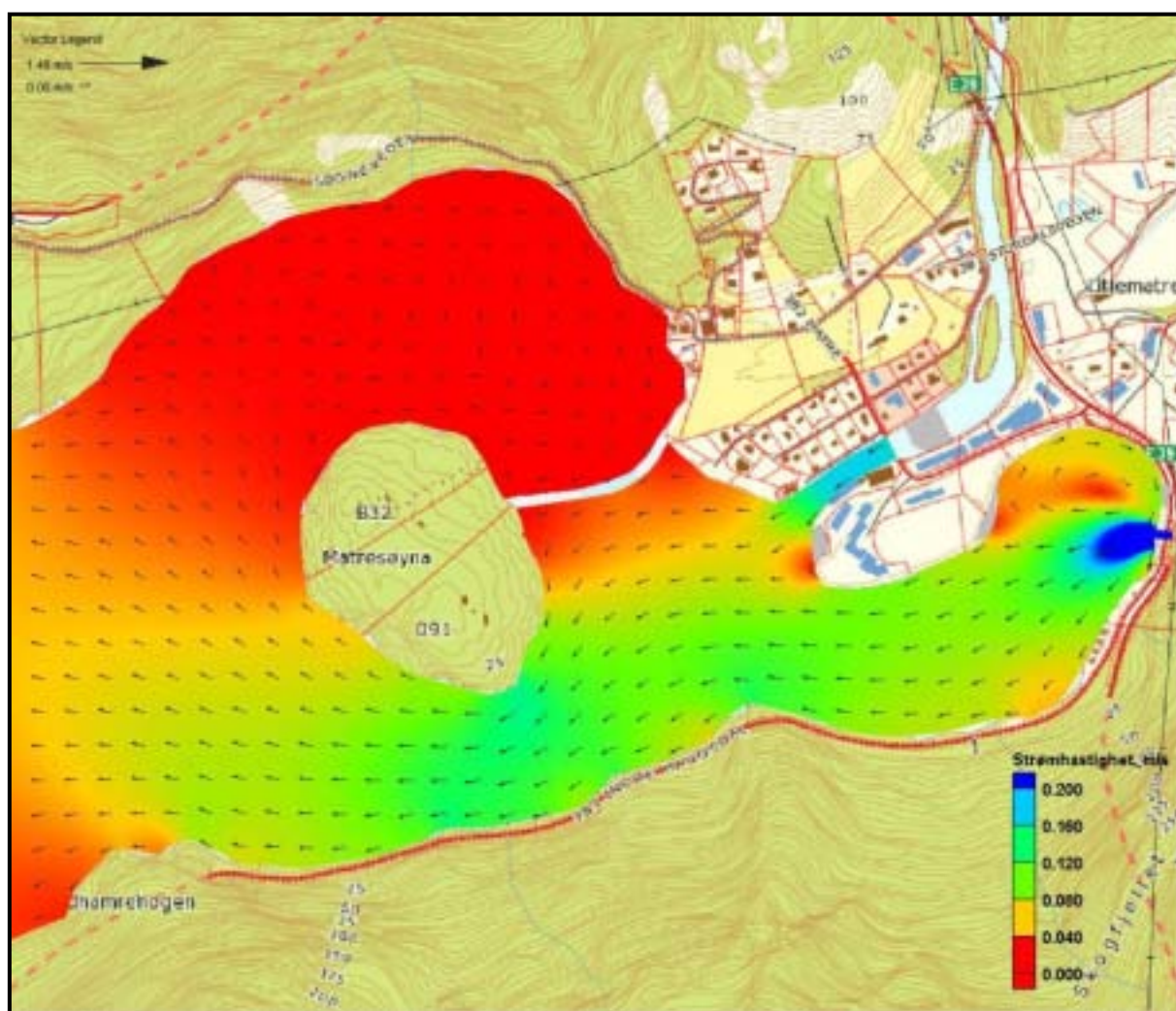


Steinfylling til Matresøyra. Vurdering av konsekvens for strøm- og istilhøve



Norsk institutt for vannforskning

RAPPORT

Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

NIVA Midt-Norge

Pirsenteret, Havnegata 9
Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

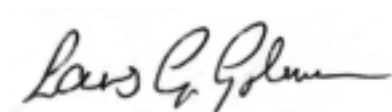
Tittel Steinfylling til Matresøyna.	Løpenr. (for bestilling) 6263-2011	Dato 30. nov. 2011
	Prosjektnr. Undernr. 11339	Sider Pris 47
Forfattarar Lars G. Golmen Jarle Molvær (Molvær resipientanalyse)	Fagområde Oseanografi	Distribusjon Open
	Geografisk område Hordaland	Trykket NIVA
Vurdering av konsekvens for strøm- og istilhøve.		

Oppdragsgjevar COWI AS	Oppdragsreferanse Oddm. Soldal
---------------------------	-----------------------------------

Samandrag

Bergenshalvøens kommunale kraftverk, BKK, skal bygge ut kraftverket i Matre. Masfjorden kommune ønskjer å nytte utspregnd steinmasse frå tunelldriving til å legge ei 250 m lang fylling frå fastlandet (Storematre) ut til Matresøyna i Matrevågen. Rapporten omhandlar vurderingar knytt til mogleg endring i sirkulasjon og isdanning som følgje av fyllinga og partikkelspreiing i samband med utfyllingsarbeidet. Modellberekningar viser ein tydeleg reduksjon i sirkulasjonen i vatnet på nordsida av Matresøyna p.g.a. fyllinga. Dette vil teoretisk også kunne medføre auka isdanning der, men det er konkludert med at fjorden framleis vil forbli isfri om vintrane p.g.a. kraftverksutsleppet. Risikoen for at partiklar frå utfyllingsarbeidet skal nå ut og ned til Havbruksstasjonens sjøvassinntak på 90 m djup vert vurdert som liten.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Matre	1. Matre
2. Kraftverk	2. Hydropower station
3. Sjøis	3. Sea ice
4. Akvakultur	4. Aquaculture



Lars G Golmen
Prosjektleder



Dominique Durand
Forskningsleder



Kristoffer Næs
For adm.

ISBN 978-82-577-5998-8

Steinfylling til Matresøyna

Vurdering av konsekvens for strøm- og istilhøve

Rapport, november 2011

Norsk institutt for vannforskning, NIVA

Føreord

COWI AS v/ Oddmund Soldal er engasjert av Bergenshalvøens kommunale kraftverk, BKK, i planlegging av disponering av steinmasse frå sprenging av ny kraftverkstunell i Matre. Eit alternativ er å lage vegfylling av massane frå Matre ut til Matresøyna.

Slik fylling vil kunne få visse følgjer for vassirkulasjon m.m., noko som nyleg er belyst i konsekvensutgreiing utført av Rådgivende Biologer. Norsk institutt for vannforskning, NIVA, vart kontakta av COWI sommaren 2011 med spørsmål om å bistå med å få vurdert vidare nokre tilleggsspørsmål og vassfaglege problemstillingar.

Avtale om eit oppdrag for desse vurderingane vart gjort i august 2011. Oppdraget vart seinare justert litt m.o.t. aktuelle scenarier (kraftverket). Eit mellombels notat om resultat vart presentert på møte i Matre 30. november. Foreliggende rapport inneheld same tekst som notatet.

Oseanografane Jarle Molvær (Molvær resipientanalyse) og Lars G. Golmen har stått for berekningane og vurderingane. Oddmund Soldal (COWI) og Espen Hammersland (BKK) bistod med opplysningar og kommentarar undervegs. Takk til dei involverte.

Bergen, 30. november 2011

Lars G. Golmen

Innhald

Innhold	3
Samandrag	3
Summary	4
1. Bakgrunn og formål	5
1.1 Bakgrunn	5
1.2 Konsekvensutgreiinga	5
1.3 Formål med dette prosjektet	6
2. Geografi, topografi og oseanografi	8
2.1 Utslepp frå kraftstasjonen	10
2.2 NIVAs granskingar i 2001-2002	11
2.2.1 Hydrografi, sjikting	12
2.2.2 Sirkulasjon	16
2.2.3 Vasskvalitet	17
2.2.4 Tilstand på botnen i 2001	18
2.3 Registreringar i 2010	19
3. Simulering av sirkulasjon	21
3.1 Metodikk	21
3.2 Data og scenarier	22
4. Islegging	25
4.1 Modellen	26
4.2 Data og simulering for islegging	28
5. Resultat for modellering av strøm	29
5.1 Fyllinga	29
5.2 Nytt avløp fra kraftverket	35
6. Verknad av partiklar	37
6.1 Steinmasser og partiklar	37
6.2 Problematikk kring dumping av sprengstein i sjø	37
6.2.1 Avstandar	37
6.3 Biologiske effektar av partiklar	38
6.3.1 Effekt på fisk	38
6.3.2 Effektar på skjel	39
7. Samanfattande vurdering	40
7.1 Utdrag frå sirkulasjons-modelleringa	40
7.2 Diskusjon og vurdering for partiklar	40
7.2.1 Tiltak for å hindre spreieing av partiklar	41
7.2.2 Resultat for islegging	42
7.2.3 Oppsummering for is	43
8. Referansar	44

Samandrag

Bergenshalvøens kommunale kraftverk, BKK, har plan om utbygging av sitt kraftverk i Matre i Nordhordland. Masfjorden kommune ønskjer å nytte utspregnd steinmasse frå tunelldrivinga til å legge ei om lag 250 m lang fylling frå fastlandet (Storematre) til Matresøyna i Matrevågen. COWI står for planlegginga av tiltaket.

Rådgivende biologer AS utarbeidde i 2010 ei konsekvensutgreiing for marint miljø i samband med planane. COWI engasjerte deretter NIVA, Norsk institutt for vannforskning, for kortfatta tilleggsvurdering av nokre miljøfaktorar, som omtalt i foreliggende rapport.

Faktorane var knytt til lokale effektar av steinfyllinga for vassirkulasjon, og evt. om ei 20 m brei opning i fyllinga vil kunne betre sirkulasjonen. Risiko for partikkelkontaminering av sjøvassinntaket på 90 m djup til Havbruksstasjonen i Matre og risiko for isdanning og isdrift i fjorden som følgje av fyllinga, var andre faktorar. I tillegg kom det opp spørsmål om BKK sin plan om å etablere nytt utslepp frå kraftverket i tillegg til det eksisterande ville kunne endre tilhøva i fjorden.

Basert på simuleringar med eit 2-dimensjonal hydrodynamisk modell konkluderer rapporten med at fyllinga vil medføre markert lågare strøm og auka opphaldstid for vatn nord for fyllinga/Matresøyna. Straumen på sørsida vil verte noko kraftigare i høve til i dag.

Opning i fyllinga vil betre utskiftinga lokalt rundt opninga, men ikkje bidra vesentleg til utskiftinga på større skala nord for Matresøyna.

Risiko for partikkelkontaminering er i første rekkje knytt til utfyllingsarbeidet som vil pågå ca 2 år, mest som følgje av utvasking av steinstøv og sprengstein-restar frå massane, men også frå eventuell oppvirvling av partiklar frå sjøbotnen i utfyllingstraseen. Berekningar og vurderingar tilseier at det er liten risiko for at partiklar skal kunne nå ut og ned til sjøvassinntaket. Det meste av større partiklar vil felle ut nær fyllinga og mindre partiklar vil følgje brakkvasstraumen utover i fjorden før dei rekk å søkke ned i mellomlagsvatn og djupvatnet vest for Matresøyna.

Konsentrasjonar av partiklar som eventuelt tidvis vil kunne nå inntaket vil vere små og vil neppe medføre risiko for tiltetting av sjøvassfilter og stans i vasstilførsel til forsøka på Havbruksstasjonen. Den permanente endringa i utskiftingstilhøva rundt Matresøyna som følgje av fyllinga vil ikkje medføre noko målbar endring i vasskvaliteten i djupvatnet ved inntaket.

Indre deler av Matresfjorden med Matrevågen er i dag isfri heile året. Fyllinga vil medføre endra hydrografiske tilhøve på nordsida av Matresøyna, som igjen vil kunne verke stimulerande på isdanning. Ein enkel konveksjonsmodell for isdanning indikerer ein auke i istjukkleik på ca 40% ved stagnante tilhøve. Slike tilhøve eksisterer sjeldan i dag, og stadig adveksjon av overflatevatn ut fjorden medfører at is ikkje vert danna. Berekningane tyder på at vilkåra for isdanning vil verte gunstigare på nordsida av øya, men ved eit ellers uendra vinterklima vil risikoen for isdanning og spesielt ikkje for tjukk is som bryt opp og driv ut fjorden, ikkje auke.

Rapporten peikar til slutt på nokre tiltak i samband med anleggsarbeidet, både avbøtande tiltak som utplassering av siltsjørt, og overvaking i fjorden i utfyllingsperioden.

Summary

Title: A planned rock fill across the sound to Matresøyna. Assessment of consequences for water circulation and sea ice formation.

Year: 2011.

Authors: Lars G. Golmen and Jarle Molvær

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-5998-8

BKK (Bergenshalvøens kommunale kraftverk) plans to increase the capacity of the hydropower station at Matre. This will involve constructing a new tunnel that will create more than 300.000 m³ of rock debris. The municipality of Matre wants to use the debris to lay a 250 m long rock fill to connect the small island Matresøyna to the shore at Matre. In 2010 an environmental assessment of marine issues was made that considered many aspects related to potential pollution and change in circulation pattern etc. from the rock fill. Later NIVA was asked to fill inn with additional assessments for problems specifically related to circulation change, possible contamination by particles released during the work period of about 2 years and issues related to ice formation. Also, the effect of a 20 m wide opening in the rock fill on circulation was to be assessed.

Possible changes in circulation pattern was studied by applying the SMS-RMA2 hydrodynamic model to the inner part of the Matrefjord, including the island and with/without rock fill. The model predicts a significant reduction in current speed and increase in residence time of water north of the rock fill/island. An opening in the rock fill will not improve this situation much, but it will stimulate the water exchange and mixing in the vicinity of the opening and as such, it is recommended.

Mineral particles from the mining and blasting of tunnel will likely be washed out in the sea when the rock is deposited at the fill site. Moreover, particles from the sediments on the seabed may be brought into suspension and carried away. The aquaculture station of the Institute of Marine Research in Matre draws its seawater from 90 m depth in the fjord west of the island. Any contamination of this water should be avoided. From the assessments made it was concluded that the risk of particle contamination is unlikely, but that prevention measures and some form of monitoring of the intake water should be established during the fill work.

After the establishment of the discharge from the hydropower station at Matre the inner part of the fjord has always remained ice free during winter. There was a question whether the change in water circulation due to the rock fill would stimulate ice formation and drift of ice sheets in the fjord. A simple convective model driven by surface cooling was applied to hydrographic winter profiles from the inner part of the fjord. For a 24 hours test period of constant cooling the model predicted 4.6 cm of ice formed. By adjusting the profile (stratification) to comply with a theoretical future situation with the rock fill in place, a ca 40% increase in ice thickness was calculated.

As in reality most surface water will be advected away and into the open waters of the fjord during such a test period, the risk of heavy local ice formation with subsequent breaking up of the ice and ice drift due to the rock fill is thus regarded as low, assuming a winter climate as before.

1. Bakgrunn og formål

Dette kapittelet gjev ein kortfatta omtale av bakgrunnen for prosjektet og ei kort oppsummering av konsekvensutgreiinga frå 2010. Målsettingane med den foreliggende analysen er så skildra. Prosjektet vart foreslått inndelt i h.h.t. konkrete spørsmål som vart stilt av COWI. Prosjektet har vore eit skrivebordsstudium, utan feltarbeid eller synfaring av noko slag.

1.1 Bakgrunn

Masfjorden kommune har planer om å legge ei om lag 250 m lang steinfylling frå fastlandet (Storematre) og ut til Matresøyna i Matrevågen (**Figur 1**). Steinmassane (ca 300.000 m³) vil kome frå planlagt tunelldriving/sprenging i sbm utviding av BKK sitt kraftverk i Matre. COWI står for planlegginga av tiltaket.

I 2010 vart det utarbeidd ei konsekvensutgreiing (KU) for tiltaket når det gjeld marine tilhøve (Eilertsen m. fl. 2011, heretter kalla KU). COWI ønskjer ei vidare utgreiing av nokre faktorar i tilknytning til KUen, noko som foreliggende rapport er eit svar på.



Figur 1. Skisse av planlagd fylling. Frå Eilertsen m. fl. 2011.

1.2 Konsekvensutgreiinga

Den nyleg utarbeidd KUen vurderte både konsekvensar i anleggsfasen og ved ferdig fylling. Utgreiinga tok utgangspunkt i fylling med ein båtpassasje, 20 m brei, 3 m djup. Plasseringa av passasjen var ikkje nærare bestemt, lokalisering nær begge endar av fyllinga vart diskutert.

Konsekvensutgreiinga baserte seg på eit måle- og registreringsprogram som vart gjennomført i 2010 og litt inn i 2011. Det vart utført strømmåling i og ved fyllingstraseen, målt hydrografi og gjort ulike marinbiologiske registreringar av botn og strandsone. Topografiske og hydrografiske tilhøve i fjorden og Matrevågen var grundig skildra, saman med det planlagde tiltaket.

Basert på dette vart det gjort vurderingar for verknadar på vassirkulasjon, sjikting og istilhøve i fjorden, samt vurderingar for marinbiologi, både for anleggsfasen og ved ferdig fylling.

Moglege effektar i utfyllingsfasen som var påpeikt, var risiko knytt til spreieing av partiklar med negativ påverknad for fiskeoppdrettsanlegget ved Matreberget (det er bestemt at anlegget skal flyttast), og mogleg påverknad for vasskvaliteten i sjøvassinntaket til Havbruksstasjonen. Her kan avbøtande tiltak som bruk av siltgardin redusere risikoen.

Tilhøva som foreliggende studie konsentrerer seg om, er relatert til situasjonen etter at fylling er etablert. KUen peikte for den situasjonen på redusert strøm i områda på begge sider av fyllinga som i dag har gode strømforhold. Nordsida ville bli mest affisert. Dette gjeld også for makroalgar og botnfauna for øvrig. Oppdrettslokaliteten ved Matreberget vil bli mindre eigna. Islegging kan auke, særleg på nordsida av fyllinga og i retning Matreberget i følgje KUen. Vandringsmønsteret for (anadrom) fisk til/frå Matreelva og Matrevågen kan bli endra.

1.3 Formål med dette prosjektet

Etter fullføringa av KUen og vidare handsaming av den har BKK/COWI formulert nokre spørsmål i tilknytning til problemstillingane som NIVA er beden om å vurdere:

Spørsmål 1: Kan det lagast ein enkel modell for å vise partikkelspreieing frå steinfyllinga og ut til vassinntaket til Havforskningsinstituttet (Figur 2) som ligg på utsida av Matresøyna på 90 m djup?

NIVA foreslo her ei pragmatisk tilnærming for å sjå på skala/dimensjon i problemstillinga. Bruk av hydrodynamisk 3D modell vart ansett som det optimale men samstundes å vere for ressurskrevjande i høve til tidsramma for prosjektet. NIVA foreslo ein kombinasjon av analytisk og empirisk tilnærming ved å sjå på aktuelle partikkelkaraktistikkar og evt effektar av desse på fisk/vasskvalitet, utfyllingsplanane (djupner, frekvens på dumping m.m.) for sannsynleg spreieingsmønster. Modellane PLUMES evt. CORMIX kunne bli nytta for kvantitative analyser, halde opp mot resultat av bruk av ein 2D modell (punkt 3) og eksisterande måledata frå KUen.

Havbruksstasjonen driv i dag forsøk over eit stort spekter, på mange typar organismar, mest på fisk. Nokre stadiar vil vere særst ømfintlege for forureining/partiklar. Dette gjeld også forsøk som vert gjort i sbm studiar av effekt av havforsuring. Inntaksvatnet frå fjorden går gjennom eit grovfilter og vert UV-behandla. Der er ein pumpesynk. med ein viss bufferkapasitet, men den er liten. Stasjonen er soleis i praksis avhengig av kontinuerleg sjøvassforsyning. I lys av dette er det gjort boringar massen ved elveutlaupet for å ta opp sjøvattn derfrå, evt som backup ved evt episodar ved eksisterande inntak på 90 m. Vasskvaliteten i borehola er sannsynlegvis bra, men karakteristikken kan vere noko annleis enn for vatnet på 90 m, som har ganske konstant temperatur rundt 8.5- 9 °C, og salinitet rundt 34. Det optimale for stasjonen er å få brukt dagens inntak kontinuerleg, utan avbrot.

Spørsmål 2: Kva vil ei steinfylling bety for islegginga i fjorden? HI har eit oppdrettsanlegg som skal flyttast på sørsida av fjorden (Smørdalen) og er redde for å få is der.

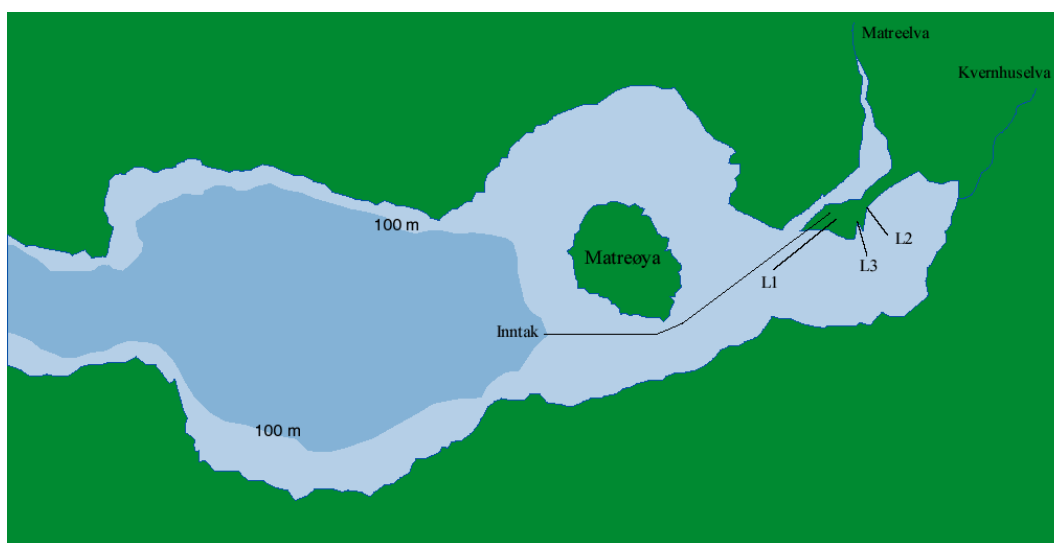
Eksisterande hydrografimålingar frå fjorden var foreslege brukt i ein sensitivitetstest m.o.t. islegging med ein enkel isfrysingsmodell, med generisk klimainput. Lokaliteten ved Matreberget skal avviklast og er såleis mindre aktuell å vurdere, slik at fokuset blir på erstatningslokaliteten på sørsida.

Spørsmål 3: Vil ei steinfylling endre på dei generelle strømforholda i fjorden? HI er engstelege for at denne kan føra til storskala endringar som vil endra den vassforsyninga dei har i dag, t.d. endring av salinitet og temperatur.

NIVA har her, i h.h.t. prosjektforslaget, utført studiar om endring i strømførholda med 2D modellen SMS-RMA2. Denne er kjørt først utan fylling (dagens situasjon) og så med fylling for å detektere evt endringar først og fremst i overflatesirkulasjon og evt om nye bakevjer eller endra sirkulasjonsmønster i overflata kan medføre auka utfelling/sedimentering til botnen og djupvatnet. Så er det gjort modellkjøringar med opning i fyllinga. Eksisterande strømmålingar og andre data frå fjorden er vurdert. Utskiftings-mønsteret i djupvatnet og evt. endringar i dette er vurdert skjønsmessig.

Spørsmål 4: Kan det gjerast ein sensibilitetsanalyse som viser konsekvensane ved ulik opning gjennom fyllinga?

SMS modellen er nytta til å vurdere ulike opningar, og effektar av desse på vassutskiftinga. I tillegg er det sett på nokre tekniske verkty/tabellar for dimensjonering.



Figur 2. Kart over Matrevågen med havbruksstasjonens sjøvassinntak og utslepp (L). Frå Sundfjord m. fl. 2002.

2. Geografi, topografi og oseanografi

Dei fysiske tilhøva i Matrefjorden og Matrevågen og den tilstøytande Fensfjorden vart grundig omtalt i konsekvensutgreiinga og tidlegare, m.a. av Sundfjord m. fl. (2002). Omtalen her er difor kortfatta, for detaljar syner vi til dei omtalte rapportane.

Matrefjorden er innte del av Masfjorden som igjen er ein del av Fensfjordsystemet (**Figur 3**). Masfjorden har samband til Fensfjorden ved Duesund. Her, og litt lengre inn fjorden nær Selvåg, er det ein terskel med minste djup på 75 m (Kaartvedt m. fl. 1988). Sjølve Masfjorden (**Figur 4**) har djupner ned mot 500 m, før det igjen vert grunnare inn mot bassenget ved Matre. Ved Tirnes er det i overkant av 150 m djupt, medan bassenget innafor er knapt 190 m djupt. Innafor Matresøyna er det stort sett grunnare enn 20 m (**Figur 5**).



Figur 3. Kart over Fensfjorden med Matre lengst inne.

Sjikingstilhøva i fjorden er karakteristiske for eit terskelfjordsystem. Djupvatnet (under tersklane) er tungt og meir eller mindre stagnant (Gade 1973). Dette vatnet blir skifta ut med visse mellomrom på grunn av tilførsle av tungt kystvatn. Over terskeldjupa finst kystvatn som står i fritt samband med Fensfjorden. I desse sjikta vil utskiftinga normalt vere meir hyppig, og vasskvaliteten såleis betre med omsyn på til dømes oksygen.

Overflatelaget er prega av stor tilførsle av ferskvatn til Matrevågen. Dette laget vil derfor ha lågare salinitet og tyngde enn dei djupare vassmassane. Om vinteren vil slike elvetilførselar normalt vere små, men i og med at kraftverket i Matre er i drift gjennom heile året vil eit slikt overflatelag med brakkvatn sannsynlegvis vere permanent til stades. Dette overflatelaget vil vere mest markant inst i fjorden, nær utslippet frå kraftverket og Matreelva.

Sirkulasjonen i Masfjorden blir driven av fleire ulike krefter, primært tidvatn, ferskvasstilførsel, vind og trykk-gradientar i sjøen. Tidevasstrømmen er moderat i indre del av fjorden, men er likevel viktig for utskiftinga. Tidevassutskiftinga vil først og fremst gjelde sjikt grunnare enn terskeldjup, men har

også ein viss effekt over tid på blandinga djupare ned og er difor også viktig i høve til utskifting av vatn der.

Tilførsla av ferskvatn i overflata skaper ein horisontal gradient som gjer at brakkvatnet sig ut fjorden. I denne prosessen vert og ein del av det underliggjande vatnet rive med og blanda inn i overflatelaget mens dette gradvis blir tjukkare og saltare lenger ut i fjorden. For å erstatte dei midlare vassmassane som strøymer ut fjorden får ein då ein såkalla kompensasjonsstrøm inn fjorden. I ideell form kallast dette strømningsmønsteret for estuarin sirkulasjon, som ofte kan vere kopla med svak, utgåande strøm djupare nede.

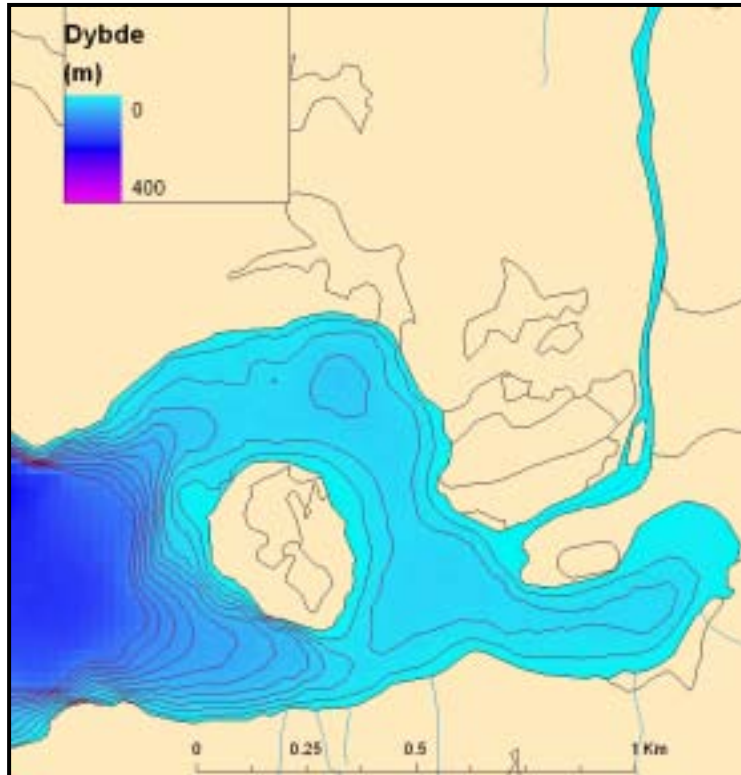
Vind kan tidvis forsterke eller bremse strømmen ut av og inn i fjorden. Ved til dømes vedvarande vind utover fjorden vil brakkvatnet i overflata få større fart, medrivninga av vatnet under vert meir effektiv, og kompensasjonsstrømmen inn fjorden vil etterkvart auke. Vatnet under terskeldjup vil i liten grad bli påverka av dette. Det djupaste vatnet vil derfor ikkje bli skifta ut like hyppig som vatnet lengre opp i vassøyla.

Botnvatnet har høgare salinitet og lågare temperatur (om sommaren) og er såleis også tyngre enn vatnet over. I stagnasjonsperiodar vil desse eigenskapane bli utjamna gjennom diffusjon av salt og varme mellom laga. Etterkvart vil botnvatnet bli lettare, og dersom kystvatnet utanfor terskelen er tyngre vil dette strøyme inn og fortrenge vatnet innafor og under terskelen. Slike utskiftingsepisodar hender meir eller mindre regelmessig i fjordar som har djupe tersklar slik som Fensfjord-Masfjordsystemet.



Figur 4. Sjøkart for indre deler av Masfjorden og Matresfjorden med Matresøyna, Matrevågen og Matreelva.

Matresfjorden er ei 7 km lang forlenging av Masfjorden, med 194 m som største djup. Breidda varierer frå 0.3 til 3 km (**Figur 4**). Fjorden grunnast opp innover mot Matresøyna (**Figur 5**) der det stort sett er grunnare enn 20 m. Matreelva renn ut nord for Matrevågen, der kraftverket har sitt hovudutslipp inst inne.



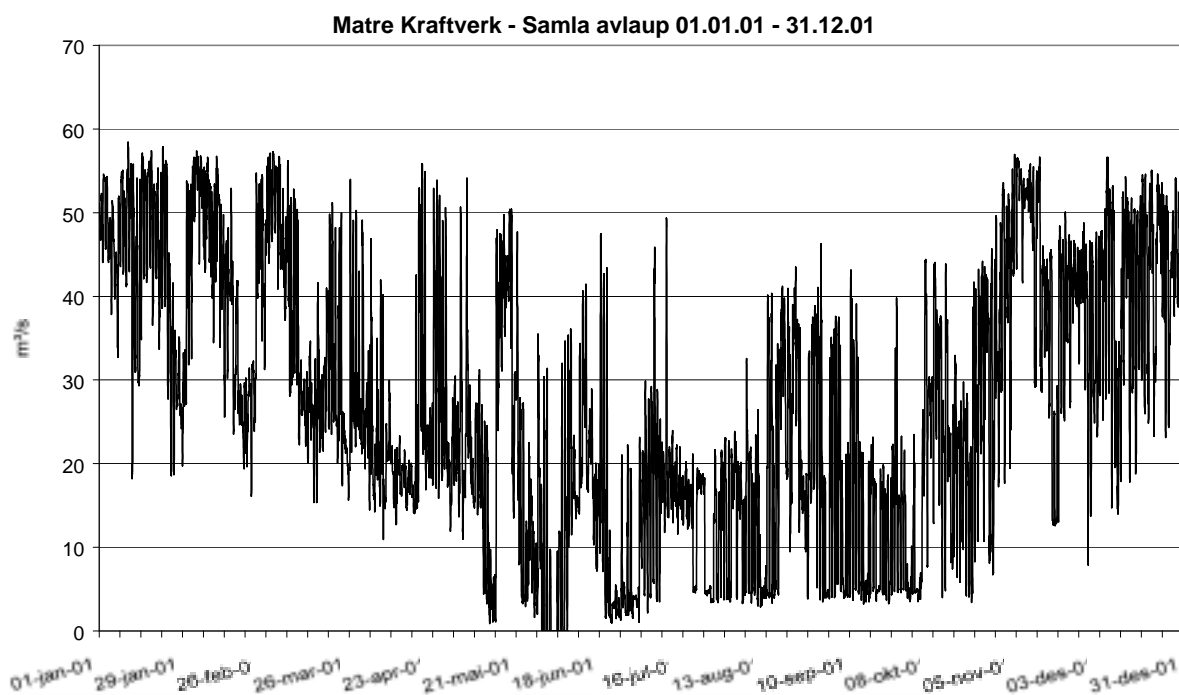
Figur 5. Botntopografi for indre deler av Matresfjorden med Matresøyna og Matreelva.

2.1 Utslepp frå kraftstasjonen

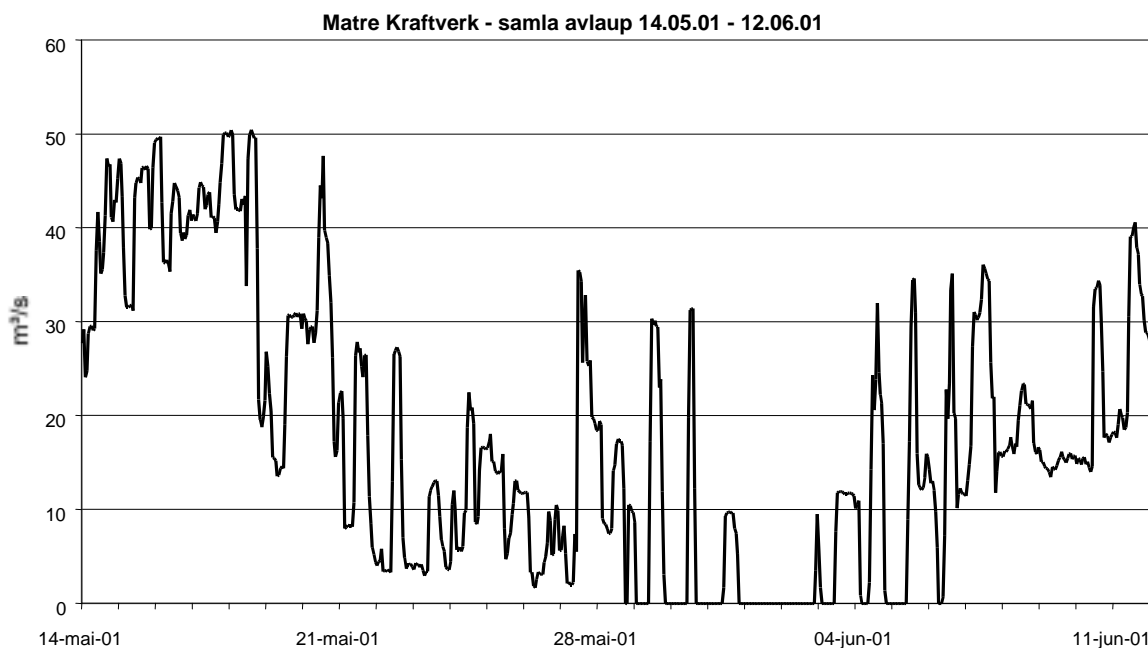
Som nemnt over, er tilførsle av ferskvatn ein viktig drivkraft for sirkulasjon og utskifting av vatn i Matrevågen/Matresfjorden. Etter kraftutbygginga rundt 1960 kjem det meste av dette ferskvatnet til fjorden via BKK sitt kraftverk i Matre, og ein mindre del med Matreelva. Kraftverket slepp ut vatn frå tre aggregat som er tilknytt Haugsdalsvassdraget og to aggregat for Matrevassdraget. Slukeevne for desse aggregata er til saman ca $53 \text{ m}^3/\text{s}$. I år 2000 gjekk det gjennomsnittleg $44 \text{ m}^3/\text{s}$ gjennom kraftverket og ut i fjorden, noko som motsvarar ei årleg vassmengd på omlag $1.390 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Årssyklusen for ferskvasstilførsle er ulik det ein til vanleg ser for uregulerte elvar. Vanlegvis vil ei elv ha liten eller ingen vassføring om vinteren, ein eller fleire flaumperiodar om våren (i samband med snøsmelting), ein viss reduksjon om sommaren, og så meir eller mindre jamt stor vassføring om hausten. I regulerte vassdrag er tilførsle gjerne jamnare heile året, men med ein viss auke i produksjonen om vinteren når etterspurnaden er størst. Dette er tilfellet og for kraftverket i Matre. Avlaupssyklusen for år 2001 for Matre Kraftverk er synt i **Figur 6**.

Kraftproduksjonen og dermed vassstilførsle har dei siste åra variert etter etterspurnad (effektøyring) og prisnivå. Anlegget kan difor i periodar vere kopla ut slik at det ikkje er vassstilførsel herfrå i det heile. Slike periodar med driftsstans varer vanlegvis i nokre timar (gjerne om natta), men kan og kome opp i eit par døgn lengde. Eit eksempel på korleis tilført vassmengd kan variere er vist i **Figur 7**. Det er rimeleg å gå ut ifrå at desse variasjonane i tilførsle påverkar sirkulasjonen i Matrevågen og utover i fjorden. I tillegg har slik produksjonsstans medført visse problem for vassforsyninga (ferskvatn) til Havbruksstasjonen.



Figur 6. Avlaup (m^3/s) fra Matre Kraftverk i år 2001. Data fra BKK.



Figur 7. Døme på variasjon i avlaup fra Matre Kraftverk (mai-juni 2001, m^3/s). Merk periodane med stans i kraftproduksjonen. Data fra BKK.

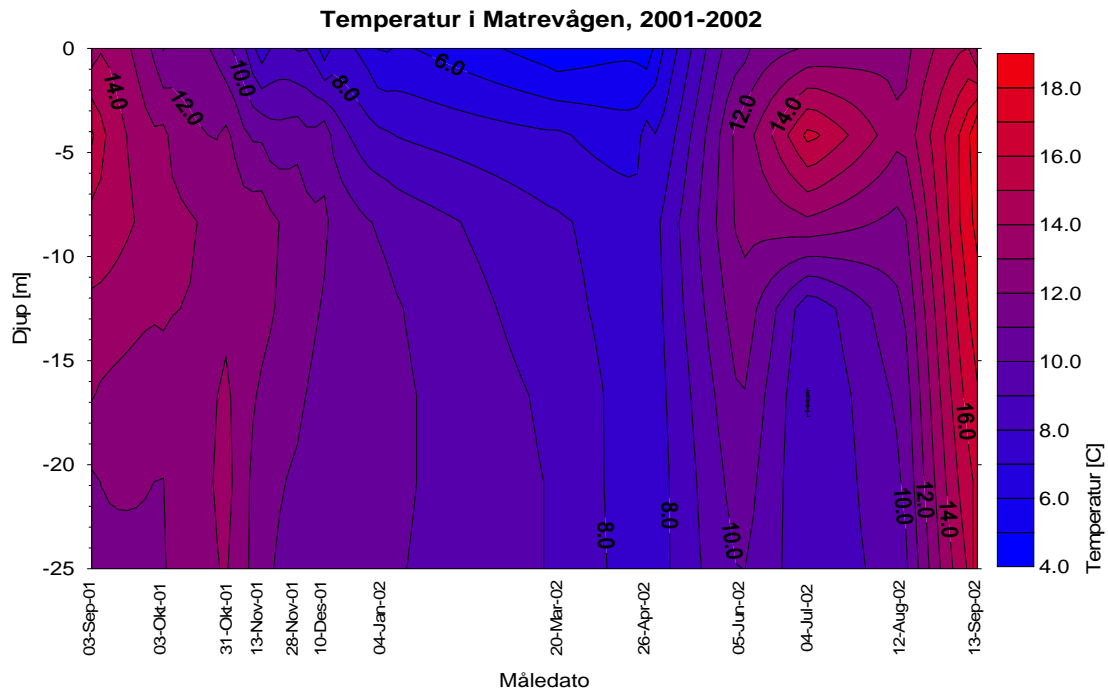
2.2 NIVAs granskingar i 2001-2002

I samband med Havbruksstasjonens planer for utbygging utførte NIVA målingar og prøvetaking i Matrevågen hausten 2001, som grunnlag for å vurdere miljøstatus for resipienten og tilrå framtidige

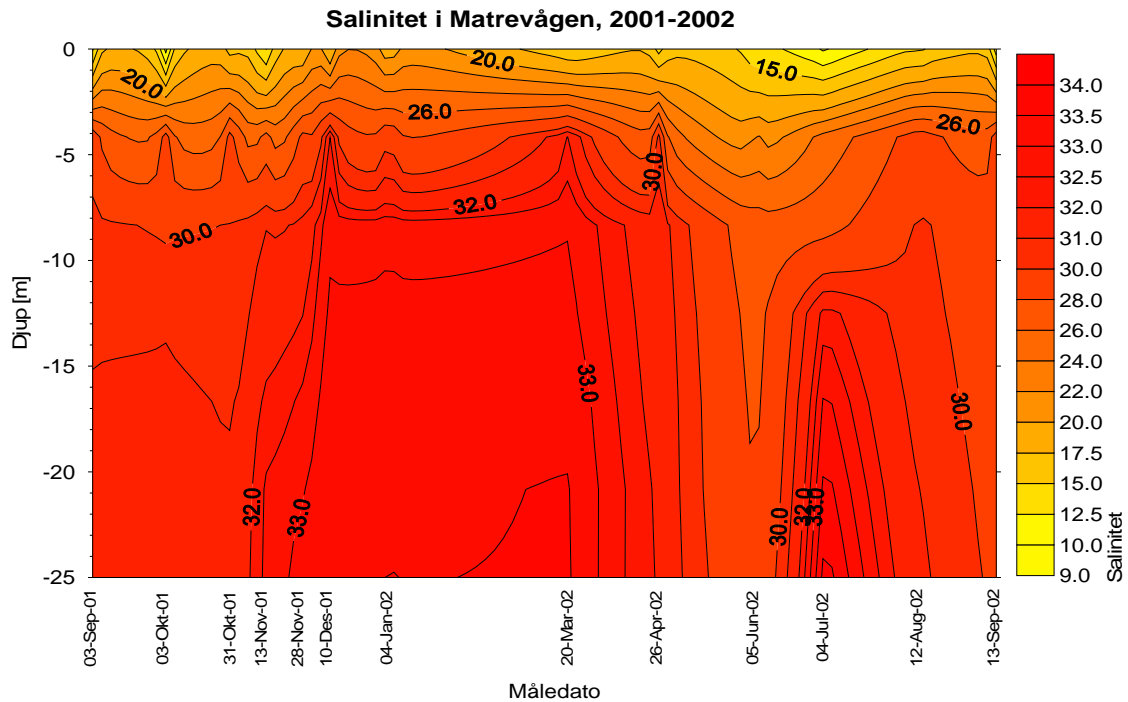
inntaks- og utsleppsløysingar. Det vart tatt prøver av sediment og sjøvatt, gjennomført hydrografiske målingar på to stasjonar og strømmåling i ein posisjon (Sundfjord m. fl. 2002). Dette vart følgt opp med nye målingar for å framskaffe full årsserie for hydrografi og vasskvalitet (Golmen og Sundfjord 2002). Vi saksar her kortfatta frå rapportane.

2.2.1 Hydrografi, sjikting

Målingane i 2001 supplert med dei påfølgjande målingane til september 2002 stadfesta at sjøen i Matrevågen var markert sjikta, med eit tilnærma permanent brakt overflatelag som strekte seg ned til 2-3 m djup med meir homogent vatn derunder. Sjå **Figur 8- Figur 9**. Sjiktinga er skapt av dei store ferskvasstilførslene som (då) i det alt vesentlegaste (> 90 %) kom frå BKK sitt kraftverk, med tilførsler rundt 30-40 m³/s.



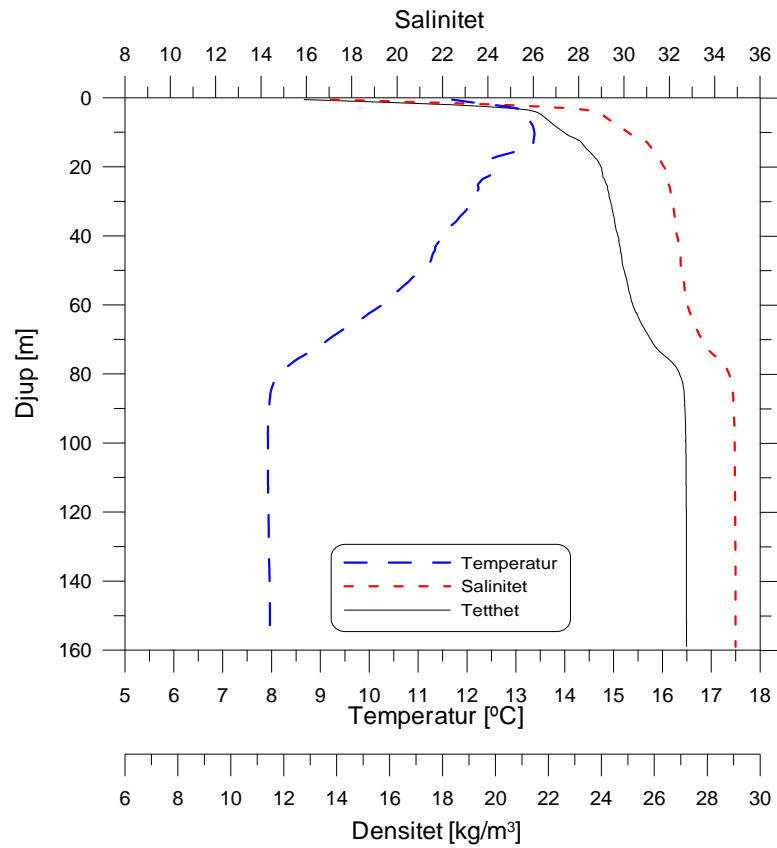
Figur 8. Målt temperatur i Matrevågen, sept. 2001 – sept 2002.



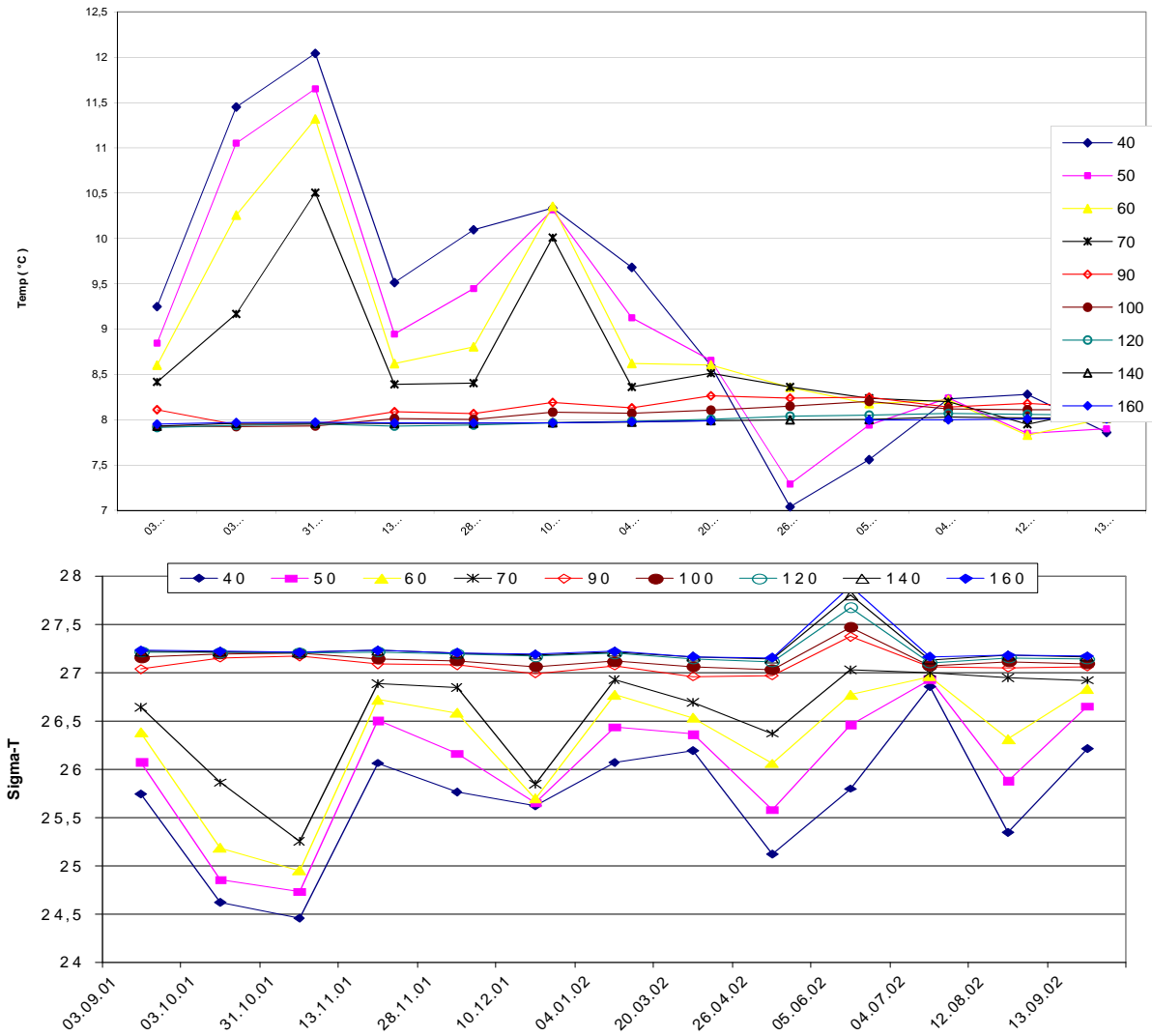
Figur 9. Målt salinitet i Matrevågen, Sept 2001 – Sept 2002.

I bassenget vest for Matresøyna var tilhøva i overflatelaget om lag som inne i Matrevågen, med raskt aukande densitet i dei øvre få meter og med moderat auke herfrå og ned til ca. 80-90 m djup. Derfrå og ned til botnen var det svært stabile forhold, med temperatur på 8 °C, salinitet på 34.9 og densitet rundt 1.027,2 kg/m³. Målingane frå 3. oktober 2001 er vist i **Figur 10**.

Tidsutviklinga for temperatur, salinitet og densitet i nokre utvalde djup - 40 m til 160 m ved sjøvassinntaket er synt i **Figur 11**. Den relativt markerte forskjellen mellom 40-70 m sjiktet og djupare sjikt som framkom i 1. målerunde, var mindre tydeleg i dei nye målingane. For temperatur var det ein inversjon i april -2002, med lågast temperatur i 40-50 m djup. Salinitetsfordelinga på Stasjon 2 var alltid stabilt sjikta, med aukande verdi mot botnen. Frå 90 m og nedover var det tilnærma konstante verdiar for alle parametranne.



Figur 10. Målt vertikalprofil av salinitet, temperatur og densitet frå området ved sjøvassinntaket den 3. oktober 2001.



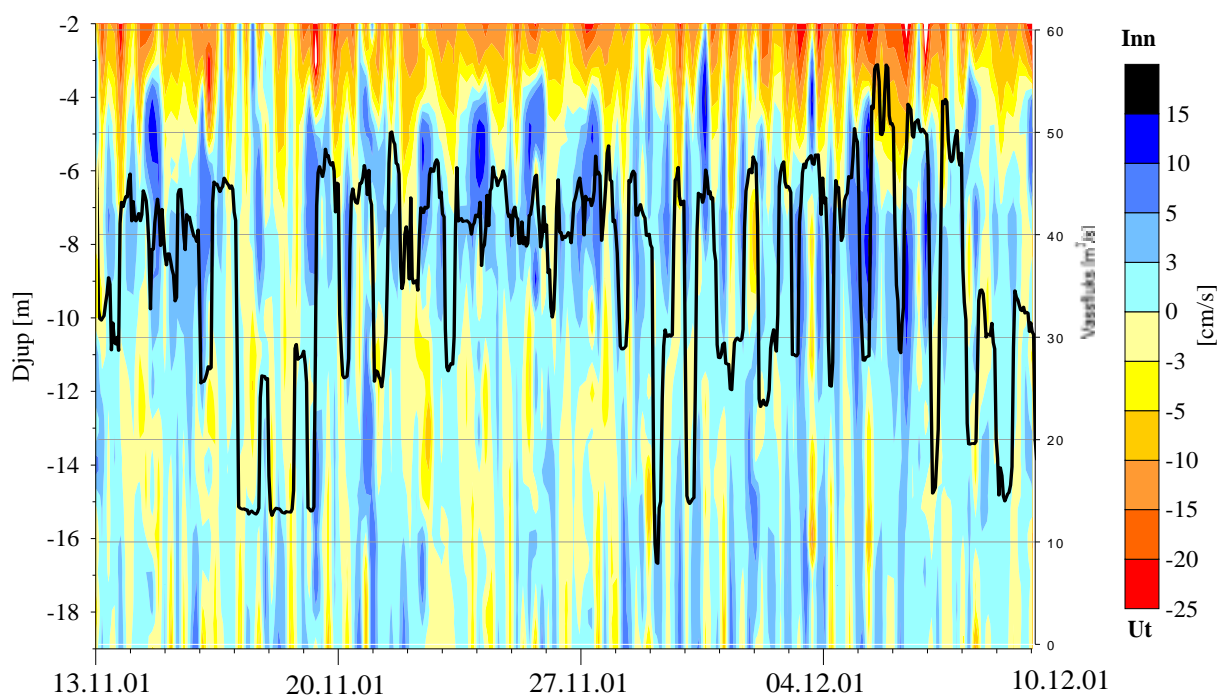
Figur 11. Variasjon i temperatur, salinitet og densitet på Stasjon 2 (nær posisjon for sjøvassinntaket) i utvalde dyp fra 40 m til 160 m.

2.2.2 Sirkulasjon

Strømmen målt i Matrevågen ved planlagt utslepp, Leidning Nr 3 (**Figur 2**), hausten 2001 var sterkast i det øvre laget med målt maksimalverdi på 59 cm/s og middelerdi på 16 cm/s. Strømmen hadde oftast retning ut vågen i dette laget. I 5 m djup var maks og middel strøm h.h.v. 33 og 9 cm/s, med hovedretning innover. På større djup var middel strømfart rundt 5 cm/s, også med overvekt av strøm innover vågen. Sjøkt i 10 - 15 m djup hadde høgast førekomst av lange svakstrømsperioder.

Eit oversiktsbilete av korleis strømmen i Matrevågen varierte med djupet over tid er vist i **Figur 12**. Strøm ut av vågen (mot vest) er gitt negativ verdi og strøm inn er positiv. Den sterke utgåande strømmen i det brakke overflatelaget er tydeleg (raud/orange farge). Likeeins kan ein sjå kompensasjonsstrømmen som kjem inn under dette laget, som ein overvekt av positive (blått) målingar i djup 5-10 m. Det kan og sjå ut til å vere eit visst bidrag frå vekslende tidvatn, spesielt i den djupaste halvdel av måleintervallet.

Tabell 1 syner ein del statistiske strømvordiar frå utvalde djup. I tillegg til gjennomsnittleg og maksimal strøm samt standardavvik er det og gitt ein residualstrøm for kvart djup. Dette kan seiast å vere ein gjennomsnittleg netto- eller reststrøm – summen av alle måleverdiane fordelt etter retning dividert på den samla måleperioden. Residual retning er nettoretning for heile perioden.



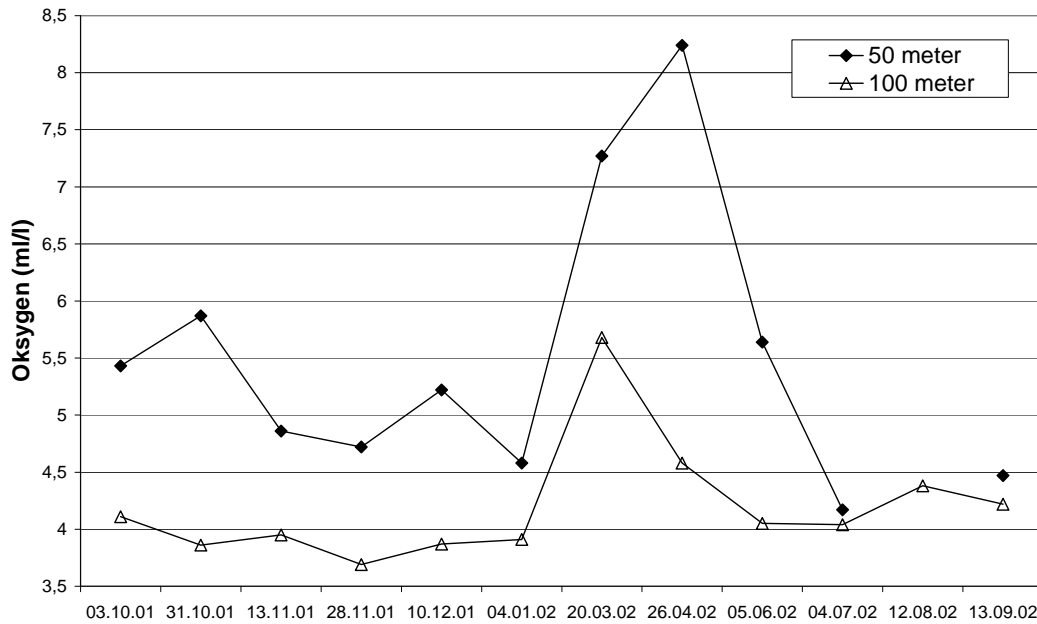
Figur 12. Strøm inn- og ut av Matrevågen i ulike djup, målt av NIVA i november-desember 2001. Den svarte kurva syner ferskvasstilførsle (fluks, m³/s) frå kraftstasjonen i same perioden.

Tabell 1. Statistiske verdiar frå utvalde djup frå strømmålingane i Matrevågen nov.-des. 2001.

Djup [m]	Strømstyrke, gj.snitt [cm/s]	Maksstrøm [cm/s]	Standardavvik [cm/s]	Residualstrøm [cm/s]	Residual retn. [grader]	Stabilitet
3	15,9	59,0	13,24	13,2	221,2	0,833
5	9,4	33,2	5,59	7,3	94,1	0,784
10	4,9	18,9	5,59	0,5	119,8	0,091
15	5,0	18,9	5,51	0,6	97,9	0,120
19	5,3	18,2	5,42	1,0	119,0	0,193

2.2.3 Vasskvalitet

På Stasjon 2, i djupbassenget vest av Matresøyna, blei det tatt oksygenprøver i 50 og 100 m djup. Tidsutviklinga er synt i **Figur 13**. I mars, og særleg april 2002 auka verdiane markert i høve til normalt nivå. I 50 m djup var lågaste verdi 4,17 ml/l (juli 2002, 63 % metning). Mars-april 2002 hadde innslag av overmetning i dette djupet, etter same mønster som i Matrevågen. I 100 m djup var lågaste målte verdi på 3,7 ml/l (november 2002, 56 % metning). Det var eit markert fall i temperatur og salinitet i tilsvarande periode, noko som kan tyde på ein utskifting i denne perioden. Verdiane i 50 m falt deretter raskt tilbake til normalt nivå på 4-6 ml/l, mens verdiane i 100 m stabiliserte seg på eit litt høgare nivå enn før episoden i mars-april.



Figur 13. Tidsutvikling for målt oksygeninnhald (ml/l) i 2001/02 i 50 m og 100 m djup i området der sjøvassinntaket seinare vart lokalisert.

Tabell 2. Resultat av analysar av vassprøver tatt 3. oktober og 13. november 2001 og i juni-september 2002 ved Stasjon 1 (Matrevågen) og Stasjon 2 (vest av Matresøyna, v/ noverande inntak).

2001	Tot-P [$\mu\text{g/l}$]		PO ₄ -P [$\mu\text{g/l}$]		Tot-N [$\mu\text{g/l}$]		NO ₃ -N [$\mu\text{g/l}$]		TOC [mg/l]	
	03.10	13.11	03.10	13.11	03.10	13.11	03.10	13.11	03.10	13.11
St. 1, 2 m	9	12	1	6	245	165	50	57	2,3	1,4
St. 1, 20 m	12	19	7	13	190	175	74	82	1,5	1,4
St. 2, 50 m	12	25	9	19	185	190	66	111	1,7	1,2
St. 2, 100 m	37	47	34	40	295	280	185	280	1,9	1,1

2002	Tot-P [$\mu\text{g/l}$]			PO ₄ -P [$\mu\text{g/l}$]			Tot-N [$\mu\text{g/l}$]			NO ₃ -N [$\mu\text{g/l}$]			Turbid. [FNU]		
	05.06	12.08	13.09	05.06	12.08	13.09	05.06	12.08	13.09	05.06	12.08	13.09	05.06	12.08	13.09
St. 1, 2 m	33	10	7		3	2		170	175		16	44	0,21	0,27	0,58
St. 1, 20 m	38	11	22	29	7	14	345	165	290	26	8	36	0,28	0,29	0,29
St. 2, 50 m	20	20	35	15	18	33	205	240	275	98	130	180	0,55	0,17	0,50

St. 2, 100 m	42	42	38	37	42	35	325	315	280	200	220	195	0,48	0,24	0,22
--------------	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------

Resultat av analysar for næringssalt m.m. frå dei to stasjonane i 2001-02 er synt i **Tabell 2**. Sommarverdiane (gjennomsnittet for dei nye målingane) ga karakteristikken ”særs god” for Tot-N, ”god” for PO₄, ”mindre god” for NO₃ og Tot-P. Klassifiseringa for sommarsituasjonen ga samsvarande eller litt dårlegare klassifisering enn vintermålingane, og nitrat var gjennomgåande ”mindre god”.

Det er kjent at det ofte samlar seg opp manetar og anna ”pelagisk” materiale inst i Matrevågen ved utlaupet av kraftverket. Dette materialet blir trekt innover fjorden/vågen av kompensasjonsstraumen under brakkvatnet, og kan også tidvis bli blanda opp til overflata inst inne. Nedbryting av dette materialet kan medføre oppkonsentrering av næringssalt i sjøen. Næringssalt frå kjelder lenger ute i fjorden, t.d. frå kommunale avlaup o.a. kan også bli transportert inn mot Matrevågen.

Verdiane for næringssalt på 20 m djup i Matrevågen og 50/100 m ved inntaket var jamt over høgre enn for overflatelaget i Matrevågen. Dette representerer ein normal situasjon med aukande verdiar mot botnen, utan at det finns kvalitetskriteriar å relatere dette til.

TOC prøvene representerer summen av levande (algar) og daudt organisk materiale i sjøvatnet. Høgast verdi var 2,3 mg/l, i Matrevågen i oktober. Verdiane blei redusert frå oktober til november, i alle prøvetakingsdjup. Dette tyder på at materialet ikkje hopar seg opp men blir redusert og remineralisert med forbruk av oksygen. Både 50 m og 100 m djup på Stasjon 2 hadde fallande oksygenverdiar i same perioden.

Turbiditetsverdiane (kun frå 2002) var låge og motsvarar SFT klasse ”godt egnet” (FTU < 2) når det gjeld badevasskvalitet.

2.2.4 Tilstand på botnen i 2001

Konsentrasjonar av metall i Matrevågen var låge og samsvarande med SFTs tilstandsklasse I ‘ubetydeleg – lite forureina’, noko som tyder på at det ikkje er noko metall-forureining av betydning der. Resultata for fosfor i sedimentet tyder på at Matrevågen er noko påverka av avlaupsvatn. Det var ikkje skilnad mellom stasjonane, så det kan sjå ut som det var ein jamn påverknad i heile vågen.

Ved dåverande Leidning Nr 1 (**Figur 2**) sitt utsleppspunkt var det eit etter måten artsfattig dyresamfunn med høg individtettleik. Botnprøva derfrå fall i SFTs tilstandsklasse IV ’dårleg’. Ved Leidning Nr 2 og nærare utløpet av Matreelva var talet på arter normalt, mens individtettleiken tyda på ein viss organisk påverknad. Det var ingen synlege prov på effektar rundt utsleppa frå tidlegare Fiskekultur AS.

Utafor Matresøyna der inntaket for sjøvassleidninga seinare vart plassert, var sedimenttilhøva rimeleg gode. Sedimentet var mørkt, noko som nok skuldast høgt organisk innhald, men sedimentet var friskt og var utan lukt av hydrogensulfid. Dette tyder på at vassutskiftinga er god og at det ikkje samlast opp organisk materiale på staden.

I fjordbassenget var også sedimentet friskt. Langvarig stagnasjon og eventuelt H₂S er neppe til stades, og oksygenverdiane i djupvatnet var tilfredsstillande. Det vart tatt ut og lagra separate botnprøver frå dette området som evt. kan analyserast for kornfordeling, organiske komponentar og tungmetall.

2.3 Registreringar i 2010

Alle målingane og registreringane får 2010 er grundig omtalt i KUen og vert ikkje omtalt her. Vi tek likevel med Tabell 11 og 12 i KUen (**Tabell 3** her) sidan strøm er ein sentral parameter i noverande vurdering. Samt **Figur 14** med tidsseriar for overflatestrøm og utslepp frå kraftverket.

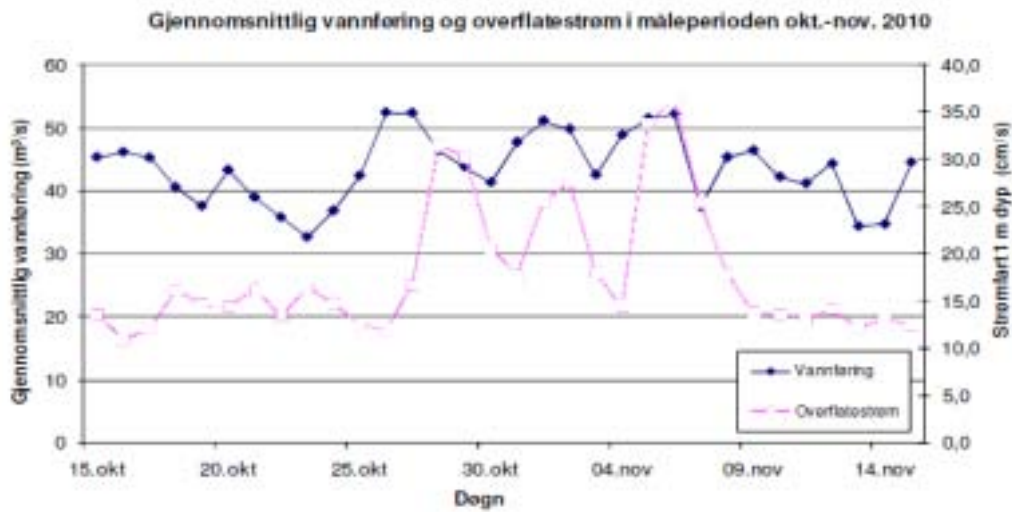
Tabell 3. Resultat frå strømmålingar i 2010.

Tabell 11. Sammenfatning av resultatene fra de utførte strømmålingene i en høstsituasjon (perioden 14. oktober – 15. november 2010) ved Matre, med middel og maks registrert strømhastighet, varians, samt strømmens retning og retningsstabilitet.

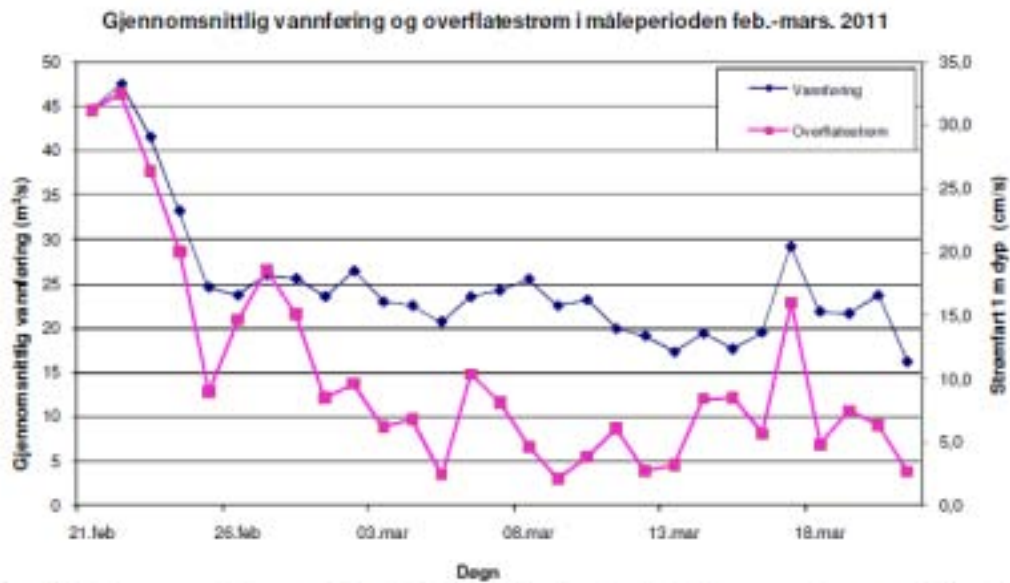
Målested/dyp	Strømhastighet			Strømstabilitet Neumann- parameter	resultantretning grader
	middel cm/s	maks cm/s	Varians (cm/s) ²		
Matresøyna øst 1 m	4,9	23,4	12,263	0,561	125° = SØ
Matresøyna øst 10 m	1,3	7,4	0,482	0,278	173° = S
Matresøyna øst 24 m	1,0	3,6	0,027	0,779	188° = S
Matresøyna sør 1 m	17,9	57,0	92,980	0,948	229° = SV
Matresøyna sør 10 m	1,4	13,2	1,501	0,451	60° = ØNØ
Matresøyna sør 21 m	2,0	17,6	4,622	0,708	212° = SSV

Tabell 12. Sammenfatning av resultatene fra de utførte strømmålingene i en vintersituasjon (perioden 21. februar – 21. mars 2011) ved Matre, med middel og maks registrert strømhastighet, varians, samt strømmens retning og retningsstabilitet.

Målested/dyp	Strømhastighet			Strømstabilitet Neumann- parameter	Resultantretning grader
	middel cm/s	maks cm/s	Varians (cm/s) ²		
Matresøyna vest 1 m	10,2	41,6	81,097	0,929	327° = NNV
Matresøyna vest 8 m	1,0	2,6	0,044	0,128	61° = ØNØ
Matresøyna midt 1 m	4,3	18,4	12,233	0,669	7° = N
Matresøyna midt 8 m	1,4	9,4	1,137	0,440	166° = SSØ
Matresøyna øst 1 m	3,2	16,4	6,687	0,839	142° = SØ
Matresøyna øst 8 m	1,0	11,8	0,402	0,438	212° = SSV



Figur 16. Gjennomsnittlig vannføring ($m^3/s/døgn$) fra kraftverket i Matre og gjennomsnittlig strømhastighet ($cm/s/døgn$) på 1 meters dyp ved Matresøyna sør i perioden 14. oktober – 15. november 2010.



Figur 20. Gjennomsnittlig vannføring ($m^3/s/døgn$) fra kraftverket i Matre og gjennomsnittlig strømhastighet ($cm/s/døgn$) på 1 meters dyp ved Matresøyna vest i perioden 21. februar – 21. mars 2011.

Figur 14. Resultat frå strømmålingar i overflata i oktober-november 2010 (øvt) og februar-mars 2011 saman med tal for utslepp frå kraftverket. Figur frå KUen.

3. Simulering av sirkulasjon

3.1 Metodikk

For å ha grunnlag for å kunne vurdere hvordan den planlagte steinfyllinga mellom land og Matresøyna kan endre strømforholda i overflatelaget bruker vi modellen SMS/RMA-2. Forkortelsen SMS står for "Surface Water Modelling System", som inneholder den numeriske modellen RMA-2. SMS er laget ved Brigham Young University i samarbeid med U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station og U.S. Federal Highway Administration (ECGL 1995, Donnell et al. 2005). RMA-2 er en dynamisk, todimensjonal, dybde-integrert numerisk modell med fri overflate. Modellen beregner løsninger ved hjelp av endelig-element metoden.

Ligninger:

Grunnligningene i RMA-2 er Navier-Stokes ligninger for bevarelse av bevegelsesmengde og volum (volumkonservering).

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial a_0}{\partial x} \right) + fv - \frac{\varepsilon_{xx} \partial^2 u}{\rho \partial x^2} - \frac{\varepsilon_{xy} \partial^2 u}{\rho \partial y^2} + \frac{gu}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \left(\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial a_0}{\partial y} \right) - fu - \frac{\varepsilon_{yx} \partial^2 v}{\rho \partial x^2} - \frac{\varepsilon_{yy} \partial^2 v}{\rho \partial y^2} + \frac{gv}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0$$

x =	Distanse i x-retning (positiv mot øst)
y =	Distanse i y-retning (positiv mot nord)
u =	Horisontal strømfart i x-retning
v =	Horisontal strømfart i y-retning
t =	Tid
g =	Tyngdens akselerasjon
h =	Vann dyp
ρ =	Væskens tetthet
ε_{xx} =	Normal turbulent utvekslingskoeffisient i x-retning
ε_{xy} =	Tangensial turbulent utvekslingskoeffisient i x-retning
ε_{yx} =	Tangensial turbulent utvekslingskoeffisient i y-retning
ε_{yy} =	Normal turbulent utvekslingskoeffisient i y-retning
C =	Chezy ruhetskoeffisient (Beregnet ut fra Mannings n)
f =	Coriolis parameter

Modellarbeidet begynner med konstruksjon av et nettverk (grid) med diskrete punkter (dvs. data over posisjon og dyp for punktene i et nettverk, som siden interpoleres til et grid i SMS).

Nettverket som ble benyttet for beregningene vises i **Figur 15**. Nettverket består her av trekantene som i modellens ytterkanter mot vest har sidelengde 40 m, men i sentrale deler er detaljeringsgraden større med sidelengder på 20 m. Gridet inneholder i utgangspunktet 4790 trekantene. For hver trekant gjøres beregninger i 6 punkt: i hvert av hjørnene og midt på hver side. I alt 9906 punkt. Når fyllinga legges inn øker antallet med 44 punkt og 11 element.

Man må tilegne nettverket en initialtilstand. Dette gjøres ved å legge en horisontal, plan overflate over hele nettverket. Modellen trenger så en del tid ("spin up") på å finne representative løsninger.

Ved hjelp av de topografiske dataene, grenseflatebetingelsene og initialbetingelsene beregner RMA-2 løsninger for hvert tidssteg. Vi bruker tidssteg på 0,5 time i 95 timer (ca. 8 tidevannsperioder). Vannutskiftningen i dette overflatelaget drives i hovedsak av utslippet fra kraftverket, elvevann og av det halvdaglige tidevannet der forskjellen mellom middel lavvann og middel høyvann er 116 cm (kilde: Statens Kartverk). Modellen beregner verdier for strømfart, retning og vannstand i hvert av punktene i gridet.

Tykkelsen av overflatelaget varierer mellom ca. 2 m og 4-5m dyp, i hovedsak avhengig av ferskvannstilførslen fra kraftverket og elva. For å forenkle beregningene ble modellen kjørt for et 3 m tykt vannlag der tykkelsen varierte med $\pm 0,9$ m over en periode på 12 timer. Modellen starter med middel vannstand som deretter øker til høyvann, avtar til lavvann og deretter på nytt øker mot høyvann.

3.2 Data og scenarier

Modellen må få verdier for de turbulente utvekslingskoeffisientene og for bunnfriksjons-koeffisienten Manning's n. Turbulens og friksjon varierer med strøm- og bunnforhold – og er dermed vanskelig å bestemme nøyaktig. Oppgitte størrelser for koeffisientene varierer med flere størrelsesordener (ECGL, 1995), uten at beregningsresultata blir endra tilsvarende mye. Modellen er kjørt med turbulente utvekslingskoeffisienter på 1500-2000 kg/(m*s) som representerer moderate verdier.

Bunnfriksjonen (Manning's n) er satt lik 0,02 (som tilsvarer middels "friksjon" mot djupvatn og sider).

Strømforholda i overflatelaget vil være bestemt av tidevann, ferskvannstilførselen, den topografiske utformingen av strandsonen og av vind. For simulering med modellen er følgende datagrunnlag benyttet:

- Start ved vandyp 3 m og simulering av tidevannsvariasjon ved å la vannhøyden variere med 0,9 m omkring denne.
- Tidsskritt på 0,5 time og periode på 12 timer. Beregningene gjøres over 96 timer (nær 8 tidevannsperioder). Resultatene lagras som en videofilm.
- Tidevatnet strømmer inn/ut gjennom modellens grenseflate i vest.
- Området tilføres ferskvann ved utslippet fra kraftverket og fra Matreelva.

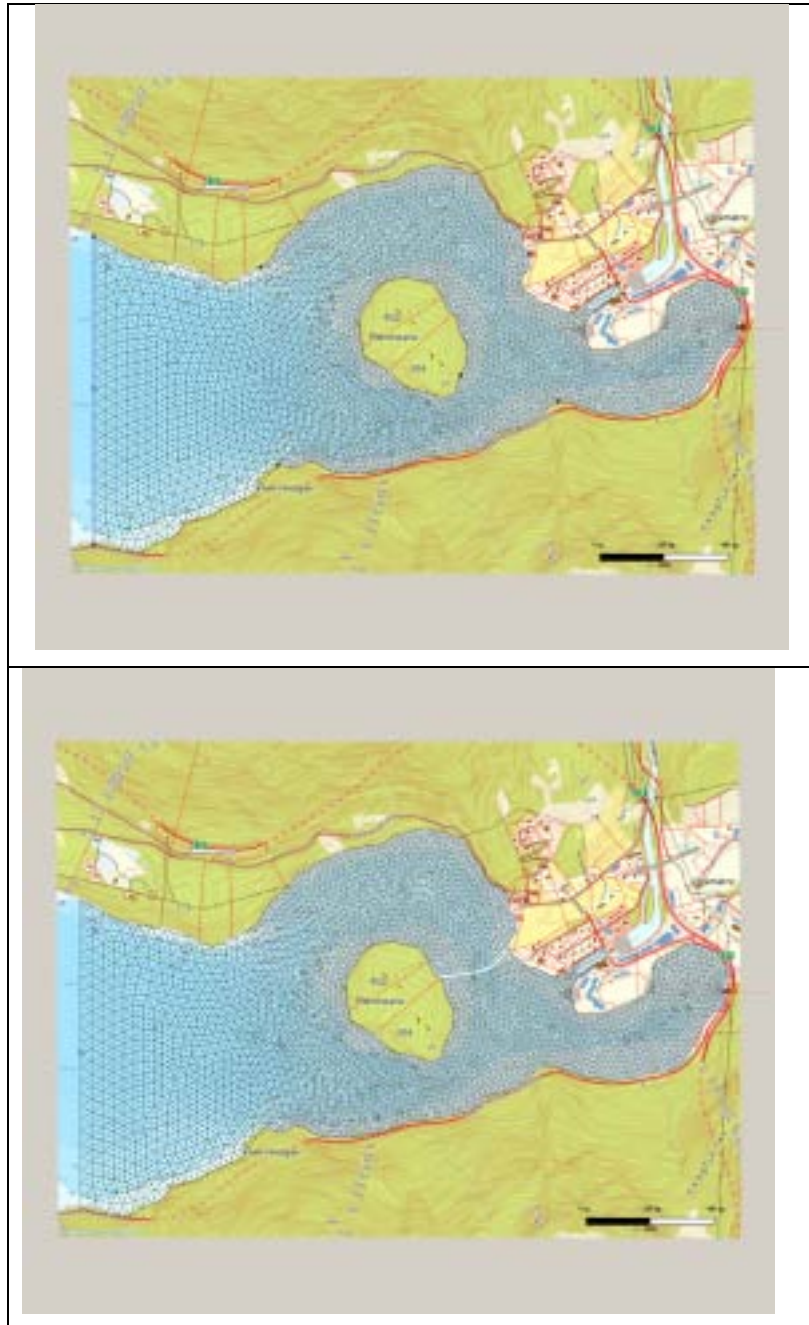
For vindforholda i området har vi antatt vindstille, d.v.s. indstyrken er satt lik null. Dette er trolig representativt for en normalsituasjon (ingen/svak vind). Episodevis sterk vind rettet ut fjorden vil øke hastigheten på det utstrømmende overflatelaget, mens sterk vind rettet inn fjorden har den motsatte effekten.

Modellen er brukt for å simulere strømforholda ved ulike situasjoner (scenarier) med ulik topografi og vannføringer i elva og kraftverket, og disse er oppsummert i **Tabell 4**. I scenario 3 er lagt inn en 20 m bred åpning i fyllingas vestre del; det er også simulert med åpninga nærmere øya.

I tillegg er det gjort simulering for utslipp fra kraftverket fordelt på to utløp, dagens samt planlagt nytt avløp (dette kom opp som en opsjon mot slutten av prosjektet). Til sammen blir dette fem hovedscenarier.

Resultatene (retning og fart) er sammenlignet med målinger i sundet mellom Matresøyna og land og i området sør for øyna (Sundfjord et al. 2002, Eilertsen et al. 2011). Modellen stemmer bra mht. strømmens retning og middelfarten, men gir ikke maksimumverdiene som er målt (**Tabell 5**). Dette kan skyldes at særlig sterk strøm har blitt målt under vedvarende sterk vind.

Resultatene for S1 sammenlignes med målte strømhastigheter som vist i **Tabell 5**. Resultatene for S2 og S3 sammenlignes med S1 for samme vannføring i elva, utslipp fra kraftverket og samme tid i tidevannsfasen. Det er lagt mest vekt på middels strøm.



Figur 15. Nettverket eller gridet i RMA-2-modellen for simulering av nåværende sirkulasjon (øverst) og med fylling til Matresøyna (nederst). Gridet består av trekanter og i hvert hjørne av trekantene og midt på hver side (noder) beregnes høyde over referansedypet, strømrretning og strømfart.

Tabell 4. Hovedscenariene som det blei starta med. Scenarie 3 blei utvida med å legge åpninga nærmere øya. I tillegg er det utført simulering med utslippet fra kraftverket fordelt på to utløp med ca 50 m avstand. Tidevannsvariasjonen er lagt inn slik at det til sammen blir svært mange scenarier.

Scenario	Topografi	Matreelva, vannføring m ³ /s	Kraftverket, utslipp m ³ /s
S1.1	Nåværende	5	20
S1.2	Nåværende	10	30
S1.3	Nåværende	20	40
S1.4	Nåværende	20	50
S2.1	Fylling til Matresøyna	5	20
S2.2	Fylling til Matresøyna	10	30
S2.3	Fylling til Matresøyna	20	40
S2.4	Fylling til Matresøyna	20	50
S3.1	Fylling til Matresøyna, med åpning	5	20
S3.2	Fylling til Matresøyna, med åpning	10	30
S3.3	Fylling til Matresøyna, med åpning	20	40
S3.4	Fylling til Matresøyna, med åpning	20	50

Tabell 5. Noen verdier for målt strømfart.

Sted	Sterk strøm ¹ , cm/s	Middelstrøm, cm/s
Matresundet 1 m, (Eilertsen et al., 2011)	23,4	4,9
Øst for Matresøyna 3 m, (Sundfjord et al., 2002)	59	15,9
Sør for Matresøyna 1 m, (Eilertsen et al., 2011)	57	17,9

¹ 90-persentil av målingene. Dvs. at 90 % av tida er strømfarta mindre enn denne.

4. Islegging

Indre deler av blir Matresfjorden og Matresvågen er sjeldan/aldri islagt etter at kraftverket vart etablert (Ø. Torslett, HI-Matre, pers komm.). Tidvis er fjorden lenger utover islagt. Vassdragsreguleringane har sannsynlegvis medført endra istilhøve i Matresfjorden, men dette er ikkje tema for foreliggende rapport, m.a.o. vi tek tilstanden i fjorden no som utgangspunkt.

Dei mest aktuelle spørsmåla i tilknytning til islegging er:

1. **Vil steinfylling kunne medføre endringar i lokal-meteorologiske tilhøve?**
2. **Kan fyllinga medføre auka, evt redusert islegging, eller endra isleggingsmønster?**
3. **Kan fyllinga medføre auka risiko for isoppstuving, evt lenger ute, ved Smørdal?**

Effekt av fyllinga står i fokus. Det er planer om å etablere nytt utløp frå kraftstasjonen, dvs. med to utløp, eit nytt ca 50 m utanfor dagens (sjå eige avsnitt under modellering av sirkulasjon). I prinsippet vil også dette kunne medføre endra istilhøve, men det er usannsynleg.

Islegging om vinteren er ein naturleg prosess som nye inngrep/tiltak i utgangspunktet ikkje bør endre på, særleg dersom slike endringar kan medføre forverra vilkår for samfunn og økologi. Vi har ikkje utført noka "nytte/taps-analyse" for isen, t.d. om den er viktig i samband med isfiske, evt. om den er til hinder for næringsverksemd, men tar utgangspunkt i at meir is/lengre isleggingsperiodar vil representere ei negativ utvikling og bør unngåast.

Ein faktor som auka opphaldstid for overflatevatn i inste del av fjorden, særleg nord for fyllinga som følge av denne, kan teoretisk sett bidra til auka islegging, dels p.g.a. brakkare vatn, og dels p.g.a. betre vilkår for lenger avkjøling i roleg farvatn. Fyllinga kan også medføre meir oppstuving av eventuell is mot fyllinga (**Figur 16**). Modellresultata for sirkulasjon og opphaldstider syner at det kan bli auka opphaldstid for overflatelaget innafor Matresøyna. Ei dobling i høve til i dag vil kunne medføre auke av opphaldstida frå 12 timar til over 1 døgn. Bakevjer vil bli danna på begge sider av fyllinga der isflak kan samle seg i periodar med smelting/oppbryting.



Figur 16. Døme på isoppstuving innafor ei vegfylling. Frå Barsnesfjorden, Sogndal.

Prosessen som leier til isdanning i sjøoverflata under avkjøling blir styrt av fleire faktorar. Dersom saliniteten er over 25 ppt, vil avkjølinga ned mot frysepunktet bidra til å auke overflatevatnets densitet, og det vil oppstå ein begrensa vertikalkonveksjon i celler. Denne konveksjonen vil medføre at litt varmare vatn blir ført opp til overflata. Dermed blir avkjølinga halden i sjakk, og islegginga blir utsatt. Dersom saliniteten er under 25 ppt, vil vatnet ved avkjøling opptre på same måte som ferskvatn. Dvs. at det når sin maksimale densitet ved ein temperatur som ligg over frysepunktet. For sjøvatn med 25 ppt salinitet vil frysepunktet og temperatur for max. densitet falle saman (-1,33°C). For sjøvatn med 20 ppt i salinitet vil frysepunktet ligge rundt -1°C, og mens temperaturen for max. densitet vil ligge rundt 0°C.

Dersom overflatevatnet er ferskare enn 25 ppt, vil m.a.o. avkjølinga medføre at det blir danna eit sekundært, tynt sjikt i overflata, som lett lar seg avkjøle vidare til frysepunktet. Difor er det viktig å fastslå på kva side av 25 ppt verdien overflatevatnet ligg, og i kva grad brua vil medføre endringar den eine eller den andre vegen.

I tillegg til overflatesaliniteten er sjiktingstilhøva for øvrig viktige for kor raskt isdanning kan skje. Dersom det er eit relativt tjukt og velblanda øvre lag, vil avkjølinga ta lenger tid enn for eit tynt sjikt.

Ad. spørsmål 1 ovanfor:

Spørsmål 1 blir diskutert her, mens spørsmål 2 og 3 blir diskutert på bakgrunn av modell-simuleringane. Islegging blir i første rekke styrt av meteorologi. Det er gjerne i stille og kalde ver-perioder det er gunstige vilkår for isdanning, forutsatt at dei hydrografiske tilhøva i sjøen også er gunstige. Netto strålingsbalanse og direkte varmetap vil styre avkjølinga av overflatelaget. Vind og bølger vil oftast motverke isdanning, og bryte ned sjiktinga og evt. eksisterande is. Desse meteorologiske faktorane blir neppe målbart endra som følgje av eventuell fylling, med atterhald om evt meir skjerming for bølger nær/bak denne. Desse områda er for det meste isfrie i dag slik at det ikkje er særskilt utsett for islegging.

Forventa regionale klimaendringar på Vestlandet med mildare vintrar etc. vil kunne bidra til mindre is/kortare isleggingsperiodar. Men i høve til foreliggende problemstilling er spørsmål 1 neppe kritisk, fyllinga vil neppe endre lokalklimaet.

Ad. spørsmål 2 og 3:

For å svare på desse spørsmåla gjer vi nokre simuleringar med ein is-modell, kopla opp mot resultatata for simuleringane med SMS modellen. Generelt kan seiast at dei hydrografiske tilhøva og vassutskiftingsdynamikken, og evt. endringar i desse faktorane som følgje av fylling er viktige for responsen på avkjølinga. Islegging får betre vilkår dess meir brakt overflatevatnet er, og dess kraftigare sjikting.

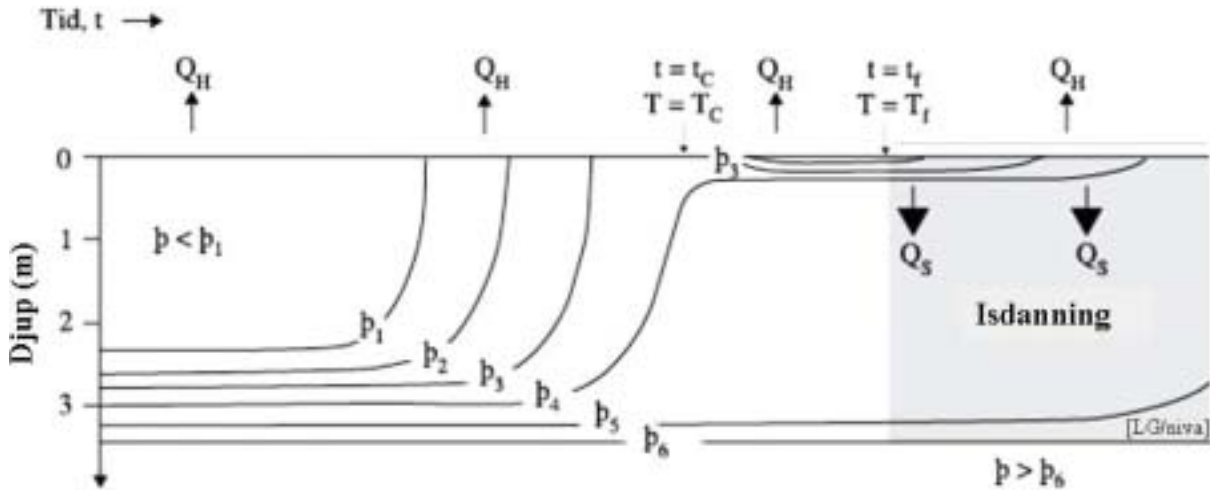
4.1 Modellen

Modellen er 1-dimensjonal, dvs. berre vertikale (z) konveksjonsprosessar er simulert. Varmetap frå overflata – mot lufta – driv modellen. In-situ densitet for sjøvatnet blir nytta i berekningane (betyr lite for grunn konveksjon som i Matresfjorden). Den s.k. High Pressure International Equation of State of Sea Water 1980 (EOS 89); er brukt for sjøvatnets densitet $\rho = \rho(P,T,S)$, der T og S er temperatur og salinitet ved trykket P. Vi har nytta måledata frå CTD sonder i våre simuleringar. CTD sonder måler trykk i staden for djup. Difor blir trykk nytta som vertikal koordinat, i staden for metrisk djup. Skilnadane er små; ein desibar (10^4 Pa) i trykk motsvarar ein meter pluss/minus mindre enn 1 %.

Avkjøling er simulert ved gradvis å redusere temperaturen i det øvre gjennomblanda laget.

Avkjølinga medfører vertikal konveksjon, mens potensiell temperatur er konstant med djupet men får gradvis lågare verdi etterkvart som avkjølinga held fram (**Figur 17**). Når densiteten i underkant av det

gjennomblanda laget M; $\rho = \rho(T_M, S_M, H)$, har nådd den målte densiteten i djupet $H+dH$, der dH er eit lite trykk (djup) inkrement, blir det antekt at laget med tjukkeleik H blir blanda saman med laget under, slik at eit nytt lag med tjukkeleik $H+dH$ blir danna. Vertikalblandinga er ikkje-penetrerande, d.v.s. ein antek langsame prosessar med likevekt i kvart steg.



Figur 17. Skisse som syner tidsforløpet for konveksjon i overflatelaget og danning av is under avkjøling.

Dersom avkjøling av blandingslaget tar temperaturen T_M til frysepunktet, og den nye densiteten ρ_M framleis er for låg til at vidare konveksjon når til det neste djupet $H+dH$, er frysing av is i overflata det neste steget i modellen. Dette blir simulert ved ein gradvis auke i saliniteten i det øvre blandingslaget (fordi salt blir skilt ut i fryseprosessen) medan overflatetemperaturen blir halden på aktuell frysepunktverdi. Til slutt vil ρ_M vere høg nok til at vidare konveksjon kan halde fram. Istjukkeleiken som samsvarar med den aktuelle salinitetsauken blir utrekna, ved å anta at isen held tilbake salt motsvarande ein konsentrasjon på $5 \cdot 10^{-3}$ (for Matresfjorden og liknande fjordar kan denne verdien vere litt høgt satt, men dette påverkar ikkje resultatane nemneverdig). Varmetapet frå øvste laget til luft blir berekna ved å nytte $4.0 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3$ som spesifikk varme for sjøvatn, og varmetapet til lufta som forårsakar isdanning er berekna ved å nytte verdien $2.9 \cdot 10^8 \text{ J/m}^3$.

Vilkår for at konveksjon i blandingslaget med tjukkeleik H når djupet $H+dH$:

$$\rho_M + d\rho_M = \rho(H+dH), \text{ eller}$$

$$\rho(S_M, T_M, H+dH) + d\rho(dS_M, dT_M, H) = \rho(S(H+dH), T(H+dH), (H+dH))$$

der $S(H+dH)$ og $T(H+dH)$ er målt salinitet og temperatur i djupet $H+dH$.

Verdiane for S_M , T_M og ρ_M for det nye gjennomblanda laget vil bli:

$$X_M = \frac{1}{H+dH} \{ (X_M + dX_M) \cdot H + X(H+dH) \cdot dH \},$$

der X angir vilkårleg parameter, og dX_M er den høvesvise endringa i blandingslaget som leier til konveksjon frå overflata og tid djupet $H+dH$.

Når is er til stades, vil simulert avkjøling av overflatelaget ikkje resultere i noka issmelting p.g.a. eventuell oppblanding av varmare vatn.

4.2 Data og simulering for islegging

Vi har simulert isdanning basert på data frå hydrografiske profilar frå 2010-11 samt data får 2002-2003 (NIVA). Kun vintermålingar er tatt med.

Modellen blir i vårt tilfelle driven av ein varmekrafts motsvarande 300 W/m^2 . Dette er eit moderat anslag for en vinter-situasjon med klårvêr i Vest-Norge, og fluksen motsvarar eit varmetap på eitt døgn lik $2,5 \times 10^7 \text{ J/m}^2$. Til samanlikning kan nemnast at varmekraften frå sjøen nær iskanten i Barentshavet lett kan overstige 1.000 W/m^2 . Modellen sjekkar kor djupt konveksjonen kan drivast som følgje av eit gjeve varmetap over 1 døgn, og bereknar kor mye is som evt. må dannast for å oppnå dette.

5. Resultat for modellering av strøm

Med de dataene som er beskrevet foran er SMS-modellen kjørt for de ulike scenariene (jfr. **Tabell 4**). Som nevnt ble det gjort beregninger for hvert tidsskritt på 0,5 time og resultatet vist som en figur/bilde. En kjøring med modellen produserer ca.190 bilder og hver bildeserie ble satt sammen til en liten "film". Under de innledende kjøringene av modellen ble det gjort beregninger med forskjellige kombinasjoner av

- gjennomsnittlig vannstand,
- størrelse av vannstandsvariasjoner,
- turbulent blandingskoeffisient,
- ferskvannstilførsel.

Noen kombinasjoner ga mindre bra resultater (instabilitet) og noen kombinasjoner fungerte bra. Den beste kombinasjonen ble grunnlag for de etterfølgende modellkjøringene. Under de første simuleringene er kraftverket kjørt med 50 m³/s (ett utløp) og 20 m³/s i elva.

Figurene **Figur 18- Figur 21** viser to bilder fra hvert scenario: ett ved innstrømmende tidevann og ett ved utstrømmende tidevann. Bildene viser samme tidevannsfase og er dermed sammenlignbare. I hver figur vises strømfartingen med piler og strømfarten er framstilt ved en fargeskala.

Resultatene gir grunnlag for en vurdering av generelle endringer i strømførhold og vannutskifting som fylling mellom fastlandet og Matresøyna vil medføre i forhold til dagens situasjon. I disse sammenligningene brukes hele modellkjøringene – inntil 190 situasjoner – og ikke bare de som figurene viser. Vi kommenterer kort disse tre scenariene (for en beskrivelse av disse, se **Tabell 4**.)

5.1 Fyllinga

Scenario 1: dagens situasjon (se **Figur 18**).

Figuren viser tre hovedtrekk:

- fyllinga vil sperre det ca. 220 m brede sundet mellom fastlandet og Matresøyna.
- det meste av ferskvannet fra kraftverksutslippet og Matreselva tar veien ut fjorden på sørsiden av Matresøyna (utgående brakkvannsstrøm). En ikke ubetydelig del tar imidlertid veien nordover mellom fastlandet og øyna.
- ved økende tilførsel av ferskvann øker strømhastigheten både sør og nord for Matresøyna.

Scenario 2: Hel fylling til Matresøyna (se **Figur 19**).

Her sperrer fyllinga for vanntransport gjennom sundet mellom Matresøyna og fastlandet.

I forhold til dagens situasjon viser **Figur 19** to hovedtrekk:

- ferskvannet fra kraftverksutslippet og Matreselva tar veien ut fjorden på sørsiden av Matresøyna (utgående brakkvannsstrøm). Strømhastigheten i brakkvannslaget øker i forhold til dagens situasjon.
- Nord for Matresøyna er vannutskiftingen i brakkvannslaget betydelig redusert i forhold til dagens situasjon. Særlig gjelder dette for situasjoner med stor ferskvannstilførsel fra elva og kraftverket.

Scenario 3: fylling til Matresøyna og 20 m bred åpning (se **Figur 20 -Figur 22**).

En 20 m bred åpning i fyllinga, enten ved øya, midt på eller ved land, reduserer lengden med ca. 10%. Dette synes gi lite forbedring i utskiftinga på nordsida, i h.h.t. den oppløsninga som modellen gir.

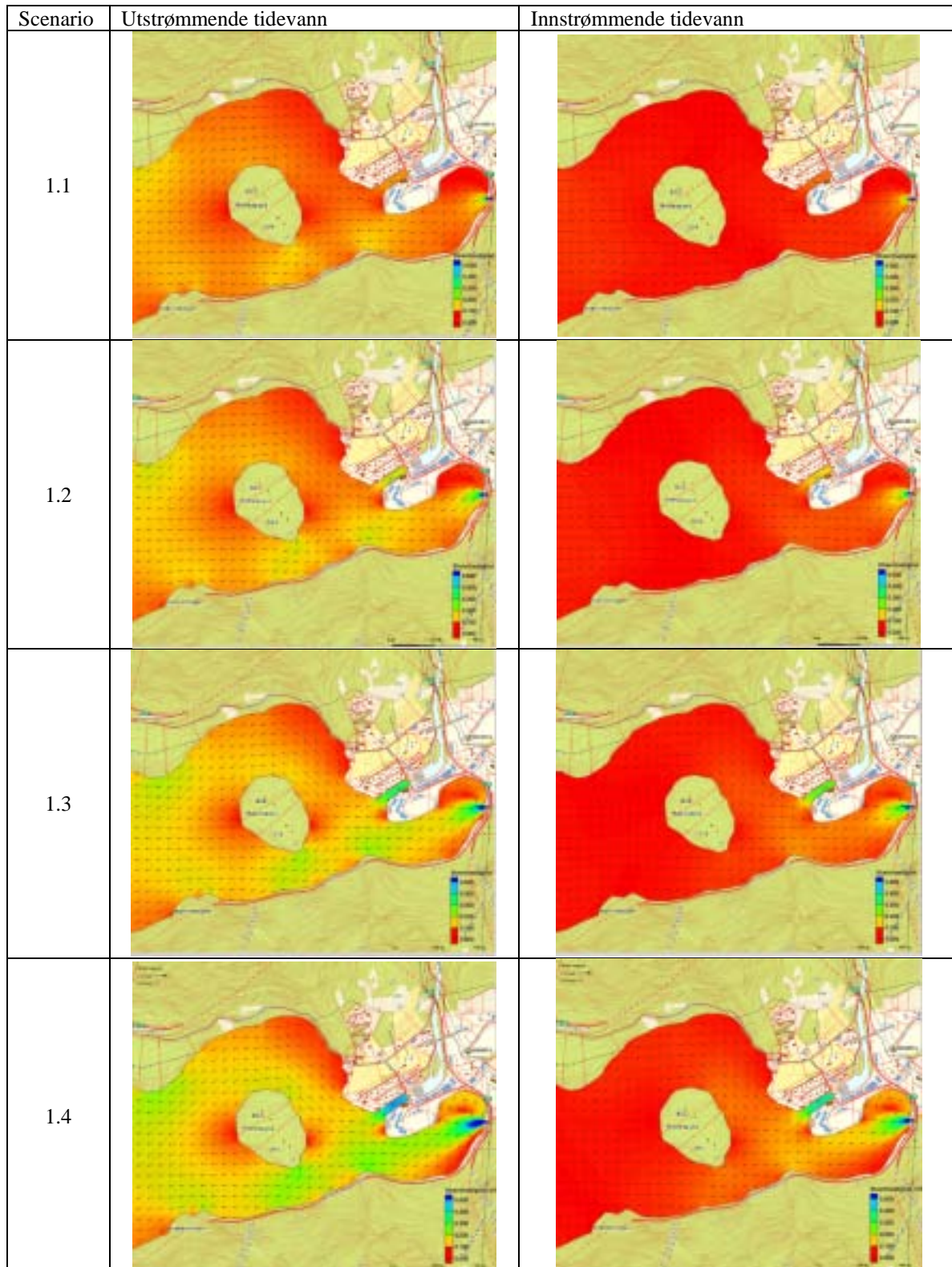
Men en eller flere slike åpninger vil ha en lokal effekt og dermed være nyttig for å opprettholde god vannskiftning i avgrensede områder nær åpninga.

Scenario 3b: fylling til Matresøyna og 20 m bred åpning nær øya (se **Figur 22**).

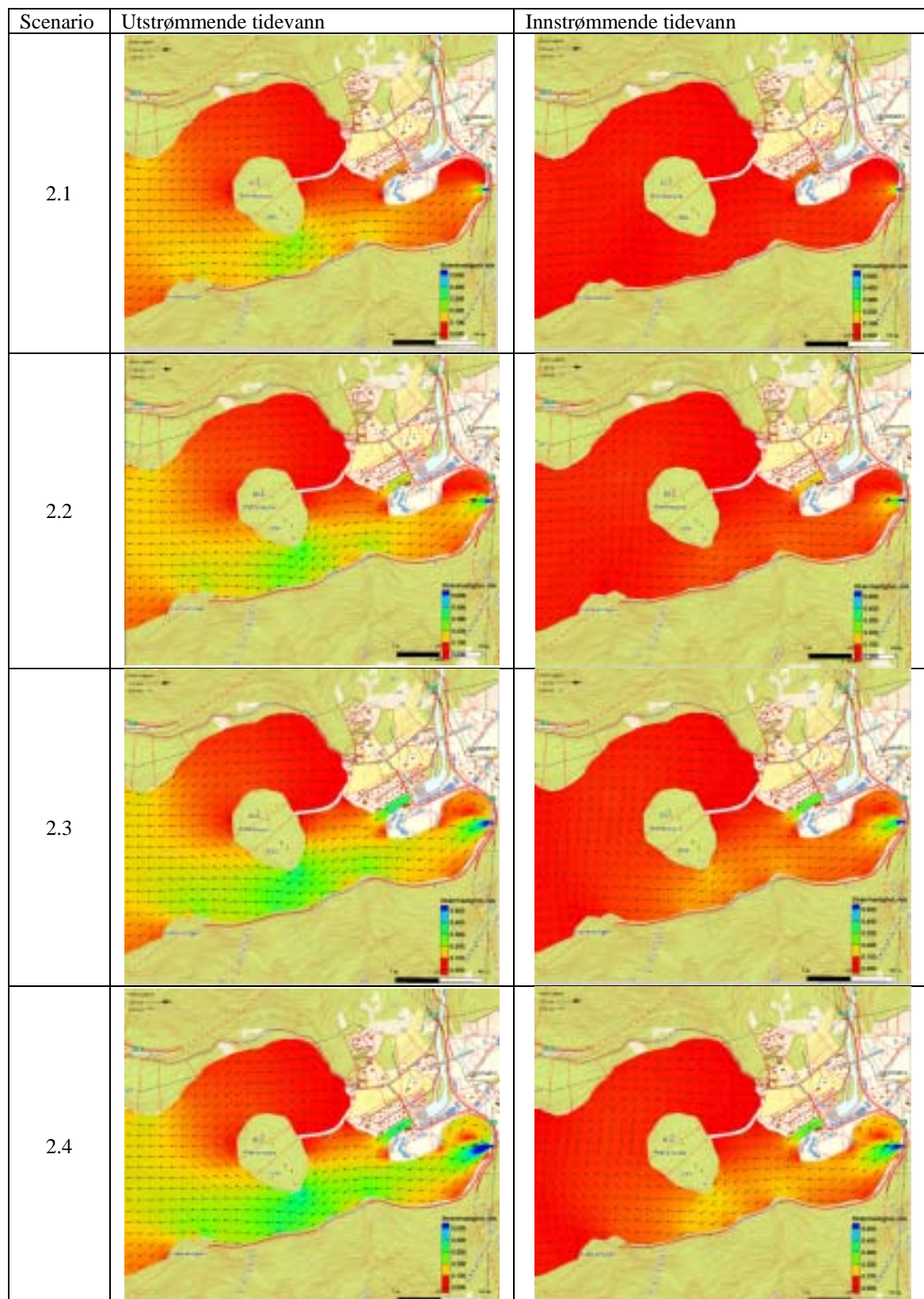
Åpning nær øya gir ingen signifikante forbedringer når det gjelder det storstilte strømningsmønsteret på nordsida, hovedtrekkene blir som for helt lukket fylling, evt fylling med åpning midt på. Men som for sistnevnte scenario så vil en åpning uansett forbedre situasjonen lokalt, og det vil skapes turbulens nedstrøms som vil forbedre gjennomblending av sjøen og bidra til å redusere evt. islegging lokalt, se **Figur 24** for et eksempel. (Modellen har for øvrig for grov oppløsning til å simulere godt småskala fenomener, og vertikalblandingen homogeniseres.)

Scenario 4: fylling til Matresøyna og 20 m bred åpning nær øya, med to kraftverksutløp (se **Figur 23-
Figur 24**).

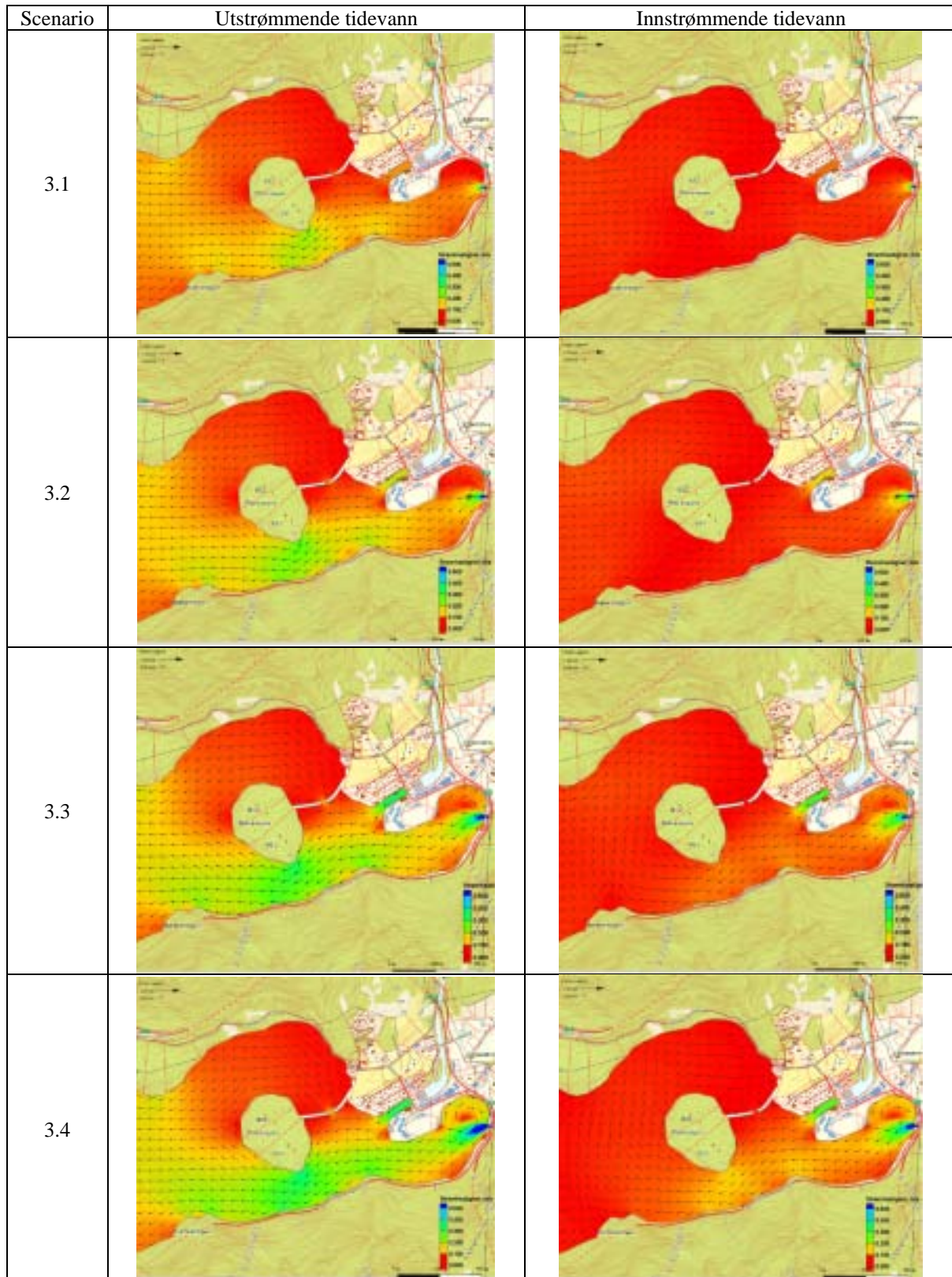
Se avsnitt 5.2 for forklaringer.



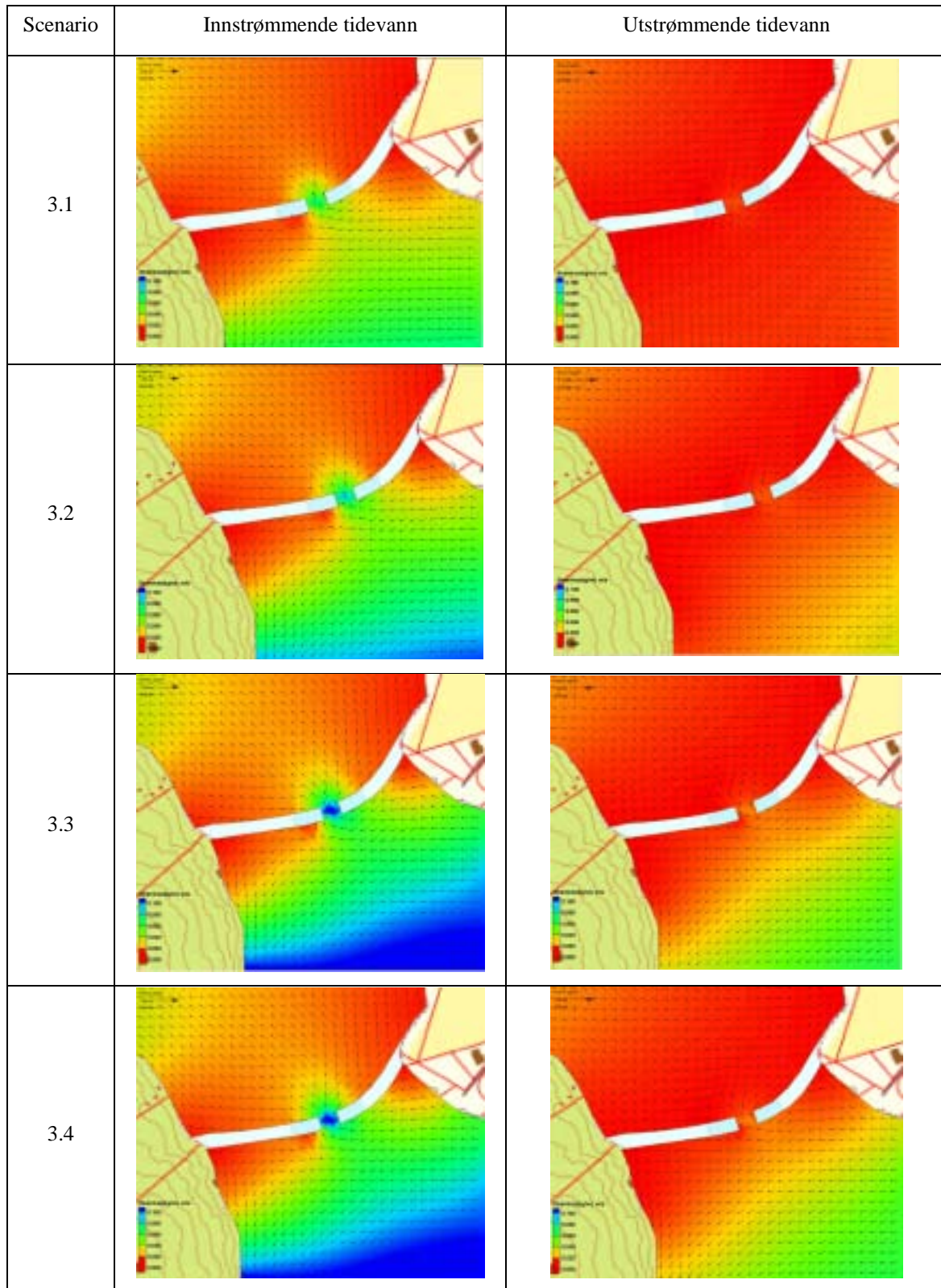
Figur 18. Scenario 1: dagens situasjon. Figurene beskriver 4 kombinasjoner av vannføring i elva og utslipp fra kraftverket (S1.1-1.4, jfr. Tabell 4). For hver kombinasjon vises to figurer, med utstrømmende tidevann til venstre og innstrømmende tidevann til høyre.



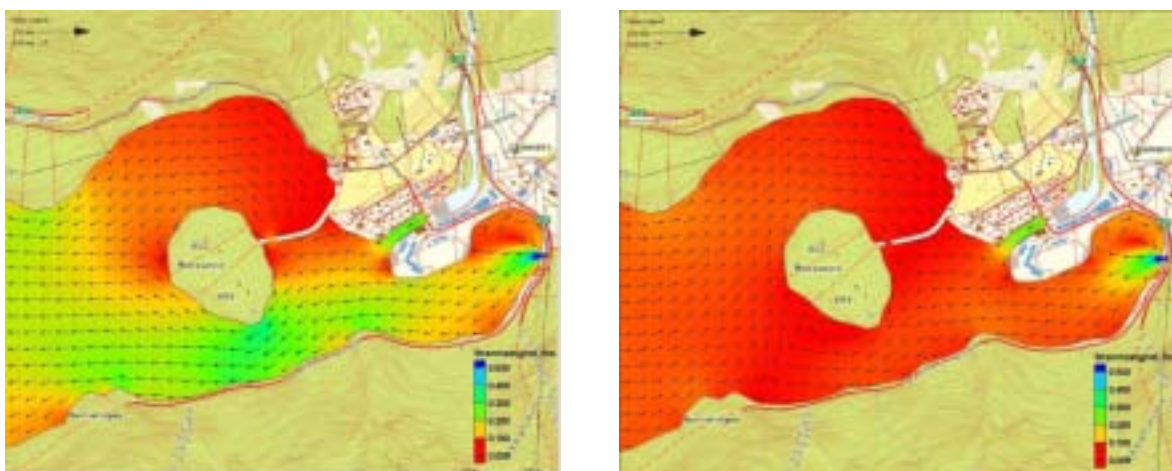
Figur 19. Scenario 2: fylling mellom fastlandet og Matresøyna. Figurene beskriver 4 kombinasjoner av vannføring i elva og utslipp fra kraftverket (S2.1-2.4, jfr. Tabell 4). For hver kombinasjon vises to figurer, med utstrømmende tidevann til venstre og innstrømmende tidevann til høyre.



Figur 20. Scenario 3: fylling mellom fastlandet og Matresøyna – og 20 m bred åpning i fyllinga. Figurene beskriver 4 kombinasjoner av vannføring i elva og utslipp fra kraftverket (S3.1-3.4, jfr. Tabell 4). For hver kombinasjon vises to figurer, med utstrømmende tidevann til venstre og innstrømmende tidevann til høyre.



Figur 21. Scenario 3: Gjennomstrømming i 20 m bred åpning i fyllinga mellom fastlandet og Matresøyna. Figurene beskriver 4 kombinasjoner av vannføring i elva og utslipp fra kraftverket (S3.1-3.4, jfr. Tabell 4). For hver kombinasjon vises to figurer, med innstrømmende tidevann til venstre og utstrømmende tidevann til høyre. Merk at fargeskalaen her er annerledes enn i foregående figur.

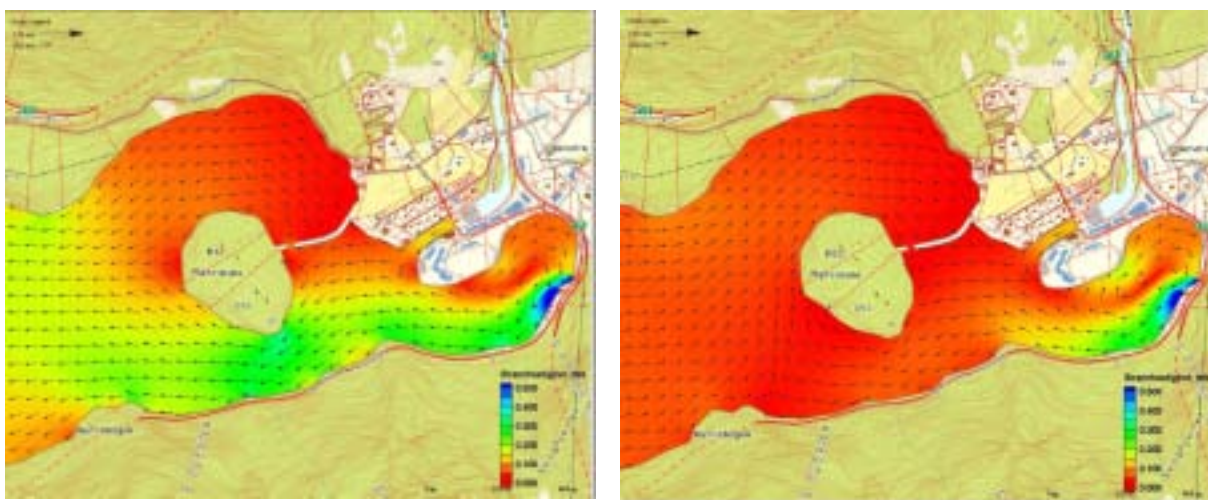


Figur 22. Simulering med åpning nær Matresøyna. Tidevann ut (t.v.) og inn.

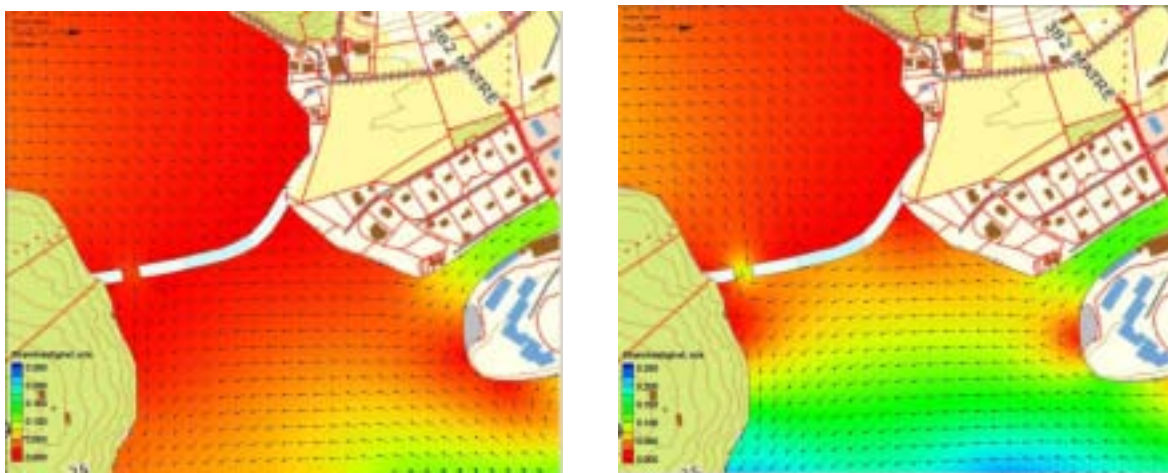
5.2 Nytt avløp fra kraftverket

Vi har simulert med 2 utslipp (30 og 37 m³/s), med fylling, åpning nær øya. **Figur 23** viser oversiktsbilder ved inn og utstrømmende tidevann. **Figur 24** viser samme situasjoner, men med fokus på åpningen. Merk at de to siste har skala 0-0.25 m/s for strømfart mens de andre har 0-0.5 m/s.

To utløp i stedet for ett ser ikke ut til å påvirke noen av de foregående resultatene når det gjelder hovedtrekka i strømningsmønsteret ute i fjorden og ved øya.



Figur 23. To utløp fra kraftverket, med utgående (t.v.) og inngående tidevann.



Figur 24. Kjøring med to utløp fra kraftverket som i forrige figur, her fokusert inn mot fyllinga. Tv. tidevann inn, t.h., tidevann ut.

6. Verknad av partiklar

6.1 Steinmasser og partiklar

Under sprenging av dei ca 300.000 m³ masse i regi av kraftverket/BKK vil det bli generert ein del steinstøv, spesielt frå boring. 260.000 m³ masse skal fyllast i sjøen. Erfaringsmessig vil ein del steinstøv følgje med massane og bli skylt av når steinen kjem i sjøen. Det er mogleg at ein stor del av partiklane generert av drivinga vil bli samla opp, slik at det er mindre mengder det er tale om som kan følgje med massane ut i sjøen ved Matresøyna.

I fyllingsområdet er det relativt flat botn, området utgjer eit lokalt sadelpunkt i topografien. 30 m frå land er djupna ca 15 m, og midt i sundet er det ca 25 m djupt. Det er også relativt grunt både på sørsida og nordsida av Matresøyna, mens botnen på vestsida skråar relativt bratt nedover til meir enn 100 m ca 200 m frå øya (i dette området ligg sjøvassinntaket til Havbruksstasjonen).

Utfyllt masse vil legge seg innafor eit avgrensa område sidan botnhellinga er relativt slakk. Forprosjektet frå Asplan-Viak skisserer ca 100 m breidde av fyllinga i fyllingsfoten. Areal av tildekt botn vil bli om lag 25.000 m². Sedimentprøvene som vart tekne i fyllingstraseen i sbm KUen synte kompakt og finkorna materiale (fin sand/silt) med eit tynt lag av organisk materiale på toppen. Ein del av dette materialet vil kunne bli virvla opp i første fase av fyllingsarbeidet.

6.2 Problematikk kring dumping av sprengstein i sjø

I foreliggende sak er det spesielt sjøvassinntaket som er i fokus; om partiklar frå dumpinga kan påverke vasskvaliteten der. Det vil sei at ein må vurdere kor sannsynleg dette er, og i fall det representerer ein risiko så må det vurderast om det kan vere tale om skadelege partiklar/konsentrasjonar for fisk i ulike stadiar på stasjonen.

Matfiskanlegget ved Matreberget skal flyttast til ny lokalitet ved Smørberget på sørsida av Matresfjorden (søknad om dette er levert). Vi skal også vurdere om partiklar kan spreia dit (evt om is kan drive dit).

Omfang av spreiding og fortykning av partiklar frå dumping avheng av mange faktorar:

1. Partikkelstorleik/fasong
2. Mengde og konsentrasjon av partiklar, og +partikkelmengde i utgangspunktet, og varigheit av utsleppet
3. Strømførholda og avstand mellom kjelde og sjøvassinntak eller oppdrettsanlegg
4. Sjikting i sjøen
5. Evt. om der er andre partiklar i sjøen som kan stimulere til aggregering
6. Evt giftige stoff i partiklane.

Vi berører dei antatt viktigaste av desse faktorane i det følgjande.

6.2.1 Avstandar

Kortaste avstand/transportveg frå fyllingsområdet til sjøvassinntaket er ca 700 m og går på sørsida av øya. Langs nordsida av øya vil avstanden vere noko lenger (8-900 m).

Avstanden til den nye oppdrettslokaliteten på sørsida av fjorden er ca 1.5 km.

6.3 Biologiske effektar av partiklar

Vi gjev eit kortfatta oversyn over kva effektar partiklar kan ha for fisk, som er det mest aktuelle å vurdere. På Havbruksstasjonen foregår det forsøk med egg og yngel, som kan vere meir sårbare for partikkelforureining enn større organismar. Vatn til bruk i slike forsøk vert imidlertid filtrert og kontrollert før bruk, slik at risiko for skade p.g.a. partiklar sannsynlegvis er liten viss filtera fungerer.

Partiklar frå sprengstein er å rekne som uorganiske, mineralske, om ein ser bort frå sprengstoffrestar som kan ha islag av organiske komponentar. Det er kvasse, nåleforma partiklar frå sprenging som er mest skadeleg for organismar. Slike partiklar kjem helst frå sprenging av mjuke bergartar som neppe er i høg forekomst i det aktuelle anleggsområdet i Matre.

Nitrat og ammonium er mest aktuelt å vurdere i sbm sprengstoffrestar. Nitrat kan medføre auka algevekst dersom sjøen ellers har underskot på nitrat og veksttilhøva, sesong etc., ellers ligg til rette. NIVA vurderte dette i sbm seindumping ved Fodnes (Lærdalstunellen, Johnsen og Golmen 1992), og fann spor av auka nitratkonsentrasjon i sjøen, men algar vart ikkje kartlagt vidare der.

6.3.1 Effekt på fisk

Partiklar frå sprengstein kan irritere gjellevevet hos fisk, dette er dokumentert i fleire studiar, sjå t.d. Dale m. fl. 2008, Rosten m. fl. 2008. Uorganiske partiklar kan skade fisk både direkte og indirekte, og medføre både dødelege, ikkje dødelige og åtferdsmessige effektar. Dette kjem først og fremst av klogging og irritasjon på gjellene. Det er relativt sparsamt med dokumentasjon omkring effektar av partiklar på fisk i sjøvatt, mest er for elvar og ferskvatt, evt estuariar. LC50 verdiar varierer svært mykje. Høgste siterte verdien er 164.500 mg/L partiklar (96 timars eksponering) for ung laks. Dette er ein konsentrasjon som langt overstig det meste som førekjem i naturen. Ellers så viser andre studiar 96 timars LC50 mellom 10.000 - 30.000 mg/L, som også er svært høgt.

Effektane aukar med auka eksponering. Her er nokre døme på verdiar for dødelege konsentrasjonar frå litteraturen: for vaksen laksefisk (om lag same verdiar for ung fisk):

Eksponeringstid 1-7 timar, letal dødeligheit kan oppstå ved henholdsvis >22.000 og >3.000 mg/L
 Eksponeringstid 1-6 dagar, dødeligheit kan oppstå ved henholdsvis >3.000 og >400 mg/L
 Eksponeringstid 2-7 veker, dødeligheit kan oppstå ved henholdsvis >400 og >55 mg/L

Ikkje-dødelege effektar inkluderer skader på vev og forstyrning av fysiologien til fisken, men slik at skadane ikkje er alvorlege nok til å årsake død. Typiske symptom er gjelleskadar og stress, eller redusert vekst og endra åtferd. Gjelleskadane er rapportert å oppstå ved konsentrasjonar > 41.000 mg/L for laks, 96 timars eksponering, mens det er rapportert om andre skadar ved konsentrasjonar ned mot 270 mg/L, mens testresultat oftast ligg over 1.000 mg/L.

Nokre grenseverdiar for ikkje-dødelege effektar hos vaksen laksefisk er oppgitt til (Å. Åtland pers. komm):

Eksponeringstid 1-7 timar, effektar ved henholdsvis >403 og >55 mg/L.
 Eksponeringstid 1-6 dagar, effektar ved henholdsvis >55 og > 7 mg/L.
 Eksponeringstid 2-7 veker, effektar ved henholdsvis >7 og > 3 mg/L.

Åtferdsrespons hos atlantisk laks kan inntreffe ved konsentrasjonar >60 mg/L. Dette inkluderer unnaviking/flukt- respons frå vatn med høg turbiditet.

Verdiane over indikerer nivå på partikkelkonsentrasjonar der det for høgare verdiar forventast effektar. Det relativt store spriket i grenseverdiar kan knytast til eigenskapar ved sjølve partiklane, slik som

storleik og form: små partiklar ser ut til å gjere mindre skade enn store, og avrunda partiklar gjer mindre skade enn kantete. Det er m.a.o. store og kantete partiklar som er mest kritisk.

6.3.2 Effektar på skjel

Skjel står kanskje ikkje i fokus i noverande utgreiing, men vi tek med litt tekst om slike organismar også. Skjel (som blåskjel) er generelt sett meir robuste overfor partiklar enn fisk, skjel lever av partiklar og er konstruert for å filtrere og nytte desse. Men dersom det er for mykje uønska partiklar i sjøen, vil skjela bruke mykje energi på å sile vekk desse, og slik at det går utover næringsopptak og vekst. Respirasjonen kan også bli påverka av mykje partiklar. Forsøk med eksponering av grønskjel (beslekta art av blåskjel) synte at dei fleste overlevde eksponering for 1.000 mg/l i 14 dagar, men det oppstod då skader på skjela, først og fremst av partiklar av dimensjon 125-500 µm, d.v.s. relativt store partiklar.

7. Samanfattande vurdering

7.1 Utdrag frå sirkulasjons-modelleringa

1. Dagens situasjon: opent ned til ca. 25 m djup. Stor gjennomstrømming og utskifting – særleg for nordre og indre del. Nordsida: Vel 300 m breidde, god utskifting som ikkje vert endra. Botndjup 35-38 m. Under ca. 25 m: utskiftinga på nordsida er viktigast.
2. Fyllinga: Den vil sperre for sirkulasjon. Alt ferskvatn vil gå på sørsida av øya. Høgare salinitet på nordsida. Mindre vassutskifting der over ca. 20-25 m djup.
3. Åpningar i fyllinga: Vi har prøvd med 20 m breidde i ca 220 m lang fylling. Liten generell effekt, men kan ha lokal effekt.
 - a. Pkt. 2-3 ovanfor stemmer med vurderingane i KUen.
4. HI sitt vassinntak SV av Matresøyna vil ligge 700-900/1000 m unna fyllinga (avhengig av kva ende det er målt frå). Utfyllinga blir i 0-30 m djup mens vassinntaket ligg i 90 m djup. Neppe tvil om at det utstrømmande brakkvatnet ganske raskt kan føre partiklar dit. Men i tillegg skal partiklane søkke 60-90 m gjennom vassmassar der.
 - a. Partiklar som blir tilført overflatelaget kan bli fanga opp av inngåande strøm under overflata og blir transportert innover mot kraftverket eller elva – i staden for vestover.
 - b. Strømfarta i t.d. 15-90 m djup er langt mindre enn i overflata (KU'en sa ca. 1/4-1/5 av overflatestrømmen i ca. 20 m djup) og meir ustabil mht. retning enn overflatestrømmen. Dette betyr langt langsammare spreining og større utsøkking av partiklar og større fortynning undervegs.

7.2 Diskusjon og vurdering for partiklar

Føregåande tekst har omtalt omfang av planlagt utfylling/steindumping, og kva effektar partiklar har på fisk samt skjel. Vi diskuterer og oppsummerer her m.o.t moglege effektar for vasskvaliteten, særleg i sjøvassinntaket. Til slutt er det peikt på nokre enkle tiltak som kan vere med på å redusere evt. problem som måtte oppstå.

Som omtalt i avsnitt 1.3, er Havbruksstasjonen avhengig av jamn tilførsle av sjøvotn med god kvalitet. Dagens inntak på ca 90 m djup gjev tilfredsstillande kvalitet og stabil temperatur og salinitet. Utfyllingsarbeidet i sbm legging av fylling vil medføre utklekking av visse mengder partiklar – dette er ikkje kvantifisert. Ved avspyling av massa og tiltak i forkant i sbm spreining og oppsamling vil ein imidlertid kunne få fjerna store deler av lause partiklar, kanskje 90% eller meir. Men noko vil kunne bli med massane ut i sjøen og bli oppløyst i sjøen/bli ført utover med strømmen.

Deler av dette kan teoretisk sett søkke ned og nå sjøvassinntaket. Risikoen for dette er liten i h.h.t. våre vurderingar, sjå nedanfor.

Det er tale om å dumpe totalt ca 260.000 m³ masse. Til samanlikning var det ved Fodnes (Lærdalstunellen) dumpa inntil 550.000 m³. Målingar utført i sbm dumping der synte tydeleg deteksjon av partikkelskya, og noko auka nitratkonsentrasjon (Johnsen og Golmen 1992). Høgste målte partikkelkonsentrasjon i sjøen i sbm dumping var 3,4 mg/L (vekt tørrstoff). Det vart ikkje rapportert

om uønska effektar der, så langt vi veit (det vart ikkje gjort vidare overvaking der under dumpinga som pågjekk eit par år).

Om ein eksempelvis tar utgangspunkt i ein strømvardi på 15 cm/s i området ved Matresøyna, så vil det ta anslagsvis 70 minutt å advektere 700 m (kortaste horisontale avstand til inntaket). I løpet av den perioden vil dei fine partiklane synke kun anslagsvis 2-4 m, m.a.o. partiklar som blir frigjort i eller nær sjøoverflata vil neppe kunne påverke inntaket på 90 m djup. Tilsvarande resonnement vil vi kunne nytte for partiklar som vert virvla opp frå botnen på 25 m djup eller grunnare; fine partiklar vil ikkje kunne bli advektert direkte med strømmen og synke ned til inntaket.

I høve til den nye oppdrettslokaliteten lenger ute på sørsida av fjorden (Smørdalen) vil ein strøm på 15 cm/s representere teoretisk transporttid for partiklar frå fyllingsområdet på 2.5 timar. I løpet av ein slik periode vil finfraksjonen kunne synke 6-9 m, m.a.o. dei vil framleis kunne berøre fisken i merdane. Konsentrasjonane vil neppe nå kritiske verdiar i avstand på 500 m eller meir.

Det vil naturleg nok vere tale om lokal utrydding av botnfauna/flora i dumpeområdet på ca 25.000 m². Dette er omtalt i KUen.

NIVA har gjort nokre vurderingar i sbm planlagt deponering av gruveavgang i Førdefjorden (Nordic Mining saka, Bjerkeng og Sundfjord 2008, Dale 2008, Rosten 2008). Dette vert ein annan type deponering dersom den blir realisert, flytande masse/slurry som blir leia i røyr ned på djupet. Det er likevel aktuelt å nytte verdiane for utfellingsrater: 3 cm/minutt (< 15 µm) og 10 cm/min (< 30 µm) i den studien. Dette er sannsynlegvis representative verdiar for den finare fraksjonen av partiklar frå steindumping.

Når et gjeld debatten omkring dumping av avgang i Førdefjorden så er ikkje den særleg relevant for foreliggende prosjekt. Det er ikkje tale om potensielt giftig stoff (flotasjonsmidlar), andel finpartiklar er minimal i høve til Førdefjorden saka, og mengdene masse og varigheit av deponeringa er langt mindre.

NIVA utfører for tida overvaking av partiklar i Dalsfjorden i sbm tunelldriving og steindumping for RV57. Der er oppdrettsanlegg ca 3 km unna dumpestadene, og overvakinga inkluderer varsling dersom det vert registrert høge partikkelkonsentrasjonar i målepunkt ved anlegget eller i målepunkt 1.5 km frå dumpestadene. Så langt har det ikkje vore uønska episodar i sbm denne steindumpinga som foregår frå ein lekter. Eit siltskjørt bidreg til å minimere spreieing av partiklar i overflatelaget.

7.2.1 Tiltak for å hindre spreieing av partiklar

Storleiken på det området der partiklane kan bli spreidd, heng mellom anna saman med synkefart gjennom vatnet som igjen er avhengig av partiklane sin eigenvekt, form og storleik. Vi har gjort nokre anslag for dette over. Under utfyllingsperioden kan det vere eit nyttig tiltak å bruke eit såkalla siltskjørt for å få hovedandelen av partiklane til å sedimentere bak skjørtet og dermed redusere partikkeltransporten bort frå dumpingsområdet.

Vidare kan ein styre dumpinga i takt med strøm og tidevatn, unngå å dumpe når det er ugunstig strømreretning. Ein strømmålar kan måle og sende data kontinuerleg til ei tavle, over Internet eller via mobiltelefon, som operatørar og sjåførar kan følgje med på (slikt opplegg er etablert i Dalsfjorden).

Dersom ein skulle støyte på anomalt fjell, spesielt mjuke bergartar, bør ein få tatt prøver av støvet og få det analysert, det kan ha større andel kvasse, skadelege partiklar og effektar av dette bør evt. vurderast nærmare.

For øvrig tilrår vi ein viss form for overvaking i dumpeperioden(e). Det kan takast stikkprøver av partikkelskya og spreinga kan kartleggast ved eit fåtal situasjonar, som grunnlag for å dokumentere og gje arbeidet ei "miljøgodkjenning". Slike registreringar er også nyttige som referansedata i høve til andre/framtidige anleggsprosjekt.

7.2.2 Resultat for islegging

Resultat av kjøring av modellen for ein profil i april 2002 med oppgitte data og pådriv er synt i **Tabell 6**. Frysepunktet låg på $-1.08\text{ }^{\circ}\text{C}$, mens sjøtemperaturen i overflata i dette høvet var $4,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Det framgår at i tillegg til nødvendig avkjøling for å bringe temperaturen ned til frysepunktet, skulle det kun 4,3 cm is til, for å oppretthalde pådrivet ($300\text{W}/\text{m}^2$) og i tillegg få i gang djuptgåande konveksjon.

Vedvarande varmetap medførte danning av 4,6 cm is etter 1 døgn. M.a.o. dei aktuelle forholda representerte ein relativt følsam situasjon i forhold til isdanning.

Resultata for andre profiler synte at det ikkje trengtes bli danna is i det heile tatt for å få vassøyla til å "kvitte seg med" den aktuelle varmemengda (varmetap over 1 døgn), mens målingane frå mai tilsvara danning av mykje meir is enn det vinterprofilen ga. Den store tjukkeleiken for mai illustrerer effekten av at fjorden då hadde fått tilført mykje ferskvatn og samtidig var markert sjikta, slik at dersom ei kuldeperiode skulle oppstå (lite sannsynleg), ville fjorden raskt kunne reagere med islegging. Same følsemd i forhold til sjiktinga er observert andre stader, m.a. i Lusterfjorden (Gjessing 1968). Naturen, d.v.s. hydrografi og sjikting synes vere ordna slik at isdanninga blir avgrensa om vinteren då risikoen for kuldeperiodar er størst.

Modellsimuleringane for strøm kan indikerte auka opphaldstid i overflatelaget på nordsida av Matresøyna frå ca 1 døger i dag til 2 døger p.g.a. fyllinga. Dette kan gjere at overflatevatnet ligg meir i ro og kan bli eksponert for avkjøling over lenger tid enn før.

Dei endra sirkulasjonstilhøva og at vatn frå elva og kraftverket i større grad vert leia på sørsida av Matresøyna kan medføre at overflatevatnet blir saltare enn i dag. Dette vil i så fall medføre lågare frysepunkt og svakare sjikting, m.a.o. dårlegare vilkår for islegging.

For å simulere «worst case» effekten for islegging med auka opphaldstid og ein situasjon med lågare overflatesalinitet (lite sannsynleg men kan ikkje utelukkast), har vi tatt utgangspunkt i april-profilen og redusert målt salinitet med 50 % i intervallet 0-3 m djup. Dette kan illustrere ugunstig (og lite sannsynleg) situasjon med eit djupare og mindre salt brakkvasslag. Temperaturfordelinga var som opprinneleg målt. Resultat med same pådriv som før syner at det blir danna 6,2 cm is etter eit døger, m.a.o. ein auke på 1,9 cm (44 %) i høve til førre verdi på 4 cm is. Utan å trekke for bastante slutningar særleg p.g.a. manglande vinterdata kan det sjå ut som at fyllinga i særskilde situasjonar vil kunne bidra til at det vert danna litt tjukkare is i skjerma område nord for fyllinga/øya, når tilhøva elles ligg til rette for dette.

Men regelen vil truleg vere uendra eller mindre is enn i dag, under elles like meteorologiske tilhøve.

Ad. spørsmål 3:

Vi har ikkje tilstrekkeleg data for is-statistikk for nåsituasjonen til å kunne kvantifisere evt. endringar, men vi kan indikere i kva retning endringane kan gå. Resultata for simuleringane med SMS modellen indikerer at det blir større bakevjer nær fyllinga i høve til i dag. Dette vil neppe medføre meir islegging i området, sidan sjøen blir halden i rørsle. Det vil imidlertid kunne bidra til litt større grad av oppstuvning av isflak når isen går viss den blir danna i dette området. Strømmen vil bli sterkare i opninga i fyllinga, noko som vil bidra til å rive bort isflak.

Ad. spørsmål 4:

Ut frå det ovanstående vil det generelle biletet tilsei tilnærma uendra situasjon for islegginga, auka opphaldstid nord for fyllinga vil verte oppvegd av auka salinitet/svakare sjikting. I og med at situasjonen i dag er prega av lite/ingen islegging (Ø. Storslett, pers. medd.), så vil risikoen for massiv isdanning og oppbryting med drift av store flak utover fjorden vere liten i normale og også kalde vintrar. Oppdrettslokaliteten ved Smørdalen vil såleis ikkje bli truga av is.

7.2.3 Oppsummering for is

Modellsimuleringane indikerer at ei utfylling vil kunne auke isdanningsraten i særskilde situasjonar, m.a.o. at det raskare vil kunne dannast relativt tjukk is i kuldeperiodar når der er mykje ferskvatn i fjorden, og at is-sesongen dermed kan bli litt forlenga. Som nemnt over, vil auka salinitet trekke i motsett retning. Den pågåande klimaendringa med varmare vintrar etc. på Vestlandet vil også kunne trekke i retning mindre is, slik at det neppe blir noka målbar netto endring i negativ lei m.o.t. is som følge av fyllinga, sjølv utan opning.

Ei fylling vil kunne auke oppstuving av evt is danna lokalt men dette forventast å bli kortvarig. Turbulens (virvlar) nær opninga vil bidra til å halde denne open i ein normal/kald vinter.

Situasjonar som kan oppstå i ekstremt kalde/lange vintrar har vi ikkje tatt høgde for, i slike vintrar kan truleg fjorden fryse til over lange avstandar, også ut forbi Smørdalen. Dei to siste vintrane har vore kalde, men det var ikkje registrert noka slik islegging då så langt vi har funne ut.

Tabell 6. Resultat for ismodellen basert på modifiserte STD data målt av NIVA vinteren 2002.

INITIALVERDIAR FOR DET ØVERSTE LAGET FØR AVKJØLING:								
S: 19.999 (E-3), T: 4.965 (Deg-C) FRYSEPUNKT: -1.08 (Deg-C), SIGMA: 15.809								
VERDIAR FOR ØVRE LAG SOM ETTER AVKJØLING/ISFRYSING GIR GJENNOMBLANDING TIL NESTE LAG:								
DKONV (m)	T-MID (Deg-C)	S-MID (E-3)	DELTA-S (E-3)	QH (J/m2)	QF	DELTAICE (m)	HICETOT (m)	QTOT (J/m2)
0.	-1.083	23.099	3.100	.64E+07	.11E+08	.043	.043	.18E+08
1.	-1.263	24.374	1.100	.13E+08	.19E+08	.028	.071	.32E+08
1.	-1.335	24.870	.300	.28E+08	.23E+08	.015	.086	.50E+08
2.	-1.358	25.150	.150	.42E+08	.25E+08	.011	.097	.67E+08
2.	-1.372	25.554	.300	.56E+08	.33E+08	.029	.127	.89E+08
3.	-.009	25.636	.000	.56E+08	.33E+08	.000	.127	.89E+08
3.	-1.398	25.806	.100	.85E+08	.37E+08	.014	.141	.12E+09
4.	-1.407	26.270	.400	.10E+09	.54E+08	.066	.207	.15E+09
4.	-1.432	27.224	.900	.12E+09	.96E+08	.162	.369	.21E+09
5.	-1.485	28.028	.750	.13E+09	.13E+09	.147	.515	.27E+09
5.	-1.530	28.829	.750	.15E+09	.18E+09	.157	.673	.32E+09
6.	-1.575	29.728	.850	.16E+09	.22E+09	.189	.862	.39E+09
6.	-1.625	30.176	.400	.18E+09	.25E+09	.095	.957	.43E+09
7.	-1.650	30.573	.350	.20E+09	.27E+09	.089	1.046	.47E+09
7.	-1.673	30.916	.300	.21E+09	.29E+09	.081	1.127	.51E+09
8.	-1.692	31.108	.150	.23E+09	.31E+09	.043	1.170	.53E+09
8.	-1.210	31.149	.000	.23E+09	.31E+09	.000	1.170	.53E+09
9.	-.782	31.188	.000	.23E+09	.31E+09	.000	1.170	.53E+09
9.	-.402	31.224	.000	.23E+09	.31E+09	.000	1.170	.53E+09
10.	-.061	31.259	.000	.23E+09	.31E+09	.000	1.170	.53E+09
10.	.245	31.290	.000	.23E+09	.31E+09	.000	1.170	.53E+09

ISTJUKKLEIK = .046m VED NÅDD QTEST= .250E+08 J/m2

8. Referansar

Dale, T., A. Kvassnes og E.R. Iversen 2008: Risikoen for skader på fisk og blåskjell ved gruveaktivitet på Engebøfeltet. Rapp.Nr 5689, NIVA Bergen/Oslo, 38s.

Donnell, B., J. V. Letter, Jr, W. H. McAnally & W. A. Thomas, 2005. Users Guide to RMA-2 WES Version 4.5. U.S. Army, Engineering Research and Development Center Waterways Experiments Station, 277 s.

ECGL 1995. Surface water modelling system, Reference manual.Brigham Young University. Engineering Computer Graphics Laboratory.368B CB, Provo, Utah, USA. 170 pp.

Eilertsen, M., E. Brekke, A. Staveland og B. Tveranger 2011: Steinfylling til Matresøyna i Masfjorden kommune, Hordaland fylke. Konsekvensvurdering for marine forhold, forurensing, biologisk mangfald og naturressurser. Rapp. Rådgivende Biologer AS nr 1427, 2011, 78s.

Golmen, L.G. og A. Sundfjord 2003: Vasskvalitet i Matrevågen. Rapport frå målingar 2002. Rapp. Nr. 4698, NIVA, 18s.

Golmen, L.G., K. Lundmark og Å. Åtand 2010: Ny Loftsnesbru i Sogndal. Vurdering av miljøkonsekvensar i sjøen. Rapp. Nr. 5899. NIVA Bergen/Oslo, 26 s.

Johnsen T.M og L. G. Golmen 1992: Konsekvensar av dumping av tunellmasse i Lærdalsområdet, Rapp. Nr. 2814, NIVA Bergn/Oslo, 44s.

Johnsen, T.M. og T. Dale 2009:Partikkelforureining i Vatsfjorden. Rapp. Nr. 5823, NIVA Bergen/Oslo, 24 s.

Rosten, T., T. Dale, A. Kvassnes, A. Staalstrøm og A. Urke 2008: Effekten av forhøyet innhold av mineralske partikler i vannet med hensyn til villfisk og oppdrett av fisk og skalldyr. Rapp. Nr. 5692, NIVA Trondheim/Oslo, 38s.

Sundfjord, A., V. Bjerknes, L.G. Golmen og E. Oug 2002: Utbygging ved Matre havbruksstasjon. Vurderingar for inntak og utslepp av produksjonsvatn. Rapp. Nr 4506, NIVA, 68s.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no