á mynd 6.1.

Til klassifiseringina verður eitt eftiransingarøkið ásett. Umhvørvisstovan ásetir eftiransingarøkið. Í høvuðsheitum er tað fjórðurin ella víkin, alingin fer fram á. Tá talan er um aliðkir, sum ikki kunnu sigast at liggja í einum fjórði ella á einari vík, verður ein meting gjørd í hvørjum einstøkum føri, hvat er hóskandi eftiransingarøki.

Klassifisering av firðum og krøv til mátingar eru lýst niðanfyri (sí eisini Talvu 6.1).

**Fjørður, har rákið er sjóvarfallsdrivið:** Staðsettar streymmátingar á aliðkinum og streym-máting frá báti at lýsa sjóvarfall.

**Fjørður, har rákið ikki er sjóvarfallsdrivið:** Staðsettar streymmátingar á aliðkinum og á alifjórðinum. Streymur skal mátast í allari vatnsøyluni, sum merkir, at umframt streymprofilmátara skal eisini punktmátari máta við botn, og punktmátari máta ovast í sjónum, um dýpið er meiri enn 40m. Streymmáting frá báti at lýsa sjóvarfall, og streymmáting frá báti at lýsa fjarðarák. Hydrografimáting at lýsa lagdeiling.

**Gáttafjørður við vanda fyri avlæstum botnlag:** Afturat mátingunum omanfyri skulu, á djúpasta stað innanfyri gáttina, gerast ein streymmáting niðri við botn og oxygenmátingar niðri við botn og í miðjum sjógv. Hesar mátingar skulu vera tvær summarhálvur.

**Fjørður, har móguleiki er fyri alduresuspensiún:** Aldumáting á einum stað, sum er umboðandi fyri so stóran part av aliøkinum sum gjørligt, í eitt ár.

Á øllum firðum skal ein vatnstøðumáting gerast. Allar staðsettar streymmátingar og vatnstøðumátingar skulu vera minst 60 dagar til longdar.

Allar mátingar skulu lýsast við einari greiðari mátifrágreiðing. Tá allar mátingar og mátifrágreiðingarnar eru lidnar og góðkendar, verður ein frágreiðing, sum lýsir fjørðin við atliti at umhvørvisstyrkini skrivað og latin Umhvørvisstovuni.

## 2. Fjarðarák

At klassifisera rákið í firðum er ein rættuliga avbjóðandi uppgáva, tí sera fáir firðir - um nakrir - eru heilt líka. Í flestu firðum er rákið tengt at skiftandi veðri, sjóvarfalsráki, frárenning av landi og umstøðunum uttanfyri fjørðin so sum rák, alda, og vatnstøðubroytingar orsakað av sjóvarfalli, veðri, og møguliga øðrum viðurskiftum longri burturi. Hvussu vindur av skiftandi ættum ávirkar ein fjørð veldst fyri ein part um lendið uttanum fjørðin og skapið av fjørðinum sjálvum. Lendið uttanum fjørðin avger eisini avrenningarøkið til hvørja einstaka á. Umframt stødd, so er staðsetan av ánni eisini avgerandi fyri, hvussu áarvatnið ávirkar rákið á fjørðinum. Harafturat ávirkar botnlendið í fjørðinum rákið beinleiðis, og eisini tilgongdirnar, sum gera at sjógvur við ymsum eginleikum, - tað verði seg saltinnihald, hita og tættleika, verður blandaður og tann vegin ávirkar rákið.

Niðanfyri verða nøkur av ástøðunum fyri fjarðarák lýst fyri at geva eina ábendingum um, hvørji atlit mugu takast fyri at gera eina hóskandi mátiætlan ella myndlan av rákinum í einum fjørði.

### 2.1 Javnvágslýsing av fjarðaráki

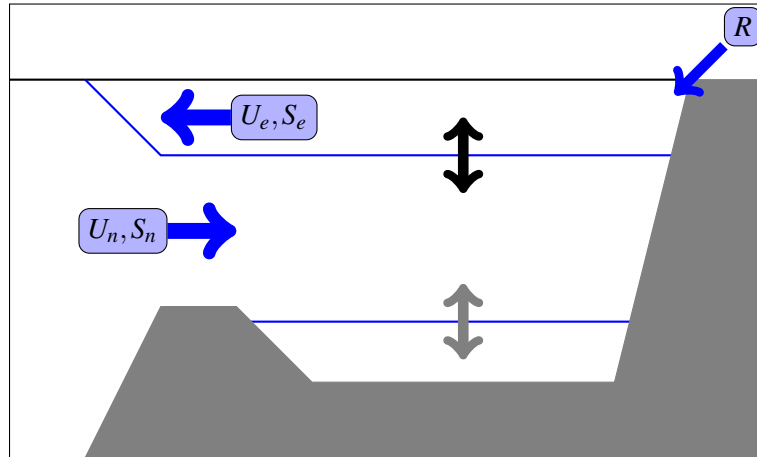
Í einføldu lýsingini av rákinum í einum fjørði hjá Knudsen [1900], ið upprunaliga hugdi eftir rákinum, sum rennur inn í Eyrstrasalt, verður hugt eftir einum tvey-lags myndli. Roknað verður við útráki í erva av heldur feskari og lættari sjógvi og innráki í neðra av heldur saltari og tyngri sjógvi. Ovara lagið inniheldur eisini feskt áarvatn, sum rennur í fjørðin (Mynd 2.1). Í hesi lýsingini verður bert hugt eftir einum ávísnum staðið, sum oftast við fjarðarmunnan, og roknað verður við, at ongar broytingar eru tvørtur um fjørðin, og at rákið ikki broytist við tíðini, men er støðugt.

Um rúmdin, sum undir hesum avmarkingunum rekur út úr ovara lagnum, er  $U_e [m^3]$  og tættleikin er  $\rho_e [kg m^{-3}]$ , og tilsvarandi, at rúmdin, sum rekur inn í niðara lagnum, er  $U_n [m^3]$  og hevur tættleikan  $\rho_n [kg m^{-3}]$  og nøgdin av áarvatninum er  $R [m^3]$  og hevur tættleikan  $\rho_v [kg m^{-3}]$ , so skrivast massajavnvágin fyri fjørðin

$$U_e \rho_e = U_n \rho_n + R \rho_v \quad (2.1)$$

og tá munurin á tættleikunum er rættuliga lítil,

$$\frac{\rho_e}{\rho_v} \simeq \frac{\rho_n}{\rho_v} \simeq 1 \quad (2.2)$$



Mynd 2.1: Skitsa av lagdeildum fjarðaráki sambært relatiónum hjá [Knudsen, 1900] við einum botnlagi. Tvíþíflarnir vísa til blanding millum ávikavist yvirflatulagi og miðlagi undir (svartur), og millum miðlagi og eitt avbyrgt botnlag (gráur).

er rættiliga vanligt bert at hyggja eftir javnvágini

$$U_e = U_n + R. \quad (2.3)$$

Verður hugt eftir saltleikajavnvágini, so fæst á líknandi hátt at

$$U_e S_e = U_n S_n + R S_v \quad (2.4)$$

og av tí, at  $R$  er feskt áarvatn, sum rennur út í fjørðin ( $S_v = 0$ ), fellur seinasta liðið burtur. Seta vit hesar báðar seinastu líkningarnar saman, fáa vit, at nøgdin í ovara lagnum kann skrivast sum

$$U_e = R \frac{S_n}{S_n - S_e}. \quad (2.5)$$

og um tvørmátið ( $A_e$ ) á ovara lagnum er kent, so er eitt boð uppá miðalferðina í ovara lagnum givið við

$$u_e = U_e / A_e \quad (2.6)$$

Við at hyggja eftir líkningini fyri varðveitslu av salti

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla s = \nabla \cdot (K \nabla s) \quad (2.7)$$

har  $\vec{u}$  er ferð vektorurin og  $K$  er eddy diffusiviteturin (meldur blandingstalið) kann vístast [Burchard et al., 2018, MacCready et al., 2018] at fyri støðugt rák kann blandingin,  $M [m^3 s^{-1}]$  rokast sum

$$M \simeq S_n S_e R \quad (2.8)$$

Henda lýsingin gevur massa- og saltleikajavnvágnad við teimum avmarkingum, sum eru í fyrirtreytunum fyri hesum útrokningunum. Her eru eingi atlit tikin til alisfrøðiligu tilgongdirnar, sum henda inni á fjørðinum og eru orsökkin til, at munur er í saltleikanum millum lögini, tíansheltur at flestu parametrarnir broytast við tíðini av regluliga skiftandi sjóvarfallinum ella, sum er serliga galdandi her í Føroyum, av skiftandi veðurlagnum.

Metingar við grundarlagi í hesum frymilsverkinum vóru gjørdar fyri Skálafjørðin, Funningsfjørðin, Kalbaksfjørðin og Sundalagi norðanfyri Streymin sum partur av Fjarðarkanningunum í 1980-árunum [Hansen et al., 1990]. Líknandi var eisini gjørt í samband við kanningar av umstøðunum fyri gróðri í Kaldbaksfirði, fyri at meta um upphaldstíðina hjá sjógvi fyri ymsar árstíðir [Gaard et al., 2010].



### 2.1.1 Avlæst botnlag

Um gátt er við fjarðarmunnan, kann henda, at eitt triðja lag verður við botnin innanfyri gáttina (Mynd 2.1). Hetta hendir, tá innstremmandi sjógvurin í miðlagnum er lættari enn tann, sum er í fjørðinum frammanundan. Tað mest kenda er at sjógvurin á Landgrunninum uttanfyri firðirnar um várið og út á summarið hitnar, og harvið gerst lættari enn sjógvurin, sum liggur innanfyri gáttirnar á firðunum. Eitt annað meira stokkut og sjálsamt fyrbrigdi er um sjógvurin á ella uttanfyri gáttina verður blandaður við feskari sjógv og av hesum gerst lættari enn sjógvurin niðanfyri gáttina á fjørðinum. Livitíðin hjá einum slíkum botnlagi er tengd at blandingini, sum er við sjógvinn omanfyri, ella at sjógvurin í botnlagnum verður útskiftur, við at sjógvur kemur inn á fjørðin, sum er nóg tungur til at søkka niður á botn. Hetta kann henda við at innstremmandi sjógvurin kølnar, t.d. út á heystið, og harvið gerst tyngri, ella at hendingar við vindi og køldum veðri onkursvegna skapa so mikið tungan sjógv við vatnsorpuna, at hann kann søkka niður á botn.

Tá eingin tilfórningur er av nýggjum sjógvi til eitt slíkt lag, er heldur eingin tilfórningur av oxygeni. Tá nýtlan av oxygeni á botni heldur fram á sama støði sum áður, minkar oxygeninnihaldið í lagnum. Tynri avlæsta botnlagið er, jú minni er oxygengoymslan, og serliga fyri tunn lög kann oxygeninnihaldið minka rættuliga skjótt niður á eitt støði, sum ger, at djór, sum ikki hava móguleika at rýma úr lagnum, fáa trupulleikar og um illa vil til, doyggja. [Vaquer-Sunyer and Duarte, 2008].

## 2.2 Klassisk analysa av fjarðaráki

Alment galdandi líkningarnar fyri saltleika og rák (momentum) eftir longdarásini hjá einum fjørði skrivast ávikavist

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla s = \frac{\partial}{\partial z} \left( K \frac{\partial s}{\partial z} \right) \quad (2.9)$$

og

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla u - fv = \frac{-1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left( A \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (2.10)$$

har  $\vec{u} = (u, v, w)$  og  $\vec{x} = (x, y, z)$ . Her er  $x$  út eftir fjørðinum,  $y$  er tvørturum og  $z$  er uppeftir, og  $u, v, w$  eru streymferðirnar í hesar tríggjar rættingarnar.

Vatnskorpan víkir vanliga nakað frá miðal vatnstøðu, og broytist hon bæði í mun til stað og tíð. Her nevna vit hesa hæddina  $\eta(x, y, t)$ . Tá vatn rennur út á sjógv, blandast tað niður í sjógvinn, og harvið broytist tættleikin. Henda blandingin er vanliga ikki jøvn út eftir fjørðinum.

Hugsa vit okkum, at vit eru á einum dýpi  $z$ , so er trýstið, sum vit har merkja, úrslit av tyngdini av sjónum millum okkum og vatnsorpuna. Ein nógv brúkt mannagongd er fyrst at rokna tyngdina millum dýpið ( $z$ ) og miðal vatnstøðu ( $z = 0$ ), og síðani at rokna broytingina, sum er orsakað av frávikinum hjá vatnsorpuni ( $\eta$ ) frá miðal vatnstøðu. Sonevnt hydrostatiskt trýst á ávísium stað  $(x, y)$  og ávísium dýpi ( $z$ ) til ávísá tíð ( $t$ ) verður tí skrivað

$$p(x, y, z, t) = g\rho(x, y, 0, t)\eta(x, y, t) + g \int_z^0 \rho(x, y, z, t) dz \quad (2.11)$$

tá vit ikki taka lufttrýstið á vatnsorpuna við. Um tað skal við, so verður tað lagt aftrat sum eitt eyka lið. Sum sæst omanfyri, so verður roknað við, at allir parametrar broytast í mun til stað og tíð, men fyri at lætta um skivingina, verða klombrurnar við stað og tíð  $(x, y, z, t)$  ikki tiknar við víðari.

Trýstgradientin út eftir fjørðinum kunnu vit nú skrivað

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{g}{\rho} \int_H^0 \frac{\partial \rho}{\partial x} dz \quad (2.12)$$

Seta vit hetta inn í rørslulíkningina omanfyri (Líkn.: 2.10), so standa vit við

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla u - f v = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{g}{\rho_v} \int_z^0 \frac{\partial \rho}{\partial x} dz + \frac{\partial}{\partial z} \left( A \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (2.13)$$

Velja vit nú at hyggja burtur frá jarðarsnúðninginum (Coriolis) og advektiósliðinum, so detta lið 2 og lið 3 vinstrumegin burtur. Um vit harumframt eisini velja bert at hyggja eftir eini miðalstöðu yvir ávísa tíð, so dettur tað fyrsta liðið eisini burtur. Vit standa tá eftir við

$$0 = -g \frac{\partial \langle \eta \rangle}{\partial x} - \frac{g}{\rho_v} \left\langle \int_z^0 \frac{\partial \rho}{\partial x} dz \right\rangle + \left\langle \frac{\partial}{\partial z} \left( A \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right\rangle \quad (2.14)$$

har kantklombrunnar ( $\langle \rangle$ ) vísa, at talan er um miðal av mátunum yvir eitt tíðarskeið.

Fyri at gera útrokningarnar einklari, verður her roknað vit at uppdriftin (en: buoyancy) kann skrivast

$$b = -g \frac{\rho - \rho_v}{\rho_v} \quad (2.15)$$

sum kann umskrivast til

$$\rho = - \left( \frac{\rho_v}{g} b - \rho_v \right) \quad (2.16)$$

sum vit seta inn í lið 2 omanfyri

$$\frac{g}{\rho_v} \int_z^0 \frac{\partial \rho}{\partial x} dz = \frac{g}{\rho_v} \int_z^0 \frac{\rho_v}{g} \frac{\partial b}{\partial x} dz = \int_z^0 \frac{\partial b}{\partial x} dz \sim z \frac{\partial b}{\partial x} \quad (2.17)$$

har tað er roknað við at  $\frac{\partial b}{\partial x}$  er kent og konstant í mun til dýpi. Skriva vit hetta inn í líkning 2.14, so standa vit við

$$0 = -g \left\langle \frac{\partial \eta}{\partial x} \right\rangle - z \frac{\partial b}{\partial x} + \left\langle \frac{\partial}{\partial z} \left( A \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right\rangle \quad (2.18)$$

Um vit harumframt velja at brúka ein foreinklaðan samanhag millum saltleika,  $s$ , og tættleika,  $\rho$ , givin við  $\rho = \rho_v(1 + \beta s)$ , sum vit seta inn í líkning 2.16, so fáa vit at tað er eitt beinleiðis samband givið við

$$b = -g\beta s \quad (2.19)$$

millum tættleikan og saltleikan, har  $\beta$  er eitt tal ( $7.7 \times 10^{-4}$ ).

Brúka vit hetta í líkningina fyri saltleikan (líkn. 2.9), og bert hyggja eftir longdarrætninginum ( $x$ ), so fáa vit eina líkning fyri uppdriftina, sum er

$$\frac{\partial b}{\partial t} + u \frac{\partial b}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K \frac{\partial b}{\partial z} \right) \quad (2.20)$$



Um vit eins og omanfyri ikki hyggja eftir tíðarbroytingunum ( $\frac{\partial b}{\partial t} = 0$ ), men bert eftir miðal tølum, so gevur henda líkningin móguleika fyri at geva eitt boð uppá longdarbroytingina í uppdriftina, sum vit omanfyri gingu út frá er kend.

Í hesum líkningunum eru tøluni  $A$  og  $K$  ávikavist eddy viskositeturin og diffusiviteturin, eisini nevnt blandingstal, sum bæði eru tengd at lagdeilingini og dynamikkinum í sjónum. Tað einklasta boðið er at síggja burtur frá dynamikkinum og rokna hesi tøluni fyri at verða konstantar [Hansen and Rattray, 1966]. Seinni er ymisk boð komin uppá parametriseringar av hesum tølunum, og serliga seinastu árin er munandi størri innlit fingið við at samantvinna nútímans rákmyndlar og mátingar [Geyer and MacCready, 2014]. Hetta venda vit aftur til.

Útgangsstøðið fyri tí, sum higartil er nevnt er, at vatn rennur út í fjørðin, sum ger, at vatnstøðan út eftir fjørðinum broytist, umframt at roknast má við, at tættleikin í vatnsúluni út eftir fjørðinum broytist. Hóskandi er tí at hugsa, at rákið og vatnstøðubroytingin kunnu slítast sundur í hvønn sín part, sum eru tengdir at feskvatninum ( $u_r, G_R$ ) og tættleikamuninum ( $u_T, G_T$ ) [Burchard and Hetland, 2010, Geyer and MacCready, 2014]. Hetta skriva vit ávikavist

$$\langle u \rangle = u_R + u_T \quad (2.21)$$

$$g \left\langle \frac{\partial \eta}{\partial x} \right\rangle = G_R + G_T \quad (2.22)$$

og við hesum ber til tilsvarandi til at slíta líkning 2.18 sundur í tveir partar

$$0 = -G_R + \frac{\partial}{\partial z} \left( A \frac{\partial u_R}{\partial z} \right) \quad (2.23)$$

$$0 = -G_T - z \frac{\partial b}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left( A \frac{\partial u_T}{\partial z} \right) \quad (2.24)$$

Um vit rokna við einari fríari vatnskorpu og eini *onki-stress* (en: No-stress) randtreyt og síðani integrera frá  $z$  til fríu vatnskorpuna ( $\eta$ ) og býta ígjøgnum við  $A$ , so fáa vit at

$$\frac{\partial u_R}{\partial z} = \frac{G_R z}{A} \quad (2.25)$$

$$\frac{\partial u_T}{\partial z} = \frac{G_T z}{A} + \frac{z^2}{2A} \frac{\partial b}{\partial x} \quad (2.26)$$

Um vit nú rokna við eini *ikki-slepp* (en: No-slip) treyt ( $u = 0$ ) við botnin, so kunnu líkningarnar omanfyri integrerast frá botninum ( $z = -H$ ) til vatnskorpuna ( $\eta$ ). Í hesum verða nakrir integratiónskonstantar, sum vit kunnu áseta við at krevja at netto flutningurin út eftir fjørðinum svarar til nøgdina av áarvatninum, sum rennur út ( $R$ ), og at vertikala integralið av  $u_T$  verður null. Úrslitið av hesum verður

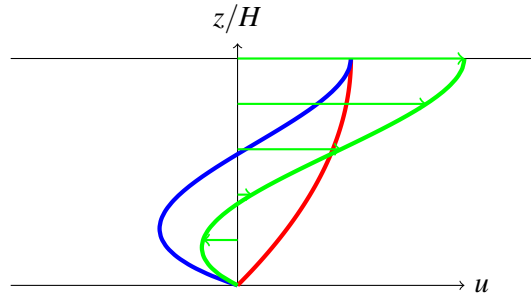
$$u_R = -U_R(1.5 - 1.5\zeta^2) \quad (2.27)$$

$$u_T = -U_T(1 - 9\zeta^2 - 8\zeta^3) \quad (2.28)$$

har

$$U_R = \frac{R}{A_{rv}} \quad (2.29)$$

$$U_T = \frac{H^3}{48A} \frac{\partial b}{\partial x} \quad (2.30)$$



Mynd 2.2: Fjarðarák (grøn linja) er samanlagda ráki orsakað av feska áarvatninum ( $u_R$ , reyð linja) og tættleikamuninum út eftir fjørðinum ( $u_T$ , blá linja) sambart líkning 2.28. Her er  $U_R = U_T = 0.5$ .

og  $A_{rv}$  er tvørvíddin á fjørðinum og  $\zeta = \frac{z}{H}$ .

Við hesum háttinum er víst, at fjarðarákið (en: estuarine circulation) er drivið av minst tveimum ymsum alisfrøðiligum tilgongdum og kann skrivast

$$u_e = u_R + u_T \quad (2.31)$$

niður gjøgnum dýpi. Eitt dømi, har  $U_R = U_T$ , er víst á mynd 2.2. Henda loysnin er tó ikki heilt eintýdd, tí hon er tengd at teimum valum, sum vit hava gjørt fyri at koma til hesa loysnina.

### 2.3 Ásetan av eddy-viskositetinum

Sum Knudsen [1900] vísti á, er blandingin inni á fjørðinum rættuliga týðandi fyri, hvussu útskiftingin við sjógvin uttan fyri verður, og er fatanin av eddy viskositetinum avgerandi fyri hetta.

Áseta vit  $A$  frá vanligum marklagsástøði, so hava vit at

$$A = \kappa u_* z \left(1 - \frac{z}{H}\right) \quad (2.32)$$

har  $\kappa = 0.4$  er von Karman konstanturin og  $u_*$  er friktiónsferðin, sum her kann verða givin

$$u_* = \sqrt{c_D} U_S \quad (2.33)$$

har  $c_D$  er friktiónstalið, sum hevur eitt virði í økinum frá  $1.0 \times 10^{-3}$  til  $2.5 \times 10^{-3}$ , og  $U_S$  er amplitudan av barotropa sjóvarfalsrákinum. Seta vit hesar líkningarnar saman fáa vit

$$A = \kappa \sqrt{c_D} U_S z \left(1 - \frac{z}{H}\right) \quad (2.34)$$

og frá hesum sæst, at størsta virðið  $A_{max} = \frac{1}{4} \sqrt{c_D} U_T H$  er í miðjum sjógvi ( $z = \frac{1}{2} H$ ). Seta vit hesa formuleringina av  $A$  inn í líkning 2.24, fáa vit eina aðra loysn enn hana í líkning 2.28.

Um sjógvurin er lagdeildur, minkar turbulensurin og sostatt eisini støddin á atknýttu mel-drunum, og við hesum eisini eddy-viskositeturin ( $A$ ) [Geyer and MacCready, 2014]. Eitt mát fyri lagdeilingina verður javnan fingið frá sonevnda (gradient) Richardsson talinum

$$R_i = \frac{N^2}{\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2} \quad (2.35)$$

har

$$N^2 = -\frac{g}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial z} \quad (2.36)$$

er kent sum Brunt-Väisälä frekvensurin ( $N$ ).  $R_i$ -talið er lutfallið millum stabilserandi vertikalá tættleikagradientin, og vertikalú broytingarnar í streymferðunum, ið virka fyri størri blanding. Fyri at varðveita eina lagdeiling má  $R_i > 0.25$  [Scully et al., 2011]. Tá so er, kann talast fyri at  $A \sim U_* L_{turb}$ , har  $L_{turb}$  er eitt longdarmát fyri turbulensin, sum fyri veikar lagdeilingar er áleið  $L_{turb} \sim U_*/N$  [Scully et al., 2011, Geyer and MacCready, 2014]. Seta vit hetta saman, fáa vit at í lagdeildum umhvørvi er

$$A \sim \frac{U_*^2}{N} \quad (2.37)$$

ið merkir, at eddy viskositetstalið  $A$  minkar jú størri  $N$  er. Við øðrum orðum, so minkar  $A$  jú sterkari lagdeilingin er. Útrokningarnar omanfyri eru tí í grundini bert galdandi fyri eina støðu, har eingin lagdeiling er, og neyðugt er at meta um hvørja einstaka støðu fyri at gera ítøkiligar niðurstøður.

Í tí, sum er nevnt omanfyri, er roknað við einari miðal støðu og har eingin broyting er við tíðini. Í Føroyum verður javnan greitt útlendingum frá hvussu skiftandi veðri er, og hvussu vandamikið tað kann verða at sigla við báti millum oyggjarnar orsaka av hørðum og skiftandi sjóvarfalsráki. Somu viðurskifti ávirka eisini viskositetstalið  $A$ , og kann hetta geva eitt tíðandi ískoyti til staðbundna rákið, eins væl til eitt miðal rák, sum er roknað yvir eitt longri tíðarskeið.

## 2.4 Miðalrák orsaka av tíðartengdum ráki

Eldri viðgerðirnar av fjarðaráki hava í høvudsheitum hugt eftir miðalrákinum, og hava gingið út frá, at vertikalá blandingin er at kalla støðug. Við hesum eru skiftandi sjóvarfalsrák og onnur tíðartengd fyrbrigdir ikki tikin við. Tíansheldur er tann veruleiki, at blandingin er skiftandi í einum øki, tikin við.

Seinnu árin er komið eftir, at turbulenta blandingin er tengd at umstøðunum í økinum og ikki er eins í fløðandi og fjarandi sjógvi. Hesin ójavnin elvir til eitt rák, sum hevur somu fordeiling í dýpinum og somu styrki, sum gravitátionsdrivna rákið hevur [Jay and Musiak, 2013, Cheng et al., 2013].

Í førinum við lagdeiling, men ongum áarvatni og vindi, funnu Burchard and Hetland [2010] at asymmetriská sjóvarfalsblandingin stendur fyri tveimum triðingum (2/3) av sonevnda fjarðarákinum, meðan gravitátionsdrivna rákið, sum er nevnd omanfyri, stendur fyri einum triðingi (1/3). Við øðrum orðum: Um bert verður hugt eftir miðal tølum, er rættuliga sannlíkt, at ein ikki fær størra partin av rákinum við.

### 2.4.1 Sjóvarfals-saltleika-pumpan

Tá sjóvarfallið hevur nakað av vatnstøðumuni við sær, sæst hetta við, at sjógvur rennur inn í fjørðin, tá tað fløðir, og at tilsvareandi nøgd rennur út úr fjørðinum, tá tað fjarðar. Hugtakið í yvirskriftini kemur av, at talan ikki er um sama sjógv, sum rennur inn og út á fløðandi og fjarðandi sjógvi, og at henda tilgongdin í alt førir saltari sjógv uttanífrá inn á fjørðin [Valle-Levinson, 2011, Becherer et al., 2016].

Um vit hava eitt ovara lag á fjørðinum, sum er heldur lættari enn sjógvurin annars, so er tað ikki henda nøgdin, sum veksur tá tað fløðir. Nøgdin, sum elvir til fløðandi sjógv inni á fjørðinum, er sjógvur uttanífrá, sum rennur inn á fjørðin undir lættara ovara lagnum, stutt sagt tí hann er tyngri. Av tí, at hesin sjógvurin hevur nakað av ferð, elvir hann til eina økta blanding við ovara lagið, sum so tyngist nakað, og harvið er við til at minka um lagdeilingina.

Tá tað fjarðar minkar vatnstøðan uttanfyri, og vatnstøðan á firðinum tillagar seg hesa nýggju støðuna so hvørt. Tá vatnstøðan er minkað uttanfyri, merkir ovasta lagi við fjarðarmunnan ein trústmun út eftir firðinum, tí nú er einki sum heldur ímóti sjónum, ið liggur ovast móti vatnsskorpuni. Tískil er tað í stóran mun sjógvur í ovara lættara lagnum, sum rennur út úr fjørðinum á fjarðandi sjógvi.

Í mun til klassisku lýsingina av fjarðarákinum í parti 2.2, økir hetta um innstreymandi sjógvin í niðara lagnum, og styrkir sostatt um sonevnda estuarina rákið. Harumframt, kann henda tilgongdin verða avgerandi fyri flutning av botnsedimentunum, tí hon ger, at rákið við botnin yvirhvøur er inn eftir fjørðinum við fjarðarmunnan. Strekkið, har hetta serliga er galdandi við fjarðarmunnan, svarar til longdina, ið ráki við fløðandi sjógvi kann flyta ein bitil, - sum oftast nakrar 100-1000m. Kanningar í áarósum kring heimin vísa, at um ávísur vatnstøðumunur er millum flóð og fjøru í mun til vatnføringina í ánni, er henda tilgongdin høvuðsatvoldin til, at sandur legst við áarmunnan [Geyer and MacCready, 2014].

Á einstøkum av føroysku firðunum kann hugsast, at henda tilgongdin kann elva til at botnfall frá einum alibrúki við fjarðarmunnan verður flutt inn á fjørðin, heldur enn út av fjørðinum, sum ymiskt annað í økinum kundi bent á. Fyri at lýsa slík viðurskiftir við mátingum krevur umhugsni, og hallført fyrrireikingarbeiði við staðseting av mátistaði.

#### 2.4.2 Ávirkan av sjóvarfalsrákinum uttanfyri fjørðin

Tað mesta av tí, sum er nevnt omanfyri um sjóvarfalsávirkan, er tengt at vatnstøðubroytingunum millum flóð og fjøru. Í Føroyum eru firðirnir rættliga stuttir við einum rættuliga hørðum sjóvarfalsráki uttanfyri fjørðin, sum kann hugsast at dríva staðbundnar meldrar inn eftir fjørðinum [Geyer and Signell, 1992, Nguyen et al., 2008]. Henda tilgongdin er í lítlan mun viðgjørð í lesnaðinum, sum er nevndur higartil.

Í mun til sambandið millum drívkreftirnar av rákinum á firðunum og vøksturin í tali av laksáys í aliringum, er víst, at rákið uttanfyri firðirnar hevur sera stóra ávirkan í fleiri av føroysku firðunum [Patursson et al., 2017]. Í hvønn mun hetta eisini er galdandi fyri sjógv útskiftanina, er enn ikki kannað á nøkrum firði.

#### 2.4.3 Lendis ávirkan

Blandingin millum ymsu sjólógini kann verða tengd av grynnum og trongum í fjørðinum. Blandingin, sum stendst av skiftandi sjóvarfallinum og skapi av lendum, kann verða orsakað av fleiri havfrøðiligum tilgongdum.

Dømir eru um, at blandingin er beinleiðis tengd at streymstyrkini, og bert er virkin um streymurin er nóg harður. Harvið sæst ein broyting við um 14 daga periodu eins og vit kenna broytingarnar millum mysingarnar, tá talan er um rák [Hibya and Leblond, 1993, Wang et al., 2017, MacCready et al., 2018]. Eisini er sæð, at blandingin ikki heilt fylgir sjóvarfallinum, men kann verða seinkað í fleiri dagar í mun til harðasta ella veikasta streym [Wang et al., 2017, MacCready et al., 2018]. Hesar tilgongdir eru sæddar í Hudson flógvunum [Wang et al., 2017] og hava týdning fyri útskiftan av botnlagnum í Pudget sundinum í USA [Geyer and Cannon, 1982].

Aðrastaðni er sæð at viðurskiftir inn á firðinum gera, at sonevndir hægri harmoniskir frekvensar verða í sjóvarfallinum inni á firðinum og/ella í sjálvum blandingslagnum millum yvirflatulagið og sjógvin undir. Hetta er serliga, tá tað vanliga hálvdagliga sjóvarfallið, sum kemur inn á fjørðin, skapar eina sjóvarfalsávirkan við einari periodu, ið er helvtina av perioduni í upprunliga sjóvarfallinum [Nidzieko, 2010, Matte et al., 2019].

Slíkar tilgongdir kunnu geva eitt ískoyti til miðal ráki. Í greining av mátingum ella modeleringsúrslitum má eisini havast í huga, at slíkar tilgongdir bert eru, tá umstøðurnar loyva tí, og setir hetta tí ávís krøv til longd á mátirøð, og hvussu greinað verður.

#### 2.4.4 Ávirkan hjá asymmetrisku sjóvarfalsblandingini á lagdeilingina

Í mun til tættleikadrivna rákið við feskum sjógvi út í erva og saltara sjónum inn í neðra, er ískoytið frá asymmetrisku sjóvarfalsblandingini meira fløkt, tí hon broytist við dýpinum í mun til lagdeiling og styrkina á sjóvarfallinum, umframt at hetta samspæli eisini ávirkar sjálva lagdeilingina [Cheng et al., 2013].

Í eini ástøðiligari kanning av hesum fyrbrigdinum, kom Cheng et al. [2013] eftir, at tað í høvuðsheitum eru trýggjar ymiskar rákskipanir alt eftir hvussu sterk lagdeilingin er:

- Um lagdeilingin er av og á og bert kemur fyri í ávísimum parti av einum sjóvarfalsskeiði, so verður ein tvílagsskipan við ráki inneftir í neðra og út eftir fjørðinum í erva, líknandi tættleikadrivna rákinum (Mynd 2.2).
- Um lagdeilingin er veik, verður talan um eina trýlags rákskipan við ráki út eftir fjørðinum í erva og neðra, og inn eftir fjørðinum á miðum sjógvi.
- Um lagdeilingin er sterk, verður ein tvílagsskipan, har rákið er øvugt av tí fyrstu støðuni.

Í Føroyum hava flestu firðir tað, sum her verður nevnt veika lagdeiling. Seinast nevndi móguleikin er tískil lítið sannlíkur at verða til staðar á føroysku firðunum. Hinvegin eru mátingar, sum vísa at firðir eru við einari lagskipan, ið broytist millum at hava tvey og trý lög [Simonsen and Joensen, 2016]. Um hetta er orsakað av sjóvarfalsávirkanini, vindi ella ein blanding av hesum báðum, er enn ikki kannað.

#### 2.4.5 Møgulig klassifikatióin av fjørði uttan jarðarsnúning

Fyrr eru ymsar royndir [Hansen and Rattray, 1966, t.d] gjørdar við at klassifisera ráki í einum fjørði, sum ikki er ávirkaður av at jørðin snarar um seg sjálva, við tølum fyri lagdeiling, sjóvarfalsávirkan og nøgd av áarvatni. Geyer and MacCready [2014] taka samanum fleiri av hesum, og grundað á einari gjøgnumgongd av seinastu nývinningunum um ymsu tilgongdirnar, sum dríva ráki á einum fjørði mæla teir til at kortleggja meginparametrarnar, sum dríva ráki við hóskandi eindarleysum tølum.

Eftir øðrum ásanum mæla Geyer and MacCready [2014] til at brúka eitt sonevnt feskvatns Froudetal, sum skrivast

$$Fr_f = \frac{R}{(\beta g s_{hav} H)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.38)$$

har  $R$  sum áður er nøgdin av feskum áarvatni (Partur 2.1), sum rennur í fjørðin, og nevnarin er ferðin hjá einum móguligum fronti, sum er givin við broytingina í tættleika í mun til uttanfyri fjørðin ( $\rho_{hav} = \beta g s_{hav}$ ), har  $s_{hav}$  er størsta broytingin í saltinnihaldi millum sjógvin uttanfyri fjørðin og inni á fjørðinum, og  $H$  er dýpi á fjørðinum.

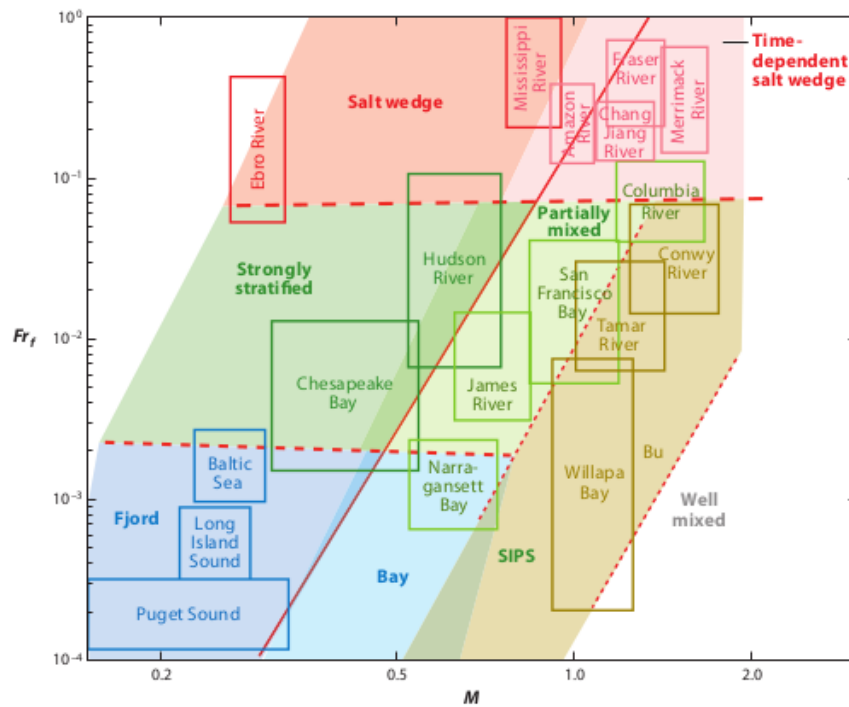
Eftir hinum ásanum skjóta teir upp at brúka lutfalli millum tíðarskeiðini hjá sjóvarfallinum og vertikalu blandingini, sum er givið við

$$M^2 = \frac{c_D u_s^2}{\omega N_0 H^2} \quad (2.39)$$

har teljarin er friktiósferðin hjá sjóvarfalsrákinum,  $u_s^2 = c_D u_s^2$ , har  $c_D$  er tal fyri botnfriktionina og  $u_s$  er harðasta sjóvarfalsrák. Í nevnarinum er  $H$  sum áður dýpi á fjørðinum,  $\omega$  er frekvensurin hjá sjóvarfallinum og

$$N_0 = \left( \frac{\beta g s_{hav}}{H} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.40)$$

er uppdrifts (en: buoyancy) frekvensurin.



Mynd 2.3: Dæmi um ósa/fjarða klassifíkatiún grunda á feskvatns Froude talið ( $Fr_f$ ) og eitt blandingstal ( $M$ ). Hvör ramma umboðar parameter öki fyrir eina fjørð ella ósa. Reyða linjan vísir til virðir fyrir  $M$  har botn blandingsslagi orsakað av sjóvarfallinum rökkur heilt upp til vatnsskorpuna. (Myndin er heintað frá Geyer and MacCready [2014], og tikin við her utan loyvi.)

Á mynd 2.3 er víst plott frá Geyer and MacCready [2014], sum vísir  $Fr_f - M$  sambandi fyrir ymsar firðir og ósar kring heim. Niðast í høgri horni eru firðirnir, sum eru væl blandaðir, og ovalaga til vinstru er tá lagdeilingin er sterkast, og í miðuni eru partvíst lagdeilt. Firðir eru í økinum niðast í vinstra horni. Upp gjøgnum myndina er ein reyð strika, og eru firðirnir til høgri fyrir hesa strikuna eru at rokna sum væl blandaðir orsaka av sjóvarfalli. Júst hvar føroysku firðirnir liggja í hesum plottinum er óvist, tí hetta er á ongan hátt kannað. Heldur er henda myndin tikin við sum eitt dæmi um eina móguliga klassifíkatiún av firðum. Tó, eitt fyrsta stig til klassifisering er at skilja ímillum firðir, sum er væl blandaðir orsaka av sjóvarfallinum, og so teir sum ikki eru og krevja meira umfatandi greining.

## 2.5 Ávirkan av vindi

Tann klassiska fatanin byggir í høvuðsheitum á ein vertikalan myndil, har tað bert verður hugt eftir vertikalu blandingini og vindur verður tikin við sum rørsluorka, ið verður brúkt til at niðurbóta lagdeiling [Stigebrandt and Aure, 1989].

Mátningar ymsastaðni vísa, at vindurin kann vikna, men eisini styrkja um lagdeilingina alt eftir rætningi [Scully et al., 2005, Becherer et al., 2016].

Um vindurin er út eftir fjørðinum, verður sjógvur drigin út í ovaru løgnum. Samstundis verður sjógvur drigin inn í neðra, og legst hetta aftrat tættleikadrivna rákinum lýst í parti 2.2 og sjóvarfalspumpuni nevnd í parti 2.4.1. Innast í fjørðinum vil tá niðara lagi koma upp móti vatnsskorpuni - tað sum vit nevna eitt upprák (en: Upwelling). Verður hugt eftir einum ávísum dýpi í ovara lagnum og samanborið verður við tættleikan á tilsvarandi dýpi inni í uppráksøkinum,

so fæst, at á sama dýpi er tættleikin stórri inni í uppráksøkinum í mun til uttanfyri. Hettar elvir til ein trýstmun, sum styrkir um útgangandi ráki í ovara lagnum, og sostatt gevur eisini eitt ískoyti til eitt sterkari fjarðarák. Ferðmunurin millum bæði lögini skapar blanding millum lögini, sum saman við beinleiðis vindávirkanina eru við til at niðurbóta eina lagdeiling.

Um vindurin liggur inn eftir fjørðinum, virkar tað ímóti vanligu fjarðarákinum, og í serligum førum fæst eitt øvugt fjarðarák, har tað rekur inn í erva og út í neðra.

Vindur ávirkar ikki bara rákið inn ella út av fjørðinum, men setir eisini ferð á ein ella fleiri meldrar á fjørðinum, har rákið er ein veg fram við øðrum landinum, og mótsattan veg hinumegin [Li and Li, 2012]. Hvønn veg hesir meldrarnir eru, og styrkin, veldst um vindrætning, lagdeiling og lendi. Eisini eru ábendingar um, at vertikala ferðbýtið er asymmetriskt í mun til rák og vindrætningarnar.

Fyri at taka samanum, so eru rættuliga nógv viðurskifti, sum gera av hvussu vindur ávirkar rákið niður gjøgnum dýpi á einum fjørði. Tískil er eisini ymiskt, hvussu vindurin ávirkar útskiftingina av niðaru lögnum ella flutning av tilfari á botni. Tá fáir firðir eru eins, er tískil ikki nakað einfalt svar uppá, hvussu vindur ávirkar niðaru lögini, sum er galdandi fyri fleiri firðir.

## 2.6 Ávirkan av jarðarsnúninginum

Høvuðsávirkanin av jarðarsnúninginum er, at rákið verður bent til høgru (vinstru) á norðaru (sunnaru) hálvkúlu. Soleiðis kann eitt rák, antin inn ella út eftir fjørðinum, broytast til at verða meira ella minni uppá tvørs av fjørðinum. Um land er fyri, so verður hesin sjógvurin uppstúvaður fram við landi og ein trýstmunur verður skaptur, sum so aftur elvir til rák aðrar vegir.

Úr eldri lærubókum verður lært, at jarðarsnúningurin ikki hevur ávirkan á ráki í einum lagdeildum fjørði um sonevdi innari Rossbyradiusurin er stórri enn breiddina á fjørðinum. Hesin avstandurin er givin við

$$Ro_i = \frac{\left(g \frac{\Delta\rho}{\rho_0} H_e\right)^{\frac{1}{2}}}{f} \quad (2.41)$$

har  $\Delta\rho$  er munurin í tættleika millum útstreymandi lagi í erva og innstreymandi lagi í neðra, og  $H_e$  er sum áður hæddin á ovara lagnum. Lutfallið millum  $Ro_i$  og breiddina av fjørðinum kann lýsast við sonevnda Kelvin talinum

$$Ke = \frac{B}{Ro_i} \quad (2.42)$$

Eftir klassiska ástøðinum, so kann hyggjast burtur frá jarðarsnúninginum tá  $Ke < 1$ , men skal takast við um  $Ke > 1$ . Nýggjari ástøðiligar kanningar og mátingar hava tó víst, at tað ikki bert er tengt at Kelvin talinum um jarðarsnúningurin hevur ávirkan, men at hetta eisini er tengt at lagdeilingini. Tá talan er um vinddrivið rák á opnum havi verður tosað um Ekman dýpi,  $d$ , sum er dýpið har vindur ávirkar rákið niður til. Á líknandi hátt verður eitt sonevnt dynamiskt dýpi definerað, og tað verður skrivað

$$d = \left(\frac{2A}{f}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.43)$$

har  $A$  er vertikala viskositetstalið (Partur 2.3) og  $f$  er Coriolistali. Tað vísir seg, at tá dýpið á fjørðinum er um fýra ferðir dynamiska dýpið ( $H \sim 4d$ ) hevur jarðarsnúningurin størst ávirkan á

rákið. Fyri at lýsa hetta, skjýtur Valle-Levinson [2011] upp at brúka Ekman talið, sum er givið við

$$Ek = \frac{A}{fH^2} \quad (2.44)$$

ið lýsir lutfallið millum ávirkanina av jarðarsnúninginum og friktiðnskrefturnar. Tá friktiðnin er lítil, - og tað hendir tá antin  $A$  er lítið ella  $H$  er stórt - so er  $Ek \ll 1$ , og rákið er tá í sonenevndari geostrofari javnvág. Hinvegin, tekur friktiðnin yvir tá  $Ek \sim 1$ .

Hvussu hetta kann ávirka rákið er víst á mynd 2.4. Í mun til botnfall er at geva gætur lutfalsliga harða rákið tvørtur um fjørðin serliga við småum  $Ek$ -tølum, sum er, tá lagdeilingin er rættuliga sterk og/ella at fjørðurin er hampuliga djúpur.

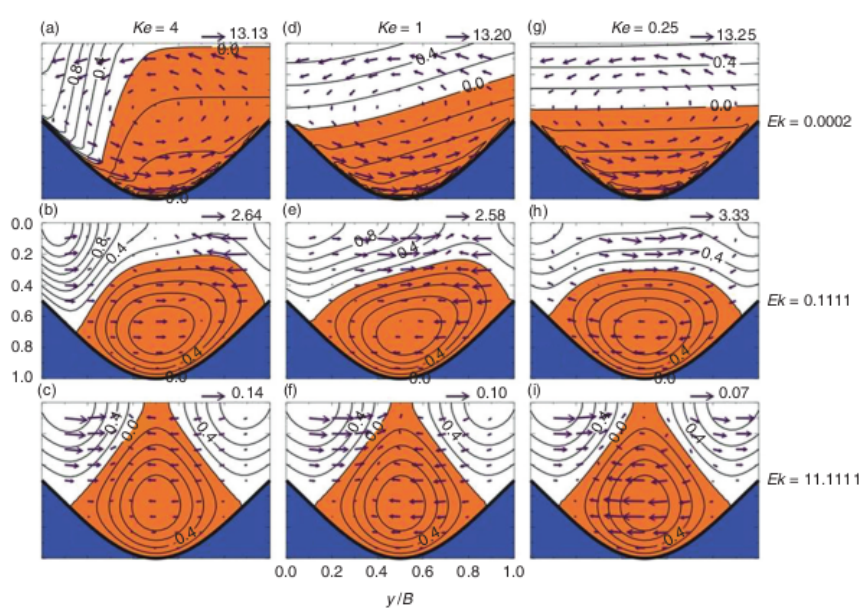
Um  $Ro_i$  verður roknað fyri føroysku firðirnar, so er hann í flestu førum áleið breiddina á fjørðinum ella størri. Eftir klassisku fatanini burdu vit sostatt ikki sæð nakra serliga ávirkan av jarðarsnúninginum. Streymmátingar á føroysku firðunum vísa tó, at yvirhøvur er eitt miðal rák báðumegin við á fjørðinum við landinum til høgru í mun til rákrætningin [Hansen, 1990a, Simonsen et al., 2018]. Hví so er, er tíanverri ongantíð greinað, men eitt boð er, at hetta er orsakað av lagdeilingini, soleiðis sum Valle-Levinson [2011] skjýtur upp.

At jarðarsnúningur soleiðis 'skeiklar' lagdeilingina og rákið tvørs av fjørðinum ger, at niðurstøður grundaðar á ástøði, ið er ment fyri ein fjørð, har jarðarsnúningurin ikki hevur ávirkan (Partarnir 2.1-2.5), mugu gerast við størsta varsemi og nógvum fyrivarnum.

At hyggja eftir  $Ke \sim Ek$  sambandinum á einum fjørði er so ein annar háttur at klassifisera ein fjørð, sum í mun til klassifiseringina í parti 2.4.5 tekur jarðarsnúningin við, men ávirkanina av feskvatninum umvegis lagdeilingina og viskositetstalinum.

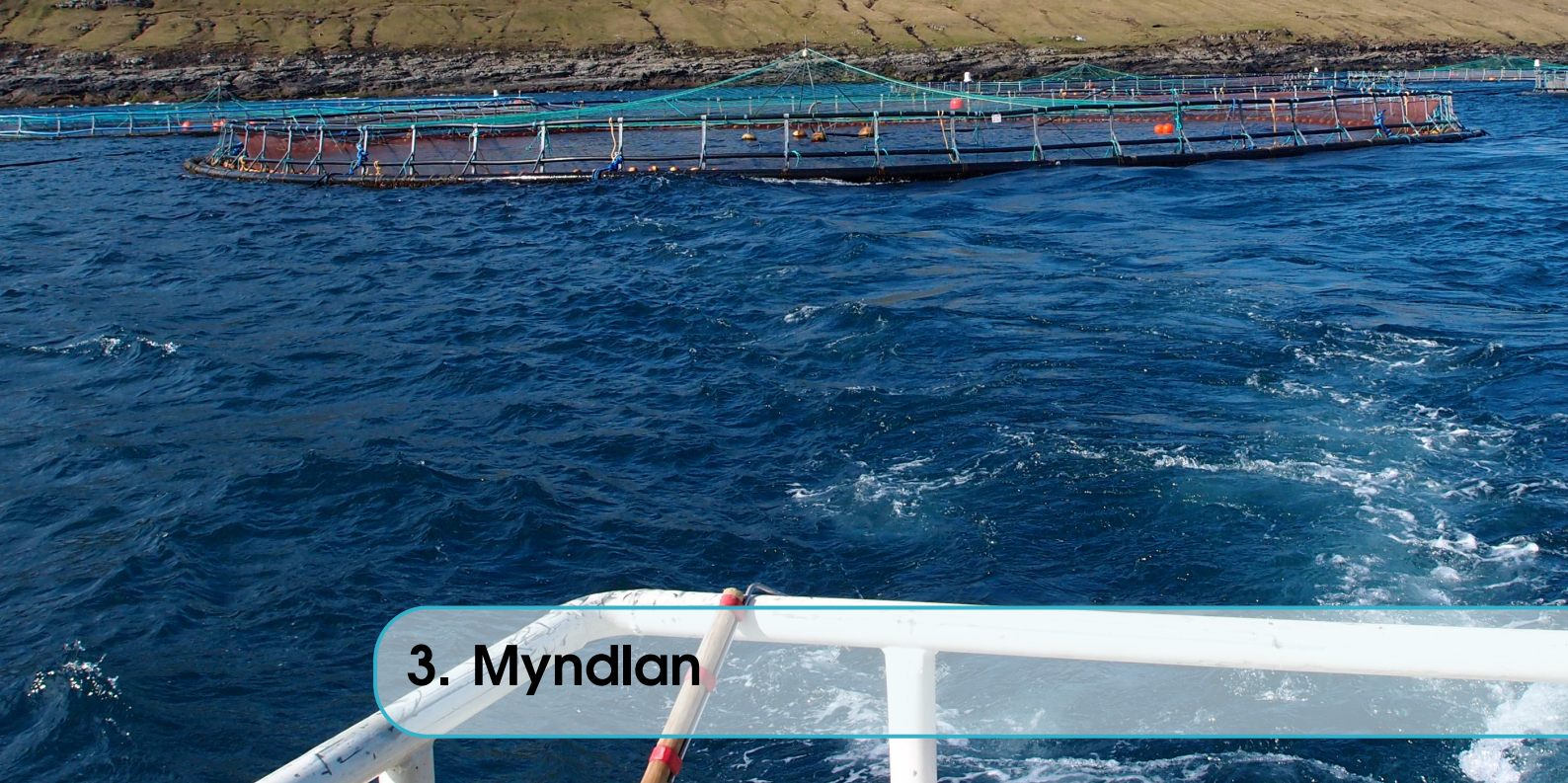
Í mun til at greina rákið á einum fjørði, so setir hetta fyrbrigdi krøv til, at mátingar verða gjørdar báðu megin miðlinjuna á einum fjørði, um ikki ein fullfígjadur 3D-dynamiskur myndil (Partur 6.4.1) verður brúktur.





Mynd 2.4: Tvörskurður, ið vísir rákið inn (litað), út (hvítt) og tvørturum (pílar) fjørðin fyri ymisk Kelvin- og Ekmantøl. Linjurnar eru fyri hvørja  $0.2 \text{ cm s}^{-1}$  og støddina av pífunum er víst yvir hvørt einstakt plott til høgru. (Myndin er heintað frá Valle-Levinson [2011] uttan loyvi.)





## 3. Myndlan

Tá hugsa verður um at fara undir myndlan í samband við aling, so er fyrsta fyritleytingin at gera sær greitt, hvat ein ætlar at greina og við hvørjum endamálið. Aling hevur fyrst ávirkan beint við aliringarnar, men alt eftir umstøðunum, eisini á umhvørvið uttanum sjálvst aliðki, eins og ávirkan av kringøkinum er á sjálvst alistaðið. Skiljast kann ímillum 4 ymisk longdarmát, tá talan er um ávirkanin av og á eitt alibrúk [Tett et al., 2011]. Hesi eru

- A Nærumhvørvi undir og við aliðki innanfyri eina fjarstøðu á umleið 10-100m.
- B Kringøki ella fjørðurin, sum hýsir alibrúkinum. Fjarstøðurnar eru tá áleið 1-10km.
- C Økir, sum í Føroyum er allur Landgrunninum og aðrastaðni eru størri umsitingarøkir ella smittuøkir, ið fevna um fleiri firðir, sund og aliðkir. Fjarstøðurnar eru tá áleið 10-100km.
- D Allur heimurin.

Í mun til umhvørvis eftiransing, so er áhugin vanligi avmarkaður til longdarmátini A og B. Hesi eru fyri sjálvst aliðkið og økið kring aliðkið, sum oftast fjørðurin ella sundi. Tá talan er um spjading av smittu ella útlát av evnum, sum ikki søkka, men halda sær í sjónum, so verður áhugaðkið víðka til longdarmát C. Fyri myndlan av longdarmát D er oftast talan um langtíðar broytingar uttanífrá, sum kann hava ávirkan á umhvørvið og serliga vakstrarumstøðurnar hjá alda fiskinum. Hetta kann verða veðurlagsbroytingar ella aðrar broytingar í stóru havstremmunum. Niðanfyri verður í høvuðsheitum hugt eftir nøkrum av myndlanum, sum verða brúktir til longdarmátini A og B, - tó nakrir teirra eins væl verða nýttir á øllum longdarstigum.

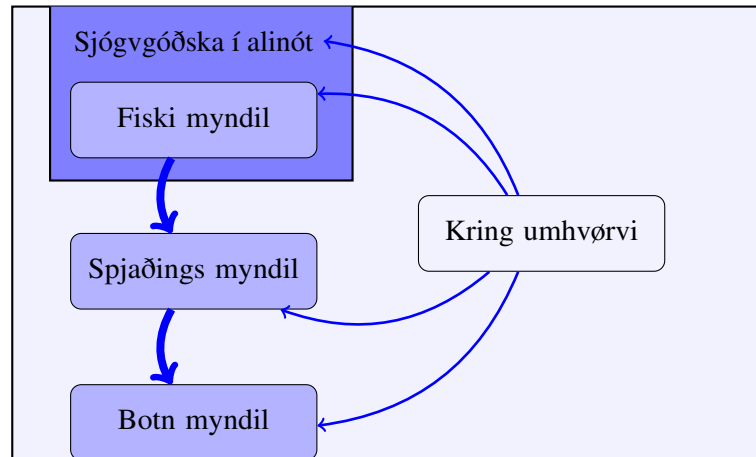
### 3.1 Myndlan av nærumhvørvinum

At aling á sjónum ávirkar botnin beint undir alinótunum undran neyvnan nakran, og hevur hetta eisini verið partur av reglugerðum og umsiting í flestu londum frá tí aling byrjaði á sjónum. Niðanfyri er stutt um høvuðsbygnaðin á hesum bólkinum av myndlanum og síðani ein stutt gjøgnumgongd av nøkrum av teimum mest brúktu myndlanum av hesum slagnum um okkara leiðir.

#### 3.1.1 Bygnaður á staðbundnum sjógvgóðsku myndlanum

Yvirhøvur eru hesir myndlanir bygdir upp av deilmyndlum, sum í høvuðsheitum eru (Mynd 3.1):

1. *Sjógvgóðskumyndil fyri alinótina*, sum rokna minsta oxygen og mesta ammonium innihald í sjónum í aliringinum grunda á rák, oxygen og vind frá kring umhvørvis deilmyndlum,



Mynd 3.1: Skitsa av høvudslutunum, sum kunnu verða í einari myndlaskipan fyri nærumhvørvi. Parametrar umboðandi kring umhvørvi kunnu verða frá mátingum ella úrslit frá einum meira dynamiskum myndli.

umframt biomassa og fóðurnøgd. Stundum er ávirkan av primerframleiðsluni á oxygen-nøgdina í aliringinum eisini við í útrokningunum.

2. *Fiskimyndil*, sum roknar matarlyst, vøktur, oxygennýtslu og framleiðslu av bæði upploystum og føstum skarni og fóðurleivdum.
3. *Spjaðingsmyndil*, sum roknar spjaðingina av bitla-avfallinum frá tí tað søkkur niður úr alinótini og til tað fellur á botn út frá einar ásettari søkkiferð hjá bitlunum og horisontalari streymferð frá kring umhvørvis deilmyndlinum.
4. *Botn myndil*, sum roknar tjúkd av lagnum av tilfarinum, sum fellur niður á botnin, og lívfrøðiliga niðurbrótingina út frá lagtjúkd og streymferð, ið er frá kring umhvørvinum. Í nøkrum av myndlunum er krav um mátaði virðir fyri oxygen nøgd á botni, meðan tað í øðrum inngongdur sum partur av útrokningum út frá streymferðina. Ávirkan av resuspensión (Partur 4.1) er stundum tikin við, sum roknar spjaðing, og harvið tynnan av avfalslagnum á botninum. Sum oftast verður eitt tal fyri djóralívið roknað, sum kann samanberast við sýnismannagongdirnar í eftiransingini.
5. *Kring umhvørvi* er í hesum slagi av myndlum umboðað antin við mátingum, ella úrslit frá dynamiskari myndlan (Sí partur 3.3). Er talan um mátingar, so er mest vanligt talan um mátingar á einum ávísum staði í økinum í avmarkaðari tíð, sum man so roknar við er umboðandi fyri alt økið, meðan dynamisk myndlan gevur bæði rúmligu og tímaligu broytingarnar, men hevur tær avmarkingar, sum brúkti dynamiski myndilin hevur (Partur 3.3).

### 3.1.2 Nakrir nærumhvørvis myndlar

#### MOM

MOM (Modelling–Ongrowing fish farms–Monitoring) er skipan [Ervik et al., 1997], sum er ment fyri norsku mynduleikarnar og hevur tveir høvudspartar, eftiransan [Hansen et al., 2001] og myndlan [Stigebrandt et al., 2004]. Høvudsendamálið við MOM-skipanini er at meta um berievni hjá økinum, og verður tað ásett í mun til úrslitini hjá myndlinum fyri sjógvgóðsku í aliringinum og sum eitt tal fyri djóramargfeldni á botni. Vavi av eftiransingini verður ásett eftur muninum millum alda biomassan, og mesta biomassan, sum økið er mett at bera út frá myndlinum [Ervik et al., 1997, Hansen et al., 2001, Stigebrandt et al., 2004, Stigebrandt, 2011].

Myndilin hevur allar deilmyndlarnar, sum eru nevndir omanfyri, og krevur at streym og



oxygen mátingar verða gjörðar í minsta lagi við botnin og í aliringinum, umframt at það eisini er ynskilegt at oxygenmátingar eru tókar frá øki, sum ikki er ávirkað av alivirkseminum. Oxygen innihaldið í alinótini verður roknað í mun til horisontala flutninginum av oxygen við rákinum, vertikala flutningin gjøgnum vatnskorpuna út frá vindtølum, respiratióin hjá fiskinum út frá fiski myndlinum og ávirkan frá primer framleiðsluni.

Fyri at rokna spjaðingina av bitlum verður variansurin ( $\sigma^2$ ) í rákinum brúktur. Gingið verður út frá, at skarn og fóður hava ymsa søkkiferð ( $w$ ). Tá tær eru kendar eins og dýpi,  $H$ , so er tíðin tað tekur einum bitli at søkka á botn givin við  $T = H/w$ , og so verður meðal spjaðifjarðstøðan beinleiðis roknað sum  $r = \sigma T$  [Stigebrandt et al., 2004, Stigebrandt, 2011]. Fyri at rokna resuspensióin verður roknað við at rákið er normal fordeilt, og at resuspensióin (Partur 4.1) hendir, tá variabiliteturin fer uppum  $3.5 \text{ cm s}^{-1}$ .

MOM-skipanin roknar sum nevnt berievnið hjá einum økið, og verður áherðsla lögð á at metingin skal byggja á umstøðurnar, tá tær vísa minsta berievni. Í hesum sambandinum verður nevnt, at streymmátingar í 3-4 vikur neyvan eru nóg leingi til at fáa við ringast hugsandi umstøðurnar. Eisini verður sagt, at mátingar gjörðar um heysti og veturin ikki eru umboðandi fyri stilt summarveður, og tískil nyttuleysar bæði til at gera metingar av oxygen í ringunum og til metingar á umstøðunum niðri á botni [Stigebrandt, 2011]. Hinvegin, um økið er sjóvarfalsdrivið, og rákið er nóg hart til at einki avfall leggur seg á botnin, so vísir myndilin eitt óavmarkað berievni [Stigebrandt, 2011], men sigur einki um, hvar avfallið so er endað uttanfyri sjálvt alistaðið.

Hesar útrokningarnar eru partvíst kravdar og partvíst tilmældar fyri sjálvt alistaðið, og gevur hesin parturin av myndlinum onga kunning um støðuna hjá kringøkinum. Tó, - tað verður mælt til at gera metingar av sjógvgóðskun í kringøkinum [Stigebrandt, 2011], og er tað serliga oxygen nøgdin í móguligum avlæstum botnlagi, sum er av høvuðsáhuga. Hesin myndilin er nærri lýstur í parti 3.2.

Tann í Noregi lógarkravdi parturin av myndlinum ber heiti AncylusMOM og er nærri lýstur og tøkur á [www.ancylus.net](http://www.ancylus.net).

## DEPOMOD

Henda skipanini varð ment í 2002 [Cromey et al., 2002a,b] og hevur síðani 2006 verið kravd av mynduleikunum í Skotlandi til at rokna berievni fyri økið og harvið mest loyvda biomassa og fóðurnøgd, sum verður skriva inn í aliloyvi til alaran at halda seg til [Hills et al., 2005]. Eisini roknar myndilin eitt størsta økið (the Allowable Zone of Effect (AZE)) [Cromey et al., 2002a,b], sum ávirkanin á botnin av alingin skal verða innanfyri, og ein partur av eftir ansingini er at kanna, um hetta verður hildið [Hills et al., 2005, 2019].

Hesin myndilin krevur ikki oxygen mátingar, hvørki í aliringinum ella niðri við botnin, og kringumhvørið verður umboðað við streymmátungum. Av deilmyndlunum nevndir omanfyri eru sostatt fiski-, spjaðings-, og botnmyndilin (Deilmyndlarnir 2-4) við, og ávirkanin frá kringumhvörvinum er umboðað av einari streymmátung (Deil myndil 5).

Spjaðingsmyndilin byggir á ein bitlafylgimyndil, sum roknar farleiðina hjá bitlum, ið verða sleptir í alinótini, út frá einari meðal søkkiferð hjá ávikavist skarni og fóðri, og horisontalari ferð frá einari streymmátung. Higartil hevur minsta kravið verið streymmátung á trimum dýpum: Á 5m, við grundlínuna á um 15m og 1m omanfyri botnin í 15 dagar, men er kravið til streymmátungar nú hert til at verða í minst 90 dagar, men dýpini annars tey somu [Hills et al., 2019]. Í vanligu útgávuni av myndlinum verða útrokningarnar gjörðar í einum  $2\text{ km} \times 2\text{ km}$  stórum neti, har hvør puntur er  $25 \times 25\text{ m}$ . Tá ein streymmátung verður nýtt, so verður roknað við at sama rák er í øllum økinum. Hetta hevur sínar avmarkingar, og hevur Hills et al. [2005] eisini fingurin á lofti og mælir til størsta varsemi í tolking av úrslitunum í streymliga orkuríkum (en:energetic) økjum, og at biomassin ikki eigur at verða størri enn 2500 tons. Hetta fyrivarni er endurtikið í Hills et al. [2019], sum í stóran mun leggur upp til at brúka úrslit frá einum valideraðum dynamiskum

modellið, soleiðis at rúmligar broytingar í rákinum verða við í útrokningunum [Rochford et al., 2017, Hills et al., 2019].

Í botnmyndilinum verður søkkandi tilfarið, sum fellur í hvønn einstakan net punkt, savnað saman, og út frá tí verður eitt tal fyri djóralívi rokna, sonevnt Infaunal Trophic Index (ITI). Hesin myndilin roknar eisini flutning eftir botninum orsakað av resuspensión (Partur 4.1), og verður hetta sett í verk, um rákið beint yvir botnin er harðari enn  $10\text{cm s}^{-1}$ . Uppruna myndilin varð valideraðum bert móti tveimum alistøðum [Cromey et al., 2002a]. Seinni úrslit hava víst, at myndilin yvirhøvdur yvirmetur ávirkanina á botnin á støðum við sløkum ráki og undirmetir har harðari rák er [Black et al., 2016]. Í seinastu útgávuni er broytingar gjørdar, og m.a. er nú neyðugt at hava neyvari upplýsingar um botnslag [Hills et al., 2019].

DEPOMOD myndilin brúkar, sum nevnt omanfyri, bert streymdátur frá kringumstøðunum, og ger ongar metingar um møguligt árin á kringumstøðurnar. Í Black et al. [2016] verður mælt til at hydrografiskar mátingar verða gjørdar, har lagdeiling kann vantast, tí hetta ávirkar søkkiferðirnar, umframt at mælt verður til at taka alduávirkanina við í framtíðar útgávum av myndlinum [Black et al., 2016]. Í niðurstøðuni hjá Black et al. [2016] verður eisini lagt upp til at gera neyvari simuleringar av rákinum sum 'input' til DEPOMOD, heldur enn streymmátungar á einum staði, fyri at fáa rúmligu broytingarnar í rákinum við. Hetta er vorðið krav, sum er um at verða sett í verk í Skotlandi [Hills et al., 2019].

Hóast tey, sum hava ment og brúka hesa skipanina, hava greiðar avmarkingar í hvar og hvussu hesin myndilin eigur at brúkast [Hills et al., 2005, Black et al., 2016, Hills et al., 2019], verður myndilin roknaður at verða eitt "credible and robust system" fyri at áseta ávirkanina á botnin undir alibrúkum av ASC [ASC, 2012]. Hesin myndilin verður brúktur á Føroysku fríðunum fyri at fáa ASC-góðkenning [Fjallstein, 2019].

Meira kunning um hendan myndilin og skotsku mannagongdirnar er at finna á [www.sepa.org.uk/regulations/water/aquaculture/pre-june-2019-guidance/aquaculture-environment/modelling/](http://www.sepa.org.uk/regulations/water/aquaculture/pre-june-2019-guidance/aquaculture-environment/modelling/)

## AWATS

Panchang et al. [1997] komu eftir at staðbundnu myndlarnir, sum tá vórðu tøkir [Silvert, 1992, Aure and Stigebrandt, 1990], ikki góðu nøktandi úrslit í Maine-flógvanum í USA, sum er eyðkent við lutfalsliga hørðum sjóvarfalsráki. Teir koblaðu tí deilmyndlarnar, sum nevndir eru omanfyri, saman við ein 2D sjóvarfalsmyndil (Partur 3.3.2) og ein einklan aldumyndil. Rákmyndilin varð valideraður við vatnstøðu og streymmátungar, og nøgdin, sum fall á botn, ímóti úrslitum frá sediment fellum. Fyri at fáa flutningin av tilfarinum at líkjast mátingunum, var neyðugt hjá teimum at seta resuspensiónsferðina til at verða um  $20\text{cm s}^{-1}$ , sum er nakað hægri enn fyri myndlunum nevndir omanfyri. Eisini funnu teir, at resuspensión orsakað av aldu var týðandi fyri fleiri økir. Eitt annað áhugavert úrslit hjá Panchang et al. [1997] er, at virkni hjá resuspensiónin er staðbundi, og helst tengt at hvussu rákið er í økinum. M.a. høvdu teir dømir um at tilfar, sum var flutt eftir botninum orsakað av resuspensión, legið seg aftur á sama stað, heldur enn at verða flutt úr økinum.

## Onnur myndlan av staðbundna umhvørvinum

Metingarnar, sum fáast frá omanfyri nevndu myndlum, fæst eisini frá øðrum meira umfatandi myndlum, sum hava omanfyri nevndu deilmyndlar við sum partur av einari myndlasirpu, har høvuðsbulurin er ein dynamiskur myndil fyri bæði nær- og kringumhvørvinum. Meira um hetta í parti 3.3.

### 3.1.3 Samumtøka av nærumhvørvismyndlum

Hesir myndlar eru mentir til at greina, hvussu nógv lívfrøðiligt útlát søkkur niður úr einum aliringi í mun til biomassa og fóðring, gera eina meting um, hvussu stórt og tjúkt økið er á

botninum, sum verður ávirkað, og at umrokna hetta til vísitøl á líknandi hátt, sum gjørt verður við sýnistøku. Til at rokna spjaðingina verður mest vanligi ein einstøk staðbundin streymmátning brúkt, og verður hetta antin gjørt beinleiðis út frá mátaðu streymferðunum, ella eisini við at brúka variánsin í mátaðu streymferðunum. Ein fortreyt fyri slíka myndlan er sostatt, at rákið í øllum aliøkinum er tað sama, sum á mátistaðnum. Søkkiferðin verður ásett sum miðal ferð fyri ávikavist skarn og fóðurbítlar, og tá dýpi er kent, so er tíðin, ta tekur einum bitli at søkka á botn, eisini kend. Í høvuðsheitum er tað henda tíðin, sum er avgerandi fyri, hvussu víða spjaðingin er. Hædd verður ikki tikin fyri ávirkan av møguligari lagdeiling á søkkiferðirnar. Í nøkrum myndlum verður broytandi botnlendi tikið við, men verður hetta gjørt við at tíðin, tað tekur at søkka á botn verður broytt, men sæð verður burtur frá broytingum í rákinum, sum skiftandi botndýpi hevir. Resuspensión kann verða tikin við og ávirkar nøgdina av botnfalna tilfarinum á aliøkinum, men hædd verður heldur ikki her tikið fyri skiftandi botndýpir og streymferðir. Ávirkan á kringumstøðurnar, sum ávirkan á oxygen innihaldi við botnin, ella um tilfar verður flutt út úr sjálvum alistaðinum, er ikki partur av hesum myndlum. Fyri at taka samanum, so eru hetta amboð at rokna ávirkanina har botnurin er slættur og ráki tað sama, og ikki ov hart, í øllum økinum, og ávirkan á kringøkið er ikki partur av myndlinum.

### 3.2 Myndlan av kringøkinum

Við kringøki meinast yvirhøvdur við fjørðin, sum hýsir alibrúkinum, og er høvuðsendamálið við hesum myndlum at rokna lívfrøðiliga berievni hjá fjørðinum. Yvirskipað er her talan um tvey sløg av myndlum, sum verða nýtt: Annað myndlaslagi eru teir fult dynamisku, sum rokna rákið og broytlar annars í einum rútanetið, ið fevna um alt økið. Hesi verða nærri lýst í parti 3.3. Hitt slagi av myndlum byggir á javnvágsfrymlarnar hjá Knudsen [1900] (Partur 2.1), men sum umframt gera útrokningar av, hvussu nógvur sjógvur ferðast millum tey ymsu lögini í fjørðinum og millum sjógvin uttanfyri og fjørðin út frá givnum fortreytum. Í nøkrum fòrum eru hesir myndlarnir víðkaðir til eisini at rokna ringrásina av lívrúnum evnum fyri at meta um nøgdina av karbon, sum kemur av náttúrligum og manna ávum og fellur niður á botn.

#### Skálafjarðamyndilin

Umfatandi mátingarnar í sonevndu fjarðakanningunum í 1980-árunum vístu, at teir trýggir firðirnir Skálafjørðurin, Sundalagi norðanfyrir Streymin og Kalbaksfjørðurin av og á eru lagdeildir vertikalt í nøkur fá høvuðsløg, men yvirhøvdur at broytingarnar eru meira líðandi við dýpinum [Hansen, 1990b]. Út frá hesum var ein myndil mentur við lögum, sum hvørt er ein metur til tjúkdar frá botninum og upp til vatnskorpuna [Hansen, 1990b]. Myndilin roknar flutningin, fluksin, av sjógvi, sum verður blandaður frá ovaru lögnum og niðureftir, og við tí eisini flutningin av oxygen og hita niður í sjógvin. Vertikala blandingastalið í sjónum, sum í parti 2.2 verður nevnt diffusivitetur ( $K$ ), og oxygen nýtlan fyri hvønn kvadratmetur á botni, eru ásett út frá mátingunum í hvørjum av hesum trimum firðunum. Simuleringar av gongdini hjá hita og oxygen við botnin yvir eitt ár vísa rættuliga gott samanfall millum mátingar og myndil fyri allar trýggjar firðirnar. Tó, á Kalbaksfirði megnar myndilin ikki at simulera nøkur lop í botnviðurskiftunum, sum helst koma, tí sjógvur kemur inn uttanifrá og horisontalur flutningur ikki er við í myndilinum [Hansen, 1990b]. Hinvegin, so lýsir hesin myndilin hví oxygen innihald kann verða rættuliga høgt uppi í sjónum, men at tað stundum fellur rættuliga skjótt við botnin á Kalbaksfirði í mun til hinar báðar firðirnar og at hetta er eitt fyrbrigdi, sum serliga hendir tá botnlagi er tunt. Eftirfylgjandi er myndilin brúktur til at vísa gongdina í botnviðurskiftunum við broyttari oxygennýtlu við botnin, sum eru tengd at broyttum útláti av lívrúnum evnum.

Hesin myndilin er mentur við grundarlagi í mátingum á føroysku firðunum í tíðini, tá aling á sjónum mentist fyri um 30 árum síðani, og sýnist at megna at greina fleiri gongdir í botnviðurskiftunum á firðunum við mest markantu gáttunum í Føroyum. Hóast hetta, so er hann

okkum vitandi ikki brúktur sum partur av umhvørviseftiransingini síðani.

### FjordEnv

Hesin myndilin byggir í høvuðsheitum beinleiðs á javnvágirnar hjá Knudsen [1900], og einklu lýsinga við einum ovasta lagi, miðlagi og um lendis umstøðurnar tala fyri tí við einari gátt við fjarðarmunnan, eisini einum botnlagi (Partur 2.1.1). Í mun til uppruna javnvágina hjá Knudsen [1900], sum byggir á mátaði virðir fyri lagtjúkd og saltinnihald, verða hesir broytlarnir roknaðir út frá øðrum kendum parametrum [Stigebrandt, 2011].

Tjúkdina av tí ovara lagnum verður roknað út frá einari javnvág millum stabiliserandi kreftirnar, sum eru ein avleiðing av feska áarvatninum, og tær destabiliserandi kreftirnar, ið partvís koma beinleiðis frá vindi í erva, og blanding við lagið undir. Henda blandingin er orsakað partvíst av vindinum í erva, sum skapar røring í ovara lagi, og av innaru aldam, ið koma av at sjóvarfallið arbeiðir tvørtur um gáttina og skapar ymsar blandingstilgongdir millum lögini (Partur 2.4). Saltinnihaldið í innstreymandi lagnum verður roknað at verða tað sama sum uttanfyri fjørðin, og út frá tilfórningini av feska vatninum og blanding við lagnum undan, verður saltinnihaldið í útstreymandi lagnum í erva roknað. Innstreymandi rúmdin í mið lagnum verður roknað út frá broytingini í tættleika í sjónum omanfyri gáttardýpi á gáttini og longri inni á fjørðinum ( $G_t$  í parti 2.2). Eisini er baratotropa útrákið orsakað av feska vatninum, sum rennur út í fjørðin, við ( $u_R$  í parti 2.2) [Stigebrandt, 2011].

Umframt útrokningar av sjógvflutninginum millum lögini, roknar myndilin eisini nøgdina av lívrúnum tilfari, sum fellur á botn. Lívfrøðiliga virksema er avmarkað av sonevnda Secchi-dýpinum, sum er eitt mát fyri hvussu langt niður ljósið treingir. Hetta er tengt at nøgdini av lívfrøðiligum tilfari, sum aftur er funktión av nøgdini av tøðsøltum, sum í ovasta lagnum kemur inn við antin uppblanding frá lagnum í neðra, ella verður tilførd við áum ella av mannávum. Er Secchi dýpi grynri enn ovasta sjógvlagi, so er nøgdin avmarkað av longu nevndu flutnings leiðunum. Er Secchi dýpi djúpari enn ovasta lagi, so er nøgdin av tøðsøltum óavmarkað. Út frá lívfrøðiliga virkseminum verður so nøgdin av lívfrøðiligum bitlatilfari, sum kann søkka móti botni, roknað. Hetta tilfarið verður roknað við at hava eina søkkiferð, sum verður brúkt til at rokna tíðina, sum tilfarið hevur um at søkka eitt strekkið, sum svarar til dýpi á ovasta lagnum. Er henda tíðin stór í mun til upphaldstíðina hjá sjónum í lagnum í erva, so verður roknað við at lívfrøðiliga tilfari rekur út úr fjørðinum, og hinvegin, er henda tíðin væl minni enn upphaldstíðin hjá sjónum, so verður roknað við at størsti parturin fellur á botn. Út frá hesum og tjúkdina av botnlagnum fæst broytingin í oxsygen innihaldinum, og harvið tíðina til oxygeninnhaldið í botnlagnum verður so lágt, at tað ávirkar djóralívið [Stigebrandt, 2011].

Umframt breidd og dýpi við fjarðarmunnan, og víddina og dýpi á fjørðinum, so krevur hesin myndilin bert meðaltøl fyri nøgdina av feskum vatni, sum rennur í fjørðin, vindferð, saltinnihald uttan fyri fjørðin, lutfallið millum lagtjúkdina hjá ovara lagnum við fjarðarmunnan og inni á fjørðinum, og vatnstøðuamplituduna hjá tveimum teimum mest týðningarmiklu sjóvarfalsfrekvensunum við fjarðarmunnan. Myndilin gevur sostatt lutfalsliga lætt eina heildarmynd av berievninum hjá einum fjørði, men einki boð uppá hvussu skiftandi umstøður ávirka ella rúmligar broytingar eru í økinum.

### ACExR-LESV

Hesin myndilin byggir á FjordEnv myndlinum (Partur 3.2) og hevur stórt sæð somu líkningar, men hevur nakrar broytingar í lýsingunum av hita, saltinnihald, tjúkd og flutning millum lögini, soleiðis at hesin myndlin kann simulera dag til dag broytingar yvir ár, - tó at myndilin brúkar 24-tíma miðal virðir og soleiðis ikki hevur við broytingar gjøgnum dagin orsakað av t.d. sjóvarfallinum. Eisini er lívfrøðiligi deilmýndilin meira útbygdu, soleiðis at fleiri parametrarnir í 'the Water Framework Directive' hjá EU eru við [Tett et al., 2011].

Neyðugt er at hava eitt byrjunarvirði fyri allar parametrarnar, og fyri at dríva myndilin er



neyðugt at kenna daglig virðir fyri vind, feskvatns avrenning og hitan hjá tí, hitafluks gjøgnum vatnsCorpuna, umframt hita og saltinnihald í sjónum uttanfyri fjørðin. Fyri tann lívfrøðiliga partin er neyðugt at kenna dagligu nøgdina av tøðsøltum og klorofyll í øllum sjógvi ella vatni, sum rennur inn í fjørðin.

Hesin myndilin er mentur og brúktur á Loch Creran í Skotlandi [Tett et al., 2011], og er annars brúktur til at meta um berievni hjá skotskum firðum í mun til aling av skeljum [Gubbins et al., 2008], og til berievni hjá firðum í Íslandi, nú aling á sjónum mennist í stórum í grannalandi okkara (H. Valdimarsson, pers. samskipti, 2019).

### 3.2.1 Samumtøka av kringumhvørvismyndlum

Endamálið við hesum myndlunum er at meta um lívfrøðiliga berievni hjá einum sjóki umgirt av landi, í flestu førum í økjum, har botnlandi hevur eina gátt út móti opna havinum, og har sjógvurin í styttri ella longri tíðarskeiðum er lagdeildur. Lívfrøðiliga berievni verður ásett út frá markvirðum fyri oxygen í botnlagnum. Blanding vertikalt millum lögini, og útskipting við sjógvin uttanfyri byggir á vitan um tilgongdirnar, sum er orsök til hesar hendingar.

Myndlarnir eru tó meira at rokna fyri at verða hugtaksligir (En.: Conceptual), har samlaða, ella meðal úrkoman av tilgongdunum verða roknað fyri heil lög. Onkrir av hesum myndlunum byggja á miðaltøl fyri longri tíðarskeið, sum oftast eitt ár, og veita vitan um berievni hjá økinum í mun til samlaða ávirkan, meðan aðrir hava móguleikan at taka inn mátaði tøl, sum oftast dagsmeðal, og rokna tímaligu meðalbroytingarnar fyri økini. Hesir myndlar kunnu geva hugtaksligt innlit í høvuðstilgongdir, sum ávirka berievni hjá einum fjørði, men veita onga staðbundna kunning fyri ávís støð inni í økinum, ei heldur um rák ella aldu viðurskiptir.

## 3.3 Dynamisk myndlan av nær og fjarumhvörvinum

Høvuðsbulurinn í myndlan av ráki eru sonevndu røslulíkingarnar, sum kunnu skrivast sum

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \vec{u} + \vec{f} \times \vec{u} = \frac{-1}{\rho} \nabla p - \vec{g} + \nabla(\nu \nabla \vec{u}) + \vec{F} \quad (3.1)$$

og massavarðveitslu- (En.: Continuity) líkningina

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0 \quad (3.2)$$

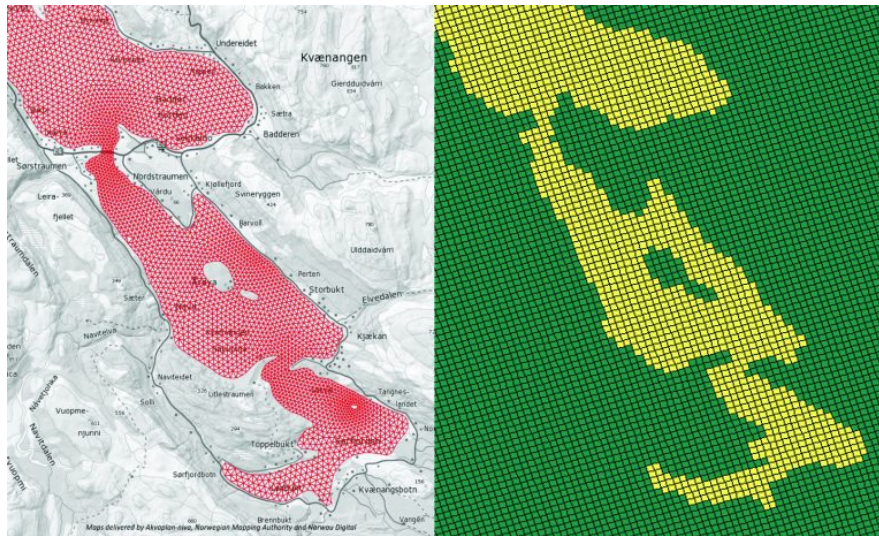
har  $\vec{u}$  er ferðvektorurinn,  $\vec{f}$  er Coriolis parameturin,  $\rho$  er densiteturinn,  $p$  er trýst,  $\vec{g}$  er tyngdardikið,  $\nu$  er eitt diffusiós- (blandings) tal og  $\vec{F}$  er stress á vatnsCorpuna frá vindi ella friktiún við botnin.

Fyri at fáa flutningin av hita, saltinnihald og/ella ymsum øðrum evnum,  $C$ , so má eisini flutnings- (advektións-) líkningin

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot (C \vec{u}) = v_c \nabla^2(C) + \vec{K} \quad (3.3)$$

loysast fyri hvørja einstaka konsentratiún  $C$ . Her er  $v_c$  blandingstalið fyri viðkomandi konsentratiún ella hita, og  $\vec{K}$  umboðar keldur ella dren. Hetta er fyri tað mesta gjøgnum vatnsCorpuna, men kann eisini verða aðra staðni niðri í sjónum og mugu so serlig roknimodulir gerast fyri hvørt einstakt av hesum.

Í myndlum fyri opið hav og størri økir er stórum partur av rákinum ein javnvág millum ávirkanina av jarðarsnúninginum gjøgnum Coriolis liðið og trýstliðið, meðan leiklutirnir hjá advektiónsliðinum og dissipatiónsliðinum er meira avmarkað uttan í økjum nær landi og grunnum.



Mynd 3.2: Dømi um tvey horisontal rokninet fyri ein fjørð. Til vinstru er eitt *óstrukturera* rokninet byggt upp av trýkantum, og til høgru er eit *strukturera* rokninet byggt upp við kvadratum. (Mynd: O. A. Nøst, AkvaplanNiva, Noregi)

Tá talan er um smalar firðir og kanska áir, verður týðningurin av jarðarsnúninginum nærum burtur, meðan tað verður meira avgerandi hvussu friktiðskreftirnar verða umboðaðar í myndlinum.

Teir flestu av myndlunum eru upprunaliga mentir til brúk antin til opið hav ella í áum og firðum, men eru seinni tiknir í brúk og tillagaðir til eisini at fevna um landgrunnar, sum er ímillum hesi bæði serøkini. Kring Føroyar er opið hav í allar ættir, og liggja oyggjarnar, firðir og sund á einum landgrunni. Hetta merkir, at í myndlan av føroyska økinum frá innast á firðunum og út á hav mugu takast so at siga øll atlit, sum koma fyri í hesum handverki.

Niðanfyrir verður greitt eitt sindur frá hvussu rákmyndlar í høvuðsheitum verða gjørdir, umframt at nakrir av mest brúktu myndlunum verða nevndir við dømum um á hvørjum økjun, teir eru brúktir.

### 3.3.1 Horisontal rokninet

Fyri at loysa líkningarnar omanfyri má økið, sum myndilin skal verða fyri, fyrst leggjast í eitt net (grid) bæði horisontalt og eisini vertikalt, sum vit hyggja nærri eftir eitt sindur seinni (Partur 3.3.4). Tá slag av horisontalum neti er valt, er næsta stigið at umskriva líkningarnar omanfyri til hetta netið, - vit siga at umskriva hesar líkningarnar til numeriskar líkningar. Val av netið er partvíst avgerandi fyri hvussu hettar verður gjørt, men er hetta við tíðini vorðin ein umfatandi sergrein innan stóðfrøði, og eisini alisfrøði, tí valið av numeriskum rokihátti til hvørt einstakt lið í líkningunum omanfyri er eisini eitt val av hvørjar havalisfrøðiligar tilgongdir verða tiknar við, - ella soldaðar burtur, og stundum eisini um óviðkomandi ónáttúrligar tilgongdir verða tiknar inn. Tá úrslit frá einum myndli verða tulkaði, er ein minsta vitan um eginleikarnar hjá numerisku háttaløgunum, sum eru brúkt í myndlunum, um ikki ein fyrirtreyt, so ein avgjörður fyrimunur.

Her verður ikki farið nærri inn á hetta umfatandi evnið, men verður bara stutt greitt frá um trý tey mest brúktu horisontalu netunum í dag. Hesir háttirnir hava hvør sær sínar styrkir og veikleikar. Tá talan er um myndlan um strandarøkir, so var niðurstøðan á stórari verkstovu um hetta evnið í USA í 2018, at eingin av hesum háttunum kundi sigast at hava ein eyðsýndan fyrimun fram um hinar [Fringer et al., 2019].

### Finite difference

Tann mest beinleiðis hátturin at umskriva partiellu differential líkningar yvir á eitt rokninet, er at gera tað yvur á eitt sonevnt *regulert* ella *strukturerað* net við einans fýrkantaðum meskum (Mynd 3.2, t.h.). Gradientarnir í líkningunum verða skrivaðir beinleiðis sum munurin millum tvær síður í einum meski, ella millum miðpunktini í tveimum granna meskum, og útrokningar verða gjørdar fyri ein mesk í senn, har tað nýggja virðið verður roknað uppá úrslitini frá útrokningini áðrenn (eksplisitt), umframt broytingarnar, sum eru á rondunum. Hetta er tann einklasti støddfrøðiligi framferðarhátturin, og hevur fyrimumin at verða lutfalsliga lættur at forrita. Tað mest vanliga er at hava vinkulrættar meskar, men dømi eru eisini um, at síðurnar í hesum meskunum ikki er eins, - sonevndir kurvulinierir koordinatar. Fram við landi riggar hesin hátturin yvirhvør væl, um strandarlinjan ikki er ov fløkjaslig. Hinvegin, eru avmarkingar í økjum við smølum sundum og fleiri oyggjum og skerum.

### Finite volume

Við hesum háttinum verður økið deilt upp í elementir, sum geometrisk eru rættuliga einkul. 'Finite difference' hátturin, sum nevndur er omanfyri, er í veruleikanum ein 'finite volume' myndil við elementum við fýra síðum. Fyrimumurin við at brúka eitt element, sum ikki hevur fýra síður, er at tað betur ber til at broyta støddina á elementunum, og soleiðis fáa hægri uppløysn serliga áhugaverdum økjum. Tá talan er um elementir við annað enn fýra síðum, so er talan um *ikki regulert* ella *óstrukturera* net (Mynd 3.2, t.v.).

Fyrimumurin við hesum háttinum í mun til 'finite element', sum er nevndur niðanfyri, er at hesir myndlarnir sum heild eru lættari at forrita, eru kostnaðarminni í roknitíð, og at varðveitsla av massa, momentum og orku lokalt er tryggjað.

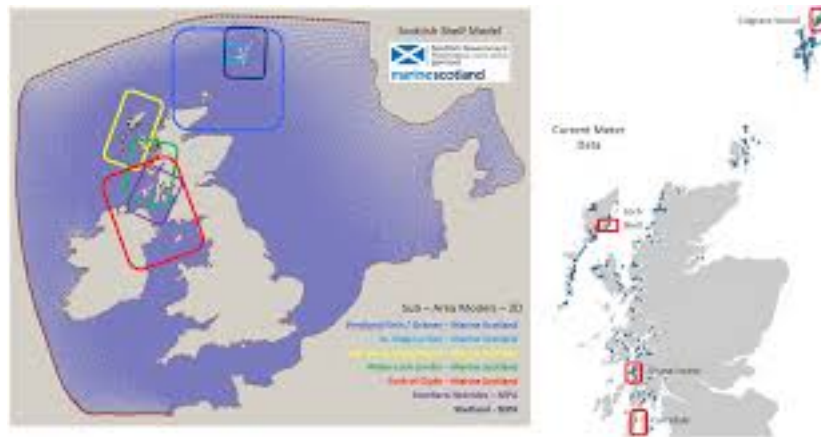
Í 3D-myndlum av bæði 'finite-difference' og 'finite-volume' er ein nógv brúktur framferðarháttur, at vertikala miðalrákið (barotropa) og vertikalu broytingar frá miðalrákinum (baroklina) verða rokna hvør sær. Hetta verður nevnt 'time-splitting'. Hetta er grundað á, at aldur, sum ferðast í øllum dýpinum, ferðast munandi skjótari enn aldur, sum bert brúka ein part av dýpinum. Hetta verður við 'time-splitting' gagnnýtt við at miðalrákið verður roknað fleiri ferðir fyri hvørja ferð broytingarnar við dýpinum verða roknaða, og harvið kann munandi roknitíð sparast.

### Finite element

Eins og við 'finite volume', so verður modelleringsøki deilt inn í elementir, sum hava eitt endaligt (finite) tal av síðum, og støddin av elementunum kann tillagast umstøðurnar (Mynd 3.2, t.v.). Støddfrøðiligu líkingarnar, sum lýsa alisfrøðina, sum er av áhuga, verða síðani skrivaðir fyri hvørt element, sum síðani verða approksimeraðar til einklari funktiónir, sum oftast linierar ella polynomir við endaligum tali av friheitsgradum. Tá hetta er gjørt fyri øll elementini, so stendur man við einari stórarri matrisulíking, sum verður loyst við onkrum støddfrøðiligum matrisuloysara. Hetta er støddfrøðiliga tann mest krevjandi hátturin, og støddfrøðiliga verður hesin hátturin roknaður at verða neyvari enn 'finite volume', tí møguligt er at brúka hægri ordans støddfrøðiligar háttir. Hinvegin, so liggur í hesum háttinum, at nýggju virðini verða roknaða frá samtíðar virðum á rondunum (implisittur), og hevur hetta við sær eyka numeriska diffusión. Sæð frá einum alisfrøðiligum sjónarmiði er hetta ikki heppi, tí hetta ger, at loysnirnar eru meira avrundaðar enn gott er. Tá tað kemur til varðveitan av alisfrøðiligum støddum, so er tað ikki galdandi lokalt, men fyri alt modeløki (globalt) við hesum háttinum.

#### 3.3.2 Eittlags modellir (2D)

Um bert verður hugt eftir vertikala miðalrákinum, so verður alt dýpið lýst við einum lagi, sum er frá botninum og upp til vatnsloftinum, - vanliga nevnd 2D-myndlar. Her meinast við at bert verður hugt eftir rúmligu broytingunum, meðan sum nevnt eingin broyting er við dýpinum. Hesir



Mynd 3.3: Model økir í Skotska landgrunna myndlinum. Úrslit frá tí störra myndlum verða brúkt sum randtreytir í økismyndlum við hægri upplöysilígeit fyrir minnu økini, sum í fleiri fòrum verða sett upp sum 3D-myndlar (Kelda: [www.marine.gov.scot/information/scottish-shelf-model-community](http://www.marine.gov.scot/information/scottish-shelf-model-community))

myndlarnir mugu ekki blandast við fyrrumtalaðu 2D-modellini í samband við fjarðarák, sum lýstu broytingar við dýpinum eftir longdini á firðinum, men ekki tvørtur um fjørðin.

Hesir myndlar eru væl eagnaðir til at lýsa sjóvarfalsrákið, ávirkanina av skiftandi barometurstøðu og miðalrákið orsaka av vindi. Hinvegin, av tí at talan er um eittans lag fyr alt dýpið, eru ongar broytingar við dýpinum og tískil eru hetta ekki myndlar til at lýsa fjarðarák.

Myndlar eftir eru antin beinleiðis bygdar upp eftir hesum lestinum at verða eitt lags myndil [Flather, 1976, Gjevik and Straume, 1989, Moe et al., 2002, e.g.] ella sum barotropi parturin av nøkrum av 3D-modellunum, ið eru lýst niðanfyr.

Føroyaleiðin er partur av fleiri slíkum myndlum, sum eru gjørdir fyr Norðurhøv og landnyrðingspartin av Atlantshavinum [Gjevik and Straume, 1989, Flather, 1976, e.g.]. Seinni er eisini vorðið gjørligt at brúka sjóvarfalsdátur frá fylgissveinamátungum [Andersen, 1994, Andersen and Knudsen, 1997, Sterlini et al., 2016, e.g.]. Úrslit frá hesum eru nýtt sum randtreytir til økismyndlar við hægri upplöysning fyr føroyska landgrunnin [Simonsen and Gislason, 2002, Simonsen and Niclasen, 2011], og hevur hetta verið brúkt í metingum av tøku sjóvarfalsorkuni [Simonsen and Niclasen, 2011] og spjaðing av laksalús [Patursson et al., 2017, Kragesteen et al., 2018].

Fyrst í 2000-árunum varð ein roynd gjørð at gera eina skipan við økismyndlum fyr sjóvarfalsrákið við alsamt hægri neyvaleika inni í einum grovari Landgrunnsmýndli, men fánaði átakið burtur vegna vantandi áhuga og orku. Líkandi átøk eru gjørð ymsastaðni. M.a. í Skotlandi varð árin 2014-16 gjørð ein umfatandi verkætlan við barotropa partinum av FVCOM-myndlinum (sí part 3.3.4 niðanfyr, Mynd 3.3), sum nú verður bygt víðari til neyva lýsing av aliøkjunum. Í Kili er eisini ein skipan við einum heldur grovari 2D-myndli fyr ytru leiðirnar, og inni í honum aftur ein heldur fínari 2D-myndil til serliga at myndla sjóvarfalsrákið, og síðani ein 3D-myndil við 100m upplöysn fyr økið, sum skal kannast [Tironi et al., 2010]. Panchang et al. [1997] brúkti eitt 2D-model til at rokna hvussu avfall spjaddist við sjóvarfals og vindrivna rákinum frá alibrúkum í Mainflógvanum í USA, og koma eftir at resuspensión hendi við munandi hægri ferdir, enn brúkt er í skotsku og norsku umsitingarskipanunum, umframt at resuspensión orsakað av aldu er avgerandi fyr at reinsa botnin har sjóvarfalsdrivan rákið er spákt.



### 3.3.3 Uppbýti av dýpinum

Um atlit skulu takast til broytingar við dýpinum, so er neyðugt at gera eitt rútanet fyri henda rætningin eisini. Higartil í havmyndlan hava tað verið tríggir ymsir høvuðsháttir at gera hetta, men seinnu árin er samantvinnan av hesum háttunum vorðin alt meira vanlig. Hvør einstakur háttur hevur sínar forminir og vansar, og er heit stutt greitt frá niðanfyri um móguleikarnar, sum eru fyri at gera rokninet fyri at loysa broytingar við dýpinum.

#### Z-koordinatar

Í hesari skipanini verður útrokningar gjørdar á føstum dýpum við fastari fjarðstöðu millum løgini. Hetta er tað einklasta at forrita, og er hetta eitt av eyðkennunum fyri teir elstu myndlarnar, tó at hetta enn er nógv nýtt. Vansin við hesari koordinatskipanini er at tað tá talan er um økir, sum ikki hava flatan botn, so verða rættulig nógv punktir, sum liggja har sum botnur ella land er. Tískil kann henda at nógv rokniorka verður brúkt til onga nyttu.

#### $\sigma$ -koordinatar

Í hesari skipani verða útrokningar eisini gjørdar á føstum dýpum á hvørjum einstøkum staði, men er tal av lögum tað sama óansæð dýpi, men tjúktin av lögnum broytist eftir botndýpi. Av tí at niðasta lagið fylgir botninum er henda koordinatskipanin eisini kend sum lendisfylgjandi (En.: terrainfollowing) koordinatskipan. Fyrimunurin er, at tá talan eru um sjógvøkir, so eru eingi roknipunktir, sum ikki verða brúkt, tí tey koma at liggja undir botninum. Í mun til fyrr nevndu skipanina, so verður rokniorkan í flestu førum betur gangnýtt. Ein av vansunum eru eins og við z-koordinatunum, at flaturarnar í modellinum ikki fylgja náttúrligu densitetsflatunum.

#### $\rho$ -koordinatar

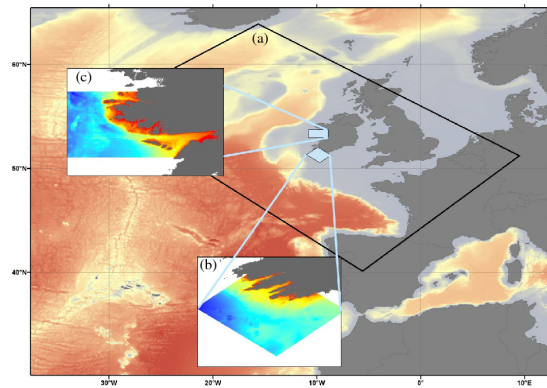
Henda skipanin er bygd upp av lögum, sum dynamisk broyta tjúkd, men hava sama densitet í hvørjum einstøkum lagi. Densiteturin í hvørjum einstøkum lagi verður ásettur sum partur av uppsetanini av myndlinum, og verður ikki broytt aftaná hetta. Ein fortreyt fyri neyva simulering við hesum modellinum er sostatt ein rættuliga góðan kunnleika til hvat fyri densitetur er vantandi í økinum. Ovast er eitt sonevnt blandingslag, sum hevur alt samskipti við atmosferuna. Fyrimunurin við hesari skipanini er at ráki er lögum ásett av densitetinum eins og í náttúruni, og allir varðveitslusetningar verða stóðfrøðiliga hildnir. Ein avbjóðing við hesum myndlinum er at tættleikin er givin, og sostatt kann bert antin saltleiki ella hitin roknast við advektiónslíkningini, meðan parameterin sum ikki verður advekteraður, verður funnin út frá tættleikanum og roknaða parametrinum. Av tí at tættleiki er ein ikki-linier funktión av bæði saltinnihaldi og hita, ber hetta ikki til uttan at brúka eina meira ófullfíggaða liniert samband millum hesar parametrarnar.

#### S-koordinatar

Hetta er heiti av skipanunum, har brúkt verða tvær av skipanunum omanfyri. Tað mest vanliga er at brúka Z-skipanini í ovastu lögnum, og síðani aðra av hinum skipanunum í djúparu pørtunum. Bæði í  $\sigma$ - og í  $\rho$ -koordinat skipanunum kann koma fyri, at ovasta lagið verður rættuliga tjúkt, - ella kunnu vit heldur siga djúpt í hesum førinum. Tá so er, so er trupult at gera neyva myndlan av tilgongdum, sum eru nær vatnsorpuni. Hetta kann t.d. verða ein vistskipanar myndul ella ein drívmyndil fyri t.d. útlát, sum liggur á vatnsorpuni.

### 3.3.4 Fleirlags myndlar (3D)

Niðanfyri eru nakrir av mest brúktu myndlunum nevndir og heilt stutt um nøkur av teirra eyðkennum. Eitt munandi meira umfangandi yvirlit er at finna í Fringer et al. [2019], sum tekur samanum frá stórari verkstovu um strandahavmyndlan hildin í USA í 2018.



Mynd 3.4: Model økir í Írsku havmyndlaskipanini. Úrslit frá tí stórru myndum verða brúkt sum randtreytir í økismyndum við hægri upplýsingheit (Kelda: Dabrowski et al. [2017])

### MITgcm

Er upprunaliga ment sum partur av einum globalum veðurlagsmyndli, sum eisini umfatar veður, vistfrøði, og havísmyndlar. Havmyndulin er grundaður á ikki-hydrostatisku líkningar við 'finite-difference' net til tað horisontala og z-koordinatar dýbdarvegin.

Hesin myndilin er brúktur til fleiri kanningar av smærri havøkjur og firðir, m.a. hvussu sjóvarfall, vind, longd, breidd, dýpi og gáttardýp ávirkar rákið inni á einum fjørði á høgum breiddarstigum á norðari hálvkúluni Carroll et al. [2017], Hughes and Klymak [2019].

Hesin myndilin er alment tøkur, og meira kunning er á <http://mitgcm.org>.

### ROMS

Hesin myndilin byggir grundleggjandi rørsulúkingarnar á einum 'finite difference' neti við  $\sigma$ -koordinatum í dýpinum [Shchepetkin and McWilliams, 2005, Haidvogel et al., 2008]. Seinastu árin er hetta ein av mest brúktu myndlunum á smærri havøkjum og firðum, og er brúkt av rættuliga nógv vísindaumhvørvum. Tað finst ein grundútgáva á høvuðsheimasíðuni fyri myndilin (sí niðanfyrri), men fleiri vísindaumhvørvir hava ment sínar egnu útgávur av hesum myndlinum.

Dømir uppá brúka av hesum myndlinum til at kanna ráki í lagdeildum firðum er Cheng et al. [2009], Li and Li [2012], Wang et al. [2017, m.a.], og er brúkt til at kanna hvussu lakslús kemur fyri niðri í sjónum [Johnsen et al., 2014], og skarn spjaðir seg frá einum alibrúki [Bannister et al., 2016]. Dømir uppá havøkjur við hesum myndlinum eru Barentshavið [Skarðhamar and Svendsen, 2005] og um okkara leiðir er hetta myndlin, sum veitir rákforsøgnirnar í verðurtænastuni [www.yr.no](http://www.yr.no).

Brúkt í m.a. Noregi [Myksovoll et al., 2018] og Írlandi [Dabrowski et al., 2017] sum økis, -eins væl og strandamyndlar til at veita kunning til fiski- og alivinnuna. Her er ein økismyndil gjørdur fyri alla strandarlinjuna og havið uttanfyri við einum upplýsningini á 3.5-4.0km, sum so veitir randtreytir til meira háupplýstar strandamyndlar inni í økinum í upplýsningini niður í 32m.

Tann norski økismyndilin við 4km upplýsningi fevnur eisini um Føroyska landgrunnin, og veitir hann randtreytir til FARCOAST myndlarnar [Erenbjerg et al., 2017].

### MICOM

Nakrar royndir vórðu gjørdar við at brúka  $\rho$ -koordinatar, og var ein av avbjóðingum hvussu farast skuldi fram, tá løgini tømdu og tjúkdin av lögnum gekk ímóti 0. Hetta loystu [Bleck and Boudra, 1981] og fyrstu útgávarnar av hesum myndlinum vóru gjørdar fyri norðara Atlantshavið [Bleck and Smith, 1990]. Í horisontalunum verður brúkt regulert grid (Arakawa C-grid). Fólkin

handan hesa menningina starvaðust tá á Universitetinum í Miami, USA, og er navnið ein stytting av Miami Isopycnal Coordinate Ocean Model. Seinni er hesin myndilin brúkur fyri bæði størri og minni havøkjum, eins og hann er koblaður saman við veður- og ísmyndlar fyri at myndla bæði alheims- og økis veðurlagsbroytingar. Hesin myndilin er enn nógv brúktur, men tey sum fara undir myndlum við hesum slagnum av myndlum, fara í flestu førum í holtur við efturfylgjarin til henda myndilin: HYCOM.

### HYCOM

HYCOM er ein víðari menning av MICOM-myndlinum, men er ein 'hybridur' við Z-koordinatar í ovastu partinum av sjónum, og síðani isopycnalar koordinatar í miðum sjógvi og niður á botni. Hesin myndilin er í stóran part til simuleringum av øllum knøttinum og størri havøkjum, men eisini til minni avmarkaði økir kring heimin, m.a. føroyska Landgrunnin [Rasmussen et al., 2014] og sunnara partin av Norðsjónum [Winther and Evensen, 2006], og av dynamikkinum, sum er tá fekst áarvatn rennur út á sjógv [Schiller and Kourafalou, 2010]. Hóast  $\rho$ -koordinatar verður sagdir at verða tann skipanin, sum liggur tættast náttúruni á hesum økinum, serliga har sum lagdeiling kemur fyri, so eru hesir myndlarnir kortini bert í hendinga førum verið brúktir uppá firðir og áarósar.

Forritið handan myndilin er alment tøkt frá <https://www.hycom.org>

### POLCOMS

Navið á hesum myndlinum stendur fyri Proudman Oceanographic Laboratory Coastal Ocean Modelling System og er ment serliga til at myndla ráki á landgrunnum kring Bretland við serligum atliti til útskifti millum landgrunnin og havið uttanfyri. Hesin myndilin er bugdur á eitt regulert net (Arakawa B) við Z-koordinatum. Myndlin er m.a. brúktur til at gera Hindcast simuleringar í serliga bretskum øki. Fyri okkum í Føroyum kann savnið frá einari koyring fyri árinum 1960-2004 fyri økið kring bretsku oyggjarnar norður til Íslands, vestur um bankarnar vestanfyri og eystur í miðum Norskahavið verða av áhuga. Hóast ment til Landgrunnin og uttanfyri, so er hesin myndilin brúktur á alifirðir, m.a. Loch Linnhe, niður í 100m horisontalari upploysn [Ivanov et al., 2011].

Menningin av hesum myndlinum er steðga, men forritið og savnið við longu koyringunum við hesum myndlinum er tøkt á [www.channelcoast.org/iCOASST/POLCOMS/](http://www.channelcoast.org/iCOASST/POLCOMS/).

### FVCOM

Styttingin stendur fyri Grid Finite Volume Community Ocean Model og loysir nevndu líkningar í einum 'finite volume' rokninetti og er gjørt til at brúka  $\sigma$  og/ella  $s$ -koordinatar í dýpinum [Chen et al., 2006]. Myndilin var upprunaliga mentur til at lýsa økir, sum skiftivís liggja turr og undir sjógvi orsakað av sjóvarfallinum, og rák drivið av sjóvarfalli, tættleikamuni og vindi í økjum við fløktari strandalinju og brøttum botnlendi. Seinni er myndilin víðkaður og er eisini brúktur fyri størri havøkir eins væl og øll heimshøvini. Í dag verður hesin myndilin brúktur av nógvum granskingarbólkum kring heimin og á heimasíðuni hjá myndlinum eru slóðir til fleiri enn 120 vísindagreinar.

Innan aling, so valdu skotar at brúka henda myndilin til teirra virkseimi (Mynd 3.3), og hann er høvuðsbulurin í myndlavirkseimi hjá AkvaplanNiva í Noregi, sum millum annað føðir teirra kunningarskipan ([www.havstraum.no/](http://www.havstraum.no/)) um rák, aldu, og smittuspjæðing. FVCOM er eisini ein av fleiri myndlum, sum Plymouth Marine Laboratory í Onglandi hevur í sínari sirpu, og hava teir ment deilmyndlar ætlað til alitengt virkseimi ([www.pml.ac.uk/Modelling/Models/Physical\\_models\\_and\\_coupler](http://www.pml.ac.uk/Modelling/Models/Physical_models_and_coupler)).

Hesin myndlin er 'Open Source' og er tøkur á [fvcom.smast.umassd.edu](http://fvcom.smast.umassd.edu) og á [www.pml.ac.uk/Modelling\\_at\\_PML/Access\\_Code](http://www.pml.ac.uk/Modelling_at_PML/Access_Code).



### ELCIRC

Hesin myndilin varð upprunaliga mentur til at serliga simulera Columbia áanna [Zhang et al., 2004, Baptista et al., 2005], men er seinni brúktur yvir víðan leist uppá bæði áir og havøkir. Myndilin brúkar eina blanding av 'finite volume' og 'finite difference háttunum, og dýpi brúkar eina samanseting av Z- og  $\sigma$ -koordinatum.

Hesin myndlin er 'Open Source' og tøkur á [www.stccmop.org/knowledge\\_transfer/software](http://www.stccmop.org/knowledge_transfer/software).

### SELFE

Hesin myndlinum er ein víðari menning av ELCIRC av stórt teimum somumn fólkunum [Zhang and Baptista, 2008]. SELFE stendur fyri Semi-implicit Eulerian Lagrangian Finite Element, og er ein 3D myndil, sum umboðar tað horisontala rúmi við óstruktureraðum endaliga elementum, og vertikala upploysningurin er í antin S ella SZ koordinatum. Í mun til finite element myndlum undan hesum, so er í hesum myndlinum bótta munandi um móguleikarnar at umboða fløkt botnviðurskiftir meira veruleikakend, umframt at bótta er munandi um vansan við at 'finite element' ikki varðveita týðandi alisfrøðiligar støddir lokalt [Zhang and Baptista, 2008].

Eins og ELCIRC, so er SELFE mentur fyri Columbia áanna og landgrunnin uttanfyri, men er seinni brúktur ymsastaðni, m.a. kannaði Liu et al. [2015] spáðing av dálking og vatngóðsku í Danshei ánni í Taiwan við fullum 3D-myndli, og til at kanna ávirkanin av óðnini Sandy á havnalagi og Hudson áanna í New York varð 2D parturin av hesum myndlinum brúktur [Wang et al., 2014].

Hesin myndlin er 'Open Source' og tøkur á [www.stccmop.org/knowledge\\_transfer/software](http://www.stccmop.org/knowledge_transfer/software)

### SINMOD

SINMOD er ein 3D hydrodynamiskur myndil, sum loysir rørslulíkingar í einum 'finite difference' neti og z-koordinatar í dýpinum [Støle-Hansen and Slagstad, 1991, Slagstad and McClimans, 2005, Wassmann et al., 2006]. Hesin myndilin fevnur um alt Íshavið og Norðurhøvini við 20km og 4km upploysningi [Ellingsen et al., 2009], sum síðani føðir ein myndil fyri norsku strandalinjuna við 4 km upploysningi, sum so aftur veitir randtreytir fyri ávís økir við 800m [Broch et al., 2013], 160m og 32m [Broch et al., 2017]. Hesin myndilin hevur eitt vistfrøðimodul, og er í fleiri umførum brúktur til at hyggja eftir flutninginum av rognum, yngli og sedimentum í norskum sjógvi [Slagstad et al., 1999, Skarðhamar and Svendsen, 2005], ávirkan av alivirksemi á botnin [Broch et al., 2017, 2019], hvussu alibrúk og biomassin ávirkar streymferðina [Michelsen et al., 2019], umframt at myndilin er brúktur í havøkinum út fyri og í firðum í Kili.

Meira fæst at vit á [www.sintef.no/en/ocean/initiatives/sinmod/#/](http://www.sintef.no/en/ocean/initiatives/sinmod/#/)

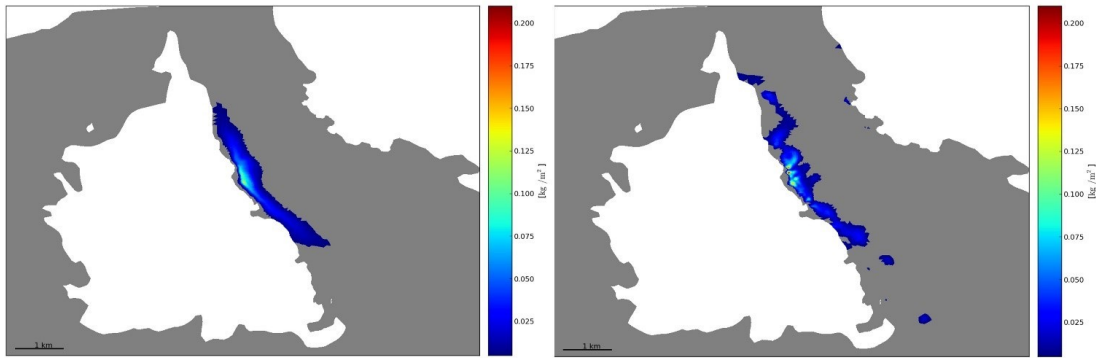
### MOHID

Hetta er ein umfangandi myndlasirpa ment til umhvørvisansan av Universitetinum í Lisboa, Portugal. Bitlafylgjamoduli er ein integreraður partur av hesari skipanini, sum eisini rokna streym- og hydrografisk viðurskiftir. Skipanin byggir á 'finite element', og grunleggjandi verður rokna hvussu leingi ein bitil er inni í einum elementi. Menningin av hesari skipani byrjaði í 1984. Í aliumhvørvi er myndilin m.a. nýttur í fjarðaskipanum í Kili [Tironi et al., 2010, Quiñones et al., 2019], men er annars nýttur nógva staði kring heimin í umhvørviseftiransing í áum og strandasjógvi.

Myndil er 'open source' og er saman við meira kunning tøk á [www.mohid.com](http://www.mohid.com).

### TELEMAC

Eitt savn við stóddfrøðiligum loysarum, sum verða brúkt serliga í handilsligum ráðgevandi samanhøgum. Savnið er 'open source' ([www.opentelemac.org](http://www.opentelemac.org)), men øll ráðgeving er handilslig.



Mynd 3.5: Dømi um myndlan av botnfalli við FVCOM-myndlinum uttan (t.v.) og við (t.h.) resuspensión (Mynd: O. A. Nøst, AkvaplanNiva, pers. samskipti, 2019)

### MIKE

Hetta er ein handilslig model sirpa, sum Dansk Hydralisk Institute hevur savnað og ment. Sjálvur rák-myndilin byggir á finite-element myndlin hjá Lynch et al. [1996], men er ein umfatandi pakki til at seta myndilin upp og at viðgera úrslitini er mentur aftrat, umframt at ymisk modulir eru ment til at koyra saman við rák myndlinum.

Meira fæst at vit á [www.mikepoweredbydhi.com](http://www.mikepoweredbydhi.com)

### 3.3.5 Botnfalli við dynamiskum myndlum

Spjaðing av útláti við dynamiskum myndlum verður gjørt við antin leggja ein bitladeilmyndil aftrat, ella við at leggja eitt evnið aftrat at verða loyst við flutningslíkninga (Líkning 3.3) sum ein part av dynamiska myndlinum. Við hesum fæst ein meting av flutninginum, sum verður roknaður út frá streymi og tættleikabýti við dýpinum, soleiðis sum tey eru har bitilin ella evnið eru bæði í rúm og tíð.

Dømi við slíkari myndlan er m.o. Broch et al. [2017], sum brúkar ein bitlamyndil við heitinum DREAM saman við SINMOD myndlinum (Partur 3.3.4) við einum rútneti, har hvør meski var 32m til støddar fyri eitt øki. Teirra úrslit vísa, at alirunan ikki liggur sum eitt javnt teppi, men heldur spjadd í smáum tunnum rúgvum í upp til 500m fjarstøðu frá alirungunum. Eisini vístu Broch et al. [2017], at ávirkaði øki gjørdist um 10 fald størri um ein meira verulig fordeiling av søkkiferðini hjá skarninum varð nýtt, heldur enn eina meðal søkkiferð. Líknandi úrslit finga eisini Bannister et al. [2016], sum brúktu ROMS myndlinum á einum av rættuliga friðaligu síðufirðunum í Hardangarfjørðinum. Teir funnu, at um 75% av tilfarinum endar innan fyri 500m frá har tað er slept út, men um 2.7% legst á botnin longri enn 2km burturi. Eitt dømi við FVCOM myndlinum (Partur 3.3.4) er víst á mynd 3.5, sum vísir at ein einfald staðbundin lýsing av spjaðingin av botnfalainum neyvan er nøktandi, serliga um resuspensión verður tikin við.

Umframt at vísa, at økið, sum verður rakt av botnfalainum, kann verða meira víddfevnt, so vísa dynamisku myndlarnir, at rúgvurnar við alirunu broytast við tíðini í tíðarskeiðum uppá tímar [Broch et al., 2017]. Hetta er vælkent frá kanningnum av flutningin av sandi og øðrum sedimentum á botni. Kanningar við sjónbandaupptøkum av alibotni í New Foundlandi bera á sama borði, unframt at botnlendi hevur týðning fyri hvussu alibotnurin sær út og at lívveru samfeløg liggja spjødd [Hamoutene et al., 2015]. Afturvendandi í flestu kanningunum við vanligu sýnistøku er botnslagi, sum bæði ávirkar sjálva sýnistøkuna við grappa, men eisini ávirkar hvat slag av lívfrøðiligum samfeløgum eru á staðnum [Broch et al., 2017, Becherer et al., 2016, Hamoutene et al., 2015].

Broch et al. [2017] samanbar teirra úrslit við SINMOD myndlinum við lógarkravdu sýnistøkuni í MOM skipanini, og niðurstøðan frá samanberingunum á trimum aliøkjum var, at einki av tiknu sýnunum vóru tíkin har simuleringin vísti at rúgvurnar við alitilfar lógu. Tilmælið hjá Broch et al. [2017] er, at neyðugt er at taka munandi fleiri sýnir rúmliga fyri at raka rúgvurnar við alirunu, umframt at tað mugu takast fleiri ferðir á sama staðið yvir eitt sjóvarfalstíðarskeið fyri yvirhøvdur at gera eina umboðandi niðurstøðu grunda á sýnistøku. Royndirnar frá sediment mátingum [Becherer et al., 2016] benda á tað sama.

### 3.3.6 Samumtøka av dynamiskum myndlum

Hesir myndlar loysa alment galdandi líkningarnar fyri horisontalari rørlu, varðveitslu av massa og flutning av evnum (Líkn. 3.1–3.3) fyri hvønn einstaka meska í einum rokninet. Um sjógvurin ikki er lagdeildur, kunnu rættuligar neyvar simuleringar gerast við bert at rokna vertikala meðal ráki, og er hetta vanligur framgangsháttur í myndlan av sjóvarfalsrákinum. Um broytingar eru við dýpinum, so verður hetta gjørt við at umboða dýpi við fleiri lógum omaná hvørjum øðrum. Tað eru trýggir ymsir høvuðsháttir at gera hetta, sum allir hava sínar fyrimunir og vansar, og stundum verða ymsir av hesum háttunum brúktir til ymsar partar av dýpinum í sama myndli. Tá fleiri lög verða brúkt, má eisini vertikala ferðin roknast, og verður hetta gjørt ymiskt alt eftir hvør leistur fyri lagdeiling er valdur. Tað finnast fleiri rættuliga ymsir háttir, bæði støddfrøðiliga og bygnaðarlaga, at loysa nevndu líkningar, men felags fyri allar háttir er, at hetta slagi av myndlan gevur tíðarrøðir av øllum parametrum í øllum meskum í rokninetinum. Talan er um myndlan, og fyri at vita um úrslitið er í tráð við veruleikan, verður samanbórið við mátingar. Hesar eru fyrst og fremst hydrografi, streym og vatnstøðumátingar, men um viðkomandi deilmyndlarnir er tiknir við, so kann eisni verða samanbórið við t.d. sedmimentum og ymsar lívfrøðiliga parametrar.

Ein myndilin er avmarkaður til økið, sum hann fevnir um, og tørva dynamiskir økismyndlar kunning frá rondunum, sum er vatnskorpan og har myndilin endar í opnum havi. Hvussu umfangandi hetta er, velst um hvussu veruleikakendur myndilin skal verða, ella um hann verður brúktur til at greina ávísar tilgongdir á meira hugtaksligum støði. Um ein fult veruleikakendur myndil er málið, so er fyri vatnskorpan brúkt fyri øllum vanligum veðurparametrum, og er vanligt at hetta fæst frá veður mátingum og vitan um vatnførning í áum, ella at kobla saman við veðurmyndlar. Fram við rondunum í opnum havi er neyðugt við neyvum tølum fyri rák, vatnstøðu, og um lagdeiling er við, eisini fyri saltinnihald og hita. Neyvleikin í slíkum myndlum er tengdur at neyvleikanum í tølunum uttanfrá á rendurnar, og á støddina á roknimeskunum. Jú minni teir eru, jú neyvari verður myndilin, men hetta krevur fleiri roknipunktir fyri at fevna um sama landafrøðiliga øki og er avmarkingin tá roknimátturin hjá tøku teldunum.

Í mun til myndlarnir, sum omanfyri eru nevndir fyri nær- og kringøkir, so hava teir grundstøði í somu almennu líkningunum, sum dynamisku myndlarnir byggja á, men í myndlunum fyri nær- og kringøkini eru umfangandi avmarkingar og fyrirtreytir lagdar inn, fyri at fáa lutfalsligu einklu støddfrøðiliga myndlarnar.

Við dynamiska myndlan verður roynt at endurskapa ráki í økinum, og mangan er neyðugt við slíkari myndlan fyri at greina staðbundnar mátingar. Stóri fyrimunurin við dynamiskari myndlan í mun til mátingar er, at til ber at síggja ráki og aðrar tilgongdir í øllum økinum, eisini har sum ikki er máta, og at greina samanhangir millum ymsar parametrar, sum høvdu kravt ovurhonds stóra orka at fingið til vega til. Hinvegin, fyri at kanna í hvønn mun myndilin er sum veruleikin, verða úrslitini samanborin við mátingar, har sum tær eru tøkar. Í flestu førum er talan um streym og vatnstøðumátingar, og er talan um 3D-myndlar, so eisini hita og saltinnihald. Eru viðkomandi deilmyndlar lagdir aftrat, so ber eisini til at samanberar við aðrar parametrar.

Dynamisk myndlan er í stóran mun brúkt í menningin av aliumsitingin í Noregi seinastu árin, og verður í vaksandi mun verið eftirspurt bæði av mynduleikunum og vinnuni í øðrum alitjóðum. Í Skotlandi verður dynamisk myndlan av økinum eitt beinleiðis krav fyri at fáa aliloyvi í ár 2020.

## 4. Alda - reinsan og haldfæri

Laksurin veksur skjótast tað tíðarskeiðið fiskurin er í sjónum. Hetta krevur nógva fæði og gevur nógva skarn. Um lítið er av røslu í økinum fellir skarn, og møguliga nakað av fæði, niður á botn tætt at ringunum har fiskurin svimur. Seinni kunnu røslur í sjónum, vegna rák ella aldu, fáa hesar leivdir upp í sjógvin aftur, og kallast hetta fyribrigdið resuspensión ella endurfloytan. Av tí, at resuspensión er tengd at røslu í sjónum, førir hon altíð til eina spjaldingsvíðkan av tí endurfloyta tilfarinum. Fyribrigdið er tískil ein umráðandi partur av tilgongdunum, ið reinsa eitt aliðki, antin beinleiðis við at flyta tilfarið burtur, ella við at ilta botnin og á tann hátt økja um ferðina á tí lívfrøðiligu niðurbrótingini. Hinvegin førir resuspensión eisini við sær, at leivdir frá alingini sleppa at leggjast aftur á botn í teimum økjum á alifirðinum har minst er av røslu. Resuspensión kann tískil eisini virka til at økja um dálkingina á ávísu útsettum støðum, ið liggja nakað frá upprunaliga alistaðnum.

### 4.1 Resuspensión av rákið

Rákið niðri í sjónum gerst minni og minni tættari man kemur at botni. Vanliga hevur javna miðalrákið niðri við botn ein logaritmiskan profil, ið kann skrivast sum [Nielsen, 1992]:

$$u(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{z}{z_0} \quad (4.1)$$

Har  $u(z)$  er streymferðin í  $[m s^{-1}]$  hæddina  $z$  m yvir botnin,  $\kappa$  er eindarleysi von Karman konstanturin á 0.40,  $z_0$  er "roughness-length-scale" (møguliga lendis-grýtu-tal á Føroyskum), ið er teoretiska hæddin yvir botni har ferðin gerst null, og  $u_*$  er friktionsferðin. Tað er møguligt at flyta millum friktionsferð og meiri vanligt nýttu støddina "bed-shear-stress" ella botnngígging  $\tau$  við at brúka líkningina:

$$\tau = \rho u_*^2 \quad (4.2)$$

har  $\rho$  er massafyllan av sjógvi, ið vanliga er áleið 1025  $[kg m^{-3}]$ . Við at seta líkningarnar 4.1 og 4.2 saman, ber til at fylgjandi líkningar, ið kunnu flyta millum streymferð  $u(z)$  og  $\tau$ , tá  $z_0$  er kent:

$$u(z) = \frac{1}{\kappa} \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} \ln \frac{z}{z_0} \quad (4.3)$$

$$\tau = \rho \left( \frac{u(z) \kappa}{\ln \frac{z}{z_0}} \right)^2 \quad (4.4)$$

Er talan um slættan móru/sand líknandi botn, kann  $z_0$  setast til áleið  $(2 - 7) \cdot 10^{-4}$  [Mehaute and Hanes, 2005].

Tilfar, ið liggur á botni, kann lyftast upp í sjógvin, tvs. resuspenderast, um so er at streymferðin á givnum dýpi (vanliga ein metur yvir botni), ella botnngíggingin, eru størri enn eitt ávíst kritiskt virði. Hvat hesi virðir eru, valdast eginleikarnar, ið tilfarið hevur, so sum massafylla, stødd á bitlum, og í hvussu stóran mun tilfarið hongur saman.

Staðfestan av slíkum kritiskum virðum, fyri nær fóðurleivdir og skarn frá alibrúkum resuspendera, eru nakað ymisk frá kanning til kanning. Streymferðir  $u_{krit}(z = 1)$  á umleið 0.08-0.09  $m^{-1}$ , ella tilsvarandi  $\tau_{krit}$  á móru/sand botni á umleið 0.015-0.025  $Nm^{-2}$ , tykjast at passa sum ein niðara mark fyri resuspendering av nýggjari skarni, ið enn ikki hevur sett seg, [Cromey et al., 2002b, Yokoyama et al., 2006]. Í ovára endanum av skalanum eru streymferðir  $u_{krit}(z = 1)$  á umleið 0.40-0.60  $ms^{-1}$ , ella tilsvarandi  $\tau_{krit}$  á móru/sand botni á umleið 0.50-1.12  $Nm^{-2}$ , ið svara til, at upprunatilfar eisini verður resuspenderað [Dudley et al., 2000].

Tá botnngígging,  $\tau$ , er størri enn ásetta markvirðið fyri resuspensión, kann mongdin av resuspenderaðum tilfari  $M_{resusp}$  roknast sum

$$M_{resusp} = M_{konst} \left( \frac{\tau_{calc}}{\tau_{krit}} - 1 \right) \quad (4.5)$$

har  $M_{konst}$  er ein konstantur, ið avhongur av tilfarinum,  $\tau_{calc}$  er roknaða botnngíggingin frá líkning 4.4 og  $\tau_{krit}$  er kritiska botnngíggingin fyri viðkomandi tilfarið [Cromey et al., 2002b].

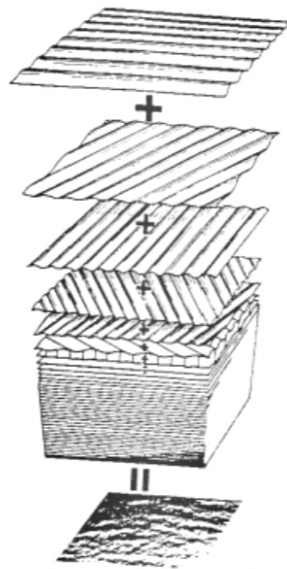
## 4.2 Alda

Føroyar liggja í einum øki, ið vit vita hevur eitt av verðsins harðbalnastu alduklímaum [Barbariol et al., 2019] við fitt av tungari aldu [Niclasen and Simonsen, 2007]. Tað er tískil umráðandi at gera neyvar hámarksmetingar og mátingar av alduviðurskiftum har aliútgerð verður lögð. Nakað av kanningum v.v. staðbundnum alduviðurskiftum eru gjørdar har mett verður um mestu aldu e.g. [Muhlestein et al., 1998, Niclasen and Simonsen, 2016], men best er um mátingar verða gjørdar eisini. Myndlar eru góðir at geva eina fyrstu mynd av umstøðunum, men teir eru tá alt kemur til alt bert teldugjørdar eftirlíkingar av veruleikanum. Úrslitini verða ikki betri enn tað ástøði myndlarnir byggja á og tær dátur ið eru til taks. Ein afturvendandi veikleiki í hesum høpi er, at dýpið inni við land er ov illa uppmált nógvastaðni við Føroyar, umframt at tað er ókent, hvussu aldan verður kastað aftur í ymisku økjunum. Fyri at kenna møguliga munin millum myndil og veruleika, er tískil neyðugt, at aldumátingar verða gjørdar, har aliútgerðin skal liggja. Tá hetta er gjørt, ber til at rætta myndlaúrslitini, so tey betur endurspeglar veruligu alduviðurskiftini á øllum alifjórðinum.

### 4.2.1 Alduástøði

Ikki ber til her at fara í smálutir við alduástøði, her vísa vit heldur til lærubøkur sum Young [2005] og Holthuijsen [2007], tó mugu vit nevna nøkur einföld, men viðkomandi viðurskifti:

- alda veksur tá vindferðin er størri enn ferðin á yvirflatuni á sjónum
- tung alda kann ferðast langt, tvs. at Føroyar kunnu hava fitt av tungari aldu frá ringum veðri, ið ikki rakar Føroyar

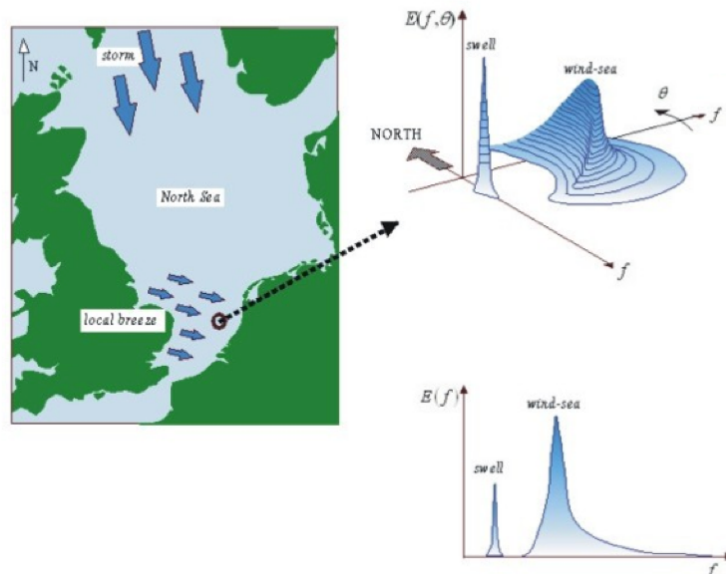


Mynd 4.1: Veruliga aldustøðan niðast á myndini, kann lýsast sum ein samanrenning av mongum einföldum sinusaldum (Kelda: WMO-N0. 702)

- til ber at spáa um miðal viðurskifti, ið viðvíkja alduni, men ikki um einstøku aldurnar (hetta er á sama hátt, sum tá tað ber til at spáa um nær vindferðin verður hægst, men ikki um nær einstøku hvirlurnar raka)
- orkan í alduni er treytað av hæddini í øðrum potensi
- kreftirnar frá alduni eru serliga ógvusligar tá aldan brýtur
- rørslan undir alduni gongur í elpsum, og hesar minka við dýpinum
- rørslan í alduni er treytað av longdini av alduni, jú longri/tyngri aldan er, jú longri niður røkka rørslurnar
- samanhangurin millum aldulongd og alduperiodu velst um dýpið
- tá tað gryn timer vendur alda sær móti grynru økjunum, vit siga aldan søkir land
- alda kann ikki gerast brattari enn eitt vist uttan at bróta
- alda kann ikki vera hægri enn eitt vist á grunnum vatni
- tá alda brýtur elvir hetta til streym
- streymur broytir brattleika og rætting av alduni
- alt eftir hvussu dýpi og fjøra eru, kann ein partur av alduni, oftast bert tann tungi parturin av alduni, verða kastaður aftur frá landi
- eru stórar broytingar í dýpi, høgur aldubrattleiki o.tíl. so mugu tyngri og meiri nágreiniligir myndlar brúkast, ið ikki bert myndla alduspektrini, men einstøku aldurnar sjálvar

Alduviðurskiftini á einum givnum staðið kunnu lýsast sum ein samanrenning av eini stórar mongd av einföldum sinu aldum sum vist á Mynd 4.1. Hvussu hendan samanrenning av einföldu aldunum er skipað, tvs. hvønn veg tær ferðast ( $\theta$ ), hvør frekvensurin ( $f$ ) er og alduhæddin (kann roknast frá  $E(\theta, f)$ ), verður lýst við einum alduspektri. Sum dømi um eina aldustøðu við tilhoyrandi alduspektri, ber til at hyggja á Mynd 4.2. Í nógvum førum ber til at klára seg við alduparametrum, ið endurgeva høvuðsegingleikar av alduspektrinum. Mest brúktu alduparametrar eru significanta alduhædd  $H_s$  sum til alt vanlig brúk er tað sama sum  $H_{m0} = 4\sqrt{\int E(f, \theta)df d\theta}$ , peak aldu perioda  $T_p$  (periodan av orkuríkastu aldunum) og miðal aldu rættingur  $\theta_{mean}$





Mynd 4.2: Til vinstu sæst hvussu aldustøðan á einum øki, kann koma av staðbundnari aldu, ið er drivin av staðbundnum vindi, samstundis sum tyngri alda frá fjarum stormum eisini er til staðar. Til høggru eru víst alduspektrið fyri hesa aldustøðuna, við rætningi ovast og uttan rætningi niðast (Kelda: <https://confluence.ecmwf.int/pages/viewpage.action?pageId=131397261>)

#### 4.2.2 Alduviðurskifti og haldføri av útgerð

Tá hugt verður til grannalond, ella onnur lond har aling fer fram, so hava alduviðurskifti einans áhuga tá talan er um haldføri av aliútgerð. Tað tykist sum hesi lond ikki ala á økjum, har aldan stendur fyri stórum parti av tí reinsan, ið fer fram (t.d. SEPA: Aquaculture Modelling, 2019).

Vanlig mannagongd til útroknan av staðbundnum alduklíma krevur fleiri ár av mátingum í viðkomandi øki [Tucker and Pitt, 2001]. Alduklíma fyri staðsetingar á opnum havi eru tøkar frá fleiri ymiskum keldum, ið byggja á antin myndlar ella satelitmátingar. Alduviðurskifti tætt at landi og inni á firðum eru tó ikki eftirfarandi frá hesum keldum, tí hesi taka ikki hædd fyri staðbundnu smáskala viðurskiftunum. Háloystir myndlar kunnu koyrast fyri at flyta alduklíma inn á firðirnar, men hetta krevur góðar mátingar av dýpi, og krevja helst eisini eina staðbundna aldumáting fyri at kenna veikleikarnar í myndlinum. Ein annar háttur er at brúka longri tíðarseriur frá mátingum ella offshore myndlum/satelitdata saman við greining av eini styttri staðbundnari máting t.d. [Browne et al., 2006]. Hesin síðsti hátturin hevur veri vanligur í samband við havnabyggingar í Føroyum. Hátturin krevur, at innara og styttra tíðarserian spennir yvir stormhendringar úr øllum viðkomandi ættum, sum so aftur merkir, at í minsta lagi eitt samanhangiandi ár av mátingum er tókt.

Í Noregi skulu metingar gerast av alduviðurskiftum fyri nýggj aliøki, so hægsta aldan á staðnum kann roknast fyri eitt 50-áraskeið [Norsk-Standard, 2009]. Hesar metingar eru grundaðar á myndlaútrokningar heldur enn mátingar, men mannagongdin v.v. myndlanini tykist ikki at vera so neyvt stýrd enn [Stemsrud, 2018].

Aluviðurskiftini í Føroyum, har vit hava rímligt dýpi inni við land, umframt fitt av bæði ráki og aldu, fellur nakað uttanfyri vanligu klassifiseringarnar sí t.d. Dabrowski et al. [2017] og Norsk-Standard [2003]. Tað tykist tískil neyðugt at tillaga klassificering av økjum verður gjørd fyri Føroysk aliøki. Sum dømi kann nevast, at øll aling í Noregi í 2017 var á økjum klassifiseraði til  $H_{m0} < 3m$  [Stemsrud, 2018].



### 4.2.3 Resuspensión vegna aldu

Við at samantvinna nakað av grundleggjandi alduástøði [Holthuijsen, 2007] við nakað av tillagingum og útleiðingum [Wiberg and Sherwood, 2008, Niclasen and Simonsen, 2009], ber til at finna eina meting av mesta ráki vegna aldu  $u_{alda}$  niðri við botn:

$$u_{alda} = \frac{\pi H_{m0}}{T_p \sqrt{2} \sinh(kd)} \quad (4.6)$$

har  $d$  er dýpið og  $k$  er aldutalið ( $k$  má roknast iterativt út frá alduperioduni og dispersiónslíkningini). Størsta einstaka sveigividd av endurtakandi aldurørslini niðri við botn er:

$$a_{alda} = \frac{u_{alda} T_p}{2\pi} \quad (4.7)$$

Ein meting av botnignéggung vegna aldu  $\tau_{alda}$ , kann nú roknast sum:

$$\tau_{alda} = \frac{1}{2} \rho f_{alda} u_{alda}^2 \quad (4.8)$$

har  $f_{alda}$  er aldu-gnéggings-faktorurin. Verður gingið út frá, at botnurin er slættur, hetta gerst hann oftast har nógv skarn fellur á botn, so kann  $f_{alda}$  roknast út frá fylgjandi líkning [Jönsson, 2005]:

$$f_{alda} = \begin{cases} \frac{2}{\sqrt{R}} & , \text{um } R \leq 3 \cdot 10^5 \\ 3.34 \cdot 10^{-3} + 1.05R \cdot 10^{-9} & , \text{um } 3 \cdot 10^5 < R \leq 1 \cdot 10^6 \\ 0.024 \cdot R^{-0.123} & , \text{um } R > 1 \cdot 10^6 \end{cases} \quad (4.9)$$

Reynholdstalið  $R$  gevur lutfallið millum rørslu og viskositet, og er í hesum førinum givið sum:

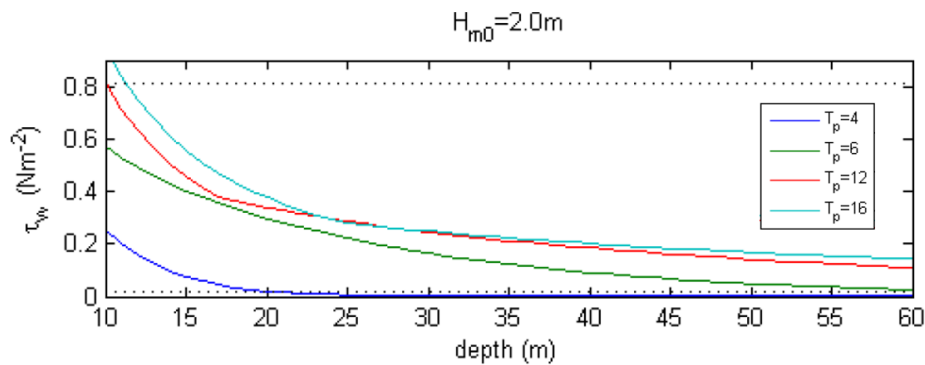
$$R = \frac{u_{alda} a_{alda}}{\nu} \quad (4.10)$$

har kinematiski viskositeturin er  $\nu = 1.3 \cdot 10^{-2}$  og  $u_{alda}$  og  $a_{alda}$  eru givin við líkning 4.6 og 4.7. Fyri at seta hesar líkningar í ein samanhag, eru roknað úrslit givin í mynd 4.3 undir givnum alduumstøðum og við økjandi botndýpi. Her sæst t.d., at er  $H_{m0} = 2\text{m}$  og  $T_p = 12\text{s}$ , so er botnignéggjanin á 60m dýpi áleið  $\tau_{alda} = 0.1\text{Nm}^{-2}$ , og tað er omanfyri tað, ið skal til, fyri at resuspendera alitilfar. Tey flestu aliðki við Føroyar verða útsett fyri slíkum alduviðurskifti nakrar ferðir um ári.

Við at myndla alduviðurskifti og brúka ástøði omanfyri, hava innleiðandi kanningar veri gjørdar av samhangni millum aldu og botnreinsan á nøkrum føroyskum alifirðum. Hesar vístu seg í stóran mun at vera í trá við staðbundnar royndir hjá alarunum [Niclasen and Simonsen, 2009]. Meiri nágreiniligar og ítøkiligar kanningar hava seinni verið gjørdar her heima av Fiskaaling. Kanningar gjørdar á Funningsfirði vístu, at greiður samhangur er millum aldu og resuspensión av alisedimentí, meðan sami samhangur millum staðbundi rák og resuspensión ikki var greiður [á Norði et al., 2013]. Hesar kanningar vístu eisini, at markið, fyri nær botnignéggungin førði til resuspensión her, var áleið  $0.08\text{Nm}^{-2}$  svarandi til javnan streym við botn á  $0.19\text{ms}^{-1}$  [á Norði et al., 2013]. Hetta líkist t.d. úrslitum í Jiang et al. [2012], ið eisini gevur eitt boð uppá samlaðu botnignéggungina frá aldu og rákið í einari ikki linjurættari líkning.

## 4.3 Nyttuvirðið av eini aldumáting

Tá aldan er mátað í eitt umboðandi tíðarskeið, ber til at knýta staðbundnu mátingina til longri tíðarseriur úti á Landgrunninum á líknandi hátt, sum gjørt var í ASAF verkætlanini. Sum nevnt omanfyri, krevur hetta at tíðarseriurnar eru væl longri, enn til bar undir ASAF áttakinum. Tá



Mynd 4.3: Botngníggjan vegna aldu rokna eftir líkning 4.9, við alduhædd  $H_{m0} = 2.0$  og ymiskum aldu periodum  $T_p$ .

lutfallið millum alduna á staðnum og alduna á Landgrunnum er kent, ber til at meta meiri neyvt um ringasta færi á staðnum. Tá ber t.d. til at rokna út, hvat aliútgerðin skal halda til. Eisini kunnu hesi lutföll brúkast at flyta ókeypis alduforsagnir, frá eitt nú yr.no ella sigling.is, inn á viðkomandi aliðkið. Hetta kann tískil frameftir gerast partur av eini kostnaðarleysari operationellari tænastru fyri aliðkið, ið alarin sjálvur kann leggja á egna heimasíðu. Ein onnur styrki við slíkari máting er, at er ein aldumyndil gjørdur fyri økið, kann hesin sami erfarings-databasin við lutføllum brúkast til at betra um myndlálúrlitini. Á hendan hátt fæst ein meiri neyvt aldumyndil fyri allan fjørðin. Eitt annað nyttuvirðið av eini aldu máting er betri vitan um reinsanina av aliðkinum. Verða einfaldasta slag av útlátsmyndlum (sum eitt nú DEPOMOD) brúkt, at lýsa umhvørvisviðurskipti á einum føroyskum aliðki, so hava hesi lyndi til at geva nógv verri mynd av skarndálkanini enn veruleikin er á flestu økjum. Aldumátingin kann beinleiðis brúkast til at rokna styrki og títleika av stórar botngníggging, sum er knýtt at reinsan av økinum við resuspensión, flytan og iltan av botni.

#### 4.4 Deiltilmæli

Fyri at taka stutt samanum, so verður mælt til, at aldu máting verður gjørd fyri aliðki har:

- hugsast kann, at útgerðin skal halda til aldu, ið verður mett sum ekstrem eftir Norskum standard, tvs. hægsta metta virðið av  $H_{m0}$  innan 50 ár er omanfyri 3.0 m (NS9415:2003)
- aliðkið væntandi javnan verður útsett fyri resuspensión frá aldu, ið vit meta byrjar tá botngnígggingin er áleið  $0.05 \text{ Nm}^{-2}$

Tað verður samstundis mælt til, at aldu mátingin lýkur fylgjandi krøv:

- Varar minst eitt ár fyri at fáa árstíðarvariaciónina við, umframt fyri at økja um møguleikan at hendingar frá øllum viðkomandi ættum og passandi høgari alduhæddum koma fyri
- Mátar grundleggjandi aldu parametrar sum  $H_{m0}$ ,  $T_p$ ,  $T_z$ ,  $Dir_p$ ,  $DirSpr$  og  $H_{max}$
- Inniheldur minst eina máting fyri 3. hvønn tíma, um so er at sjóvarfallsstreymurin ikki er mettur at hava ávirkan á, hvør alda kemur inn, men annars helst minst eina máting um tíman



## 5. Mátningar og útgerð

Tá umstøðurnar á aliðkjum og alifirðum skulu lýsast, er hetta í lötuni fyri tað mesta gjørt við mátingum. Ymiskir fysiskir parametrar verða mátaðir fyri at lýsa rørslur í sjónum, lagdeiling, alduviðurskifti, og hvussu hetta ávirkar umhvørvið. Niðanfyri er ein gjøgnumgongd av teimum mátiðættingum, sum vera nýttir til slíkar lýsingar og av tí mátiútgærdini, sum verður brúkt.

### 5.1 Vatnstøðumátning

Vatnstøðumátning verður gjørd fyri at lýsa broytingar í vatnstøðu orsakaðar av flóð og fjøru. Vatnstøða verður vanligi mátað við trýstmátara. Støðir, sum eru beinleiðis ætlaðar til vatnstøðumátning, hava ofta ein trýstmátara, sum kompensera fyri lufttrýsti. Annars er neyðugt eisini at máta lufttrýst, so tað kann trekkjast frá mátingini av trýsti niðri í sjónum. Flóð og fjøra broytast spakuliga. Periodan fyri mest vanligi sjóvarfallsconstituentin  $M_2$  er 12.42 tímar, og periodurnar annars eru minst nakrar tímar til longdar. Mátningin av vatnstøðu verður ávirkað av stuttíðar broytingum av vatnstøðuni, serliga frá aldam orsakaðar av vindi. Vindaldur hava vanligi periodur minni enn 30 sekund. Fyri at fáa góðar mátingar av vatnstøðu at lýsa broytingarnar orsakaðar av flóð og fjøru er tí neyðugt at brúka miðalvirði av ávísam tíðarskeiði, t.d. nakrar minuttir. Fyri at gera líkinda harmoniska greining av vatnstøðumátningunum, skal mátitíðarskeiðið vera minst 60 dagar.

### 5.2 Streymmátning

Streymmátningar verða gjørdar fyri at lýsa, hvussu sjógvur flytir seg. Í flestu førum er tað miðalrørslurnar uttan turbulentu rørslurnar, sum áhugi er fyri. Streymmátning verður framd við ymiskum mátarum, men í dag verða mest akustiskir streymmátarar nýttir. Hesir senda ljóð út í sjógvin og út frá dopplara skiftinum í móttikna signalinum, sum verður kastað aftur frá smáum bitlum í sjónum, ber til at rokna streymferðina. Onnur mátiprinsip vera eisini brúkt. Hesi vera umrødd niðanfyri. Annars er ein annar høvuðsmunur, um mátarin mátar í einum stað ella hann mátar í fleiri støðum, gjarna í einum vertikalum profili, sonevndir streymprofilmátarar ella ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler).

Ein streymmátning má setast upp, so hon kann lýsa tað rákið, ið hon skal umboða. Rákið í sjónum er vanligi turbulent og ferðin er tí ójovn. Eisini kann í nógvum førum roknast við at alda til tíðir røkkur niður har sum mátað verður, serliga ovarlaga í sjónum. Aldurørslur hava eina

periodu upp til áleið 30 sekund. Um hesar rørlur ikki skulu síggjast ov væl aftur í mátingunum, er neyðugt av taka miðal av fleiri mátingum yvir ávísa tíð. Ein einstøk máting verður vanligar nevnd eitt ping og miðal verður sostatt tikið yvir fleiri ping. Talið av pingum verður valt út frá neyvleikanum í hvørjum pingi. Jú fleiri ping verða tikið við í miðaltali, betur verður neyvleikin av mátingini, men miðaltíðin skal eisini passa til fysisku umstøðurnar og tíðin millum hvørt ping verður sett eftir tí. Ein røð av pingum, til at taka miðal av, verður vanligar nevnt eitt burst. Burst tíðin er vanligar frá 2 til 10 min og tíðin millum hvørt burst er í mesta lagið 10 min.

Í ávísnum førum gevur vanligar uppsetingin av einum streymmátara ikki gott úrslit. T.d. um vandi er fyri ráki, sum broytist nógv skjótari enn sjóvarfallsrák, so kann vera at 10 min. er ov long tíð millum mátingarnar. Eitt slíkt dømi er rák, sum er gjørt av brótandi aldam. Hetta broytist við eini periodu sum er minni enn 10 min, kanska niður til 2 min, samstundis sum aldurørslurnar kunnu hava periodu upp til eini 30 sekund. Tá er umráðandi at hava kunnleika um umstøðurnar og velja bestu burst tíðina og tíðina millum burst.

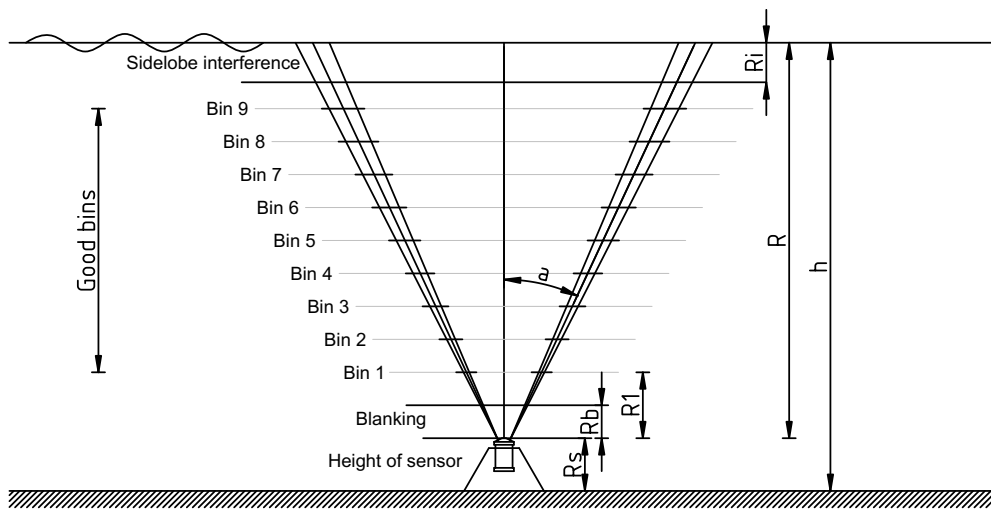
**Punktmátarar:** Ymisk sløg eru av punktmátarum. Teir flestu nýta akustik, men tað finnast eisini onnur sløg, t.d. rotor mátarar og elektromagnetiskir mátarar. Hesir máta rákið við sjálvtt mátið. Akustiskir mátarar máta vanligar í einum ávísnum avstandi frá mátaranum, og her eru serliga 3 høvuðssløg:

- (i) ADV (Acoustic Doppler Velocimeter), sum mátað 3D rák í einum øgiliga lítlum økið ( $1\text{cm}^3$ ) og tí geva eina sera detaljara mynd av rákinum beint har.
- (ii) 2D mátarar, sum vanligar máta í einum vatnrøttum plani uttanum mátaran
- (iii) 3D mátarar sum máta í einum rúmligum økið nær við mátaran.

2D og 3D mátararnir máta vanligar í einum øki, sum er upp til 2.5m frá mátið. 2D mátarar og ADV eru vælegnaðir til at máta rákið nær botninum, tí longdin frá botninum til mátið er væl staðfest og loddrætta støddin av mátiðinum er lítil.

**Profilmátarar:** Profilmátarar ella ADCP brúka akustik og doplerskift at máta streymferð í ymiskari frástøðu frá mátaranum. Ein ADCP hevur vanligar 3-4 orkubroytarar (transducerar) sum framleiða eina tunna akustiska strálu hvør og eru javnt fordeildar um miðásin á mátaranum við einum vinkli á 20-30° í mun til miðásin. Orkubroytararnir bæði senda og móttaka akustiska signalið, sum verður brúkt til mátingina. Mátingarnar verða vanligar gjørðar í javnt tjúkkum lögum frá mátaranum, kallaði bin, har doplerskiftið í akustiskari reflektið frá smáum bitlum í sjónum verður brúkt at máta ferðina í strálurætningin. Ferðin verður seinni roknað um til ferð í rætningarnar eystur, norður og loddrætt. Av tí at sami orkubroytari bæði sendur og móttækur signal, má bíðast eitt lítið bil, til ristingarnar frá sendingini eru av, áðrenn móttøkan kann byrja. Hetta verður nevnt blanking. Hetta merkir, at eitt petti er frá mátaranum til fyrsta bin. Slík akustisk signal hava ikki bert orku í strálurætningin og sonevndir sidelobes geva eisini orku í aðrar rætningar. Hetta ávirkar mátingina, tí reflektið av sidelobe signalinum frá yvirflatuni er nógv sterkari enn reflektið av høvuðssignalinum frá bitlum í sjónum. Mátingar, sum eru longur burtur frá mátaranum í strálurætningin enn loddrætta frástøðan frá yvirflatuni til mátaran, kunnu vanligar ikki brúkast. Hetta verður vanligar rópt "sidelobe interference". Hæddin á hesum lagnum upp móti yvirflatuni,  $R_i$ , kann roknað sum  $R_i = R(1 - \cos a)$  har  $a$  er stráluvinkulin í mun til loddrætt, og  $R$  er frástøðan frá mátaranum til vatnsorpuna. Tað er rættiliga vanligar at brúka 25° stráluvinkul. Tá er sidelobe interference økið um 10% av fjarstøðuni frá yvirflatuni. Profilmátingar fara vanligar fram loddrætt antin upp ella niður gjøgnum sjógvn. Um mátarin vendir niðureftir, er sidelobe interference tann sama niður móti botni, sum upp móti yvirflatuni, tá mátarin vendir uppeftir.

Tey bin-ini, sum kunnu roknað við at geva góðar mátingar, eru frá bin 1 (við tí fortreyt at røtt blanking longd er brúkt), til ovasta heila binið undir økinum, sum er ávirka av sidelobe interference, sum á mynd 5.1 er bin 9. Hæddin frá botni til bin 1 ( $h_1$ ) er  $h_1 = R_s + R_l$



Mynd 5.1: Grafísk lýsing av ymsu heitunum í samband við lýsingina av streymprofilmátning í parti 5.2

(mynd 5.1), har  $R_s$  er hæddin frá botni til orkubroytararnar á mátaranum, og  $R_1$  er longdin frá orkubroytarunum á mátaranum til bin 1.  $R_1$  er ein funktiún av blanking longdini og bin stóddini, og er ymisk millum sløgini av mátiútgerð. Hendan verður uppgivin frá framleiðaranum. Tað kann vera eitt sindur ringt at meta um, hvussu langt niður frá yvirflatuni sidelobe interference økið røkkur, serliga um mátað verður meðan tað er stór alda. Tí er ofta best at hyggja at data fyri at meta endaliga um tað. Sidelobe interference sæst vanliga við øktari signalstyrki og óvanliga høgum ferðum, serliga í vertikala rætningin. Av tí at mátað verður í ymiskum strálum við stórum vinkli ímillum, umboðar mátingin eitt rættiliga stórt vatnrætt økið í teimum binunum, sum eru langt frá mátaranum. Longdin millum mátiøkini í tveimum strálum á hvør sínari síðu av mátaranum í ávísu bini,  $L_{bin}$ , er  $L_{bin} = 2R_{bin} \sin a$ , har  $R_{bin}$  er hæddin frá mátaranum til ávísa binið. Á mynd 5.1 er hæddin til bin 1 lýst sum  $R_1$ .

Tað eru bæði fyrimunir og vansar við punktmátarum og profilmátarum. Profilmátararnir hava tann stóra fyrimunin, at teir lýsa ein stóran part av vatnsúluni, meðan hinir bara máta í einum punkti. Ein vansi við profilmátarunum er, at økið niðri við botn, sum manglar vegna blanking og hædd á mátaranum, og økið sum manglar ovast í sjónum vegna *sidelobe interference*, eru í nógvum førum rættiliga áhugaverd, t.d. í samband við resuspensiún av sedimentum og spjaðing av lús ovarlaga í sjónum. Tí verður ofta mátað við profilmátarum og punktmátarum saman, har punktmátararnir máta í teimum økjunum, sum mangla frá profilmátaranum. Onkrir profilmátarar eru útgjørdir við einum 2D streymmátara ovarlaga á mátaranum, sum so gevur máting tætt við botn.

### 5.2.1 Montering av mátarum

Á botni: Mest vanliga mátin at montera streymmátarar er á botni í einum fóti eins og á mynd



5.1. Tað kann vera profilmátari, punktmátari ella profilmátari og punktmátari saman. Streymmátarar á botni standa væl og kunnu máta í øllum ráki, um teir eru nóg tungir.

**Í fortoyning:** Bæði punktmátarar og profilmátarar kunnu monterast í fortoyning. Hetta er kanska mest brúkt til punktmátarar, og er t.d. viðkomandi í mun til máting ovarlaga í sjónum. Profilmátarar kunnu eisini monterast í fortoyning, t.d. niðri í sjónum, soleiðis at mátarin verður nærri yvirflatuni, ella at mátarin vendir niðureftir og røkkur betur niður móti botni. Mest vanligt er, at fortoyningin verður hildin uppi av einum floti niðri í sjónum, fyri at minka um rørslurnar vegna aldu. Tað gerst eisini alt meiri vanligt at montera streymmátarar, sum venda niðureftir, í alduboyur, soleiðis at streymur og alda kunnu mástast í senn frá alduboyu. Streymmátarar í fortoyning eru ikki eins stabilir sum mátarar á botni, og kunnu fara niður í sjógvin í hørðum rákið, so teir eru best egnaðir, har tað ikki rekur ov hart.

**Í báti:** Profilmátarar vera eisini mangan brúktir frá báti. Tá verður mátarin festur á batin antin permanent í skrokkin, í einum haldara niður við síðuna á batinum ella í einum fiski ella dreka niðri í sjónum, sum verður sleipaður eftir batinum. Neyvleikin av mátingini er tengdur at sigliferðini, bæði tí at, jú skjótari siglt verður, verri verður neyvleikin á hvørjum pingi, og tí at longur frástøða verður millum pingini, sum so aftur merkir, at færri ping eru at taka miðal av. Mátióvissan veksur eisini, tá báturin rullar, so tað er umráðandi at velja rætta batin og røttu sigliferð til mátiuppgávuna. Streymferðin er vanligi lág, tá fjarðarák verður mátað, so tað má roknast við, at sigliferðin í samband við máting av fjarðarákið má verða nógv minni enn tá sjóvarfallsrák verður mátað. Um botnurin hevur stórt hall, kann hetta gera, at meiri enn sidelobe interference manglar niður móti botni.

Tað er komið eitt nýtt ættarlið av streymprofilmátarum, t.d. SentinelV frá Teledyne RD Instruments og Signature frá Nortek, sum goyma øll ping, og har data síðani verða umroknað í einum teldusoftware, eftir at data eru fingin til høldar. Miðalferðir og annað verður eisini rokna eftirfylgjandi. Hetta gevur nógv fleiri dataviðgerðar móguleikar. Hesir mátarar eru eisini útgjördir við einum vertikalum akustiskum mátara til at máta turbulens og aldu.

### 5.3 Aldumáting

Alduviðurskiftini á einum ávísnum stað eru ein samanrenning av stórari mongd av einføldum sinus aldam, sum víst á mynd 4.1. Tí verður aldan vanligi lýst við statistiskum alduparametrum ella við einum alduspektri (sí part 4.2). Endamálið við aldumátingini er at savna vitan saman um alduviðurskiftini soleiðis at alduparametrar og spektur kunnu roknast út. Til hetta má vitan fáast til vega um alduhæddir, periodir og rætningar í einum ávísnum tíðarbili. Vindgjörðar aldur á sjónum hava periodur sum liggja millum 1 og 30 s [Kamphuis, 2000]. Mátiðarbili til hvørja máting verður vanligi sett til minst 15 min við mátiðittleika uppá minst 1 Hz, fyri at fanga eitt nóg stórt tal av aldam og at fanga nóg stuttar periodur. Best er um alda verður mátað minst einaferð um tíman.

#### 5.3.1 Alduparametrar

Niðanfyrir er ein lýsing av teimum mest vanligu alduparametrunum:

$H_s \sim H_{m0}$ :	Signifikant alduhædd. Miðal av hægsta triðinginum av einkultu aldunum í hvørjari máting. Nú verður vanliga $H_{m0}$ brúkt (sí part 4.2).
$H_{max}$ :	Hægsta alduhædd. Hægsta einkulta alda í hvørjari máting.
$T_p$ :	Peak perioda. Periodan av orkuríkastu aldunum.
$T_z \sim T_{m02}$ :	Miðal perioda. Miðal alduperiodan.
$Dir_p$ :	Peak rætningur. Rætningurin hjá orkuríkastu aldunum.

### 5.3.2 Útgerð til aldumáting

Niðanfyrir er stutt lýsing av ymiskari útgerð, sum verður brúkt til aldumáting:

- Alduboyur fylgja aldunum og rørlurnar vera mátaðar fyri at alduhæddirnar, periodurnar og rætningarnir kunnu finnast. Rørlurnar vera vanliga mátaðar við dikmátarum, men tað ber eisini til at máta tær við GPS. Alduboyur fáast í nógvum ymiskum støddum og støddin og vektin ger av, hvussu stuttar aldur alduboyan kann máta. Smáar alduboyur máta við høgari upploysn og kunnu vanliga fanga allar periodur í alduspektrinum.
- Trýstmátarar niðri í sjónum kunnu brúkast at máta aldu, við at rokna broytingar í trýsti um til broytingar í vatnstøðu. Trupulleikin við at brúka trýstmátarar er, at trýstbroytingar niðri í sjónum minka sera skjótt fyri stuttar aldur, og ov nógv av alduspektrinum verður burtur, um mátarin stendur djúpt í sjónum. Aldur við 3s periodu síggjast áleið 10m niður í sjógvin. Tað verður ikki mett ráðiligt at brúka trýstmáting á meiri enn 15m dýpið til vanliga aldumáting. Trýstmátarar máta ikki aldurætning, men um fleiri standa saman kann aldurætningurin finnast.
- Streymmátari við trýst, streymferð og rætning kann máta alduhædd og rætning, men hevur sama trupulleika sum trýstmátarar, at stuttu aldurnar síggjast bara um mátarin er stutt niðri í sjónum.
- Streymprofilmátari, sum brúkar streymmátingar uppi í sjónum og mátar frástøðu til yvirflatuna í strálurætningarnar, kann máta aldu og rætning longur niðri í sjónum. Aldur við 3s periodu síggjast áleið 40m niður í sjógvin [Tel, 2017]. Trupuleikin er tó at fáa aldurætning fyri stuttu aldurnar eftirsum frástøðan millum akustisku strálurnar verður ov stór ovarlaga í sjónum, har sum hesar kunnu mástast. Aldurætningur fyri aldu við 3s periodu kann bert mástast niður á áleið 20m dýpið (<http://www.nortek.no/en/knowledge-center/wave-measurements-with-the-nortek-awac>).
- Streymprofilmátari, við eyka loddrættari akustiskari strálu gevur góðar mátingar av alduhædd rættiliga djúpt niðri í sjónum, men aldurætningurin fyri stuttu aldurnar hevur somu avmarkingar sum nevnt omanfyri.

Í økjum við lítlum ráki ber til at seta onkrar av streymprofilmátarunum uppi í sjónum, so til ber at fáa aldurætning fyri styttru aldurnar eisini.

Um hugt verður at alduhendingum við nógvvari orku, er vanliga lítil partur av orkuni í aldunum við minni enn 3s periodu. Á sama hátt eru tær stuttu aldurnar ikki serliga áhugaverdar, tá hugt verður at alduresuspensión av alitilfari undir aliringum, tí tær røkka ikki langt niður í sjógvin og føra tí heldur ikki til resuspensión. Hinvegin kann roknast við, at alduhæddin verður undirmett uttanfyri ógvusligar alduhendingar, og har sum mest er av vindaldu frá nærumhvørvinum, um stuttu aldulongdirnar ikki eru við. Hetta er óheppið, um mátingin skal nýtast til at gera aldustatistik fyri økið. Tað má tí vera ein meting í hvørjum einstøkum føri, hvussu langt niður í alduperiodu mátingin skal fevna, men í hovuðsheitum má miðast eftir at fáa sum mest av aldunum við.

Alduboyur hava tann fyrirmin, at tær máta so gott sum allar aldulongdir, og eftirsum tær flóta



er lætt at hava samband við boyuna og tí síggja mátingarnar beinleiðis. Tað ber eisini til at hava streymmátara í boyuni, soleiðis at rákið ovarlaga í sjónum verður mátað. Alduboyur eru tó ein rættiliga dýr loysn. Mest vanligi hátturin at máta aldu, tá styttri mátingar vera framdar og data ikki skal síggjast beinleiðis, er at brúka streymprofilmátarar. Hesir hava tann eginleika, at teir máta streym upp gjøgnum sjógvin samstundis og tað er vanliga ein bíligari loysn.

## 5.4 Hydrografisk máting

Hydrografiskar mátingar verða gjørdar fyri at lýsa hvussu eginleikarnir í sjónum broytast gjøgnum vatnsúluna. Mátingarnar verða gjørdar við at lora eina CTD (Conductivity, Temperature, Depth) frá vatnsorpuni og niður á botn ímeðan hon, sum tað minsta, mátar salt, hita og trýst, men eisini kann útgerast við øðrum sensorum, ið til dømis máta oxygen, gróður, turbititet og ljós. Hetta vísir hvussu støðan er á staðnum. Tá sæst til dømis, um vatnsúlan er væl blandað ella um lagdeiling er, um gróður er í sjónum og um iltmangul er. Serliga áhugavert er tað at síggja, um stórar broytingar eru í vatnsúluni, t.d. hvussu tjúkt brakkvatnslagið er, um nakað botnlag er og hvussu tjúkt tað er. Eisini kunnu broytingar í vatnsúluni vera tekin um, at sjógvur rekur inn í økið aðrastaðni frá. Hvaðani ein sovorðin broyting stavar, kann ein móguliga svara uppá við at gera fleiri mátingar tvørtur um økið og eftir longdini. Tá sæst, hvussu eginleikarnir broytast frá staði til stað, og hetta kann siga nakað um rákið. Við at endurtaka mátingarnar javnan sæst eisini, hvussu eginleikarnir broytast við tíðini.

Burtur úr CTD mátingunum verða t.d. brúkt fylgjandi mát:

- Dýpi í metrum [ $m$ ], sum verður roknað frá málda trýstinum
- Hiti í gradum Celcius [ $^{\circ}C$ ]
- Saltinnihald í [ $g\ kg^{-1}$ ]
- Tættleiki í [ $kg\ m^{-3}$ ]
- Oxygen í [ $mg\ l^{-1}$ ]
- Gróður (Fluorescence) í [ $\mu g\ l^{-1}$ ] ella [ $mg\ m^{-3}$ ]

Tað finnast ymisk tól, sum sigast kunnu gera ein CTD profil, men umráðandi er at nýta eina CTD, ið klárar at máta hitabroytingar á  $0.01\ ^{\circ}C$  og saltbroytingar á  $0.001\ g\ kg^{-1}$ . Eisini er umráðandi at gera mátinginia soleiðis at mált verður í minsta lagi 5 ferðir hvønn metur.

## 5.5 Oxygenmáting

Í økjum, har vandi er fyri avlæstum botnlagi, er umráðandi at hava langtíðar oxygenmátingar. Sum sagt í Petti 2.1.1, er oxygenmongdin á botni tengd at oxygennýtsluni á botni, tjúkdini á botnlagnum og blandingini niður í lagið, og serliga í tunnum botnløgum kann oxygeninnihaldið minka rættiliga skjótt. Hesar broytingar eru ikki egnaðar at máta við CTD, tí við henni fæst bara ein lötumynd av støðuni tað lötuna mátingin verður gjørd, umframt at tað ikki ber til at fara heilt niður á botn við CTDini. Við oxygen- og hitamáting saman á ymiskum dýpum í sjónum fáast upplýsingar um, hvussu djúpt botnlagið er, hvussu ofta avlæsing kemur fyri, hvussu leingi hon varir við og hvussu skjótt oxygenvirðini falla.

Afturat langtíðarmátingum er gott at hava oxygenmátingar frá CTD úr øllum økinum, tí tá sæst vavið av botnlagnum.

Úrvalið av oxygenmátarum er sera stórt og kvaliteturin er misjavnur. Umráðandi er at hava í huga, at til langtíðarmátingar er neyðugt, at mátararnir eru álítandi yvir tíð, eisini í broytiligum hitaviðurskiftum. Harumframt er eisini vandi fyri, at mátingin verður órógvað av gróðri og djórum, sum seta seg á mátaran, tí mugu teir vera impregneraðir ella vaskast javnan.

Í hvøudsheitum finnast mátarar, sum máta elektrokemiskt signal og optiskir mátarar. Teir optisku eru dýrari og betri, serliga til langtíðarmátingar.

## 5.6 Deiltilmæli um slag av mátiútgerð

Streymprofilmátarar lýsa rákið í meginpartinum av vatnsoyluni. Um tørvur er á meira vitan um rákið niðri við botn og uppi móti vatnskorpuni verður mælt til, at punktmátarar verða brúktir til hesi økir.

Streymprofilmátarar kunnu eisini nýtast til aldumáting, samstundis sum teir máta streym, men umráðandi er at minnast til, at teir missa ein part av teimum stuttu aldunum, alt eftir hvussu djúpt teir eru niðri í sjónum. Alduboyur gera góðar aldumátingar. Tær fáa tær stuttu aldurnar við og kunnu máta streym ovarlaga í sjónum, um tær hava streymmátara. Ein annar fyrimunur er, at tað er lætt at gera beinleiðis datasamband. Tó eru alduboyur vanligar ein væl dýrari loysn enn streymprofilmátarar.

Máting av oxygeninnihaldi ella øðrum parametrum í sjónum kann gerast við mátarum, sum máta í einum punkti. Stabilitetur yvir tíð kann vera ein trupulleiki við nøkrum sløgum av eitt nú oxygen mátarum.

Løtummynd av rákinum í einum øki kann fáast við bátmonteraðum streymprofilmátara. T.d. kann sjóvarfallið í einum øki kannast við slíkari løtummynd við jøvnum millumbili í gjøgnum eitt sjóvarfall.

Um rákið í einum ikki sjóvarfallsdrivnum øki skal lýsast yvir tíð, kann tað gerast við tíðarseriumáting í fleiri støðum ella enn betur við eini samanseting av tíðarseriumátingum og løtummyndum. T.d. kunnu nakrar løtummyndir gerast við mátingum frá báti við ymiskum veðurlíkindum, samstundis sum ein ella fleiri tíðarseriumátingar fara fram. Tað er umráðandi at mátingarnar frá báti so ganga ígjøgnum økini har tíðarseriumátingarnar fara fram. Um fjørðurin er lagdeildur, er umráðandi eisini at fáa løtummyndir av broytingum í salti og hita við dýpinum. Løtummynd av salti, hita, iltinnihaldi o.ø. kann fáast við hydrografimáting, við at gera fleiri mátingar í einum øki.

Um alduviðurskifti skulu lýsast í einum øki kann hetta gerast við fleiri tíðarseriumátingum.





## 6. Tilmæli

Tilmæli til hvat besti háttur er at skipa streym og aldumátingar fyri at lýsa eitt aliðki/alifjórð. Endamálið við tilmælinum er at lýsa eina mátiætlan, sum er samansett soleiðis, at hon er vælegnað til fyriskipan av umhvørviseftiransingini av føroysku alifirðunum. Tí er høvuðsdentur lagdur á, at mátiætlanin skal

1. kunna brúkast til undankanning, áðrenn eitt aliðkið verður tikið í brúk
2. lýsa fysisku umstøðurnar, sum kunnu hugsast at ávirka spjaðing, sedimentatióin og resuspensión av útláti frá alivirksemi, sum søkkur á botn
3. kunna nýtast til staðseting av botnsýnum, ið lýsa ávirkanina av alivirksemi á botnviðurskiftini.

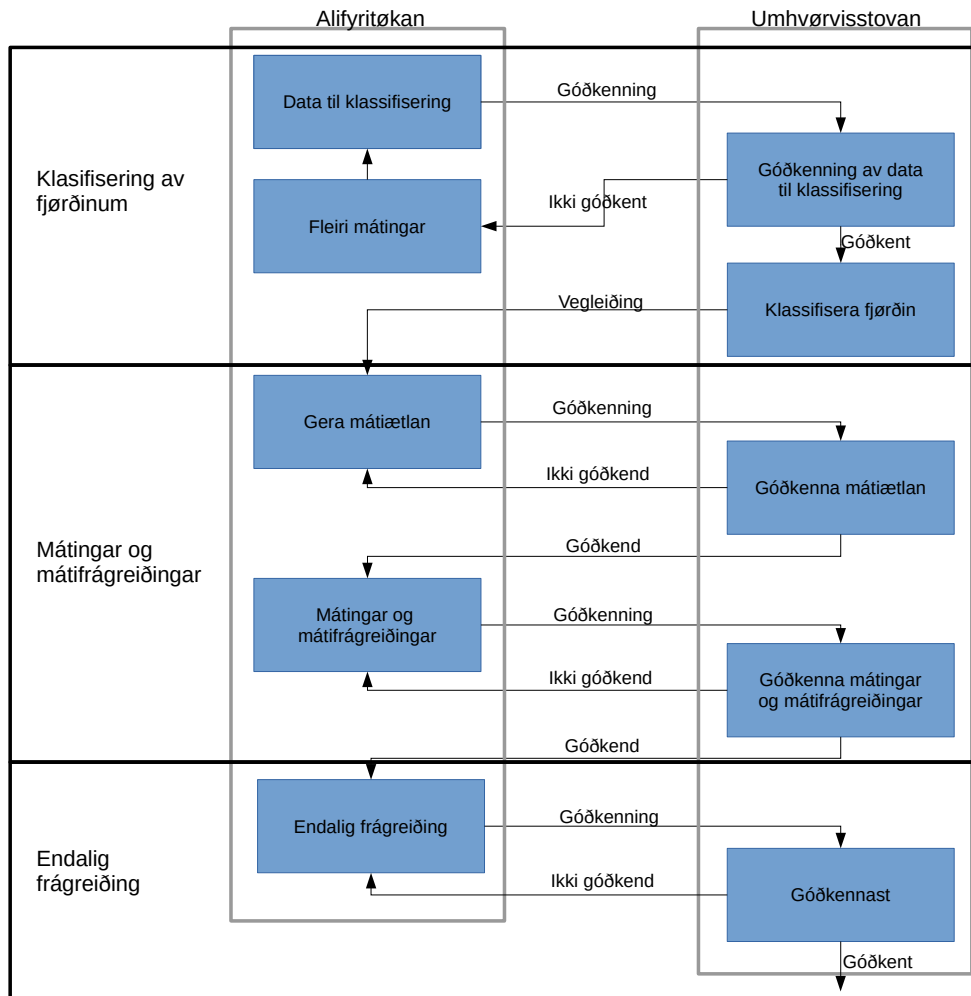
Harnæst er eisini dentur lagdur á, at mátiætlanin kann nýtast til flestu onnur viðurskifti av áhuga fyri vinnuna, t.d.

4. lýsa fysisku umstøðurnar, sum kunnu hugsast at ávirka spjaðing av upploystum útláti og algum
5. lýsa fysisku umstøðurnar, sum kunnu hugsast at ávirka spjaðing av lús og lúsapopulatióin-dynamikk
6. lýsa fysisku umstøðurnar, sum kunnu hugsast at ávirka dimensionering av aliútgerð
7. lýsa fysisku umstøðurnar, sum kunnu hugsast at ávirka atferð og trivna hjá alifiski.

Fyri at fáa punktini 4 til 7 við omanfyri verður bert neyðugt við størri atliti til rørslurnar ovast í sjónum. Tað kann t.d. vera neyðugt við streymmáting ovast í sjónum saman við streymprofilmátingum á djúparu firðunum fyri at kunna lýsa rákið har. Frágreiðingarnar fara at leggja dent á punktini 1 til 3, og tí kann væntast, at aðrar frágreiðingar mugu gerast til punktini 4 til 7.

Við at gjøgnumføra slíka mátiætlan fæst ein heildarfatan av øllum alifjórðinum. Tá ber til at leggja alingina til rættis á optimalan hátt, og tí fáa sum mest burturúr hvørjum einstøkum fjórði.

Tá mátiætlanirnar verða lýstar í tilmælinum, verða bert einstøku mátingarnar nevndar, men í fleiri førum kunnu einstakar mátingar fevna um fleiri av nevndu mátingunum. T.d. er ein aldumáting gjørd við streymprofilmátara á botni samstundis ein streymprofilmáting og ein vatnstøðumáting.



Mynd 6.1: Grafísk lýsing av mannagongdini í stykki 6.1

## 6.1 Mannagongd

Mátningarnar verða gjørdar í greiðum samstarvi við Umhvervisstovuna, eins og lýst í lestinum niðanfyri og á mynd 6.1. Eins og SEPA hevur valt at gera í Scotlandi [Hills et al., 2019], verður mælt til at øll mátiðata verða latin Umhvervisstovuni til góðkenningar og goymslu.

Tilmælda mannagongdin er:

1. Undangóðkenning av tøkum data til klassifisering av fjørðinum.
2. Útvega mátingar ella frágreiðingar, sum møguliga mangla fyri at fjørðurin kann klassifiserast.
3. Klassifisera fjørðin í mun til, um rákið er sjóvarfallsdrivið ella ikki, og um møguleiki er fyri avlæstum botnlagi og alduresuspensión av alitilfari.
4. Gera mátiætlan
5. Mátiætlan góðkennast av myndugleikanum
6. Fremja mátingar
7. Lata data og mátiþrágreiðingar inn til góðkenningar hjá myndugleikanum
8. Gera endaliga frágreiðing og lata inn til myndugleikan

Øll arbeiðir í samband við virksemi omanfyri skulu gerast av veitara ella persóni, sum Umhvørvisstovan hevur góðkent til endamálið. Góðkenningar vera framdar av Umhvørvisstovuni, sum tó kann útveita partar av arbeiðinum. Alt data, bæði rádata og viðgjørt data, og frágreiðinginar skulu latast Umhvørvisstovuni talgilt.

## 6.2 Klassifisering

Firðir verða klassifiseraðir eftir fysisku umstøðunum. Økið, sum er grundarlag fyri klassifiseringini, verður ásett í samband við klassifiseringina. Tað skal vera eitt passandi øki til fyriskipan av umhvørviseftiransingini. Hetta økið er størri enn aliøkið, men oftast minni enn alifjørðurin og í fleiri førum nógv minni enn alifjørðurin. Frameftir verður tað kallað eftiransingarøkið. Fyri at kunna klassifisera fjørðin og áseta eftiransingarøki er neyðugt við kunnleika til dýpið í øllum økinum. Nógvastaðni er sera lítið til av dýpdarmátungum uttarlaga á firðunum. Hendan vitan má fáast til vega fyri at áseta endaliga eftiransingarøkið.

Við at áseta eftiransingarøkið verður økið, sum mátingarnar skulu lýsa, passaliga stórt til umhvørviseftiransing. Hetta kemur í flestu førum at lætta um mátibyrðuna, eftirsum eftiransingarøkið í flestu førum verður minni enn alifjørðurin, sum annars hevði verið upplagda økið at brúkt sum grundarlag fyri eftiransingini.

### 6.2.1 Áseting av eftiransingarøkið

Eftiransingarøkið er tað økið, sum ávirkar og verður ávirkað av alingini. Støddin á økinum er ein meting í hvørjum einstøkum føri. Í hvøvdshheitum er tað fjørðurin ella víkin, sum alingin fer fram á, frá botninum til munnann. Sund, sum hava avmarkaða gjøgnumstreyming, vera mett sum fjørður ella vík í hesum samanhinginum, t.d. Haraldssund, Hvannasund og Sundalagið. Tá talan er um aliøkir, sum ikki kunnu sigast at liggja í einum fjørði ella á einari vík, verður ein meting gjørd í hvørjum einstøkum føri, um hvat er hóskaði eftiransingarøki.

Umhvørvisstovan ásetir eftiransingarøkið. Hetta verður gjørt út frá verandi vitan um økið, t.d. frá botnkortum, streymmyndlum, aldumyndlum, og mátingum. Umhvørvisstovan kann krevja, at alifelagið skal gera dýpdarmátungar á økinum, um verandi botnkort ikki eru nøktandi.

### 6.2.2 Klassifiseringin

Tað eru longu framdar streymmátungar innarlaga og uttarlaga á flestu alifirðum, umframt at aldumátung er framd á útsettu firðunum í samband við verkætlanina Aldu- og streymviðurskiftini á føroysku alifirðunum (ASAF). Hesar kunnu í nógvum førum nýtast at klassifisera firðirnar við. Kravið er serliga at máting er tøk, sum, móguliga saman við streymmyndli, kann nýtast at meta um styrkina á sjóvarfallinum í mun til annað rák í innara parti á aliøkinum. Harumframt er eisini neyðugt við aldumátung á aliøkinum ella tætt við hetta, tá metast skal um hvørt tað er neyðugt við fleiri aldumátungum.

Firðirnir verða klassifiseraðir soleiðis:

**Fjørður, har rákið er sjóvarfallsdrivið:** Ein fjørður verður at rokna sum sjóvarfallsdrivin um máting innast í aliøkinum, ella har sum væntast kann at rákið er veikast inni á aliøkinum, vísir at sjóvarfallið umboðar minst 50% av variansinum í streymmátungunum í vertikala miðal streyminum, og um summurin av hálvhvøvdásanam hjá teimum 6 kraftigastu konstituentunum er størri enn 15 cm/s. Á slíkum fjørði verður ikki roknað við, at sjógvurin er lagdeildur, og tað verður roknað við, at alitilfar verður resuspenderað av rákinum. Av tí sama verður roknað við, at lítið av alitilfari savnast á botni og hesir firðir hava tí lægstu krøvini til mátingar. Ásetingin, um nær ein fjørður er sjóvarfallsdrivin, er ein meting av hvat er rímligt. Eingin kanning liggur aftanfyri hesa áseting. Hetta verður mett at liggja



uttanfyrri hesa verkætlanina. Tað kundi verið hóskandi at eftirmett hesa áseting, tá eitt ávíst tal av streymmátungum eru tókar, sum hava harmoniska greining av sjóvarfallinum.

**Fjørður, har rákið ikki er sjóvarfallsdrivið:** Um viðurskiftini ikki eru sum omanfyri, kann roknast við at fjørðurin verður lagdeildur. Eisini kann roknast við, at alitilfar bert í lítlan mun verður resuspenderað av rákinum. Roknað verður við, at fjørðurin er meiri útsettur fyri dálking av alivirksemi, og tí eru mátikrøvini til slíkar firðir størri, enn til firðir har rákið er sjóvarfallsdrivið. Eisini kann roknast við, at rákið í stóran mun er stýrt av veðrinum, og tí mugu mátingarnar taka hædd fyri árstíðarbroytingunum.

**Gáttarfjørður við vanda fyri avlæstum botnlag:** Um rákið á fjørðinum ikki er sjóvarfallsdrivið, og fjørðurin hevur gátt, kann roknast við, at vandi er fyri avlæstum botnlag. Avlæst botnlag er viðkvæmt fyri stórar tilføring av organiskum tilfari, og illtrot kann koma fyri í avlæsta botnlagnum. Av tí sama er størri vekt á at máta í botnlagnum á slíkum firðum, serliga við vekt á at lýsa møguleikan fyri illtroti í botnlagnum.

**Møguleiki fyri alduresuspensión:** Um botnninging frá aldu rørslnum í sjónum niðri við botn verður mett at kunna koma uppum  $0.05 \text{ Nm}^{-2}$ , er møguleiki fyri, at alitilfar verður resuspenderað av aldurørslnum. Í slíkum førum verður eisini vekt lögð á at lýsa alduviðurskiftini á aliøkinum, serliga við atliti at resuspensión.

### 6.3 Mátingar

Til at lýsa omanfyrinevndu viðurskifti, er ein røð av mátingum neyðugar. Hesar eru lýstar niðanfyrri. Ymiskt er, hvussu nógvar av mátingunum skulu brúkast á ymsu firðunum. Hetta sæst í parti 6.4. Meiri útgreinað lýsing av mátiættingunum er at finna í kap. 5. Mátingarnar, sum verða brúktar at lýsa firðirnar, eru:

**Vatnstøðumáting:** Hendan verður vanlig gjørd í samband við streymmátung, um streymmátarin stendur á botni. Longdin skal vera í minsta lagi 60 dagar fyri at gera dygdargóða greining av harmonisku konstituentunum. Flestu streymmátarar hava góðan trústmátara til endamálið.

**Staðsett streymprofilmáting:** Tíðarseria av staðsettum loddrøttum streymprofili, mátað við streymprofilmátara. Mátarin verður vanlig settur á botn at máta upp ígjøgnum sjógvin. Hæddin á mátaranum og blanking gera, at fyrsta mátingin er nakað upp frá botni (vanliga 3-7m til fyrstu máting). Sidelobe interference ger, at mátingin røkkur ikki heilt upp til yvirflatuna. Vanliga mangla ovastu 5-10% av dýpinum. Mátingin verður brúkt at lýsa, hvussu rákið broytist við dýpi og tíð á einum stað. Minsta krav til máting fyri at fáa líkinda sjóvarfallsgreining er 60 dagar. Er dýpið á mátaðnum minni enn 40m, kann bin støddin vera upp til 2m. Við størri dýpi kann bin støddin vera upp til 4m. Ein slík máting verður mett at vera nøktandi til lýsing av sjóvarfallsráki, sum í stóran mun fylgir einum logaritmiskum profili niður móti botni. Um sjógvurin er lagdeildur, kann vera tørvur á máting nærri yvirflatuni og nærri botni.

**Staðsett streymmátung við botn:** Um fjørðurin er lagdeildur, kann vera trupult at meta um rákið niður móti botni út frá mátingum uppi í sjónum, serliga um niðasta lagið er tunt. Rákið niðri við botn er avgerandi fyri, hvussu alisedimentir leggjast á botn, og um tey verða resuspenderaði. Tí verður mælt til, at á ikki sjóvarfallsdrivnum alifirðum verður rákið mátað niðri við botn eisini. Streymmátung niðri við botn skal mást í mesta lagi 1m upp frá botni, og mátingin skal í mesta lagi fevna um eitt øki, sum er 50cm høgt, 25cm uppum og 25cm niðrum mátipunktið. Mátingin skal vanlig gerast saman við streymprofilmátingini.

**Staðsett streymmátung ovast í sjónum:** Um fjørðurin er lagdeildur, kann vera stórir munur á rákinum ovast í sjónum og rákinum í ovastu mátingunum frá streymprofilmátingini. Rákið ovast í sjónum er avgerandi fyri spjaldingina av upploystum útláti frá alibrúkum og partik-



lum, sum ikki søkka, sum t.d. lúsayngul. Tí verður mælt til, at á ikki sjóvarfallsdrivnum alifirðum verður rákið ovast í sjónum mátað. Streymmátning ovast í sjónum skal vera í mesta lagið 6m niðri í sjónum. Mátingin skal gerast saman við streymprofilmátningini. Um dýpið er minni enn 40m, kann ovasta bin frá streymprofilmátningini vanliga brúkast, annars má annar mátari brúkast.

**Streymmátning frá báti:** Við streymmátning frá báti ber til at máta ein loddrættan streymprofil eftir einari siglileið, t.d. skurðir tvørturum ein fjørð. Vegna blanking áðrenn fyrsta bin og sidelobe interference kann væntast, at mátingin í mesta lagið fevnir frá 4-6m undir yvirflatuni, til 10% eru eftir á botn. Um botnurin hevur stórt hall, kann meiri enn niðastu 10% av dýpinum mangla í.

**Mátning at lýsa sjóvarfall:** Um sjóvarfall verður kannað, er neyðugt at endurtaka somu siglileið við jøvnum millumbili. Í mesta lagið 1 tími kann vera millum mátingarnar og mælt verður til at máta í minst 12 tímar. Miðast skal eftir, at mátingin verður gjørd í einari harðari mysing. Hetta ger, at streymferðin verður høg, og tí verður minni munur millum sigliferð og streymferð og neyvleikin í mun til streymferð betur.

**Mátning at lýsa fjarðarák:** Um fjarðarák verður mátað, har sjóvarfall hevur lítið at siga, kann mástast yvir longri tíð, og mátingin kann halda fram so leingi sum veðrið og onnur viðurskifti, sum ávirka rákið, eru støðug. Vanliga er fjarðarák spakt rák, og tí má sigliferðin undir máting vera lagalig, kanska ikki meiri enn 2 knob.

**Aldumátning:** Um vandi er fyri resuspensión av sedimentum frá alingini vegna aldurørslur, skal alдумátning fremjast á hóskandi staði á fjørðinum, sum umboðar aliðkið væl. Mástast skal í minst eitt ár, fyri at fáa árstíðarvariatióinir við. Mátingin verður samanborin við alдумátningarnar, ið Landsverk fremur á Landgrunninum. Eru alдумátningar ikki tøkar hetta tíðarskeiðið, kunnu virðir frá einum alдумodelið nýtast í staðin á hesum støðum.

**Hydrografi:** Um fjørðurin ikki er sjóvarfallsdrivin, er neyðugt við mátingum av salti, hita og oxygeni sum funksjón av dýpi at lýsa lagdeilingina á fjørðinum. Mátingarnar skulu fremjast í minsta lagi einaferð um mánaðin í minsta lagi gjøgnum eitt ár, fyri at fáa árstíðarbroytingar við. Salt og hitabroytingar á føroysku firðunum eru smáar, so tað er neyðugt at skjalprógva í mátiætlanini, at tólini, sum skulu nýtast til mátingarnar, hava nóg góðan neyvleika at lýsa smáu broytingarnar.

**Oxygen máting:** Á firðum, har gátt er við munnan, er møguleiki fyri avlæstum botnlagi um summari, og tá er vandi fyri oxygentroti niðri við botn. Útskiftingin av sjógvi niðri við botn er tengd at teimum skiftandi veðurviðurskiftunum, og oxygennýtslan er tengd at nøgdini av lívrúnum tilfari í avlæsta botnlagnum. Hesi viðurskifti broytast nógv frá ári til ár. Fyri at hava hylling á vandanum fyri oxygen troiti, og undir hvørjum umstøðum hetta kann væntast, verður mælt til at kanna oxygen viðurskiftini í minsta lagi summarhálvuna í tvey ár á firðum við gátt. Oxygentrupulleikarnir í botnlagnum síggjast best í muninum millum oxygeninnihaldið í sjógvi í botnlagnum og í miðjum sjógvi. Í miðjum sjógvi merkir her í sjógvi, sum er niðanfyrir gróðurin í sjónum og omanfyri avlæsta botnlagið.

**Vindmátning:** Á aliðkjum, har rákið ikki er sjóvarfallsdrivið, skulu vindmátningar frá mátitíðarskeiðinum fyriliggja. Við mátitíðarskeið verður meint við tíðina, tá streym-, aldu- ella oxygenmátarar eru úti, og tíðin meðan mánaðarligu hydrografimátningarnar verða gjørdar. Hesi data skulu vera tøk, soleiðis at veðrávirkanin á hinar mátaðu parametrarnar kann lýsast í endaligu frágreiðingini.

## 6.4 Mátningar at lýsa einstøku alifirðirnar

Tilmælið er soleiðis sett saman, at størstu krøvini til mátingar eru til firðirnar, sum kunnu hugsast at vera umhvørvisliga veikir. Tvs. at minstu krøvini eru til firðir, har rákið er sjóvarfallsdrivið, og størstu krøvini eru til firðir, sum ikki eru sjóvarfallsdrivinir og har vandi er fyri avlæstum botnlagi.

Um möguleiki er fyri alduresuspensi3n av alitilfari á botni, er eisini krav um aldu máting. Hetta kravið er fyri at lýsa, um fjørðurin tolir meiri aling ann streymmátingarnar vísa á. Um úrslitini vísa á viðkvom 3kir, kann Umhv3rvisstovan krevja eyka mátingar.

#### 6.4.1 Fjørður, har rákið er sjóvarfallsdrivið

Á fjørði, har rákið er sjóvarfallsdrivið sambært klassifisering í parti 6.2, skulu mátingar lýsa sjóvarfallsrákið í eftiransingar3kinum.

**Staðsettar streymprofilmátingar:** Tvær mátingar á ali3kinum, ein við hv3nn enda á ali3kinum. Um ali3kið er longur enn 2km, skal harumframt ein máting gerast mitt í ali3kinum. Minst ein av mátingunum skal gerast samstundis, sum streymmáting frá báti fer fram. Minst ein av mátingunum skal vera botnmonterað og máta trýst, soleiðis at harmonisk greining kann gerast av vatnst3ðubroytingunum. Allar mátingar skulu vera í minst 60 dagar, fyri at kunna gera líkinda harmoniska greining.

**Streymmáting frá báti at lýsa sjóvarfall:** Streymmátingin frá báti skal lýsa, hvussu sjóvarfallsrákið broytist í 3kinum. Tað skal í mesta lagi vera ein tími millum hv3rja sigling, og mátast skal í minst 12 tímar. Mátileiðin skal leggjast til rættis soleiðis, at máta verður á sama stað sum staðsetta mátingin. Um sjóvarfallsrákið í stóran mun gongur fram við landi, er ynskiligt, at leiðirnar eru áleið vinkulrættar í mun til strandalinjuna ella tvørturum sjóvarfallsrákið. Linjurnar skulu umfata ali3kið og sum mest av eftiransingar3kinum, tó avmarkað av at sigliferðin kann ikki vera ov h3g, tí hetta ávirkar neyvleikan av mátingunum. Endamálið við mátingunum er at fáa eina yvirskipaða lýsing av sjóvarfallsrákinum í ali3kinum og eftiransingar3kinum. Um fleiri ali3ki eru í sama eftiransingar3ki, og eftiransingar3kið er stórt, kann verða neyðugt við meiri enn einari máting.

#### 6.4.2 Fjørður, har rákið ikki er sjóvarfallsdrivið

Á fjørði, har rákið ikki er sjóvarfallsdrivið sambært parti 6.2, skal rákið lýsast á ali3kinum og á eftiransingar3kinum, við atliti til lýsing av rákdynamikkinum á fjørðinum; herundir lagdeiling, hvat drívur rákið sambært kapittul 2, og hvussu hetta ávirkar sedimenteringina av alisedimentum og útskiftingina á fjørðinum.

**Staðsettar streymprofilmátingar:** Tvær mátingar á ali3kinum, ein við hv3nn enda á ali3kinum. Um ali3kið er longur enn 2 km skal harumframt ein máting gerast mitt í ali3kinum. Harumframt skulu tvær mátingar gerast á útvaldum st3ðum, sum, saman við hinum mátingunum á eftiransingar3kinum, lýsa rákið á eftiransingar3kinum so væl sum gj3rligt. Um talan er um ein fjørð, er tað t.d. umráðandi, at tað verður mátað á báðum síðum á fjørðinum. Minst 2 av mátingunum skulu gerast samstundis, sum streymmátingarnar frá báti fara fram. Minst ein av mátingunum skal vera botnmonterað og máta trýst, soleiðis at harmonisk greining kann gerast av vatnst3ðubroytingunum. Mátingarnar skulu vara í minst 60 dagar og minst 2 av mátingunum skulu gerast bæði summar og vetur.

**Staðsettar streymmátingar við botn:** Saman við streymprofilmátingunum skal gerast ein streymmáting við botn. Mátarin, sum verður brúktur, skal standa saman við streymprofilmátaranum. Nakrir av nýggjaru streymprofilmátaranum hava ein 2D streymsensor innbygdan til tað sama (z-cell frá Nortek).

**Staðsettar streymmátingar ovast í sjónum:** Um dýpið, har sum streymprofilmátingar vera framdar, er st3rri enn 40 m, verður blanking 3kið upp móti yvirflatuni vanliga minst 4 m. Tá skal ein punktmátari brúkast at máta streym ovast í sjónum. Mátingin skal fremjast á í mesta lagið 6m dýpi, sum samsvarar við ovaru hálvu av alinótini. Mátingin skal fara fram samstundis sum streymprofilmátingin. Mátistaðið skal vera í mesta lagið 150m frá streymprofilmátingini, og dentur skal leggjast á, at mátistaðið er so beint undan ella ímóti rákinum sum gj3rligt frá streymprofilmátingini.

**Streymmáting frá báti at lýsa sjóvarfall:** Mátingin skal lýsa, hvussu langt inn á fjørðin sjóvarfallsrákið røkkur. Tað skal í mesta lagið vera ein tími millum hvørja sigling, og mátast skal í minst 12 tímar. Um tað ber til, skal mátast á sama stað, sum staðsettu mátingarnar. Miðast skal eftir, at mátingin skal gerast í einari harðari mysing. Í hesi mátingini er ikki eins nógv fokus á at lýsa rákið í øllum eftiransingarøkinum, sum tað er í samband við máting á fjørði, har rákið er sjóvarfallsdrivið. Høvuðsfokus er á at lýsa hvussu langt inn á fjørðin sjóvarfallsrákið røkkur. Neyðugt er ofta at samskifta við fólk, sum kenna streymviðurskiftini í økinum, fyri at velja hvar á fjørðinum mátingin skal leggjast. Til slíka máting kann vera eins gott við siglileiðum javnfjart við strandalinjuna, sum vinkulrætt á strandalinjuna.

**Streymmáting frá báti at lýsa fjarðarák:** Mátingarnar skulu lýsa fjarðarákið við tveimum ymiskum veðurlíkindum. Hvør máting verður skipað í skurðir tvørtur um fjørðin og ein skurð eftir longdini gjøgnum miðjuna á fjørðinum. Talið av skurðum verður tilpassað, til at mátingin kann gjøgnumførast eftir einum degi. Skurðirnir skulu eisini skipast soleiðis, at skurðirnir til hydrografimátingarnar ganga inn í mátiætlanina, umframt at mátað verður á sama stað, sum staðsettu mátingarnar, ið eru í gongd, samstundis sum streymmátingin frá báti fer fram. Ynskiligt er, at onnur mátingin verður gjørd í góðum veðrið við lítlum vindi, og hin mátingin tá veðrið kann væntast at ávirka fjarðarákið nógv, t.d. meðan fitt er av vindi inn eftir fjørðinum. Streymmátingin frá báti at lýsa sjóvarfallsrákið kann brúkast at leggja hesa mátingina til rættis, so sjóvarfallið ávirkar fjarðarákið minst móguligt.

**Hydrografi:** Einaferð um mánaðin í minst 1 ár verða hydrografiskar mátingar gjørdar í eftiransingarøkinum. Mátingarnar vera gjørdar sum loddrættar profil mátingar av salt, hita og oxygen á útvaldum støðum á fjørðinum. Støðini verða lögð soleiðis, at til ber at tekna profilar úteftir fjørðinum og tvørturum fjørðin. Hetta skal vera í samsvar við streymmátingarnar frá báti at lýsa fjarðarák.

### 6.4.3 Gáttafjørður við vanda fyri avlæstum botnlag

Umframt mátingarnar omanfyri skulu streymmátingar gerast niðri við botn í djúpasta staðinum, og iltinnihaldið í sjónum niðri við botn og í miðjum sjógvi skal mátast. Mátast skal frá 15. apríl til 1. oktober í tvey ár á rað. Veðurdáta skulu greinast fyri at lýsa hvussu veðurstøðan í mátitíðarskeiðnum er í mun til eitt miðal ár. Hydrografimátingarnar omanfyri skulu leggjast soleiðis til rættis, at tær umfata minst eitt av mátitíðarskeiðunum við staðsettum streymmátingum. Best er um hydrografimátingarnar fevna um báðar summarhálvurnar og tíðina harímillum.

### 6.4.4 Fjørður har móguleiki er fyri aldurespensión

Aldumáting verður framd á einum stað, sum er umboðandi fyri so stóran part av aliøkinum sum gjørligt. Mátingin skal fevna um minst eitt ár, soleiðis at ein rímlig umboðan av ymiskum veðurhendingum er við. Mátast skal minst einaferð um tíman.

### 6.4.5 Sett upp í talvu

Í talvu 6.1 sæst eitt yvirlit yvir tilmæltu mátingarnar eins og lýst í pørtunum 6.4.1 - 6.4.4.

## 6.5 Frágreiðingar

Hvør máting skal hava stutta datafrágreiðing (t.d. sum ASAF frágreiðinginarnar Larsen et al. [2013]), sum á stuttan og greiðan hátt geva yvirlit yvir mátingarnar. Tá mátingarnar eru lidnar, skal ein frágreiðing gerast, sum út frá mátingunum lýsir fjørðin við atliti at umhvørvisstyrkini.

Talva 6.1: Tilmældu mátingarnar vistar í talvu.

Mátingar	Sjóvarfallsdrivin fjørður	Ikki sjóvarfallsdrivin fjørður
Streymmátning á aliøkinum (2-3stk)	x	x
Streymmátning frá báti at lýsa sjóvarfall	x	x
Vatnstøðumátning	x	x
Streymmátning aðrastaðni á fjørðinum		x
Streymmátning við botn		Saman við streymprofilmátarum
Streymmátning ovast í sjónum		Saman við streymprofilmátarum um dýpið er meiri enn 40m
Hydrografimátning mánaðarlaga		x
Streymmátning frá báti at lýsa fjarðarák		x
<b>Gáttafjørður</b>		
Streymmátning við botn		Á djúpasta stað
Mátning av oxygen í sjónum við botn og í miðjum sjógvi		Á djúpasta stað
<b>Fjørður við havaldu sum ger botnstress hægri enn 0.05N/m<sup>2</sup></b>		
Aldumátning á øki sum er umboðandi fyri aliøki	x	x

### 6.5.1 Frágreiðing frá staðsettari streymmátning

Um fleiri mátingar eru gjørðar saman, t.d. streymmátning við botn, streymprofilmátning og streymmátning ovarlaga í sjónum, skulu tær lýsast saman, helst sum um tær vóru ymisk dýpir í somu profilu. Frágreiðingin skal lýsa hvussu mátingarnar vórðu gjørðar, og úrslitini skulu lýsast við í øllum førum

- Minstu streymferð og rætning, miðal og mestu streymferð og rætning
- Tíðarseriú av streymferð og rætning fyri øll mátaðu dýpini
- Streymrósu fyri útvald dýpir
- PVD – plot (Progressive vector diagram) fyri øll dýpini
- Tíðarseriú samanbering millum streym og vind
- Talvu, sum vísir hvussu stóran part av tíðini streymferðin er omanfyri ávís virði, t.d. 5, 10, 15, 20 og 25 cm/s
- Talvu, sum vísir hvussu stóran part av tíðini streymferðin er niðanfyri ávís virði, t.d. 5, 10, 15, 20 og 25 cm/s
- Harmonisk greining, sum vísir hvussu stóra ávirkan ymsu sjóvarfallsconstituentarnir hava á rákið.
- Um mátingin er botnmonterað og vatnstøða er mátað, skal hendan eisini lýsast við tíðarseriú og harmoniskari greining.

### 6.5.2 Frágreiðing frá streymmátning frá báti at lýsa sjóvarfall

Frágreiðingin skal lýsa hvussu mátingin var gjørð, og úrslitini skulu lýsast við í øllum førum

- Kort við vektorplot av rákinum, miðal yvir dýpið, fyri hvørja sigling.
- Tíðarseriúplot fyri útvald støð
- Polarplot fyri somu støð
- Vindferð og rætning frá nærmastu veðurstøð fyri máttíðarskeiðið

### 6.5.3 Frágreiðing frá streymmátning frá báti at lýsa fjarðarák

Frágreiðingin skal lýsa hvussu mátingin var gjørð, og úrslitini skulu lýsast við í øllum førum

- Contourplot av rákinum vinkulrætt á einstøku skurðarnar ella eftir longdarásinum av fjørðinum, við vektorplottum á, sum vísa sekunderstreymarnar.
- Kort við vektorplot í trimum útvaldum dýpum, antin einkultbin ella miðal av 2-3 binnum

- Vindferð og rætning frá nærmastu veðurstøð fyri máttíðarskeiðið

#### 6.5.4 Frágreiðing frá aldumáting

Frágreiðingin skal lýsa hvussu mátingin var gjørd, og úrslitini skulu lýsast við í øllum førum

- Tíðarseriu av  $H_{m0}$ ,  $H_{max}$ ,  $T_p$ ,  $T_z$  og  $Dir_p$
- Aldurósu
- $T_p$  og  $T_z$  í mun til  $H_{m0}$
- Tíðarseriu samanbering millum aldu og vind
- Samanbering av alduhædd fyri ymsar rætningar og aldutíðir við passandi mátarar hjá Landsverk á landgrunninum
- Tíðarseriu av roknaðum botnstress frá líkning 4.8
- Langtíðar statistik út frá máting á landgrunninum við m.a. longstu tíð uttan resuspensión

#### 6.5.5 Frágreiðing frá hydrografimáting

Frágreiðingin skal lýsa hvussu mátingin var gjørd, og úrslitini skulu lýsast við í øllum førum

- Korti, ið vísir hvar støðirnar eru
- Profilum við hita, salti og tættleika frá øllum støðum
- Contourplotti við hita, salti og tættleika frá øllum skurðum
- TS-diagrammi frá øllum støðum

#### 6.5.6 Frágreiðing frá oxygenmáting

Frágreiðingin skal lýsa hvussu mátingin var gjørd, og úrslitini skulu lýsast við í øllum førum

- Korti, ið vísir hvar mátingin er gjørd
- Kontourplott, ið lýsa oxygen nøgdina og hitan yvir tíð
- strikumyndir, ið lýsa oxygen nøgdina í miðjum sjógvi og niðri við botn
- strikumyndir, ið lýsa hitan í miðjum sjógvi og niðri við botn
- strikumyndir, ið lýsa sambandi millum oxygen, hita og veðurfyribrygdi

#### 6.5.7 Endalig frágreiðing

Í endaligu frágreiðingini verður tikið samanum allar mátingarnar, sum eru lýstar í hvør síni máttíðarskeiði, og fjørðurin í síni heild verður lýstur í mun til umhvørvisstyrkina.

### 6.6 Frameffir

Í framtíðini verður mælt til at gera, sum verður alt meiri vanligt í londunum rundanum okkum, at fara til 3D myndlan av rákinum, og at brúka slík úrslit at meta um umhvørvisstyrkina á firðunum og til umhvørvisansingina sum heild framm um streymmátningar. Í Føroyum er afturat rákmyndlum eisini neyðugt við aldumyndlum, eftirsum aldurørslurnar hava somikið stóra ávirkan á havbotnin í Føroyum. Mátingarnar í hesum tilmælinum eru eitt avbera gott datasett til eftirkanning av úrslitum frá myndlunum og til møguliga rætting av myndlunum.


Tørvur er á gransking, áðrenn amboð eru klár til hetta. Verkætlanir eru í gongd á Fiskaaling og á Fróðskaparsetrinum við 3D myndlan av ráki. Tá hesar eru komnar nakað longur ávegis, er vitan klár um, hvør myndil er bestur at brúka til føroysk viðurskifti. Tørvur er eisini á gransking fyri at fáa betur vindmyndlan fyri Føroyar og betur vitan um regn og vatn í áunum til at dríva 3D myndil av rákinum.

Ein einkultur aldumyndil er settur upp á Fróðskaparsetri Føroya, sum verður útbygdu til at kunna brúkast sum uppslagsverk við input frá aldumátarunum runt Føroyar. Hetta er eitt gott fyrsta boð uppá aldumyndil, serliga um ein rætting er gjørd út frá aldumáting tætt við, har tað skal nýtast. Flestu støð á alifirðum í Føroyum eru í størri ella minni mun merkt av reflekteraðum

aldum. Um aldumyndil skal fáast til vega, sum tekur hædd fyri aldurefleksjónum, verður neyðugt at fáa góð data um hall á lendinum fram við sjóvarmálanum, bæði undir og yvir sjóvarmálanum. Til hetta krevst t.d. máting fram við landi við multibeam ekkoloddið.

Um hendan vitanin fæst til vega, er gott grundarlag at arbeiða við bæði myndlum og mátingum, og ein meiri fullfíggað umhvørviseftiransing kann gjøgnumførast.





## 7. Framdar streym- og aldumátingar

Í hesum kapittli verður innihaldið í yvirlitinum av longu framdum streym- og aldumátingum lýst, hvat slag av mátingum eru við í yvirlitinum og eisini hvørjir stovnar og feløg hava latið upplýsingar um mátingar.

Sjálvt yvirlitið yvir mátingar er at finna í fylgiskjali B og verður eisini handa Umhvørvisstovuni talgilt.

### 7.1 Dataveitarar

Nógvar mátingar - serliga av streymi - eru longu gjørdar í fleiri firðum og úti á Landgrunninum og fleiri av hesum lúka krøvini, sum eru sett til mátingar í tilmælinum. Ein partur av hesum mátingum eru tókar hjá almenninginum, har eitt nú eldri streymmátingar hjá Havstovuni eru at finna á [www.envofar.fo](http://www.envofar.fo). Í yvirlitinum yvir streym- og aldumátingar hava vit tikið so nógvar mátingar við sum gjørligt og eru hettar mátingar sum Havstovan, Náttúruvísindadeildin, Fiskaaling og ÍVF RAO hava framt. Harumframt hava alifeløgini, Biofar og Landsverk gjørt mátingar, sum helst kunnu brúkast í eftiransing av firðunum, men eru hesar ikki við í yvirlitinum.

### 7.2 Sløg av data

Í yvirlitinum eru ymisk sløg av streym- og aldumátingum, sum longu eru útgreinað í kapitul 5. Her verður greitt frá hvørjar upplýsingar eru tiknar við í yvirlitið. Umframt hesar streym- og aldumátingar finnast eisini aðrar mátingar, sum ikki eru við í yvirlitinum. Í parti 7.2.3 eru nøkur dømi um hvørjar aðrar mátingar finnast, ið kunnu brúkast í umhvørviseftiransan av firðunum ella í samband við myndlan.

Yvirlitið, ið er á enskum máli, byrjar við eini innleiðing, sum lýsir innihaldið í listanum. Fyri allar mátingar er uppgivið eitt eintýðugt navn (Id-code) fyri mátingina, eins og knattstøða, botndýpi á staðnum, slag av tóli, slag av máting, mátitíðarskeið v.m. Fýra tær síðstu kolonurnar lýsa hvar mátingarnar eru goymdar, hvør gevur atgongd til mátingarnar, hvør hevur eftirkanna góðskuna á mátingunum og hvørt mátingin lýkur krøvini í tilmælinum. Vit hava valt eisini at taka mátingar við, sum ikki lúka krøvini í tilmælinum, tí hesi data kunnu verða gagnlig til eitt nú at eftirkanna myndlar ella til at taka støðu um hvar nýggjar mátingar skulu gerast.

### 7.2.1 Streymmátingar á fastari knattstøðu

Tær flestu mátingarnar eru streymmátingar á fastari knattstøðu. Her er talan um bæði punktmáttarar og profilmáttarar. Upplýst er hvørjir parametrar verða mátaðir og tíðarbil millum mátingarnar. Fyri profilmáttarar verður upplýst hvønn veg máttarin vendir, tvs. um mátað verður upp ella niður gjøgnum sjógvin, eins og upplýst er hvussu nógv lög (bins) eru og hvussu høg tey eru.

### 7.2.2 Aldumátingar

Flestu aldumátingar í yvirlitinum eru gjørdar við botnmonteraðum streymprofilmáttarum. Í einstøkum førum er máttarin monteraður i einum floti so at máttarin er eini 15-20 m undir vatnsskorpuni. Einstakar aldumátingar eru gjørdar við aldubøyu.

Trýstmáttarar kunnu eisini geva upplýsingar um alduviðurskiftini, men av tí at teir einans lýsa alduhædd og ikki rætning, umframt at teir ofta vera monteraðir soleiðis at teir ikki lýsa alduhæddina eru teir ikki við í yvirlitinum.

### 7.2.3 Aðrar mátingar

Mælt verður til at gera streymmátingar frá báti á øllum firðum, men hesar mátingar eru ikki við í yvirlitinum. Eini 20 tílíkar mátingar eru gjørdar í Føroyum í samband við ymiskar uppgávur fyri føroysk feløg. Flestu mátingarnar eru gjørdar við endamáli at lýsa sjóvarfallið og tvær eru gjørdar fyri at lýsa fjarðarák. Byrja var at gera tílíkar mátingar fyri uml. 7 árum síðan. Tær flestu eru gjørdar á Fiskaaling umframt at sp/f Rák hevur gjørt nakrar.



## 8. Dømi

Sum nú er, er einki einstakt eftiransingarøki, har allar mátingarnar í tilmælinum eru gjørdar. Tó eru øll sløg av mátingum framd í samband við ymiskar uppgávur fyri alifeløgini. Fleiri staðsettar streymmátningar, sum lúka krøvini, eru gjørdar á flestu eftiransingarøkjum og aldumátningar eru gjørdar á flestu alifirðum í minst tveir mánaðir.

Í verkætlanini "ASAF - Alda og streymur á føroysku alifirðunum" eru tvær streymmátningar og ein aldumátning framd á flestu eftiransingarøkjum. Dømi um frágreiðingar frá streym- og aldumátningum eru Larsen et al. [2013] og Simonsen and Patursson [2013a].

Sambært tilmælinum skal aldumátning gerast á aliøkinum í eitt ár, um tað kann væntast, at alda endurfloytir tilfar frá botni og at árinini á botnin undir alibrúkinum sostatt eru minkað. Tvey av nýggjaru aliøkjnum hava so langar aldumátningar.

Streymmátningar frá báti at lýsa sjóvarfall eru gjørdar á nøkrum eftiransingarøkjum, og á einstøkum gáttarfirðum eru hydrografimátningar gjørdar saman við langtíðar hita- og oxygenmátningunum á ymiskum dýpum í sjónum, samstundis sum streymmátningar eru gjørdar.

Sambært tilmælinum skal aldumátning gerast á aliøkinum í eitt ár, um tað kann væntast, at tilfar frá botni verður endurfloymt og sostatt minka um árinini á botni undir alibrúkinum.

### 8.1 Sørvágsfjørður sum dømi

Dømi um ein fjørð, har meginparturin av tilmæltu mátingunum eru gjørdar, er Sørvágsfjørður (Talva 8.1). Tvær staðsettar streymmátningar og ein aldumátning vóru gjørdar uttarlaga á aliøkinum í 2010 og 2011 [Larsen et al., 2010a,b, Simonsen and Patursson, 2013b]. Mátingarnar vísa, at fjørðurin ikki er sjóvarfallsdrivin sambært ásetanini í parti 6.2.2.

Rákið var eisini nágreiniliga kannað í samband við kanningar av lúsayngli [Norði and Patursson, 2017]. Kanningar, sum vóru gjørdar, eru

- Staðsett streymprofilmátning mitt á aliøkinum saman við staðsettari streymmátning ovast í sjónum og langtíðar hitamátningum á ymiskum dýpum [Simonsen et al., 2017]
- Streymmátning frá báti, ið lýsir sjóvarfallið uttarlaga á fjørðinum [Patursson and Norði, 2017]
- Tvær streymmátningar frá báti, ið lýsa fjarðarák, tá vindurin lá ávikavist inn eftir og út eftir fjørðinum [Patursson et al., 2017]
- Hydrografiskar mátingar vóru gjørdar í samband við streymmátningarnar frá báti, ið lýsa fjarðarák, og í samband við kanningar av lúsayngli [Patursson et al., 2017, Norði et al.,

Talva 8.1: Dømi um fjørð, har flestu av tilmæltu mátingunum eru framdar.

Mátingar	Ikki sjóvarfallsdrivin fjørður	Mátingar á Sørvágsfirði	Frágreiðing tøk
Streymmátning á aliøkinum (2-3stk)	x	x	x
Streymmátning frá báti at lýsa sjóvarfall	x	x	x
Vatnstøðumátning	x	x	
Streymmátning aðrastaðni á fjørðinum	x	x	x
Streymmátning við botn	Saman við streymprofilmátarum		
Streymmátning ovast í sjónum	Saman við streymprofilmátarum um dýpið er meiri enn 40m		
Hydrografimátning mánaðarlíga	x	x	x
Streymmátning frá báti at lýsa fjarðarák	x	x	x
<b>Gáttafjørður</b>			
Streymmátning við botn	Á djúpasta stað		
Mátning av oxygen í sjónum við botn og í miðjum sjógvi	Á djúpasta stað		
<b>Fjørður við havaldu sum ger botnstress hægri enn 0.05N/m<sup>2</sup></b>			
Aldumátning á øki sum er umboðandi fyri aliøki	x	x	x

2017]

Myndir frá mátingunum í Sørvági kunnu síggjast í verkstovuframløguni hjá Øystein Patursson (Fylgiskjal A.2.7).

Aliøkið á Sørvágsfirði er størri enn 2 km, og sambært tilmælinum skulu staðsettar streymmátningar gerast innast, uttast og mitt á aliøkinum. Harumframt skulu tvær staðsettar streymmátningar gerast uttanfyri aliøki.

Sostatt manglar ein streymmátning innast á aliøkinum, umframt tvær staðsettar streymmátningar uttanfyri aliøki, fyri at fylgja ásetingunum um streymmátningar í tilmælinum. Aldumátningin á Sørvágsfirði vardi í 4 mánaðir, og er sostatt styttri enn tilmælt.





## Heimildir

- O. B. Andersen. Ocean tides in the northern north atlantic and adjacent seas from ers 1 altimetry. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 99(C11):22557–22573, 1994. doi: 10.1029/94JC01433. URL <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/94JC01433>.
- O. B. Andersen and P. Knudsen. Multi-satellite ocean tide modelling—the k1 constituent. *Progress in Oceanography*, 40(1):197 – 216, 1997. ISSN 0079-6611. doi: [https://doi.org/10.1016/S0079-6611\(98\)00002-0](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(98)00002-0). URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079661198000020>. Tidal Science In Honour of David E. Cartwright.
- ASC. Asc salmon standard. Technical Report Ver. 1.0, Aquaculture Stewardship Council, Utrecht, Nederland, 2012. URL [www.asc-aqua.org](http://www.asc-aqua.org).
- J. Aure and A. Stigebrandt. Quantitative estimates of the eutrophication effects of fish farming on fjords. *Aquaculture*, 90(2):135 – 156, 1990. ISSN 0044-8486. doi: [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(90\)90337-M](https://doi.org/10.1016/0044-8486(90)90337-M). URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/004484869090337M>.
- R. Bannister, J., Ingrid A. Johnsen, P. K. Hansen, T. Kutti, and L. Asplin. Near- and far-field dispersal modelling of organic waste from Atlantic salmon aquaculture in fjord systems. *ICES Journal of Marine Science*, 73(9):2408–2419, 03 2016. ISSN 1054-3139. doi: 10.1093/icesjms/fsw027. URL <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw027>.
- A. M. Baptista, Y. Zhang, A. Chawla, M. Zulauf, C. Seaton, E. P. Myers III, J. Kindle, M., M. Burla, and P. J. Turner. A cross-scale model for 3d baroclinic circulation in estuary–plume–shelf systems: Ii. application to the columbia river. *Continental Shelf Research*, 25(7):935 – 972, 2005. ISSN 0278-4343. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2004.12.003>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278434304003164>. Recent Developments in Physical Oceanographic Modelling: Part II.
- F. Barbariol, J.-R. Bidlot, L. Cavaleri, M. Scavo, J. Thomson, and A. Benetazzo. Maximum wave heights from global model reanalysis. *Progress in Oceanography*, 175:139 – 160, 2019. ISSN 0079-6611. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2019.03.009>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079661118302763>.

- J. Becherer, G. Floser, L. Umlauf, and H. Burchard. Estuarine circulation versus tidal pumping: Sediment transport in a well-mixed tidal inlet. *JGRO*, 121:6251–6270, 2016. doi: 10.1002/2016JC011640.
- K. D. Black, T. Carpenter, A. Berkeley, K. Black, and C. Amos. Refining sea-bed process models for aquaculture. new depomod. Technical Report SAM/004/12, SAMS, 2016. URL [www.sams.ac.uk/science/projects/depomod/](http://www.sams.ac.uk/science/projects/depomod/).
- R. Bleck and D. Boudra. Initial testing of numerical ocean circulation model using a hybrid (quasi-isopycnic) vertical coordinate. *Journal of Physical Oceanography*, 11:755–770, 1981.
- R. Bleck and L. T. Smith. A wind-driven isopycnic coordinate model of the north and equatorial atlantic ocean: 1. model development and supporting experiments. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 95(C3):3273–3285, 1990. doi: 10.1029/JC095iC03p03273. URL <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/JC095iC03p03273>.
- O. J. Broch, I. H. Ellingsen, S. Forbord, X. Wang, Z. Volent, and M. Alver. Modelling the cultivation and bioremediation potential of the kelp *saccharina latissima* in close proximity to an exposed salmon farm in norway. *Aquaculture Environment Interactions*, 4:187–206, 2013. doi: 10.3354/aei00080.
- O. J. Broch, R. L. Daae, I. H. Ellingsen, R. Nepstad, E. A. Bendiksen, J. L. Reed, and G. Senneset. Spatiotemporal dispersal and deposition of fish farm wastes: A model study from central norway. *Frontal Marine Science*, 4(199), 2017. doi: 10.3389/fmars.2017.00199.
- O. J. Broch, P. Klebert, F. Michelsen, and M. Alver. Modelling cage effects on the transport of effluents from open aquaculture systems. *Subm.*, 2019.
- M. Browne, D. Strauss, B. Castelle, M. Blumenstein, R. Tomlinson, and C. Lane. Empirical estimation of nearshore waves from a global deep-water wave model. *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE*, 3:462 – 466, 11 2006. doi: 10.1109/LGRS.2006.876225.
- H. Burchard and R. D. Hetland. Quantifying the contributions of tidal straining and gravitational circulation to residual circulation in periodically stratified tidal estuaries. *Journal of Physical Oceanography*, 40:1243–1262, 2010. doi: 10.1175/2010JPO4270.1.
- H. Burchard, K. Bolding, R. Feistel, U. Gräwe, K. Klingbeil, P. MacCready, V. Mohrholz, L. Umlauf, and E. M. van der Lee. The knudsen theorem and the total exchange flow analysis framework applied to the baltic sea. *Progress in Oceanography*, 165:268 – 286, 2018. ISSN 0079-6611. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2018.04.004>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079661117303774>.
- D. Carroll, D. A. Sutherland, E. L. Shroyer, J. D. Nash, G. A. Catania, and L. A. Stearns. Subglacial discharge-driven renewal of tidewater glacier fjords. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 122, 2017. doi: doi:10.1002/2017JC012962.
- C. Chen, R. C. Beardsley, and G. Cowles. An unstructured grid, finite-volume coastal ocean model (fvcom) system. *Oceanography*, 19, March 2006. URL <https://doi.org/10.5670/oceanog.2006.92>.
- P. Cheng, R. Wilson, R. J. Chant, D. C. Fugate, and R. D. Flood. Modeling influence of stratification on lateral circulation in a stratified estuary. *Journal of Physical Oceanography*, 39:2324–2337, 2009. doi: 10.1175/2009JPO4157.1.



- P. Cheng, E. de Swart, and A. Valle-Levinson. Role of asymmetric tidal mixing in the subtidal dynamics of narrow estuaries. *JGR*, 118:2623–2639, 2013. doi: 10.1002/jgrc.20189.
- C. J. Cromey, T. D. Nickell, and K. D. Black. Depomod - modelling the deposition and biological effects of waste solids from marine cage farms. *Aquaculture*, 214:211–239, 2002a.
- C. J. Cromey, T. D. Nickell, and K. D. Black. Validation of a fish farm waste resuspension model by use of a particulate tracer discharged from a point source in a coastal environment. *Estuaries*, 25(5):916–929, 2002b.
- T. Dabrowski, K. Lyons, G. Casal, and G.D. Nolan. Ocean modelling for aquaculture and fisheries in irish waters. *Ocean Science*, 12:101–116, 2017. doi: 10.5194/os-12-101-2016.
- R. W. Dudley, V. G. Panchang, and C. R. Newell. Application of a comprehensive modeling strategy for the management of net-pen aquaculture waste transport. *Aquaculture*, 187:319–349, 2000.
- I. Ellingsen, D. Slagstad, and A. Sundfjord. Modification of water masses in the barents sea and its coupling to ice dynamics: a model study. *Ocean Dynamics*, 59:1095–1108, 2009. doi: 10.1007/s10236-009-0230-5.
- S.V. Erenbjerg, J. Albretsen, Lars Asplin, Erna Joensen, A.D. Sandvik, K. Simonsen, and E. Kaas. Implementation and validation of a current model system in the greatest sound in the north east atlantic archipelago of the faroe islands. In *EGU Conference 2017*, 2017. doi: 10.13140/RG.2.2.34062.15681.
- A. Ervik, P. K. Hansen, J. Aure, A. Stigebrandt, P. Johannessen, and T. Jahnsen. Regulating the local environmental impact of intensive marine fish farming i. the concept of the mom system (modelling-ongrowing fish farms-monitoring). *Aquaculture*, 158(1):85 – 94, 1997. ISSN 0044-8486. doi: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00186-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00186-5). URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848697001865>.
- B. Fjallstein. Newdepomod modelling of aquaculture sites in faroese fjords, 2019.
- R.G. Flather. A tidal model of the north-west european continental shelf. *Mem. Soc. R. Sci. Liege*, 10:141–164, 1976.
- Oliver B. Fringer, Clint N. Dawson, Ruoying He, David K. Ralston, and Y. Joseph Zhang. The future of coastal and estuarine modeling: Findings from a workshop. *Ocean Modelling*, 143:101458, 2019. ISSN 1463-5003. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2019.101458>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1463500319301015>.
- E. Gaard, G. á Norði, and K. Simonsen. Environmental effects on phytoplankton production in a Northeast Atlantic fjord, Faroe Islands. *Journal of Plankton Research*, 33(6):947–959, 12 2010. ISSN 0142-7873. doi: 10.1093/plankt/fbq156. URL <https://doi.org/10.1093/plankt/fbq156>.
- W. R. Geyer and G. A. Cannon. Sill processes related to deep water renewal in a fjord. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 87(C10):7985–7996, 1982. doi: 10.1029/JC087iC10p07985. URL <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/JC087iC10p07985>.
- W. R. Geyer and P. MacCready. The estuarine circulation. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 46:175–197, 2014.

- W. Rockwell Geyer and Richard P. Signell. A reassessment of the role of tidal dispersion in estuaries and bays. *Estuaries*, 15(2):97–108, Jun 1992. ISSN 0160-8347. doi: 10.2307/1352684.
- B. Gjevik and T. Straume. Model simulations of the m2 and the k1 tide in the nordic seas and the arctic ocean. *Tellus A*, 41A(1):73–96, 1989. doi: 10.1111/j.1600-0870.1989.tb00367.x. URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1600-0870.1989.tb00367.x>.
- M.J. Gubbins, C. Greathead, T. Amundrud, P. Gillibrand, P. Tett, M. Inall, A. J. S. Hawkins, and I. M. Davies. Towards determination of the carrying capacity of scottish sea lochs for shellfish aquaculture. *ICES*, 2008/H:13:7, 2008. URL <http://www.ices.dk/sites/pub/CM%20Documents/CM-2008/H/H1308.pdf>.
- D.B. Haidvogel, H. Arango, W.P. Budgell, B.D. Cornuelle, E. Curchitser, E. Di Lorenzo, K. Fennel, W.R. Geyer, A.J. Hermann, L. Lanerolle, J. Levin, J.C. McWilliams, A.J. Miller, A.M. Moore, T.M. Powell, A.F. Shchepetkin, C.R. Sherwood, R.P. Signell, J.C. Warner, and J. Wilkin. Ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and skill assessment of the regional ocean modeling system. *Journal of Computational Physics*, 227(7):3595 – 3624, 2008. ISSN 0021-9991. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2007.06.016>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021999107002549>. Predicting weather, climate and extreme events.
- D. Hamoutene, F. Salvo, T. Bungay, G. Mabrouk, C. Couturier, A. Ratsimandresy, and S. C. Dufour. Assessment of finfish aquaculture effect on newfoundland epibenthic communities through video monitoring. *North American Journal of Aquaculture*, 77(2):117–127, 2015. doi: 10.1080/15222055.2014.976681.
- B. Hansen. *Rák og útskipting í ovaru löggunun á føroyskum firðunum*, pages 99–121. Number 6 in Fiskirannsóknir. Fiskirannsóknastovan, Tórshavn, Faroe Islands, 1990a.
- B. Hansen. *Oxygentrot og útskipting í botnvatninum á føroysku gáttarfirðum*, pages 188–256. Number 6 in Fiskirannsóknir. Fiskirannsóknastovan, Tórshavn, Faroe Islands, 1990b.
- B. Hansen, A. Kristiansen, and J. Reinert. *Fjarðakanningarnar*, 1990.
- D. V. Hansen and M. Rattray. New dimensions in estuary classification. *Limnology and Oceanography*, 11(3):319–326, 1966.
- P. K. Hansen, A. Ervik, M. Schaanning, P. Johannessen, J. Aure, T. Jahnsen, and A. Stigebrandt. Regulating the local environmental impact of intensive, marine fish farming: Ii. the monitoring programme of the mom system (modelling–ongrowing fish farms–monitoring). *Aquaculture*, 194(1):75 – 92, 2001. ISSN 0044-8486. doi: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00520-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00520-2). URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848600005202>.
- T. Hibyia and P. H. Leblond. The control of fjord circulation by fortnightly modulation of tidal mixing processes. *Journal of Physical Oceanography*, 23:2042–2052, 1993. doi: 10.1175/1520-0485(1993)023<2042:TCOFCE>2.0.CO;2.
- A. Hills, J. Spurway, S. Brown, and C. Cromey. Regulation and monitoring of marine cage fish farming in scotland. annex h: Methods for modelling in-feed anti-parasitics and benthic effects. Technical Report 2.3, Scottish Environment Protection Agency, 2005.

- A.n Hills, J. Spurway, S. Brown, and C. Cromey. Aquaculture modelling. regulatory modelling guidance for the aquaculture sector. Technical report, Scottish Environment Protection Agency, 2019.
- L. H. Holthuijsen. *Waves in Oceanic and Coastal Waters*. Cambridge University Press, 2007.
- K.G. Hughes and J. M. Klymak. Tidal conversion and dissipation at steep topography in a channel poleward of the critical latitude. *Journal of Physical Oceanography*, 49(5):1269–1291, 2019. doi: 10.1175/JPO-D-18-0132.1.
- V. Ivanov, A. Dale, and M. Inall. A high-resolution baroclinic model of loch linhe. In *Geophysical Research Abstracts*, volume 13, pages 2011–4461, EGU General Assembly 2011, 2011.
- D. A. Jay and J. D. Musiak. *Internal Tidal Asymmetry in Channel Flows: Origins and Consequences*, chapter 13, pages 211–249. American Geophysical Union (AGU), 2013. ISBN 9781118665220. doi: 10.1029/CE050p0211. URL <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/CE050p0211>.
- Z. Jiang, G. Wang, and J. Fang. Sediment resuspension mechanisms in aquaculture area, sanggou bay. *Journal of Environmental Science and Engineering A*, 3:295–302, 2012. ISSN 2162-5301. doi: 10.17265/2162-5298/2012.03.004. URL [www.davidpublisher.org/Public/uploads/Contribute/55263089075ad.pdf](http://www.davidpublisher.org/Public/uploads/Contribute/55263089075ad.pdf).
- I. A. Johnsen, Ø. Fiksen, A.D. Sandvik, and L. Asplin. Vertical salmon lice behaviour as a response to environmental conditions and its influence on regional dispersion in a fjord system. *Aquaculture Environment Interactions*, 5:127–141, 06 2014. doi: 10.3354/aei00098.
- A. Jönsson. Model studies of surface waves and sediment resuspension in the baltic sea, doctoral thesis. Technical report, Linköping University, 2005. URL <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:20699/FULLTEXT01.pdf>.
- J. W. Kamphuis. *Introduction to coastal engineering and management*. World Scientific, 2000.
- M. Knudsen. Ein hydrographischer lehrratz. *Ann. Hydrogr. Marit. Meteor.*, 28(7):316–320, 1900.
- T. J. Kragestein, K. Simonsen, A. W. Visser, and K. H. Andersen. Identifying salmon lice transmission characteristics between faroese salmon farms. *Aquaculture Environment Interactions*, 10:49–60, 2018.
- K. M. H. Larsen, E. Mortensen, Ø. Patursson, and K. Simonsen. Current measurements in sørvágsfjørður deployment sora1004. Technical report, Faroe Marine Research Institute, Havstovan nr.: 10-08, 2010a.
- K. M. H. Larsen, E. Mortensen, Ø. Patursson, and K. Simonsen. Current measurements in sørvágsfjørður deployment sorb1004. Technical report, Faroe Marine Research Institute, Havstovan nr.: 10-09, 2010b.
- K. M. H. Larsen, E. Mortensen, Ø. Patursson, and K. Simonsen. Current measurements in the asaf project deployment arfa1211. Technical report, Faroe Marine Research Institute, ASAF NR.: 13-03, 2013.
- Y. Li and M. Li. Wind-driven lateral circulation in a stratified estuary and its effects on the along-channel flow. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(C9):17, 2012. doi: 10.1029/2011JC007829.

- W.-C. Liu, W.-T. Chan, and C.-C. Young. Modeling fecal coliform contamination in a tidal danshuei river estuarine system. *Science of The Total Environment*, 502:632 – 640, 2015. ISSN 0048-9697. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.065>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969714013874>.
- D. R. Lynch, J.T.C. Ip, C. E. Naimie, and F. E. Werner. Comprehensive coastal circulation model with application to the gulf of maine. *Continental Shelf Research*, 16(7):875 – 906, 1996. ISSN 0278-4343. doi: [https://doi.org/10.1016/0278-4343\(95\)00028-3](https://doi.org/10.1016/0278-4343(95)00028-3). URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0278434395000283>.
- P. MacCready, W. R. Geyer, and H. Burchard. Estuarine exchange flow is related to mixing through the salinity variance budget. *Journal of Physical Oceanography*, 48(6):1375–1384, 2018. doi: 10.1175/JPO-D-17-0266.1. URL <https://doi.org/10.1175/JPO-D-17-0266.1>.
- P. Matte, Y. Secretan, and J. Morin. Drivers of residual and tidal flow variability in the st. lawrence fluvial estuary: Influence on tidal wave propagation. *Continental Shelf Research*, 174:158 – 173, 2019. ISSN 0278-4343. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2018.12.008>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278434318303650>.
- B. Le Mehaute and D. M. Hanes. *The Global coastal ocean : multiscale interdisciplinary processes*. Cambridge, Mass. :Harvard University Press, 2005.
- F. A. Michelsen, P. Klebert, O. J. Broch, and M. O. Alver. Impacts of fish farm structures with biomass on water currents: A case study from frøya. *Journal of Sea Research*, 154: 101806, 2019. ISSN 1385-1101. doi: <https://doi.org/10.1016/j.seares.2019.101806>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385110119300371>.
- H. Moe, A. Ommundsen, and B. Gjevik. A high resolution tidal model for the area around the lofoten islands, northern norway. *Continental Shelf Research*, 22(3):485 – 504, 2002. ISSN 0278-4343. doi: [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(01\)00078-4](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(01)00078-4). URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278434301000784>.
- D. Muhlestein, M. Rugbjerg, and V. Jacobsen. Bølgeatlas for færøerne. Technical report, Dansk Hydraulisk Institut, 1998. URL <https://www.dropbox.com/home/Alment/WaveDataFaroeIslands/Litterature?preview=WaveAtlas1998DHI.pdf>.
- M. S. Myksvoll, A. D. Sandvik, J. Albretsen, L. Asplin, I. A. Johnsen, Ø. Karlsen, N.M. Kristensen, A. Melsom, J. Skarðhamar, and B. Ådlandsvik. Evaluation of a national operational salmon lice monitoring system—from physics to fish. *PloS One*, 13(7), 2018. doi: 10.1371/journal.pone.0201338.
- A. D. Nguyen, H. H.G. Savenije, M. van der Wegen, and D. Roelvink. New analytical equation for dispersion in estuaries with a distinct ebb-flood channel system. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 79(1):7 – 16, 2008. ISSN 0272-7714. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2008.03.002>.
- B. A. Niclasen and K. Simonsen. Note on wave parameters from moored wave buoys. *Applied Ocean Research*, 29(4):231 – 238, 2007. ISSN 0141-1187. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apor.2008.01.003>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141118708000072>.
- B. A. Niclasen and K. Simonsen. Wave induced resuspension in fish farming areas of suðuroy: An introductory model based investigation. Technical Report 2009:03, Fróðskaparsetur Føroya, 2009. URL <dl.dropboxusercontent.com/s/rtsu2bb5svz3n31/NVDrit200904.pdf>.

- B. A. Niclasen and K. Simonsen. High resolution wave climate of the faroe islands. Technical report, University of the Faroe Islands, NVDrit 2012:03, 2016. URL <https://dl.dropboxusercontent.com/s/wvce8131j94ce4r/NVDrit201203.pdf>.
- N. J. Nidzieko. Tidal asymmetry in estuaries with mixed semidiurnal/diurnal tides. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 115(C8), 2010. doi: 10.1029/2009JC005864. URL <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2009JC005864>.
- P. Nielsen. *Coastal bottom boundary layers and sediment transport*. World Scientific Publishing, 1992.
- : Norsk-Standard. Ns 9415:2003. flytende oppdrettsanlegg. krav til lokalitetsundersøkelse, risikoanalyse, utforming, dimensjonering, utførelse, montering og drift. Technical report, Norsk Standard, 2003.
- : Norsk-Standard. Ns 9415:2009. flytende oppdrettsanlegg. krav til lokalitetsundersøkelse, risikoanalyse, utforming, dimensjonering, utførelse, montering og drift. Technical report, Norsk Standard, 2009.
- G. á Norði and Ø. Patursson. Útbreiðsla av lús á sørvágsfirði. Technical report, Aquaculture Research Station of the Faroes, Fiskaaling rit 2017:16, 2017.
- G. á Norði, Ø. Patursson, E. Danielsen, E. Joensen, and K. Simonsen. Lúsatrolingar á sørvágsfirði. Technical report, Aquaculture Research Station of the Faroes, Fiskaaling rit 2017:07, 2017.
- V. G. Panchang, G. Cheng, and C. Newell. Modelling hydrodynamics and aquaculture waste transport in coastal maine. *Estuaries*, 20:14–41, 1997.
- E. J Patursson, K. Simonsen, A. W. Visser, and Øy. Patursson. Effect of exposure on salmon lice *lepeophtheirus salmonis* population dynamics in faroese salmon farms. *Aquaculture Environment Interactions*, 9:33–43, 2017.
- Ø. Patursson and G. á Norði. Lýsing av hvussu sjóvarfallið ávirkar rákið á sørvágsfirði. streymmáting frá báti. Technical report, Aquaculture Research Station of the Faroes, Fiskaaling rit 2017:08, 2017.
- R. A. Quiñones, M. Fuentes, R. M. Montes, D. Soto, and J. León-Muñoz. Environmental issues in chilean salmon farming: a review. *Reviews in Aquaculture*, 11(2):375–402, 2019. doi: 10.1111/raq.12337. URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/raq.12337>.
- T.A.S Rasmussen, S.M. Olsen, B. Hansen, H. Hátún, and K.M.H Larsen. The faroe shelf circulation and its potential impact on the primary production. *Continental Shelf Research*, 88: 171–184, 2014.
- M. Rochford, D. Aleynik1, P. Gillibrand, and K. Black. The implementation of an fvcom driven hydrodynamic model coupled with newdepomod in scottish aquaculture. In *Proceedings of Aquaculture Europe*, October 2017.
- R. V. Schiller and V. H. Kourafalou. Modeling river plume dynamics with the hybrid coordinate ocean model. *Ocean Modelling*, 33(1):101 – 117, 2010. ISSN 1463-5003. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2009.12.005>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1463500309002261>.

- M. Scully, C. Friedrichs, and J. Brubaker. Control of estuarine stratification and mixing by wind-induced straining of the estuarine density field. *Estuaries*, 28:321–326, 06 2005. doi: 10.1007/BF02693915.
- M. E. Scully, W. R. Geyer, and J. H. Trowbridge. The influence of stratification and nonlocal turbulent production on estuarine turbulence: An assessment of turbulence closure with field observations. *Journal of Physical Oceanography*, 41(1):166–185, 2011. doi: 10.1175/2010JPO4470.1.
- A. F. Shchepetkin and J. C. McWilliams. The regional oceanic modeling system (roms): A split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model. *Ocean Modelling*, 9(4):347 – 404, 2005. ISSN 1463-5003. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2004.08.002>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1463500304000484>.
- W. Silvert. Assessing environmental impacts of finfish aquaculture in marine waters. *Aquaculture*, 107(1):67 – 79, 1992. ISSN 0044-8486. doi: [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90050-U](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90050-U). URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/004484869290050U>.
- K. Simonsen and E. Gislason. Streymald - ein teldutøk streym, aldu og dýpdarkunningarskipan fyri føroyar. Technical report, University of the Faroe Islands, NVDrit 2002:05, 2002.
- K. Simonsen and E. Joensen. Hvannasund n seinsummarið 2016. samandráttur av mátiátaki. Technical report, Aquaculture Research Station of the Faroes, Fiskaaling rit 2016:25, 2016.
- K. Simonsen and B. A. Niclasen. On the energy potential in the tidal streams on the faroe shelf. Technical report, University of the Faroe Islands, NVDrit 2011:01, 2011.
- K. Simonsen and Ø. Patursson. Aldumáting á Árnafirði (arfa1211), 20.11.2012 til 29.01.2013. Technical report, Aquaculture Research Station of the Faroes, Fiskaaling rit 2013:02, 2013a.
- K. Simonsen and Ø. Patursson. Aldumáting á sørvági (sorc1011), 02.11.2010 til 02.03.2011. Technical report, Aquaculture Research Station of the Faroes, Fiskaaling rit 2013:0X, 2013b.
- K. Simonsen, Ø. Patursson, and G. á Norði. Streym- og hitamáting á sørvágsfirði. feb.-mai, 2017 (sord1702). Technical report, Aquaculture Research Station of the Faroes, Fiskaaling rit 2017:09, 2017.
- K. Simonsen, E. Joensen, and S. V. Erenbjerg. Sundalagið - samandráttur av hydrografiskum mátingum árinum 2013-2017. Technical report, Aquaculture Research Station of the Faroes, Fiskaaling rit 2018:01, 2018.
- J. Skarðhamar and H. Svendsen. Circulation and shelf–ocean interaction off north norway. *Continental Shelf Research*, 1(25):541–1560, 2005. doi: 10.1016/j.csr.2005.04.007.
- D. Slagstad and T. A. McClimans. Modeling the ecosystem dynamics of the barents sea including the marginal ice zone: Physical and chemical oceanography. *Journal of Marine Systems*, 58: 1–18, 2005. doi: 10.1016/j.jmarsys.2005.05.005.
- D. Slagstad, K. Tande, and P. Wassman. Modelled carbon fluxes as validated by field data on the north norwegian shelf during the productive period in 1994. *Sarsia*, 84:303–317, 1999. doi: 10.1080/00364827.1999.104.20434.
- S. R. Stemsrud. Site surveys at norwegian aquaculture sites: Methodologies for wave estimation. Technical report, NTNU, Department of Marine Technology (Master-Thesis), 2018.



- P. Sterlini, H. de Vries, and C. Katsman. Sea surface height variability in the north east atlantic from satellite altimetry. *Climate Dynamics*, 47(3):1285–1302, Aug 2016. ISSN 1432-0894. doi: 10.1007/s00382-015-2901-x. URL <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2901-x>.
- A. Stigebrandt. Carrying capacity: general principles of model construction. *Aquaculture Research*, 42(s1):41–50, 2011. doi: 10.1111/j.1365-2109.2010.02674.x. URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2109.2010.02674.x>.
- A. Stigebrandt and J. Aure. Vertical mixing in basin waters of fjords. *Journal of Physical Oceanography*, 19(7):917–926, 1989. doi: 10.1175/1520-0485(1989)019<0917:VMIBWO>2.0.CO;2.
- A. Stigebrandt, J. Aure, A. Ervik, and P. K. Hansen. Regulating the local environmental impact of intensive marine fish farming: Iii. a model for estimation of the holding capacity in the modelling–ongrowing fish farm–monitoring system. *Aquaculture*, 234:239–261, 2004. doi: 10.1016/j.aquaculture.2003.11.029.
- K. Støle-Hansen and D. Slagstad. Simulation of currents, ice melting, and vertical mixing in the barents sea using a 3-d baroclinic model. *Polar Research*, 12(10), 1991. doi: 10.3402/polar.v10i1.6725.
- Waves Primer - Wave Measurements and the TRDI ADCP Waves Array Technique*. Teledyne RD Instruments, 2017. P/N 957-6279-00.
- Paul Tett, Enrique Portilla, Phillip A Gillibrand, and Mark Inall. Carrying and assimilative capacities: the acexr-lesv model for sea-loch aquaculture. *Aquaculture Research*, 42(s1): 51–67, 2011. doi: 10.1111/j.1365-2109.2010.02729.x. URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2109.2010.02729.x>.
- A. Tironi, V. Marin, and F. Campuzano. A management tool for assessing aquaculture environmental impacts in chilean patagonian fjords: Integrating hydrodynamic and pellets dispersion models. *Environmental management*, 45:953–62, 03 2010. doi: 10.1007/s00267-010-9467-5.
- M.J. Tucker and E.G. Pitt. *Waves in ocean engineering*. Elsevier ocean engineering book series, 2001.
- A. Valle-Levinson. *Classification of Estuarine Circulation*, volume 1, pages 75–86. Elsevier Inc., 2011. doi: 10.1016/B978-0-12-374711-2.00106-6.
- R. Vaquer-Sunyer and C. M. Duarte. Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(40):15452–15457, 2008. doi: 10.1073/pnas.0803833105.
- H. V. Wang, J. D. Loftis, Z. Liu, and D. Forrest. The storm surge and sub-grid inundation modeling in new york city during hurricane sandy. *Journal of Marine Science Engineering*, 2(1):226–246, 2014. doi: 10.3390/jmse2010226.
- T. Wang, W. R. Geyer, and P. MacCready. Total exchange flow, entrainment, and diffusive salt flux in estuaries. *Journal of Physical Oceanography*, 47:1205–1220, 2017. doi: 10.1175/JPO-D-16-0258.1.
- P. Wassmann, D. Slagstad, C. W. Riser, and M. Reigstad. Modelling the ecosystem dynamics of the barents sea including the marginal ice zone: 2. carbon flux and interannual variability. *Journal of Marine Systems*, 59:1–24, 2006. doi: 10.1016/j.jmarsys.2005.05.006.

- P. L. Wiberg and C. R. Sherwood. Calculating wave-generated bottom orbital velocities from surface-wave parameters. *Computers & Geosciences*, 34(10):1243 – 1262, 2008. ISSN 0098-3004. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2008.02.010>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S009830040800054X>. Predictive Modeling in Sediment Transport and Stratigraphy.
- N. G. Winther and G. Evensen. A hybrid coordinate ocean model for shelf sea simulation. *Ocean Modelling*, 13(3):221 – 237, 2006. ISSN 1463-5003. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2006.01.004>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1463500306000096>.
- H. Yokoyama, K. Abo, and Y. Ishihi. Quantifying aquaculture-derived organic matter in the sediment in and around a coastal fish farm using stable carbon and nitrogen isotope ratios. *Aquaculture*, 254:411–425, 2006.
- I. R. Young. *Wind generated ocean waves*. Elsevier, 2005.
- Y. Zhang and A. M. Baptista. Selfe: A semi-implicit eulerian–lagrangian finite-element model for cross-scale ocean circulation. *Ocean Modelling*, 21(3):71 – 96, 2008. ISSN 1463-5003. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2007.11.005>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1463500307001436>.
- Y. Zhang, A. M. Baptista, and E. P. Myers. A cross-scale model for 3d baroclinic circulation in estuary–plume–shelf systems: I. formulation and skill assessment. *Continental Shelf Research*, 24(18):2187 – 2214, 2004. ISSN 0278-4343. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2004.07.021>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278434304001712>. Recent Developments in Physical Oceanographic Modelling: Part I.
- G. á Norði, Øy. Patursson, and K. Simonsen. Verkætlan: Hvat reinsar botnin undir alibrúkum. Technical report, Fiskaaling P/F, Fiskaaling rit 2013-10, 2013.

**Fylgiskjøl**



## A. Verkstovan

Verkstovan var hildin hin 19. nov. 2019. 3 umboð fyri útlenskar stovnar, sum fáast við umhvørviseftiransing og umhvørvisgransking í samband við alivinnuna í Noreg og Skotlandi, vóru boðin við á verkstovuna. Fyrirpartin var tiltak fyri innbodnum gestum úr alivinnuni og við tilknýti til vinnuna, har framløgur og kjak var á skránni, og seinnapartin var ein arbeiðsfundur, har verkætlanarluttakararnir, umboð fyri Umhvørvisstovuna og útlensku gestirnir luttóku.

### A.1 Skráin fyri framløgupartin av verkstovuni


09.00	Welcome and introduction, Karin Margretha H. Larsen (Havstovan)
09.05	Aquaculture regulations in the Faroes today. Suni Petersen (Umhvørvisstovan)
09.20	Environmental modelling tools for aquaculture. Dr. Ole Anders Nøst (Aquaplan-NIVA, Trondheim)
09.40	An overview of Marine Scotland Science's aquaculture related work. Dr. Berit Rabe (Marine Scotland Science, Aberdeen)
10.00	Coffee-break
10.30	Regulating the Expanding Scottish Aquaculture Industry. Ted Schlicke (SEPA, Scotland – on-line presentation)
10.50	New Depomod modelling of aquaculture sites in Faroese fjords. Birna Fjallstein, (Biofar)
11.05	On a classification of the aquaculture fjords in the Faroe Islands. Knud Simonsen (Fróðskaparsetur Føroya)
11.20	Examples of measurements relevant for aquaculture fjord classification. Øystein Patursson (IVF RAO)
11.35	Discussion
12.00	Lunch
13.00	End

## A.2 Framløgur

Á fylgjandi síðunum eru framløgumyndirnar, sum vóru sýndar á verkstovuni í Kongshøll tann 19. nov. 2019.

### A.2.1 Súni Petersen: Aquaculture regulations in the Faroes today



  
umhvørvissstovan

## Environmental Regulation of Aquaculture in the Faroes


Workshop on aquaculture regulations  
19 November 2019

Suni Petersen, Umhvørvissstovan

1

## Locations

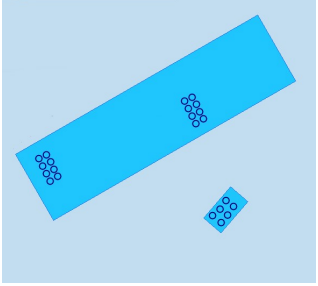
- Every Fjord and Sound Designated for Fish Farming
- Appr. 34 Sites
- Production appr. 70,000 T/yr
- One Company at Each Fjord



2

## Farming Sites

- Different Size
- 0,06 – 1,9 km<sup>2</sup>
- Change Location Within the Site



3

## Regulation

- Aquaculture - a Polluting Activity According to the Env. Protection Act
- Environmental Permit
  - Seabed Monitoring
  - Farming Plans Shall be Approved by EA

4

## Regulation

- Fish Farming Must be Environmental Sustainable
- Accept Some Pollution Near the Pens
- Polluted Areas Must Regenerate Before Next Stock
- No Maximal Allowed Biomass or Feeding
- No Monitoring of Medicine or Other Chemicals

5

## Seabed Monitoring

- At Pen Edges
- Inside and Outside Farming Sites
- Parameters
  - Zn
  - Cu
  - Organic Matter
  - pH/redox
  - Sensory (color, odor etc.)
- Macro fauna

6

## Simplified Categories

	Background	Warning	Limit
Un-polluted			
Some Pollution			
Polluted			
Heavily Polluted			

	Background	Warning	Limit
Cu (mg/kg)	39	170	270
Zn (mg/kg)	72	270	410
Organic (g/kg)	55	170	270

Warning Value ←

Limit Value ←

7

## Farming Plan

- Monitoring Results Shall be Basis for Farming Plans
- Acceptable → Continue
- Not Acceptable → Mitigating Action

8

## Mitigating Actions

- Stock Moved to an Other Part of the Site
- Reduce Stock
- Temporary Ban

9

Thank you

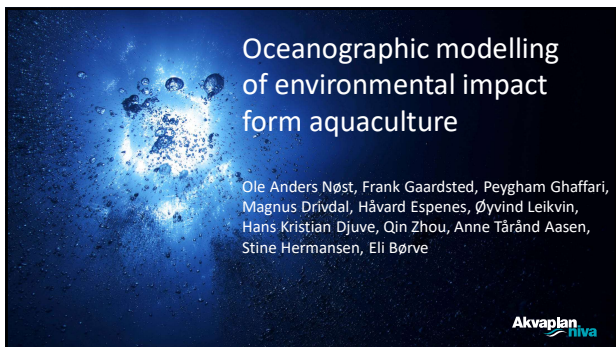
10

---

**A.2.2 Ole Anders Nøst: Environmental modelling tools for aquaculture**

# Oceanographic modelling of environmental impact from aquaculture

Ole Anders Nøst, Frank Gaardsted, Peygham Ghaffari, Magnus Drivdal, Håvard Espenes, Øyvind Leikvin, Hans Kristian Djuve, Qin Zhou, Anne Tårånd Aasen, Stine Hermansen, Eli Børve



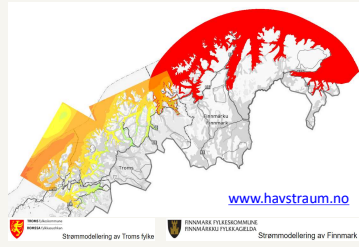
Akvaplan Niva

1

## Comparison of two model in Kvænangen, Troms

Domains of models run in Troms and Finnmark. They overlap in northern Troms.

The models are run with full tidal and atmospheric forcing.

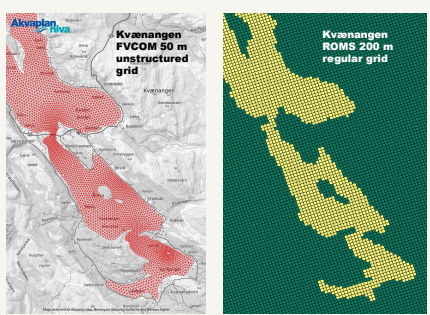


[www.havstraum.no](http://www.havstraum.no)

Strømmodellering av Troms fylke Finnmark fylkeskommune FINNMARKSUTVALGET

Strømmodellering av Finnmark fylke

2

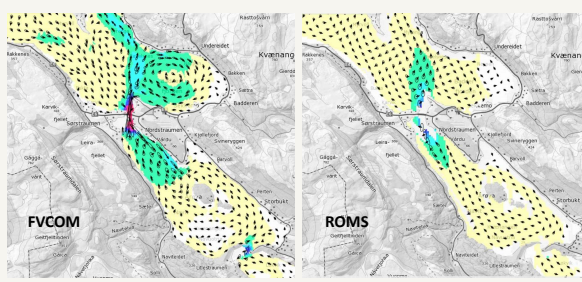


Kvænangen FVCOM 50 m unstructured grid

Kvænangen ROMS 200 m regular grid

Akvaplan Niva

3



FVCOM

ROMS

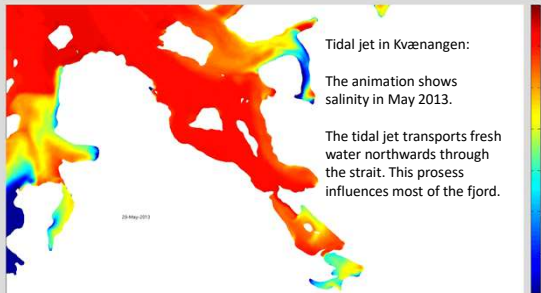
Akvaplan Niva

4

## Tidal jet in Kvænangen:

The animation shows salinity in May 2013.

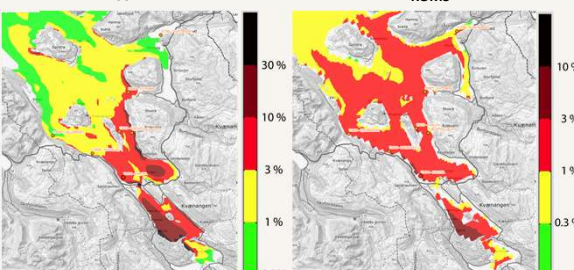
The tidal jet transports fresh water northwards through the strait. This process influences most of the fjord.



28 May 2013

5

## Spreading of salmon lice



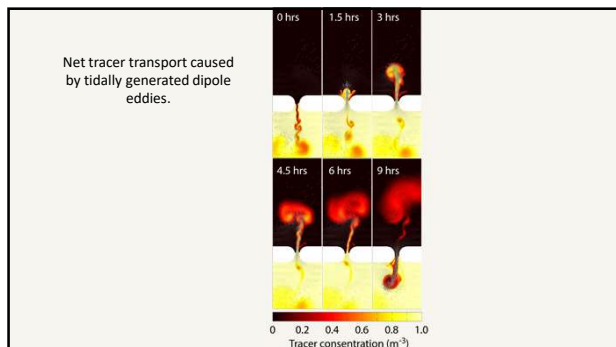
FVCOM

ROMS

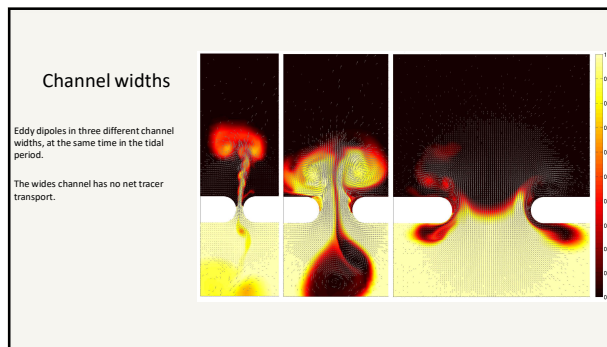
30% 10% 3% 1% 0.3%

10% 3% 1% 0.3% 0.1%

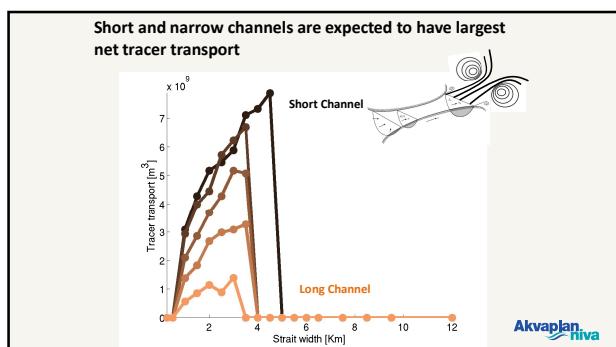
6



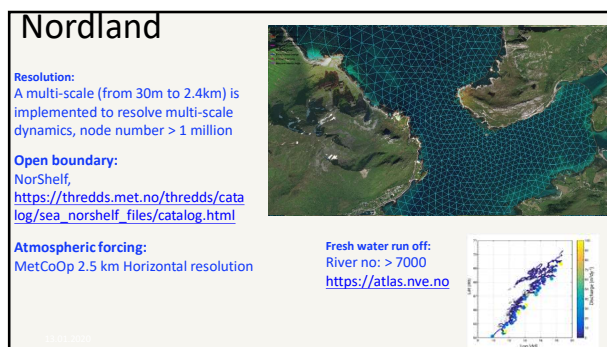
7



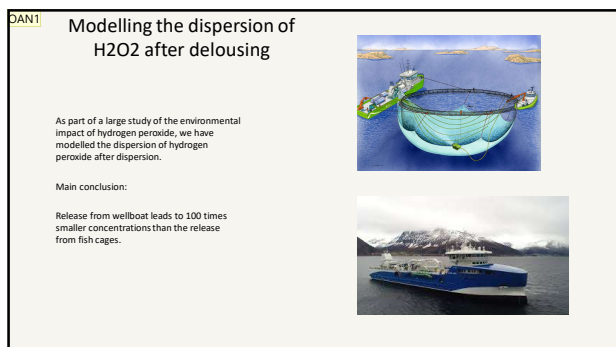
9



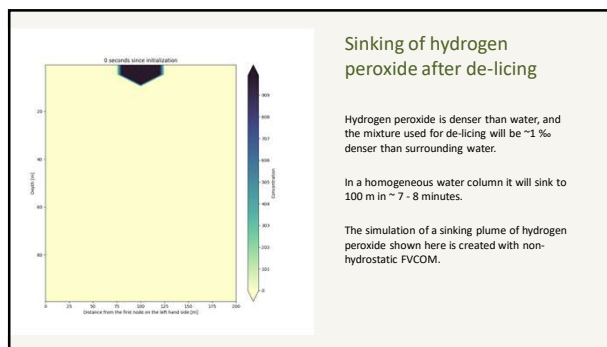
10



11



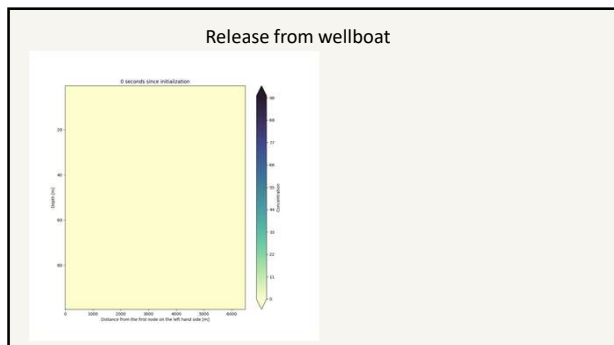
12



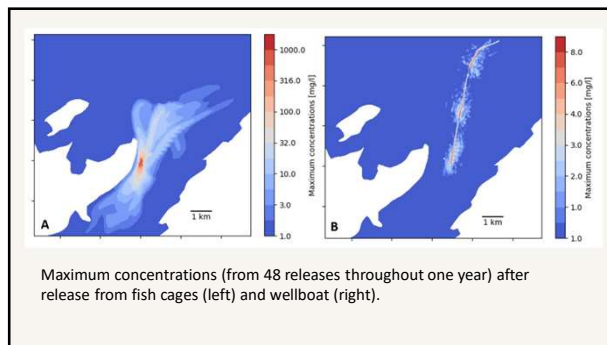
13







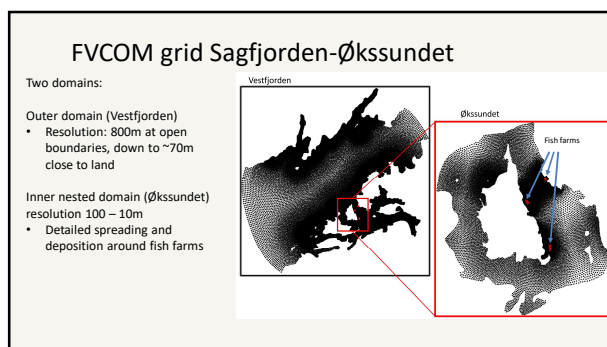
14



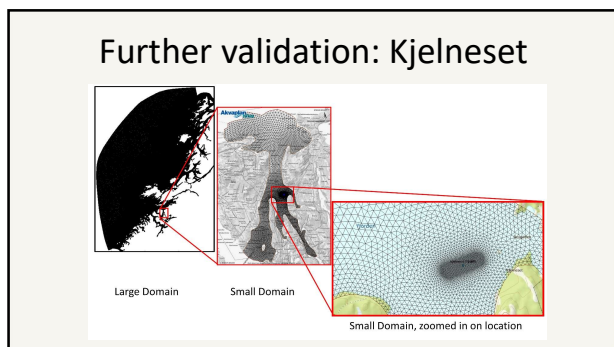
15

## Spreading and sedimentation of waste from fish farms

16



17



18

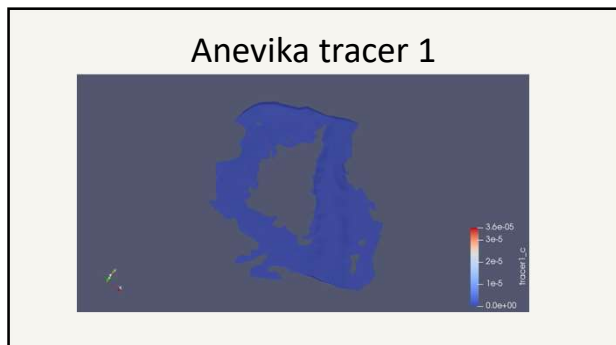
### Tracer types

8 tracers types with different sinking rates implemented in FABM

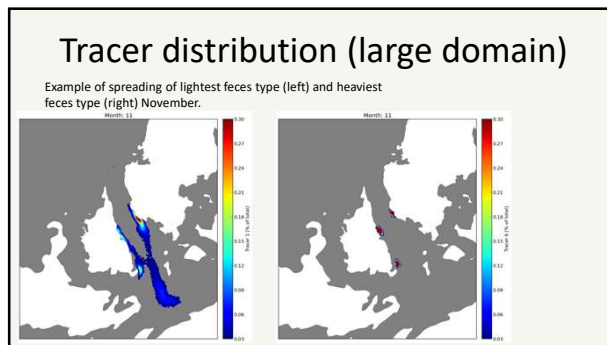
	feces	feces	feces	feces	feces	feces	feed	feed
tracer	1	2	3	4	5	6	7	8
settling velocity (c)	0,25	0,75	1,75	2	3,75	7,5	8,8	12
fish size →	1	5 %	3 %	3 %	4 %	21 %	64 %	100 %
600	5 %	3 %	3 %	4 %	21 %	64 %	100 %	0 %
1500	5 %	3 %	3 %	2 %	9 %	78 %	0 %	100 %
>	1500	7 %	2 %	3 %	2 %	27 %	59 %	0 %

• 2 types of feed spill and 6 types of fish feces (Similar to Bannister et al. 2016)

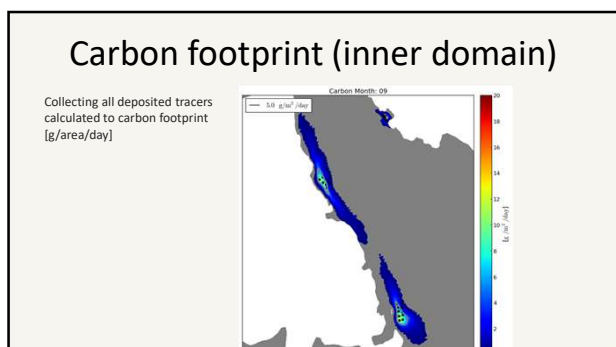
19



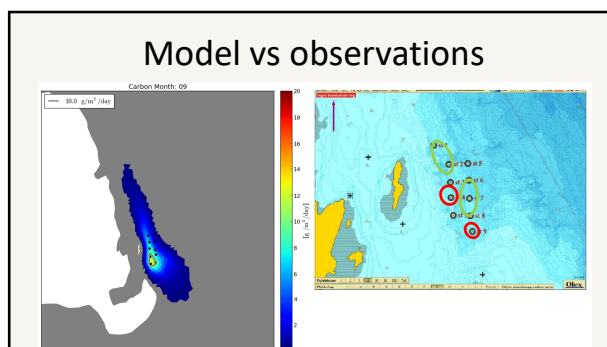
20



21



22



23

### Resuspension

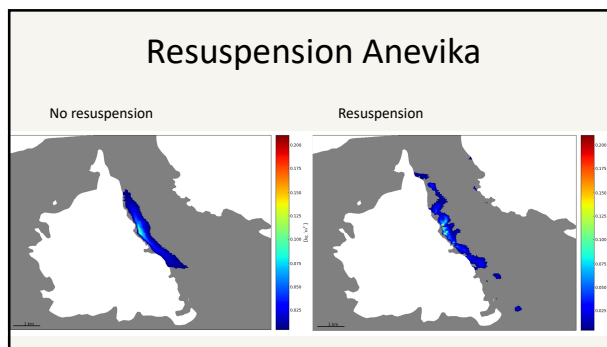
- Resuspension following Ariathurai and Arulanandan (1978) and Warner et al. (2008)

$$E_{s,m} = \dot{E}_{0,m}(1 - \phi) \frac{\tau_{sf} - \tau_{cc,m}}{\tau_{cc,m}}, \quad \text{when } \tau_{sf} > \tau_{cc,m}$$

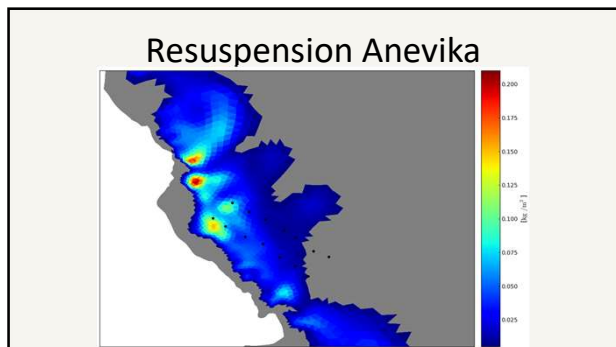
- Resuspension rates and critical bottom stress from Law et al. (2016):

Substrate	M (kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	
	Mean	SD
Mud	1.3 × 10 <sup>-6</sup>	4.9 × 10 <sup>-7</sup>
Sand	3.5 × 10 <sup>-7</sup>	1.5 × 10 <sup>-7</sup>
Cobble	4.5 × 10 <sup>-8</sup>	1.8 × 10 <sup>-8</sup>
Sand & gravel	6.0 × 10 <sup>-7</sup>	1.9 × 10 <sup>-7</sup>
Sand & cobble	5.8 × 10 <sup>-7</sup>	2.7 × 10 <sup>-7</sup>

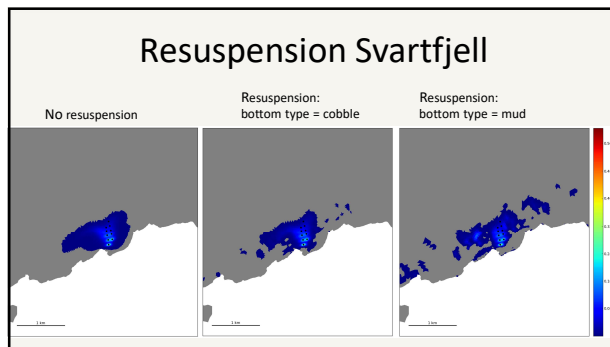
24



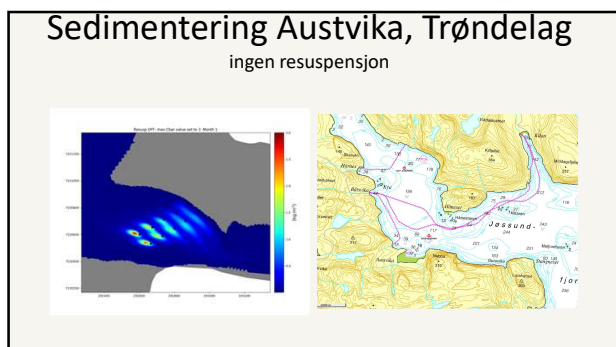
25



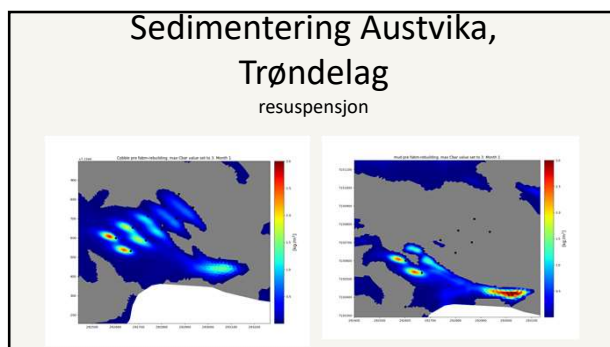
26



27



28



29

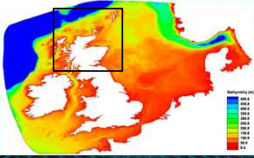
**A.2.3** Berit Rabe: An overview of Marine Scotland Science's aquaculture work.

## An Overview of Marine Scotland Science's aquaculture related work

Berit Rabe  
Marine Scotland Science, Aberdeen, UK

The Scottish Government

Torshavn 19 Nov 2019



- MSS's Role
- Previous Loch Linnhe work
  - Fjordic circulation
  - Sea lice connectivity
- Scottish Shelf Model
- Coastal scale sea lice connectivity

marinescotland science

1

## Background

marinescotland science

- Scotland is the world's third largest farmed salmon producer.
- The aquaculture sector adds £1.8bn of value to the Scottish economy each year, supporting ~10,000 jobs.
- Farmed Atlantic salmon is the largest UK food export.
- Scottish Government supports the aquaculture industry's desire to increase production sustainably.
- The Scottish Government seeks to deliver the industry's growth strategy by 2030 which aims to:
  - double the economic contribution of the sector by 2030
  - double the number of jobs by 2030
- Strategic Farmed Fish Health Framework Working Group was established and Scotland's 10 Year Farmed Fish Health Framework published in May 2018.
- Scotland's National Marine Plan – Chapter on Aquaculture: sustainable, economically viable, minimizing environmental impact, transparent regulatory framework.

2

## MSS's role

marinescotland science

- Scotland has a robust legislative and regulatory framework in place which provides the right balance between developing the fish farming sector and protecting the pristine environment on which the sector depends. All farms must meet strict guidelines to ensure that the environmental effects are assessed and managed safely.
- <https://www2.gov.scot/Topics/marine/Fish-Shellfish/18716>
- Marine Scotland acts as a statutory consultee to the aquaculture planning process.
- MSS carries out research, monitoring and advisory work in relation to the environmental impacts of aquaculture operations, aquaculture planning, and the effects of the environment on aquaculture product food safety.
- Aquaculture research within MSS aims to support a healthy and sustainable Scottish aquaculture industry.

3

## MSS's role

marinescotland science

- This is achieved through the use of regulation and scientific advice, underpinned by research which safeguards the high health status of farmed and wild fish and shellfish stocks in Scotland.
- MSS provides:
  - the Fish Health Inspectorate services for fish farms;
  - advice to Local Authorities and other agencies and issues licences for a number of activities relevant to aquaculture (management of seal predation, discharges from vessels, including wellboats).
- Scientific research to support Scottish Government policy and policy development includes:
  - studies into a range of diseases affecting commercially important species
  - development of new methods for diagnosing disease
  - providing a scientific and economic understanding of the basis for management of disease prevention, controls and eradication
  - the potential for the spread of disease between wild and farmed fish
  - the ecology, distribution and epidemiology of sea lice in Scottish lochs

4

## Locational Guidelines

- MSS provides scientific advice on the environmental impacts of aquaculture by assessing environmental information and undertaking predictive modelling to establish the degree of nutrient enhancement and benthic impact in sea lochs or similar water bodies supporting aquaculture to provide advice with regard to carrying capacity.
- Categories are designated on the basis of predictive models to estimate environmental sensitivity of sea lochs.
- MSS provides advice to Scottish Environment Protection Agency on the carrying capacity of categorised sea lochs by assessing applications for discharge consents and modelling potential nitrogen and carbon impacts.
- MSS reviews and updates Locational Guidelines for Marine Fish Farms in Scottish Waters monthly/publish online quarterly.
- Model function of flushing rate of sea loch (sea loch catalogue), total consented biomass of all finfish farms in the loch, nitrogen source rate.
- These data are used to calculate an equilibrium concentration enhancement for nitrogen and percentage areas of seabed degraded by organic carbon deposition for 111 sea lochs.

5

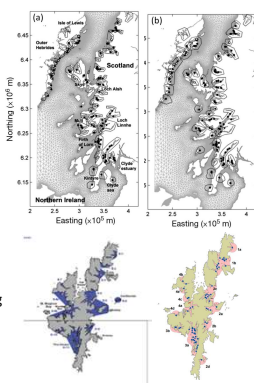
## Farm/Disease Management Areas

### Farm Management Areas (FMA)

- Sea lice management by industry is undertaken within FMAs.
- It requires coordinated management practices between farms (stocking, treatment, fallowing).
- Reduce and manage the risks of cross-infection posed by infectious parasites.
- Optimal size and location of FMAs can be informed by improved understanding of interconnectivity between sites.

### Disease Management Areas (DMA)

- Established based on separation distances around active farms, using tidal excursions/other epidemiological risk factors.
- Farms with overlapping separation distances will usually be within the same DMA.
- Recommendations include that all sites within the same DMA follow an acceptable stocking strategy.



[Adams et al. 2016]

6

### Multi-disciplinary study in Loch Linnhe

- Scotland's coastal waters demonstrate complex coastlines and bathymetry
- Inshore regions represent fjordic systems
- Physical processes in these inshore and coastal regions affect for example dispersal of parasite larvae (sea or salmon louse, the main parasite for farmed salmon)
- Project to study sea lice dispersal in Loch Linnhe between 12 salmon farms
- Investigate dynamics and influence on sustainable environmental management

- Data in 2011 – 2013
- Hydrodynamic model

Parasitic sea louse

7

### Forcing Mechanisms

- Freshwater inflow
  - Mean:  $66 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

- Large salinity drop after May event
- From September: freshwater input increases, salinity decreases
- Salinity changes influenced by wind events – mixing

- Freshwater input high in autumn and winter
- Leads to buoyancy-driven circulation (independent of wind stress)

8

### Forcing Mechanisms

- Tides

- Dominant semi-diurnal tide
- Tidal current ellipses are oriented in the along-loch direction

9

### Forcing Mechanisms

- Meteorological Forcing

- Simulated SST following persistent westerly winds
- Narrow fronts develop
- Up- and down-welling zones
- Along-loch winds are most efficient at producing vertical motion as it drives Ekman transport normal to the coast

10

### Tide/Wind influence on Currents

Period 1:  
Strong down-loch wind  
Neap tide

Strong, deeper reaching outflow  
Along R wind has a max at 5m, changes sign at 8m  
Along/across R tide is negative in top, positive in lower layers

[Rabe and Hindson 2017]

11

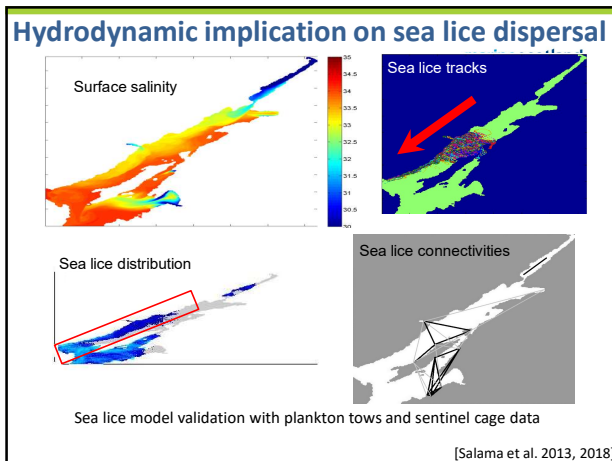
### Loch Linnhe sea lice connectivity

- POLCOMS
- Two weeks in May/Oct 2011/12/13
- Fixed 100mx100m grid
- Open boundary in Sound of Mull

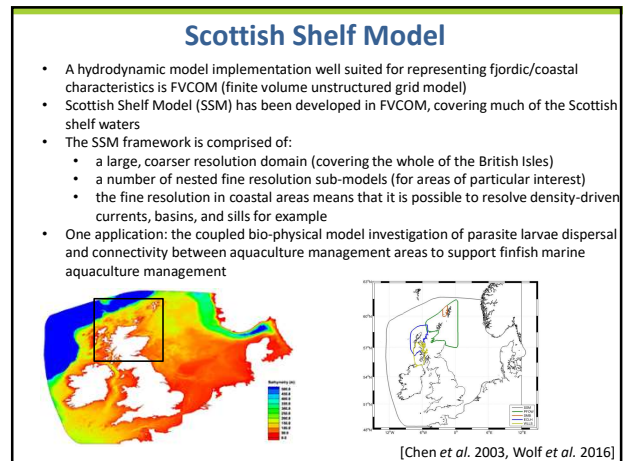
Connectivity between farm sites with probability of connectivity above (black) and below (grey)  $1 \times 10^{-4}$  (edges not directional or weighted)

12

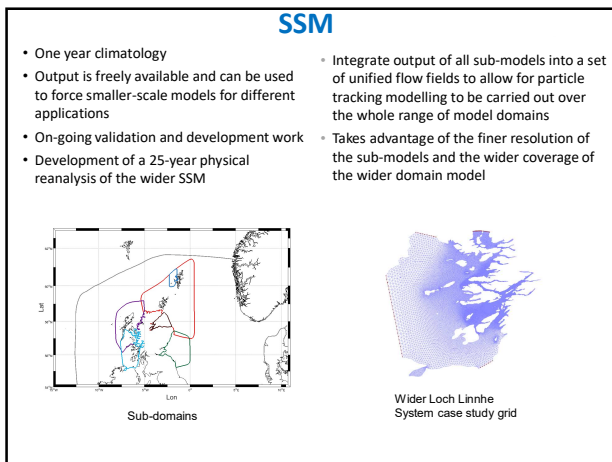




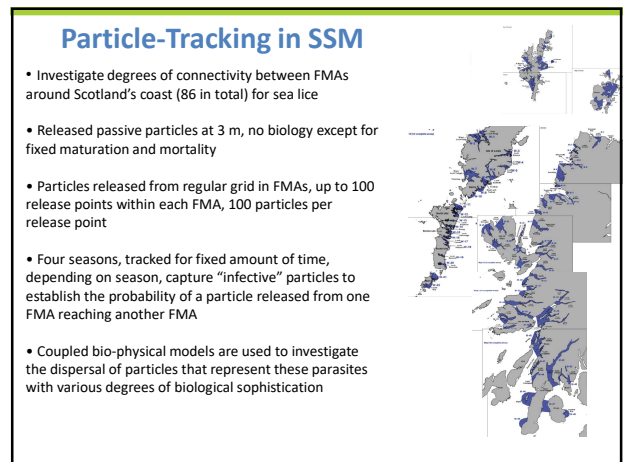
13



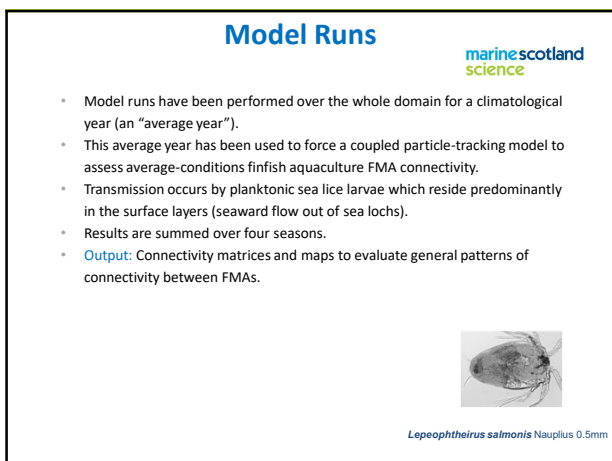
14



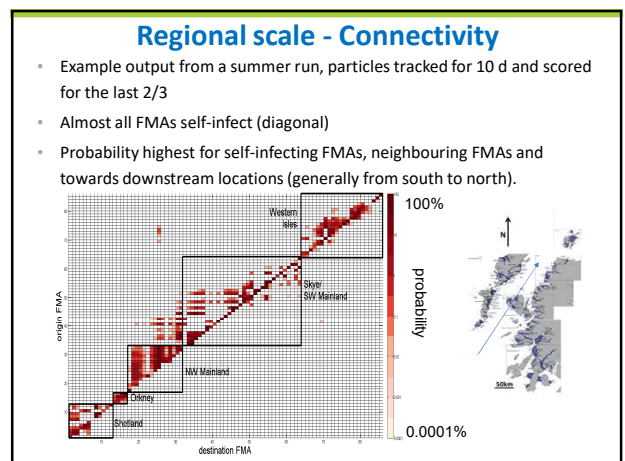
15



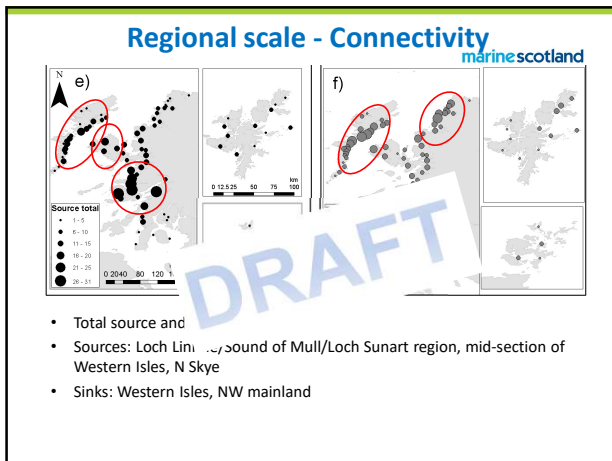
16



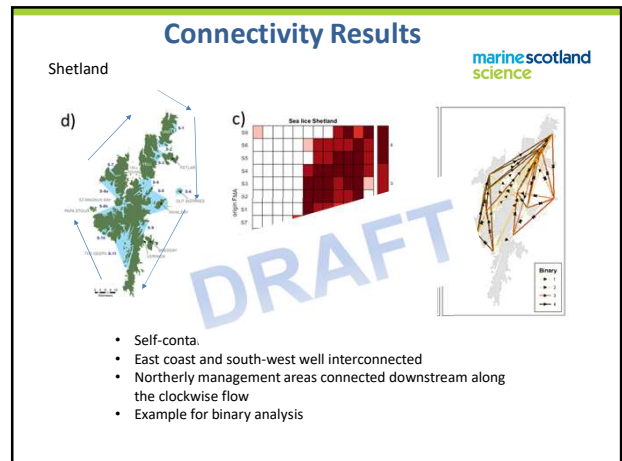
17



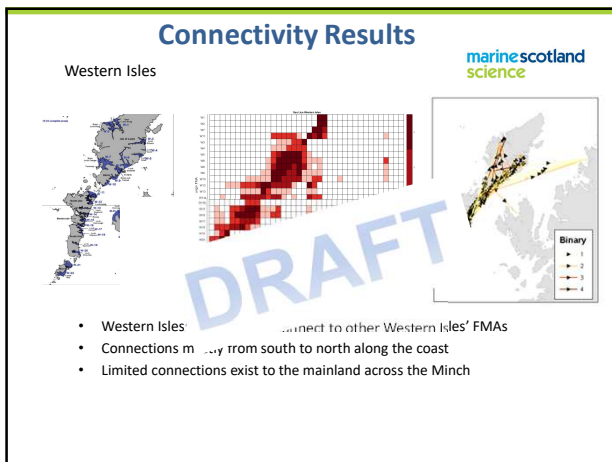
18



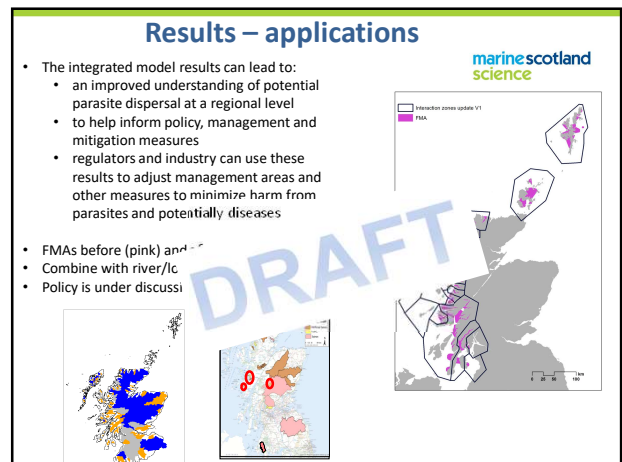
19



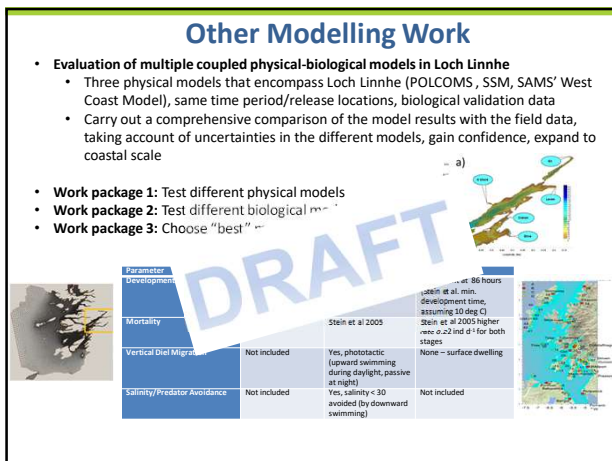
20



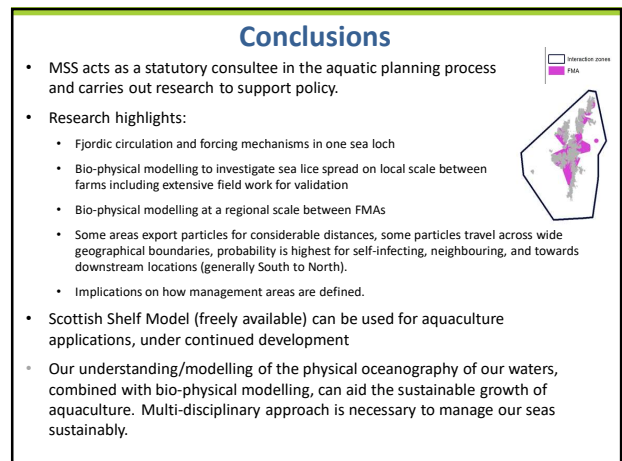
21



22



23



24

**Thanks**

marine scotland science

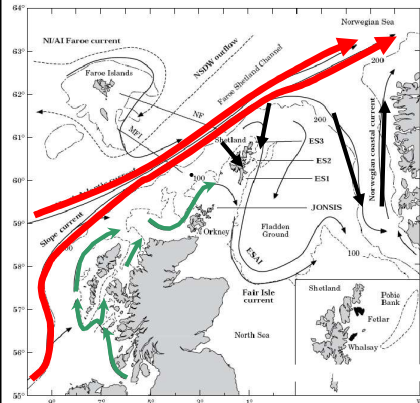


b.rabe@marlab.ac.uk

25

**Coastal Circulation**

marine scotland science



- North Atlantic Current and Slope Current
- Scottish Coastal Current

[Hjollo et al., 2009]

26

**Dimensionless Numbers**

marine scotland science

- Evaluation of dimensionless numbers in Loch Linnhe:
- Ekman number:  $E_k = (A_z) / (f * H_0^2)$
- Kelvin number:  $K_e = B / R_{in}$
- $A_z$  the vertical eddy viscosity coefficient,  $f$  the Coriolis parameter at this latitude,  $H_0$  the maximum water depth,  $B$  the breadth of the sea loch, and  $R_{in}$  the internal Rossby radius of deformation
- Ek versus  $K_e$  parameter space helps determine the variability of flow patterns (Valle-Levinson, 2010).

Parameter	Unit	Loch Linnhe values
$E_k$	/	0.002–0.104
$K_e$	/	0.43–3.84

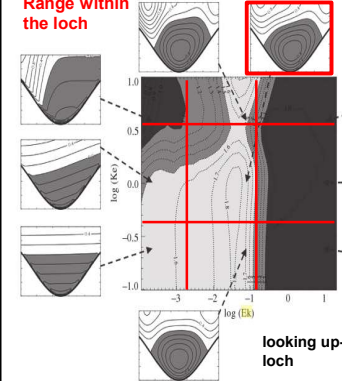
27

**Rotational influence**

marine scotland science

Ek vs  $K_e$  space following model results by Valle-Levinson

Exchange flow is horizontally sheared in basins with weak friction and large width.



[Valle-Levinson, 2010]

28

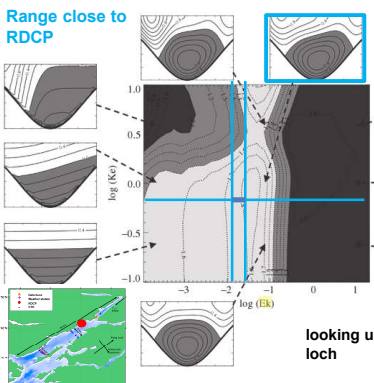
**Rotational influence**

marine scotland science

Range close to RDCP

Ek vs  $K_e$  space following model results by Valle-Levinson

Dense inflow into the estuary occurs in the lower layers along the left hand side (looking down the estuary) and the lighter outflow is concentrated along the right hand side in the surface layer.



[Valle-Levinson, 2010]

29

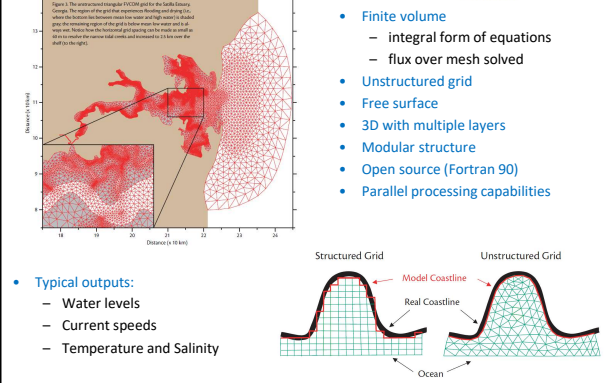
**FVCOM**

marine scotland science

- Finite volume
  - integral form of equations
  - flux over mesh solved
- Unstructured grid
- Free surface
- 3D with multiple layers
- Modular structure
- Open source (Fortran 90)
- Parallel processing capabilities

Typical outputs:

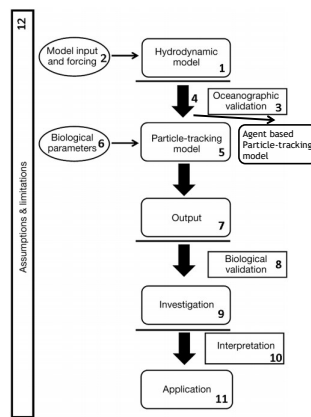
- Water levels
- Current speeds
- Temperature and Salinity



30

## Framework

- Framework for bio-physical modelling
- Hydrodynamic model:  
POLCOMS, FVCOM
- Particle-tracking model:  
representing sea lice
- Agent based particle-tracking model:  
representing swimming salmon
- Output:  
connectivity between farms,  
management areas



31

---

**A.2.4 Ted Schlicke: Regulating the expanding Scottish aquaculture industry**

**SEPA**  
Scottish Environment Protection Agency

## Regulating the Expanding Scottish Aquaculture Industry



Dr Ted Schlicke  
Air & Marine Modelling Unit,  
Scottish Environment Protection Agency

[www.sepa.org.uk](http://www.sepa.org.uk)

1

**SEPA**  
Scottish Environment Protection Agency

## Salmon Fish Farms

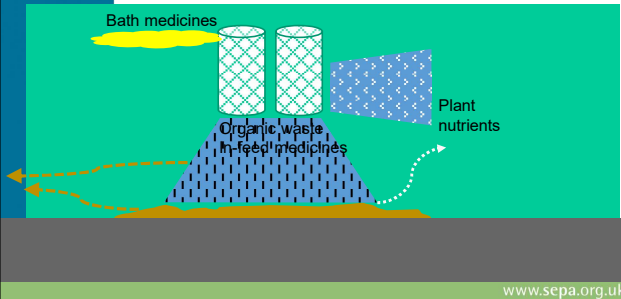


[www.sepa.org.uk](http://www.sepa.org.uk)

2

**SEPA**  
Scottish Environment Protection Agency

## Environmental Risks



[www.sepa.org.uk](http://www.sepa.org.uk)

3

**SEPA**  
Scottish Environment Protection Agency

## Regulation

Aquaculture Regulatory Process Workflow (Simplified)

Pre-Application: Blue (Applicant Step), Green (SEPA Step) – Process Flow From Left To Right

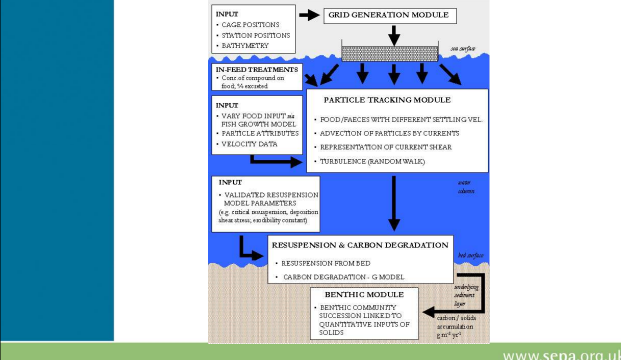
Workflow	Applicant Step (Blue)	SEPA Step (Green)
Main Workflow	Provide Details Of Proposal	Community Engagement
	Screening Modelling & Risk Identification	Submit Method Statement
	Submit Baseline Survey Plan	Critical Step
	Submit Baseline Survey	Baseline Survey Check
	Pre App. Information Submission	Information Submission Check
	SUBMIT APPLICATION	
Data Collection	Collect Current Meter And Supporting Data	Data Check
Depomod	Depomod Modelling	Depomod Check
	Run Application Scenarios	Run Application Scenarios
Marine Modelling	Marine Model Build And Verification	Marine Model Check
	Run Application Scenarios	Run Application Scenarios
	Application Modelling Reports and Files	Application Modelling Reports and Files

[www.sepa.org.uk](http://www.sepa.org.uk)

4

**SEPA**  
Scottish Environment Protection Agency

## DEPOMOD MODULES FOR MODELLING THE EFFECTS OF DEPOSITION FROM MARICULTURE

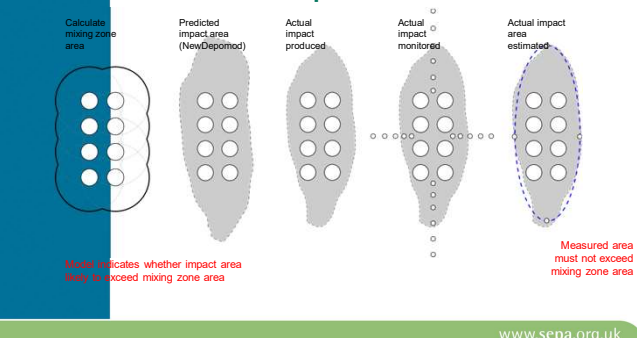


[www.sepa.org.uk](http://www.sepa.org.uk)

5

**SEPA**  
Scottish Environment Protection Agency

## Local scale ("mixing zone") modelling - NewDepomod



Calculate mixing zone area

Predicted impact area (NewDepomod)

Actual impact produced

Actual impact monitored

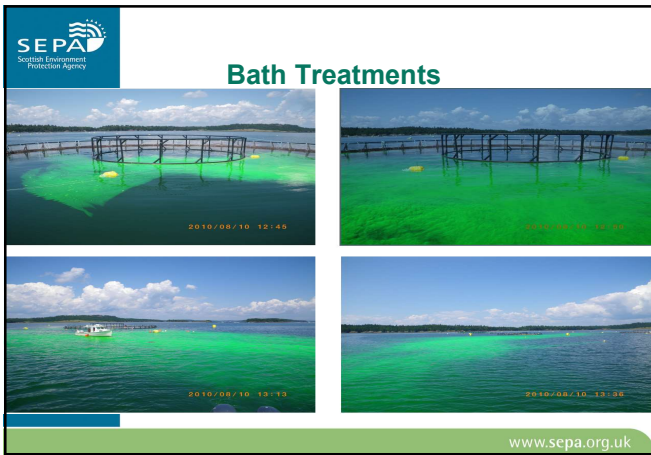
Actual impact area estimated

Measured area must not exceed mixing zone area

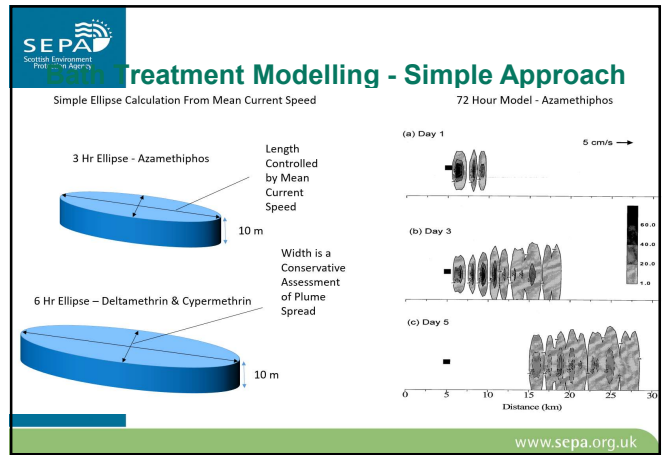
[www.sepa.org.uk](http://www.sepa.org.uk)

6

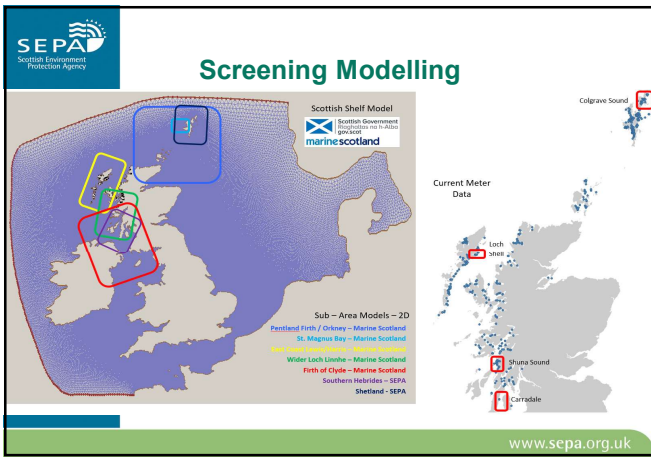




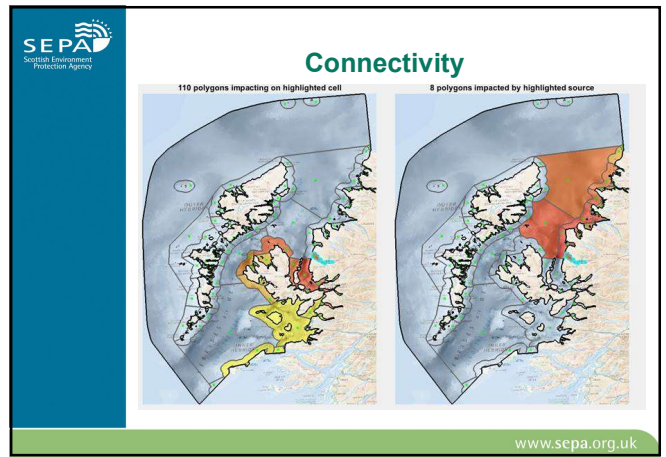
7



8



9



10

### Conclusions

- New aquaculture regulation regime imminent
- Numerical modelling used in screening and as part of application process
- More extensive monitoring to more accurately assess the environmental impacts
- Strategic use of modelling to help the industry expand sustainably

11

### Acknowledgements

- SEPA colleagues
- Marine Science Scotland
- SAMS (Scottish Association of Marine Science)
- MASTS (Marine Alliance for Science and Technology for Scotland)

12

**A.2.5 Birna Fjallstein: New DEPOMOD modelling of aquaculture sites in Faroese fjords**



1

### NewDepomod particle tracking modelling software

- Developed by SAMS (The Scottish Association for Marine Science), the aquaculture industry & SEPA
- NewDEPOMOD predicts the impact of fish farm discharges on the seabed
- Requires hydrographic data from the site, bathymetric data and information of layout of cages (size of pens, cage grid, positions etc.) and biomass
- Our use: to predict the impact on the benthic community in order to define an AZE (Allowable Zone of Effect) – as part of the ASC certification of farms

2

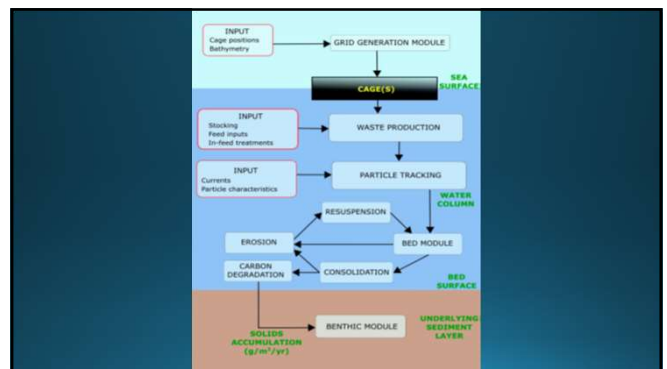
### NewDepomod vs AutoDepomod

- The older version AutoDepomod was developed in the 1990's

NewDepomod:

- an updated and characterised **resuspension** process using data from an extensive set of field measurements of erosion, resuspension and transport at farm sites
- new model framework for sediment deposition which allows the model to include varying **bathymetry**
- Addition of **per cage group feed inputs** functionality
- Addition of **over treatment factor** to the inputs panel
- General operation and functional improvements to benefit the user experience

3

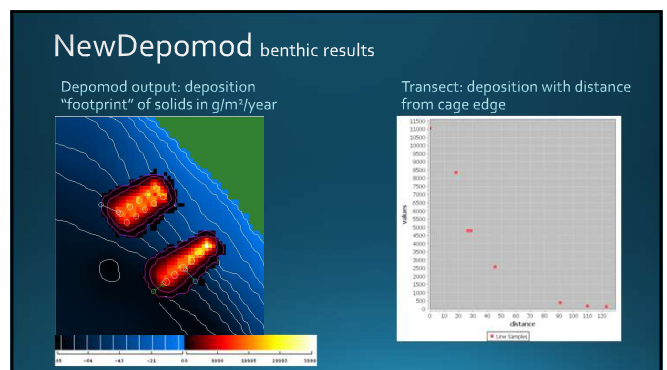


4

### Hydrographic data current measurements

- Instrument: ADCP Current Profiler
- Measures water current velocities over a depth range
- Measures for 120 sec. (average) pr. every 10 min. over a time period
- Cell size 1 m, start of profile 0,5 m
- Depomod input: velocities from three different depths or more

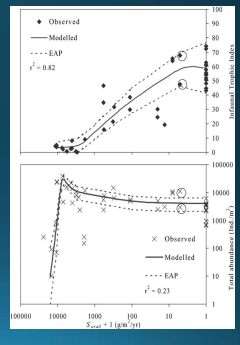
5



6

## AZE (Allowable Zone of Effect)

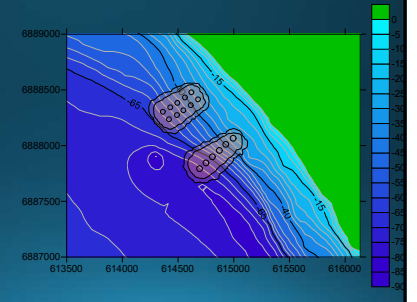
- The model currently predicts two key "impacts", both spatially distributed:
  - The sedimentation flux of solids from an aquaculture site onto the seabed
  - The associated value of the Infaunal Trophic Index (ITI), calculated from the annual sedimentation rate using the empirical relationship, reported by Cromey et al. (2002,a)
- Infaunal Trophic Index (ITI) = 30 → AZE
- Corresponds to flux 192 g/m<sup>2</sup>/year



7

## AZE & ASC benthic sampling

- Define the AZE (distance, GPS positions, direction)
- Plan sampling in multiple directions
- Depositional footprint used in maps for reporting
- Sampling at peak biomass for each production cycle



8

---

**A.2.6 Knud Simonsen: On a classification of the fjords in the Faroe Islands**

# On a classification of the fjords in the Faroe Islands

Faculty of Science and Technology

Knud Simonsen  
19. Nov., 2019



## Content

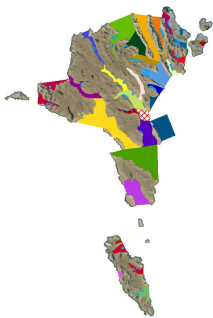
- Physical characteristics
  - Fjord: General and regulative definitions
  - Tides
  - Wave climate
- Fjord Dynamics
  - Estuarine circulation
  - Effect of rotation
- Forcing of the fjords
- Summary

Knud Simonsen

On a classification of the fjords in the Faroe Islands

2 / 19

## Definition of a fjord



Map: [www.kortal.fo](http://www.kortal.fo)

**General definition:**  
Fjords are long, narrow, deep bodies of water along the coasts of formerly glaciated areas.

**Farming fjord (Alifjørður) in the legalization:**  
In 2006: Largely followed the general definition of a fjord.  
In 2012: Redefined to 'farming zones' rather than fjords.

**Here:**  
The general definition!!

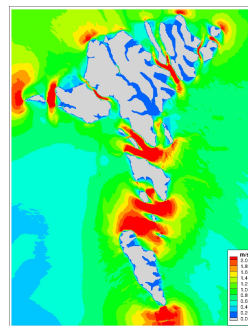
Knud Simonsen

On a classification of the fjords in the Faroe Islands

3 / 19

## Maximum Tidal currents

- sum of the semi-axis tidal current axes of the 8 dominating constituents



- Relatively strong currents in the straits
  - Little/no tidal currents in the fjords
  - Traditionally, most fish farming sites in slack current sites
  - The industry has moved/is moving into more harsh current environment
- ⇒ Wide spectra of tidal current regimes at fish farming sites.

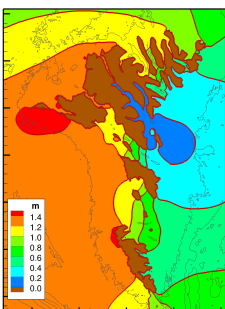
From Simonsen and Niclasen [2011]

Knud Simonsen

On a classification of the fjords in the Faroe Islands

4 / 19

## Low-high water variation caused by the $M_2$ -constituent



From Simonsen and Niclasen [2011]

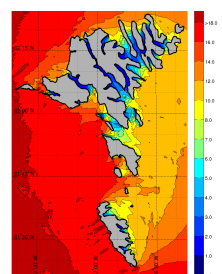
Knud Simonsen

On a classification of the fjords in the Faroe Islands

5 / 19

## 10-year maximum wave ( $H_{m0}$ )

Whole year model estimate based on 44 years hindcast. No coastal reflection.



- Only inner parts of longest fjords/straits with expected maximum 10-year wave less than 3m.
  - The industry has moved/is moving into more harsh wave environment
  - Many of the sites located towards areas exposed to ocean wave climate
- ⇒ Wide spectra of wave height regimes at fish farming sites.

From Niclasen and Simonsen [2016]

Knud Simonsen

On a classification of the fjords in the Faroe Islands

6 / 19



# Classification, - first level on the current

## Tidal dominated?

Involved constituents:

$$|\omega_2 - \omega_1|T > R$$

$T$ : length of time series  
 $\omega_j$ : major constituent frequencies  
 $R \leq 1$

Tidal or other signal?:

$$|\omega_2 - \omega_1|T > \frac{\sigma(\text{noise})}{\sigma(\text{signal})}$$

$\sigma$ : standard deviation

## Strong currents

○ Tides: Standard procedures.

## Transition area

○ Advective resuspension

## Slack current

○ Fjord circulation

○ Statistical estimates

## Waves

- not considered here

# Classic Estuarine (Fjord) Classification

## Knudsen relations

Conservation of

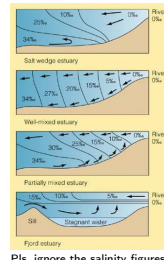
- Mass (Volume)
- Salinity

## Classic Balances

- Neglect time variation and advection
- Constant eddy viscosity
- Split into river flow and gravity driven current

## Including time varying eddy viscosity:

- Tidal pumping at the entrance
- Time and space varying mixing



Pls. ignore the salinity figures. In the Faroes:  $30 < S < 35.15$

# A parameter space classification

Buoyancy frequency for maximum top-to-bottom variation

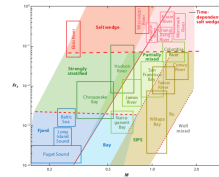
$$N_o = \sqrt{\beta g s_{\text{ocean}} H}$$

Mixing parameter that quantifies the effectiveness of tidal mixing and stratification:

$$M = \sqrt{\frac{C_D}{\omega N_o}} \frac{U_T}{H}$$

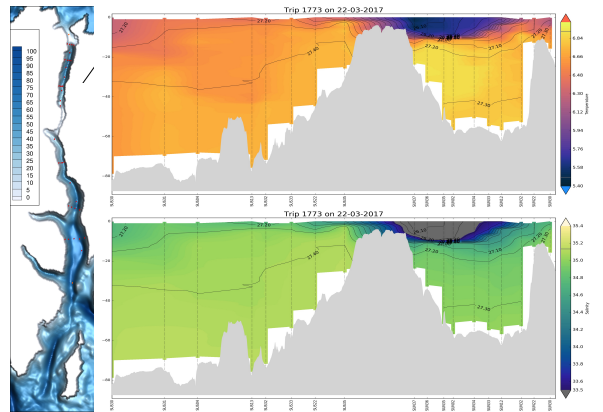
Freshwater Froud number:

$$Fr_f = \frac{U_r}{N_o H}$$

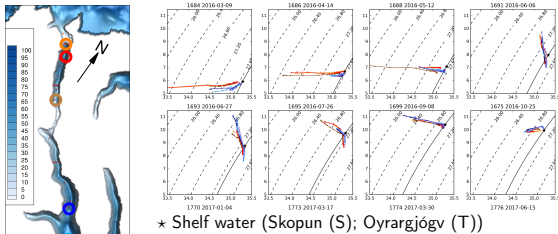


$U_T$ : Tidal flow amplitude  
 $U_R$ : River flow  
 $\omega$ : Main tidal frequency  
 $H$ : Depth  
 $C_D$ : Bottom friction  
 [Geyer and MacCready, 2014]

# The March 2016 situation in Sundalagi



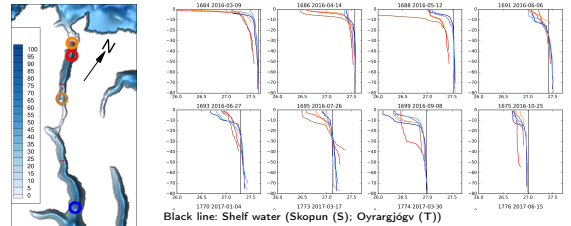
# TS plots from Sundalagi



\* Shelf water (Skopun (S); Oyrargjogv (T))

Figures: Simonsen et al. [2018]

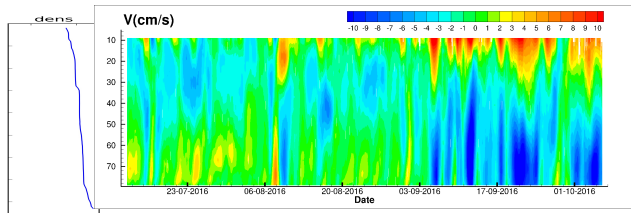
# Density profiles from Sundalagi, 2016



Black line: Shelf water (Skopun (S); Oyrargjogv (T))

Figures: Simonsen et al. [2018]

## Estuarine Circulation: Change of flow regimes



Figures from [Simonsen and Joensen, 2016]

From 3(4) layer to 2 layer due to

- Direct wind influence on the surface
- Changes outside the fjord
- Combination?

## Effect of Earth Rotation

Earth's rotation only effect if the basin is wider than the internal Rossby number  $R_{i0}$ :

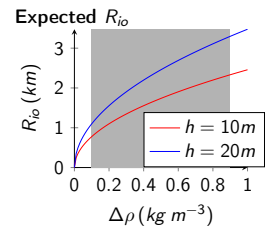
$$R_{i0} = \frac{\sqrt{g \frac{\Delta \rho}{\rho_0} h_1}}{f}$$

Typical values:

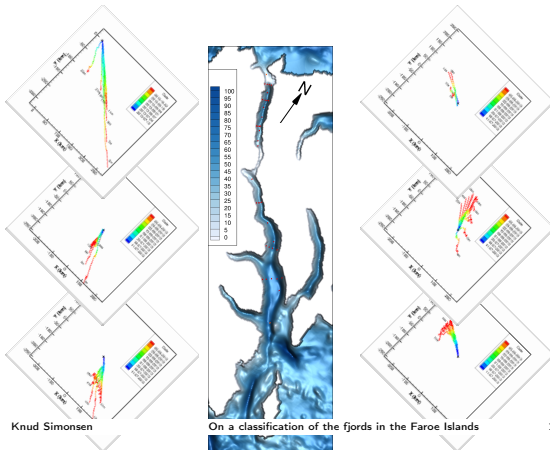
$$g = 9.82 \text{ m s}^{-2}$$

$$\rho_0 = 1000 \text{ kg m}^{-3}$$

$$f = 1.275 \times 10^{-4} \text{ rad s}^{-1}$$

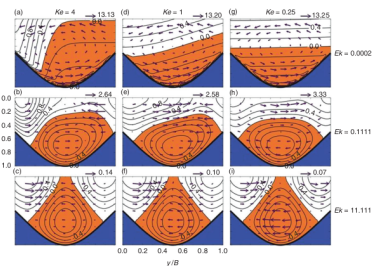


## Residual currents in southern Sundalagi



## Estuarine Circulation Including Rotation

- a  $Ke - Ek$  classification?



$$Ke = \frac{B}{R_{oi}}$$

$$Ek = \frac{A_z}{fH^2}$$

Induces a lateral secondary current of importance for the sedimentation.

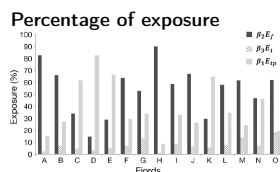
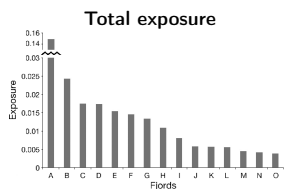
Figure from [Valle-Levinson, 2011]

## Exposure on fjords in the Faroe Islands

in relation to salmon lice.



- $\beta_2 E_f$  Freshwater exchange rate
  - $\beta_3 E_t$  Tidal exchange rate
  - $\beta_1 E_t \rho$  Tidal dispersion
- Wind is neglected!!!



From Patursson et al. [2017]

## Summary

### Tide type classification

- Standard analysis established.

### Exposure Classification

- Criteria to be defined
- Tides: Predictable -> Specification of criteria.
- Other: Non-predictable -> Statistics

### General low exposure fjords classification

- Weak tidal signal
- Weather dependent
- Seasonal variations
- Year to year variations

In addition to detailed current measurements, then both temporal and spatial hydrographic measurements are a prerequisite.

## References

- W. R. Geyer and P. MacCready. The estuarine circulation. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 46:175–197, 2014.
- B. A. Niclasen and K. Simonsen. High resolution wave climate of the faroe islands. Technical report, University of the Faroe Islands, NVDrit 2012:03, 2016. URL <https://41.dropboxusercontent.com/s/vvce8131j94ce4z/NVDrit201203.pdf>.
- E. J. Patursson, K. Simonsen, A. W. Visser, and Ó. Patursson. Effect of exposure on salmon lice *Lepeophtheirus salmonis* population dynamics in faroese salmon farms. *Aquaculture Environment Interactions*, 9:33–43, 2017.
- K. Simonsen and E. Joensen. Hvannasund n seínsummarið 2016. samandráttur av mátiáti. Technical report, Aquaculture Research Station of the Faroes, Fiskaaling rit 2016:25, 2016.
- K. Simonsen and B. A. Niclasen. On the energy potential in the tidal streams on the faroe shelf. Technical report, University of the Faroe Islands, NVDrit 2011:01, 2011.
- K. Simonsen, E. Joensen, and S. V. Erenbjerg. Sundalagjð - samandráttur av hydrografiskum mátungum árinum 2013-2017. Technical report, Aquaculture Research Station of the Faroes, Fiskaaling rit 2018:01, 2018.
- A. Valle-Levinson. *Large estuaries (Effects of rotation)*, volume 2, pages 123–140. Elsevier Inc., 2011. doi: 10.1016/B978-0-12-374711-2.00208-4.

**A.2.7** Øystein Patursson: Examples of measurements relevant for aquaculture fjord classification

## Examples of measurements relevant for aquaculture fjord classification

Øystein Patursson  
RAO ÍVF

[opatursson@gmail.com](mailto:opatursson@gmail.com)

Workshop on aquaculture regulations  
Tórshavn, 19. Nov. 2019

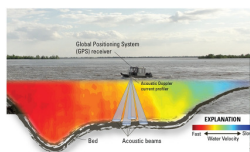
## Overview

- Currents
  - Tidal currents
  - Fjord hydrology and currents
- Waves
  - Modeling wave induced resuspension
  - Measuring wave induced resuspension



## Tidal currents

- Boat mounted ADCP



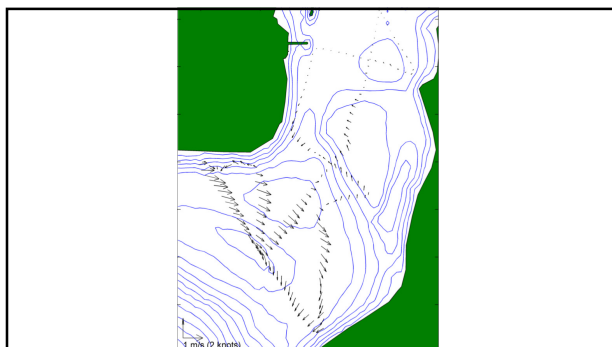
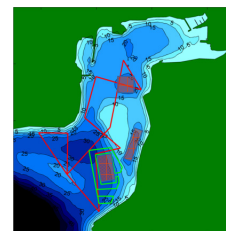
## Boat mounted ADCP

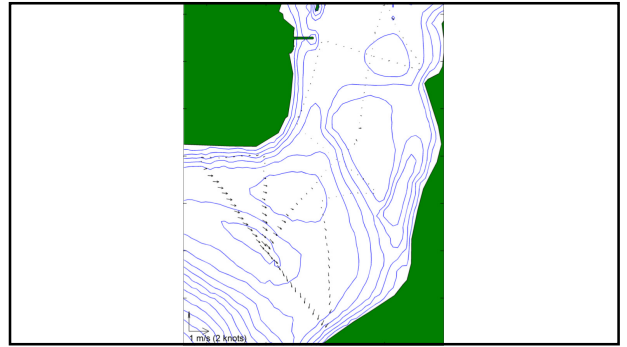
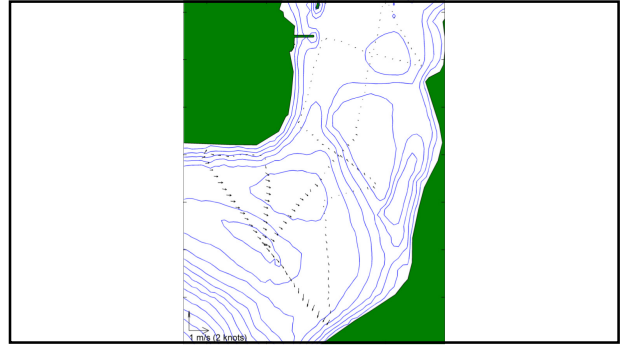
-Describe tidal currents in the area

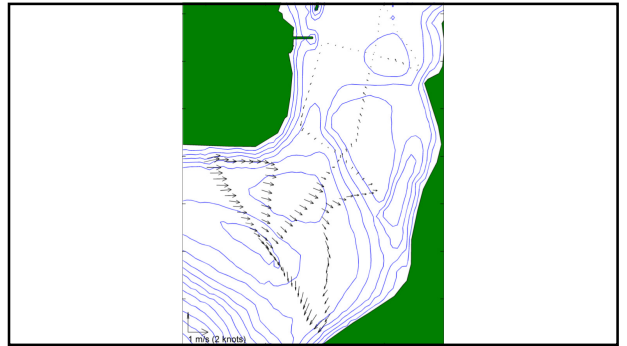
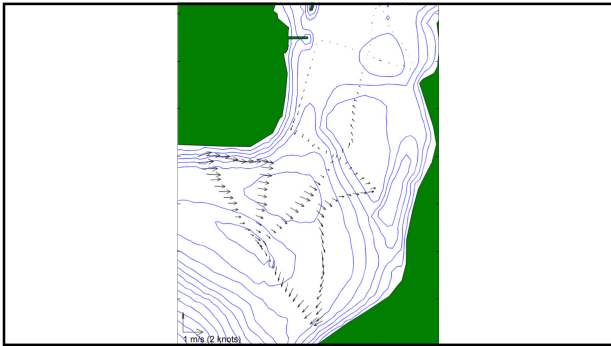
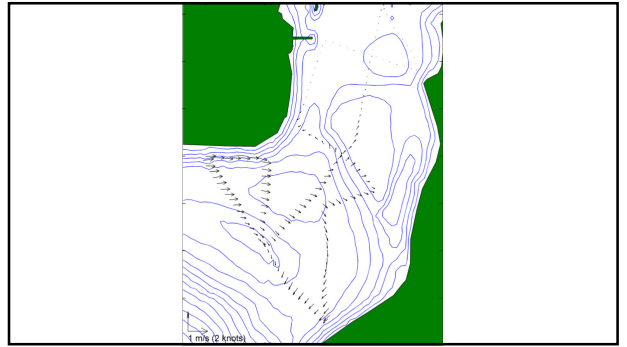
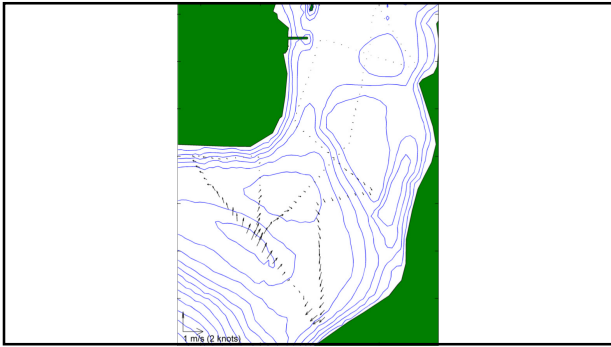
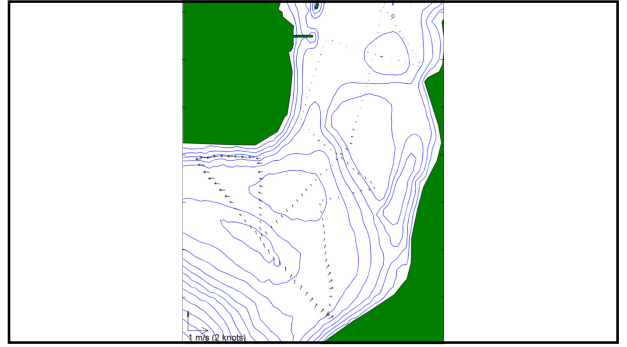
Define a track

Measure currents along the track at least once each hour during a tidal cycle

Side mounted 600 kHz workhorse with bottomtrack connected to a GPS compass









## Fjord hydrology and currents

- Task: provide info on water movement with relation to sea lice dispersion
  - Hydrology
  - Boat mounted current measurements
  - Timeseries of currents



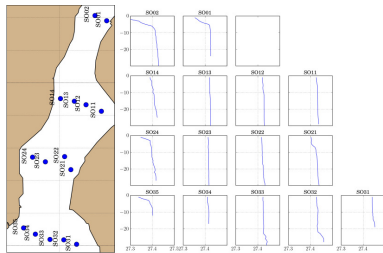
## Sørvágur

- 2 days with hydrology and currents
  - 2-6m/s SE all day
  - 0-12m/s W increasing during the day
- 1 tidal cycle of currents
  - 1 transect pr hour

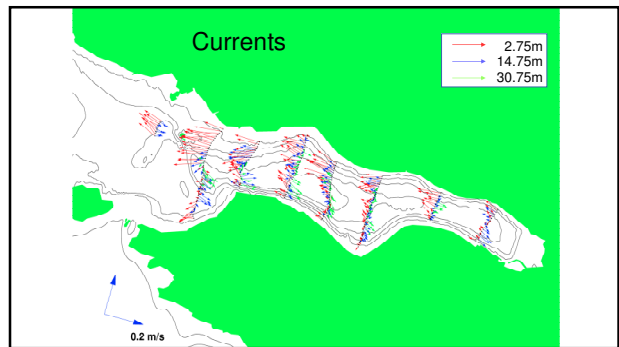


## Density

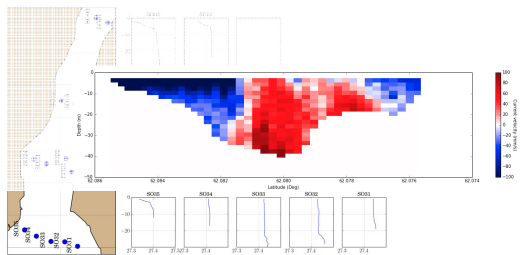
Light breeze out the fjord 2-6m/s SE



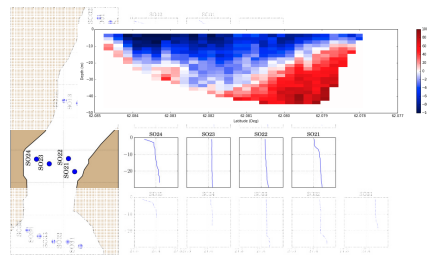
## Currents



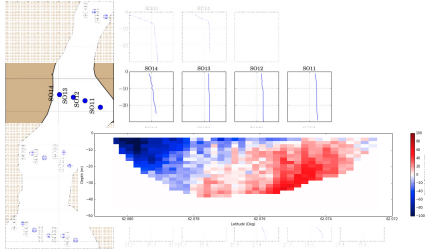
## Transect 7



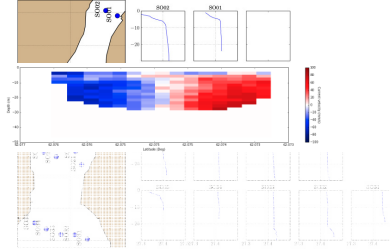
## Transect 5



### Transect 3



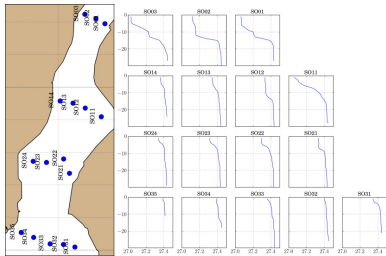
### Transect 1



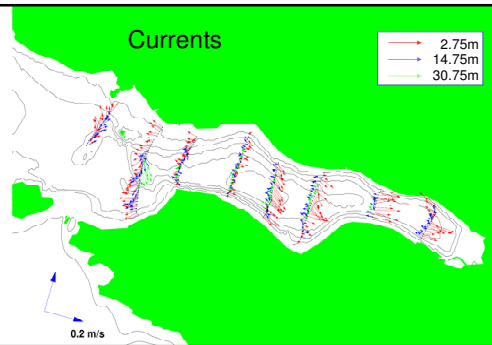
### Density

Wind into the fjord, picked up during the day. 0-12m/s W

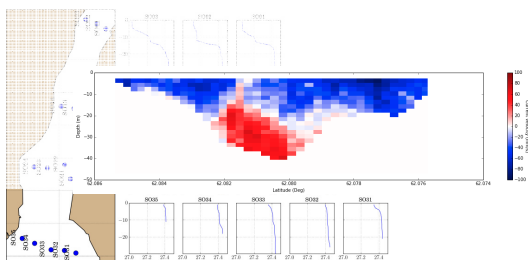
Started with the outermost transects



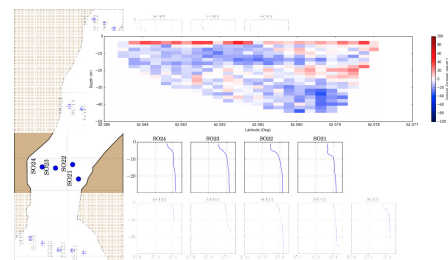
### Currents



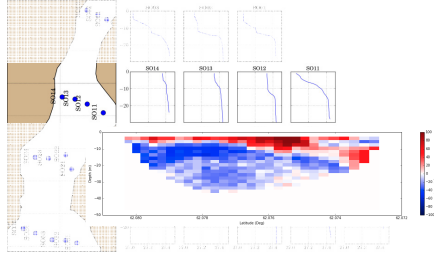
### Transect 7



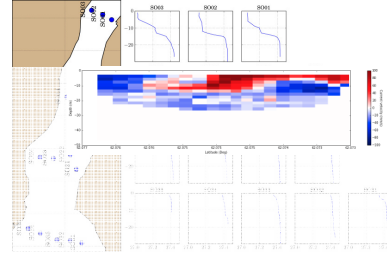
### Transect 5



### Transect 3

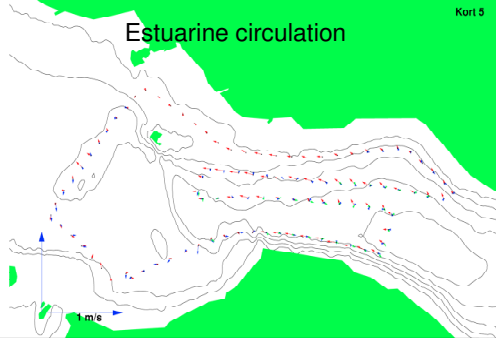


### Transect 1



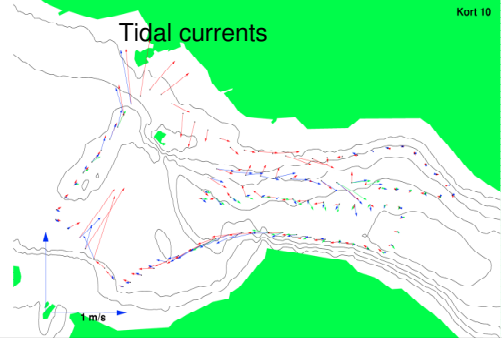
### Estuarine circulation

Kort 5



### Tidal currents

Kort 10



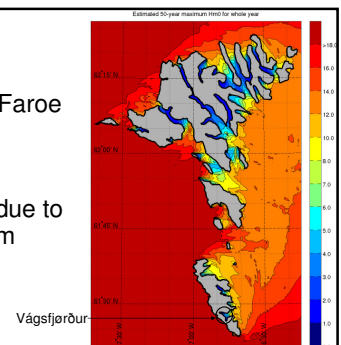
### Summary

- Estuarine circulation
- Can be reversed by wind
- At times tidally dominated in outer parts of the fjord



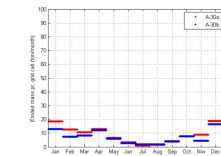
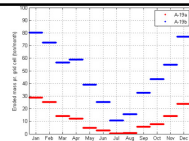
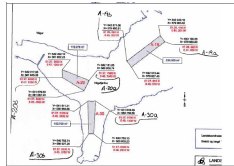
### Wave model

- Wavemodel for the Faroe Islands
- 100x100m
- Model erosion rate due to orbital velocities from waves



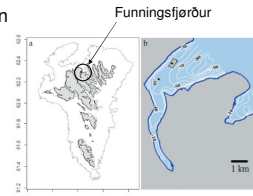
## Example

- Much more erosion on the exposed site



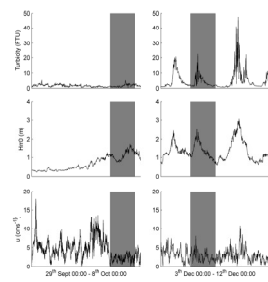
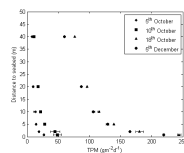
## Resuspension due to waves

- Better understanding of resuspension due to waves
- Site located in wave-exposed fjord Funningsfjørður at 50m depth
- Measured
  - Waves
  - Currents near seabed
  - Turbidity
  - Sediment traps
  - Bottom samples



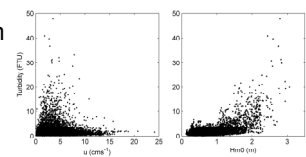
## Results

- Only noticeable resuspension due to waves



## Resuspension due to waves

- Wave height > 2m leads to resuspension in Funningsfjørður



## Summary

- Sites are very different
- Currents
  - Possible to map tidal currents for one tidal cycle by boat-mounted ADCP
  - Possible to get an idea of the estuarine circulation by boat-mounted ADCP and hydrography
- Wave resuspension
  - Possible to model wave-induced resuspension
  - Need more field data to get an accurate model
    - Critical shear stress

## References

- Esbern Jóhannes Patursson and Øystein Patursson, 2014. Streymmáting frá báti á Vestmanna. Fiskaaling rit 2014-05. Technical report, Fiskaaling, Faroe Islands.
- Øystein Patursson, Gunnvør á Norði, Erna Joensen and Knud Simonsen, 2017. Lýsing av rákinum á Sörvágsfirði við streymmáling frá báti og CTD máting. Fiskaaling-rit 2017-10. Technical report, Fiskaaling, Faroe Islands.
- Øystein Patursson and Gunnvør á Norði, 2017. Lýsing av hvussu sjóvarfallið ávirkar rákið á Sörvágsfirði. Streymmáting frá báti. Fiskaaling rit 2017-08. Technical report, Fiskaaling, Faroe Islands.
- Niclasen, B. A. and Simonsen, K. (2009) Wave induced resuspension in fish farming areas of Suðuroy: an introductory model based investigation. NVD-rit 2009:3. Technical report. University of the Faroe Islands, Faroe Islands.
- Gunnvør á Norði and Øystein Patursson, 2012. Influence of waves and current speed on resuspension of fish farm waste: Case study in Funningsfjørður, Faroe Islands. ICES CM 2012/Q:13.

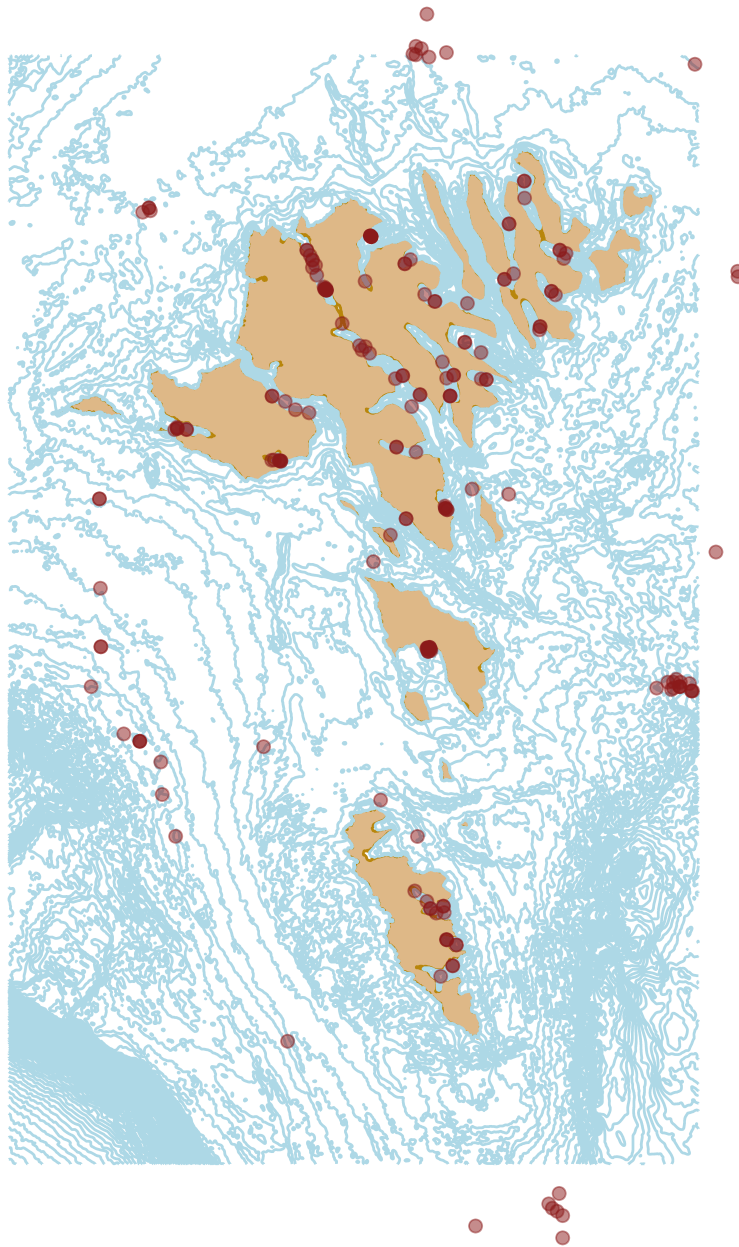




## B. Datalisti

# Current meter and wave records in Faroese fjords

16 January, 2020





# Current meter and wave records in Faroese fjords

This is a list of current meter and wave records in Faroese fjords and shelf, that are considered relevant for aquaculture regulations.

Below are listed for each record: Id-code (max 16 characters), Position (Latitude, Longitude), Bottom depth in meters (Bottom), Instrument type (InstType - max 10 characters), Measurement type (MeasType), DateStart and DateEnd (yyyy-mm-dd), Deployment length in days (Days), Variables measured (Var), Interval in seconds (Interv), Instrument depth in meters (Inst), Orientation up or down (Or.), Number of Bins (Bins), Bin length in meters (Bin lgt), Repository (Repos), Accessibility (Access), Quality Processing (QP), and Aquaculture regulation (AquaReg). The last column (AquaReg) indicates, whether the record meets the minimum requirements for use in aquaculture regulations.

Below is a more detailed description of some of the columns:

InstType begins with the abbreviation for instrument brand (Aa (Anderaa), RDI (Teledyne RDI), NT (Nortek), TA (Triaxys)) followed by instrument type (WH (Workhorse Sentinel), WH3 (Workhorse Sentinel 300 kHz), WH6 (Workhorse Sentinel 600 kHz), SV (Setinel V), AWAC6 (AWAC 600 kHz), VEC (Vector), AQP4 (Aquadopp Profiler 400 kHz), AQPRO (AquaPro), SeaG (SeaGuard), RDCP6 (Recording Doppler Current Meter 600), RCM7 (Recording Current Meter 7).

MeasType indicates the type of current or wave measurements with the following options: ADP (Acoustic Doppler Profiler), DCM (Doppler Current Meter - single bin), Rot (Rotating Current Meter), ADW (Acoustic Doppler Wave recorder), WB (Wave Buoy).

Variables lists the recorded variables and these are: speed (s), direction (d), pressure (p), temperature (t), salinity (c), wave (w), turbidity (turb). If the same instrument records current and wave then the wave measurements are listed on a separate line, since these often have a different interval.

Orientation, Number of Bins and Bin length are only provided for profiling current meters.

Repositories listed are: [www.envofar.fo](http://www.envofar.fo) (Envofar), Havstovan (HAV), Fiskaaling (FA), Náttúruvísindadeildin (NVD), ívf. RAO (RAO).

The listed options for accessibility are: Open (available on internet), By request (available by request to repository), Limited (available by request to repository, but for limited use), Closed (not available), Bakkafrost (access decided by listed company), Luna (access decided by listed company), and MOWI (Access decided by listed company)

For QP the institute that has quality checked the data is listed (using the same abbreviation as for repositories). If the data have not been quality checked this is indicated by "None".

The last column (AquaReg) indicates whether the data fullfil the minumum requirements for use in aquaculture regulations, i.e. Data Period > 60 days.

=====







(continued)

Id-code	Latitude	Longitude	Bottom	InstType	MeasrType	DateStart	DateEnd	Days	Var	Interv	Inst	Or.	Bins	Bin lgt	Repos	Access	QP	AqualReg
SUN11309	62.23905	-7.04603	37.0	Aa SeaG	DCM	2013-09-12	2013-09-18	6.0	c, d, o, s, turb	10	36.0	u	1	-	FA	Limited	None	No
SUNJ1401	62.23713	-7.04508	-	Aa SeaG	DCM	2014-02-06	2014-02-07	1.0	c, d, o, s, turb	10	1.0	d	1	-	FA	Limited	None	No
SUNK1401	62.23718	-7.04132	-	Aa SeaG	DCM	2014-05-07	2014-05-07	1.0	c, d, o, s, turb	10	1.0	d	1	-	FA	Limited	None	No
SUNL1501	62.25233	-7.06367	-	Aa SeaG	DCM	2015-10-27	2015-11-19	23.0	c, d, o, s, turb	600	1.0	d	1	-	FA	Limited	None	No
SUS11402	62.10420	-6.83633	69.0	RDI WH3	ADP	2013-07-04	2013-10-11	99.0	d, p, s, t	600	68.0	u	14	4.0	FA	Limited	HAV	Yes
SUSB1307	62.11750	-6.81622	39.0	NT AWAC6	ADP	2013-07-04	2013-10-11	99.0	d, p, s, t	600	38.0	u	15	2.0	FA	Limited	HAV	Yes
SUSB1307	62.11750	-6.81622	39.0	NT AWAC6	ADP	2013-07-04	2013-10-11	99.0	d, p, s, t	3600	38.0	u	15	2.0	FA	Limited	HAV	Yes
SUSC1307	62.13555	-6.87542	38.0	RDI WH6	ADP	2013-07-04	2013-10-11	99.0	w	600	37.0	u	14	2.0	FA	Limited	HAV	Yes
SUSD1307	62.13908	-6.85767	36.0	NT AWAC6	ADP	2013-07-04	2013-10-11	99.0	d, p, s, t	600	35.0	u	13	2.0	FA	Limited	HAV	Yes
SUSD1307	62.13908	-6.85767	36.0	NT AWAC6	ADP	2013-07-04	2013-10-11	99.0	w	3600	35.0	u	-	-	FA	Limited	HAV	Yes
SUSE1307	62.16787	-6.95535	27.0	RDI WH6	ADP	2013-07-04	2013-10-11	99.0	d, p, s, t	600	26.0	u	10	2.0	FA	Limited	HAV	Yes
SUSF1307	62.17173	-6.94757	24.0	NT AQP4	ADP	2013-07-04	2013-10-01	89.0	d, p, s, t	600	23.0	u	4	4.0	FA	Limited	HAV	Yes
SUSG1401	62.16433	-6.93715	-	Aa SeaG	DCM	2014-01-10	2014-01-14	4.0	c, d, o, s, turb	10	1.0	d	1	-	FA	Limited	None	No
TVFA1008	61.53347	-6.75842	46.0	RDI WH6	ADP	2010-08-04	2010-11-01	89.0	d, p, s, t	600	45.0	u	22	2.0	FA	Limited	HAV	Yes
TVFB1008	61.53792	-6.79163	26.0	NT AWAC6	ADP	2010-08-04	2010-11-01	89.0	d, p, s, t	600	25.0	u	12	2.0	FA	Limited	HAV	Yes
TVFB1008	61.53792	-6.79163	26.0	NT AWAC6	ADP	2010-08-04	2010-11-01	89.0	w	7200	25.0	u	-	-	FA	Limited	HAV	Yes
TVFC1008	61.54072	-6.76060	26.0	NT AWAC6	ADP	2010-08-04	2010-11-01	89.0	d, p, s, t	600	25.0	u	15	2.0	FA	Limited	HAV	Yes
TVFC1008	61.54072	-6.76060	26.0	NT AWAC6	ADP	2010-08-04	2010-11-01	89.0	w	7200	25.0	u	-	-	FA	Limited	HAV	Yes
VAGA1004_0026_Aa	62.00000	-7.58333	106.0	Aa RCM7	Rot	2010-04-23	2010-04-26	3.0	s,d,t	300	26.0	-	-	-	Envofar	Open	HAV	No
VAGA1004_0076_Aa	62.00000	-7.58333	106.0	Aa RCM7	Rot	2010-04-23	2010-04-26	3.0	s,d,t	300	76.0	-	-	-	Envofar	Open	HAV	No
VAGA1501	61.47348	-6.73813	27.2	NT AWAC6	ADP	2015-05-02	2015-07-27	86.0	d, p, s, t	600	26.2	u	15	2.0	FA	Limited	None	Yes
VAGA1501	61.47348	-6.73813	27.2	NT AWAC6	ADP	2015-05-02	2015-07-27	86.0	w	3600	26.2	u	-	-	FA	Limited	None	Yes
VAGB1004_0023_Aa	61.83333	-7.58000	143.0	Aa RCM7	Rot	2010-04-21	2010-04-26	4.6	s,d,t	300	23.0	-	-	-	Envofar	Open	HAV	No
VAGB1004_0073_Aa	61.83333	-7.58000	143.0	Aa RCM7	Rot	2010-04-21	2010-04-26	4.6	s,d,t	300	73.0	-	-	-	Envofar	Open	HAV	No
VAGB1501	61.46157	-6.76683	33.0	RDI WH6	ADP	2015-05-02	2015-07-27	86.0	d, p, s, t	600	32.0	u	20	2.0	FA	Limited	None	Yes
VELB1901	61.97773	-6.84987	-	NT AWAC6	ADP	2019-05-30	2019-09-26	119.0	d, p, s, t	300	-	-	12	2.0	FA	Limited	None	Yes
VELB1901	61.97773	-6.84987	-	NT AWAC6	ADP	2019-05-30	2019-09-26	119.0	w	3600	-	-	-	-	FA	Limited	None	Yes
VESF1407	62.11000	-7.13903	49.0	RDI WH3	ADP	2013-07-21	2014-09-28	434.0	d, p, s, t	60	48.0	u	19	2.0	FA	Limited	None	Yes
VESF1501	62.11598	-7.17043	20.5	RDI WH6	ADP	2015-06-09	2015-06-28	19.0	d, p, s, t	300	19.5	u	49	0.5	FA	Limited	None	No
VESF1501	62.11598	-7.17043	20.5	RDI WH6	ADP	2015-06-09	2015-06-28	19.0	w	1200	19.5	u	-	-	FA	Limited	None	No
VESG1901	62.10050	-7.11433	25.0	NT AQP4	ADP	2019-07-26	2019-09-04	39.8	s,d,p,t	300	24.0	u	9	2.0	RAO	Closed	None	No
VESH1902	62.09713	-7.08190	30.0	RDI WH	ADP	2019-08-08	2019-10-10	62.9	s,d,p,t	300	29.0	u	11	2.0	RAO	Closed	None	Yes