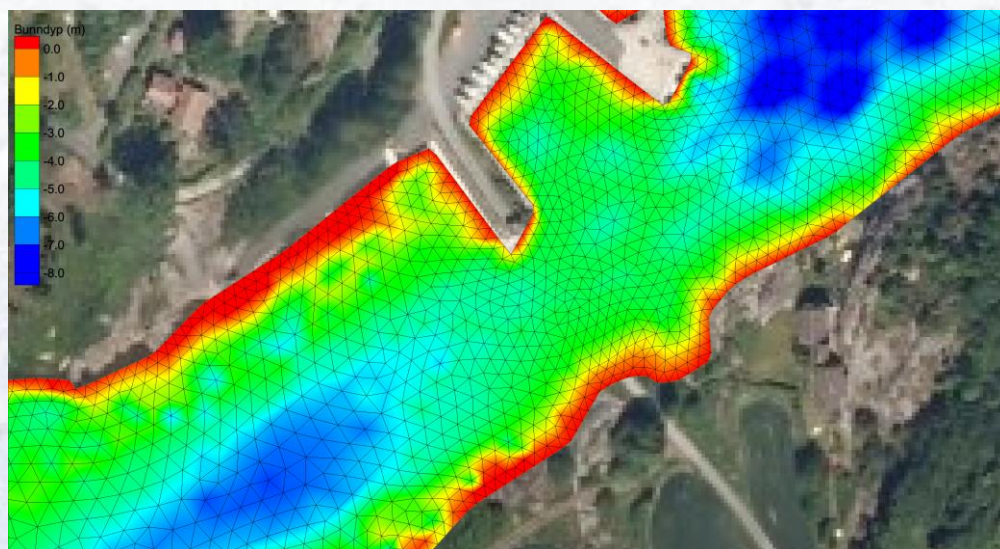
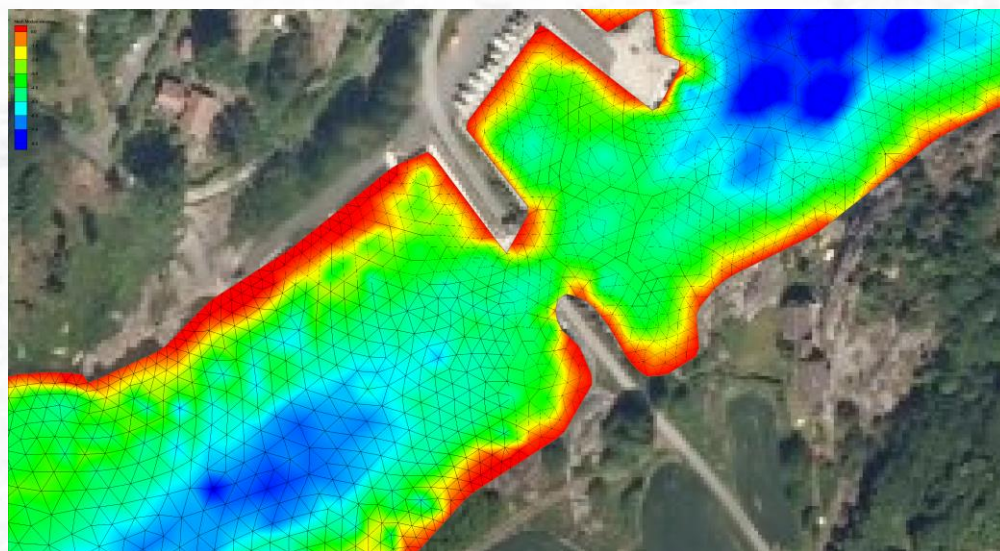


Indre Viksfjord, Larvik kommune

Modellering av vannutskiftning i Varildfjorden når østre brufylling til Vikerøybrua fjernes



Illustrasjoner på forside: Oversikt over bunntopografien og beregningsgrid i modellsimuleringene for:

Øverst:

med eksisterende brufylling (som benyttet i Leikvin & Zhou, 2017)

Nederst:

med fjerning av østre brufylling (som benyttet i denne studien).

Rapporttittel / Report title

Indre Viksfjord, Larvik kommune: Modellering av vannutskiftning i Varildfjorden når østre brufylling til Vikerøybrua fjernes

Forfatter(e) / Author(s)

Øyvind Leikvin

Qin Zhou

Akvaplan-niva rapport nr / report no

8417 - 02

Dato / Date

21.05.2017

Antall sider / No. of pages

19

Distribusjon / Distribution

Gjennom oppdragsgiver

Oppdragsgiver / Client

Indre Viksfjord Vel

Oppdragsg. referanse / Client's reference

Ivar E. Trondsen

Sammendrag / Summary

Vannutskiftning i Varildfjorden med fjerning av østre del av brufyllinga til Vikerøybrua har blitt simulert med den numerisk modellen FVCOM. Resultatene har blitt sammenlignet med tilsvarende simuleringer for dagens situasjon og for en mulig løsning med tidevannsport.

Simuleringene med fjerning av brufylling viser omtrent en halvering av strømhastighet i Klåstadrenna og under Vikerøybrua i forhold til nulltiltak. Fjerning av østre brufylling gir på den annen side også større volumflukser (nesten 20 %) som går frem og tilbake i Vikerøysundet. Altså er det relativt mer vann som kommer inn/ ut gjennom Vikerøysund på bekostning av vann fra Kolladjupet/ Klåstadrenna.

Analysene viser imidlertid at den totale vannutskiftningen for Varildfjorden vil reduseres med fjerning av østre del av brufyllinga. Selv om andelen av innkommende vannmasser per tidevannsinstrømning blir noe større, er det en betydelig del av disse innkommende vannmassene som allerede har vært innom Varildfjorden opptil flere ganger tidligere i simuleringen. Simuleringene viser at større volumfluks inn/ ut av fjorden i dette tilfellet ikke innebærer en mer effektiv erstatning av vann med «nytt og friskt» vann, men heller økt resirkulering av gammelt vann. Eksempelvis er andelen av returnerende partikler ved dagens situasjon drøye 60 % i løpet av en tidevannsperiode sammenliknet med ca. 80 % ved fjerning av østre brufylling.

De gjennomførte studier av sammenlikning mellom dagens situasjon, tidevannsport og åpning av østre brufylling gir en klar vinner angående vannutskiftning. En tidevannsport, som stenges på innstrømmende tidevann, gir betydelig bedre vannutskiftning enn både dagens situasjon og fjerning av østre del av brufyllinga.

Prosjektleder / Project managerA handwritten signature in blue ink, reading 'Øyvind Leikvin'.

Øyvind Leikvin

Kvalitetskontroll / Quality controlA handwritten signature in blue ink, reading 'Frank Gaardsted'.

Frank Gaardsted

INNHOLDSFORTEGNELSE

1 INNLEDNING	1
2 METODIKK OG DATA	3
2.1 Numerisk modell og modelloppsett	3
2.2 Analyser	4
3 RESULTATER	5
3.1 Hydrodynamikk	5
3.2 Partikkeltransport	7
3.2.1 Halveringstider til vannmasser i Varildfjorden	9
3.2.2 Oppholdstider i Varildfjorden	10
3.2.3 Andel nye vannmasser per tidevannsperiode	13
4 VURDERINGER	14
5 KONKLUSJON	18
6 REFERANSER	19

Forord

Foreliggende rapport er utarbeidet for Indre Viksfjord Vel i samsvar med tilbud av 11. november 2016, signert 14. november 2016.

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</i>
<i>Qin Zhou</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 meget interessant oppdrag.

Tromsø, 21. mai 2017



Øyvind Leikvin

1 Innledning

Akvaplan-niva har simulert vannutskiftning i Varildfjorden ved hjelp av den hydrodynamiske modellen FVCOM og partikkeltransportmodellen FISCAM. Følgende scenarier er simulert og beskrevet i tidligere rapporter:

- I. Simuleringer med nulltiltak (kun tidevannskrefter som driver sirkulasjonen) (Leikvin m.fl., 2016)
- II. Som i I, men med tidevannsport ved Vikørøybrua, som er stengt ved innstrømmende tidevann (Leikvin & Zhou, 2017)
- III. Som i I, men med tidevannsport ved Vikørøybrua, som er stengt ved utstrømmende tidevann (Leikvin & Zhou, 2017)

I alle simuleringene er det kun tidevannskrefter som har drevet den hydrodynamiske sirkulasjonen i modellen.

En sammenstilling av de tre scenarier ovenfor er gitt i Leikvin & Zhou (2017).

IVIV ønsker nå å undersøke for ytterligere en situasjon: *Hvordan blir vannutskiftningen til Varildfjorden dersom den østre fyllingen til Vikørøybrua fjernes?* Det er ønskelig at samme oppsett, metodikk og analyser som i Leikvin m.fl. (2016) og Leikvin & Zhou (2017) blir benyttet, slik at en sammenlikning blir mulig.

Det ønskes også en vurdering av vannutskiftningen til det nye scenario sammenliknet med I – III listet ovenfor.

Det henvises til Leikvin & Børve (2016) for en mer utfyllende geografisk beskrivelse av Viksfjorden. Kart over nærområdet til Vikørøybrua, med angivelse av brua, er gitt i Figur 1.



Figur 1: Kartbilde over Vikerøya og de viktigste stedsnavn. Den røde pilen viser plasseringen av Vikerøybruas østre brufylling. Det er betydningen av denne østre brufylling som er hovedhensikten med denne studien (kartkilde: www.gulesider.no).

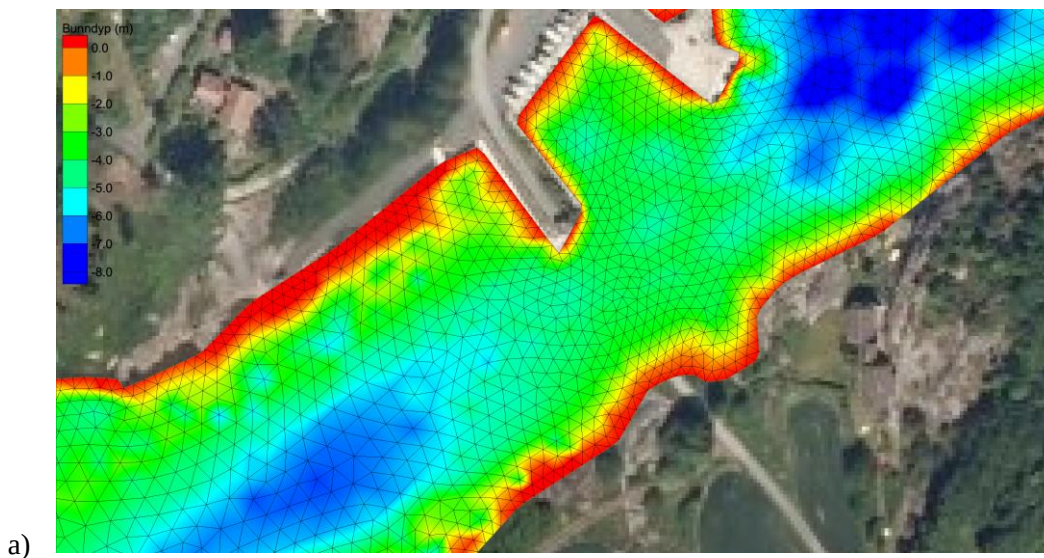
2 Metodikk og data

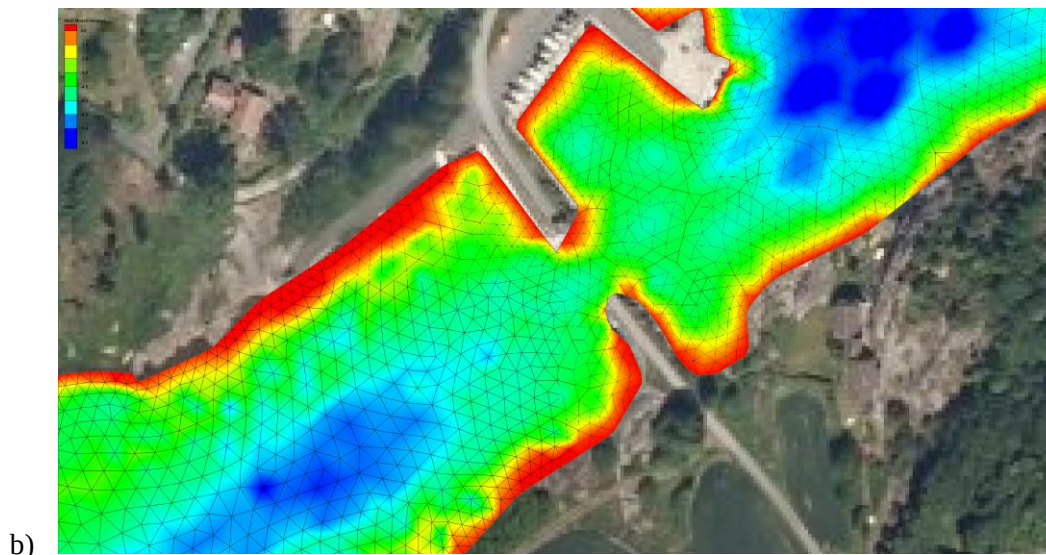
2.1 Numerisk modell og modelloppsett

Den numeriske modellen FVCOM, som har blitt benyttet for å simulere vannbevegelsene i Viksfjorden, er beskrevet i Leikvin & Zhou (2017). Dette gjelder også den numeriske modellen FISC, som er brukt til å kartlegge spredningen av partikler i Viksfjorden.

Det henvises til Leikvin & Børve (2016) for beskrivelse av det numeriske beregningsgriddet. Det eneste som er forskjellig fra det som ble benyttet i Leikvin & Børve (2016) og Leikvin & Zhou (2017) er nærområdet til Vikerøybrua. Hele østre del av brufyllinga er fjernet i modellen i denne studien, slik at åpningen er økt fra ca. 19 til ca. 43 m. Bunndypet er interpolert lineært mellom nordøst og sørvest for denne delen av brufyllinga. Dette er illustrert, sammen med beregningsgriddet omkring bruområdet, i Figur 2a. Beregningsgriddet og bunntopografien benyttet for simuleringer med eksisterende brufylling er vist i Figur 2b, for sammenlikning.

I praksis vil det med all sannsynlighet bli plassert en brupilar for å understøtte østre del av eksisterende bru (IVIV, pers. med., april 2017). For enkelhets skyld er denne ikke inkludert i simuleringene. Simuleringene vil da trolig fungere som en "ekstremstudie" av hva en slik åpning av østre fylling har potensiale til å medføre angående endring i strømbilde/ vannutskiftning, men ikke nødvendigvis.





Figur 2: Oversikt over bunntopografien og beregningsgriddet i modellsimuleringene for a) med fjerning av østre brufylling (som benyttet i denne studien) og b) med eksisterende brufylling (som benyttet i Leikvin & Zhou, 2017).

2.2 Analyser

Det er først og fremst FISCAM som blir benyttet til partikkelspredningsanalysen. For å få et best mulig sammenliknings- og vurderingsgrunnlag blir analysene utført på samme måte som beskrevet i Leikvin & Zhou (2017). Dette gjelder hovedsakelig for:

- a) Halveringstider til en vannmasse innenfor et område:
 - tiden det tar før halvparten av partiklene som er i et interesseområde ved et gitt start-tidspunkt er forsvunnet fra området
- b) Oppholdstider til en vannmasse innenfor et område:
 - Gjennomsnittet av gjennomsnittlig oppholdstid til alle partiklene som har vært innom interesseområdet i løpet av analysen
 - Gjennomsnittet av maksimal oppholdstid til alle partiklene som har vært innom interesseområdet i løpet av analysen
- c) Andel av vannmassen som er ny/ returnerende innenfor et interesseområde i løpet av en tidevannsperiode på drøye 12 timer:
 - prosentandel av utgående partikler som returnerer til interesseområdet ved neste flo sjø
 - prosentandel nye partikler som i løpet av en tidevannsperiode ankommer interesseområdet sammenliknet med totalt antall partikler i samme område

En mer inngående beskrivelse av disse analysene er gitt i Leikvin & Zhou (2017).

3 Resultater

3.1 Hydrodynamikk

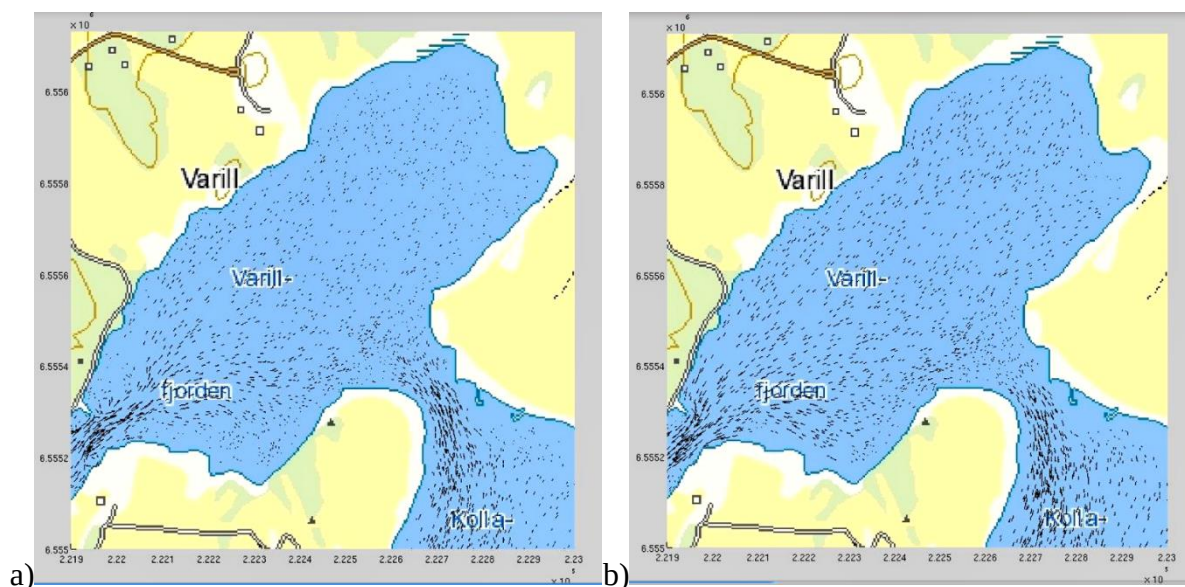
Hovedtrekkene i strømbildet i Varildfjorden, Vikerøysund og Klåstadrenna med fjerning av østre brufylling er noenlunde samsvarende med hovedtrekkene i strømbildet med dagens situasjon med brufyllinger på begge sider av Vikerøybrua.

Det er generelt synkront innstrømmende vann ved Opptaksplassen i vest og Klåstadrenna i øst (Figur 3a) ved stigende sjø og utstrømmende vann ved fallende sjø (Figur 3b). Strømstyrkene i nordlige del av Varildfjorden er generelt svake.

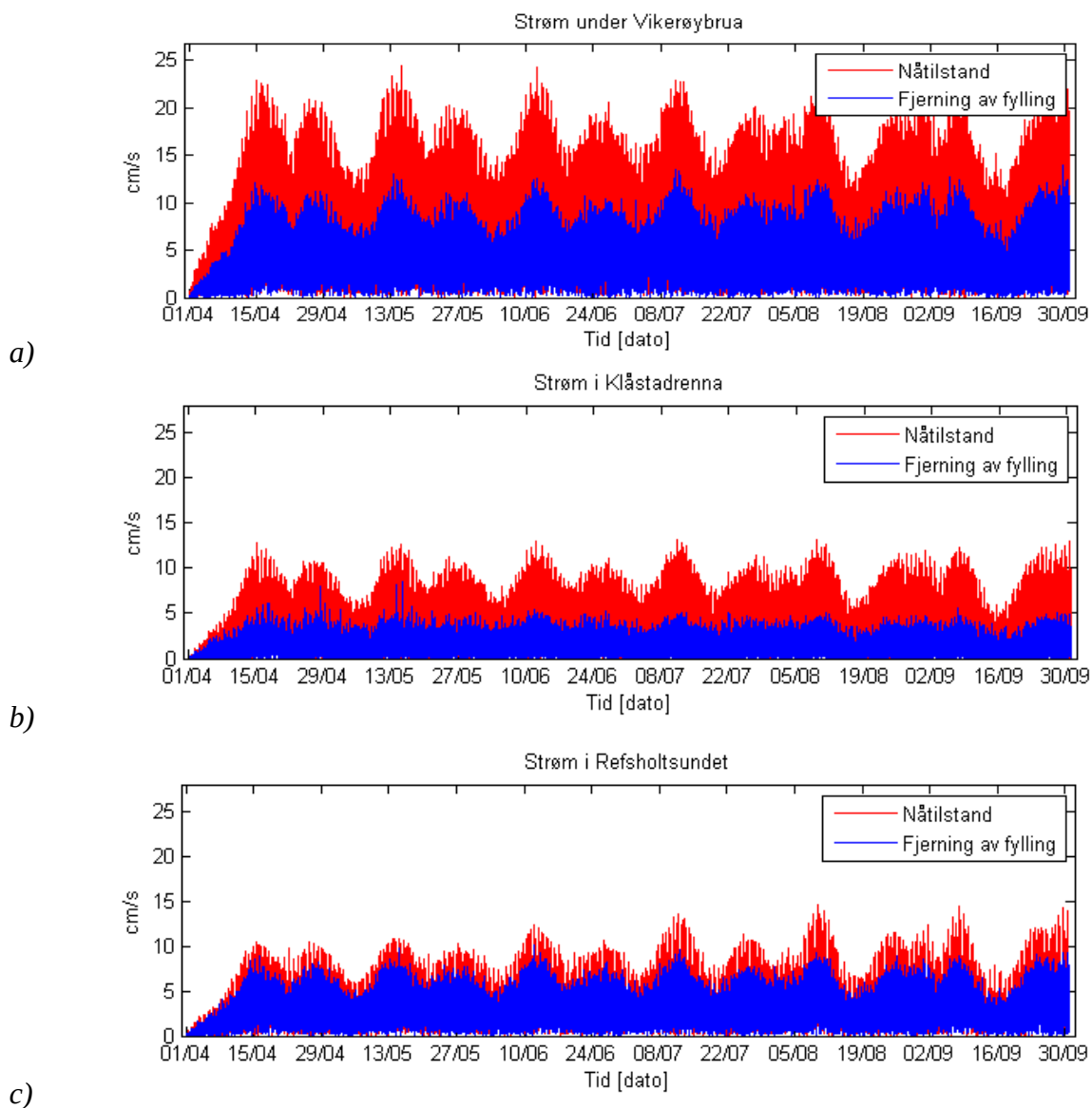
Med tanke på strømstyrke ses det derimot betydelige forskjeller. Fordi passasjen ved Vikerøybrua blir bredere går maksimalhastigheten i bruområdet betydelig ned, fra ca. 24 cm/s med dagens situasjon til ca. 14 cm/s med fjerning av østre brufylling (Figur 4a). Gjennomsnittshastigheten reduseres på samme måte fra ca. 9 cm/s til 5 cm/s. Det er samtidig også betydelig svakere maksimalstrømmer i Klåstadrenna med reduksjon fra ca. 13 cm/s til ca. 5 cm/s (Figur 4b), med unntak av et par ekstremsituasjoner med strømfart ca. 8 cm/s etter fjerning av østre brufylling. Gjennomsnittsstrømmen i Klåstadrenna blir tilsvarende redusert fra drøye 4 cm/s til snau 2 cm/s. Også i Refsholtsundet er det svakere maksimalstrømmer, med reduksjon fra ca. 14 cm/s til ca. 9 cm/s (Figur 4c).

Fluksberegninger viser at maksimale flukser ved Vikerøybrua øker fra ca. 17 m³/s til ca. 20 m³/s (snau 20 %) ved fjerning av østre brufylling (Figur 5). Nettofluksen reduseres imidlertid noe, fra 0,18 m³/s til 0,05 m³/s i retning sørvest, ut mot ytre del av Viksfjorden.

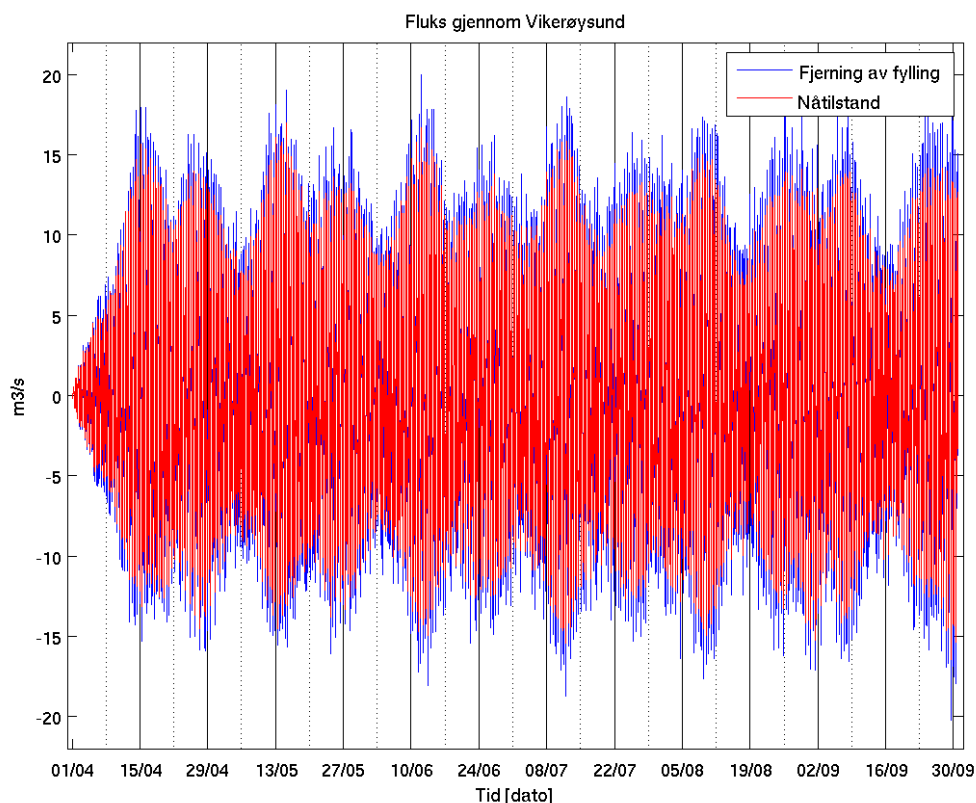
Maksimalfluksen gjennom Klåstadrenna reduseres fra ca. 2,7 m³/s til 1,2 m³/s med åpning av østre brufylling.



Figur 3: Oversikt over strømbildet i Varildfjorden ved a) stigende sjø og b) fallende sjø, ved fjerning av østre brufylling ved Vikerøybrua. I venstre figur går pilene innover mot Varildfjorden både ved Vikerøysund i vest og Klåstadrenna i øst, mens de i høyre figur generelt går utover, mot henholdsvis sør og sørøst.



Figur 4: Strømfart fra valgt beregningscelle omkring midt i farled for dagens situasjon (rød) og fjerning av østre brufylling (blå) for a) Vikerøybrua, b) Klåstadrenna og c) Refsholtsundet. Merk at posisjonen til beregningscellen for Vikerøybrua er ulik for de to situasjonene med og uten østre brufylling.



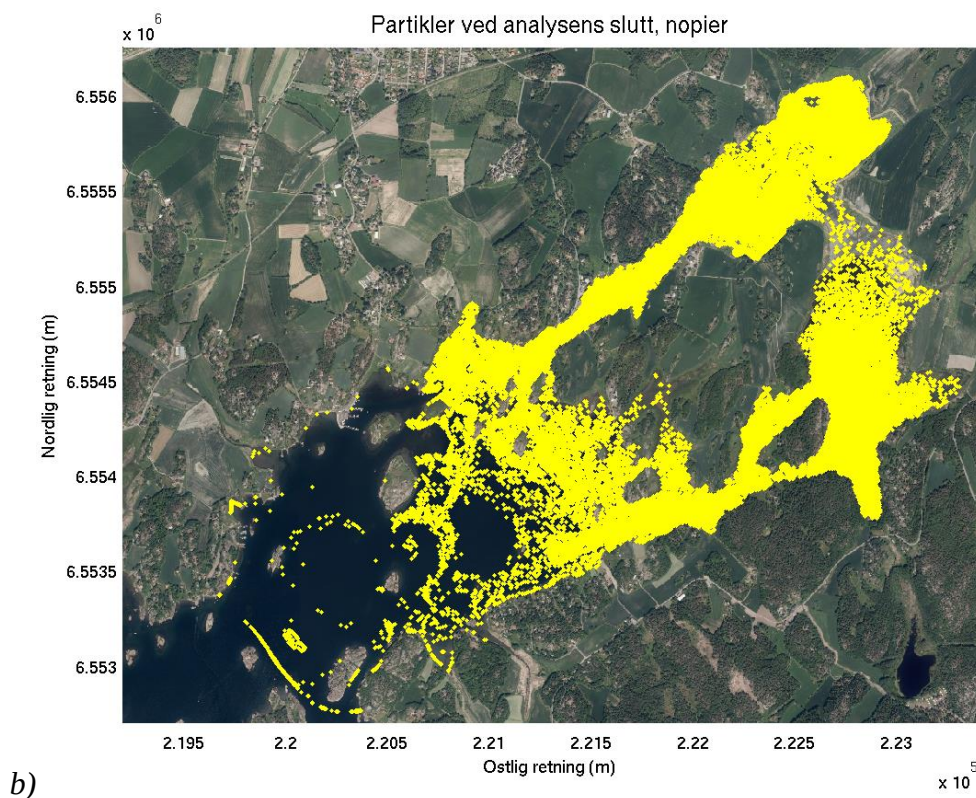
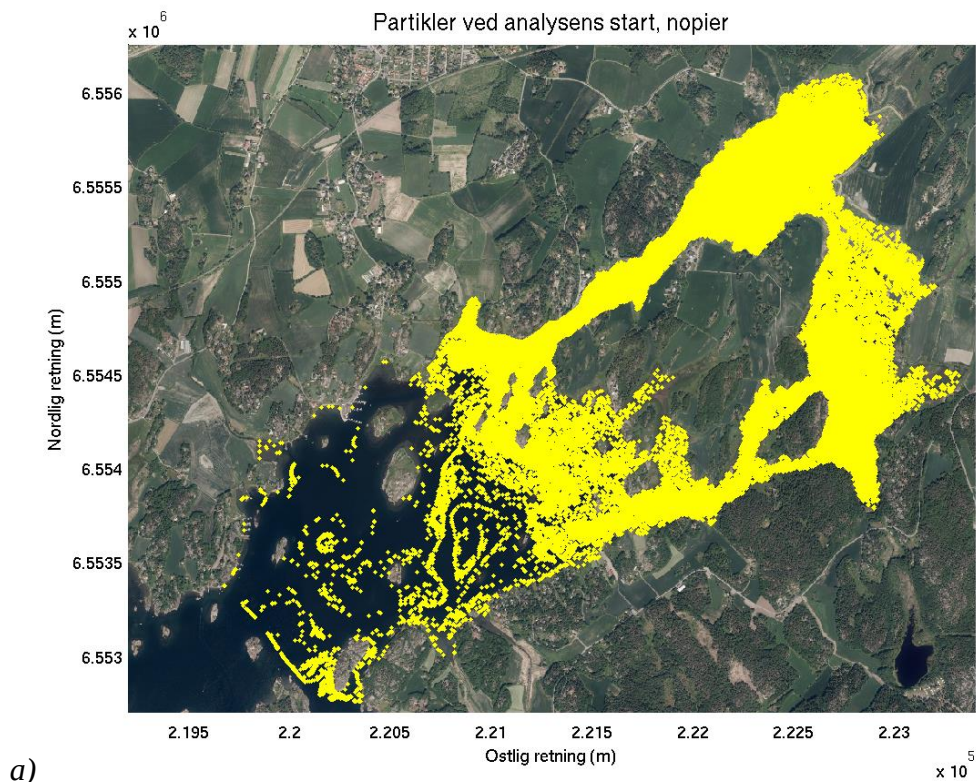
Figur 5: Fluksberegninger gjennom et tverrsnitt under Vikørøybrua. Rød kurve viser resultater fra simuleringer med nåværende situasjon med fyllinger på begge sider av bruåpningen (mer innsnevring). Blå kurve viser resultater fra simuleringer med fjerning av østre brufylling. Positiv fluks er mot sørvest, ut mot ytre del av Viksfjorden.

3.2 Partikkeltransport

Med bakgrunn i de hydrodynamiske resultater med kun tidevann som drivkraft, er det gjort forskjellige kjøringar 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.

Partiklene har blitt spredt utover fra 10 stasjoner i nesten tre måneder som beskrevet i Leikvin & Børve (2016), og utbredelsen av partiklene er illustrert ved henholdsvis analysens start (Figur 6a) og slutt (Figur 6b).

Illustrasjonene viser at mange av partiklene drar ut av modellområdet i sørvest i løpet av simuleringene, og det er derfor en del lavere partikkeltetthet i Varildfjorden ved analysens slutt. Dette gjelder ikke for nordlige del av Varildfjorden, hvor partikkeltettheten er noenlunde konstant i løpet av de snau tre månedene, selv om det ikke ankommer nye partikler til analysen. Over 90 % av partiklene er fortsatt inne i nordlige del av Varildfjorden ved analysens slutt. Tilsvarende tall for hele Varildfjorden er 45 % og sørlige del under 10 %. Spesielt i den nordlige del av Varildfjorden er denne andelen av gjenværende partikler vesentlig høyere enn for simuleringene med dagens situasjon.



Figur 6: Oversikt over utbredelsen av partiklene (gule prikker) ved simuleringer med fjerning av østre brufylling til Vikørøybrua ved a) analysens start og b) analysens slutt. Merk at en betydelig andel av partiklene drar ut av modellområdet i sørvest i løpet av simuleringene, og det er derfor færre partikler i modellområdet ved analysens slutt etter tre måneder. I Vikørøysund er det eksempelvis under 10 % partikler igjen, men helt i nord i Varildfjorden er det over 90 % igjen ved analysens slutt.

3.2.1 Halveringstider til vannmasser i Varildfjorden

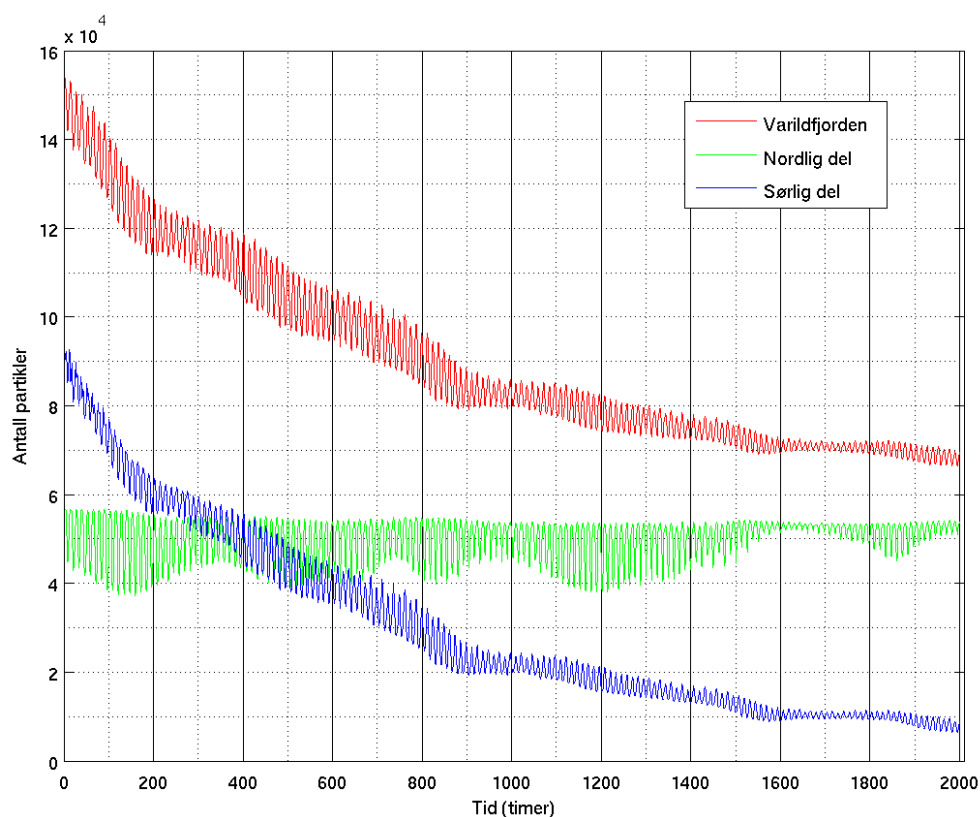
Analysen forteller at flesteparten av partiklene som ved et gitt tidspunkt er i Varildfjorden, vil forbli i Varildfjorden relativt lenge med fjerning av østre brufylling (Figur 7) (Tabell 1).

Tiden før halvparten av antallet av partikler som befant seg innenfor Varildfjorden 7. juli 2015 mellom Opptaksplassen og Klåstadrenna er forsvunnet, er beregnet til ca. 1400 timer (ca. 60 døgn) med fjerning av østre brufylling. Dette anses som halveringstiden til vannmassen i Varildfjorden (se kapittel 2.2). Det er vesentlig lenger enn resultater med dagens situasjon på ca. 260 timer (ca. 11 døgn).

Liknende beregninger for bukta nordøst i Varildfjorden gir svært lang halveringstid på flere måneder, ifølge modellsimuleringene. Det er usikkerhet omkring kvantifiseringen av halveringstiden, da en del av partiklene synes å bli 'bundet fast' i dette området, og det er usikkerhet om noe av dette kan skyldes numeriske effekter. Ifølge simuleringer og analyser, vil partiklene i stor grad bli pumpet inn og ut med tidevannet, og har vanskeligheter med å forlate bukta i nord. Tiden det tar før halvparten av partiklene er skiftet ut fra den nordlige delen av Varildfjorden ved fjerning av østre brufylling ved Vikerøybrua, er altså betydelig lenger enn ved nåværende situasjon.

Delområdet i sørvest gir halveringstider på omtrent 450 timer (ca. 19 dager) når kun partiklene som befinner seg i de respektive delområdene i starten av analysen er inkludert. For delområdet i sør i Varildfjorden er dette omtrent 9 ganger lenger enn for dagens situasjon (ca. 50 timer).

Disse forholdsvise lange halveringstidene har blitt bekreftet av filmer av partikkelspredningen (ikke vist, men stillbilder er vist i kapittel 4). Partiklene går frem og tilbake med tidevannet, blir lite spredt omkring i Varildfjorden og det er et begrenset antall som kommer seg ut av Vikerøysund og ut til ytre Viksfjorden i løpet av analysen som strekker seg til 1. oktober.



Figur 7: 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. Kun partikler som befant seg i de respektive områder ved analysens start er inkludert i analysen.

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. Resultater fra dagens situasjon og for fjerning av østre brufylling ved Vikerøybrua er gjengitt.

Område	Fjerning av østre brufylling	Dagens situasjon
Varildfjorden	1400	260
Varildfjorden, nord	> 2000	400
Varildfjorden, sør	450	50

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 8.

Med fjerning av østre brufylling vil gjennomsnittlig oppholdstid være i størrelsesorden den samme eller noe kortere for de tre delområdene i Varildfjorden sammenlignet med dagens situasjon. I den nordlige delen er oppholdstiden redusert fra 68 til 43 timer. I den sørlige delen er oppholdstiden redusert fra 34 til 28 timer. Dersom hele Varildfjorden er inkludert i beregningen, reduseres oppholdstiden fra 49 til 43 timer ved å fjerne østre brufylling. Disse resultatene er illustrert i Figur 8.

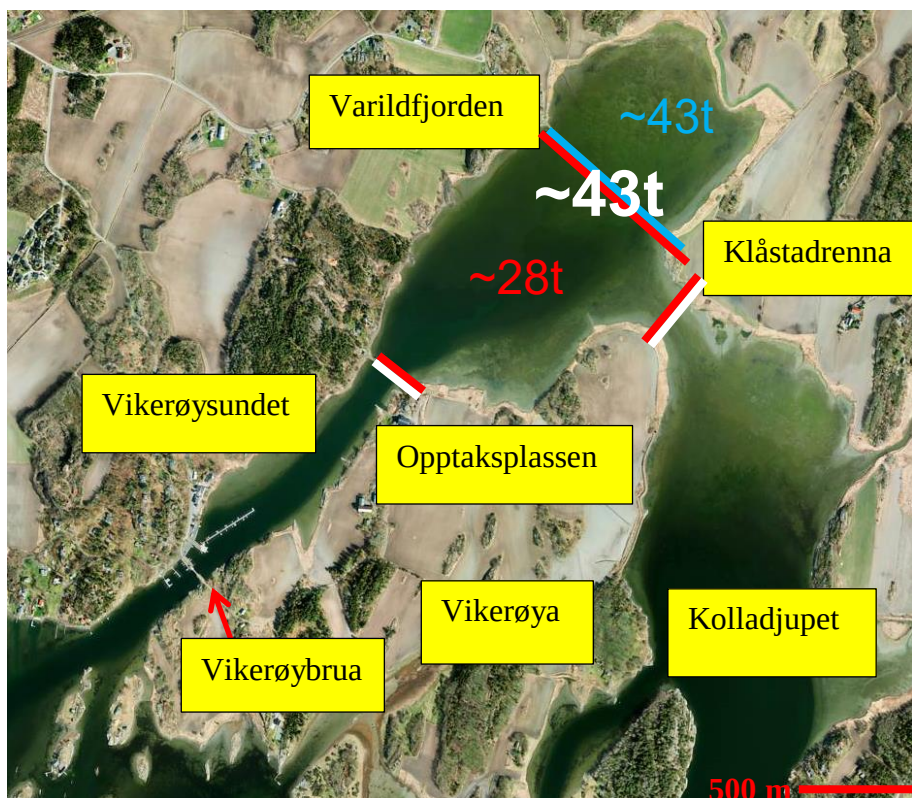
Det vektlegges at oppholdstiden er svært varierende for de individuelle partiklene, og varierer altså mellom en time og flere hundre timer. Det søkes uansett i denne studien etter "typiske" og veiledende verdier og innbyrdes forskjeller mellom scenariene.

I Tabell 2 er også gjennomsnittet av partiklenes gjennomsnittlige maksimale oppholdstid gitt, som viser gjennomsnittet av alle partiklenes lengste oppholdstid i løpet av analyseperioden innenfor et definert område. Denne verdien er generelt vesentlig lenger enn med dagens situasjon ved Vikerøybrua, spesielt for sørlige delen av Varildfjorden der denne verdien omtrent fordobles.

Ved å studere Figur 9 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. For oversikts skyld er også tilfellene med tidevannsport på innstrømmende vann (ACW, Figur 9a) og utstrømmende vann (CW, Figur 9b) inkludert, i tillegg fjerning av østre brufylling (Figur 9c) og med dagens situasjon (Figur 9d).

Analysene viser at partiklene/ vannmassene i gjennomsnitt har generelt noe kortere oppholdstid med fjerning av østre brufylling enn med tidevannsport, mens den gjennomsnittlige maksimale oppholdstid derimot er betydelig lenger.

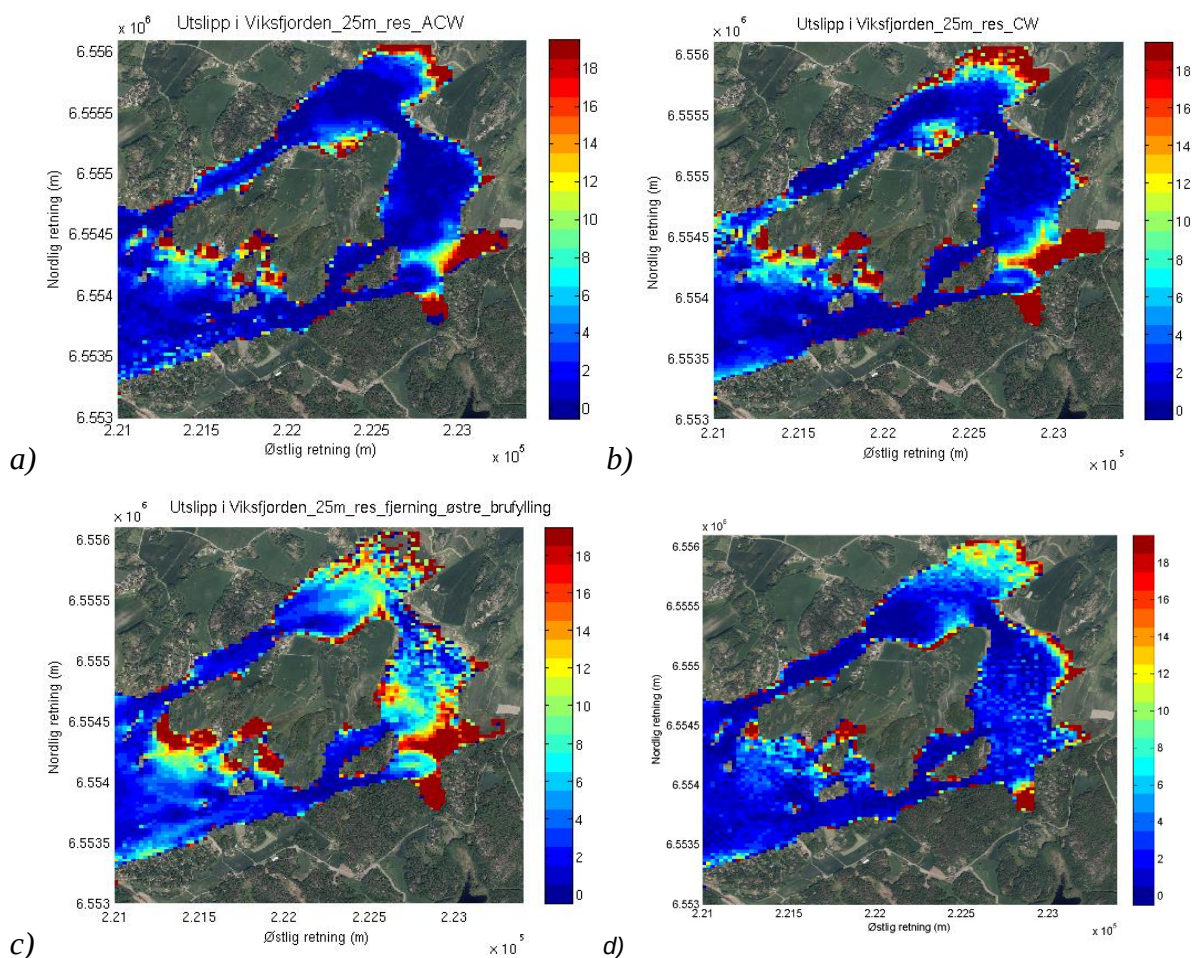
Generelt har viker og trange bukter lange gjennomsnittlige oppholdstider, og lengst nordøst i Varildfjorden er det et større område med lenger oppholdstid. Også grunnområdet sørøst i Varildfjorden, sørvest for Klåstadrenna, har relativt lang oppholdstid. Oppholdstidene i analysene i denne studien er gjennomsnittlige og typiske for de respektive delområdene, men det vil være store lokale forskjeller.



Figur 8: Resultater fra analysen av gjennomsnittlige oppholdstider for partiklene i ulike delområder i indre deler av Viksfjorden. Det er simulert med åpning av østre brufylling ved Vikerøybrua. 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.

Tabell 2: Resultater og statistikk fra beregninger av oppholdstider. Gjennomsnittlig oppholdstid er beregnet utfra gjennomsnittet av gjennomsnittlig oppholdstid for enhver partikkel som har vært innenfor det aktuelle området i løpet av analysen. Gjennomsnittet av den maksimale oppholdstid er funnet fra gjennomsnittet av den maksimale oppholdstid til enhver partikkel som har vært innenfor det aktuelle området i løpet av analysen. Tabellen viser antall timer for partikler i Varildfjorden, Varildfjorden-nord og Varildfjorden-sør. Områdebegrensninger er illustrert i **Error! Reference source not found.** Merk at statistikken bygges på 2001 tidssteg med tidsintervall på 1 time, tilsvarende snaue 3 måneder. Det er scenarier med dagens situasjon (resultater fra Leikvin & Børve (2016)) og fjerning av østre brufylling. (NB: partikler som har vært i området i mer enn 1000 timer er fjernet fra denne analysen, og derfor er gjennomsnittet av maksimale oppholdstider relativt lave sammenliknet med halveringstidene i kapittel 3.2.1)

Område	Partikkelanalyse	Dagens situasjon	Fjerning av østre brufylling
Varildfjorden	Gjennomsnitt av maksimal oppholdstid	219	362
	Gjennomsnittlig oppholdstid	49	43
Varildfjorden, nord	Gjennomsnitt av maksimal oppholdstid	287	541
	Gjennomsnittlig oppholdstid	68	43
Varildfjorden, sør	Gjennomsnitt av maksimal oppholdstid	74	232
	Gjennomsnittlig oppholdstid	34	28



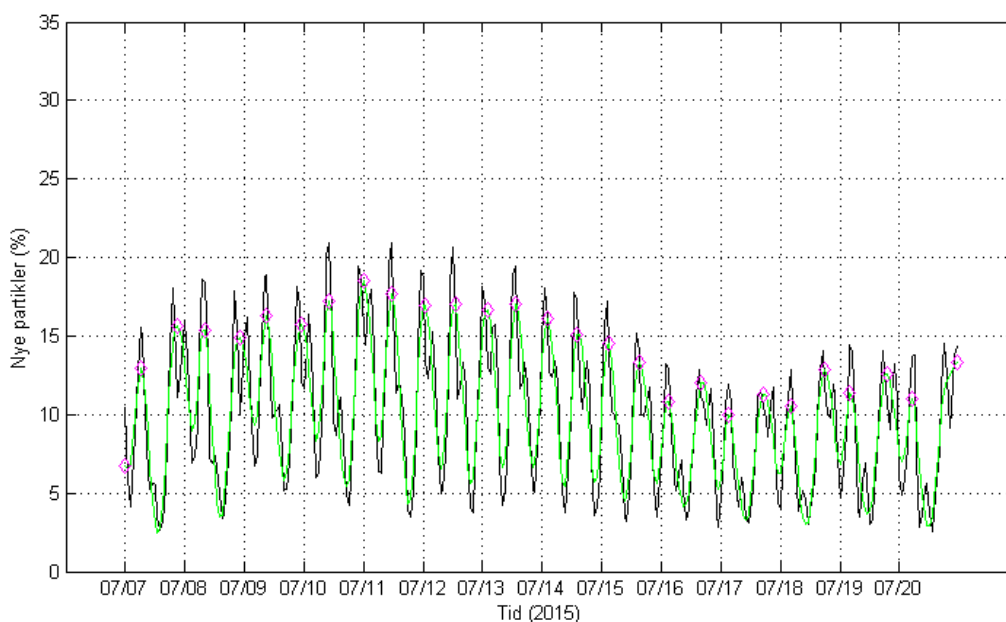
Figur 9: Griddet modellområde med 25 m oppløsning, hvor det hentes ut gjennomsnittlig maksimal oppholdstid (timer) utfra alle partiklene som har vært innom de ulike gridcellene i løpet av analyseperioden. Det er simulert med åpning av østre brufylling ved Vikørøybrua. Det er vist resultater fra Leikvin & Zhou (2017) med tidevannsport i a) og b), fjerning av østre brufylling uten tidevannsport fra denne studien i c) samt resultater fra dagens situasjon i d) hentet fra Leikvin & Børve (2016).

3.2.3 Andel nye vannmasser per tidevannsperiode

Simuleringene med åpning av østre brufylling gir en andel på gjennomsnittlig 16 % nye partikler i Varildfjorden per tidevannsperiode (Figur 10) i forhold til totalt antall partikler i Varildfjorden. Dette tilsvarer i denne studien andel på 16 % av nye vannmasser som kommer inn til fjorden, i forhold til det totale vannvolum. Nye vannmasser er nyankomne vannmasser som ikke var i området ved forrige flo sjø. Disse vannmassene kan imidlertid godt ha vært inne i området tidligere i simuleringen.

Til sammenlikning er denne andelen av nye vannmasser til Varildfjorden, per tidevannsperiode, beregnet til 14 % for dagens situasjon, som rapportert i Leikvin & Zhou (2017). Tidevannsporten gir tilsvarende verdier på 12 % og 24 % for lukket port ved henholdsvis utstrømmende og innstrømmende tidevann.

Andelen av partikler som går ut av Varildfjorden ved Vikerøysund og returnerer ved neste flo sjø, er på gjennomsnittlig ca. 80 % (ikke vist). Det er markant høyere enn ved dagens situasjon på 63 % (Leikvin & Børve, 2016).



Figur 10: Prosentandel av nye vannmasser som ankommer Varildfjorden i forhold til hele vannmassen i fjorden, i løpet av en tidevannsperiode på drøye 12 timer, ved fjerning av østre brufylling. Lilla punkter markerer tidspunkter omkring flo sjø. Det fokuseres på en 14 dagers periode fra starten av analysen.

4 Vurderinger

Modellsimuleringer med åpningen av østre brufylling ved Vikørøybrua har vist følgende hovedresultater:

- en større andel av vannmasser vil ankomme Varildfjorden via vestre løp ved Vikørøybrua på bekostning av innstrømmende vannmasser fra Kolladjupet gjennom Klåstadrenna
- halveringstider blir lenger i Varildfjorden, spesielt i den nordligste delen
- gjennomsnittlige oppholdstider, slik de blir beregnet i denne studien, blir noe kortere sammenlignet med dagens situasjon
- andelen av nye innkommende partikler per tidevannsperiode vil være i samme størrelsesorden eller øke noe
- andelen av partikler som returnerer til Varildfjorden i løpet av en tidevannsperiode vil øke markant

Vurderinger av disse resultatene er gitt nedenfor.

Ved å studere filmer fra simuleringene ses det tydelig at det er større partikkelutveksling mellom Varildfjorden og Klåstadrenna ved dagens situasjon sammenlignet med når østre brufylling er fjernet. Dette blir bekreftet av fluksberegninger (kapittel 3.1). Redusert strøm igjennom Klåstadrenna (ca. 50 % reduksjon i fluks og strømhastighet) gir mindre potensiale for at vannmassene som ankommer via Kolladjupet, blander seg med vannmasser som kommer til Varildfjorden via Vikørøysund. Reduksjonen i volumfluksen mellom Kolladjupet og Varildfjorden ved fjerning av østre brufylling antas på denne måte å bidra til redusert vannutskiftning i Varildfjorden, om enn i liten grad på grunn av relativt beskjeden strøm og dermed lite turbulens.

Dagens innsnevring i Vikørøysund på grunn av brufyllingene gir, ifølge målinger (Leikvin & Børve, 2016) og modellsimuleringer, økt strømhastighet i midten av sundet. Det blir satt opp en stråle av strøm med typiske maksimale strømhastigheter på over 30 cm/s i løpet av tidevannssyklusen. Denne intensiveringen forårsaker økt virveldannelser og økt turbulens på le side av innsnevringen (ikke vist), og vil øke omrøring og dermed også utskiftning av vannmasser. Det antas at denne effekten er essensiell for den økte utskiftningen sammenliknet med alternativet med fjerning av østre brufylling. Simuleringene med fjerning av østre brufylling vil gi en redusert intensivering av strøm, mindre omrøring i vannmassene og dermed betydelig lenger halveringstid også for vannmassene lenger inn i Varildfjorden.

De betydelige økte halveringstidene til Varildfjorden med fjerningen av østre brufylling kan forklares ved foregående avsnitt. En annen årsak til at partiklene blir lenger i Varildfjorden i modellsimuleringene kan også være at nettofluksen til vannmassene avtar fra ca. 0.18 m³/s til ca. 0.05 m³/s ved Vikørøybrua.

Sammenliknet med tidevannsport, og spesielt en tidevannsport som stenges på innstrømmende tidevann, vil halveringstider være betydelig lenger for situasjonen med fjerning av østre brufylling. Årsaken er først og fremst at inn-ut-pumpingen i praksis er borte med tidevannsport, og vannmassene blir dratt rundt Vikørøya i én retning.

Modellsimuleringene viser også at de maksimale oppholdstidene øker ved åpning av østre brufylling, mens de gjennomsnittlige oppholdstidene til partiklene innenfor delområdene blir redusert. Dette kan forklares ved at hver partikkel får et økt antall korte opphold i interesseområdet på grunn av mer hyppige inn-ut-vandringen over grensen til interesseområdet (Tabell 3). Disse

flere og kortere opphold vil da redusere gjennomsnittlig oppholdstid betraktelig. Således gir, for situasjonen med fjerning av østre brufylling, den gjennomsnittlige maksimale oppholdstid en mer veiledende verdi for vannmassene enn den gjennomsnittlige oppholdstid.

Gjennomsnittlig antall ganger partiklene er innom interesseområdene økes betraktelig ved fjerning av østre brufylling, spesielt i den nordlige delen av Varildfjorden (Tabell 3). Antall besøk stiger da fra 8 til 30 ganger her, og er hovedårsaken til at oppholdstider blir kortere selv om halveringstider blir lenger.

Til sammenlikning, viser simuleringene med tidevannsport at partiklene i gjennomsnitt er innom modellområdet kun 1 - 2 ganger.

Tabell 3: Oversikt over antall ganger partiklene i gjennomsnitt har vært innom delområdene med de ulike situasjoner. ACW (AntiClockWise) betegner en tidevannsport som er lukket på innstrømmende tidevann, mens CW (ClockWise) betegner en tidevannsport som er lukket på utstrømmende tidevann.

	Dagens situasjon	Uten østre brufylling	Tidevannsport (ACW)	Tidevannsport (CW)
Hele Varildfjorden	6	10	1	1
Nordlige del	8	30	1	1
Sørlige del	9	23	2	2

Den reduserte nettofluksen av vannmasser ved Vikørøybrua og den reduserte vannutskiftingen gjør det mulig med både en økt andel av nye partikler til Varildfjorden, samtidig med økt andel av returnerende partikler per tidevannsinnstrømning, når østre brufylling fjernes. Andelen returnerende partikler er på ca. 80 % uten den østre brufylling og 63 % for dagens situasjon. Dette betyr imidlertid større gjenbruk av partikler, og analyser viser at disse situasjoner medfører at partiklene/ vannmassene får flere turer innom Varildfjorden før de drar ut til ytre deler av Viksfjorden, sammenliknet med dagens situasjon (Tabell 3).

En tidevannsport medfører at andelen returnerende partikler så og si elimineres (kun 1 - 2 %) og partiklene/ vannmassene er som regel kun innom Varildfjorden én gang.

Andelen av nye vannmasser per tidevannsperiode er marginalt høyere enn dagens situasjon (ca. 16 % vs. 14 %). Disse verdiene er betydelig lavere enn for situasjonen med tidevannsport der vannmassene tvinges i retning mot klokka (ACW) (24 %).

Effekten av å fjerne østre brufylling sammenliknet med dagens situasjon ser ut til å være negativ med tanke på utskiftingen av vannmasser. Reduksjonen i vannutskifting er, som beskrevet ovenfor, trolig forårsaket av større grad av returnerende vannmasser til Varildfjorden per tidevannsperiode. De returnerende vannmassene ved fjerning av østre brufylling er igjen trolig forårsaket av:

- innsnevringen ved Vikørøybrua er fjernet, og strømmene er roligere
- mindre innblanding av vannmasser/ strøm fra Klåstadrenna
- nettofluksen er mindre ved Vikørøybrua

Med økt fluks av innkommende vannmasser fra vestre innløp (Vikørøysund) til Varildfjorden på bekostning av innkommende vannmasser fra østre innløp (Kolladjupet/ Klåstadrenna), så kan det være potensial for bedre vannkvalitet. Vannmassene som ankommer Varildfjorden via Vikørøysund har kortere vei fra ytre Viksfjorden til Varildfjorden enn vannmassene som ankommer via Kolladjupet. En kortere vei antas å resultere i mindre omrøring med andre vannmasser på vei innover mot Varildfjorden, og med dette ha mer potensial til å forbedre

vannkvaliteten når vannmassene fra ytre Viksfjorden ankommer Varildfjorden. En viktig forutsetning er at vannkvaliteten i ytre Viksfjorden er bedre enn i Varildfjorden. Dokumentasjon på iallfall tidvis bedre vannkvalitet utenfor Vikerøybrua enn i Kolladjupet er dokumentert i Leikvin & Zhou (2017). Den markante reduksjonen i vannutskiftning med fjerning av østre brufylling vil sannsynligvis medføre at en eventuell marginal forbedring i vannkvalitet i de innkommende vannmasser ikke er tilstrekkelig til å heve vannkvaliteten inne i Varildfjorden.

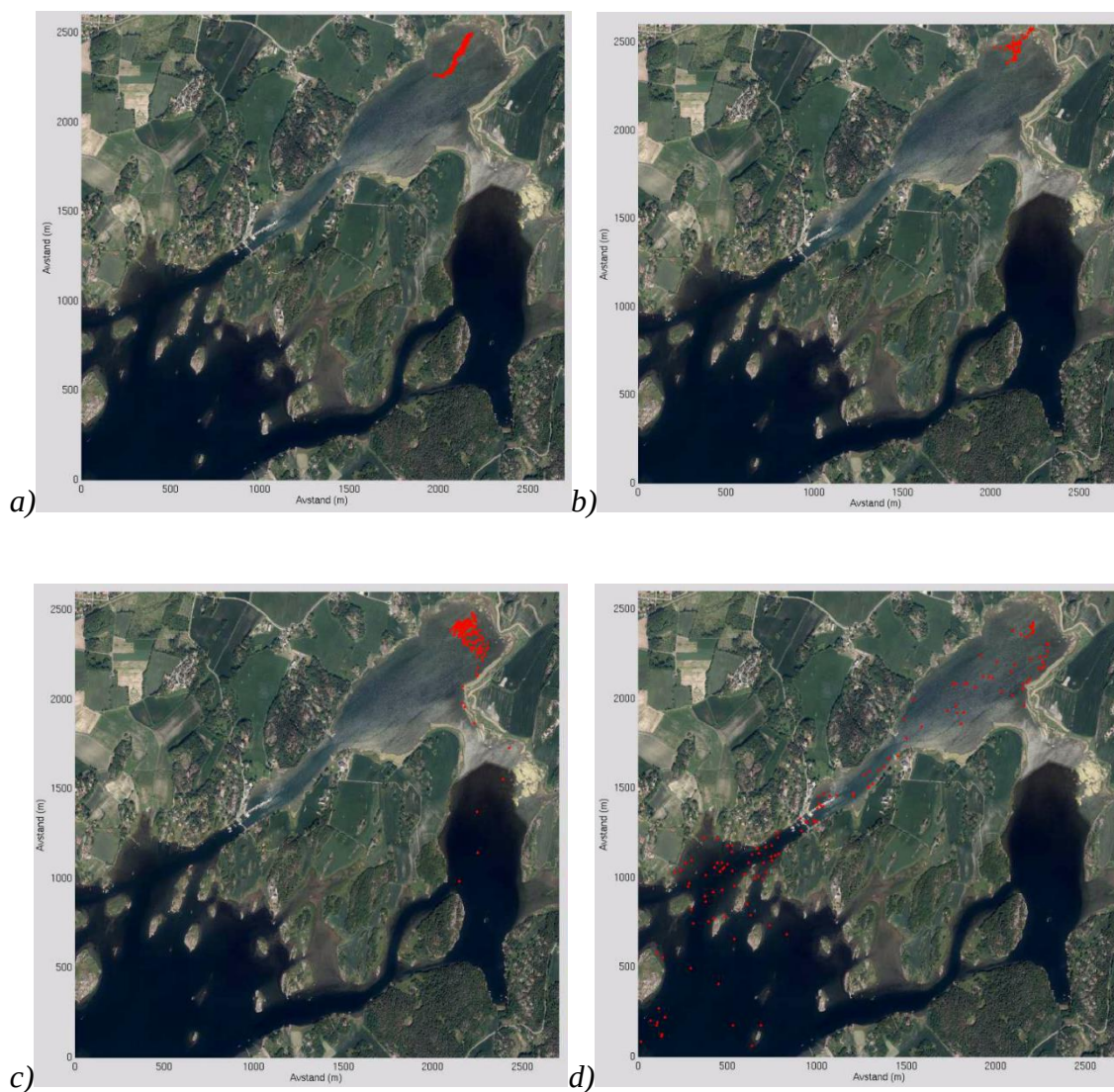
Det er laget filmer fra simuleringene med partikkelspredning. Figur 11 viser stillbilder fra simuleringer hvor én partikkel per time har blitt sluppet fra ett punkt innerst i den nordlige bukta i Varildfjorden (stasjon 3, se Leikvin & Zhou (2017)). Resultatene viser at etter ca. 6 døgn så er det minst spredning av partiklene med åpning av østre brufylling (Figur 11a). De ligger langs en stripe noenlunde i retning inn-ut av Vikerøysund, men fortsatt inne i den nordlige bukta i Varildfjorden. Simuleringen fra dagens situasjon (Figur 11b) viser også beskjeden spredning, men noe mer fordeling også sideveis i den nordlige bukta. Tidevannsport som er lukket på utstrømmende tidevann gir ytterligere noe bedre spredning av partiklene (Figur 11c). Den suverene vinner er imidlertid tidevannsport som er lukket på innstrømmende tidevann (Figur 11d). Her er en stor del av partiklene spredt ut til ytre Viksfjorden via Vikerøysund i løpet av de simulerte 6 døgn.

Simuleringene og analysene har vist at en åpning av østre brufylling til Vikerøybrua gir dårligere vannutskiftning enn dagens situasjon med innsnevring av Vikerøysund ved Vikerøybrua. Videre har modellsimuleringene vist at det mest fordelaktige scenario for best mulig vannutskiftning er å benytte en tidevannsport som er lukket på innstrømmende tidevann, og åpen på utstrømmende tidevann.

Det er usikkerhet omkring nøyaktige verdier for oppholdstider og halveringstider. Det er i Varildfjorden store lokale endringer i oppholdstider (se Figur 9). De beregnede gjennomsnittlige maksimale oppholdstider gir mest fornuftige veiledninger på typiske verdier i Varildfjorden.

I praksis vil andre drivkrefter som vind, trykkendringer og elvetilførsler kunne gi betydelige bidrag til utskiftningen av vannmasser i Varildfjorden, og som regel øke denne signifikant.

Bunnfriksjon og redusert omrøring på grunn av algevekst vil på den annen side hindre omrøringen og dermed utskiftningen av vannmasser.



Figur 11: Stillbilder fra filmer fra simuleringer hvor partikler har blitt sluppet ut fra ett punkt inne i den nordlige bukta i Varildfjorden (stasjon 3 i Leikvin & Zhou (2017)). Stillbildene er tatt etter at 1 partikkel per time har blitt sluppet ut i ca. 6 døgn fra dette punktet. a) viser med åpning av østre brufylling, b) viser fra dagens situasjon ved Vikerøybrua, c) viser med tidevannsport som er lukket ved utstrømmende tidevann, d) viser med tidevannsport som er lukket ved innstrømmende tidevann.

5 Konklusjon

Det har blitt simulert vannbevegelser for Viksfjorden med den numerisk modellen FVCOM, hvor østre del av brufylling til Vikerøybrua er fjernet. Hensikten er å finne ut av om dette vil ha en positiv effekt på vannutskiftningen til Varildfjorden innerst i Viksfjorden. Partikkeltransportmodellen FISCAM er så benyttet, som legger passive partikler inn i den hydrodynamiske løsningen til FVCOM.

Følgende hovedresultater er funnet, sammenlignet med nåværende situasjon ved Vikerøybrua (nulltiltak):

- en større andel av vannmasser vil ankomme Varildfjorden via vestre løp ved Vikerøybrua på bekostning av innstrømmende vannmasser fra Kolladjupet gjennom Klåstadrenna
- halveringstider blir lenger i Varildfjorden
- gjennomsnittlige oppholdstider blir noe kortere sammenlignet med dagens situasjon, mens gjennomsnittlige maksimale oppholdstider blir vesentlig lenger
- andelen av nye innkommende partikler per tidevannsperiode vil være i samme størrelsesorden eller øke noe
- andelen av partikler som returnerer til Varildfjorden i løpet av en tidevannsperiode vil øke markant

Resultater ovenfor munner ut i følgende hovedkonklusjon;

- Modellsimuleringene viser at fjerning av østre brufylling medfører redusert vannutskiftning i Varildfjorden.

Simuleringene av vannbevegelsene viser omtrent en halvering av strømhastighet i Klåstadrenna og under Vikerøybrua i forhold til nulltiltak. Fjerning av østre brufylling vil på den annen side også føre til større volumflukser (nesten 20 %) som går frem og tilbake i Vikerøysundet. Altså er det relativt mer vann som kommer inn gjennom Vikerøysund på bekostning av vann fra Kolladjupet/ Klåstadrenna, når østre brufylling fjernes.

Resultatene fra analysene av partikkelsporingsmodellen FISCAM for situasjonen med åpning av østre brufylling viser noe redusert vannutskiftning for Varildfjorden sammenliknet med nåsituasjonen, per tidevannssyklus. Halveringstider er blitt noe lenger, men gjennomsnittlig oppholdstid noe kortere. Denne tilsynelatende selvmotsigelsen er mulig ved at partikler kommer returnerer til interesseområdet mange ganger. Andelen av innkommende vannmasser per tidevannsinstrømning er blitt noe større, men det er en betydelig del av disse innkommende vannmassene som allerede har vært innom Varildfjorden tidligere i simuleringene, opptil flere ganger. Gjennomsnittet av maksimal oppholdstid til partiklene som inngår i studien gir en lenger oppholdstid med fjerning av østre brufylling enn dagens situasjon, og er en mer fornuftig parameter i vurderingen/ sammenlikningen mellom de ulike alternativer.

Lavere strømfarter ved Vikerøybrua gir mindre turbulens og omrøring av vannmasser i Vikerøysund. Sammen med mindre innstrømning av vannmasser fra Klåstadrenna gir dette en forsterket inn-ut-effekt for vannmassene i Varildfjorden og Vikerøysund. Dette fører blant annet til en markant økning av returnering av partikler til Varildfjorden i løpet av en tidevannssyklus i forhold til dagens situasjon (ca. 80 % vs. drøye 60 %).

De gjennomførte studier av sammenlikning mellom dagens situasjon, tidevannsport og åpning av østre brufylling gir en klar vinner angående vannutskiftning. En tidevannsport som stenges på innstrømmende tidevann, gir betydelig kortere oppholdstider og halveringstider i Varildfjorden sammenliknet med de andre situasjonene.

6 Referanser

- Leikvin, Ø. & Børve, E., 2016.** Indre Viksfjord, Larvik kommune: Modellering av vannutskiftning ved hjelp av partikkeltransportmodell. APN-7878.01. 29 sider.
- Leikvin, Ø. & Zhou, Q., 2017.** Indre Viksfjord, Larvik kommune: Modellering av vannutskiftning med tidevannsport ved hjelp av partikkeltransportmodell. APN-8417.01. 32 sider.