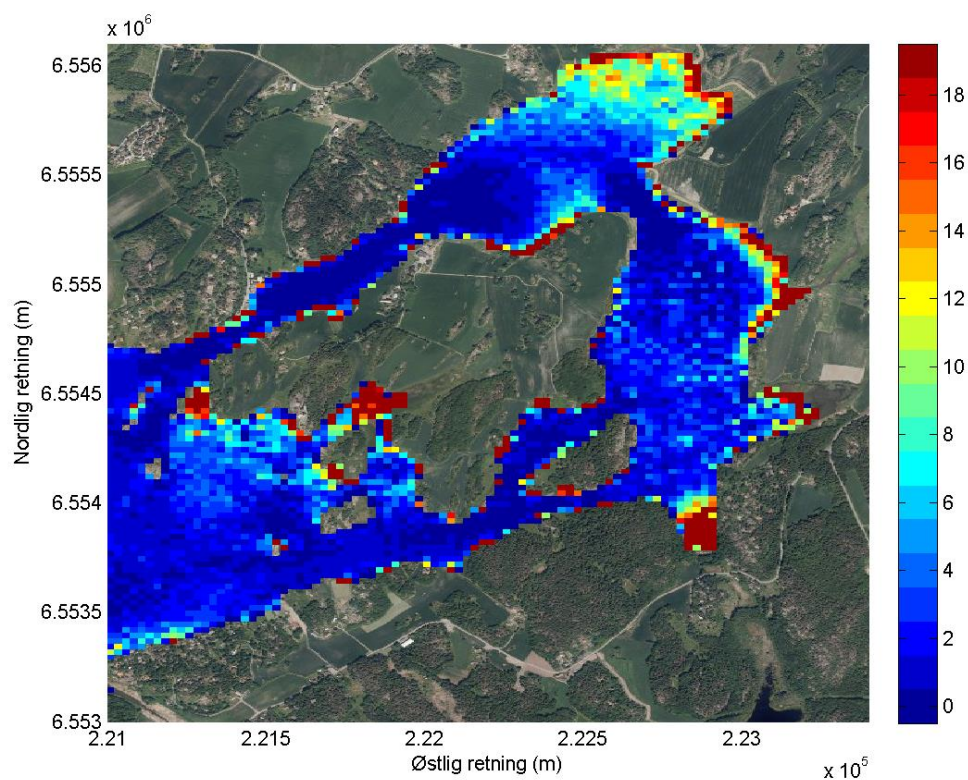


Indre Viksfjord, Larvik kommune

Modellering av vannutskiftning

ved hjelp av

partikkeltransportmodell



Illustrasjon på forside:

Beregninger av oppholdstid for små kvadratiske celler med 25 m oppløsning. Figuren illustrerer oppholdstider i farvannet ved Vikerøya, og indikerer spesielt nordøstlige del av Varildfjorden som et område med lang oppholdstid og tilhørende lav vannutskiftning.

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 ved hjelp av partikkeltransportmodell****Forfatter(e) / Author(s)**

Øyvind Leikvin

Eli Børve

Akvaplan-niva rapport nr / report no

7878 - 01

Dato / Date

08.02.2016

Antall sider / No. of pages

29 + 3

Distribusjon / Distribution

Gjennom oppdragsgiver

Oppdragsgiver / Client

Indre Viksfjord Vel

Oppdragsg. referanse / Client's reference

Ivar E. Tronsen

Sammendrag / Summary

Simuleringer av partikkeltransport har blitt utført med fokus på indre deler av Viksfjorden og spesielt Varildfjorden. Hovedformålet har vært å finne veiledende tall på utskiftning av vannmassene i Varildfjorden.

Gjennomsnittlige oppholdstider for partiklene i modellsimuleringene ble funnet til ca. 25 timer for Varildfjorden mellom Optaksplassen og Klåstadrenna. Det var vesentlig lenger oppholdstider i den nordøstlige bukta enn sørvest i Varildfjorden.

Det har også vært fokus på å undersøke andelen av partikler som returnerer til Varildfjorden ved påfølgende innstrømmende tidevann. Beregninger viser at i gjennomsnitt drøye 60 % av partiklene som drar ut av Varildfjorden forbi Vikerøybrua ved synkende vannstand, returnerer til området nordøst for Vikerøybrua ved neste innstrømmende tidevann.

Halveringstider for Varildfjorden ble funnet til å være ca. 11 dager, som er tiden det tar å fjerne halvparten av de opprinnelige partikler fra området.

Det er utført en tidevannsanalyse på data fra strømmålinger like under Vikerøybrua, fra sommeren 2013. Selv om det var en total nettostrøm i løpet av perioden på gjennomsnittlig 3.1 cm/s, stod tidevannet for omkring 80 % av variabiliteten i strømmen. Det kan da konkluderes med at det er tidevannet som er den dominerende drivkraft for strømregimet ved Vikerøybrua.

Resultatene tyder dermed på at en tidevannsport kan gi mer enn en fordobling av mengde «nye» vannmasser som tilføres Varildfjorden ved innstrømmende tidevann. Dette vil med stor sannsynlighet kunne gi en positiv effekt på vannkvaliteten inne i Varildfjorden.

En viktig forutsetning er at vannkvaliteten i ytre Viksfjorden er bedre enn den i Varildfjorden. Utførte målinger tidligere i prosjektet og i 2015 har bekreftet at dette er tilfelle. Det er usikkert om endringen er stort 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..... | 3 |
| 1.1 Bakgrunn og formål..... | 3 |
| 1.2 Områdebeskrivelse, Viksfjorden..... | 4 |
| 2 METODIKK OG DATA..... | 6 |
| 2.1 Hydrodynamisk modellering i Viksfjorden..... | 6 |
| 2.2 Partikkeltransport i Viksfjorden..... | 7 |
| 2.2.1 Oppholdstid for vannmasser..... | 9 |
| 2.2.2 Retur av vannmasser..... | 10 |
| 2.2.3 Halveringstid..... | 11 |
| 2.3 Tidevannsanalyse og generell analyse av strømdata..... | 12 |
| 3 RESULTATER..... | 13 |
| 3.1 Modellering av hydrodynamikk i Viksfjorden..... | 13 |
| 3.2 Modellering av partikkeltransport i Viksfjorden, med fokus på vannutskiftning i Varildfjorden..... | 13 |
| 3.2.1 Oppholdstider i Varildfjorden..... | 15 |
| 3.2.2 Retur av partikler til Varildfjorden på innstrømmende tidevann..... | 17 |
| 3.2.3 Halveringstider av antall partikler innenfor Varildfjorden..... | 20 |
| 3.3 Strøm- og tidevannsanalyse..... | 20 |
| 3.3.1 Strømstyrke..... | 20 |
| 3.3.2 Strømretning..... | 22 |
| 3.3.3 Variabilitet – tidevannsstrøm og reststrøm..... | 23 |
| 3.4 Nettostrøm og vanntransport..... | 24 |
| 4 DISKUSJON OG SAMMENFATTENDE VURDERINGER..... | 26 |
| 5 KONKLUSJONER..... | 28 |
| 6 REFERANSER..... | 29 |
| VEDLEGG..... | 30 |
| A) Innstillinger, for modellkjøringer med FVCOM..... | 30 |
| B) Innstillinger, for modellkjøringer med FISCM..... | 30 |
| C) Matematisk utregning av variansellipser..... | 31 |
| D) Målinger av støtteparametere..... | 32 |

Forord

Foreliggende rapport er utarbeidet for Indre Viksfjord Vel i samsvar med kontrakt av 20. oktober 2015.

Følgende personer har deltatt i prosjektet:

| | | |
|----------------------------|--------------------------------|--|
| <i>Øyvind Leikvin</i> | <i>Akvaplan-niva AS</i> | <i>Prosjektleder, modellering, analyse og rapportering</i> |
| <i>Jarle Molvær</i> | <i>Molvær Resipientanalyse</i> | <i>Diskusjon, ekstern kvalitetssikring</i> |
| <i>Hans Kristian Djuve</i> | <i>Akvaplan-niva AS</i> | <i>Analyse</i> |
| <i>Eli Børve</i> | <i>Akvaplan-niva AS</i> | <i>Strømanalyse, rapportering</i> |
| <i>Ole Anders Nøst</i> | <i>Akvaplan-niva AS</i> | <i>Modellering</i> |
| <i>Frank Gaardsted</i> | <i>Akvaplan-niva AS</i> | <i>Kvalitetssikring</i> |

Akvaplan-niva vil takke Indre Viksfjord Vel for et interessant oppdrag, og spennende diskusjoner i løpet av prosjektperioden.

Tromsø, 8. februar 2016



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., 2013). 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 eventuell kanal (Leikvin m.fl., 2014B).

På grunn av usikkerhet i kvantifiseringen av kanalens innvirkning på vannutskiftningen og indikasjon på relativt liten netto vanntransport rundt Vikerøya, har det blitt søkt etter alternative løsninger. En annen faktor var at den anbefalte kanal er 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, som kan åpnes og lukkes ved Vikerøybrua.

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.

Da IVIV antok at det var betydelig grad av fram-og-tilbake-pumping av vannmassene, var det ønskelig med ytterligere studier for å få veiledende tall for oppholdstiden til vannmassene i Varildfjorden. Spesielt ønskes veiledende tall på hvor mye «nytt» vann som kommer inn ved hver tidevannsstrømning. 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.

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

I tillegg utføres en inngående analyse av strømdata målt av NIVA i 2013 under Vikerøybrua, for å få bekreftet/ avkreftet at det faktisk er tidevannet som er viktigste kilde til strømvariabilitet/ forflytting av vannmasser i det området.

1.2 Områdebeskrivelse, Viksfjorden

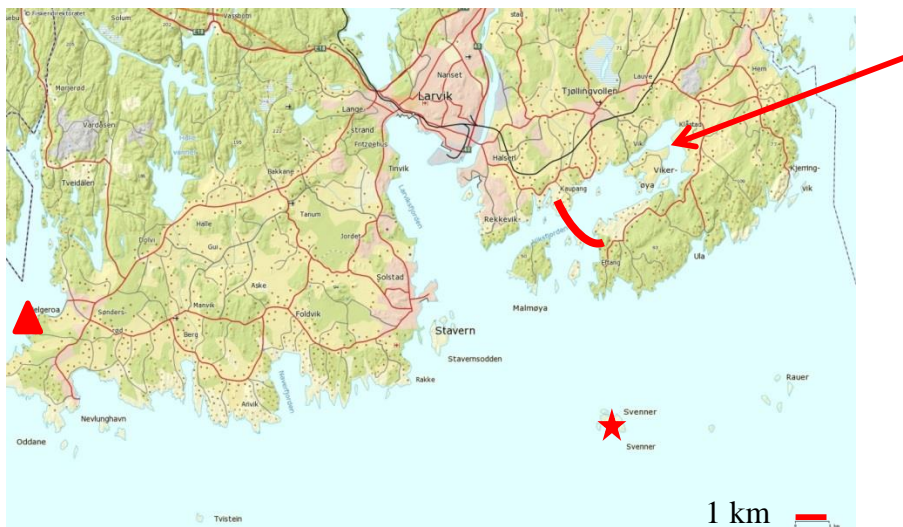
Viksfjorden er en ca. 7 km lang fjordarm orientert i nordøstlig retning med forbindelse til Larviksfjorden i vest (Figur 1). Det er en relativt grunn fjord og innenfor Langøya er dypet mindre enn 10 m, med få unntak. Innerst i Viksfjorden ligger Vikerøya, som er ca. 1.5 km i diameter (Figur 2).

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 middelvannstand¹ (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 gjennomstrømming 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 vanddyp <70 cm.

Øst for Vikerøya ligger Kolladjupe (Figur 2). Det er en tilnærmet sirkelformet fordypning som går fra 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).

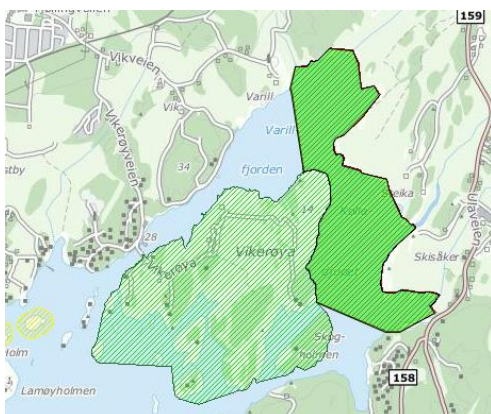


Figur 1: Oversikt over området ved Viksfjorden i Larvik kommune. Viksfjorden er merket med rød pil. Modellranden er merket med rød kurve. Svenner Fyr er markert med rød stjerne. Helgeroa tidevannsstasjon er merket med rød trekant til venstre i bildet. Skalering er gitt nede på høyre side (kartkilde: 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. Strømmålinger ved Vikerøybrua er utført av NIVA i 2013 og er markert rødt punkt med stasjonsnavn N14 (Moy m.fl., 2014). Skalering er gitt nede til høyre (kartkilde: www.gulesider.no).



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

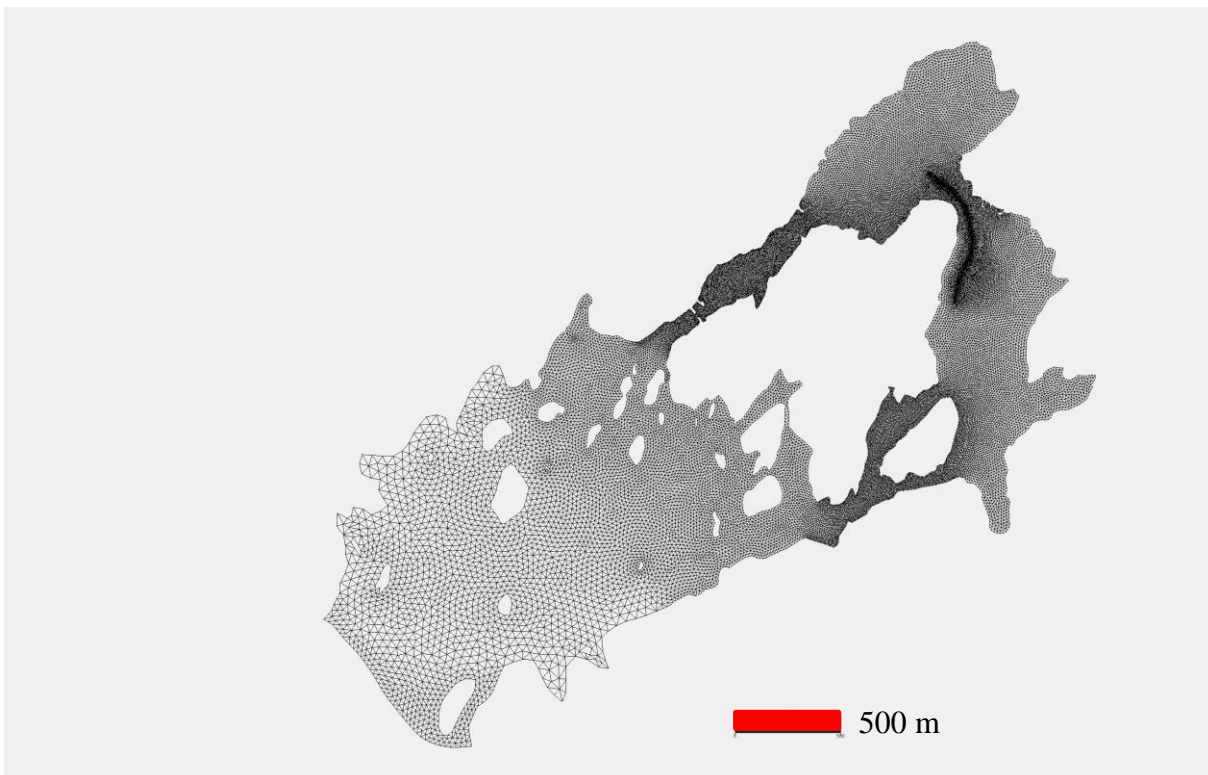
2 Metodikk og data

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

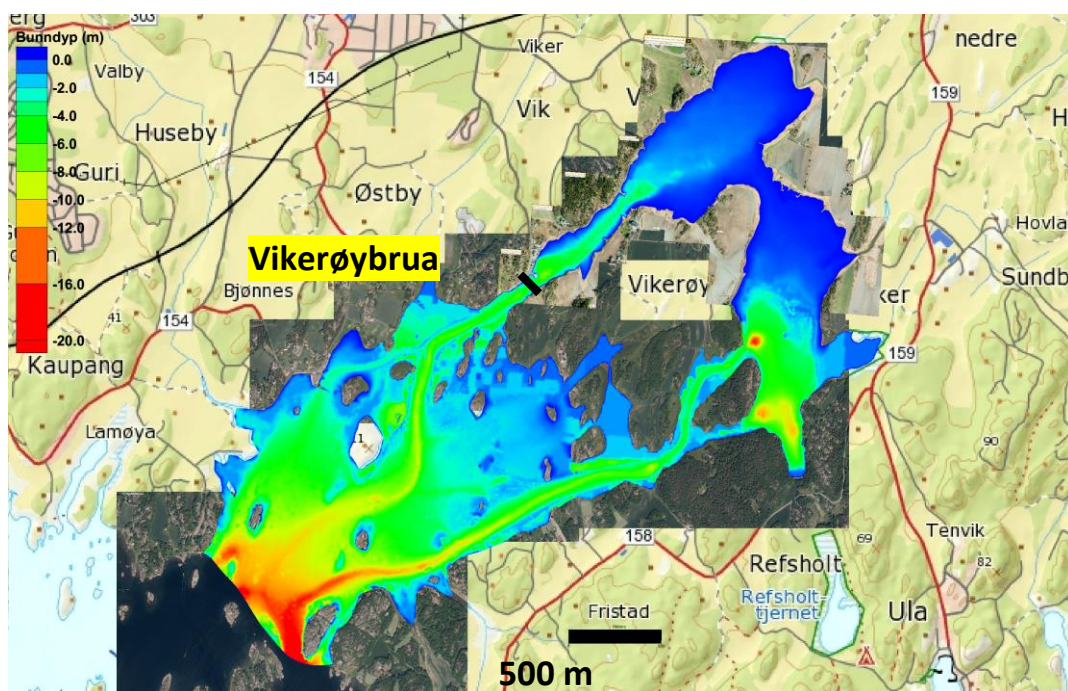
2.1 Hydrodynamisk modellering i Viksfjorden

Hydrodynamisk modellering av vannsirkulasjonen i Viksfjorden er utført i Leikvin m.fl. (2014B). Samme modellverktøy (FVCOM), samme grid og modelloppsett som beskrevet i den rapporten og vist i Figur 4 er benyttet i den foreliggende studien. Bunntopografien er vist i Figur 5. Simuleringsperioden er imidlertid endret.

FVCOM-modellen ble kjørt over en simuleringsperiode 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 4: 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.



Figur 5: 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.norgebilder.no og www.gulesider.no). Plassering av Vikerøybrua er markert med sort linje vest for Vikerøya. Skalert linje på 500 m er plassert nederst i bildet, i sort.

2.2 Partikkeltransport i Viksfjorden

For å studere i detalj hvordan vannmassene sirkulerer i indre deler av Viksfjorden brukes en partikkeltransportmodell ved navn FISCAM (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).

FISCAM 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 FISCAM 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 Kolladjupe, der de viktigste momentene er:

- Hvor lang er normal oppholdstid til partiklene i Varildfjorden?
- Hvor lang tid tar det før partiklene forsvinner fra Varildfjorden? (Utskiftning/ halveringstider)
- Hvor mange av partiklene fra Varildfjorden, som ved fallende vannstand forflyttes til Ytre Viksfjorden, vil ved påfølgende stigende vannstand returnere til Varildfjorden?

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

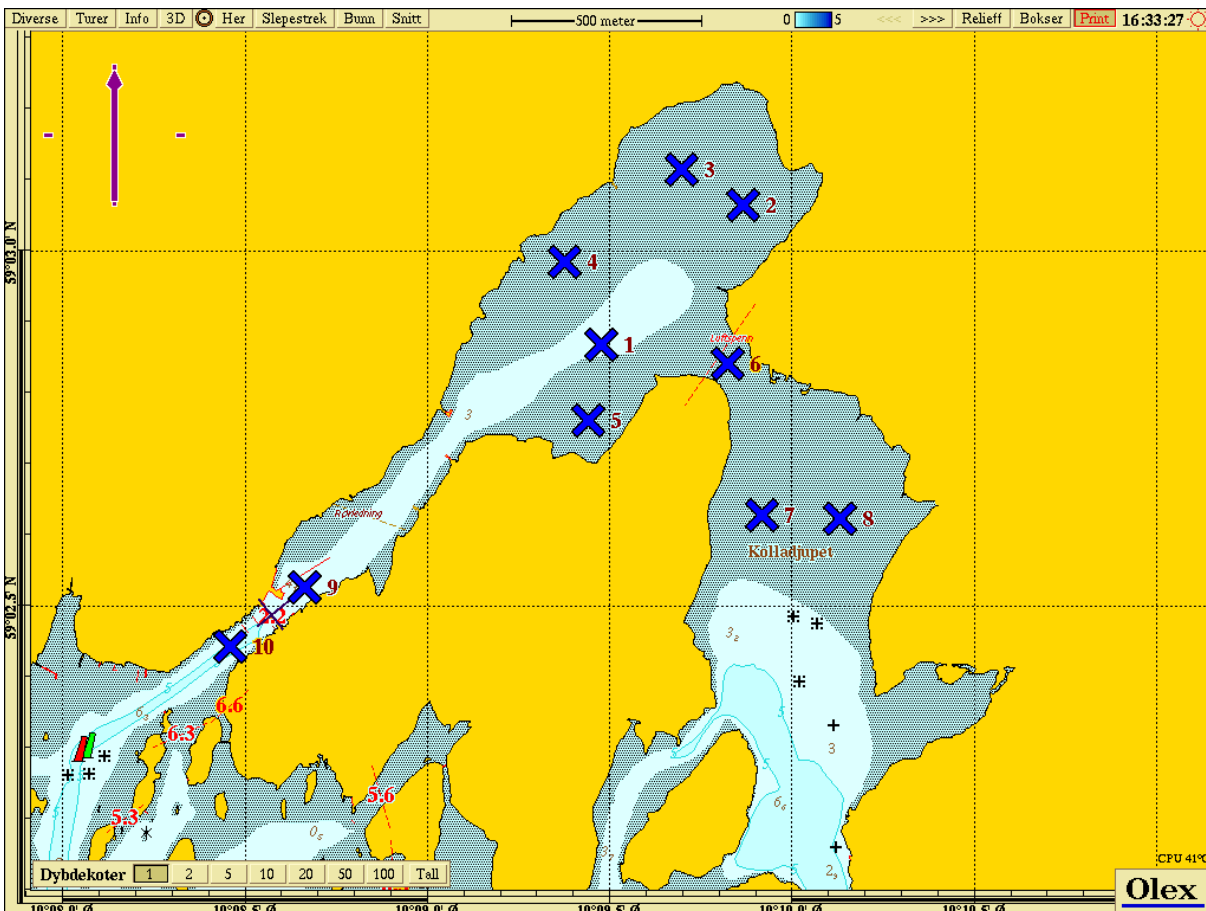
- bunnfriksjon
- turbulent diffusjonskoeffisient
- valg av 2D-modell (i stedet for 3D-modell)

bidrar til at modellresultatene kun gir veiledende verdier for oppholdstid og returnering av partikler.

Det antas at det i analysen av partikler er tilstrekkelig antall partikler inkludert, slik at partikkelanalysen kan være veiledende for og tilsvare en analyse av vannmasser.

I simuleringene med analyse av oppholdstid og retur av vannmasser i Varildfjorden er det benyttet utslipp fra 10 ulike stasjoner som er markert i Figur 6. 16 partikler er sluppet ut hver time i 2000 timer fra 15. april til 7. juli 2015, nesten 3 måneder. Fra 7. juli starter analysen, som varer i ytterligere 2000 timer, fram til 28. september 2015, også i nesten 3 måneder. Dette gir til sammen 320 000 partikler som blir sluppet ut i indre deler av Viksfjorden. De fleste partiklene forsvinner ut i ytre deler av Viksfjorden, men en betydelig andel (drøye 50 000 partikler) blir værende eller går innom Varildfjorden i løpet av de 2000 timene, og blir da inkludert i analysen.

Beskrivelser av analysene og deres metodikk er gitt i kapittel 2.2.1, 2.2.2 og 2.2.3.



Figur 6: Oversikt over de 10 stasjonene (blå kryss og med tall) hvor det ble sluppet ut partikler i FISCM-simuleringene (kartverktøy: www.olex.no).

2.2.1 Oppholdstid for vannmasser

Oppholdstider for partiklene i indre Viksfjorden er beregnet ved å dele opp i mindre områder. Det største og viktigste er selve Varildfjorden, mellom Opptaksplassen og Klåstadrenna (Figur 7). Andre utvalgte delområder er den nordlige delen av Varildfjorden, samt den sørlige delen av Varildfjorden.

Det er beregnet gjennomsnittlig oppholdstid innenfor hvert av de tre delområdene 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 i mindre kvadratiske beregningsceller. For eksempel er celler med sidelengde 25 m benyttet. Selve tallet for oppholdstiden er kanskje ikke så interessant, men resultatet kan illustreres og vise hvilke deler av Varildfjorden vannmassen som har lengst oppholdstid (minst vannutskiftning) når kun tidevann virker som drivkraft.



Figur 7: Oppdeling av Varildfjorden i delområder. Hvide linjer viser omrisset av selve Varildfjorden. Røde linjer viser begrensningen av sørlige delen av Varildfjorden. Den blå linja viser begrensning til nordlige delen av Varildfjorden. Oppdelingen blir brukt til å studere oppholdstider til vannmassene i de respektive delområder. Målestokk er gitt nede til venstre.

2.2.2 Retur av vannmasser

Som beskrevet i kapittel 2.2.1 blir et stort antall partikler først spredt omkring i Varildfjorden og i Viksfjorden (jfr. Figur 6). Når analysen starter blir det ikke tilført nye partikler. Området deles opp i to deler. Den ene delen representerer Varildfjorden og litt til, med begrensninger ved Vikerøybrua i sørvest og Klåstadrenna i nordøst. Den andre delen representerer «ytre» delen av Viksfjorden, med begrensninger langt ute i Viksfjorden i sørvest og Vikerøybrua i nordøst. Studien innbefatter da vandringer av partikler/ vannmasser frem og tilbake over delelinjen ved Vikerøybrua.

Ved omtrent flo sjø registreres alle partikler som er innenfor Varildfjorden mellom Vikerøybrua og Klåstadrenna (A), se Figur 8.

Ved påfølgende fjære sjø (mellom 4 og 8 timer senere) registreres alle partikler som både var innenfor Vikerøybrua ved forrige flo sjø og som nå er utenfor Vikerøybrua ved fjære sjø (B).

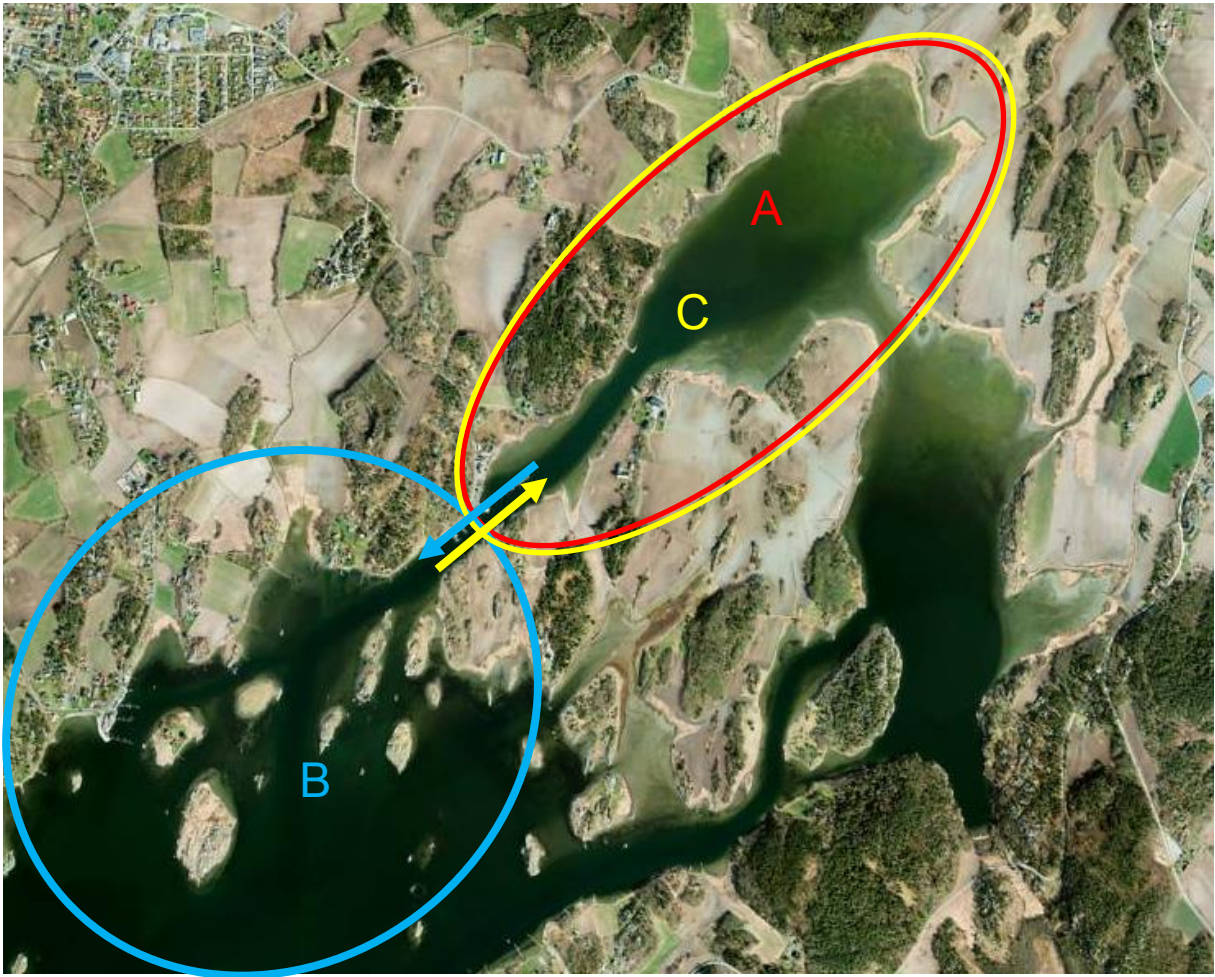
Ved neste flo sjø (mellom 10 og 14 timer senere) registreres det så alle partikler som både var innenfor Vikerøybrua ved forrige flo sjø (A) og utenfor Vikerøybrua ved påfølgende fjære sjø (B), og som nå i tillegg har returnert til området innenfor Vikerøybrua (C).

Prosentandelen beregnes av returnerende partikler etter neste tidevannsinstrømning i forhold til alle partiklene som strømmet ut ved den foregående synkende vannstand i tidevannssyklusen. Det er utført tester som viser at maksimalt antall partikler som fraktes ut med tidevannet ikke nødvendigvis er akkurat ved fjære sjø. Likeledes er det ikke alltid at maksimalt antall partikler har returnert nøyaktig ved flo sjø, og heller ikke at vannmassene har stoppet opp og står stille i hele Viksfjorden ved flo og fjære sjø. Derfor er det inkludert opptelling av utgående partikler for mellom 4 og 8 timer etter hver test for flo sjø, og den maksimale verdien er valgt ut fra disse. Likeledes er det inkludert opptelling av returnerende partikler for mellom 10 og 14 timer etter hver test for flo sjø, og igjen er den maksimale verdien av disse valgt. Prosentandelen beregnes så ut fra disse to tall.

Denne beregningen har vært utført på alle tidssteg, slik at man får med seg maksimalt antall partikler som returnerer. For å klargjøre tidevanns-syklusen og avgjøre tidspunkter for flo i analysen, er kurven for den beregnede prosentandelen av returnerende partikler glattet tilstrekkelig i tid slik at flo-tidspunktene kan gjenfinnes. Uten glatting vil det være flere lokale ekstremverdier for returandel av partikler, med større hyppighet enn ved hver tidevanns-syklus. Når tidspunktene for flo er funnet, benyttes disse tidspunktene til å finne maksimale prosentandeler av returnerende partikler ved hver tidevanns-syklus. Det er valgt å inkludere en periode på 5 timer før og etter tidspunktene for tidspunktene for flo, for å være sikker på å fange den maksimale prosentandelen av returnerende partikler.

Tidsstegene i analysen har vært på 1 time. Med et kortere tidssteg, kan man muligens få en noe høyere verdi for returnerende partikler fordi man får høyere nøyaktighet på både maksimalt antall utgående partikler og maksimalt antall returnerende partikler. Denne unøyaktigheten vurderes som marginal.

Analysens varighet angående returneringen av vannmasser begrenses til en drøy måned (800 timer). Etter dette er Varildfjorden blitt vesentlig tømt for partikler, og antall partikler i studien vurderes som u hensiktsmessig til å gi god nøyaktighet og samsvar med reelle vannmasser.



Figur 8: Illustrasjon av metodikken for å beregne andelen av partiklene eller vannmassene som returnerer til Varildfjorden. Ved omtrent flo sjø, er det et visst antall partikler i ellipse A (rød ellipse). Ved fjære sjø har en viss andel av dette antallet partikler beveget seg ut i ytre deler av Viksfjorden (blå ellipse, for oversikts skyld, men partiklene beveger seg gjerne enda lenger mot vest). Ved påfølgende flo sjø har så en del av disse partiklene, som var i både A og B ved forrige flo og fjære sjø, så returnert til Varildfjorden (C, gul ellipse).

2.2.3 Halveringstid

For å illustrere vannutskiftningen på en annen måte er det også beregnet halveringstider for partiklene som befinner seg innenfor Varildfjorden. Det beregnes da hvor lang tid det vil ta før halvparten av partiklene i Varildfjorden er transportert ut av fjorden med tidevannet. Det tas utgangspunkt i ett tidspunkt, med et stort antall partikler innenfor et bestemt volum av fjorden.

Beregninger av halveringstid foretas på to måter. Den ene måten tar fokus på vilkårlige partikler tilstede i interesseområdet, altså kun antallet av partikler. Den andre måten tar fokus på kun de spesifikke partiklene som befinner seg innenfor området når analysen starter.

2.3 Tidevannsanalyse og generell analyse av strømdata

Strømdata ble målt av NIVA i perioden 8. juli – 9. august 2013 på ca. 2 m dyp under Vikerøybrua, med bruk av en RCM-11 akustisk punktmåler. Disse dataene har delvis blitt beskrevet og rapportert i Moy m.fl. (2014) og Leikvin m.fl. (2014B).

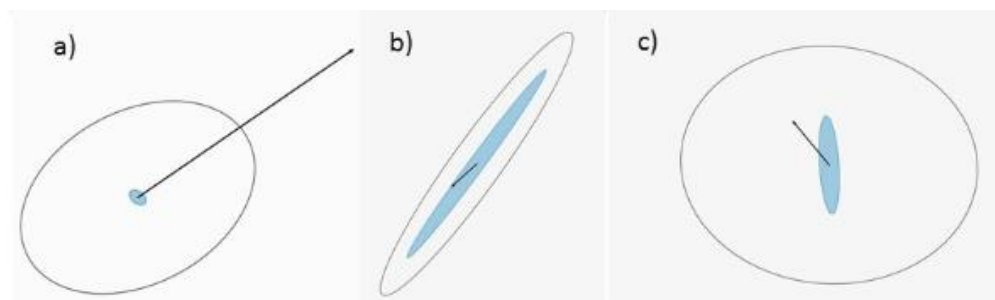
I den foreliggende studien blir disse strømmålingsdata analysert i mer detalj, og med spesielt fokus på tidevannsanalyse for å beskrive hvor mye av variabiliteten i strømhastigheten som kan forklares av tidevannet.

Strømhastigheter ble målt i ca. en måned, noe som er tilstrekkelig for en brukbar tidevannsanalyse. Ettersom periodene til de ulike komponentene av tidevannet er kjente, kan man søke systematisk etter dem i måleserien, og dermed estimere tidevannets bidrag til variabiliteten i det totale strømbildet. Den vanligste teknikken for å gjøre dette kalles harmonisk analyse. Den harmoniske analysen i denne studien ble utført med programvaren MATLAB og programpakken T-Tide (Pawlowicz m.fl., 2002). Bidraget fra strømmen som ikke kan forklares som tidevann, kalles reststrøm. Totalstrømmen er da summen av tidevannsstrøm og reststrøm.

For å illustrere styrkeforholdet mellom ulike kilder til variabilitet er det også beregnet variansellipser for hver av komponentene tidevannsstrøm, reststrøm og totalstrøm (Matematisk utledning er vist i Vedlegg C). En variansellipse forteller noe om graden av variabilitet i styrke og retning, og tre eksempler er vist i Figur 9a-c. Forholdet mellom middelstrømvektor og variansellipse for strøm kan sammenlignes med forholdet mellom middelvei (gjennomsnitt) og standardavvik for andre datasett (for eksempel temperatur). Dersom standardavviket er lite i forhold til middelveien, vil verdiene over tid variere lite og ligge nær middelveien. På samme måte, dersom en variansellipse er liten i forhold til middelstrømvektoren, vil strømmen på ulike tidspunkter avvike lite fra middelstrømvektoren (Figur 9a). I andre tilfeller, for eksempel i områder med sterk strøm og sterkt skiftende strømrretning, vil variansellipsen være stor i forhold til middelstrømvektoren, og middelstrømvektoren er da generelt ikke representativ for strømmen på et gitt tidspunkt (Figur 9b).

Dersom ellipsen er nesten helt rund betyr dette at avviket fra middelstrømvektoren på et gitt tidspunkt kan være i hvilken som helst retning (Figur 9c). Dersom ellipsen derimot er smal, viser orienteringen til ellipsen hvilke retninger avviket fra middelstrømvektoren sannsynligvis vil ha (Figur 9b). En annen måte å tenke på dette på er å se for seg at variansellipsen er plassert med sentrum i enden på middelstrømvektoren. Da vil området som dekkes av ellipsen være det området strømvektoren på et gitt tidspunkt mest sannsynlig vil holde seg innenfor.

Variansellipsen for tidevann må ikke forveksles med tidevannsellipser som det er vanlig å plote for de forskjellige tidevannskonstituentene. I vårt tilfelle viser ellipsen retning og størrelse til ett standardavvik av variabiliteten forårsaket av tidevannsstrøm, når alle tidevannskonstituentene bidrar.

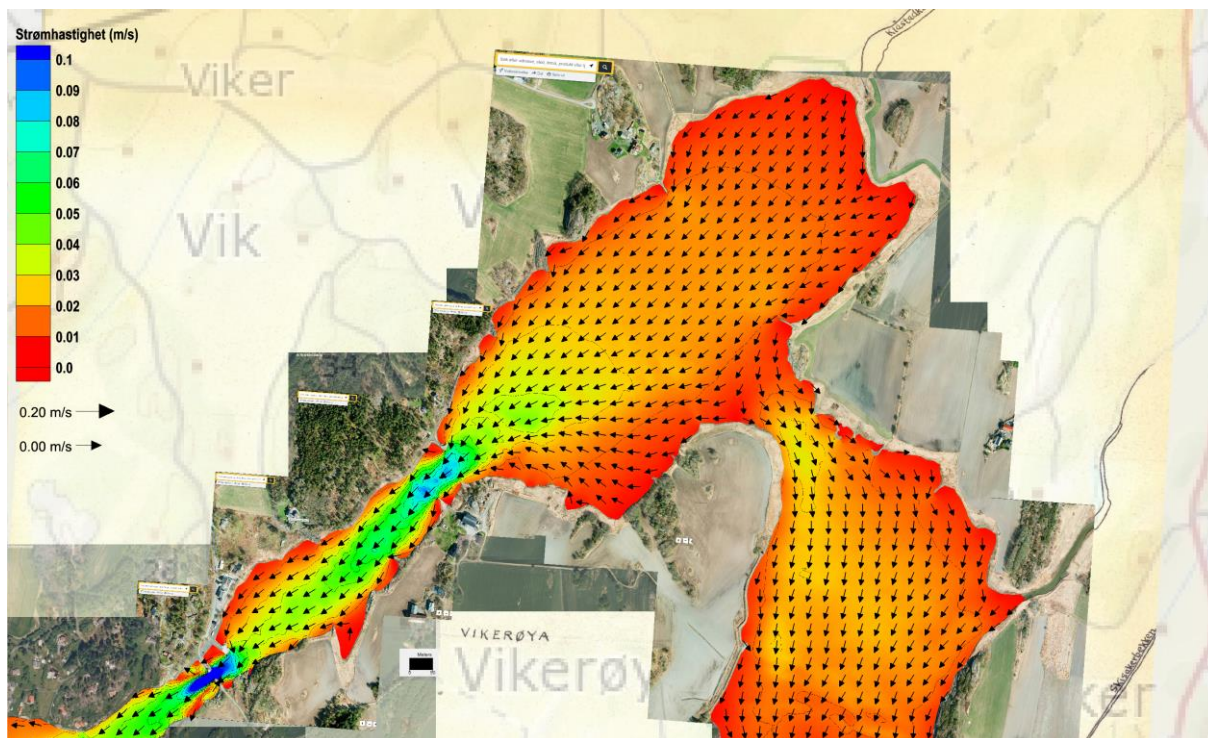


Figur 9: Eksempler på tre ulike variansellipser for tidsserier med: a) markert hovedstrømrretning og lite tidevann, b) markert tidevann og 2 hovedstrømrretninger, c) stor retningsvariabilitet.

3 Resultater

3.1 Modellering av hydrodynamikk i Viksfjorden

Nye kjøringar med FVCOM for hydrodynamikk er utført for Viksfjorden, med kun tidevann som drivkraft. Denne gang ble det simulert for et halvt år, mellom 1. april og 1. oktober 2015. Det er utført tester, og tilsvarende resultater som rapportert i Leikvin m.fl. (2014B) er funnet (Figur 10).



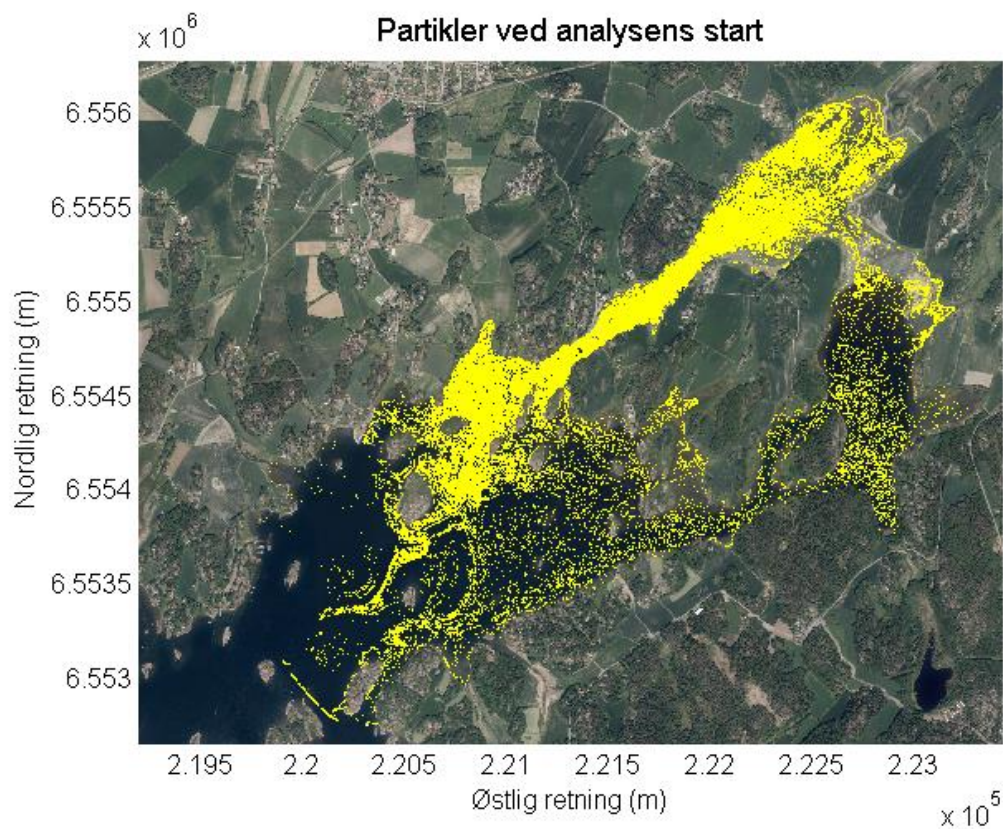
Figur 10: Illustrasjoner av stillbilder fra simuleringer med RMA2 (Leikvin, 2014B) ved fallende sjø med kun tidevann som drivkraft. Pilene viser strømmetning. Fargene viser strømfart, med skala oppe til venstre. FVCOM viser tilsvarende strømmønstre. Ved stigende sjø simuleres det tilsvarende strømfarter, men pilene peker i motsatt retning.

3.2 Modellering av partikkeltransport i Viksfjorden, med fokus på vannutskifting i Varildfjorden

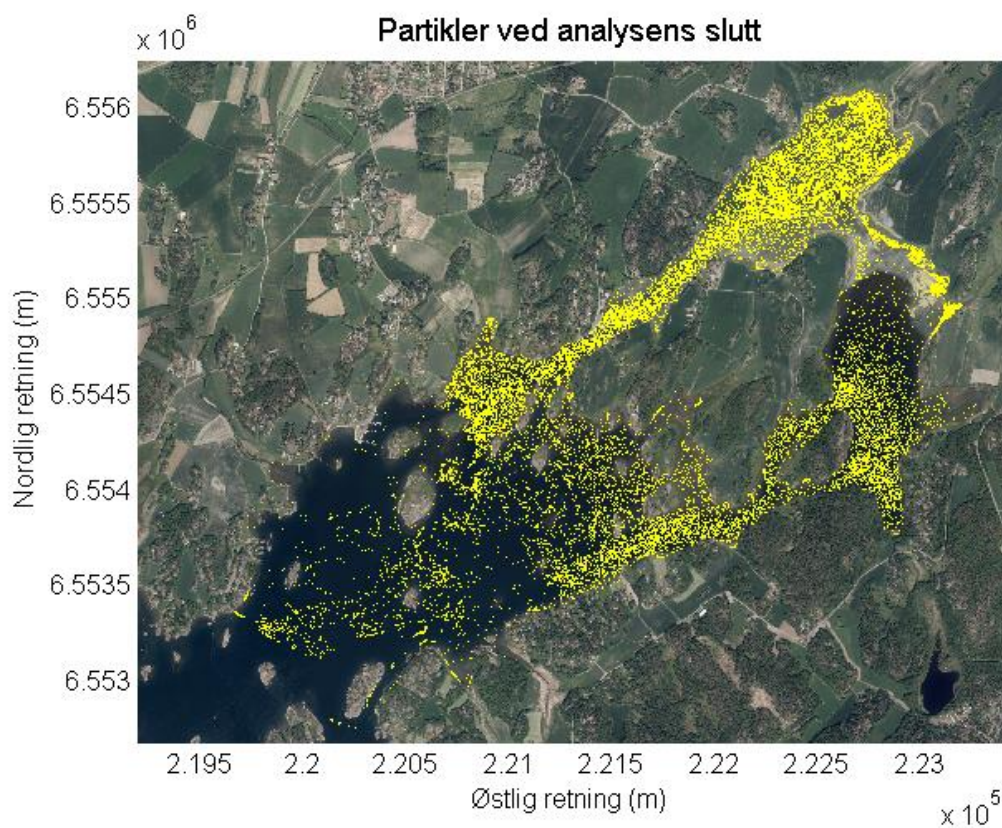
Med bakgrunn i de hydrodynamiske resultater med kun tidevann som drivkrefter, er det gjort forskjellige kjøringar med utslipp av partikler til indre deler av Viksfjorden. Partiklene får da strømshastigheter som gitt i løsningen fra den hydrodynamiske kjøringen i kapittel 3.1. Hovedfokus har vært på:

- Oppholdstider i Varildfjorden
- Halveringstider
- Retur av vannmasser til Varildfjorden med innstrømmende tidevann

Partiklene har blitt spredd utover fra de 10 stasjoner beskrevet i kapittel 2.2, og utbredelsen av partiklene er illustrert ved henholdsvis analysens start (Figur 11a) og slutt (Figur 11b). 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.



a)



b)

Figur 11: Oversikt over utbredelsen av partiklene (gule prikker) 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.

3.2.1 Oppholdstider i Varildfjorden

Resultater fra analysen som omfattet nesten tre måneder av sommerhalvåret 2015, er gitt i Tabell 1. Kolonnene viser beregninger med ulike valg av minste lengde på oppholdstid for at partiklene skal inkluderes i beregningene, mellom 1 og 5 timer.

Partiklene som var inne i området i lenger enn 2.5 måneder i strekk ble fjernet fra analysen, da det var typisk for disse partiklene at de satt fast ved land.

Det konkluderes med at den gjennomsnittlige simulerte oppholdstid for vannmassen i innerste del av Varildfjorden er i gjennomsnitt 34 timer.

For ytre delen av Varildfjorden, mot sørvest, er oppholdstiden i gjennomsnitt 15 timer.

For Varildfjorden sett under ett, er vannmassenes gjennomsnittlig oppholdstid 25 timer. Retningsgivende verdier for oppholdstidene er skissert i Figur 12.

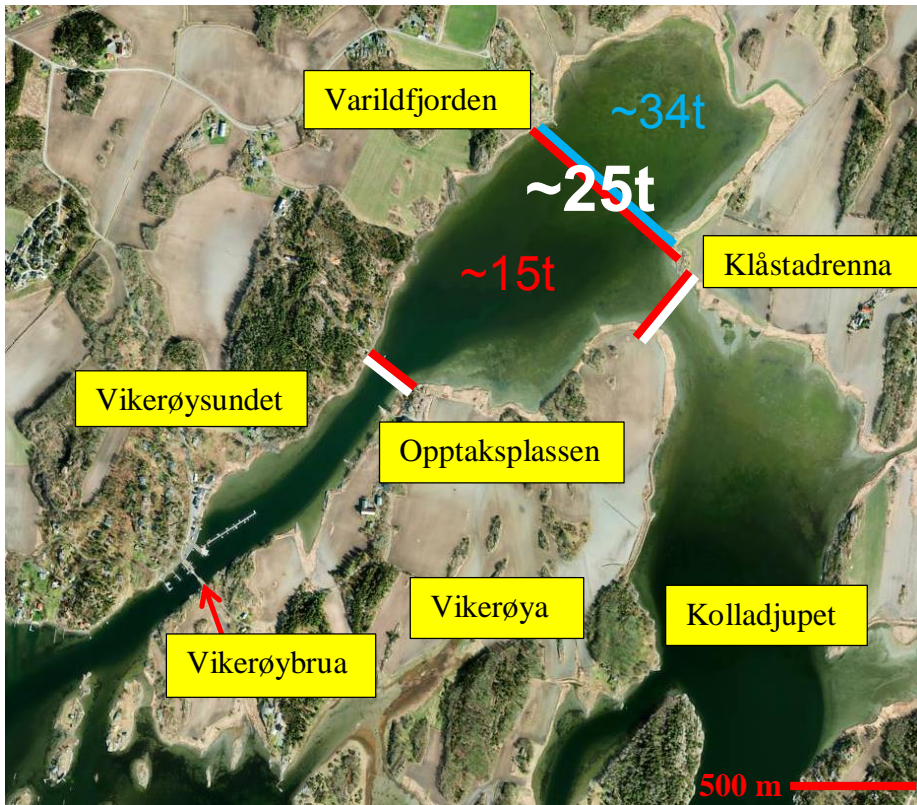
Det vektlegges at oppholdstiden er svært varierende for de individuelle partiklene, og varierer altså mellom 1 time og flere hundre timer.

Dersom man velger å benytte kun hver enkelt partikkels lengste oppholdstid i hvert delområde, så blir de gjennomsnittlige oppholdstidene vesentlig lenger. For nordøstlige del av Varildfjorden er gjennomsnittlig lengste oppholdstid da 287 timer (ca. 12 dager). For sørvestlige del av Varildfjorden var gjennomsnittlig lengste oppholdstid 74 timer (ca. 3 dager), og for Varildfjorden totalt sett 219 timer (drøye 9 dager).

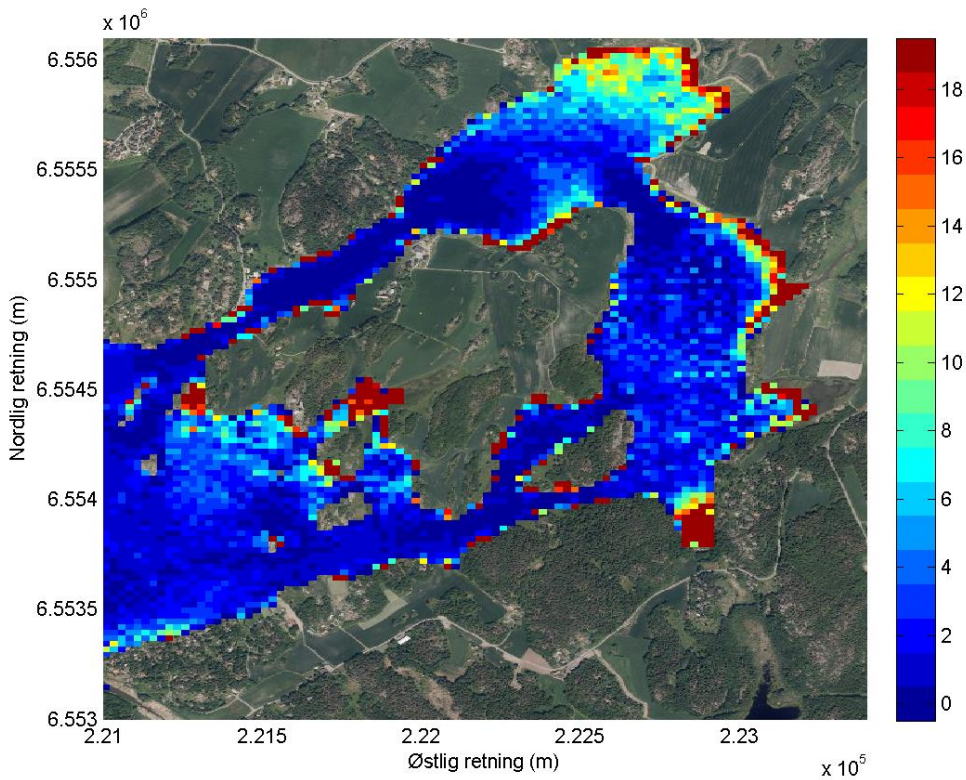
Ved å studere Figur 13 med små kvadratiske celler på 25m x 25m størrelse, og den gjennomsnittlige maksimale oppholdstiden til partiklene i disse, kan gradienter av oppholdstid i Varildfjorden og i farvannene ved Vikerøya finnes. Spesielt den nordlige delen av Varildfjorden har lange gjennomsnittlige oppholdstider. Også grunnområdet sørøst i Varildfjorden, sør for Klåstadrenna, har relativt lang oppholdstid.

Tabell 1: Resultater og statistikk fra beregninger av gjennomsnittlig oppholdstid i timer for partikler i Varildfjorden, Varildfjorden-nord og Varildfjorden-sør illustrert i Figur 12. Merk at statistikken bygges på 2001 tidssteg med tidsintervall på 1 time, tilsvarende snaue 3 måneder. Kolonnen i gult viser beregninger der ingen av partiklene med kort oppholdstid i delområdene er fjernet. De andre kolonnene viser beregninger der partikler med 1-5 timers oppholdstid er fjernet.

| Område | Partikkelanalyse | Ingen partikler fjernet | Partikler med <2 timers oppholdstid fjernet | Partikler med <3 timers oppholdstid fjernet | Partikler med <4 timers oppholdstid fjernet | Partikler med <5 timers oppholdstid fjernet | Partikler med <6 timers oppholdstid fjernet |
|---------------------|--------------------------------------|-------------------------|---|---|---|---|---|
| Varildfjorden | Gjennomsnitt av maksimal oppholdstid | 219 | 221 | 226 | 230 | 236 | 239 |
| | Gjennomsnittlig oppholdstid | 25 | 26 | 29 | 33 | 38 | 43 |
| Varildfjorden, nord | Gjennomsnitt av maksimal oppholdstid | 287 | 294 | 301 | 309 | 320 | 328 |
| | Gjennomsnittlig oppholdstid | 34 | 40 | 45 | 53 | 62 | 77 |
| Varildfjorden, sør | Gjennomsnitt av maksimal oppholdstid | 74 | 75 | 77 | 78 | 81 | 82 |
| | Gjennomsnittlig oppholdstid | 15 | 18 | 21 | 25 | 29 | 33 |



Figur 12: Resultater fra analysen av oppholdstider for ulike polygoner i indre deler av Viksfjorden. 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 13: Griddet modellområde med 25 m oppløsning, hvor det hentes ut gjennomsnittlig maksimal oppholdstid ut fra de partiklene som har vært innom de ulike gridcellene. Fargeskala til høyre er i timer.

3.2.2 Retur av partikler til Varildfjorden på innstrømmende tidevann

Prosentandelen av partikler som returnerer til området nordøst for Vikerøybrua, basert på statistikken for 800 tidssteg (timer), er vist i Figur 14. Da er beregningen gitt for alle tidssteg i forhold til partikler ved påfølgende fjære og flo. Det er også tatt hensyn til at tidevannsstrømmene nødvendigvis ikke faller nøyaktig sammen med flo og fjære (se metodikk i kapittel 2.2.2).

Gjennomsnittlig andel av partiklene som kommer tilbake til området mellom Vikerøybrua og Klåstadrenna ved neste innstrømmende tidevann, er beregnet til å være 63 %.

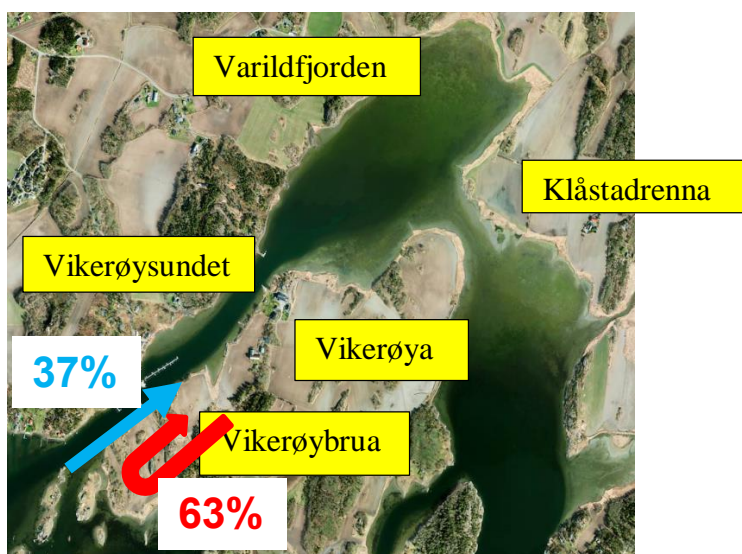
Eksempler på illustrasjoner av de returnerende partikler er gitt i Figur 15, i gult. Figur 15a) viser et eksempel der en relativt stor andel (77 %) av partiklene returnerer til området nordøst for Vikerøybrua ved påfølgende tidevannsinnstrømning, mens Figur 15b) viser et eksempel med en relativt lav andel (50 %). Det var ganske stor forskjell på de ulike spredningsrekkevidder, og –mønstre for de ulike tidevanns-syklusene.

Det er tydelig at partiklene skyter fart innover i Vikerøysund på innstrømmende tidevann, og simuleringene viser at returnerende partikler kan nå helt inn i bunnen av Varildfjorden. På utgående tidevann ser partiklene ut til å ha noe begrenset rekkevidde, og vitner om at strømhastighetene reduseres når partiklene kommer ut av Vikerøysundet på utstrømmende tidevann.

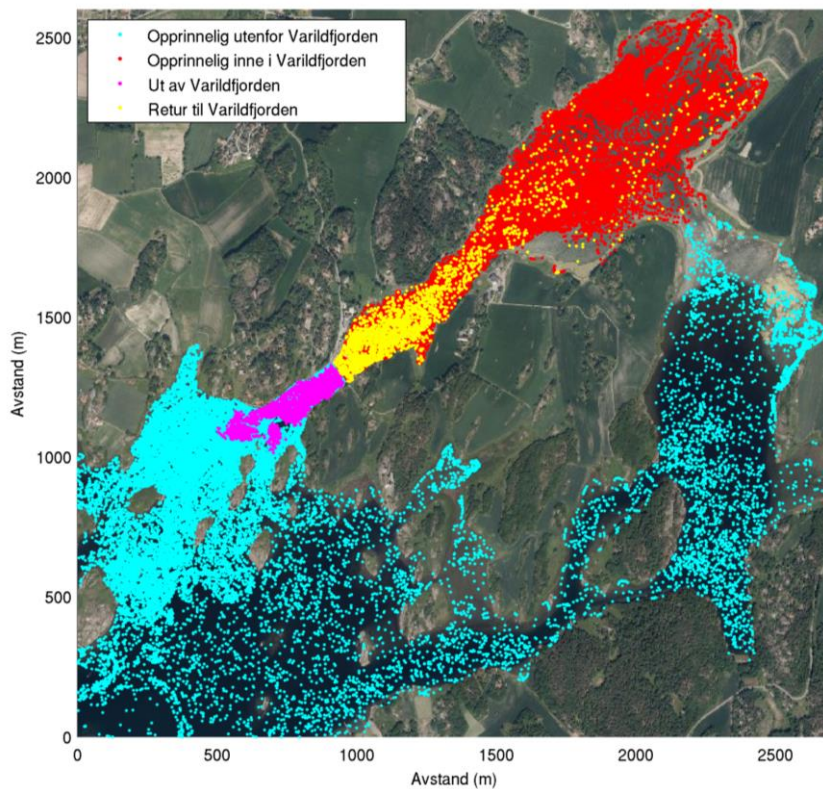
Variasjonen i andelen av returnerende partikler var betydelig og varierte mellom 47 % og 79 % i løpet av de 64 tidevannsyklusene som er blitt analysert for. Variasjonen i tid er vist grafisk i Figur 16, hvor også det glattede signalet er inkludert, som benyttes til å finne de ulike indeksene for når tidevannsstrømmen har stoppet opp omtrentlig ved hvert tidspunkt for flo. Det ser ikke ut til å være noen spesiell struktur angående når det er størst andel av partikler som kommer i retur til Varildfjorden. Det er en svak minkende tendens, i løpet av analyseperioden på en drøy måned.

Etter 800 tidssteg stanses analysen, da netto partikkelstrøm ut av Varildfjorden ifølge Figur 17 har stoppet opp, og pålitelige verdier er mindre sannsynlige.

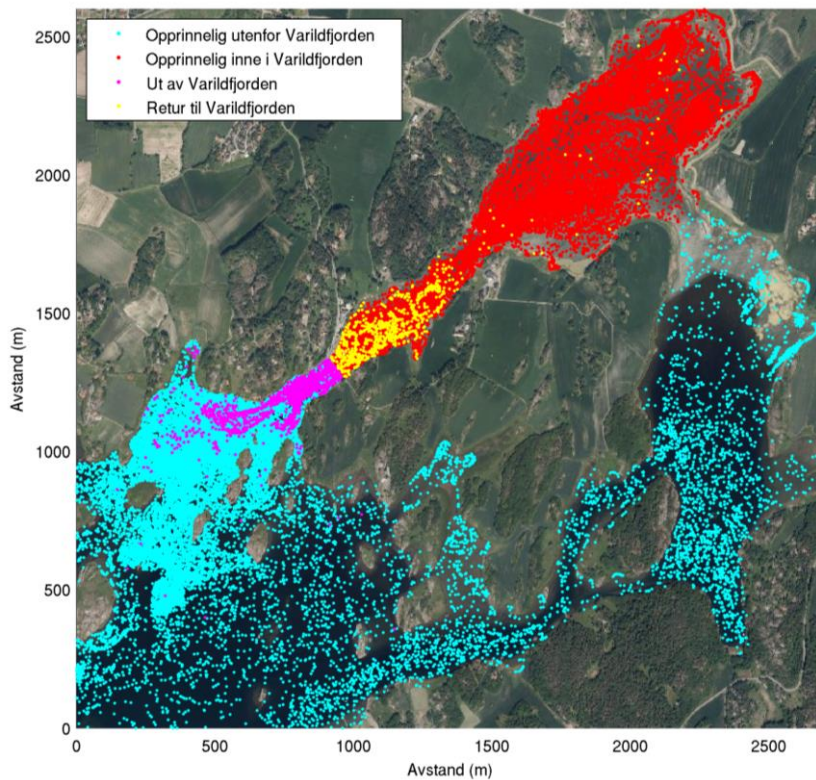
Det vurderes at antallet av de passive partikler i studien er stort nok til at disse kan gi veiledning på dynamikken til vannmassene i interesseområdet. Derfor kan omtalen av partiklene i hovedsak sidestilles med omtale av vannmassene.



Figur 14: Skissefigur av andel av returnerende (rødt) vs. nye partikler (blått) ved innstrømmende tidevann (stigende sjø) i forhold til foregående flo sjø. Det antas i studien at partikkelanalysen tilsvarende analyse av vannmasser.

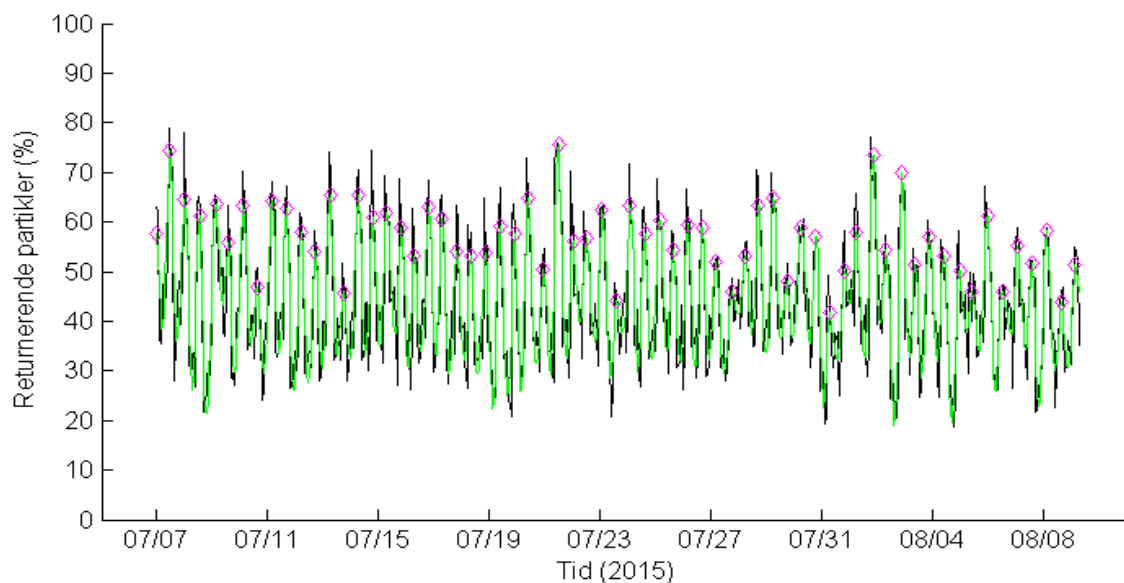


a)

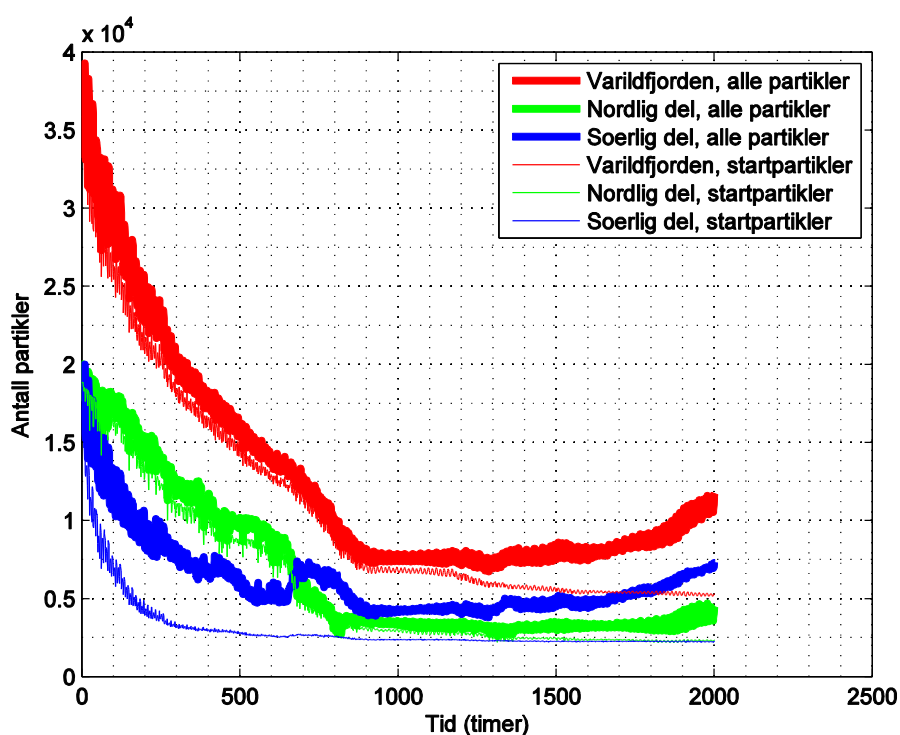


b)

Figur 15: Illustrasjoner av 2 eksempler med henholdsvis a) 77 % og b) 50 % returnerende partikler. Lyseblå partikler er partikler tilstede utenfor området mellom Vikerøybrua og Klåstadrenna, ved flo sjø. Røde partikler er partikler tilstede innenfor dette området ved flo sjø. Lilla viser partikler utgående partikler som er utenfor dette området ved neste lavvann (ca. 6 timer senere). Gult viser partikler som har returnert til området mellom Vikerøybrua og Klåstadrenna ved neste flo sjø (ca. 12 timer senere). Utgående og returnerende partikler har fått ekstra tykke markeringer, for illustrasjonens skyld.



Figur 16: Resultat for løpende beregninger av returnerende vannmasser ved påfølgende innstrømmende tidevann for en drøy måned. Sort kurve angir de reelle beregninger. Grønn kurve viser glattet signal (se metodikk i kapittel 2.2.2), som er benyttet for å definere tidevannssignalet og omtrentlige tidspunkter for tilfeller av flest returnerende partikler i løpet av hver tidevannsyklus. Lilla bokser viser disse tidspunktene. Det er så tatt utgangspunkt i tidene for makspunkt, og den maksimale returnerende andel kan leses av fra sort kurve. Det er gitt et slingringsmonn på 5 timer før og etter tidene for makspunktet, til å finne de nøyaktige verdier av maksimalt antall returnerende partikler per tidevannsyklus.



Figur 17: Antall partikler i Varildfjorden (rødt) og delområder av denne (grønt viser bukta i nord; blått viser sørlige del), og utviklingen i antall partikler over analyseperioden på 2000 timer.

3.2.3 Halveringstider av antall partikler innenfor Varildfjorden

Analysen forteller at antallet partikler i Varildfjorden reduseres raskt i første halvdel av analyseperioden (Figur 17). Det vises både for utviklingen av de partiklene som var med i fra starten (tynne streker) og for utviklingen av totalt antall partikler i delområdene (tykke streker).

Halveringstiden for totalt antall partikler innenfor Varildfjorden, mellom Opptaksplassen og Klåstadrenna, er beregnet til å være ca. 320 timer, som tilsvarer ca. 13 dager. Begrenses analysen til å tilsvare de opprinnelige partiklene fra starten av analysen, blir halveringstiden 260 timer, omtrent 11 dager.

Liknende beregninger for bukta i nordøst i Varildfjorden (Figur 12) og delområdet lenger sørvest i Varildfjorden gir halveringstider på henholdsvis 520 timer (22 dager) og 150 timer (6 dager) når alle partikler er med i analysen. Med kun startpartiklene inkludert i beregningene, blir halveringstidene henholdsvis 400 timer (17 dager) og mer beskjedne 50 timer (2 dager).

Det tar altså betydelig tid før halvparten av partiklene eller vannmassene i Varildfjorden og spesielt i den nordøstlige bukta er skiftet ut. I sørlige del av Varildfjorden er det vesentlig kortere utskiftningstider.

Tabell 2: Oversikt over beregninger av halveringstider for ulike delområder i indre Viksfjord (timer).

| Halveringstider (timer) | Alle partikler | Partikler som var i området ved starten på analysen |
|-------------------------|----------------|---|
| Varildfjorden | 320 | 260 |
| Varildfjorden, nord | 520 | 400 |
| Varildfjorden, sør | 150 | 50 |

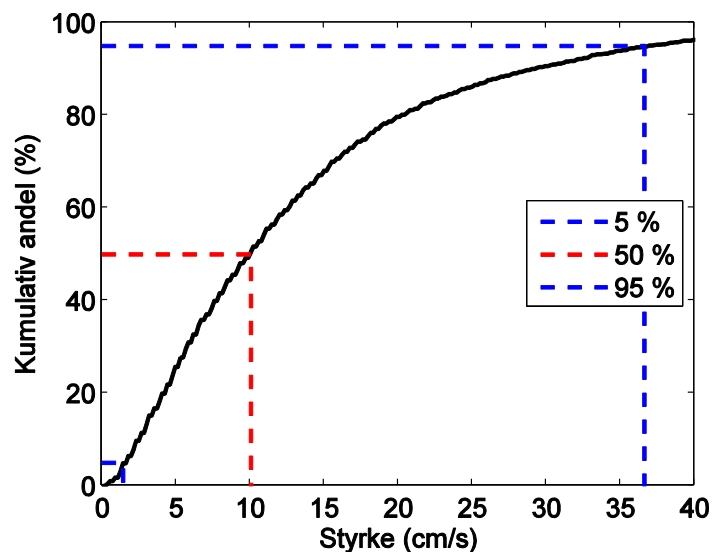
3.3 Strøm- og tidevannsanalyse

Resultater fra analysen av strømmålingene fra 8. juli – 9. august 2013 under Vikerøybrua vises med fokus på strømstyrke, strømrretning, tidevann og nettostrøm.

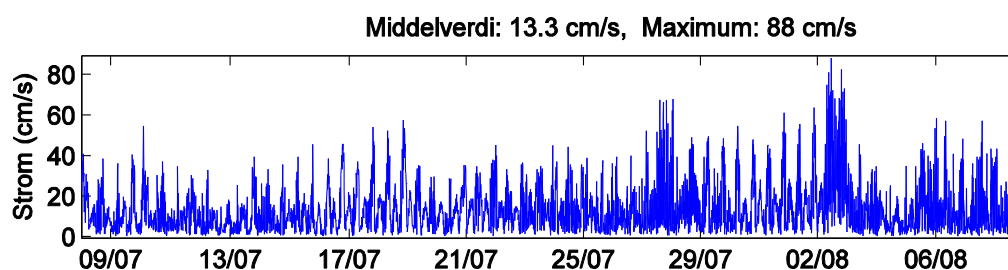
3.3.1 Strømstyrke

En kumulativ fordeling av strømstyrken uavhengig av retning er vist i Figur 18. 50-prosentilen eller medianen (rød stiptet linje) på strømstyrken under måleperioden ble estimert til 10.0 cm/s, og gjennomsnittsfarten til strømmen var 13.3 cm/s (Figur 19). 5-prosentilen var 1.8 cm/s, mens 95-prosentilen var 37.0 cm/s (de to blå stiplede linjene).

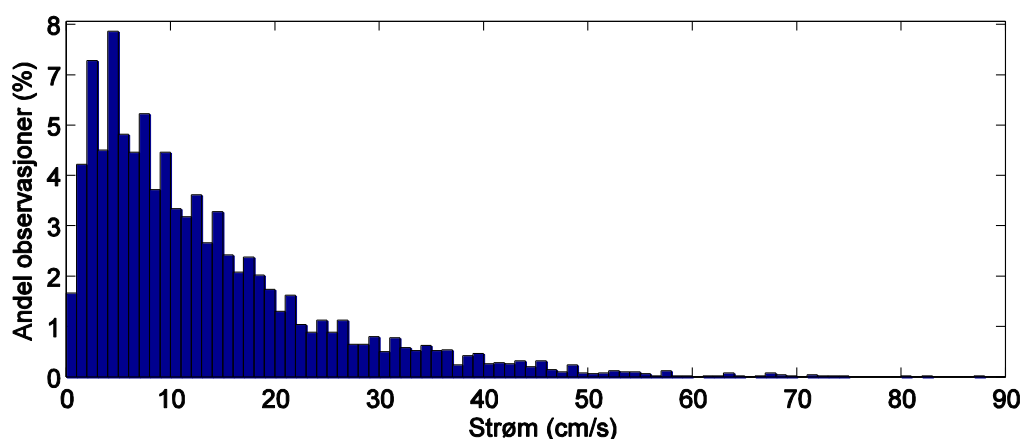
Også strømstyrker høyere enn det som er vist i Figur 18 ble observert i måleperioden. De høyeste verdiene var over 80 cm/s (se Figur 19 og Figur 20), med maksimal strømfart på 88 cm/s. Dette var imidlertid enkeltstående tilfeller. Figur 20 viser at vanligste strømhastigheter er mellom 2 og 8 cm/s. Dersom en antar at resultatene for vår måleperiode er rimelig representative for normaltstanden til strømstyrken i denne posisjonen, vil strømstyrker over 37 cm/s kun forekomme i 5 % av tiden.



Figur 18. Prosentvis kumulativ fordeling av strømstyrke. Stiplet rød linje markerer 50% grensen (50% av strømmålingene var lavere enn denne verdien). Nedre stiplet blå linje markerer 5 % grensen og øvre stiplet blå linje markerer 95 % grensen.



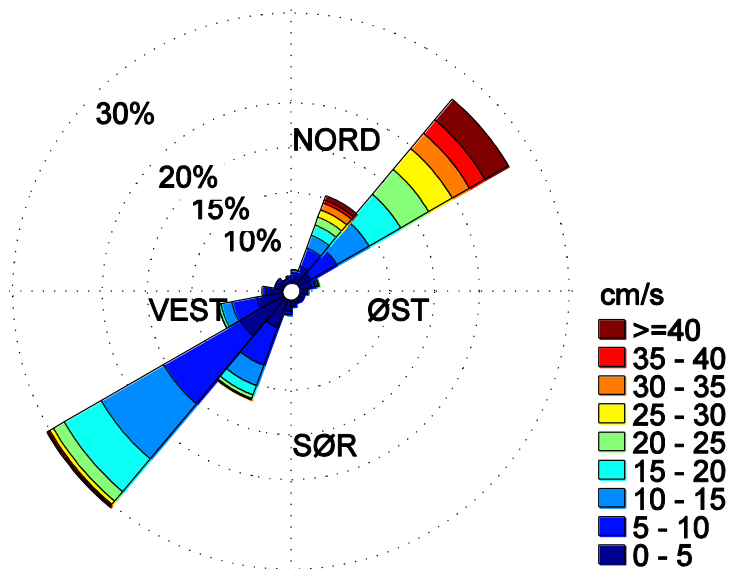
Figur 19: Tidsserie for målinger av strømstyrke under Vikerøybrua mellom 8. juli og 9. august 2013.



Figur 20: Relativ frekvensfordeling av antall observasjoner fordelt på de ulike hastighetsintervall, med 1 cm/s oppløsning.

3.3.2 Strømretning

Retningsfordelingen til strømmen under Vikerøybrua er vist i Figur 21. Retningen var i hovedsak mot sørvest (ca. 30%) og mot nordøst (like under 30%). Det var generelt størst andel av sterk strøm i nordøstlig retning. I sørvestlig retning ble det sjelden målt strømhastighet over 30 cm/s, mens i nordøstlig retning var det en betydelig andel målinger over 30 cm/s.



Figur 21. Strømrose som viser retningsfordeling med oppløsning på 20 grader i retningen vannmassene strømmer mot, samt strømstyrkefordeling i hver sektor (intervall: 5 cm/s). Totallengden på sektorene indikerer andel målinger (%) i respektive retninger i løpet av måleperioden. Lengden på hvert fargesegment i hver sektor bestemmer videre den relative andelen av målinger med korresponderende strømstyrke (se fargeskala) innenfor hver enkelt sektor. For eksempel, jo mer gul farge i en sektor, desto hyppigere strøm med styrke 25-30 cm/s i den retningen.

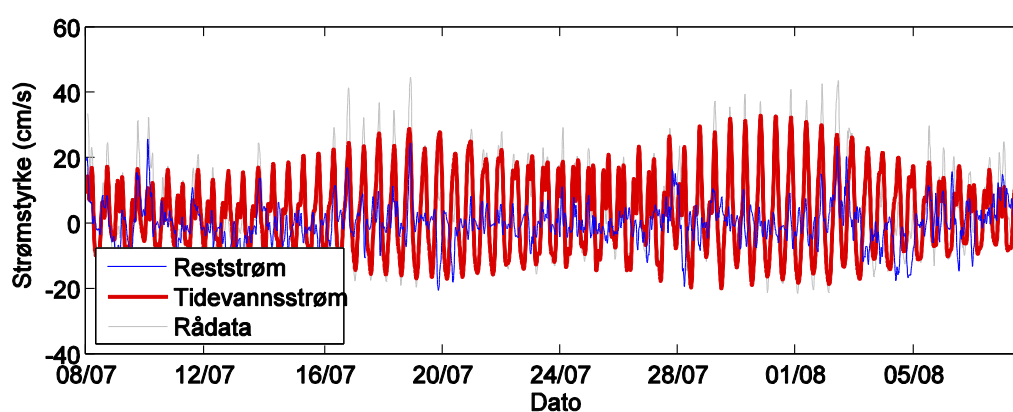
3.3.3 Variabilitet – tidevannsstrøm og reststrøm

For å skille ut tidevannskomponenten av strømmen ble det foretatt en harmonisk analyse av strømndataene. Først ble koordinatsystemet rotert, slik at hovedstrømretningen ble orientert med x-aksen parallelt med Vikerøysund, med positiv retning inn mot Varildfjorden, mot nordøst. For å unngå eventuell målestøy i analysen er dataene filtrert med to timers lavpass-filer. Den estimerte tidevannskomponenten i strømmen på lokaliteten er vist i Figur 22 med rød linje. Generelt gir denne tidevannsanalysen gode resultater, men det er viktig å huske på at dette er et estimat og ikke alltid en helt nøyaktig representasjon av tidevannsstrømmen. I dette tilfellet viser analysen at maksimal tidevannsstrøm var 33.1 cm/s, og gjennomsnittlig tidevannsstrøm var 10.1 cm/s. Den gjennomsnittlige tidevannsstrømmen ligger ganske nær den totale gjennomsnittsstrømmen som ble målt, 13.1 cm/s (se kapittel 3.3.1). Retningen på tidevannsstrømmen varierte mellom to hovedstrømretninger, mot nordøst og mot sørvest (Figur 23). Maksimal styrke på reststrømmen var ca. 25.7 cm/s, men så høye verdier forekom sjelden, og reststrømmen hadde en middelvei på 4.5 cm/s.

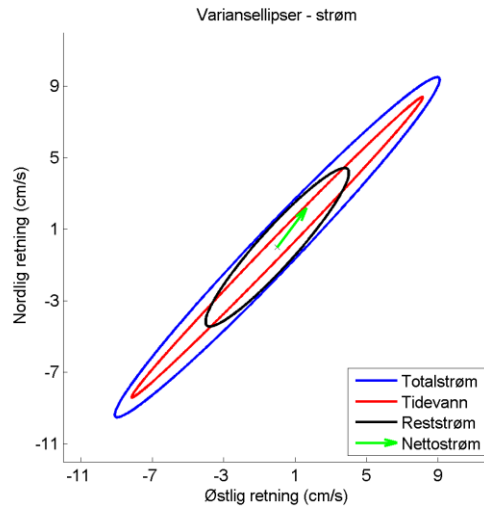
Variabiliteten i strømmen som kan forklares ved tidevannsvariasjon, ble estimert til ca. 80 prosent. Med ufiltrerte data ble variabiliteten forklart ved tidevann ca. 50 %, med relativt kortvarige virvler og andre signaler i strømvariasjonen inkludert.

Dette gjenspeiles i Figur 23, hvor variansellipsen for tidevannet har både samme form og retning og nesten samme størrelse som variansellipsen for totalstrømmen. Nettostrømmen på ca. 3 cm/s mot nordøst var liten i forhold til variansellipsene (Figur 23). Dette betyr at strømmen på et gitt tidspunkt vil kunne avvike betydelig fra gjennomsnittssituasjonen, og vil til stor grad være bestemt av tidevannet på det spesifikke tidspunktet.

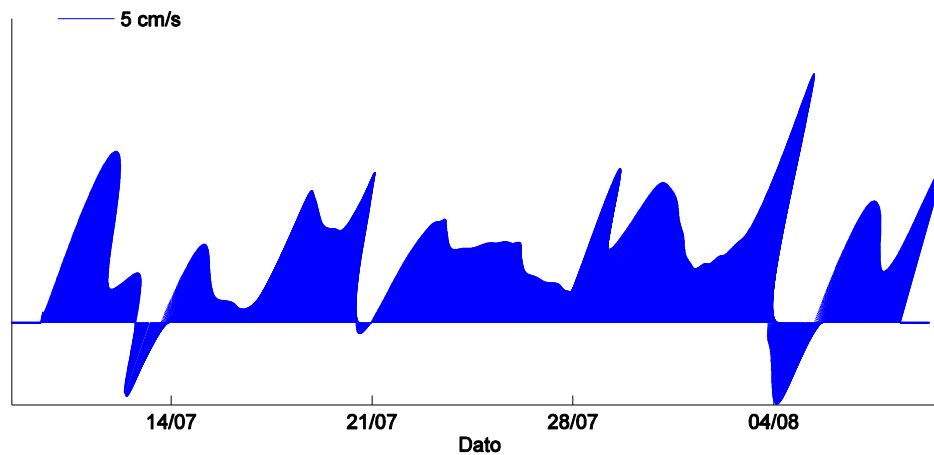
I Figur 24 er det tatt utgangspunkt i den opprinnelige tidsserien for strømhastighet, der det er benyttet et 1 døgns glidende middel. På denne måten er tidevannssignaler glattet bort, og det er reststrømmen som er illustrert i et stikkplot. Det glattede signalet vises med en vektor per måletidspunkt. Det er tydelig at reststrømmen som regel har retning mot Varildfjorden i nordøst. Reststrømmen hadde ofte en bestemt retning over flere døgn, til forskjell fra tidevannet. Det var også et par mindre episoder med reststrøm mot sørvest.



Figur 22. Estimert tidevannsstrøm (rød kurve) og reststrøm (blå kurve) med rådata i bakgrunnen (grå kurve). Tidevannsanalysen er gjort for strømndata vinkelrett på bruas lengderetning, med positive verdier mot nordøst (rotert koordinatakse).



Figur 23. Middelstrømvektor (nettostrøm, grønn pil) og variansellipser for tidevannsstrøm (rød), reststrøm (sort) og totalstrøm (blå).



Figur 24: Glattede tidsserier (1 døgns glidende middel) av strømhastighet for målingen på 2 m dyp under Vikerøybrua. De blå pilene viser strømhastighet og retning gjennom tidsserien, der nord er oppover, sør nedover, øst mot høyre og vest mot venstre. Lengden av en strømhastighet på 5 cm/s er vist med linjen øverst i figuren. Midlingen som er benyttet vil i praksis bety at tidevannsstrømmen er filtrert bort.

3.4 Nettostrøm og vanntransport

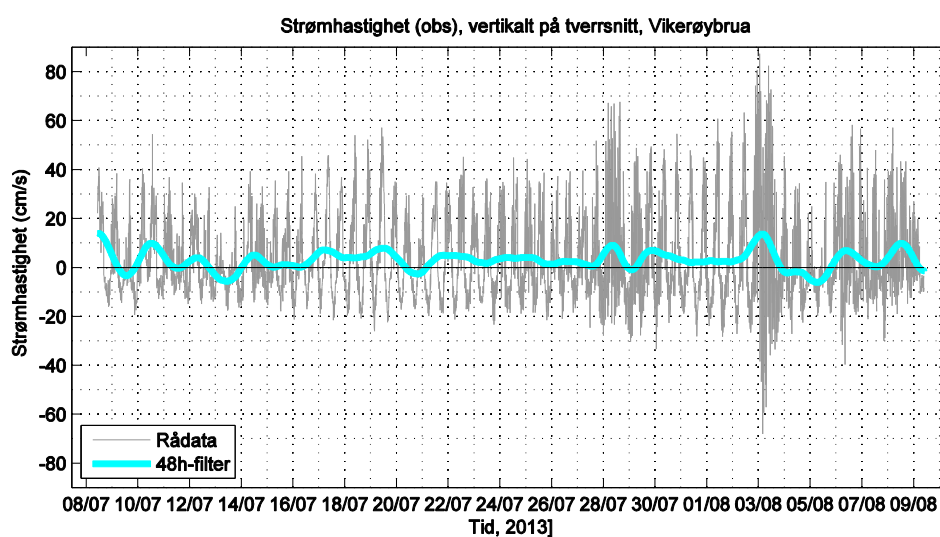
Figur 25 viser strømhastigheter parallelt med Vikerøysund (langs hovedstrømretningen), med positiv strøm i nordøstlig retning. I denne figuren er også et lavpassfilter på 48 timer (pl33tn, dokumentert i Beardsley, 2005) benyttet (i blått), som glatter over det halvdaglige tidevannsignalet. Det er tydelig at dette signalet ikke er symmetrisk om null, men at det nesten alltid er en nettostrøm sørvestover mot ytre Viksfjorden eller innover mot Varildfjorden, mot nordøst. Nettostrømmen var ofte i størrelsesorden 5 cm/s sammenhengende i lenger enn ett døgn i løpet av måleperioden i 2013.

Strømmålingene er sjekket opp mot vindmålinger fra samme periode. Det var ingen spesielt kraftige vinder i måleperioden, men det ser ut som om relativt sterk vind fra sørvest som regel ga strøm i nordøstlig retning ved Vikerøybrua. Likeledes ga relativt sterk vind fra nordøst i hovedsak strøm mot sørvestlig retning i dette området. Episoden med kraftig strøm 3. august

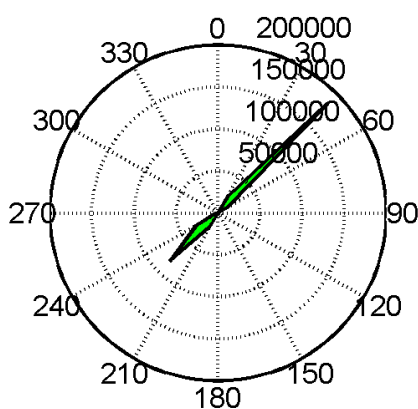
2013 var en periode med vind på ca. 14 m/s fra sørvest ved Svenner Fyr (data hentet fra www.eklima.no, se Leikvin m.fl. (2014B)).

Dersom alle strømvektorer blir satt sammen (addisjon) i løpet av måleperioden mellom 8. juli og 9. august 2013, og fordeler denne på hele måleperioden, kan nettostrømmen beregnes. Denne er 3.1 cm/s i retning nordøstlig retning. Denne nettostrømmen bekreftes av illustrasjonen av nettostrømmen i Figur 23 og reststrømmen i Figur 24.

Dersom man antar at strømmen i målepunktet representerer en partikkel eller et vannvolum som blir fraktet med strømmen med fart og retning som målt, kan vanntransporten beregnes. Et rosediagram som beskriver en slik beregning er vist i Figur 26. Det er tydelig at det er sterkest vanntransport mot nordøst i løpet av måleperioden, og den totale vanntransporten i løpet av hele måleperioden ble ca. 180 000 m³/m² (volum gjennom tverrsnitt, som her er enhetsarealet 1 m²). Dette gir et gjennomsnitt per døgn på ca. 6 000 m³/m². Tilsvarende vanntransporter mot den andre hovedstrømretningen, mot sørvest, ga henholdsvis 80 000 m³/m² for totalt gjennom hele måleperioden og 2 700 m³/m² for døgnlig vanntransport.



Figur 25: Strøm hastigheter vinkelrett på tverrsnittet ved Vikerøybrua fra målinger utført av NIVA i 2013. Positive verdier er inn mot Varildfjorden, mot nordøst. Rådata er illustrert i grått, mens filtrerte data (2 døgn) er i blått. Merk at det ifølge disse målingene så og si alltid er en nettostrøm inn eller ut av Vikerøysundet.



Figur 26. Total vanntransport for hele måleperioden i ulike retningssektorer. Størrelsen på sektorene er 15 grader. Vanntransporten er gitt ved m³/m², altså et vannvolum som går gjennom et enhetsarealtverrsnitt, summert over hele måleperioden.

4 Diskusjon og sammenfattende vurderinger

Analysen av strømndata fra 2013 under Vikerøybrua viser at det er tidevannet som er den viktigste drivkraft til strømmen og dens variasjoner i Varildfjorden. Harmonisk analyse av disse data har vist at tidevannet står for ca. 80 % av variabiliteten, når 'støy' er filtrert bort (2 timers filter).

Analysen av oppholdstider til partiklene i Varildfjorden har vist at det er lengst oppholdstid nordøst i Varildfjorden og kortest oppholdstid i sørvest. Gjennomsnittlig oppholdstid for partiklene i de tre delområdene er henholdsvis 34 timer, 15 timer og 25 timer for bukta i nordøst, den sørvestlige delen og hele Varildfjorden sett under ett, mellom Opptaksplassen og Klåstadrenna.

Oppholdstiden for de drøye 50 000 partiklene som var innom Varildfjorden i analysen varierte fra 1 time til omtrent hele analyseperioden (ca. 3 måneder). Den gjennomsnittlige oppholdstiden var noe følsom for om man inkluderte absolutt alle partikler i analysen, eller om man fjernet de som kun var innom i få timer.

Analysen for andelen av returnerende partikler ga et resultat på omtrent 63 %, i gjennomsnitt. *Det betyr at i gjennomsnitt vil betydelig mindre enn halvparten av det innstrømmende tidevannet bestå av «nytt» vann.*

Halveringstidene, dvs. hvor lang tid det tar før halvparten av partiklene er skiftet ut eller forsvunnet fra interesseområdet, er relativt lange. Spesielt for den nordlige delen av Varildfjorden med ca. 17 dagers halveringstid, vil det ta lang tid før utskiftning finner sted. Den sørlige delen derimot, vil kunne få halveringstid på et par døgn. Årsaken til de relativt lange halveringstidene er hovedsakelig tidevannets frem-og-tilbake-pumping av partikler. Selv om oppholdstidene beskrevet ovenfor er relativt korte, så har simuleringene vist at en stor del av partiklene vil komme tilbake igjen ved påfølgende tidevannsstrømninger. Delområdene blir derfor ikke kvitt partiklene fullstendig, så raskt. Den høye andelen av returnerende partikler på omtrent 63 % bekrefter denne effekten.

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.

Det er ikke inkludert vind eller horisontal diffusjon. Disse to effekter vil kunne redusere oppholdstider og øke vannutskiftningen til vannmassene i Varildfjorden.

Dersom for eksempel vind og ferskvannstilførsel inkluderes i modellen, anbefales det å benytte en 3D-versjon av modellverktøyet for å oppnå mer realistiske beregninger av sirkulasjon og spredning.

En tidevannsport vurderes plassert ved Vikerøybrua. Skisserende illustrasjoner er gitt i Leikvin og Molvær (2015). 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.

En gunstig effekt av en tidevannsport ved Vikerøybrua forutsetter at det er tidevannet som er primærdrivkraften til havstrømmene, noe som bekreftes av analysen i denne studien av strømmålingsdata utført av NIVA sommeren 2013. Det kan være noe endring gjennom året, men generelt vurderes at målingene vil være representative for det overordnede strømbildet ved Vikerøybrua.

Det er i Leikvin og Molvær (2015) også konkludert at jo lavere andel av «nye» partikler som i dag kommer inn i Varildfjorden ved hver innkommende tidevannsinnstrømning, jo mer gunstig effekt vil en etablering av tidevannsport kunne ha for vannkvaliteten i Varildfjorden. Med snaue 40 % nye vannmasser ved innstrømmende tidevann, viser de skisserende beregningene i Leikvin og Molvær (2015) at tilførselen av «nytt» vann i løpet av en tidevannsinnstrømningsperiode på ca. 6 timer mer enn fordobles, fra nesten 80 000 m³ til ca. 180 000 m³. I forhold til dagens situasjon viser da de forenklete beregningene at en tidevannsport kan medføre at mengden av «nye» vannmasser pr. tidevannsperiode øker fra litt under 10 % til ca. 24 % av volumet til vannmassene mellom Vikerøybrua og Klåstadrenna.

Graden av effekt til en eventuell tidevannsport for vannkvaliteten ved Vikerøybrua forutsetter også at vannkvaliteten er tilstrekkelig bedre i farvannene vest/ sørvest for Vikerøya, i ytre deler av Viksfjorden. Resultater fra vannprøver innhentet av HI (Moy m.fl., 2014) og NIVA (Christie, 2016) bekrefter at det er lavere konsentrasjoner av næringssalter, spesielt nitrogen, utenfor Varildfjorden. Det er svært vanskelig å si om konsentrasjonene er lave nok til å gi signifikant forbedring av vannkvaliteten inne i Varildfjorden, men det er stor sannsynlig at en tidevannsport vil ha en positiv effekt.

Ved graving av kanal (Leikvin m.fl., 2014B) vil en økt gjennomstrømning foregå ved Klåstadrenna. Denne økte gjennomstrømninga vil medføre en tilsvarende redusert innstrømning ved Vikerøybrua. Enkle beregninger gir en innstrømning av 197 000 m³ vann per tidevannsinnstrømning, som da gir ca. 79 000 m³ «nytt vann», med 40 % vannutskiftning. Uten kanal er mengden «nytt vann» skissert til å kunne utgjøre 77 000 m³, altså omtrent det samme.

Sammenliknet med en tidevannsport vil kanal, når kun tidevannet virker, gi liten gevinst i form av økt vannutskiftning eller «nye» vannmasser.

Dersom andre effekter som vind kommer inn i bildet, vil kanalen kunne gi bedre vannutskiftning, altså når det er en naturlig ensrettet bevegelse av vannmasser. Dette ser ut til å være tilfelle rundt Vikerøya, men kun i begrenset grad i styrke og tid.

En tidevannsport vil kunne gi betydelig ensretting av vannmassenes bevegelser, og øke netto vannutskiftning markant.

Effekten av tidevannsporten forutsetter at Klåstadrenna er åpen, og at det er tilstrekkelig vannpassasje til at alt tidevannet i Varildfjorden når å tømmes i løpet av utstrømmende tidevann (ca. 6 timer).

5 Konklusjoner

Hydrodynamiske simuleringer for Viksfjorden med tidevann som drivkraft har dannet grunnlaget for kjøring med en partikkeltransportmodell. 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. Hovedformålet har vært å finne veiledende tall for utskiftning og oppholdstider for vannmassene i Varildfjorden.

Gjennomsnittlige oppholdstider for partiklene i modellsimuleringene ble beregnet til 25 timer for Varildfjorden mellom Opptaksplassen og Klåstadrenna. Det var vesentlig lenger oppholdstider i den nordøstlige bukta enn sørvest i Varildfjorden.

Det har også vært fokus på å undersøke andelen av partikler som returnerer til Varildfjorden ved påfølgende innstrømmende tidevann. Det er kommet fram til at gjennomsnittlig ca. 63 % av partiklene som drar ut av Varildfjorden forbi Vikerøybrua ved synkende vannstand, vil returnere til området nordøst for Vikerøybrua ved neste innstrømmende tidevann. Dette vitner om at vannutskiftningen, med kun tidevann tilstede, er begrenset og fører til at det tar lang tid før vannmassene inne i Varildfjorden når ut av fjorden uten å returnere. Den begrensede vannutskiftningen kan være en av hovedfaktorene til grønnalgeoppblomstringene i sommerhalvåret.

Det er i Leikvin og Molvær (2015) konkludert at jo lavere andel av nye partikler som i dag kommer inn ved hver innkommende tidevannsinnstrømning, jo mer gunstig effekt vil en etablering av tidevannsport ved Vikerøybrua kunne ha for vannkvaliteten i Varildfjorden.

En forutsetning for at en tidevannsport vil kunne ha effekt, er at det er tidevannet som er den dominerende drivkraft for strømmegimet ved Vikerøybrua. Dette har blitt bekreftet ved hjelp av en tidevannsanalyse av strømmålinger fra sommeren 2013, like under Vikerøybrua. Selv om det var en total nettostrøm i løpet av perioden på gjennomsnittlig 3.1 cm/s mot nordøst, stod tidevannet for omkring 80 % av variabiliteten i strømmen.

En tidevannsport kan, ut fra skisserende beregninger, resultere i en mer enn fordobling av volumet av «nye» vannmasser i området mellom Vikerøybrua og Klåstadrenna per tidevannsinnstrømning i forhold til dagens situasjon. I forhold til det totale vannvolumet i dette området betyr dette en økning fra litt under 10 % til ca. 24 % «nytt» vann, per tidevannsinnstrømning. Dette vil være en betydningsfull endring og vil sannsynligvis kunne ha en gunstig effekt på vannkvaliteten.

Det er usikkert om endringen er stor nok til å fjerne problemene med grønnalger. Det vurderes at en tidevannsport vil ha en merkbar positiv effekt på vannkvaliteten. Dette forutsetter imidlertid også at vannkvaliteten i ytre deler av Viksfjorden er mindre gunstig for grønnalgene, enn vannmassene som befinner seg inne i Varildfjorden. Målinger gir indikasjoner på at denne forutsetningen er ivaretatt.

Det anbefales å sammenstille flere tiltak for å avbøte på oppblomstringen av grønnalger i Varildfjorden i sommerhalvåret.

Det ville være interessant å simulere for partikkeltransport med tidevannsport inkludert, og så foreta samme analyser angående oppholdstider, halveringstider og retur av vannmasser/partikler som ved nulltiltak, uten tidevannsport.

6 Referanser

- Beardsley, R.C., 2005. Bobstuff Vector Correlation, Complex Correlation, and other tools. <http://woodshole.er.usgs.gov/operations/sea-mat/bobstuff-html/pl33tn.html>. Lest 4. januar 2011.
- 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., 2016. In progress.
- Eidnes, G., 2015. Forbedret vannutskifting 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 utskifting av vannmasser i Indre Viksfjord/ Varildfjorden, Larvik kommune. Akvaplan-niva notat, 9 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.
- Pawłowicz, R., B. Beardsley and S. Lentz, 2002. Classical Tidal "Harmonic Analysis Including Error Estimates in MATLAB using t_tide. *Computers and Geosciences*, 28, 929-9.
- Statens Kartverk, Sjøkartverket, 2014. www.sehavniva.no. (Lest september 2014).

Vedlegg

A) Innstillinger, for modellkjøringer med FVCOM

Følgende innstillinger er benyttet for simuleringer med FVCOM.

Beregningslikninger og forklaring av de ulike parametre 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 |
| Tidevannsforsing | 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) Matematisk utregning av variansellipser

Variansellipsen ble beregnet ved hjelp av ligningene 1.1 – 1.4, og kovarians-matrisen til de to hastighetskomponentene u og v .

$$\text{cov}(u, v) = \begin{bmatrix} \sigma_u^2 & C_{vu} \\ C_{uv} & \sigma_v^2 \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

$$\varphi = \frac{1}{2} \left(\tan^{-1} \left(\frac{\sigma_u^2 - \sigma_v^2}{2 + C_{uv}} \right) + \frac{\pi}{2} \left(\frac{\sigma_u^2 - \sigma_v^2}{|\sigma_u^2 - \sigma_v^2|} \right) \left(1 - \frac{2 + C_{uv}}{|2 + C_{uv}|} \right) \right) \quad (1.2)$$

$$a = \sigma_u^2 \cos^2(\varphi) + C_{uv} \sin(2\varphi) + \sigma_v^2 \cos^2(\varphi) \quad (1.3)$$

$$b = \sigma_u^2 \cos^2 \left(\varphi + \frac{\pi}{2} \right) + C_{uv} \sin \left(2 \left(\varphi + \frac{\pi}{2} \right) \right) + \sigma_v^2 \cos^2 \left(\varphi + \frac{\pi}{2} \right) \quad (1.4)$$

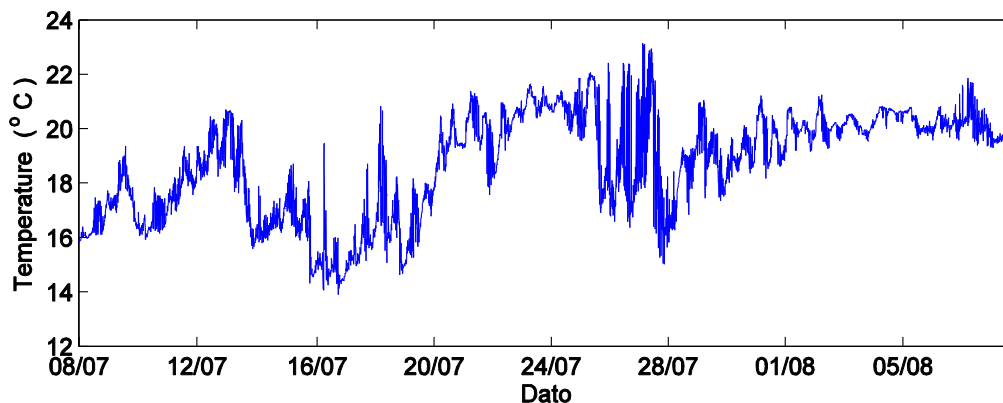
σ_u^2 og σ_v^2 er variansen til henholdsvis u og v , C_{uv} er kovariansen til u og v , φ er vinkelen mellom x -aksen (u -retning) og retning hvor man finner maks varians i hastighetsdataene. a og b er lengdene til halvaksene i variansellipsen, a er lengden til halve hovedaksen og b er lengden på korteste halvakse.

D) Målinger av støtteparametere

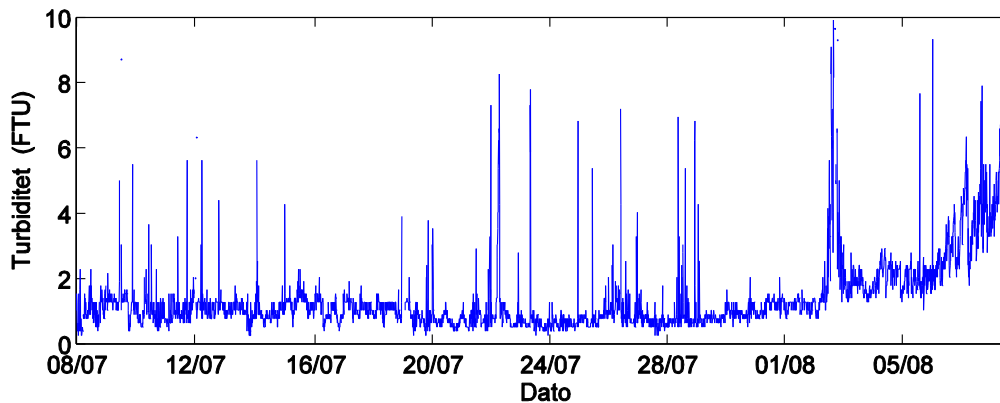
Nedenfor er temperatur og turbiditet fra strømmåler-instrumentet vist.

Temperaturen fluktuerer med små svingninger og store uregelmessige svingninger, og varierer mellom ca. 14 og 23 °C i måleperioden. Generelt er det en økning utover måleperioden, men store sprang over kort tid forekommer.

Turbiditeten er relativt høy, ca. 1 FTU. Denne verdien er sammenlignbar med 1 mg/l. Tidsserien får tidvis store hopp. Trolig er det objekter som treffer turbiditetssensoren, i slike tilfeller. Det synes som om turbiditeten øker til 3-4 FTU i slutten av måleperioden, i begynnelsen av august 2013.



Figur 27: Tidsserie av temperatur målt av sensor på strømmålerinstrument, av NIVA sommeren 2013, ved Vikerøybrua.



Figur 28: Tidsserie av turbiditet (1 FTU ~ 1 mg/l partikkelkonsentrasjon) målt av sensor på strømmålerinstrument, av NIVA sommeren 2013, ved Vikerøybrua.