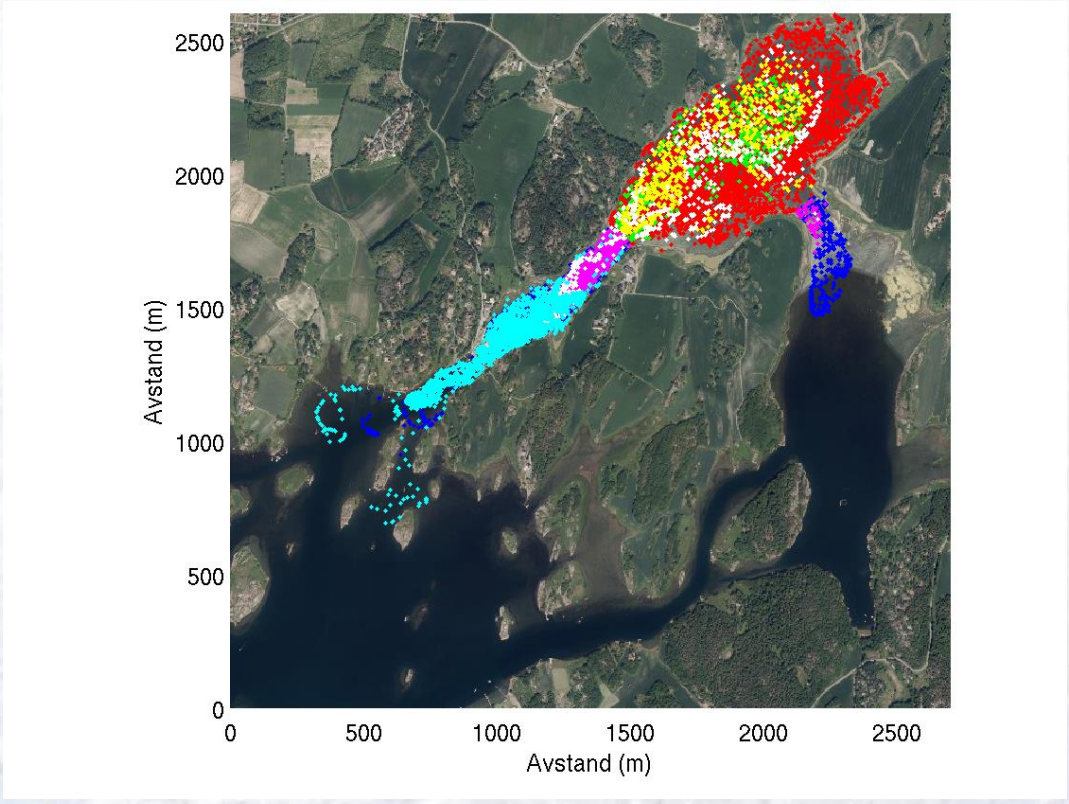
Akvaplan niva

Rapport Report

Indre Viksfjord, Larvik kommune

Modellering av vannutskiftning med tidevannsport, ved hjelp av partikkeltransportmodell



Akvaplan-niva AS Rapport: 8417 - 01

Illustrasjon på forside:

Figuren viser resultater fra simuleringer av partikkeltransport med modellen FISCM, med tidevannsport som er lukket på innstrømmende tidevann. Partikkelbaner for 2 hele tidevannsperioder á drøye 12 timer er illustrert.

Røde partikler er opprinnelige partikler i Varildfjorden ved start, ved første flo.

Grønne partikler er nye, innkommende partikler i Varildfjorden ved påfølgende flo. Hvite partikler er de grønne partiklenes bevegelser fram til tredje flo. Gule partikler er nye, innkommende partikler til Varildfjorden mellom andre og tredje flo.

Likeledes har blå partikler forlatt Varildfjorden ved første flo. Lyseblå er de blå partiklenes videre transport inntil tredje flo. Lilla partikler har forlatt Varildfjorden mellom andre og tredje flo (kartkilde: www.fdir.no)

Akvaplan-niva AS
Rådgivning og forskning innen miljø og akvakultur
Org.nr: NO 937 375 158 MVA
Framsenteret
9296 Tromsø
Tlf: 77 75 03 00, Fax: 77 75 03 01
www.akvaplan.niva.no

Rapporttittel / Report title

Indre Viksfjord, Larvik kommune: Modellering av vannutskiftning med tidevannsport ved hjelp av partikkeltransportmodell

Forfatter(e) / Author(s)
Øyvind Leikvin
Qin Zhou

Akvaplan-niva rapport nr / report no
8417 - 01

Dato / Date
16.01.2017

Antall sider / No. of pages
32 + 7

Distribusjon / Distribution
Gjennom oppdragsgiver

Oppdragsgiver / Client
Indre Viksfjord Vel

Oppdragsg. referanse / Client's reference
Ivar E. Trondsen

Sammendrag / Summary

Modellsimuleringer av vannsirkulasjon og partikkeltransport har blitt utført med tidevannsport på plass ved Vikerøybrua.. Hovedformålet har vært å finne veiledende tall på utskiftning av vannmasser i Varildfjorden når en tidevannsport er tilstede, og sammenlikne med tilfellet uten tidevannsport.

En tidevannsport som lukkes på fjære sjø og åpnes på flo sjø gir en nettotransport av vannmasser i retning mot klokka rundt Vikerøya. En tidevannsport som lukkes på flo sjø og åpnes på fjære sjø fører vannmassene i motsatt retning.

Det blir periodisk kraftig økning av strømhastighet i Klåstadrenna med tidevannsport, med sannsynlig tilhørende erosjon og sedimenttransport.

En tidevannsport som lukkes ved innstrømmende tidevann gir kortest oppholdstider og mest effektiv vannutskiftning i Varildfjorden.

Halveringstiden, tiden det tar å fjerne halvparten av de opprinnelige partikler fra området i Varildfjorden har blitt funnet til å være i størrelsesorden 1 – 2 dager med tidevannsport som lukkes på innstrømmende tidevann. Dette er en kraftig reduksjon i forhold til uten tidevannsport, hvor halveringstiden er i størrelsesorden 10 dager. Tilsvarende halveringsverdier for den nordlige delen av Varildfjorden er også 1-2 dager med tidevannsport, men ca. 17 dager uten tidevannsport.

Gjennomsnittlige oppholdstider for partiklene i modellsimuleringene har blitt beregnet til drøye 30 timer for Varildfjorden mellom Opptaksplassen og Klåstadrenna og noe kortere for den nordøstlige bukta, med tidevannsport som lukkes på innstrømmende tidevann. Gjennomsnittlige oppholdstider til vannmassene har blitt betydelig redusert, spesielt for dette området lengst i nordøst, sammenliknet både med tilfellet uten tidevannsport og med tidevannsport som lukkes på utstrømmende tidevann.

Andel av nye vannmasser som ankommer Varildfjorden per tidevannsperiode blir nesten fordoblet med tidevannsport som er lukket på innstrømmende tidevann i forhold til uten tidevannsport.

Det antas, på bakgrunn av modellsimuleringer, at en aktiv tidevannsport vil gi betydelig bedre vannutskiftning/ kortere oppholdstider for vannmasser generelt i indre deler av Viksfjorden. En viktig forutsetning for at tidevannsporten skal gi bedre vannmiljø i Varildfjorden, er at vannkvaliteten i ytre Viksfjorden er bedre enn den i Varildfjorden. Utførte målinger tidligere i prosjektet og i 2015 og 2016 har bekreftet at dette som regel er tilfellet. Det er usikkert om endringen er stor nok til å fjerne problemene med grønnalger.

Prosjektleder / Project manager

Øyvind Leikvin

Kvalitetskontroll / Quality control

Frank Gaardsted

© 2016 Akvaplan-niva AS. Rapporten kan kun kopieres i sin helhet. Kopiering av deler av rapporten (tekstutsnitt, figurer, tabeller, konklusjoner, osv.) eller gjengivelse på annen måte, er kun tillatt etter skriftlig samtykke fra Akvaplan-niva AS.

INNHOLDSFORTEGNELSE

1 INNLEDNING 2

1.1 Bakgrunn og formål 2
1.2 Områdebeskrivelse, Viksfjorden 3

2 METODIKK OG DATA 5

2.1 Skisse av tidevannsportens funksjon 5
2.2 Hydrodynamisk modellering i Viksfjorden 6
2.3 Partikkeltransport i Viksfjorden 8
2.3.1 Halveringstid 9
2.3.2 Oppholdstid til vannmasser 9
2.3.3 Andel nye vannmasser per tidevannsperiode (~12t) 10

3 RESULTATER 11

3.1 Modellering av hydrodynamikk i Viksfjorden med tidevannsport 11
3.1.1 Netto vanntransport i retning mot klokka (ACW=AntiClockWise) 11
3.1.2 Netto vanntransport i retning med klokka (CW=ClockWise) 12
3.2 Modellering av partikkeltransport med fokus på vannutskiftning i Varildfjorden 14
3.2.1 Halveringstider til vannmasser innenfor Varildfjorden 17
3.2.2 Oppholdstider i Varildfjorden 19
3.2.3 Andel nye vannmasser per tidevannsperiode 22
3.3 Sammenlikninger med situasjon uten tidevannsport 25

4 VURDERINGER 27

5 KONKLUSJONER 30

6 REFERANSER 32

VEDLEGG 33

A) Innstillinger, for modellkjøringer med FVCOM 33
B) Innstillinger, for modellkjøringer med FISCM 33
C) Krefter på tidevannsport 34
D) Analyseresultat for vannkvalitetsprøver fra Viksfjorden 37
E) Stasjonskart for vannprøvene i Vedlegg D 39

Forord

Foreliggende rapport er utarbeidet for Indre Viksfjord Vel i samsvar med tilbud av 18. juli 2016, signert 22. august 2016.

Følgende personer har deltatt i prosjektet:

Øyvind Leikvin	*Akvaplan-niva AS*	*Prosjektleder, modellering, analyse og rapportering*
Jarle Molvær	*Molvær Resipientanalyse*	*Diskusjon, ekstern kvalitetssikring*
Qin Zhou	*Akvaplan-niva AS*	*Modellering*
Ole Anders Nøst	*Akvaplan-niva AS*	*Diskusjon*
Frank Gaardsted	*Akvaplan-niva AS*	*Kvalitetssikring*

Akvaplan-niva vil takke Indre Viksfjord Vel for et meget interessant oppdrag.

Tromsø, 16. januar 2017

Øyvind Leikvin

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og formål

Ifølge observasjoner og miljøundersøkelser har Viksfjorden fått økende eutrofieringsgrad i de siste tiår, og oppblomstring av grønnalger truer ålegresset og det rike fuglelivet innerst i Viksfjorden (Moy m.fl., 2014). Årsaken antas å være en kombinasjon av:

- *Økte tilførsler av næringssalter til Indre Viksfjorden*
- *Begrenset vannutskiftning/ sirkulasjon i Indre Viksfjorden.*

Indre Viksfjord Vel (IVIV) engasjerte Havforskningsinstituttet (HI) til å utarbeide forslag til avbøtende tiltak.

HI kartla den marina floraen i Viksfjorden og utførte hydrodynamiske modelleringer med modellen ROMS (Moy m.fl., 2014). I modelleringene var det fokus på hvordan avbøtende tiltak i form av endringer i batymetri kan øke vannutskiftningen i Viksfjordens indre del, og arbeidet resulterte i følgende hovedkonklusjon:

- *Utdypning av Klåstadrenna vil bedre vannsirkulasjonen og ha positiv betydning for vannkvaliteten i indre Viksfjorden.*

HI anbefalte at denne konklusjonen ble verifisert ved bruk av et annet modellsystem før eventuell igangsetting av simuleringer for optimering av en slik kanal i Klåstadrenna. En slik verifisering ble utført av Akvaplan-niva/ Molvær Resipientanalyse (Leikvin m.fl., 2014A). Hovedkonklusjonen stemte med den som HI kom frem til.

Deretter ble det utarbeidet en studie som først og fremst fokuserte på vurdering av optimal utforming/ dimensjonering av en kanal i Klåstadrenna (Leikvin m.fl., 2014B).

På grunn av usikkerhet i kvantifiseringen av kanalens innvirkning på vannutskiftningen og en mistanke om relativt liten netto vanntransport rundt Vikerøya, har det blitt søkt etter alternative løsninger. En annen og avgjørende faktor var at den anbefalte kanal blir relativt lang (~700 m) og at den dermed vil bli svært kostbar å realisere.

IVIV har selv kommet med forslag til en alternativ løsning. Denne består i å etablere en tidevannsport over tverrsnittet ved Vikerøybrua. Porten skal kunne lukkes ved fjære sjø slik at innstrømmende tidevann får retning mot klokka rundt Vikerøya. Ved flo sjø åpnes porten igjen, og vannet strømmer ut på begge sider av Vikerøya slik som før. Tilsvarende kan porten lukkes ved flo sjø, og på tilsvarende måte få netto vanntransport i retning med klokka rundt Vikerøya.

SINTEF (Eidnes, 2015) og Akvaplan-niva (Leikvin og Molvær, 2015) har kommet med to ulike vurderinger på effekten av en slik tidevannsport, men det er stor usikkerhet i deres konklusjoner.

Dersom det uten en tidevannsport er lite «nytt» vann som tilføres per tidevannssyklus, og oppholdstiden til vannmassene dermed er relativt lang, har skisserende beregninger for effekten til en tidevannsport i Leikvin og Molvær (2015) vist at en slik port kan øke vannutskiftningen betydelig.

Antakelsen om en betydelig grad av fram-og-tilbake-pumping av vannmassene ble støttet av resultater fra simuleringer av vannutskiftning uten tidevannsport (Leikvin & Børve, 2016). En antydende verdi var at 63 % av vannmassene som ble transportert ut av Varildfjorden ved utstrømmende tidevann, ble med inn igjen ved påfølgende innstrømmende tidevann.

Den foreliggende rapporten skal kartlegge og kvantifisere vannutskiftningen til Varildfjorden, ved hjelp av modellering og analyse av partikkeltransport, med tidevannsport tilstede. Arbeidet bygger på tidligere arbeid utført av Akvaplan-niva, NIVA og HI.

1.2 Områdebeskrivelse, Viksfjorden

Viksfjorden er en ca. 7 km lang fjordarm orientert i nordøstlig retning med forbindelse til Larviksfjorden i vest (Figur 1). Det er en relativt grunn fjord og innenfor Langøya er dypet mindre enn 10 m, med få unntak. Innerst i Viksfjorden ligger Vikerøya, som er ca. 1.5 km på tvers (Figur 2).

Farvannet rundt Vikerøya er preget av smale sund i vest ved Vikerøybrua (ca. 20 m ved selve brua og 80 m i sundet) i nord ved Klåstadrenna (ca. 100 m) og i sørøst ved Refsholtsundet (ca. 90 m).

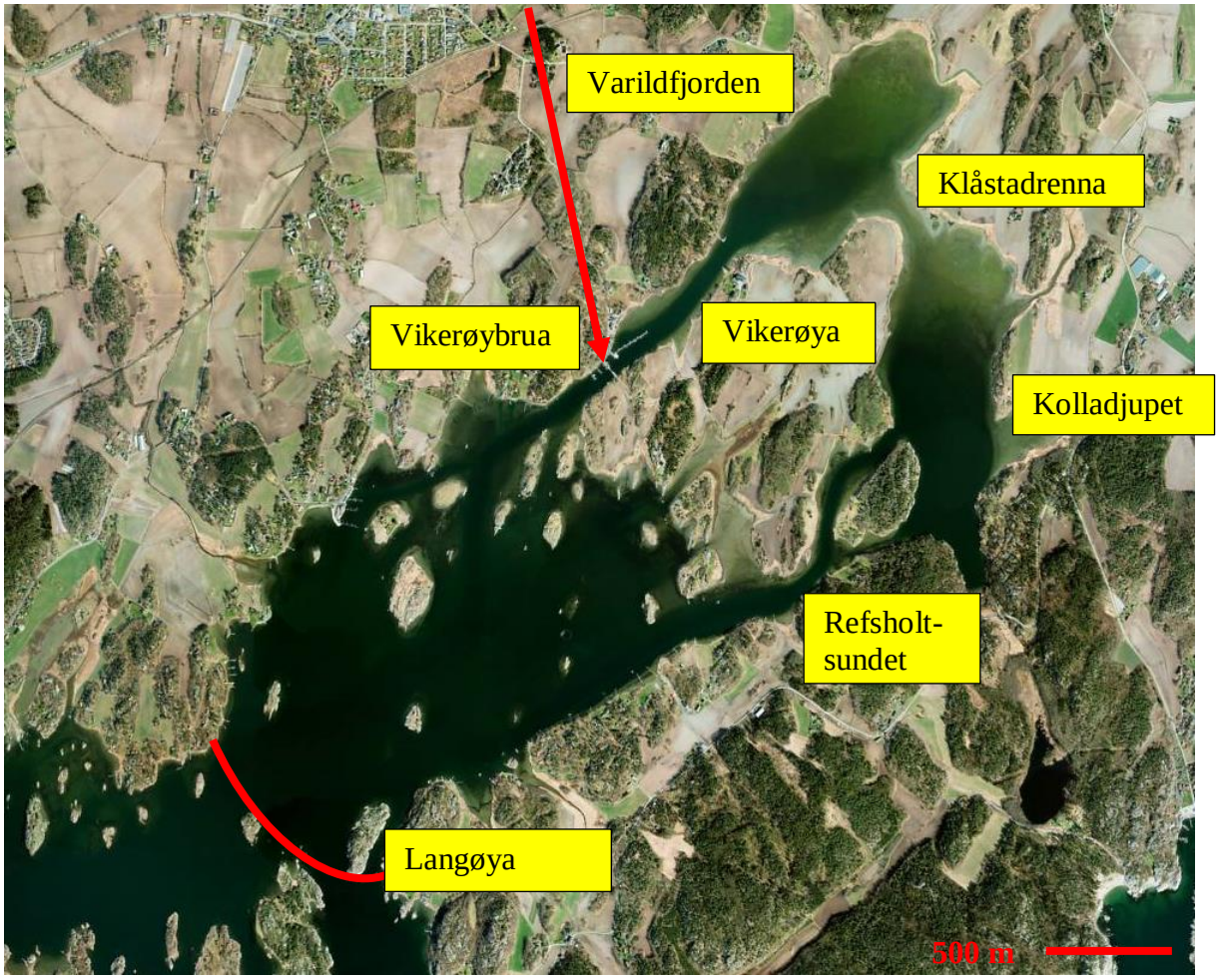
Innerst i Varildfjorden, i selve Klåstadrenna og sørøst for denne er det større grunne områder. Nord i Varildfjorden er det et område på ca. 0.5 km x 0.5 km med dyp mindre enn 1.0 m ved middelvannstand[1] (Figur 2). I Klåstadrenna er det 30-40 cm dyp ved middelvannstand og denne grunne innsnevringen er omtrent 200 m lang. Klåstadrenna løper tørr ved kraftig lavvann og hindrer da gjennomstrømning mellom vestre og østre del av innerste Viksfjorden. Sørvest for Klåstadrenna er det et mindre grunnområde, mens det sørøst for Klåstadrenna finnes et større grunnområde på omtrent 0.3 km * 0.5 km, med vanndyp <70 cm.

Øst for Vikerøya ligger Kolladjupet (Figur 2). Det er en tilnærmet sirkelformet fordypning som går fra omkringliggende ca. 6 m dyp ned til ca. 20 m dyp, og som er svært begrenset i horisontal utstrekning (< 100 m).

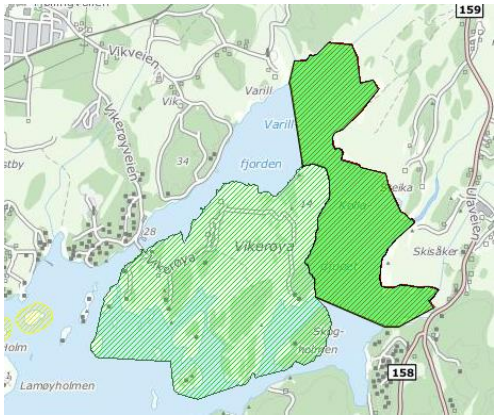
Indre Viksfjord naturreservat er illustrert i Figur 3 og dekker området innerst i Varildfjorden og Klåstadrenna. Dette reservatet har våtmark som vernetema (www.naturbase.no).

Figur 1: Oversikt over området ved Viksfjorden i Larvik kommune. Viksfjorden er merket med rød pil. Modellranden er merket med rød kurve. Svenner Fyr er markert med rød stjerne. Helgeroa tidevannsstasjon er merket med rød trekant til venstre i bildet. Skalering er gitt nede på høyre side (kartkilde: www.fdir.no).

[1] *Ifølge www.sehavniva.no så er middelvannstand basert på gjennomsnitt av vannstanden over de siste 19 år. I Viksfjorden er middelvannstand 51 cm høyere enn sjøkartnull.*



Figur 2: Midtre og indre delen av Viksfjorden. Modellranden ved Langøya er merket med rød strek, like utenfor Langøya. Tidevannsportens planlagte plassering er markert med rød pil. Skalering er gitt nede til høyre (kartkilde: www.gulesider.no).



Figur 3: Skisse over utbredelsen av Indre Viksfjord naturreservat (mørkegrønt) (kartkilde: www.naturbase.no)

2 Metodikk og data

Som nevnt i kapittel 1.1, er hovedformålet med prosjektet å kvantifisere oppholdstiden og få oversikt over vannutskiftningen til Varildfjorden, med tidevannsport tilstede. Dette utføres ved å kjøre en numerisk partikkeltransport-modell. Modellen bruker strømfelter/resultater fra simuleringer med den hydrodynamiske modellen FVCOM.

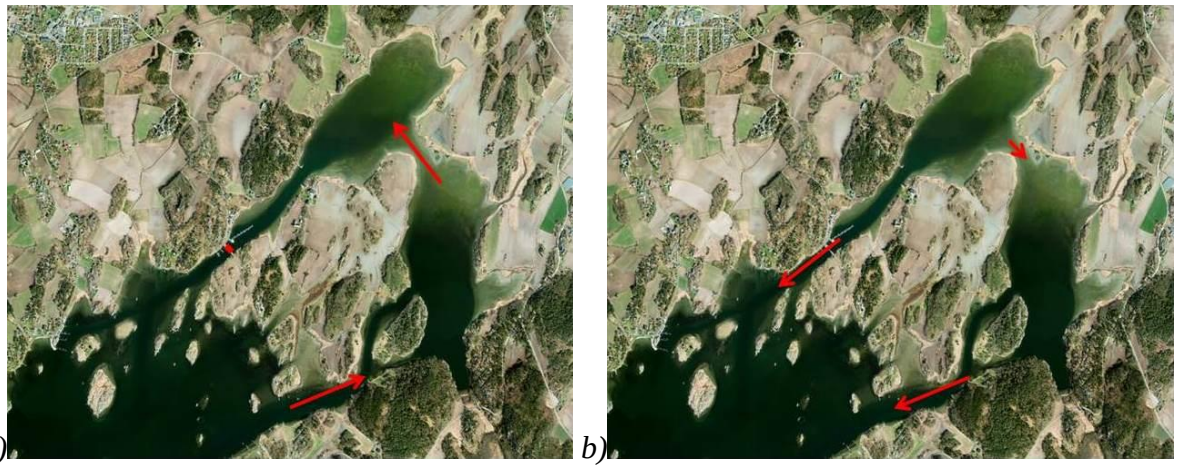
2.1 Skisse av tidevannsportens funksjon

En nødvendig funksjon til tidevannsporten er at den må kunne åpnes og lukkes etter ønske. Tidevannsporten tenkes plassert på stedet med kortest distanse mellom Vikerøya og fastlandet, i Vikerøysund (Se Figur 2).

To mulige scenarier er vurdert, lukking av tidevann ved fjære sjø og ved flo sjø. Begge disse er simulert og analysert, og er skissert nedenfor

A) Sirkulasjon i retning mot klokka (ACW, AntiClockWise):

- Tidevannsporten ved Vikerøybrua lukkes på fjære sjø.
- Ved stigende vannstand strømmer tidevannet inn gjennom Refsholtsundet, forbi Kolladjupet, nord-vestover gjennom Klåstadrenna til Varildfjorden og fyller denne opp (Figur 4a).
- Tidevannsporten åpnes på flo sjø.
- Ved fallende vannstand strømmer tidevannet utover, mot sør, på begge sider av Vikerøya (Figur 4b). Tidevannet strømmer sørøstover gjennom Klåstadrenna, mot Kolladjupet.



Figur 4: Hovedsirkulasjon med tidevannsport i Viksfjorden som stenges på fjære sjø og åpnes på flo sjø, for a) stigende vannstand og b) fallende vannstand.

B) Sirkulasjon i retning med klokka (CW, ClockWise):

- Tidevannsporten ved Vikerøybrua lukkes ved flo sjø.
- Ved fallende vannstand strømmer tidevannet ut fra Varildfjorden sørøstover gjennom Klåstadrenna mot Kolladjupet, mot Refsholtsundet, og videre mot ytre Viksfjorden (Figur 5b).
- Tidevannsporten åpnes på fjære sjø.
- Ved stigende vannstand strømmer tidevannet innover i Viksfjorden, mot nord, på begge sider av Vikerøya (Figur 5a). Tidevannet strømmer nord-vestover gjennom Klåstadrenna, til Varildfjorden.

a) *b)*

Figur 5: Hovedsirkulasjon med tidevannsport i Viksfjorden som stenges på flo sjø og åpnes på fjære sjø, for a) stigende vannstand og b) fallende vannstand.

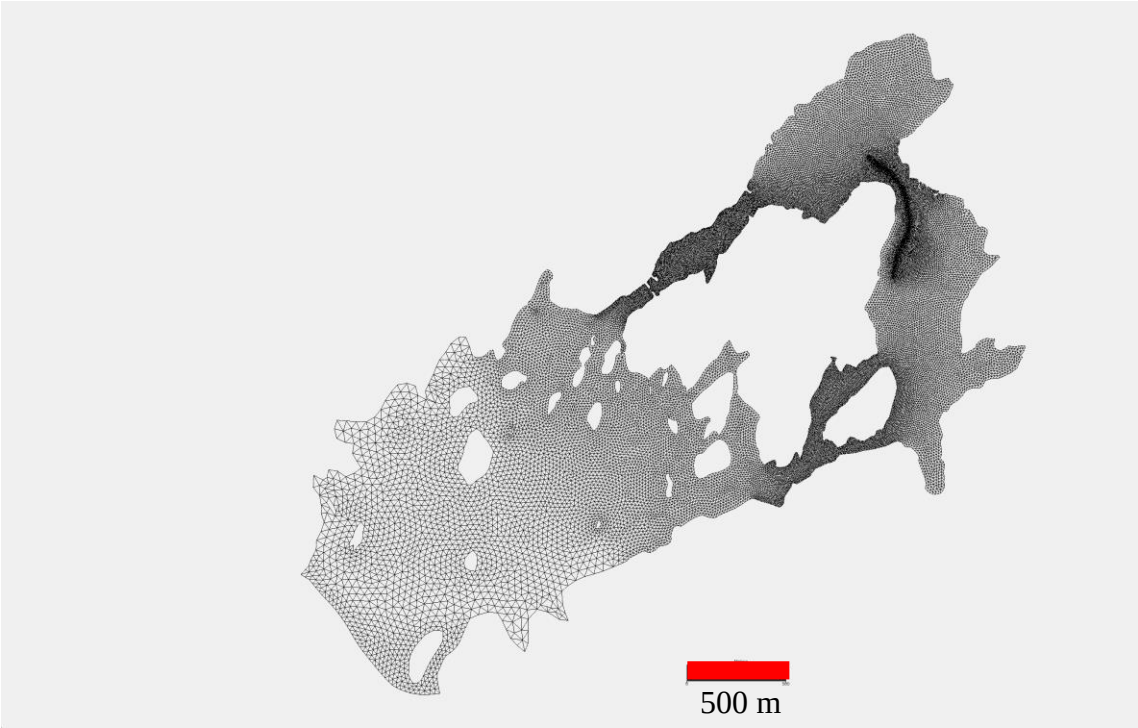
2.2 Hydrodynamisk modellering i Viksfjorden

Hydrodynamisk modellering av vannsirkulasjonen i Viksfjorden er utført i Leikvin m.fl. (2014B) og i Leikvin & Børve (2016). Samme modellverktøy (FVCOM), samme grid og modelloppsett som beskrevet i den rapporten og vist i Figur 6 er benyttet i den foreliggende studien. Størrelsen på beregningscellene varierer mellom et par meter i utvalgte deler i indre Viksfjorden og ca. 30 m ytterst mot randen i ytre Viksfjorden. Bunntopografien er vist i Figur 7.

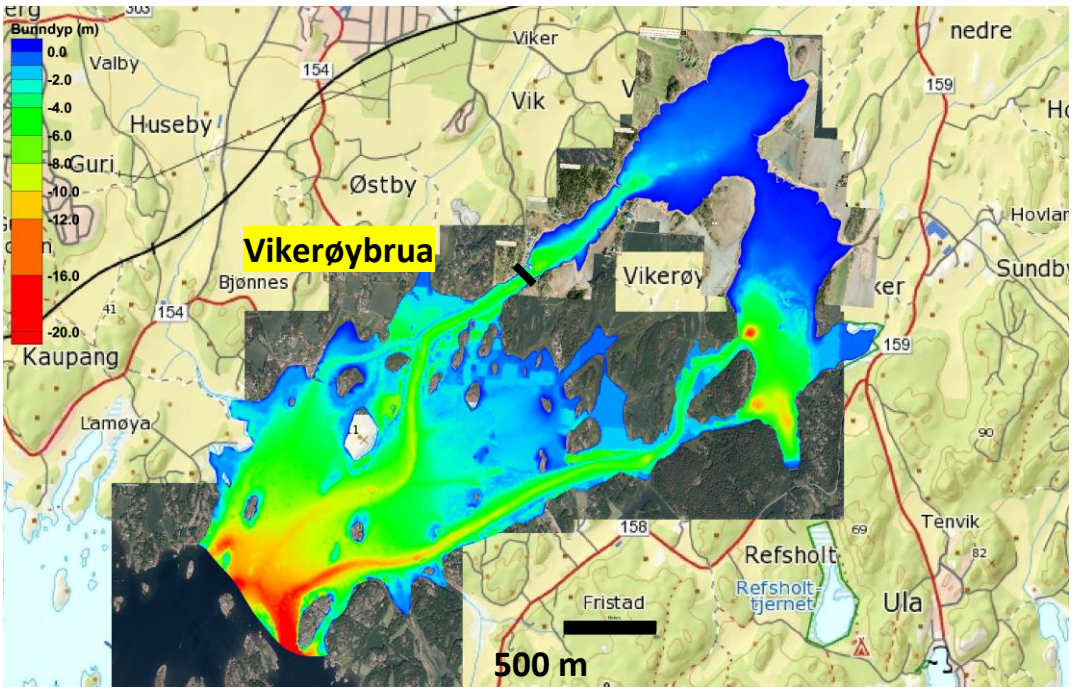
For å legge inn en tidevannsport som åpner og lukker seg i modellen, er det lagt inn følgende betingelse i modellen: dersom gjennomsnittet av strømmen i snittet over Vikerøybrua gir en nettostrøm inn mot Varildfjorden, så settes strømmene til null i disse beregningscellene dette gjelder. Dette tilsvarer en fysisk stengning over tverrsnittet ved Vikerøybrua. Dermed kan det ikke gå nettostrøm inn mot Varildfjorden, når tidevannsporten er aktiv. Når det er fallende vannstand, kan det gå vann ut av Varildfjorden, da er beregningscellene "normale" igjen.

Samme simuleringsperiode som i Leikvin & Børve (2016) er benyttet, med varighet på 180 dager mellom 1. april og 1. oktober 2015.

Modellen ble drevet av vannstand som følge av predikert tidevann, og slike data er hentet fra nettstedet www.kartverket.no/sehavniva. Målinger av trykk og vannstand i Leikvin m.fl. (2014B) viste at vannstand for Viksfjorden beregnet av Statens kartverk, Sjøkartverket er en god tilnærming, og vil være tilstrekkelig nøyaktig for formålet med denne studien.



Figur 6: Oversikt over modellnettverket av beregningsceller for Viksfjorden i form av triangler med varierende størrelse. Merk at gitteret er ustrukturert og at det er ekstra høy oppløsning i trange sund og spesielt i Klåstadrenna. Den røde streken nede i bildet viser skalering. Størrelsen på gridcellene varierer mellom et 1-2 og ca. 30 m.



Figur 7: Oversikt over bunnmatrisen benyttet som inngangsdata for de hydrodynamiske simuleringene. Fargeskala er oppe til venstre. Merk at denne er ikke-lineær, med høyere oppløsning på grunt vann. Merk at det er liten usikkerhet i bunndata øst for Vikerøya og større usikkerhet i grunnområdene vest for Vikerøya (kartkilde: mosaikk av flybilder fra www.norgeibilder.no og www.gulesider.no). Plassering av Vikerøybrua og tidevannsporten er markert med sort linje vest for Vikerøya. Skalert linje på 500 m er plassert nederst i bildet, i sort.

2.3 Partikkeltransport i Viksfjorden

For å studere i detalj hvordan vannmassene sirkulerer i indre deler av Viksfjorden brukes en partikkeltransportmodell ved navn FISCM (FVCOM *i*-State Configuration Model). Denne partikkeltransportmodellen er tilpasset den hydrodynamiske løsningen til FVCOM, og er utviklet av FVCOM-teamet (Chen m.fl., 2013; Chen m.fl., 2006).

FISCM er en lagrangsk partikkeltransportmodell som sporer individuelle partiklers bevegelse i tid. Modellen kan kjøres "offline", dvs. etter at den hydrodynamiske løsningen er funnet. Altså bruker FISCM strømverdiene i beregningscellene fra FVCOM-kjøringen til å spre partiklene i modellområdet.

Modellverktøyet gir mulighet for å slippe ut partikler på flere steder samtidig, og flere partikler på samme sted til samme tid.

Partiklene kan gis egenskaper som for eksempel alder og levetid. De kan også gis en ekstra random-walk-funksjon, for å simulere diffusjon.

Ved hjelp av resultatene til partikkeltransportmodellen søkes en oversikt over strømningsbildet mellom Vikerøybrua og Kolladjupet, der de viktigste momentene er:

- Hvor lang er oppholdstiden til partiklene/ vannmassene i Varildfjorden, når en tidevannsport er aktiv?
- Hvor lang tid tar det før en viss andel av partiklene/ vannmassene forsvinner fra Varildfjorden?
- Hvor stor andel nye partikler/ nytt vann kommer inn for hver tidevannsinnstrømning i forhold det totale vannvolum i Varildfjorden?

Ved postprosessering og analyse av modellresultatene kan det gis tallverdier for dette. Unøyaktigheter som følge av usikkerheter i bl.a. valg av:

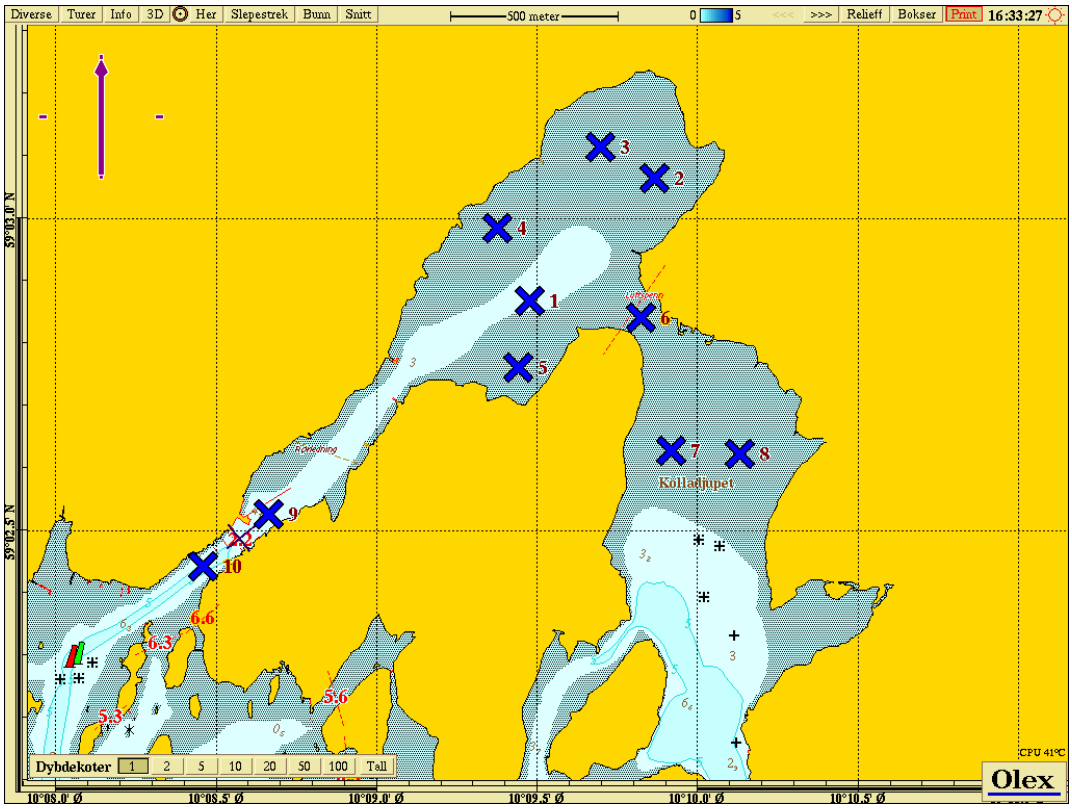
- bunnfriksjon
- turbulent diffusjonskoeffisient
- valg av 2D-modell (i stedet for 3D-modell)

bidrar til at modellresultatene kun gir veiledende verdier for oppholdstid til partiklene. Det er også avvik fra virkeligheten på grunn av at drivkrefter som vind, estuarin sirkulasjon, klimatologi (salt- og temperaturendringer fra ytre deler av Viksfjorden) og mesoskala trykkendringer ikke er inkludert i modelleringen. Drivkreftene er imidlertid vurdert, og konklusjonen var at tidevannskreftene er de absolutt viktigste opphav til variasjonen i vannbevegelsene ved Vikerøybrua (Leikvin & Børve, 2016).

Det antas at det i analysen av partikler er tilstrekkelig antall partikler inkludert, slik at partikkelanalysen kan være veiledende for/ synonymt med analyse av vannmasser.

I simuleringene med analyse av oppholdstid og retur av vannmasser i Varildfjorden er det benyttet utslipp fra 10 ulike stasjoner (Figur 8). 16 partikler er sluppet ut hver time i 2000 timer fra 15. april til 7. juli 2015, nesten 3 måneder. Dette gir til sammen 320 000 partikler som blir sluppet ut i indre deler av Viksfjorden. Fra 7. juli starter analysen, som varer i ytterligere 2000 timer, fram til 28. september 2015, også i nesten 3 måneder). De fleste partiklene forsvinner ut i ytre deler av Viksfjorden før analysen begynner. Hovedparten av analysen følger de partiklene som fremdeles er igjen i fjorden, ca. 14 000 i alt, i begge scenarier med tidevannsporten. En del av analysen inkluderer alle partikler som kommer innom Varildfjorden i løpet av de 3 måneder, som er nesten 40 000 partikler.

Beskrivelser av analysene og deres metodikk er gitt i kapittel 2.3.1 og 2.3.2.



Figur 8: Oversikt over de 10 stasjonene (blå kryss og med tall) hvor det ble sluppet ut partikler i FISCM-simuleringene (kartverktøy: www.olex.no).

2.3.1 Halveringstid

En måte å illustrere vannutskiftningen på er å beregne halveringstider til vannmassene som befinner seg innenfor Varildfjorden. Dette viser hvor lang tid det tar før halvparten av vannmassene innenfor Varildfjorden er skiftet ut. I partikkelanalysen gjøres dette ved å beregne hvor lang tid det vil ta før halvparten av partiklene i Varildfjorden er transportert ut av fjorden, altså at antall partikler i Varildfjorden, som var på plass ved starten av analysen, er halvparten av det man startet med den 7. juli.

Partikler som "sitter fast" i et av delområdene i lenger 40 dager, blir utelatt fra denne analysen.

2.3.2 Oppholdstid til vannmasser

Oppholdstiden til en vannmasse er den tidsperioden hvor en enhet vann blir værende innenfor et gitt vannvolum. I denne analysen vil partikler representere vannenheter, som beskrevet i innledningen til kapittel 2.3 ovenfor.

Oppholdstider for vannmassen i Varildfjorden er beregnet ved å dele opp Varildfjorden i mindre områder (Figur 9). Det største og viktigste er selve Varildfjorden, mellom Opptaksplassen og Klåstadrenna. Andre utvalgte delområder er den nordlige delen av Varildfjorden, samt den sørlige delen av Varildfjorden.

Noen partikler er innom et delområde mer enn en gang. Det er da beregnet gjennomsnittlig oppholdstid til enhver partikkel som er innom de respektive delområdene i løpet av analysetidsrommet.

Beregninger av gjennomsnittet av lengste oppholdstid innenfor polygonene for hver partikkel er også utført.

En annen måte å se de generelle trekk i oppholdstidene i indre deler av Viksfjorden er å dele opp fjorden i mindre kvadratiske beregningsceller. Her er celler med sidelengde 25 m benyttet. Selve tallet for oppholdstiden er kanskje ikke så interessant, men resultatet kan illustreres og vise i hvilke deler av Varildfjorden vannmassene har lengst oppholdstid (minst vannutskiftning), når kun tidevann virker som drivkraft.

Dersom en partikkel setter seg fast i lange perioder, antas det som en "numerisk feil", og partikkelen ekskluderes fra den videre analyse. Grensen er satt til 1000 timer, som tilsvarer ca. 40 dager.

Figur 9: Oversikt over oppdelingen av ulike områder for partikkelanalyse i indre deler av Viksfjorden. Blått viser nordøstlige del av Varildfjorden. Rødt viser sørlige del av Varildfjorden. Hvit viser området for hele Varildfjorden mellom Opptaksplassen og Klåstadrenna. Målestokk er gitt nede til høyre.

2.3.3 Andel nye vannmasser per tidevannsperiode (~12t)

For å få en ytterligere veiledning på effektiviteten av vannutskiftningen, søkes det å finne andel av nye vannmasser som ankommer Varildfjorden, i forhold til hele volumet, i løpet av en tidevannsyklus på drøye 12 timer. Det er altså fra flo sjø, til neste gang det er flo sjø.

Analysen blir noenlunde analogt til foregående metoder. Analysen starter også 7. juli 2015, og antall partikler for hvert tidssteg telles, som befinner seg inne i Varildfjorden. Analysen blir utført for en relativt kort periode (ca. 14 dager), fordi disse beregningene blir mindre nøyaktig med færre partikler i analysen. Figur 13 og Figur 14, samt Figur 15 og Figur 16 har vist at antall partikler i Varildfjorden minker betydelig med tiden, når det ikke tilføres nye.

Prosentandelen av innkommende nye partikler til Varildfjorden, i forhold til totalt antall partikler som allerede befinner seg i Varildfjorden, blir beregnet omkring hver flo sjø. Gjennomsnittet av disse prosentandelene for hver flo sjø blir stående som et veiledende tall på andelen av nye partikler per tidevannsperiode. Det antas at denne verdien er veiledende for andelen av nye vannmasser som ankommer Varildfjorden i løpet av samme periode.

3 Resultater

3.1 Modellering av hydrodynamikk i Viksfjorden med tidevannsport

Modellsimuleringer med FVCOM for hydrodynamikk er utført for Viksfjorden med tidevannsport tilstede ved innstrømmende tidevann (stigende sjø) og utstrømmende tidevann (fallende sjø), og hvor kun tidevann er drivkraft. Denne ble simulert for et halvt år, mellom 1. april og 1. oktober 2015, identisk med simuleringsperioden i Leikvin & Børve (2016).

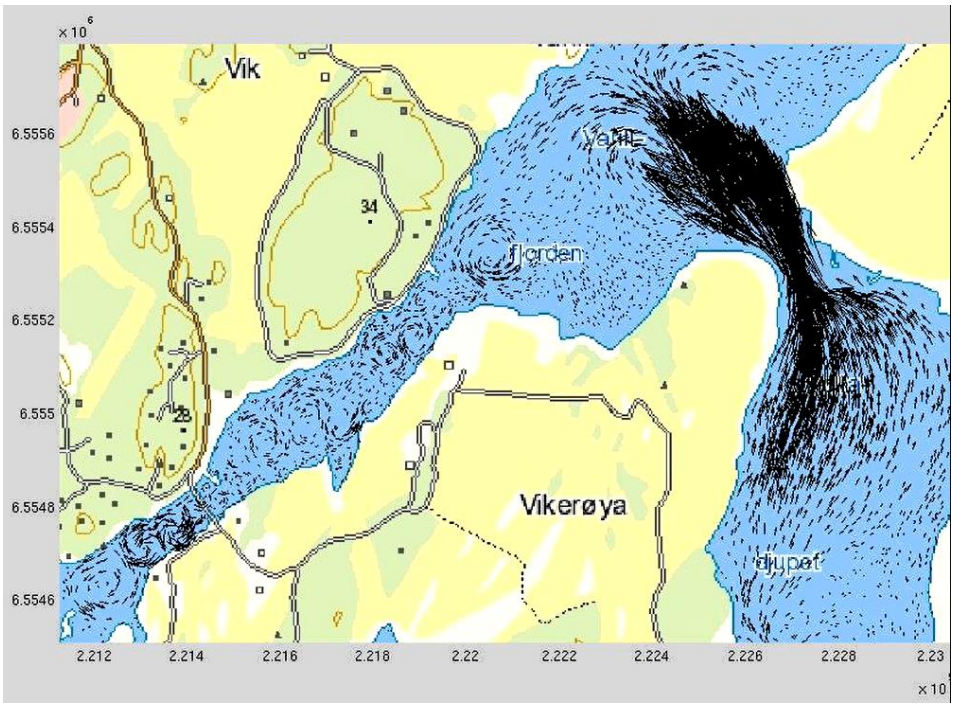
Det er blitt utført simuleringer med lukking av tidevannsport på fjære sjø og åpning igjen på flo sjø, samt motsatt. Dette gir vanntransport i henholdsvis retning mot og med klokka.

3.1.1 Netto vanntransport i retning mot klokka (ACW=AntiClockWise)

Tidevannsporten lukkes ved lavvann og åpnes ved høyvann. Ved innstrømmende tidevann er dermed tidevannsporten lukket (se beskrivelse i kapittel 2.1), og vannet som strømmer inn i Varildfjorden kommer kun inn fra Kolladjupet gjennom Klåstadrenna (Figur 10a). Det er tydelig at strømmen intensiveres i Klåstadrenna. spesielt på innstrømmende tidevann, og modellen beregner strømhastigheter på over 80 cm/s i midten av Klåstadrenna (Figur 12). Dette er en kraftig økning i forhold til uten tidevannsport, der de maksimale strømhastighetene ligger på ca. 14 cm/s.

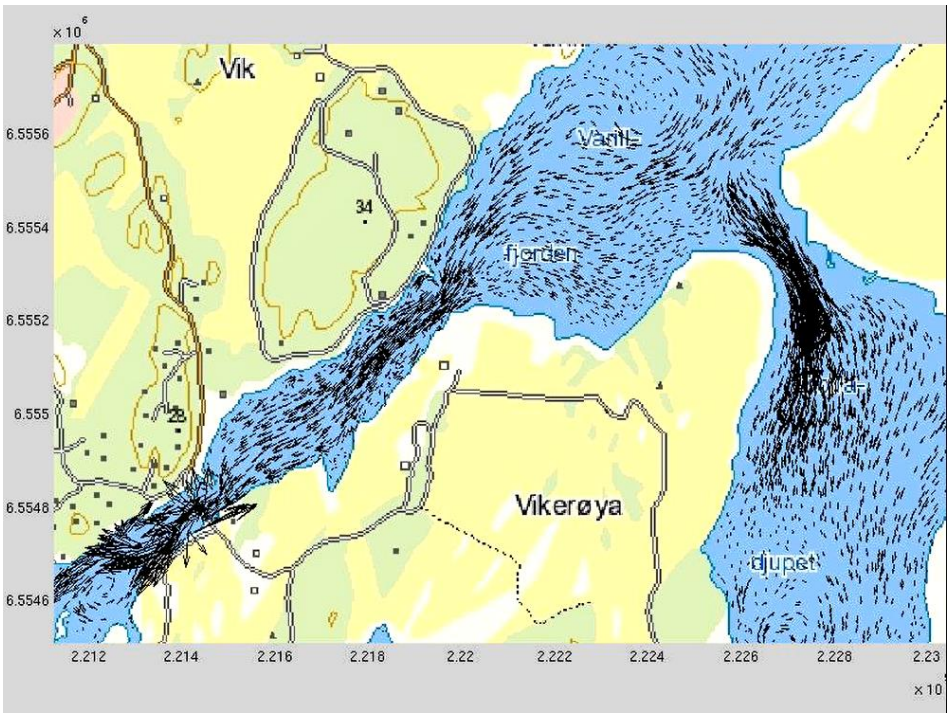
Strømhastighetene ved Vikerøybrua er da tilnærmet null ved innstrømmende tidevann, på grunn av den lukkede tidevannsporten.

Ved flo sjø åpnes tidevannsporten igjen, slik at utstrømmende tidevann blir tilsvarende som uten tidevannsport. Sterke strømmer forekommer både ved Vikerøybrua og over Klåstadrenna (Figur 10b), med simulerte makshastigheter ca. 13 cm/s mot sørøst i Klåstadrenna og drøye 25 cm/s mot sørvest ved Vikerøybrua.



a)

b)



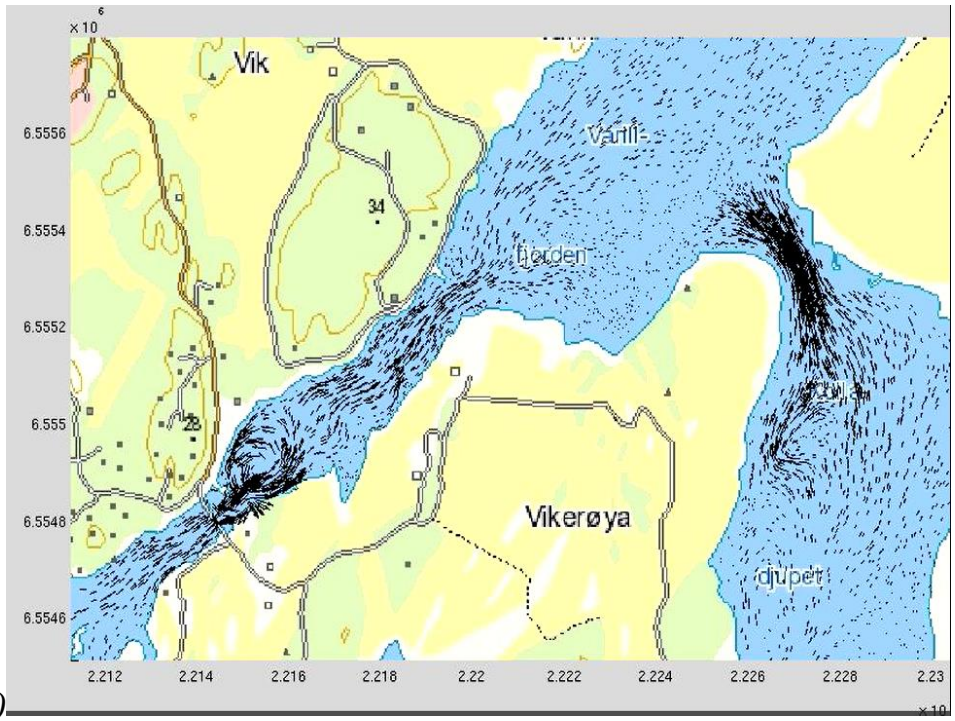
Figur 10: Illustrasjoner av stillbilder fra simuleringer med FVCOM ved a) stigende sjø med lukket tidevannsport og b) fallende sjø med åpen tidevannsport. Pilene viser strømretning. Lengden på pilene viser relativ styrke på strømmen.

3.1.2 Netto vanntransport i retning med klokka (CW=ClockWise)

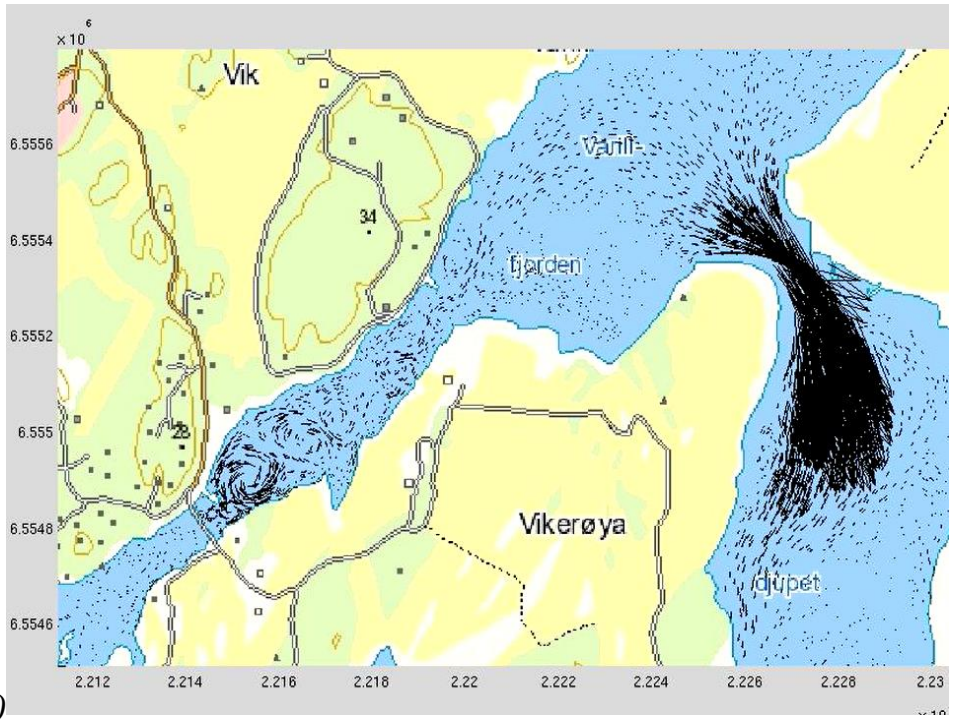
Tidevannsporten lukkes ved høyvann og åpnes på fjære sjø, og det blir satt opp en nettotransport i retning med klokka rundt Vikerøya. Ved utstrømmende tidevann er altså tidevannsporten lukket (se beskrivelse i kapittel 2.1), og vannet som strømmer ut fra Varildfjorden drar kun ut gjennom Klåstadrenna mot Kolladjupet (Figur 11a). Det er tydelig at strømmen intensiveres i Klåstadrenna. spesielt på utstrømmende tidevann, og modellen beregner strømhastigheter på noe over 60 cm/s i midten av Klåstadrenna (Figur 12), mot sørøst. Strømhastighetene ved Vikerøybrua er da tilnærmet null på grunn av den lukkede tidevannsporten.

Ved fjære sjø åpnes tidevannsporten igjen, slik at innstrømmende tidevann blir tilsvarende som uten bruk av tidevannsport; både fra området utenfor Vikerøybrua og fra Kolladjupet via Klåstadrenna. Sterke strømmer forekommer både ved Vikerøybrua og over Klåstadrenna (Figur 11b), med simulerte makshastigheter ca. 13 cm/s mot sørøst i Klåstadrenna og ca. 28 cm/s mot sørvest ved Vikerøybrua.

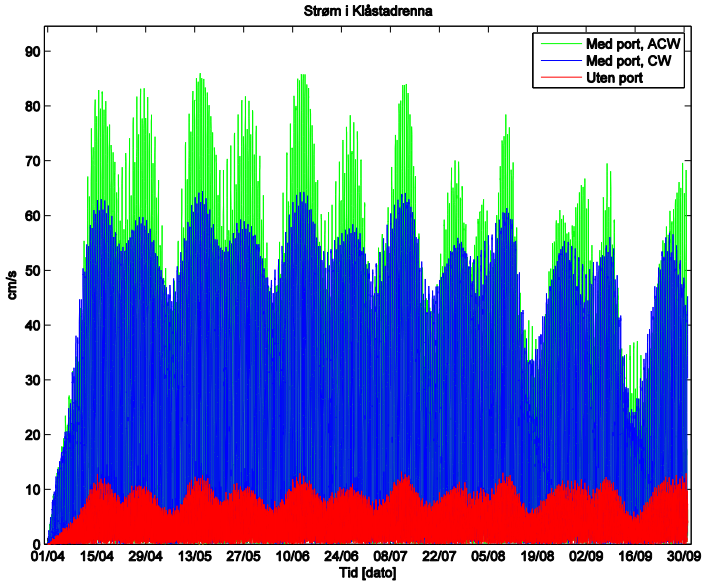
a)



b)



Figur 11: Illustrasjoner av stillbilder fra simuleringer med FVCOM ved a) stigende sjø med åpen tidevannsport og b) fallende sjø med lukket tidevannsport. Pilene viser strømretning. Lengden på pilene viser relativ styrke på strømmen.



Figur 12: Tidsserier for strømfart i midten av Klåstadrenna uten tidevannsport (rødt), med port som er lukket kun på utstrømmende tidevann (blå) og med port som er lukket kun på innstrømmende tidevann (grønn).

3.2 Modellering av partikkeltransport med fokus på vannutskiftning i Varildfjorden

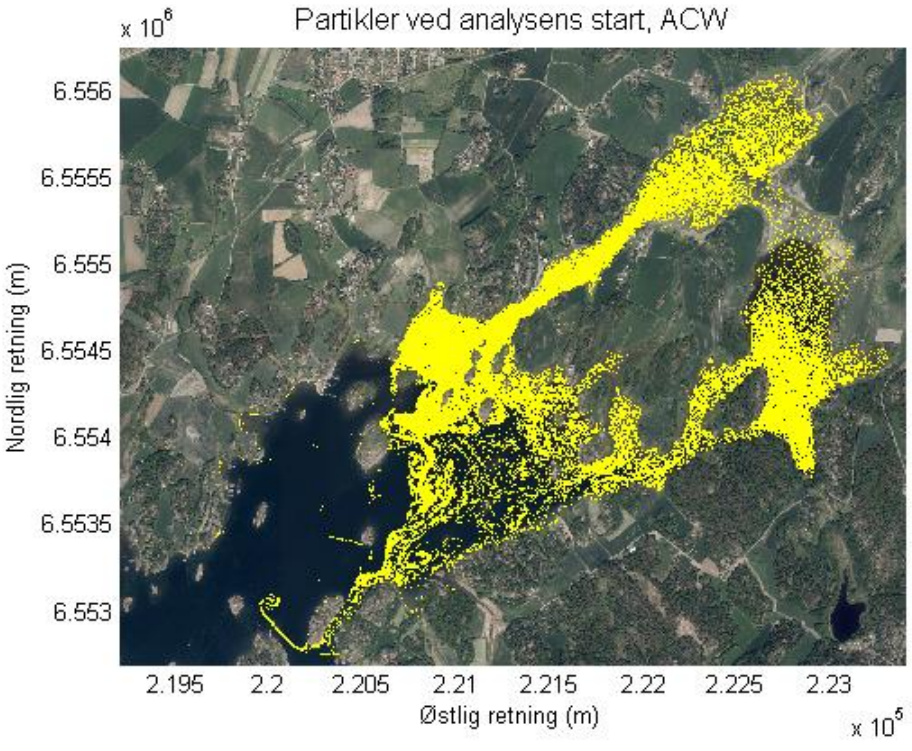
Med bakgrunn i de hydrodynamiske resultater med kun tidevann som drivkrefter, er det gjort forskjellige kjøringer med utslipp av partikler til indre deler av Viksfjorden. Partiklene får da hastigheter som gitt i løsningen fra den hydrodynamiske kjøringen i kapittel 3.1. Hovedfokus er på:

- Vannmassens oppholdstid i Varildfjorden.
- Halveringstider, tiden før halvparten av vannmassene er skiftet ut innenfor et område.
- Andel av "nye" vannmasser som ankommer Varildfjorden i løpet av en tidevannssyklus (fra flo sjø til neste flo sjø).

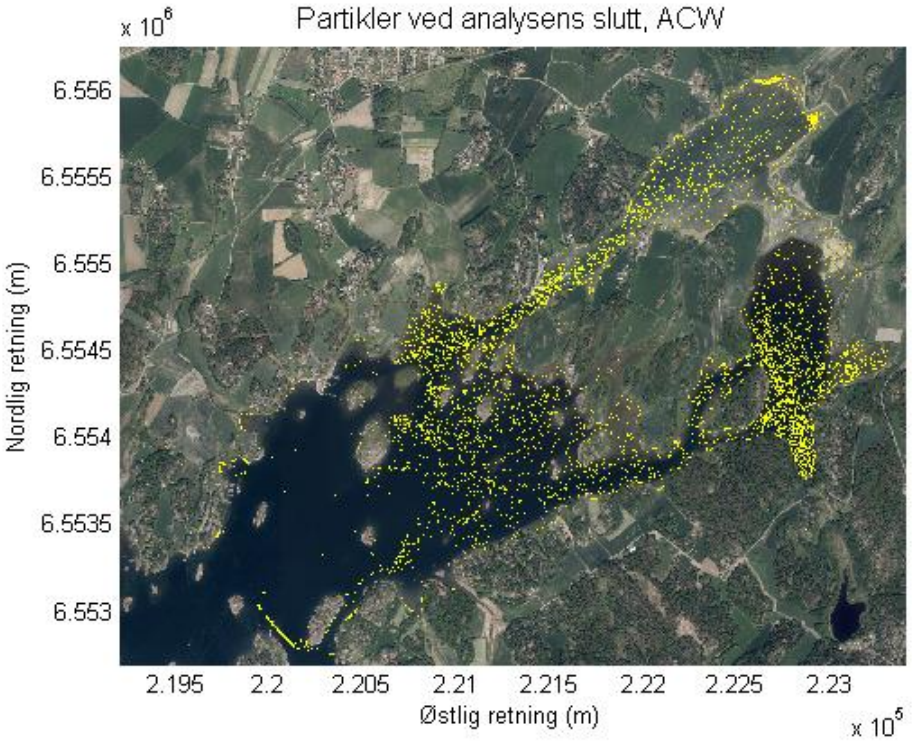
Partiklene har blitt spredt utover fra de 10 stasjoner beskrevet i Figur 8, og utbredelsen av partiklene er illustrert ved henholdsvis analysens start (Figur 13a) og slutt (Figur 13b) med port lukket på innstrømmende tidevann (ACW). Tilsvarende figurer med port lukket på utstrømmende tidevann (CW) er gitt i Figur 14a) og Figur 14b).

Illustrasjonene viser at de fleste av partiklene drar ut av modellområdet i sørvest i løpet av simuleringene, og det er derfor vesentlig lavere partikkeltetthet i Varildfjorden ved analysens slutt, for begge modelloppsettene. Beregninger viser at i Varildfjorden er det ca. 5 % partikler igjen ved slutten av analysen. De fleste av disse "sitter" fast inne ved land. Dersom partiklene som blir værende i samme område i lenger enn 40 dager tas bort, er det kun ca. 1-2 % igjen til slutt. Partikler som sitter fast inne ved land i slike lengre perioder, blir konsekvent tatt ut av analysen. I praksis forventes det at vind og andre drivkrefter vil forhindre at vannmasser blir værende på samme område over så lang tid.

I simuleringene med nettotransport i retning mot klokka (ACW) er det større partikkeltetthet utenfor Vikerøysund enn for simuleringene med nettotransport i retning med klokka. Sistnevnte har i stedet større partikkeltetthet i Kolladjupet. Inne i Varildfjorden er det omtrent samme antall partikler for ACW og CW i starten og slutten av analysen.

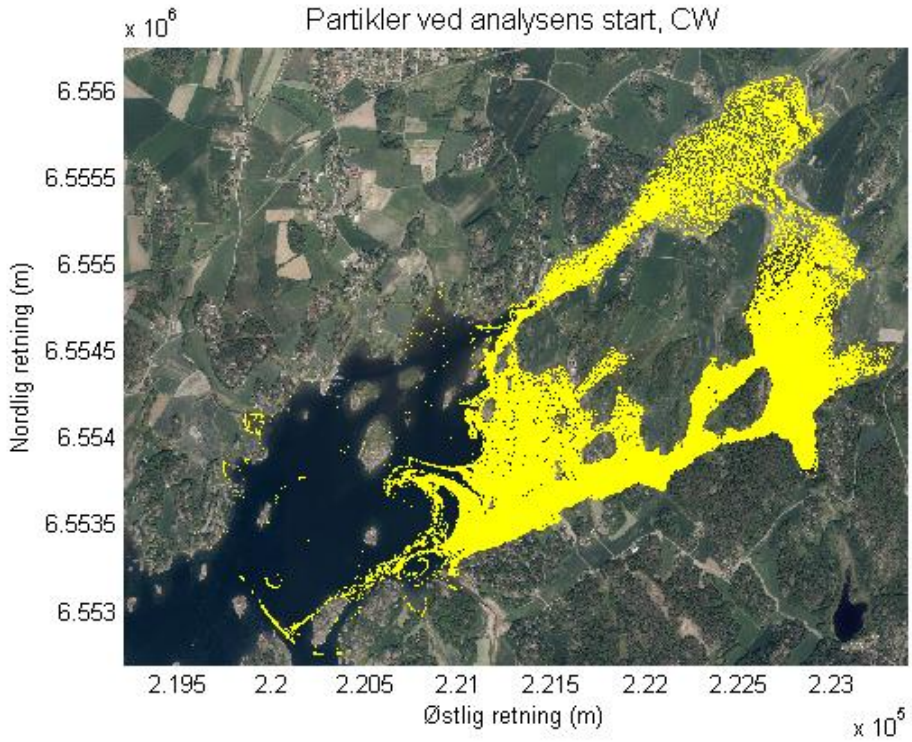


a)

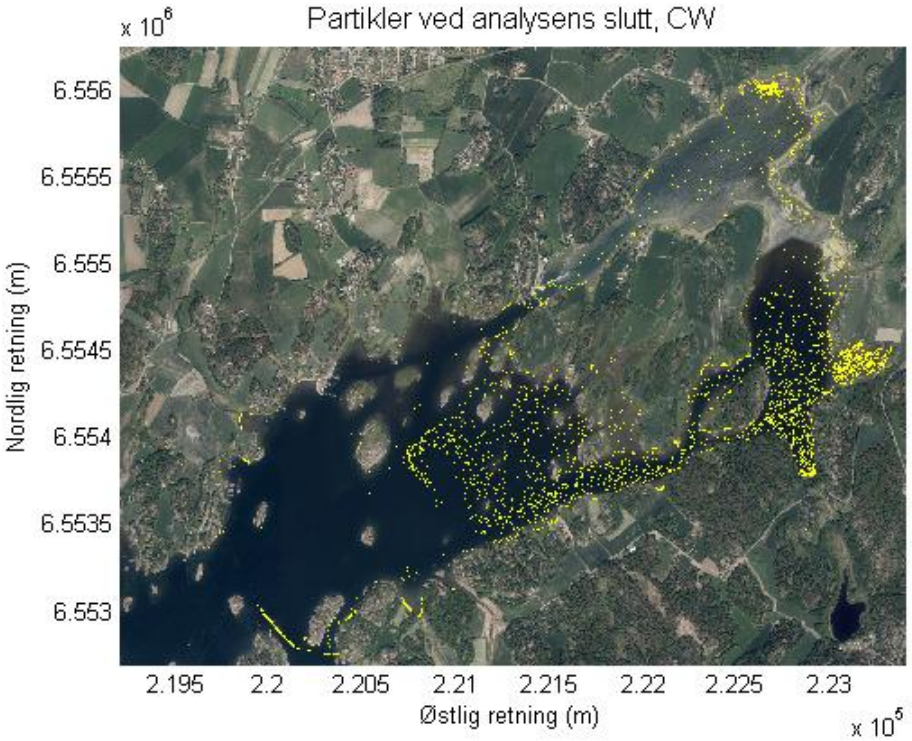


b)

Figur 13: Oversikt over utbredelsen av partiklene (gule prikker) ved simuleringer med tidevannsport som lukkes ved innstrømmende tidevann ved a) analysens start og b) analysens slutt. Merk at de fleste av partiklene drar ut av modellområdet i sørvest i løpet av simuleringene, og det er derfor vesentlig færre partikler i modellområdet ved analysens slutt etter tre måneder (ca. 5 %).



a)



b)

Figur 14: Samme som i Figur 13, men her fra simuleringer med tidevannsport lukket ved utstrømmende tidevann (CW).

3.2.1 Halveringstider til vannmasser innenfor Varildfjorden

Analysen forteller at flesteparten av partiklene som ved et gitt tidspunkt er i Varildfjorden, vil forsvinne raskt (Tabell 1, Figur 15 og Figur 16).

Tiden før halvparten av antallet av partikler som befant seg innenfor Varildfjorden 7. juli 2015 mellom Opptaksplassen og Klåstadrenna er forsvunnet, ble beregnet til drøye 30 timer med tidevannsport som lukker seg på innstrømmende tidevann (ACW).

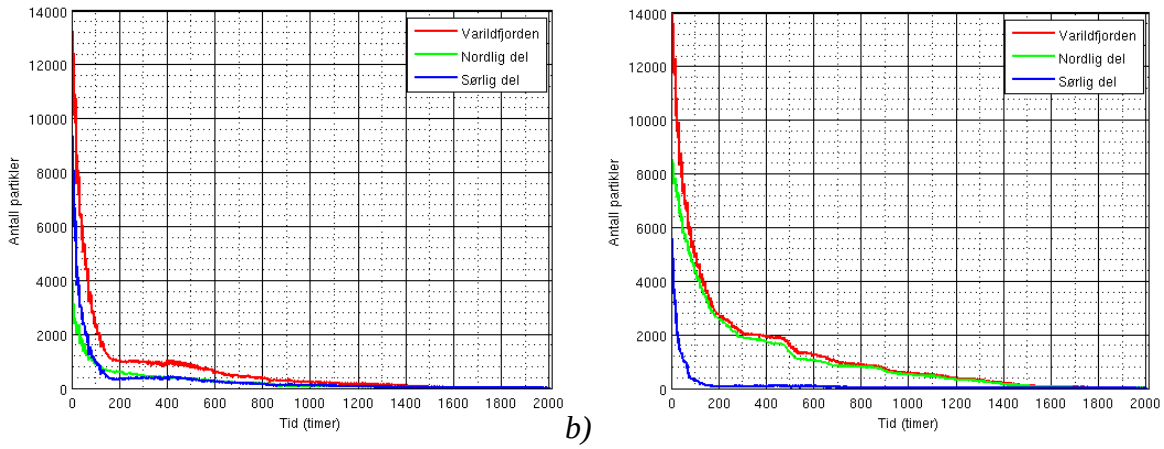
Liknende beregninger for bukta nordøst i Varildfjorden (blått i Figur 9) og delområdet lenger sørvest (rødt) ga halveringstider på henholdsvis 31 timer og 18 timer når kun partiklene som befant seg i de respektive delområdene i starten av analysen er inkludert (Tabell 1, Figur 15 og Figur 16)

Tilsvarende verdier for simuleringer når tidevannsporten lukker seg på utstrømmende tidevann (CW) var 57 timer for hele Varildfjorden, 105 timer for nordlige del, og 19 timer før sørlige del (Tabell 1, Figur 15 og Figur 16).

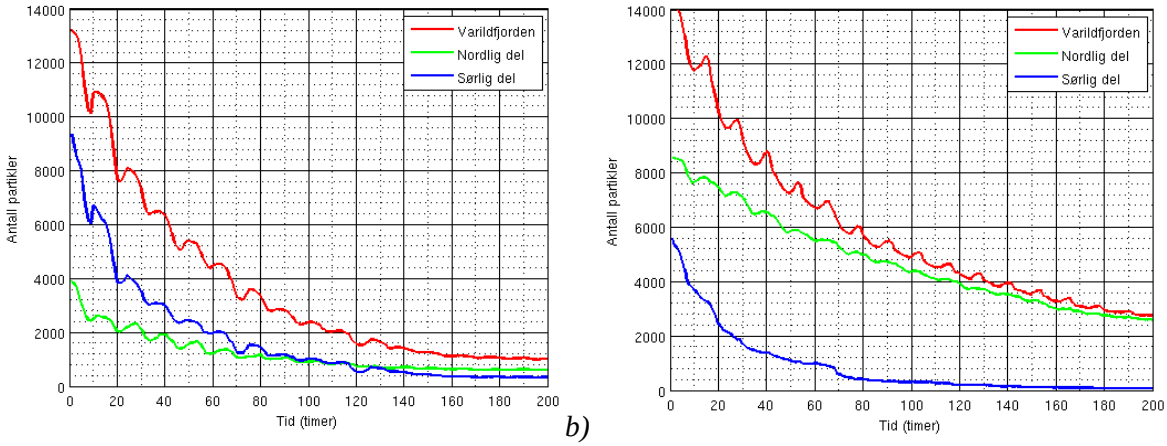
Det tar altså relativt kort tid før halvparten av partiklene eller vannmassene i Varildfjorden er skiftet ut. I nordlige del av Varildfjorden er det lenger utskiftningstid enn i sør, spesielt for lukket tidevannsport på utstrømmende tidevann. Dette samsvarer med resultatene i Tabell 2.

Tabell 1: Oversikt over beregninger av halveringstider for ulike delområder i indre Viksfjord (timer). Kun partikler som var i de respektive delområdene ved starten av analysen er inkludert. Det er både beregnet for ACW (AntiClockWise; lukket tidevannsport ved innstrømmende tidevann) og CW (ClockWise; lukket tidevannsport på utstrømmende tidevann).

Halveringstider (timer)	ACW	CW
Varildfjorden	32	57
Varildfjorden, nord	31	105
Varildfjorden, sør	18	19



Figur 15: Antall partikler i Varildfjorden (rød kurve) og delområder av denne (grønn kurve viser bukta i nord; blå kurve viser sørlige del) og utviklingen i antall partikler over analyseperioden på 2000 timer for henholdsvis a) ACW (AntiClockWise, lukket port på innstrømmende tidevann) og b) CW (ClockWise, lukket port på utstrømmende tidevann).



Figur 16: Samme som i Figur 15, men med fokus på de første 200 timer av analysen.

3.2.2 Oppholdstider i Varildfjorden

Resultater fra analysen av oppholdstider til partiklene i ulike delområder som omfattet nesten tre måneder av sommerhalvåret 2015, er gitt i Tabell 2. Kolonnene viser beregninger av oppholdstid for partikler innenfor de tre delområdene som illustrert i Figur 18 og Figur 19.

Med tidevannsport som lukkes på fjære sjø (ACW) vil gjennomsnittlig oppholdstid for vannmassen i innerste del av Varildfjorden, mot nord, være ca. 26 timer, dvs. to tidevannsperioder.

For ytre delen av Varildfjorden, mot sørvest, er oppholdstiden i gjennomsnitt 18 timer.

For Varildfjorden sett under ett, er vannmassenes gjennomsnittlig oppholdstid 34 timer. Retningsgivende verdier for oppholdstidene er skissert i Figur 18.

Tilsvarende verdier gjennomsnittlig oppholdstid for partiklene med tidevannsport som lukkes ved utstrømmende tidevann (CW) er vesentlig lenger for bukta i nord, nemlig 59 timer (Figur 19). Det er nesten dobbelt så lenge som for ACW. For den sørlig delen er imidlertid oppholdstiden omtrent den samme; 20 timer vs. 18 timer. Samlet for Varildfjorden er gjennomsnittlig oppholdstid for partiklene ca. 69 timer, omtrent dobbelt så lenge som ved lukking av port ved innstrømmende tidevann.

Det vektlegges at oppholdstiden er svært varierende for de individuelle partiklene, og varierer altså mellom en time og flere hundre timer. Det søkes uansett i denne studien etter "typiske" og veiledende verdier og innbyrdes forskjeller mellom scenariene.

Dersom man velger å benytte kun hver enkelt partikkels lengste oppholdstid i hvert delområde, så blir de gjennomsnittlige oppholdstidene noe lenger, for begge scenarier. For nordøstlige del av Varildfjorden er gjennomsnittlig lengste oppholdstid da 40 timer for ACW og omtrent tre ganger lenger for CW. For sørvestlige del av Varildfjorden var gjennomsnittlig lengste oppholdstid omtrent den samme for de to måter å styre tidevannsporten på. For Varildfjorden totalt sett var gjennomsnittlig lengste oppholdstid per partikkel 50 og 81 timer.

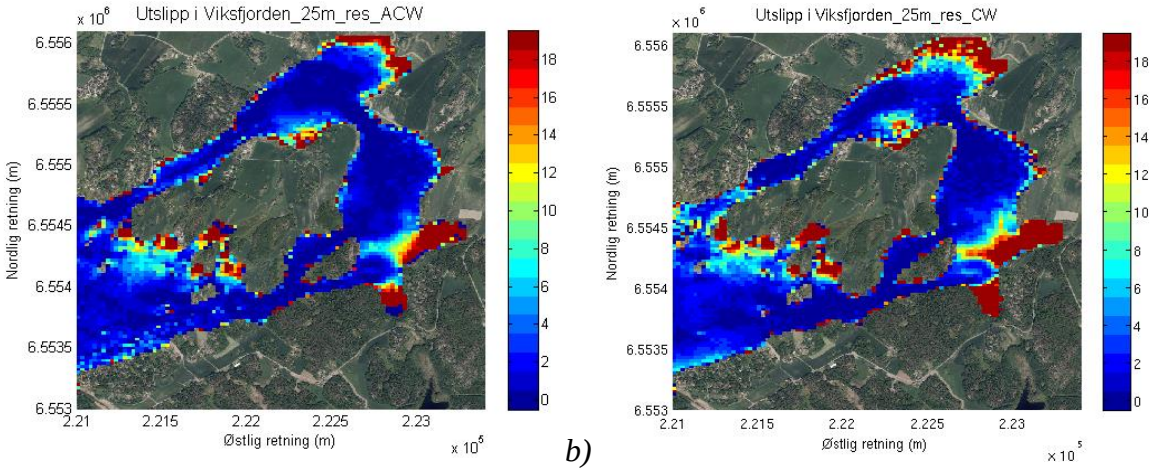
Ved å studere Figur 17a) (ACW) og Figur 17b) (CW) med små kvadratiske celler på 25m x 25m størrelse, og den gjennomsnittlige maksimale oppholdstiden til partiklene i disse, kan gradienter av oppholdstid i Varildfjorden og i farvannene ved Vikerøya finnes.

Generelt ser det ut til at simuleringene med tidevannsport lukket på innstrømmende tidevann (ACW), gir vesentlig mindre utstrekning i områdene med begrenset utskiftning sammenliknet med simuleringene med tidevannsport lukket på utstrømmende tidevann (CW).

Generelt har viker og trange bukter lange gjennomsnittlige oppholdstider, og lengst nordøst i Varildfjorden er et større område med lenger oppholdstid. Også grunnområdet sørøst i Varildfjorden, sørvest for Klåstadrenna, har relativt noe lenger oppholdstid.

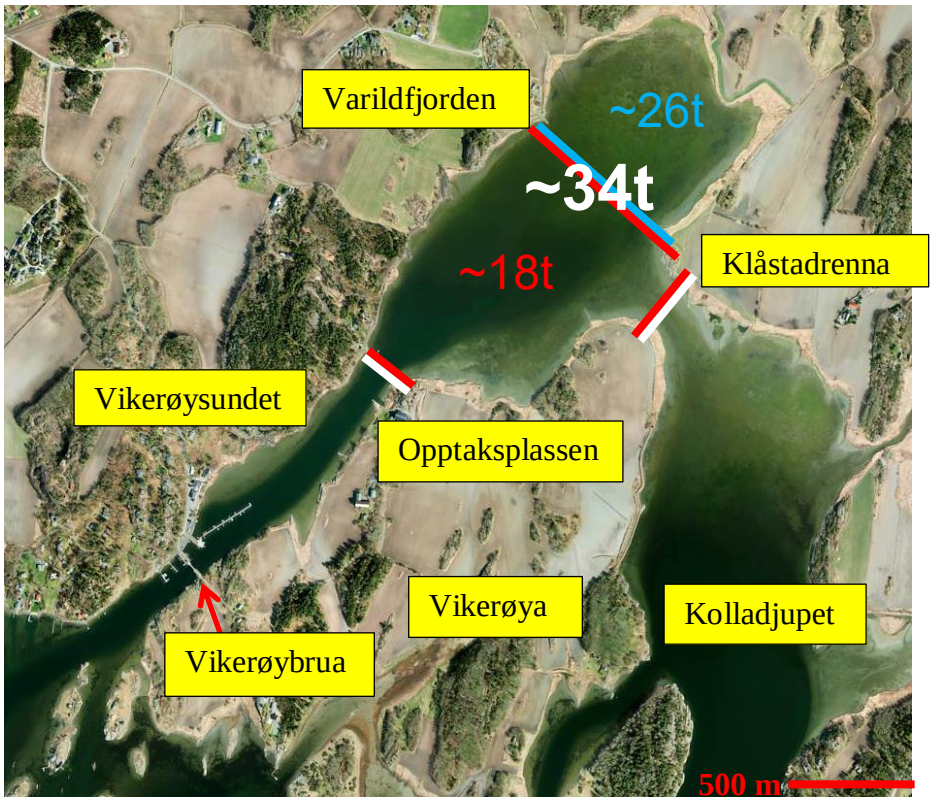
Tabell 2: Resultater og statistikk fra beregninger av gjennomsnittlig oppholdstid i timer for partikler i Varildfjorden, Varildfjorden-nord og Varildfjorden-sør. Områdebegrensninger er illustrert i Figur 18. Merk at statistikken bygges på 2001 tidssteg med tidsintervall på 1 time, tilsvarende snaue 3 måneder. Det er scenarier med lukket tidevannsport på innstrømmende tidevann (ACW) og lukket tidevannsport på utstrømmende tidevann (CW) som er gjengitt i tabellen nedenfor.

Område	Partikkelanalyse	ACW	CW
Varildfjorden	Gjennomsnitt av maksimal oppholdstid	50	81
	Gjennomsnittlig oppholdstid	34	59
Varildfjorden, nord	Gjennomsnitt av maksimal oppholdstid	40	121
	Gjennomsnittlig oppholdstid	26	69
Varildfjorden, sør	Gjennomsnitt av maksimal oppholdstid	31	28
	Gjennomsnittlig oppholdstid	18	20

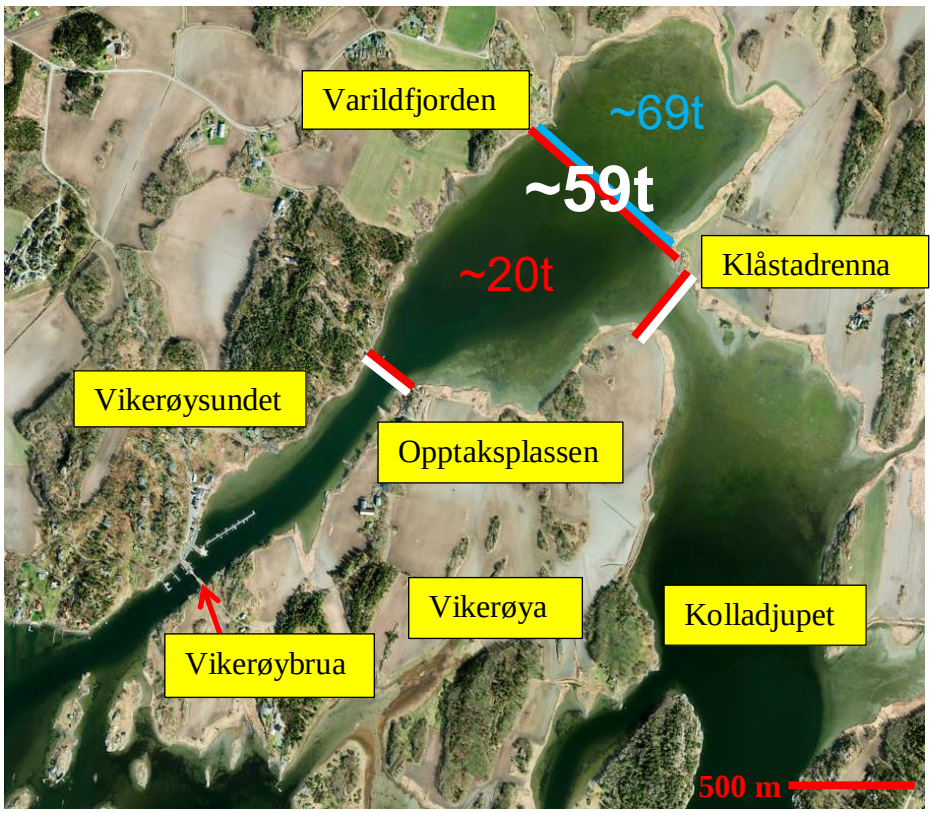


a) *b)*

Figur 17: Griddet modellområde med 25 m oppløsning, hvor det hentes ut gjennomsnittlig maksimal oppholdstid til alle partiklene som har vært innom de ulike gridcellene. Figur a) viser for tidevannsport som er lukket på innstrømmende tidevann (ACW) og b) illustrerer oppholdstider når tidevannsporten er lukket på utstrømmende tidevann (CW). Fargeskala til høyre er referert til tilsvarende figur uten tidevannsport i Leikvin & Børve (2016).



Figur 18: Resultater fra analysen av gjennomsnittlige oppholdstider for partiklene i ulike delområder i indre deler av Viksfjorden. Det er simulert med lukket tidevannsport på innstrømmende tidevann (ACW). Blått viser nordøstlige del av Varildfjorden. Rødt viser sørlige del av Varildfjorden. Hvit tekst viser gjennomsnittlig oppholdstid for hele Varildfjorden mellom Opptaksplassen og Klåstadrenna. Målestokk er gitt nede til høyre.



Figur 19: Samme som i Figur 18, men her er det simulert med lukket tidevannsport på utstrømmende tidevann (CW).

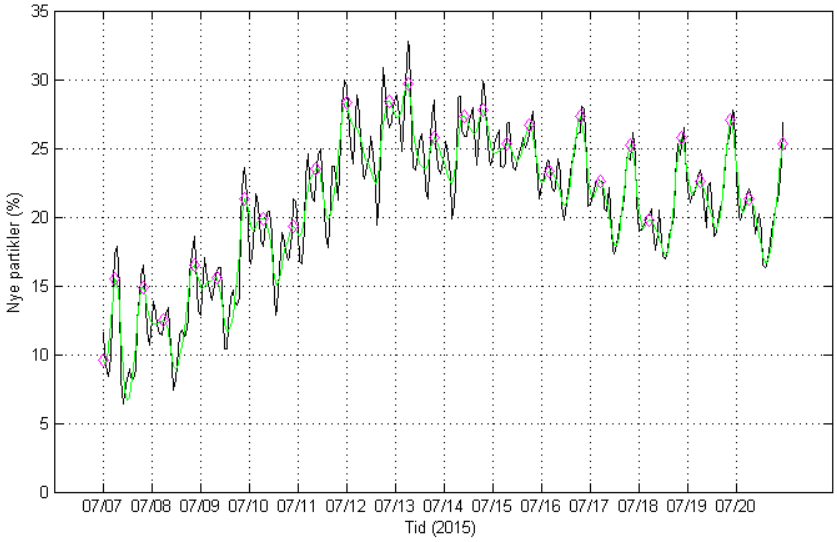
3.2.3 Andel nye vannmasser per tidevannsperiode

Simuleringene med tidevannsporten lukket på innstrømmende tidevann (ACW) gir en andel på 24.0 % nye partikler i Varildfjorden, per tidevannsperiode (Figur 20a). Dette tilsvarer i denne studien 24 % andel av nye vannmasser som kommer inn til Varildfjorden, i forhold til det totale vannvolum i Varildfjorden.

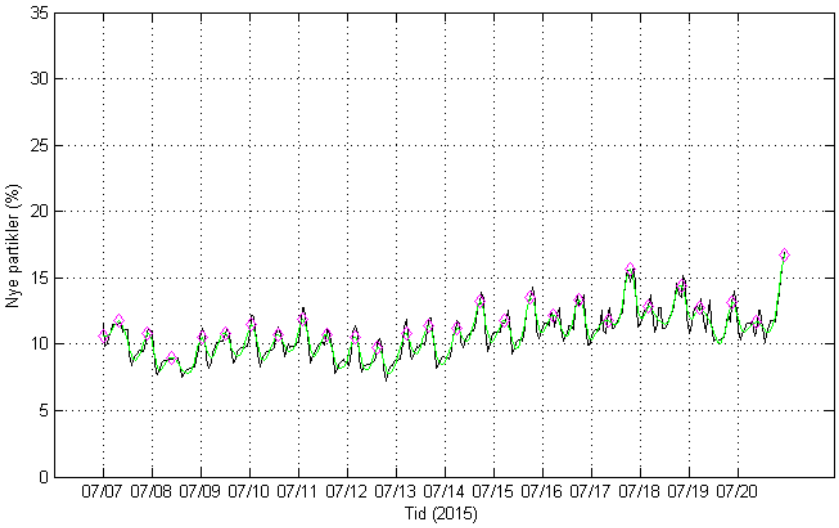
Simuleringene med porten lukket på utstrømmende tidevann (CW) gir ca. halvparten nytt vann sammenliknet med ACW, 12.4 % (Figur 20b).

Illustrasjoner av bruddstykker av bevegelsesbanene til partiklene eller vannmassene er vist i Figur 21a for tidevannsport som er lukket ved innstrømmende tidevann (ACW) og Figur 21b for tidevannsport som er lukket ved utstrømmende tidevann. Partiklenes bevegelser over to tidevannsperioder er vist, med ulike fargekoder for partikler/ vannmasser som kommer inn i Varildfjorden, eller drar ut fra Varildfjorden. Det er tydelig at vannmassene drar henholdsvis i retning mot (ACW) og med (CW) klokka rundt Vikerøya. I løpet av to tidevannsperioder ser partiklene ut til å kunne tilbakelegge distanser på drøye 1,5 km, enten det er mot eller med klokka, rundt Vikerøya, avhengig av modus for tidevannsporten.

ACW-alternativet (Figur 21a) viser betydelig innblanding av "nytt" vann i bukta nord i Varildfjorden. Dette er ikke tilfellet med CW-alternativet, med lukking av tidevannsporten på utstrømmende tidevann. Altså ser det ut til at lukking av tidevannsporten på innstrømmende tidevann er mest fordelaktig med hensyn på vannutskiftning innerst i Varildfjorden. Dette støtter opp om de lengre halveringstidene og oppholdstider for den nordlige del av bukta, som rapportert i kapittel 3.2.1 og kapittel 3.2.2.

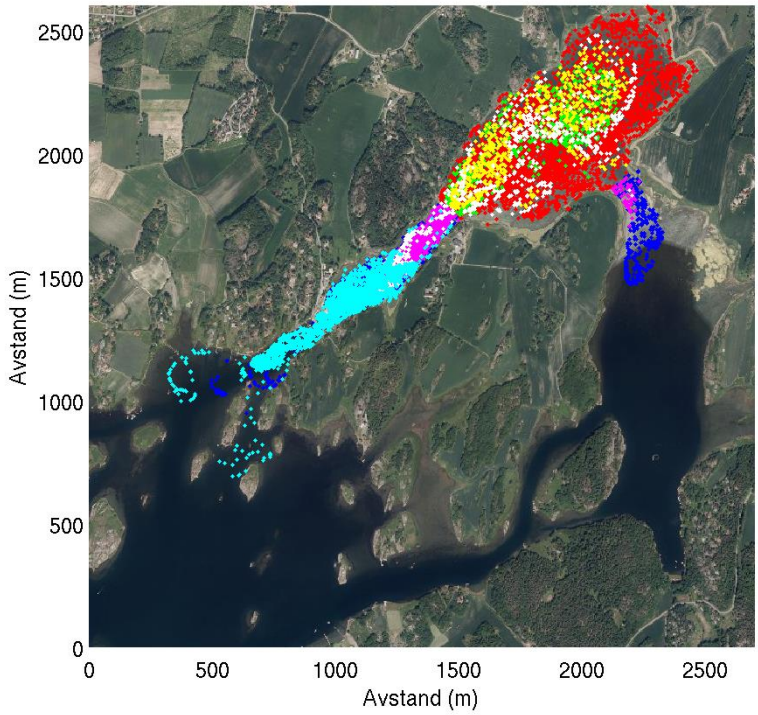


a)

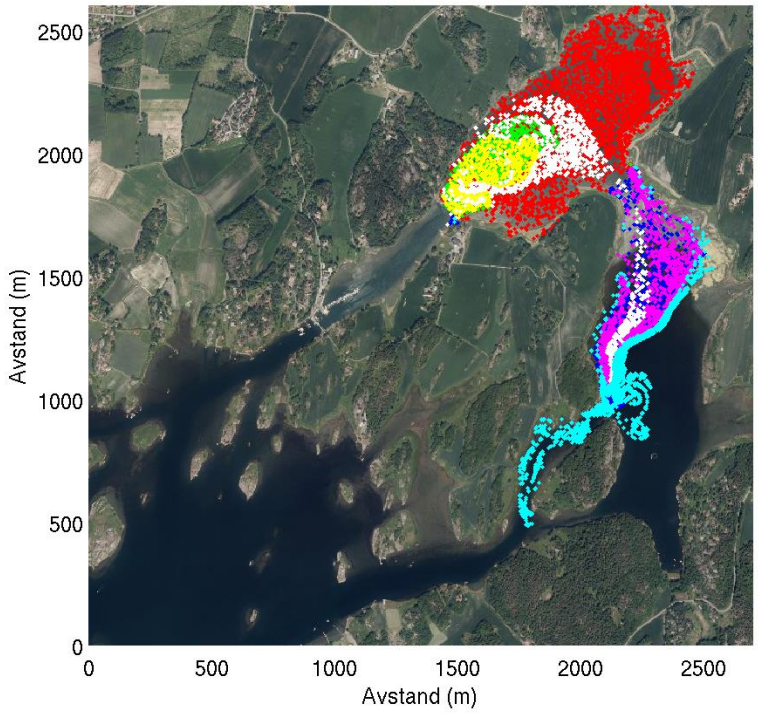


b)

Figur 20: Prosentandel av nye vannmasser som ankommer Varildfjorden i løpet av en tidevannsperiode på drøye 12 timer med a) tidevannsport som er lukket på innstrømmende tidevann (ACW) og b) med tidevannsport som er lukket på utstrømmende tidevann (CW). Lilla punkter markerer tidspunkter omkring flo sjø.



a)



b)

Figur 21: Illustrasjon av eksempel på partikkeltransport gjennom to fulle tidevannsperioder (ca. 24 timer) for a) tidevannsport lukket på innstrømmende tidevann (ACW) og b) tidevannsport lukket på utstrømmende tidevann (CW).

***Rød** viser opprinnelige partikler i Varildfjorden ved første flo.*

***Grønn** viser nye partikler som er kommet til Varildfjorden ved andre flo. **Hvit** viser de grønne partiklene etter to tidevannsperioder, ved tredje flo. **Gul** illustrerer de nye partiklene ankommet ved flo nummer tre.*

***Blå** er partikler som har dratt bort fra Varildfjorden mellom første og andre flo. **Lyseblå** viser posisjon til de blå partiklene ved flo nummer tre. **Lilla** er nye partikler som har dratt bort fra Varildfjorden mellom andre og tredje flo.*

3.3 Sammenlikninger med situasjon uten tidevannsport

Tilsvarende simuleringer og analyser som rapportert i kapittel 3 er utført for scenariet uten tidevannsport. De fleste av disse analysene er utført og rapportert i Leikvin & Børve (2016).

Endringer i strømhastigheter på strategiske punkter rundt Vikerøya i forhold til uten tidevannsport er vist i Tabell 3.

Med tidevannsport blir strømhastighetene forsterket gjennom Klåstadrenna som rapportert i kapittel 3.1.1 og 3.1.2, spesielt med lukking av tidevannsport ved innstrømmende tidevann. Simulerte maksimale strømhastigheter er over 80 cm/s mot nordvest, mot maksimalt 12 cm/s uten tidevannsport. Til sammenlikning er strømhastighetene opp til ca. 64 cm/s i Klåstadrenna med lukket tidevannsport ved utstrømmende tidevann, mot maksimalt 13 cm/s uten tidevannsport.

Strømhastighetene i Refsholtsundet med lukket tidevannsport på innstrømmende tidevann, får en økning fra ca. 10 til 15 cm/s i maksimalhastighet med lukket port, i retning mot nord, mot klokka rundt Vikerøya. Med lukket tidevannsport ved utstrømmende tidevann er det en tilsvarende økning den andre veien, mot sør, i retning med klokka rundt Vikerøya. Disse økningene er altså i forhold til situasjonen uten tidevannsport. Vikerøybrua er det omtrent uendret maksimalhastighet i retning mot sør, mot klokka rundt Vikerøya, når tidevannsporten åpner seg ved flo sjø. Når tidevannsporten åpner seg ved fjære sjø, gir den hydrodynamiske modellen noe økning i maksimal strømhastighet mot nord, i retning med klokka rundt Vikerøya.

Tabell 3: Oversikt over maksimal strømhastighet fra et antatt representativt punkt på tre interessante områder i Indre Viksfjorden; Vikerøybrua, Klåstadrenna og Refsholtsund. Det er også skilt mellom retninger med og mot klokka (CW og ACW) rundt Vikerøya. Merk at punktene kan være utsatt for lokale virvler og dermed små uregelmessigheter i forhold til forventet strømhastighet.

Område	Ingen tidevannsport		Tidevannsport lukket ved innstrømmende tidevann (ACW)		Tidevannsport lukket ved utstrømmende tidevann (CW)	
	Maksimal strømhastighet i retning med klokka rundt Vikerøya (cm/s)	Maksimal strømhastighet i retning mot klokka rundt Vikerøya (cm/s)	Maksimal strømhastighet i retning med klokka rundt Vikerøya (cm/s)	Maksimal strømhastighet i retning mot klokka rundt Vikerøya (cm/s)	Maksimal strømhastighet i retning med klokka rundt Vikerøya (cm/s)	Maksimal strømhastighet i retning mot klokka rundt Vikerøya (cm/s)
Klåstadrenna	13	12	14	86	64	13
Vikerøybrua	20	25	0	26	28	0
Refsholtsund	9	9	10	15	14	9

Halveringstidene er betydelig kortere sammenliknet med simuleringene uten tidevannsport rapportert i Leikvin & Børve (2016). For simuleringer med lukket port under tidevannsinnstrømning, vil både halveringstiden til delområdet lengst i nordøst og hele Varildfjorden bli redusert med omkring 90 prosent sammenliknet med uten tidevannsport (Tabell 4). For hele Varildfjorden vil en utskiftning av halvparten av vannmassene på omkring 11 dager uten tidevannsport bli forkortet til ca. 2.5 og snaue 1.5 dager med etablering av tidevannsport med lukking på henholdsvis utstrømmende og innstrømmende tidevann. For den nordlige delen av Varildfjorden er halveringstiden snaue 17 dager uten tidevannsport, som forkortes til ca. 4.5 og 1.5 døgn med de samme to modus for tidevannsport, avhengig av i hvilken tidevannsfase porten stenges. Det er da gitt at kun partiklene som er tilstede ved starten av analysen i de respektive delområder, er inkludert i analysen. For delområdet sørvest i Varildfjorden er halveringstidene redusert med drøye 60 % i forhold til uten tidevannsport.

Tabell 4: Oversikt over halveringstider for ulike scenario med og uten tidevannsport, samt relative endringer av halveringstidene mellom uten tidevannsport og tidevannsport med lukking ved innstrømmende (ACW) og utstrømmende (CW) tidevann.

Område	Halveringstid uten tidevannsport	Halveringstid, med tidevannsport, ACW	Reduksjon i halveringstid pga. tidevannsport, ACW	Halveringstid, med tidevannsport, CW	Reduksjon i halveringstid pga. tidevannsport, CW
Varildfjorden	260	32	88 %	57	78 %
Varildfjorden, nord	400	31	92 %	105	74 %
Varildfjorden, sør	50	18	64 %	19	62 %

Gjennomsnittlig oppholdstid for partiklene i hele Varildfjorden mellom Opptaksplassen og Klåstadrenna reduseres fra 49 timer uten tidevannsport til 34 timer når tidevannsport lukkes ved innstrømmende tidevann. Dette tilsvarer en reduksjon på 31 % (Tabell 5). Dersom tidevannsporten lukkes ved utstrømmende tidevann, vil imidlertid oppholdstiden økes med drøye 30 % i forhold til uten tidevannsport.

Størst relativ reduksjon i oppholdstid ved etablering av tidevannsport er for delområdet i den nordlige delen av Varildfjorden, med over 60 % reduksjon. Dette gjelder for tidevannsport som lukkes ved innstrømmende tidevann. Sammenliknet med tidevannsport som lukkes ved utstrømmende tidevann, er imidlertid oppholdstiden omtrent tilsvarende for situasjonen uten tidevannsport.

For den sørlige delen er reduksjonen i oppholdstid fra uten tidevannsport til begge tidevannsport-modus på over 40 %.

Tabell 5: Oversikt over oppholdstider for ulike scenarier uten og med tidevannsport, samt relative endringer i oppholdstider mellom uten tidevannsport og tidevannsport med lukking ved innstrømmende (ACW) og utstrømmende (CW) tidevann.

Område	Gjennomsnittlig oppholdstid uten tidevannsport	Gjennomsnittlig oppholdstid, med tidevannsport, ACW	Reduksjon i oppholdstid pga. tidevannsport, ACW	Gjennomsnittlig oppholdstid, med tidevannsport, CW	Reduksjon i oppholdstid pga. tidevannsport, CW
Varildfjorden	49	34	31 %	59	-33 %
Varildfjorden, nord	68	26	62 %	69	-1 %
Varildfjorden, sør	34	18	47 %	20	41 %

En annen måte å undersøke oppholdstiden på er å beregne denne i små celler med eksempelvis 25 m oppløsning (Figur 17). I forhold til studien uten tidevannsport (Leikvin & Børve, 2016) gir beregningene at det er kortere oppholdstid generelt i indre Viksfjorden, men noe lenger oppholdstid helt inne ved land og i viker og bukter, spesielt i Kolladjupet.

Andelen nye partikler i forhold til det totale antall partikler i Varildfjorden som ankommer i løpet av en tidevannsperiode på drøye 12 timer, er 24.0 % med tidevannsport som lukkes på innstrømmende tidevann. Dette antas å tilsvare en veiledende verdi på ca. 24 % nye vannmasser som kommer inn til Varildfjorden i løpet av en tidevannssyklus. Dette er nesten dobbelt så mye som resultatet for scenariet uten tidevannsport (13.8 %). Resultatet for simuleringene med tidevannsport som er lukket ved utstrømmende tidevann, ga ørlite lavere andel av nye vannmasser per tidevannsyklus (12.4 %), sammenliknet med tilfellet uten tidevannsport.

4 Vurderinger

Modellsimuleringene med og uten tidevannsport viser at en lukket tidevannsport har stor innvirkning på strømbildet rundt Vikerøya, og vil kunne medføre en nettotransport av vannmasser den ene eller andre retningen rundt øya. En lukket tidevannsport ved innstrømmende tidevann gir størst endringer og høyeste maksimalhastigheter. Denne er lokalisert til Klåstadrenna.

Økningene i strømhastighetene i Klåstadrenna, fra drøye 10 cm/s uten tidevannsport til henholdsvis over 60 og 80 cm/s ved valg av modus for tidevannsport, vil sannsynligvis medføre erosjon i Klåstadrenna. Dette vil med all sannsynlighet bety en påfølgende sedimenttransport fra Klåstadrenna mot Varildfjorden, og sannsynlig akkumulering av sedimenter der, dersom tidevannsporten er lukket på innstrømmende tidevann. Erosjonen vil oppstå inntil en ny balanse inntreffer, og avhenger av størrelsene på partiklene i Klåstadrenna. Likeledes vil en lukket tidevannsport på utstrømmende tidevann med noe svakere maksimale strømhastigheter sannsynligvis medføre en noe svakere erosjon og sedimenttransport, men nå mot Kolladjupet i sørøst.

Som nevnt i kapittel 2.3, slippes det ut et stort antall partikler med passive egenskaper ut i indre deler av Viksfjorden i den numeriske partikkelspredningsmodellen. Omtrent 40 000 av disse partiklene er innom Varildfjorden i løpet av analyseperioden på ca. tre måneder, og ved analysens start er antallet ca. 14 000. I denne studien antas det at partiklene er tilstrekkelig mange nok til statistisk å kunne representere vannmasser, slik at beregning av utskiftning av partikler tilsvarer eller gir en god veiledning på utskiftning av vannmasser.

Halveringstidene, dvs. hvor lang tid det tar før halvparten av vannmassene (partiklene) er skiftet ut fra Varildfjorden, er relativt korte med tidevannsport i forhold til uten. Spesielt med lukket port ved innstrømmende tidevann, er det registrert korte oppholdstider.

Halveringstidene i kapittel 3.2.1 illustrerer at med aktiv tidevannsport, så kan halvparten av vannmassene i Varildfjorden skiftes ut på ca. 30 timer. En tidevannsperiode varer i drøye 12 timer, og inkluderer da en lukking og en åpning av tidevannsporten (ca. 6 timer mellom lukking og åpning). Altså vil drøye halvparten av vannmassene ha blitt skiftet ut etter tre tidevannsperioder. Tilsvarende verdier med aktiv tidevannsport som lukkes ved utstrømmende tidevann, er snaue 60 timer eller 2.5 døgn. Leikvin & Børve (2016) rapporterer at halveringstiden uten tidevannsporten for Varildfjorden er omtrent 11 døgn (260 timer). Altså har tidevannsporten en sterk effekt på vannutskiftningen til partiklene i Varildfjorden. Den mest ekstreme effekten til tidevannsporten gjelder for halveringstiden til den nordlige del av Varildfjorden, med en reduksjon fra snaue 17 til snaue 1.5 døgn med lukking av port på innstrømmende tidevann.

Oppholdstiden for partiklene som er innom Varildfjorden i analysen varierer fra en time til omtrent hele analyseperioden (ca. tre måneder). Som nevnt i kapittel 2.3, så er partiklene med sammenhengende oppholdstid i 40 dager eller mer, ekskludert fra analysen.

Oppholdstiden for vannmassene i Varildfjorden med lukket tidevannsport ved innstrømmende tidevann er vesentlig kortere enn de andre alternativer, især for nordlige del av Varildfjorden. For sørlige del av fjorden har begge tilfeller av tidevannsport nesten halvparten av oppholdstiden til uten tidevannsport.

Den gjennomsnittlige oppholdstiden er lite følsom for om man inkluderer absolutt alle partikler i analysen, eller om man fjerner de som kun var innom i få timer. Den gjennomsnittlige

oppholdstiden er noe følsom for grenseverdien for "tillatt" oppholdstid i interesseområdet. Dersom denne flyttes til en lavere verdi enn 1000 timer, så reduseres oppholdstiden noe.

Det er tydelig at flere partikler forsvinner fra modellområdet, altså fra Indre Viksfjorden ved bruk av tidevannsport, i forhold til simuleringene uten tidevannsport (Figur 13 og Figur 14 i denne rapport vs. Figur 10 i Leikvin og Børve (2016)).

Årsaken til de relativt korte halveringstidene og oppholdstidene i Varildfjorden er effekten av tidevannsporten. Porten får partiklene til å bevege seg nær kontinuerlig i én retning, med eller mot klokka, iallfall på vestsiden av Vikerøya. Dersom tidevannsporten lukkes hver gang det er fjære sjø, vil innstrømmende tidevann tvinges til å gå i retning mot klokka rundt Vikerøya. Det motsatte er tilfelle, dersom tidevannsporten lukkes på flo sjø. Tidevannsporten vil i prinsippet fungere som et møllehjul.

Resultatene for andelen av nye vannmasser som ankommer Varildfjorden i løpet av en tidevannsperiode viser at tilfellet med tidevannsport som er lukket på innstrømmende tidevann har desidert størst andel, med 24 %. Det er da tilbake 76 % av de opprinnelige vannmassene i Varildfjorden. Dette scenariet og scenariet uten tidevannsport (13.8 %) er henholdsvis identisk med og noe høyere enn de skisserende beregningene utført i Leikvin & Molvær (2015), angående andel av nye vannmasser som tilføres Varildfjorden i løpet av en tidevannsperiode.

Halveringstiden for hele Varildfjorden i kapittel 3.2.1, er funnet til å være 32 og 57 timer for tidevannsport som er åpen ved henholdsvis innstrømmende og utstrømmende tidevann. Andelen av gamle vannmasser i de to scenarier med faktor på 0.76 og 0.88 per tidevannsperiode, gir rimelig overensstemmelse med disse halveringstidene. Det tar ca. 2.5 sykluser for førstnevnte tilfelle (0.76) å reduseres til 0.5, og 2.5 sykluser tilsvarer ca. 30 timer. Det tar ca. 5.5 sykluser for sistnevnte tilfelle (0.88) å reduseres til 0.5, som tilsvarer ca. 66 timer.

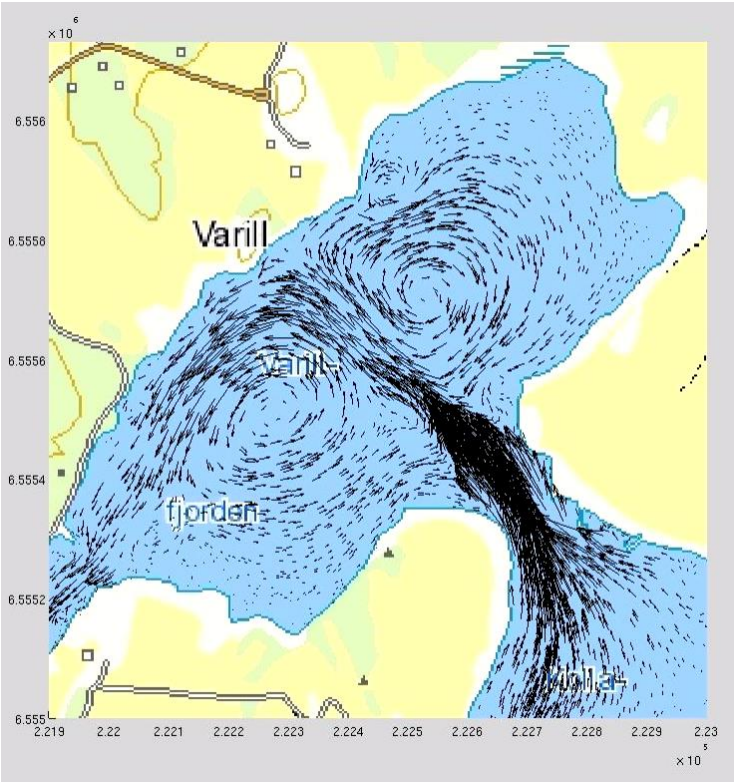
Den mest ekstreme forskjellen mellom resultatene med og uten tidevannsport er beregningen av halveringstiden for den nordlige delen av Varildfjorden. For tilfellet med lukket tidevannsport ved innstrømmende tidevann er halveringstiden ca. 31 timer i dette området, mens verdien uten tidevannsport er 400 timer. Det er ca. 13 ganger lenger tid. Tilsvarende verdi for lukket tidevannsport ved utstrømmende tidevann er 105 timer, altså ca. 3.5 ganger lenger tid.

Alle resultater tilsier at tidevannsporten har en økt effekt på vannutskiftningen i Indre Viksfjorden, i forhold til situasjonen uten tidevannsport.

Generelt gir lukket port på innstrømmende tidevann kortere oppholdstider og raskere utskiftningstider i forhold til utstrømmende tidevann. Altså er det, ifølge modellen, desidert mest gunstig for vannutskiftningen i Varildfjorden å tvinge vannet i retning mot klokka rundt Vikerøya, i forhold til med klokka.

Årsaken til denne effektive vannutskiftninga i den nordlige del av Varildfjorden for tidevannsport som er lukket ved innstrømmende tidevann i forhold til de to andre alternativer, er den kraftige strømjeten som blir satt opp i Klåstadrenna (Figur 22) med retning mot Varildfjorden. Denne vil kunne danne virvler som beveger seg innover i den nordlige delen av Varildfjorden og skape omrøring i og utskiftning av vannmassene der.

Generelt gir resultatene for tidevannsport som lukkes ved utstrømmende tidevann ut til å gi en mellomting av resultater fra situasjon uten tidevannsport og tidevannsporten som lukkes ved innstrømmende tidevann. Den gir relativt dårlig utskiftning lengst nord i Varildfjorden, men god utskiftning sør i Varildfjorden. Verdiene fra analyser som er utført og filmer av simuleringene (ikke vist) tyder på at vannmassene i scenariet med lukket tidevannsport ved utstrømmende tidevann generelt flyter raskt forbi mellom Opptaksplassen og Klåstadrenna, uten særlig utveksling eller kontakt med vannmassene i bukta i nord.



Figur 22: Stillbilde fra Varildfjorden ved simulering med den hydrodynamiske modellen FVCOM. Det er her kjørt med tidevannsport ved Vikerøybrua som er lukket ved innstrømmende tidevann. Det blir da satt opp en kraftig strømjet i Klåstadrenna, som vil kunne danne virvler innover også i den nordlige delen av Varildfjorden. Virvlene vil være positivt for omrøring og utskiftning av vannmasser.

Økt friksjon, som for eksempel ved økt vegetasjon i vannsøylen gjennom sommerhalvåret (grønnalger/ ålegress, etc.) er ikke inkludert i beregningene. Slike effekter vil kunne øke oppholdstider og redusere vannutskiftningen betraktelig.

Beregningene inkluderer ikke virkningen av vind. Vind vil mest sannsynlig kunne øke omrøring, redusere oppholdstider og øke vannutskiftningen til vannmassene i Varildfjorden.

Den operasjonelle driften av tidevannsporten vil ikke kunne være kontinuerlig året rundt, på grunn av båttrafikk i sommerhalvåret, islegging om vinteren etc. Imidlertid kan den settes aktiv i strategiske perioder av året, for eksempel når det er hensiktsmessig å "skylle ut" opplagrede ansamlinger av næringssalter i Varildfjorden på forsommeren. Det vil også være essensielt å unngå å aktivere porten når det er lav vannstand i Viksfjorden, da porten ikke vil ha den ønskede effekt dersom Klåstadrenna løper tørr eller tilnærmet løper tørr. I tillegg så vil en eventuell erosjon i Klåstadrenna kunne avdempes ved hensiktsmessig operasjonsmodus for tidevannsporten.

Dersom økt vannutskiftning skal kunne gi bedre vannkvalitet i Varildfjorden, er det en forutsetning at vannmassene som kommer inn fra området utenfor Vikerøya har bedre vannkvalitet enn vannet som befinner seg inne i Varildfjorden.

Vannprøver ble innhentet på 4 stasjoner av Indre Viksfjord Vel 4. september 2016, og analyser av fosfor og nitrogen ble utført av NIVA (Vedlegg D og E). Prøvene bekrefter at det er bedre vannkvalitet for vannmassene utenfor Vikerøya (tilstandsklasse I mht. nitrogen og tilstandsklasse II mht. fosfor, jfr. Molvær m.fl. (1997)) sammenliknet med inne i Varildfjorden (tilstandsklasse IV mht. fosfor og nitrogen, jfr. Molvær m.fl. (1997)). Liknende resultater har blitt rapportert av Moy m.fl. (2014) og Christie (2015).

5 Konklusjoner

I denne studien er det utført numerisk modellering av bevegelser i vannmasser og partikkelspredning, samt analyser for å beregne utskiftning av vannmasser i Varildfjorden med en tidevannsport plassert ved Vikerøybrua.

De hydrodynamiske simuleringene med modellen FVCOM er utført med kun tidevann som drivkrefter. Kort fortalt lukkes innløpet ved Vikerøybrua ved flo eller fjære sjø, slik at vannet tvinges enten den ene eller andre veien rundt Vikerøya. Porten åpnes så ved påfølgende fjære eller flo, alt etter hvilken retning man ønsker å tvinge vannmassene. Med en port som holdes stengt på innstrømmende tidevann, vil vannmasser i hovedsak forflytte seg i retning mot klokka rundt Vikerøya. Med en port som holdes stengt på utstrømmende tidevann, vil vannmasser i hovedsak bevege seg i retning med klokka rundt Vikerøya. Begge scenarier er simulert og vurdert i denne studien, og sammenliknet med situasjonen uten tidevannsport.

Den hydrodynamiske modelleringen som skissert ovenfor har dannet grunnlaget for kjøringer med partikkeltransportmodellen FISCM. Partikler har blitt sluppet ut i Varildfjorden og trajektoriene kartlagt. Simuleringer av partikkeltransport har blitt utført med fokus på indre deler av Viksfjorden og spesielt Varildfjorden. Antallet partikler i analysen har vært såpass stort (ca. 40 000) at studien av partikler med passive egenskaper antas å være representativt for studien av vannmasser.

Hovedformålet har vært å finne ut hvordan tidevannsporten endrer på sirkulasjonen i indre deler av Viksfjorden. Ønsket effekt er økt vannutskiftning, og en forutsetning er at det innstrømmende vannet til Varildfjorden har bedre kvalitet enn det som allerede befinner seg i Varildfjorden. Det søkes veiledende tall for oppholdstider og halveringstider for vannmassene i Varildfjorden, samt andel av nye vannmasser per tidevannsperiode, med en aktiv tidevannsport. Gjennom sammenligning med beregninger uten tidevannsport vurderes det hvordan en slik tidevannsport endrer sirkulasjon og vannutskiftning.

Den numeriske modellen har bekreftet at en tidevannsport i vesentlig grad endrer sirkulasjonen av vannmassene i indre deler av Viksfjorden. I stedet for at vannmassene blir pumpet inn og ut innover mot den nordlige delen av Varildfjorden på begge sider av Vikerøya, får nå vannmassene en tydelig netto vandring i retning mot eller med klokka rundt Vikerøya, som forventet.

Strømhastigheter har økt betraktelig med etablering av tidevannsport. Kraftigste økning er i Klåstadrenna, med en økning av maksimal strømhastighet fra omkring 13 til over 80 cm/s med tidevannsport som lukkes på innstrømmende tidevann. Slike strømhastigheter vil sannsynligvis medføre erosjon i Klåstadrenna og tilhørende forflytning av sedimenter.

Tre analyser har blitt benyttet for å få oversikt over vannutskiftningen til Varildfjorden. Det er:

- Halveringstider (tiden det tar før halvparten av partiklene har forsvunnet ut av Varildfjorden)
- Oppholdstider (gjennomsnittlig oppholdstid per partikkel i Varildfjorden)
- Andel nye vannmasser som strømmer til Varildfjorden i løpet av en tidevannsperiode

Alle tre analysene støtter opp om at en tidevannsport som er lukket ved innstrømmende tidevann gir mest effektiv vannutskiftning i Varildfjorden. Halveringstiden og oppholdstiden er drøye 30 timer, og andelen av nye vannmasser per tidevannsperiode har blitt beregnet til 24 %. Tilsvarende verdier med aktiv tidevannsport som lukkes ved utstrømmende tidevann er dobbelt så lang halveringstid og oppholdstid, samt ca. halvparten av andelen av nye vannmasser per tidevannsperiode.

Simuleringer uten tidevannsport har gitt halveringstider som er 8 ganger lenger, oppholdstider som er 1.3 ganger lenger, og nesten halvering av andelen nye vannmasser per tidevannsperiode sammenliknet med tidevannsport som lukkes ved innstrømmende tidevann.

Det er spesielt i den nordlige delen av Varildfjorden at vannutskiftningen er begrenset for tilfellene med tidevannsport som lukkes ved utstrømmende tidevann og uten tidevannsport. Det er også i dette området at utskiftningen er mest effektiv for en tidevannsport som lukkes ved innstrømmende tidevann, sammenliknet med de to andre alternativene som er studert. For eksempel har halveringstiden blitt beregnet til nesten 13 ganger kortere enn tilfellet uten tidevannsport (snaue 1.5 dager vs. 17 dager).

I den sørlige delen av Varildfjorden er vannutskiftningen noenlunde den samme om tidevannsporten lukkes på innstrømmende eller utstrømmende tidevann.

Det anbefales å styre tidevannsporten med varsomhet og under overvåkning. Dette for blant annet å

- aktivere tidevannsport når det er viktigst å "skylle ut" Varildfjorden/ få vannutskiftning
- kontrollere eventuell erosjon i Klåstadrenna
- unngå å bruke porten unødig ved for eksempel liten vannstand i Klåstadrenna

Det er usikkert om økningen i vannutskiftning forårsaket av etablering av tidevannsport er tilstrekkelig til å fjerne problemene med grønnalger i sommerhalvåret. Direkte reduksjon av tilførsler av næringssalter fra land vil også være effektivt. Det konkluderes uansett at en tidevannsport vil ha en merkbar positiv effekt på vannutskiftningen, og dermed stort potensiale for å ha positiv effekt på vannkvaliteten. Dette forutsetter imidlertid også at vannkvaliteten i vannet som tilføres fra ytre deler av Viksfjorden er mindre gunstig for grønnalgene, enn vannmassene som befinner seg inne i Varildfjorden. Målinger i dette og tidligere prosjekter har gitt indikasjoner på at denne forutsetningen er ivaretatt.

Det anbefales å sammenstille flere tiltak for å avbøte oppblomstringen av grønnalger i Varildfjorden i sommerhalvåret, og med hovedvekt på reduksjon av tilførsler av næringssalter fra land.

<u>Oppsummert gir studien disse konklusjoner:</u>

- En tidevannsport ved Vikerøybrua vil kunne gi betydelig ensretting av vannmassenes bevegelser, og øke netto vannutskiftning i Varildfjorden. Den vil også medføre sterk økning av maksimale strømhastigheter i Klåstadrenna, med sannsynlig erosjon og sedimenttransport.
- Mest effektiv vannutskiftning i Varildfjorden oppnås dersom en tidevannsport ved Vikerøybrua lukkes på fjære sjø, slik at det innstrømmende tidevannet går i retning mot klokka.
- Effekten av tidevannsporten forutsetter at Klåstadrenna er åpen og at det er tilstrekkelig vannpassasje slik at alt tidevannet i Varildfjorden når å tømmes i løpet av utstrømmende tidevann (ca. 6 timer).
- Graden av effekten til en eventuell tidevannsport for vannkvaliteten i Varildfjorden forutsetter også at vannkvaliteten er tilstrekkelig bedre i farvannene ytre deler av Viksfjorden. Resultater fra vannprøver innhentet i dette og tidligere prosjekter har vist at dette generelt er tilfelle. Det er svært vanskelig å si om konsentrasjonen av næringssalter fra innkommende vannmasser er lav nok til å gi signifikant forbedring av vannkvaliteten inne i Varildfjorden, men det er sannsynlig at en tidevannsport vil ha en positiv effekt.
- Lavere konsentrasjon av næringssalter i Varildfjorden avhenger også av reduserte tilførsler fra land.

6 Referanser

Chen, C, R. C. Beardsley and G. Cowles, 2006. "An unstructured grid, finite-volume coastal ocean model (FVCOM) system". Special Issue entitled “Advances in Computational Oceanography”, *Oceanography*, vol. 19, No. 1, 78-89.

Chen, C., R.C. Beardsley, G. Cowles, J. Qi, Z. Lai, G. Gao, D. Stuebe, H. Liu, Q. Xu, P. Xue, J. Ge, S. Hu, R. Ji, R. Tian, H. Huang, L. Wu, H. Lin, Y. Sun and L. Zhao, 2013. An Unstructured Grid, Finite-Volume Community Ocean Model. FVCOM User Manual, 4th edition, Version 3.1.6. 416 pp.

Christie, H., 2015. Undersøkelser av ålegras, Indre Viksfjord, august 2015. NIVA-notat, prosjekt 14240. 18 sider.

Eidnes, G., 2015. Forbedret vannutskiftning i Indre Viksfjord. Effekten av en tidevannsport. SINTEF rapport A27008. 14 sider.

Leikvin, Ø., Molvær, J. og Nøst, O.A., 2014A. Resultater og konklusjoner fra modellering av fjordsirkulasjon ved nåværende topografi og situasjon med kanal innerst i Viksfjorden, Larvik kommune, Vestfold. Akvaplan-niva notat 410.7025. 7 sider.

Leikvin, Ø., Molvær. J. og Nøst, O.A., 2014B. Modellstudier for utforming av kanal. Indre Viksfjorden. Larvik kommune. Akvaplan-niva rapport 7221-01. 42 sider.

Leikvin, Ø og Molvær. J., 2015. Skisse av antatt effekt med tidevannsport for utskiftning av vannmasser i Indre Viksfjord/ Varildfjorden, Larvik kommune. Akvaplan-niva notat, 9 sider.

Leikvin, Ø. & Børve, E., 2016. Indre Viksfjord, Larvik kommune: Modellering av vannutskiftning ved hjelp av partikkeltransportmodell. APN-7878.01. 29 sider.

Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, J., Rygg, B., Skei, J. og Sørensen, J., 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Statens forurensningstilsyn. Veiledning 97:03. 36 sider.

Moy, F., J. Albretsen, T. Bodvin, L.J. Naustvoll og M. Ohldieck, 2014. Truet ålegressforekomst i indre Viksfjord, Larvik. Undersøkelser 2011 – 2013 i forbindelse med skjøtsel. HI-rapport nr. 21-2014. 65 sider.

Statens Kartverk, Sjøkartverket, 2014. www.sehavniva.no. (Lest september 2014).

Vedlegg

A) Innstillinger, for modellkjøringer med FVCOM

Følgende innstillinger er benytter for simuleringer med FVCOM.

Beregningslikninger og forklaring av de ulike parametere er gitt i Chen m.fl. (2013) for FVCOM.

Parameter	Verdi
Antall beregnings-noder	38972
Antall beregnings-celler	74753
Tidssteg	0.7 sekunder
Bunnfriksjon	*Konstant= 0.027 for øverste 3 m. Ellers minkende med dyp.
Turbulent diffusjons-koeffisient	Smagorinsky-metoden, varierer med celleareal
"Wetting and drying" - skjema	Dry depth = 0.05 m
Tidevannsforcing	Fra www.kartverket.no/sehavniva, Viksfjorden
Vind	-

B) Innstillinger, for modellkjøringer med FISCM

Følgende hovedinnstillinger er benyttet for simuleringer med FISCM.

Parameter	Verdi
Antall partikler	320 000
Intervall mellom hvert partikkelutslipp	60 minutter
Antall partikler per utslipp	16
Antall stasjoner	10
Horisontal diffusjon	0
Seed box side (lengde til sidene i kvadrat hvor partiklene blir sluppet ut)	30

C) Krefter på tidevannsport

For å vurdere krefter som virker på tidevannsporten forårsaket av vannstandsforskjellen mellom de to sidene, har vannstanden referert til middelvannstand i beregningsceller på begge sider av porten blitt hentet ut for hele simuleringsperioden mellom 1. april og 1. oktober 2015. Det er blitt hentet ut resultater for lukking av tidevannsporten ved innstrømmende tidevann (ACW, nettotransport AntiClockWise rundt Vikerøya) og utstrømmende tidevann (CW, nettotransport ClockWise rundt Vikerøya).

I tillegg har vannstanden referert til middelvannstand for en celle omtrent på grunneste nivå midt i Klåstadrenna blitt hentet ut.

Tidsseriene er illustrert i Figur 23a og Figur 23b.

I første del av simuleringsperioden viser figuren at med lite vann i Klåstadrenna, hvor den iblant tilnærmet løper tørr, så er det relativt høy forskjell i havnivå mellom innsiden og utsiden av porten. Simuleringene gir verdier på opptil 21 cm høyere vannstand sørvest for porten i forhold til nordøst for porten for tilfellet ACW, og opptil 16 cm høyere vannstand nordøst for porten i forhold til sørvest for tilfellet CW.

Senere i simuleringsperioden øker vannstanden i Klåstadrenna, og havnivåforskjellen over tidevannsporten minker betraktelig. Økningen av vannstanden i modellområdet kommer av en generell vannstandsøkning langs kysten, altså kommer vannstandsøkningen av drivkreftene (kapittel 2.2). I den siste halvannen måneden av tidsserien ser havnivåforskjellen over tidevannsporten ut til å stabilisere seg på maksimalt ca. 6-7 cm, når vannstanden er relativt stor i Klåstadrenna for tilfellet ACW, og ca. 5 cm for tilfellet CW.

En vannstandsforskjell på 10 cm vil kunne utøve krefter som tilsvarer:

$$F = \rho g h = 1027 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} * 0.1m = \ 1\,007.5\ Pa = \ 10.1\ mbar$$

Der ρ er sjøvannets tetthet, g er tyngdeakselerasjonen, og h er vannstandsforskjellen over tidevannsporten.

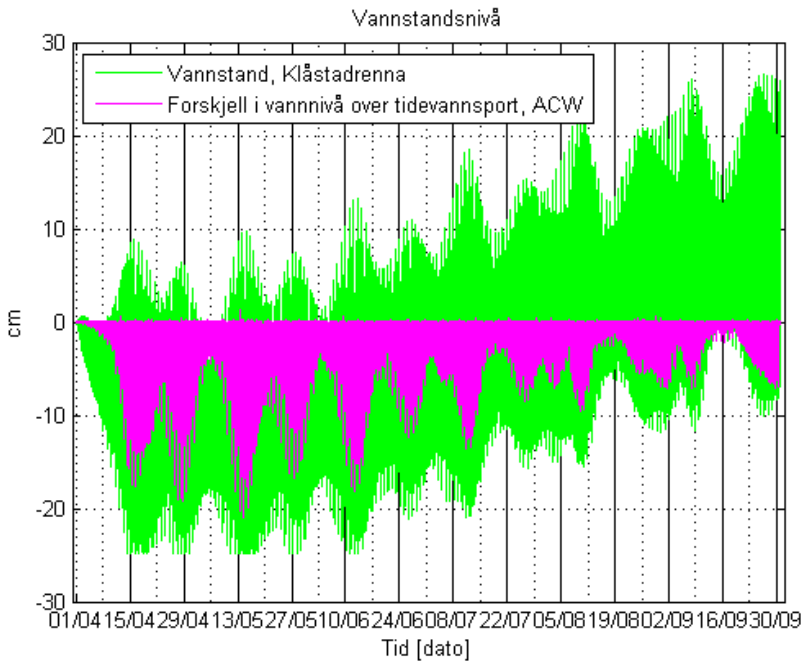
Arealet til tverrsnittet over Vikerøybruas åpning er foreløpig beregnet av IT-Tek, og er på 55.5 m^2 (Figur 24). Dette antas å være noe lavt, og dermed rundes tverrsnittsarealet opp til 60 m^2.

Trykket på tidevannsporten, med et omtrentlig areal på 60 m^2, vil da bli:

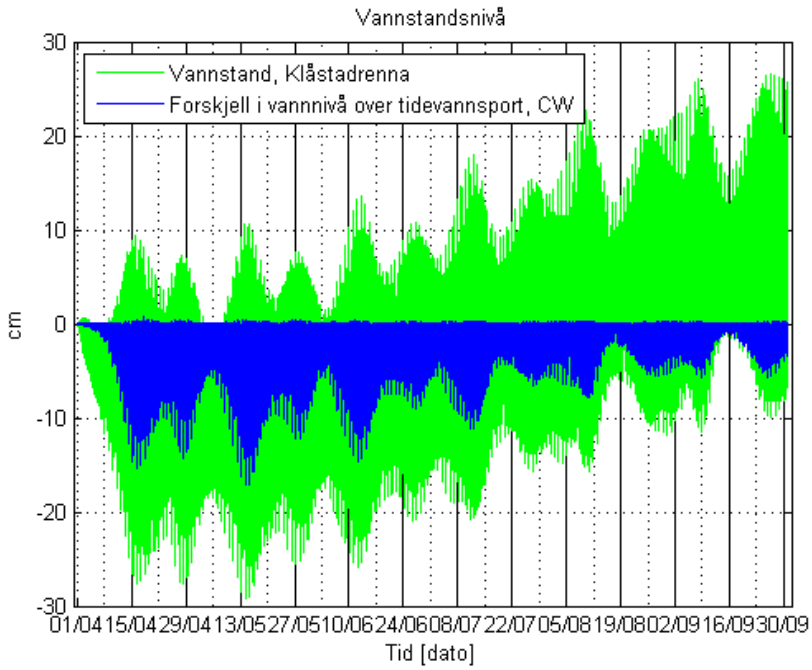
P = F*A= 1007.5 Pa * 60 m^2 = 60 450 N ≈ 60 kN

Med vannstandsforskjell på 30 cm, vil trykkreftene på tidevannsporten bli omtrent 180 kN. En maksimal vannstandsforskjell mellom høyvann og lavvann i løpet av perioden oktober 2013 – oktober 2014 ved Helgeroa tidevannstasjon (Leikvin m.fl., 2014B) på ca. 70 cm gir omtrent 420 kN.

Beregningene forutsetter at vannmassene er statiske, og ikke i bevegelse inn mot tidevannsporten. Dynamiske vannmasser som skal bremses opp av tidevannsporten vil kunne utøve sterkere krefter.

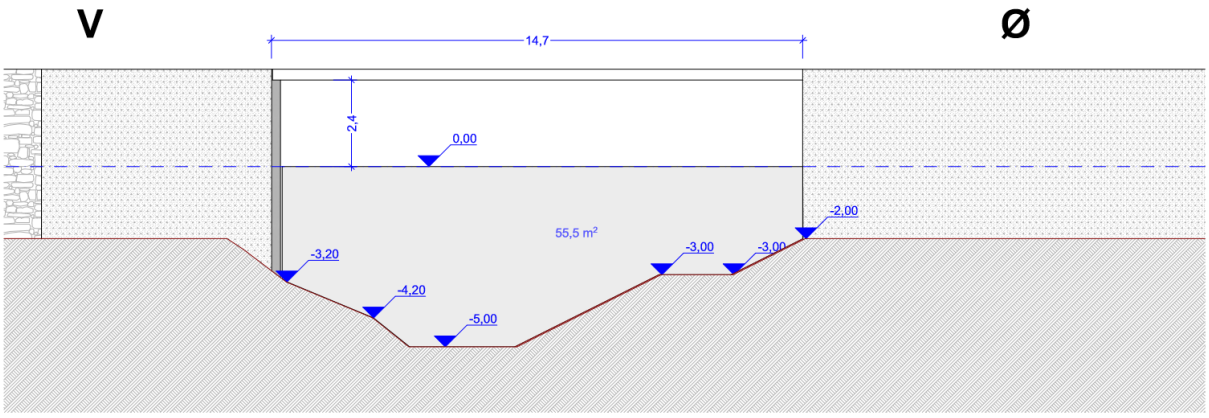


a)



b)

Figur 23: Forskjellen i havnivå over to beregningsceller på hver side av tidevannsporten når a) den lukkes på lavvann og åpnes på høyvann (lilla, ACW) og b) den lukkes på høyvann og åpnes på lavvann (blå, CW). I a) blir det høyere vannstand på "utsiden" av porten, mot sørvest, mens det i b) blir høyere vannstand på innsiden av porten, mot nordøst. Grønn kurve viser vannstanden i Klåstadrenna på et utvalgt punkt, referert til middelvannstand. Merk at beregningscellen tidvis løper "tørr" i første del av simuleringsperioden, fram til langt ut i mai 2015. Dette illustreres ved at kurven "skjæres av" ved ca. 24 cm dyp.



Figur 24: Skisse av tverrsnittet over Vikerøybrua, med diverse dyp, bredder og areal. Merk at dette kun er en foreløpig og grovt forenklet skisse (kilde: IT-Tek).

D) Analyseresultat for vannkvalitetsprøver fra Viksfjorden

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Tel: 02348 / (+47) 22 18 51 00
E-post: niva@niva.no

ANALYSERAPPORT

RapportID: 3818

Kunde: Hartvig Christie
Prosjektnummer: O 14240 Viksfjord

Analyseoppdrag: 175-3251
Versjon: 1
Dato: 23.09.2016

23/9-16 TOL: Salinitet rapporteres i promille

Prøvenr.: NR-2016-06880 **Prøvemerking:** Stasjon 1
Prøvetype: SJØVANN
Prøvetakningsdato: 04.09.2016
Prøve mottatt dato: 05.09.2016
Analyseperiode: 05.09.2016 - 22.09.2016

Kommentar:

Analysevariabel	Standard (NIVA metodekode)	Resultat	Enhet	MU	LOQ	Underlev.
Salinitet*	Intern metode (A3-2)	24,9	-	10%		
Total nitrogen	NS 4743:1993 (D6-1)	510	µg N/l	20%	10	
Total fosfor	Mod. NS 4725:1984 (D2-1)	52	µg P/l	20%	1	

Prøvenr.: NR-2016-06881 **Prøvemerking:** Stasjon 2
Prøvetype: SJØVANN
Prøvetakningsdato: 04.09.2016
Prøve mottatt dato: 05.09.2016
Analyseperiode: 05.09.2016 - 22.09.2016

Kommentar:

Analysevariabel	Standard (NIVA metodekode)	Resultat	Enhet	MU	LOQ	Underlev.
Salinitet*	Intern metode (A3-2)	25,3	-	10%		
Total nitrogen	NS 4743:1993 (D6-1)	375	µg N/l	20%	10	
Total fosfor	Mod. NS 4725:1984 (D2-1)	37	µg P/l	20%	1	

Prøvenr.: NR-2016-06882 **Prøvemerking:** Stasjon 3
Prøvetype: SJØVANN
Prøvetakningsdato: 04.09.2016
Prøve mottatt dato: 05.09.2016
Analyseperiode: 05.09.2016 - 22.09.2016

Kommentar:

Analysevariabel	Standard (NIVA metodekode)	Resultat	Enhet	MU	LOQ	Underlev.
Salinitet*	Intern metode (A3-2)	23,5	-	10%		
Total nitrogen	NS 4743:1993 (D6-1)	230	µg N/l	20%	10	
Total fosfor	Mod. NS 4725:1984 (D2-1)	15	µg P/l	20%	1	

Tegnforklaring:
* : Ikke omfattet av akkrediteringen
<: Mindre enn, >: Større enn, MU: Måleusikkerhet, LOQ: Kvantifiseringsgrense
Mod: Intern metode basert på angitt standard
Analyserapporten må kun gjengis i sin helhet og uten noen form for endringer. Analyseresultatet gjelder kun for den prøven som er testet.

Prøvenr.: NR-2016-06883 **Prøvemerking:** Stasjon 4
Prøvetype: SJØVANN
Prøvetakningsdato: 04.09.2016
Prøve mottatt dato: 05.09.2016
Analyseperiode: 05.09.2016 - 22.09.2016

Kommentar:

Analysevariabel	Standard (NIVA metodekode)	Resultat	Enhet	MU	LOQ	Underlev.
Salinitet*	Intern metode (A3-2)	23,1	-	10%		
Total nitrogen	NS 4743:1993 (D6-1)	235	µg N/l	20%	10	
Total fosfor	Mod. NS 4725:1984 (D2-1)	16	µg P/l	20%	1	

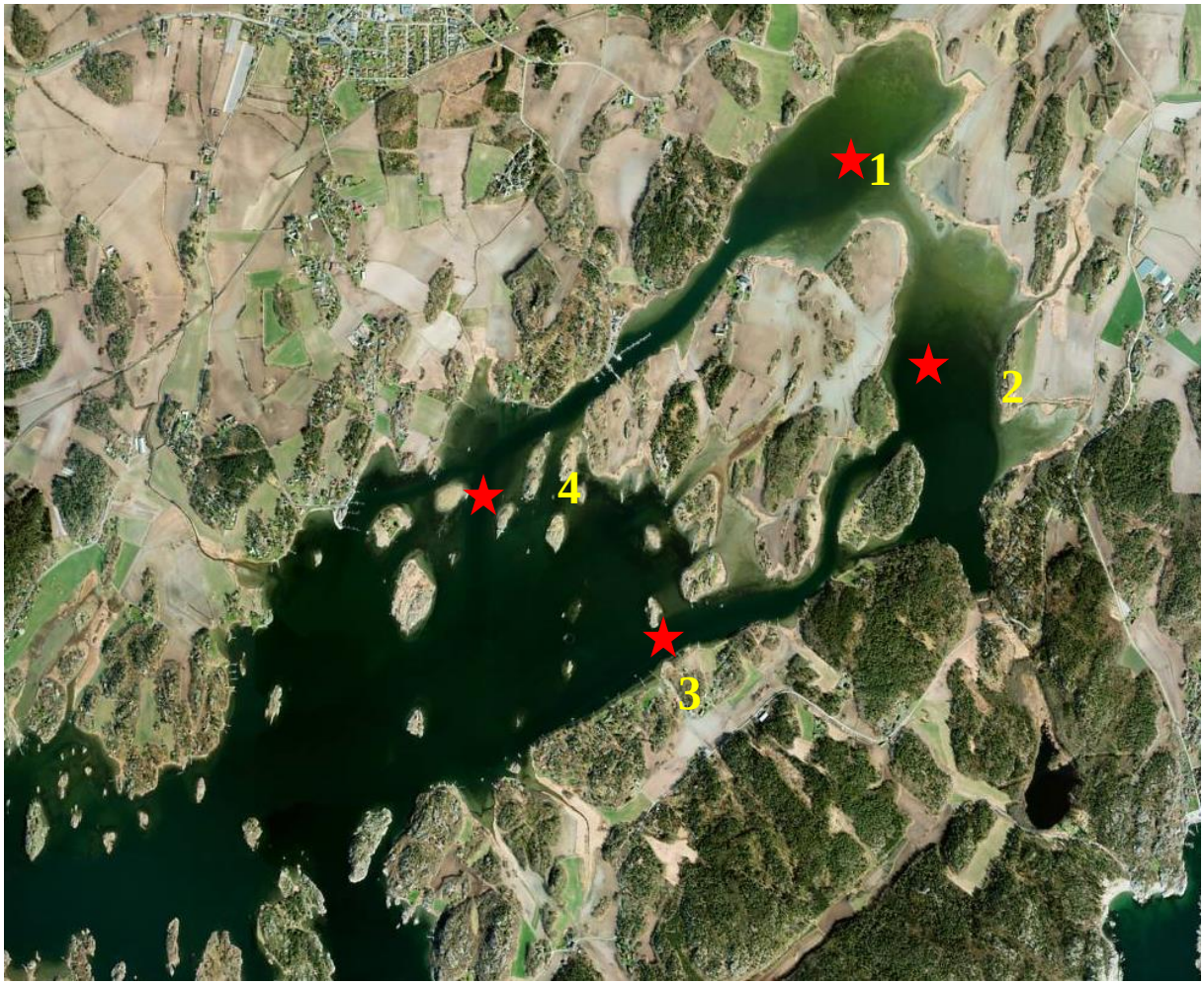
NIVA
Norsk institutt for vannforskning
Trine Olsen

Kvalitetsleder

Rapporten er elektronisk signert

Tegnforklaring:
* : Ikke omfattet av akkrediteringen
<: Mindre enn, >: Større enn, MU: Måleusikkerhet, LOQ: Kvantifiseringsgrense
Mod: Intern metode basert på angitt standard
Analyserapporten må kun gjengis i sin helhet og uten noen form for endringer. Analyseresultatet gjelder kun for den prøven som er testet.

E) Stasjonskart for vannprøvene i Vedlegg D



Figur 25: Kart over omtrentlig stasjonsplassering for vannprøvene rapportert i Vedlegg D.

Tabell 6:Koordinater for vannprøvene rapportert i Vedlegg D.

Stasjon	Breddegrad	Lengdegrad
1	59°02.93' N	10°09.53' Ø
2	59°02.51' N	10°09.86' Ø
3	59°01.89' N	10°08.77' Ø
4	59°02.19' N	10°07.99' Ø