

Modellstudier for utforming av kanal

Indre Viksfjorden, Larvik kommune



Flybilde av nordre delen av Vikerøya, med Varildfjorden i nordvest og Klåstadrenna sørøst for denne, hvor en mudring vurderes gjennomført. (kartkilde: www.gulesider.no).

Rapporttittel / Report title

Modellstudier for utforming av kanal. Indre Viksfjorden, Larvik kommune.

Forfatter(e) / Author(s)

Øyvind Leikvin

Jarle Molvær

Ole Anders Nøst

Akvaplan-niva rapport nr / report no

7221 - 01

Dato / Date

26.11.2014

Antall sider / No. of pages

42 + 1

Distribusjon / Distribution

Gjennom oppdragsgiver

Oppdragsgiver / Client

Indre Viksfjord Vel

Oppdragsg. referanse / Client's reference

Ivar E. Trondsen

Sammendrag / Summary

Hydrodynamiske simuleringer har blitt utført med modellverktøyene FVCOM og RMA2 for å verifisere modellstudier utført av Havforskningsinstituttet; en kanal innerst i Viksfjorden vil ha markant positiv effekt for gjennomstrømning av vann over grunneste passasje i indre del av fjorden. Gjennomstrømningen i trange sund vest og øst for Vikerøya vil samtidig endre seg relativt lite. Modellsimuleringene viste en flerdobling av utvekslingen mellom vannmassene i vestlige og østlige del av Viksfjorden når det er slik at Klåstadrenna tørrlegges ved lavvann. Dette bekreftet dermed HIs beregninger: en kanal vil medføre økt vanngjennomstrømning og vannutskiftning i Viksfjorden i området mellom Opptaksplassen i vest, Klåstadrenna og videre mot Kolladjupe i sørøst.

Modellverktøyene er videre benyttet for å optimere utformingen til en slik kanal innerst i Klåstadrenna for å få mest mulig gjennomstrømning/ vannutskiftning med minst mulig graving. Tre ulike utforminger/ dimensjonerings av kanal har blitt testet ut, med varierende bredde og dybde. Modellsimuleringene viser at en liten økning i dypet til kanalen gir en bedre effekt på gjennomstrømning enn en økning i bredden. Det er størst effekt av å grave 1.0 m dyp kanal i forhold til 0.5 m dyp kanal. Gevinsten er noe mindre ved å grave 1.5 m dyp kanal i stedet for 1.0 m kanal. Både 1.0 m dyp kanal og 1.5 m dyp kanal øker gjennomstrømningen med en faktor 2-3 sammenlignet med nåværende situasjon. Det antas at økt gjennomstrømning i Klåstadrenna vil medføre økt gjennomstrømning og generelt økt vannutskiftning også i Varildfjorden mellom kanalen og Opptaksplassen.

Vedvarende sterk vind ut eller inn av indre Viksfjorden har gunstig effekt på vanngjennomstrømning rundt Vikerøya og følgelig vannutskiftningen. Vindeffekten har ubetydelig eller positiv innvirkning på vanngjennomstrømning i de ulike kanalalternativene. Testing med økt bunnfriksjon for å simulere sterk plantevekst langs bunnen om sommeren viser redusert gjennomstrømning av vann i kanalområdet, men favoriserer ingen av alternativene. Det er derfor liten usikkerhet angående optimering av en kanal. En kanal som er minst 1 m dypere enn middelvannstand og helst oppimot 30 m bred vil sikre markant forbedring av gjennomstrømning og dermed økt potensiale for hyppigere vannutskiftning i Varildfjorden vest og sørvest for Klåstadrenna.

Prosjektleder / Project manager

Øyvind Leikvin

Kvalitetskontroll / Quality control

Lars-Henrik Larsen

INNHOLDSFORTEGNELSE

1 INNLEDNING	3
1.1 Bakgrunn og formål.....	3
1.2 Områdebeskrivelse	3
2 METODIKK OG DATA	6
2.1 Hydrodynamisk modellering i Viksfjorden.....	6
2.1.1 Verifisering av forventet økt gjennomstrømning etter graving av ny kanal i indre del av Viksfjorden	6
2.1.2 Optimering/ dimensjonering av kanal i indre del av Viksfjorden	8
2.2 Inngangsdata og valideringsdata til modelleringen	11
2.2.1 Bunnkartlegging	11
2.2.2 Tidevannsdata.....	14
2.2.3 Strømmålinger	16
2.2.4 Vind	17
3 RESULTATER.....	19
3.1 Modellering av vanngjennomstrømning i Viksfjorden	19
3.1.1 Verifisering av HIs modellkonklusjon; mudring av kanal gir positiv effekt på sirkulasjonsforholdene rundt Vikerøya	19
3.1.2 Utforming av kanal i Viksfjorden.....	22
3.2 Sensitivitetsanalyse og usikkerheter	28
3.2.1 Bunnfriksjon/ bunnruhet.....	29
3.2.2 Vind	32
3.3 Validering av modell	36
4 DISKUSJON OG SAMMENFATTENDE VURDERINGER.....	37
5 KONKLUSJONER.....	41
6 REFERANSER.....	42
VEDLEGG	43
A) Innstillinger, for modellkjøringer med FVCOM og RMA2	43

Forord

Foreliggende rapport er utarbeidet for Indre Viksfjord Vel i samsvar med kontrakt av 12. august 2014.

Følgende personer har deltatt i prosjektet:

<i>Øyvind Leikvin</i>	<i>Akvaplan-niva AS</i>	<i>Prosjektleder, dataanalyse, modellering og rapportering</i>
<i>Ole Anders Nøst</i>	<i>Akvaplan-niva AS</i>	<i>Modellering, rapportering</i>
<i>Jarle Molvær</i>	<i>Molvær Resipientanalyse</i>	<i>Rapportering</i>
<i>Jørn Dybdahl</i>	<i>Svalbard Hestesenter</i>	<i>Feltarbeid</i>
<i>Ivar E. Trondsen</i>	<i>Indre Viksfjord Vel</i>	<i>Feltarbeid</i>
<i>Gustav E. Piene</i>	<i>Indre Viksfjord Vel</i>	<i>Feltarbeid</i>
<i>Jan Erik Strand</i>	<i>Indre Viksfjord Vel</i>	<i>Feltarbeid</i>
<i>Lars-Henrik Larsen</i>	<i>Akvaplan-niva AS</i>	<i>Kvalitetssikring</i>

Akvaplan-niva vil takke Indre Viksfjord Vel for oppdraget. Videre vil vi spesielt takke Ivar E. Trondsen, Jørn Dybdahl, Gustav E. Piene og Jan Erik Strand for strålende hjelp med utsetting og opptak av vannstandsmåler, samt dybdelodding av Viksfjorden. Vi ønsker også å takke Havforskningsinstituttet v/ Jon Albretsen for støtte med diverse inngangsdata til modelleringen, samt gode faglige diskusjoner i løpet av prosjektperioden.

Tromsø, 26. november 2014



Øyvind Leikvin

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og formål

Viksfjorden, Larvik kommune, huser store ålegressforekomster av nasjonal viktighet, verdifulle grunne bløtbunnsområder og naturvernområder inkludert et fuglereservat. Samtidig truer årevis oppblomstring av grønnalger ålegresset og det rike fuglelivet innerst i Viksfjorden.

Observasjoner og miljøundersøkelser bekrefter at Viksfjorden (Figur 1) har fått økende eutrofieringsgrad i de siste tiår (Moy m.fl., 2014). Årsaker antas å være:

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

Indre Viksfjord Vel (IVIV) har, med støtte fra Fylkesmannen i Vestfold, engasjert Havforskningsinstituttet (HI) til å utarbeide forslag til avbøtende tiltak.

HI har kartlagt den marina floraen i Viksfjorden og utført 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 den gjennomgående vannutskiftningen i Viksfjordens indre del, med følgende hovedkonklusjon:

- *Utvidelse/ fordypning av kanal innerst i Indre Viksfjorden ser ut til å ha betydelig positiv innvirkning på vannutskiftningen i Indre Viksfjorden*

Slike tiltak kan være og har vist seg å være gunstig i områder med redusert vannutskiftning kombinert med høy tilførsel av næringssalter (Skarðhamar og Larsen, 2005; Liungman og Lindahl, 2003; Wiecek og Floyd, 2007).

Formålet med dette prosjektet er å

1. *sette opp et alternativt modellsystem for å verifisere konklusjonene i rapporten til HI.*
2. *benytte modellsystemet til å optimere dimensjonene til en slik kanal, der hensikten er å få en mest mulig effektiv gjennomstrømning og utskiftning av vannmasser i indre del av Viksfjorden med minst mulig inngrep i eksisterende naturreservat*

En mer omfattende sirkulasjon og hyppigere vannutskiftning forventes å redusere algeveksten og gi generelt bedre vannkvalitet i indre Viksfjorden, samt gi bedre vilkår for ålegresset i området (Moy m.fl., 2014).

1.2 Områdebeskrivelse

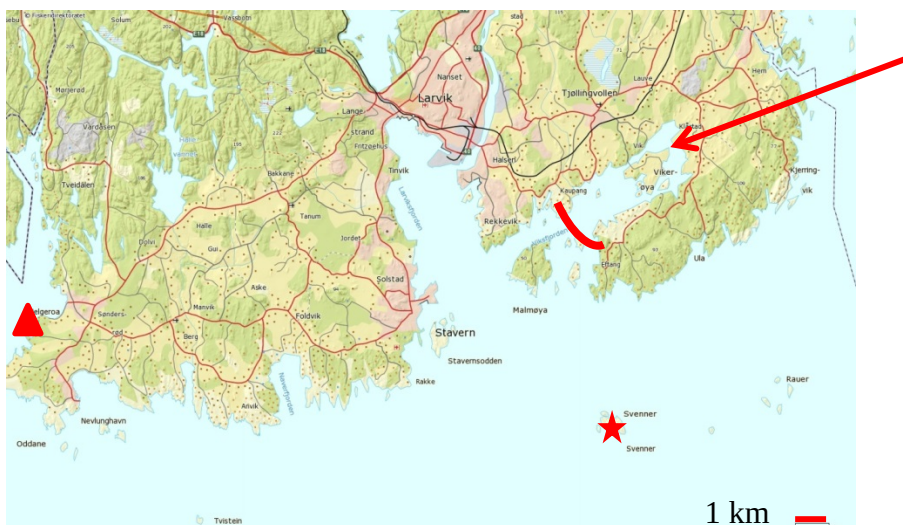
Viksfjorden er en ca. 7 km lang fjordarm orientert i nordøstlig retning med forbindelse til Larviksfjorden i vest (Figur 1). Det er en relativt grunn fjord og innenfor Langøya er dypet i Viksfjorden med få unntak grunnere enn 10 m. Innerst i Viksfjorden ligger Vikerøya, som er ca. 1.5 km i diameter (Figur 3).

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 (100 m) og i sørøst ved Refsholtsundet (90 m).

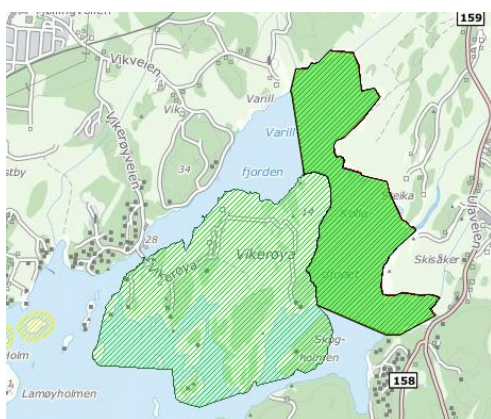
Innerst i Varildfjorden, i selve Klåstadrenna og sørøst for denne er det større grunne områder. Nord i Varildfjorden er det et område på 0.5 km * 0.5 km med dyp mindre enn 1.0 m ved middelvannstand¹ (Figur 3). I Klåstadrenna er det 30-40 cm dyp ved middelvannstand og denne grunne innsnevringen er omtrent 200 m lang. Klåstadrenna løper tørr ved kraftig lavvann og hindrer gjennomstrømning mellom vestre og østre del av innerste Viksfjorden. Sørvest for Klåstadrenna er det et mindre grunnområde, mens det sørøst for Klåstadrenna finnes et større grunnområde på omtrent 0.3 km * 0.5 km, med dyp under 70 cm (Figur 4).

Øst for Vikerøya befinner Kolladjupet seg (Figur 3). Det er en batymetrisk tilnærmet sirkelformet fordypning som går fra omkringliggende ca. 6 m ned til ca. 20 m dyp, og som er svært begrenset i horisontal utstrekning (< 100 m).

Indre Viksfjord naturreservat er illustrert i Figur 2, 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).



Figur 2: Skisse over Indre Viksfjord naturreservat (mørkegrønt) (kartkilde: www.naturbase.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 3: Midtre og indre delen av Viksfjorden. Modellranden ved Langøya er merket med rød strek, like utenfor Langøya. Kolladjupet er markert med rød stjerne. Kanalområdet er i Klåstadrenna. Strømmålinger utført av NIVA i 2013 er utført på posisjoner med røde punkter med stasjonsnavn N5 og N14 (Moy m.fl., 2014). Skalering er gitt nede til høyre (kartkilde: www.gulesider.no).



Figur 4: Området ved Klåstadrenna, der en utgraving av kanal vurderes gjennomført. Skalering er gitt nede til høyre (kartkilde: www.gulesider.no). Opptaksplassen refererer til stedet hvor det blir høstet inn grønnsalger (slikk) i sommerhalvåret, og er spesifisert med rød pil.

2 Metodikk og data

2.1 Hydrodynamisk modellering i Viksfjorden

Som nevnt i kapittel 1.1 har dette prosjektet to formål, og metodikk/data beskrives nedenfor.

Det er benyttet terminologien 'gjennomstrømning' for vann som strømmer forbi et tenkt tverrsnitt i Viksfjorden i en gitt periode, uansett hvilken retning normalt på tverrsnittet. Vannet som har strømmet gjennom tverrsnittet, kan godt komme tilbake til tverrsnittet igjen i for eksempel neste fase av tidevannsbølgen.

'Vannutskiftning' er benyttet for vann som strømmer forbi et tenkt tverrsnitt i Viksfjorden og ikke kommer tilbake til tverrsnittet, men fortsetter rundt Vikerøya og ut av indre Viksfjorden.

2.1.1 Verifisering av forventet økt gjennomstrømning etter graving av ny kanal i indre del av Viksfjorden

Verifisering av hovedresultatene som HI frembragte for Viksfjorden (Moy m.fl., 2014) med den hydrodynamiske modellen ROMS (Regional Ocean Modeling System (Shchepetkin og McWilliams, 2005)) er prosjektets første del. Akvaplan-niva (APN)/ Molvær Resipientanalyse (MRA) benyttet alternative modellsystemer, modellene FVCOM (Finite Volume Community Ocean Model (Chen m.fl., 2006; Chen m.fl., 2013) og RMA2 (Donnel m.fl., 2006), for hydrodynamiske simuleringer i Viksfjorden med høy romlig oppløsning (ca. 5 m) i fokusområdene. Modellene har et ustrukturert nettverk av trekantede beregningsceller, og størrelsen kan endres etter ønske og behov. Dette styres først og fremst av detaljgrad og nøyaktighet på bekostning av beregningseffektivitet, samt stabilitet til modellen. RMA2 beregner etter endelig-element-metoden, mens FVCOM beregner etter endelig-volum-metoden. Begge modellene er i stand til å simulere områder der en eller flere beregningsceller tørrellegges i løpet av simuleringene (wetting/ drying). Både FVCOM og RMA2 er kjørt i denne studien i 2D (dybdeintegrert, uten vertikal sjiktning i vannsøylen). Mer detaljert informasjon om valg av parametere i kjøringene er gitt i Vedlegg.

Verktøyet til å lage den konseptuelle modellen er den samme for RMA2 og FVCOM (SMS; www.aquaveo.com). Selve modellkjøringen for RMA2 gjøres på Windows mens FVCOM kjøres på Linux, nærmere bestemt klyngekomputeren Stallo i Tromsø. Det at en modell kan kjøres på en klyngekomputer øker beregningspotensialet og -effektiviteten enormt.

Griddet eller nettverket av beregnings-celler med fargeskalert bunntopografi, som ble benyttet for simuleringene for Viksfjorden utført i fase 1, er gitt i Figur 5 og Figur 6. Figur 6a fokuserer på indre delen av Viksfjorden, uten kanal, mens Figur 6b illustrerer situasjon med kanal. Merk at det er spesielt høy tetthet av beregnings-celler ved Vikerøybrua og innerst i Viksfjorden hvor en eventuell utdyping av kanal vurderes.

Det ble i denne fase 1 foretatt modellsimulering for en kanal som var ca. 350 m lang, 1 m dyp, og omtrent 20 m bred, med ytterligere ca. 10 m brede vegger som skråner opp fra 1 m dyp (se Figur 6b). Denne kanalen tilsvarer i hovedtrekk den som ble benyttet i Moy m.fl. (2014) som var 300 m lang, 1 m dyp og 30 m bred.

For FVCOM ble det kjørt en simuleringsperiode på 30 dager. Tidevann var eneste drivkraft, og kun hovedbidraget fra månen med halvdaglig periode, M2, ble benyttet. Komponenten ble trukket ut fra vannstandsmålinger fra Helgeroa (Figur 1), som var lastet ned fra nettsiden www.sehavniva.no. RMA2 ble drevet av vannstandsmålinger fra Helgeroa tidevannstasjon fra starten av april 2014. Modellen ble kjørt over ca. 4 døgn.

2.1.2 Optimering/ dimensjonering av kanal i indre del av Viksfjorden

Hovedformålet med denne studien og har vært optimering/ dimensjonering av kanal i Klåstadrenna. I denne videreføringen av arbeidet fra kapittel 2.1.1, ble samme modellverktøy, FVCOM og RMA2 benyttet. Nettverket av beregnings-celler ble laget enda mer nøyaktig med enda høyere oppløsning i selve kanalområdet, til snau 2 m (Figur 7). Det ble også redigert kraftig i bunntopografien som ligger til grunn for dypene i modellen. Redigeringen ble utført med bakgrunn i innhenting av reelle dybde data og studier av flyfoto. Uansett er det verdt å merke seg at bunntopografien i kapittel 2.1.1 er referert til sjøkartnull, mens bunntopografien i arbeidet med kanaldimensjoneringer er referert til middelvannstand (51 cm høyere).

Ut fra resultatene i Moy m.fl. (2014) og verifisering av deres arbeid (jfr. kapittel 2.1.1), diskusjoner med oppdragsgiver, samt mer nøyaktig kjennskap til bunntopografien i Viksfjorden, ble kanaldimensjoner som gitt i Tabell 1 valgt til uttesting i Klåstadrenna. Scenariene er illustrert med batymetri og trasé i Figur 8a-d. Traséene er valgt med tanke på å plassere disse i den opprinnelige og naturlige dypeste renna gjennom innsnevringen.

For FVCOM ble det kjørt en simuleringsperiode på 40 dager mellom 4. september og 13. oktober 2014; hele perioden hvor det ble målt vannstand ved modellranden i Viksfjorden (se kapittel 2.2.2). Endring i faktisk vannstand var eneste drivkraft. RMA2 ble også simulert med faktisk målte vannstandsdata (se kapittel 2.2.2), men ble kun kjørt for kortere perioder for verifisering av FVCOM-modellen. Alle tre kanaldimensjoneringer ble kjørt med de to modellene, i tillegg til simuleringer uten kanal.

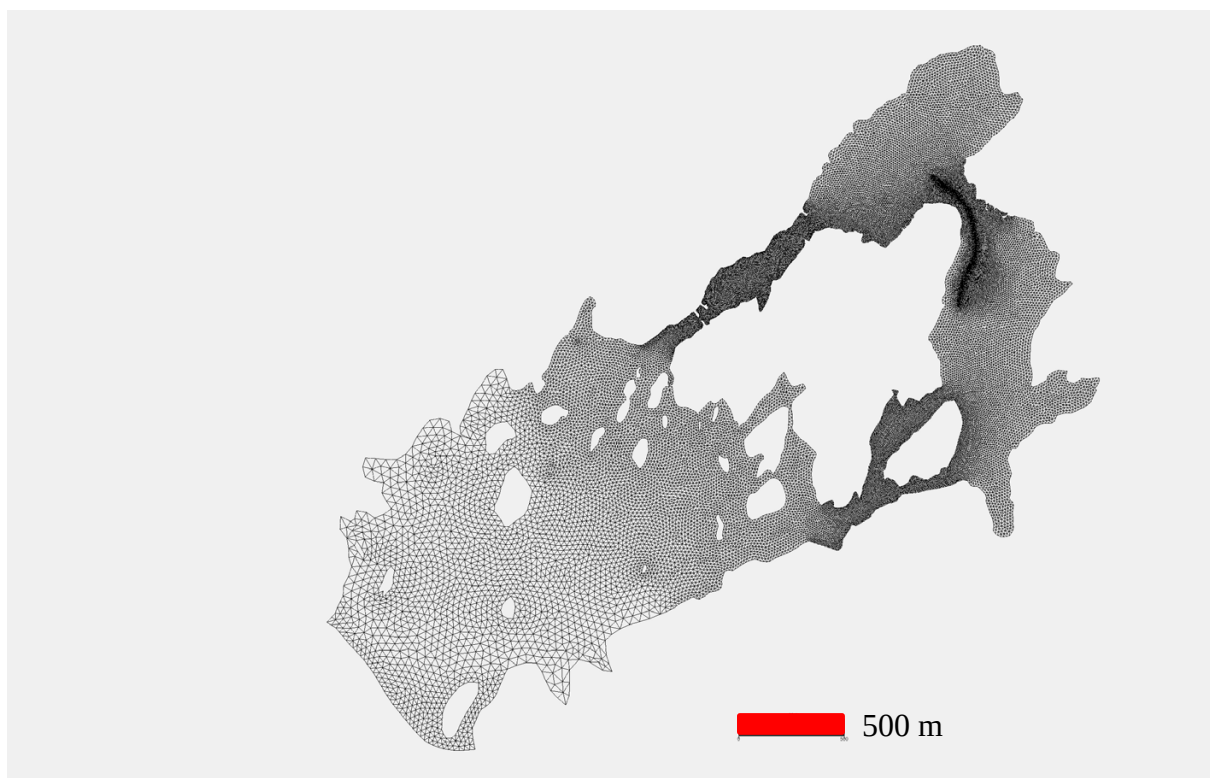
I tillegg ble det utført simuleringer med FVCOM for de 4 scenarier vist i Tabell 1 med økt bunnfriksjon. Sterk makroalgevekst på sjøbunnen i sommerhalvåret lager motstand for bevegelsen av vannmasser nær havbunnen på grunne områder. I numeriske modeller kan denne effekten parametriseres (inkluderes i beregningene) ved hjelp av en økning i verdien for bunnfriksjon.

Simuleringer med inkludering av vind som drivkraft ble også utført for en kortere periode på 6 døgn med de tilsvarende 4 scenarier. Konstante sterke vinder fra hovedvindretningene er da benyttet. Hovedhensikten med dette var å teste ut hvordan vinden påvirker vanngjennomstrømningen og vannutskiftning før og etter at en kanal er gravd.

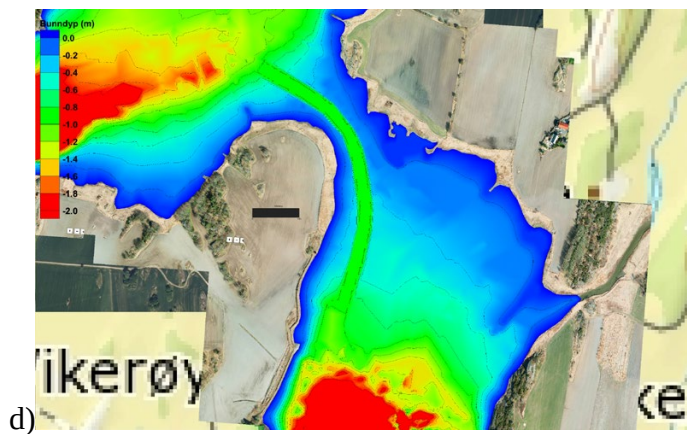
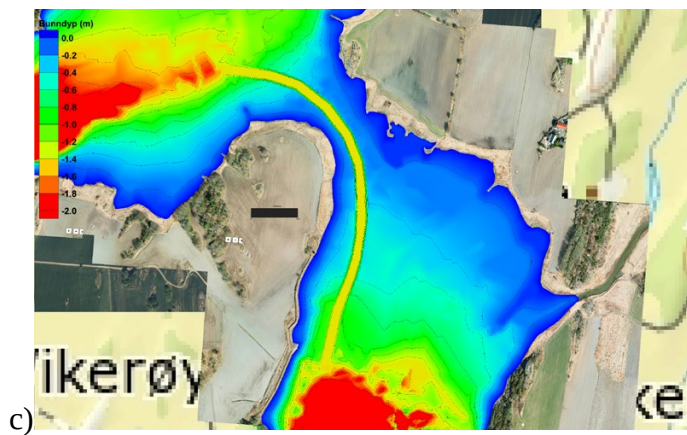
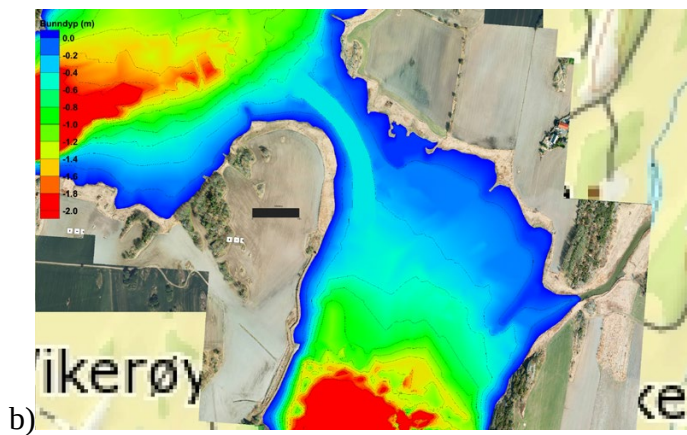
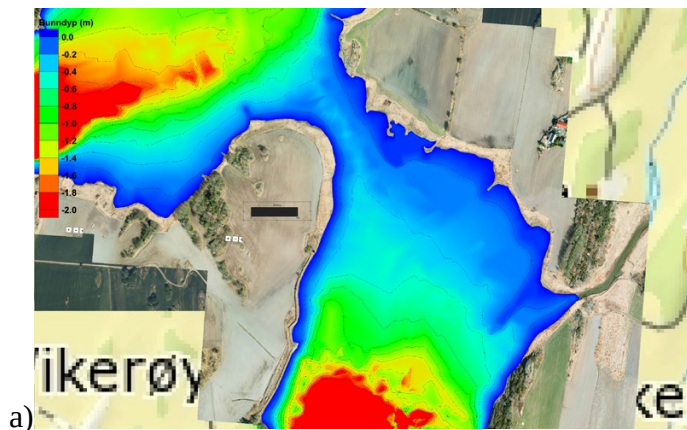
Ifølge avrenningskart (<http://atlas.nve.no>), så er det ingen hovedelver med tilløp til Viksfjorden. Det er imidlertid noen mindre bekker - for eksempel Klåstadbekken innerst i Varildfjorden og en ikke navngitt bekk ved Evja. Elvetilførsler til Varildfjorden og området like sørøst for Klåstadrenna har nedslagsfelt på henholdsvis 5.5 km² og 5.8 km² (Simonsen & Smith, 2011). Ifølge informasjon REGINE – databasen (register over nedbørfelt) til NVE (<http://atlas.nve.no>) er den årlige avrenningen i området (REGINE-enhet 015.3) på ca. 15 l/s per km². Samlet for Varildfjorden og øst for Klåstadrenna gir dette gjennomsnittlige tilførsler i størrelsesorden 0.1 m³/s, men som trolig kan gi betydelige pulser av ferskvannstilførsel under store regnskyll og i snøsmeltesesongen. Disse tilførslene vil kunne øke gjennomstrømningen og vannutskiftning i noe grad, men være begrenset i tid og størrelse. Det er av denne årsak ikke inkludert ferskvannsavrenning fra land i simuleringene.

Tabell 1: Dimensjonerings av kanal i Klåstadrenna som har blitt simulert i denne studien. Merk at dyp i kanalene er referert til middelvannstand.

Scenarie	Lengde (m)	Dyp (m)	Bredde (m)	Skulder (m)
Nulltiltak	-	-	-	-
Kanal 1	350	0.5	40	5
Kanal 2	850	1.5	15	5
Kanal 3	650	1.0	27	5



Figur 7: Oversikt over modellnettverket av beregningsceller i form av triangler med varierende størrelse, som er benyttet for Viksfjorden. Merk at gitteret er ustrukturert og at det er ekstra høy oppløsning i trange sund og i det mulige mudringsområdet (blir sort). Den røde streken nede i bildet viser skalering.



Figur 8: Illustrasjon over bunntopografien i og ved Klåstadrenna med a) nulltiltak, b) kanal 1, c) kanal 2 og d) kanal 3. Dimensjonerer av kanalene er gitt i Tabell 1.

2.2 Inngangsdata og valideringsdata til modelleringen

2.2.1 Bunnkartlegging

En viktig forutsetning for gode resultater for strømmodelleringen og dimensjoneringen av kanal i Viksfjorden er en nøyaktig kartlagt bunntopografi. Bunnmatrisen benyttet i kapittel 2.1.1, benyttet av HI, var generelt forenklet i modellområdet, spesielt på grunne områder.

Det ble ikke funnet gode bunndata for innerste del av Viksfjorden, i kanalområdet. Eneste var et konturkart rapportert i Lund (1960) med dyp referert til normal vannstand, hvis referansemåte og nøyaktighet er usikker. Derfor var det nødvendig å få målt opp bunntopografien før simuleringene for optimering av kanalene beskrevet i kapittel 2.1.2.

Akvaplan-niva/ IVIV har utført bunnkartlegging i tre operasjoner; 28. august, 25. september og 13. oktober 2014. Bunnkartleggingen ble utført med lett båt, målestav og GPS. Måledata har blitt korrigert for tidevann/ faktisk vannstand ved hjelp av data fra www.sehavniva.no.

Kystlinjedata er hentet fra Statens Kartverk, Sjøkartverket. I ytre deler av fjorden er bunnmatrisen laget ved en komplementering med fortrinnsvis innkjøpte multi- og enkeltstråledata fra Statens Kartverk, Sjøkartverket. I resterende områder er bunntopografidata som lå til grunn for HIs modelleringsarbeid i Moy m.fl. (2014) benyttet.

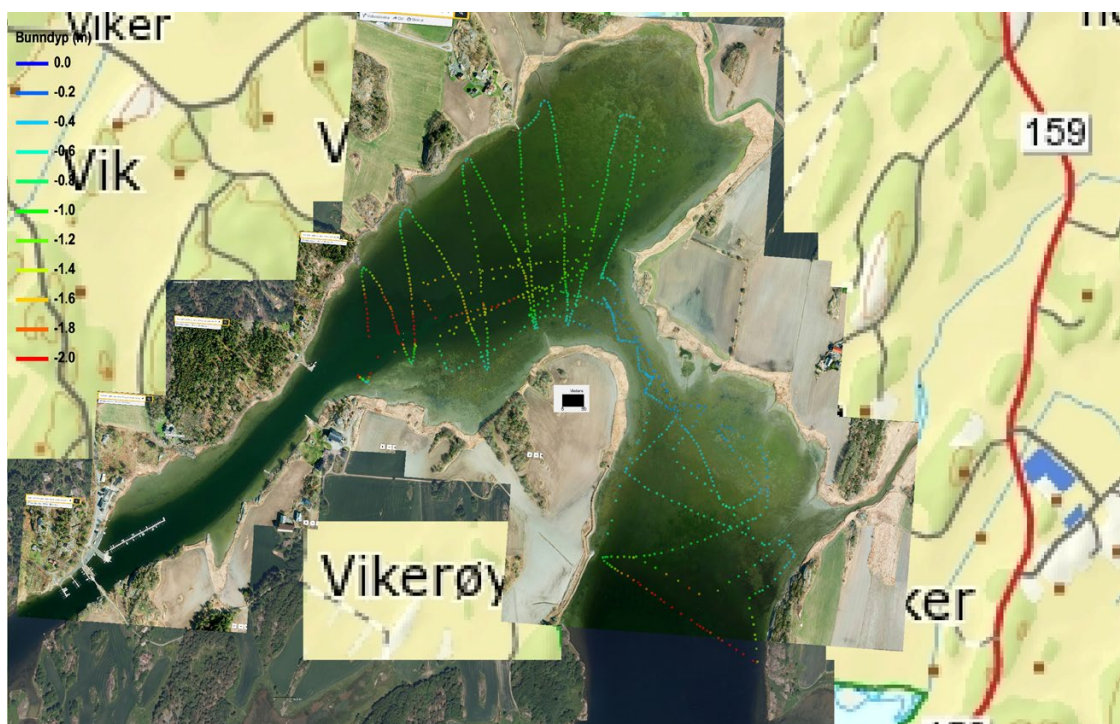
For å komplettere og verifisere bunnoppmålingene og kystlinjedata i modellområdet er det benyttet flyfoto fra nettsidene www.gulesider.no/kart og www.norgebilder.no. Dette er grunnlaget for bunntopografien i modellberegningene.

Forskjellen på verifiseringskjøringen beskrevet i kapittel 2.1.1 og studien med optimering av kanaler i kapittel 2.1.2, er altså at det er benyttet egne bunnloddingsdata, innkjøpte av data fra Statens Kartverk, Sjøkartverket, samt flyfoto for å redigere og kvalitetssikre bunnmatrisen til modelleringen.

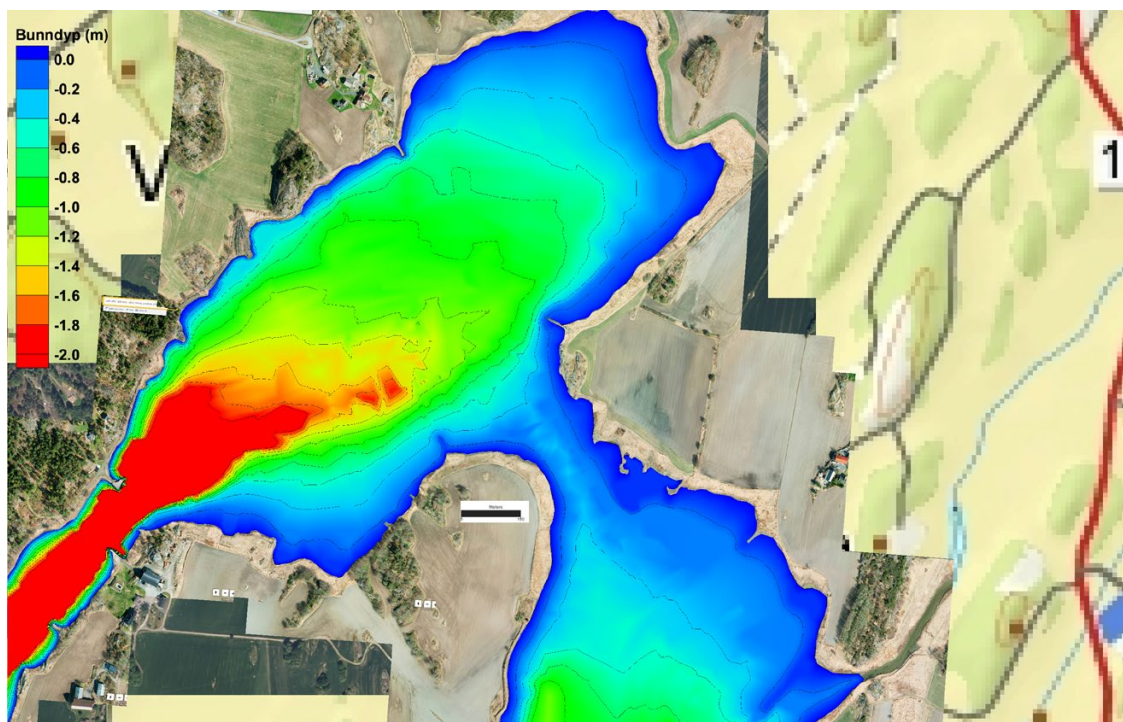
Det ble utført henholdsvis 58, 707 og 182 dybdemålinger, til sammen 947 målinger i løpet av de tre operasjonene høsten 2014. Målingene er referert til middelvannstand. Dekningsoversikt med fargeskala på punktene som illustrerer resultater av bunnoppmålingene er gjengitt samlet i Figur 9.

Et konturplott av bunntopografien i kanalområdet, basert på interpolasjon mellom dybdemålingene og manuelt innsatte dybdeangivelser anslått ved hjelp av flyfoto, er illustrert i Figur 10 nedenfor. Bunntopografien for hele modellområdet er også vist i Figur 11. Merk at det er forskjellig fargeskala i Figur 10 og Figur 11. Det er, med bakgrunn i målingene utført i prosjektet, liten usikkerhet angående dybdemålingene på de grunne områdene (<2 m) i indre del av Viksfjorden mellom Opptaksplassen og Kolladjupet, i størrelsesorden desimeter. Utenfor Vikerøya er det større usikkerheter på grunne områder, i størrelsesorden noen meter. Multistråledata fra Statens Kartverk, Sjøkartverket har stor nøyaktighet der disse har dekning. Det vurderes at kartleggingen er solid i forhold til formålet med prosjektet.

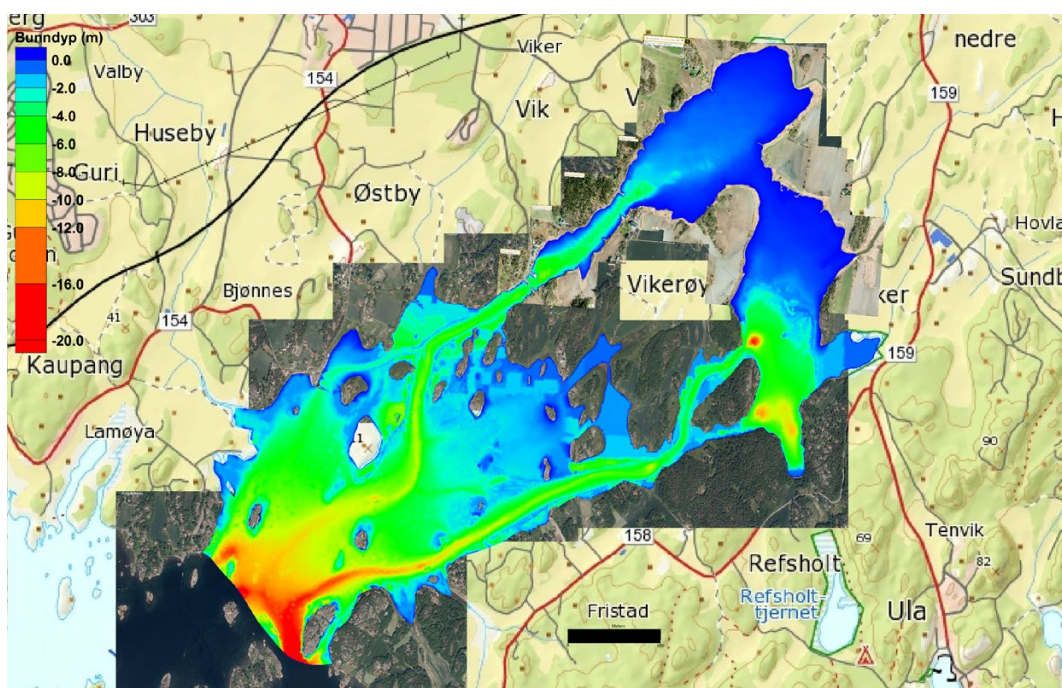
Dybderegistreringer utført av IVIV og Akvaplan-niva i prosjektperioden er videre sammenliknet med bunnmålinger rapportert i Lund (1960) i Figur 12. Generelt ser det ut til at målingene fra 2014 gir ca. 0.2 m grunnere vann i forhold til for 55 år siden. Ifølge informasjon fra Statens Kartverk, Sjøkartverket, så forekommer det en landhevning med ca. 4 mm per år i området ved Viksfjorden (Sande, 2014). På drøye 60 år gir dette 24 cm landhevning. Samtidig så er det målt at havnivået generelt stiger, men ikke like raskt som landnivået. Ifølge Sande (2014) er det beregnet at middelvannstanden i 2014 er ca. 10 cm lavere enn i 1960, men det er noe usikkerhet rundt dette. Det er også usikkert om bunnmålingene rapportert i Lund (1960) er utført med nøyaktig samme metodikk for middelvannstand som for nåværende praksis. Uansett er det illustrert at vannstanden innerst i Viksfjorden sannsynligvis er blitt redusert med 10-20 cm i løpet av de siste 55 år.



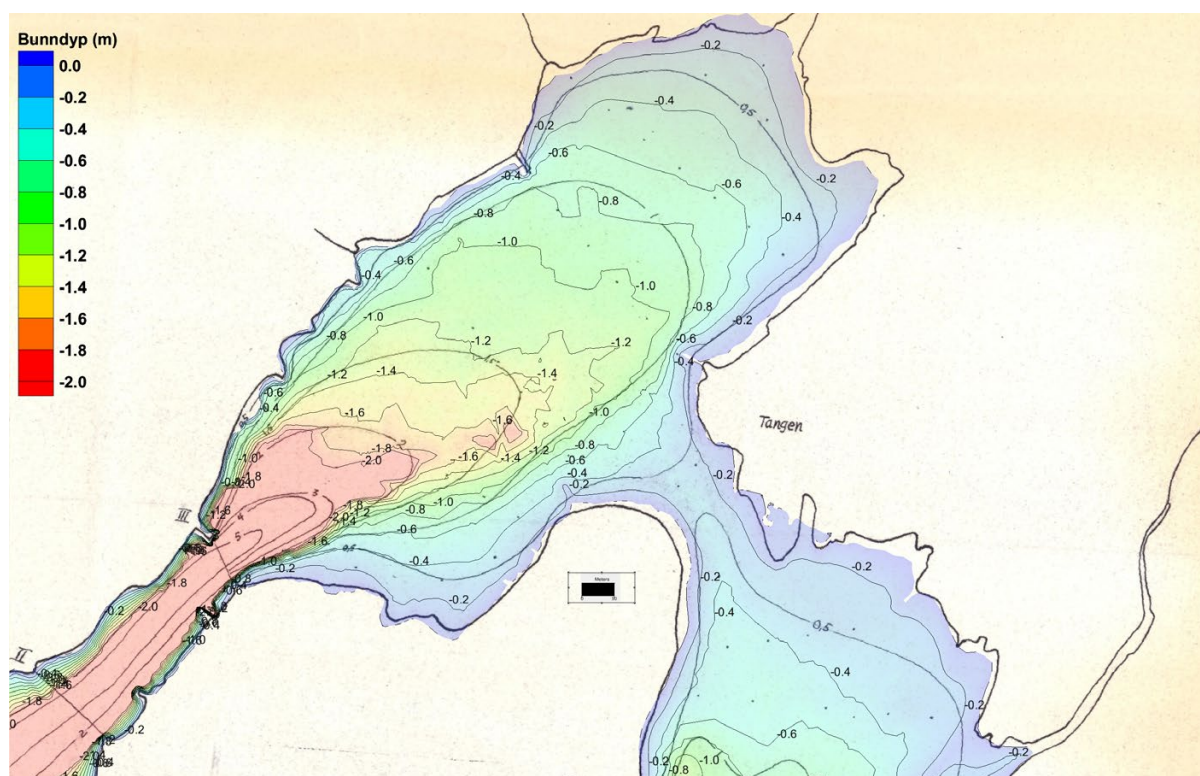
Figur 9: Oversikt over bunnoppmålinger utført av IVIV og Akvaplan-niva i prosjektperioden i 2014 i innerste delen av Viksfjorden illustrert som fargede prikker. Fargene på punktene er gitt fra fargeskalaen oppe til venstre, og er referert til middelvannstand. (kartkilde: mosaikk av flybilder og kart fra www.norgeibilder.no og www.gulesider.no).



Figur 10: Oversikt over resultatene fra konstruksjon av bunnmatrise for innerste delen av Viksfjorden til modellene fra manuelle bunnloddinger sammenholdt med inspeksjon av flybilder. Fargeskala er oppe til venstre. Ekvidistanse mellom konturene er 0.2 m. (kartkilde: mosaikk av flybilder fra www.norgebilder.no og www.gulesider.no).



Figur 11: Oversikt over bunnmatrisen benyttet som inngangsdata for de hydrodynamiske simuleringene for Viksfjorden, Larvik kommune. Fargeskala er oppe til venstre. Merk at denne er ikke-lineær, med høyere oppløsning på grunt vann. Merk at det er lite usikkerhet øst for Vikørøya og større usikkerhet i grunnområdene vest for Vikørøya (kartkilde: mosaikk av flybilder fra www.norgebilder.no og www.gulesider.no).



Figur 12: Sammenlikning mellom resultater fra bunnkartlegging utført av IVIV og Akvaplan-niva i prosjektperioden med bunnkartleggingen som ble rapportert i Lund (1960). I bakgrunnen er et "håndtegnet" kart med glatte bunnkonturer med ekvidistanse 0.5 m for grunneste del av indre Viksfjorden. Oppå dette er et transparent lag med resultatene fra Figur 10 med innskrevne verdier, med noe hakkete konturer med ekvidistanse 0.2 m (kartkilde: Lund (1960)).

2.2.2 Tidevannsdata

I verifikasjonen i kapittel 2.1.1 ble det benyttet faktisk målt vannstand ved Helgeroa tidevannsstasjon (Figur 1) fra april 2014. Helgeroa ligger drøye 20 km unna Viksfjorden i vannavstand.

Resultatene fra vannstandsmålingene går direkte inn som inngangsdata på modellranden i den hydrodynamiske modellen, og det er denne som hovedsakelig driver overflatehevingen i modellen.

For å redusere usikkerheten angående vannstandsendingene brukt til å styre den hydrodynamiske modellen for Viksfjorden, ble vannstandsmålinger utført ved modellranden (Figur 1) fra 4. september til 13. oktober 2014. Det ble utført målinger hvert 10. minutt gjennom hele perioden og dataene ble korrigerte for lufttrykket. Instrumentet som ble brukt for å måle vannstanden var en Keller DCX-22AA trykkmåler.

Vannstandsmålingene fra modellranden (Figur 13, i rødt) viste at vannstanden varierte mellom drøye 40 cm over og 50 cm under middelvannstand i løpet av måleperioden 4. september – 13. oktober 2014. Gjennomsnittlig over hele måleperioden var vannstanden 4 cm under middelvannstand.

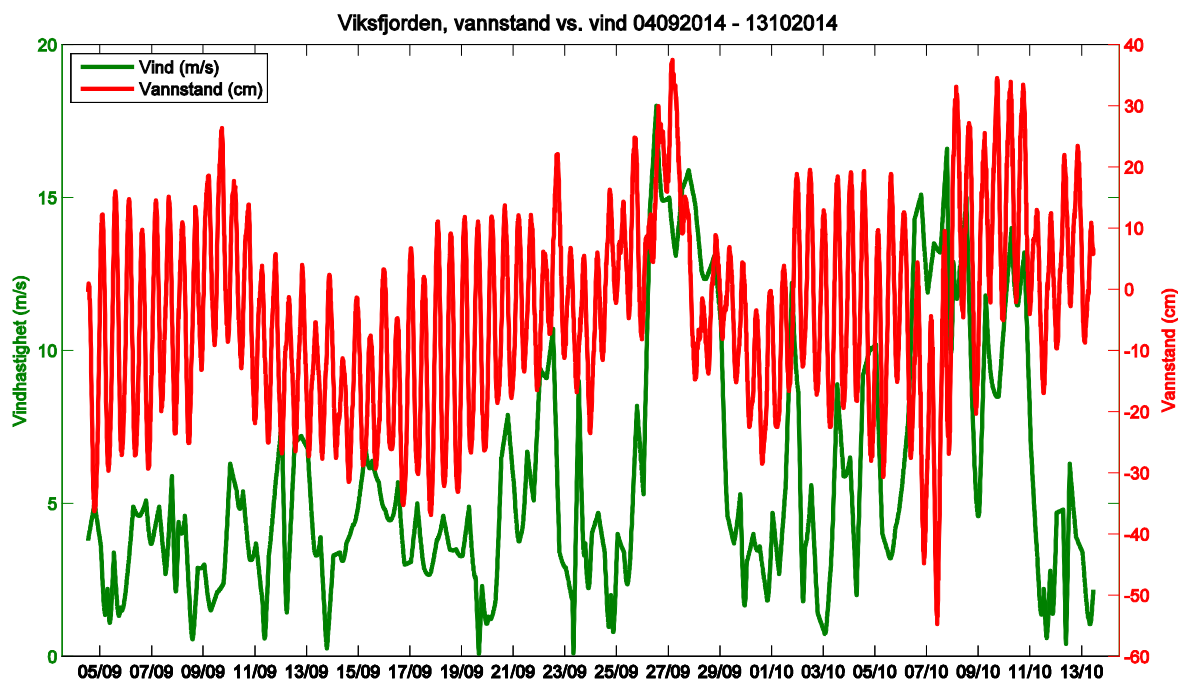
Det var perioder med vedvarende høy vannstand 26. - 28. september og 8. - 11. oktober. Perioder med lav vannstand inntraff i periodene 11. - 18. september, 30. september – 1. oktober og 7. oktober 2014. Det var tydelig tidevannssignal gjennom hele perioden med periode på ca. 12 timer. Endringene i løpet av drøye 6 timer, fra lavvann til høyvann i en

tidevannsperiode (12.42 timer), varierte mellom 15 cm og 60 cm i løpet av måleperioden, med en typisk størrelse på om lag 30 cm.

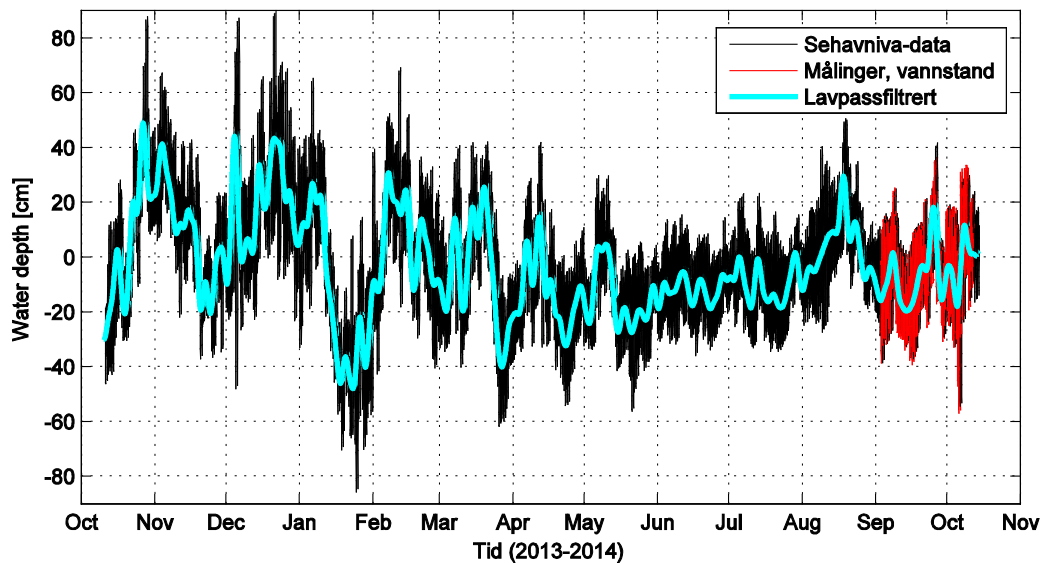
Forskjellen mellom verdier for Viksfjorden produsert av www.sehavniva.no og de faktisk målte vannstandsdata var liten. Maksimal forskjell var drøye 7 cm. Standardavviket i differansen var 1.5 cm.

Vannstandsdata hentet fra www.sehavniva.no fra Viksfjorden for det siste året (13. oktober 2013 – 13. oktober 2014) med tidsoppløsning på en time er gitt i Figur 14 (sort). I denne figuren er også målingene fra dette prosjektet inntegnet (rødt). Den blå grafen viser et lavpassfiltrert signal (pl33tn, Beardsley, 2011) med cutoff-periode på 96 timer. Årstidsserien viser at vannstanden høsten 2013 og vinteren 2014 generelt var relativt høy sammenliknet med middelvannstand, med unntak av en lengre periode i slutten av januar med lav vannstand. Sommeren 2014 var det generelt stabilt lav vannstand i Viksfjorden. Også i måleperioden i september 2014 var det noe lav vannstand målt i forhold til middelvannstand.

Målinger av vindstyrke fra Svenner Fyr i samme periode som vannstandsmålingene er også vist i Figur 13 (grønt). Disse blir beskrevet i kapittel 2.2.4 og sammenhengen diskutert i kapittel 4.



Figur 13: Vannstand (rødt) referert til middelvannstand målt i ytre delen av Viksfjorden ved modellranden i september - oktober 2014. Målinger av vindstyrke hentet fra nærmeste målestasjon ved Svenner Fyr ca. 7 km unna er vist i grønt. Merk at skala for vannstand (cm) er på høyre side og skala for vindstyrke (m/s) er på venstre side.



Figur 14: Vannstand målt av Akvaplan-niva i ytre del av Viksfjorden (rødt) vist i sammenheng med vannstandsdata hentet fra www.sehavniva.no fra Viksfjorden (sort) for perioden oktober 2013 til oktober 2014. Lavpassfiltrerte verdier (96 timer) er gitt i lyseblått.

2.2.3 Strømmålinger

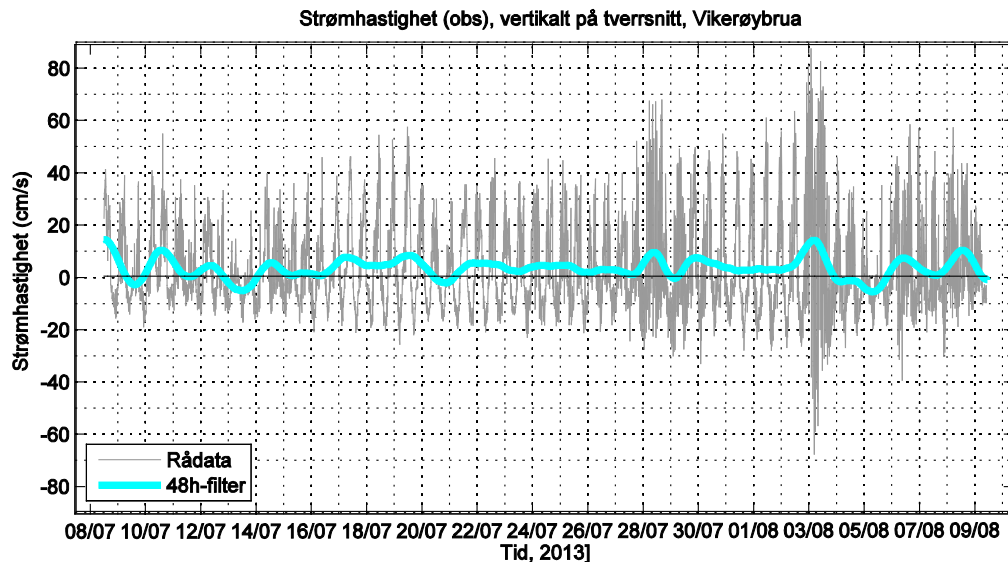
Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) foretok strømmålinger på tre stasjoner i perioden 8. juli – 9. august 2013 (Moy m.fl., 2014). Den ytterste strømmålingsstasjonen med navn N8 er såpass nær modellranden at det ikke er tilrådelig med en sammenlikning, da beregnede strømmønstre nær modellrender som regel er mindre nøyaktige. Plassering av de to andre strømmålerne er illustrert i Figur 3. På stasjon N14 ved Vikerøybrua var det utplassert en Aanderaa RCM 11, mens på stasjon N5 var det en Aanderaa RCM9. Disse strømmålingene ble tatt på 2 m dyp, og vil være et verifikasjonsgrunnlag, selv om modelleringen ikke er utført i samme periode som målingene. Det vil da være fokus på den totale fordelingen av strømrøtning og strømhastighet i modellen i løpet av måleperioden på de utvalgte punkter med strømmålinger. Sammenlikningen blir utført for å verifisere modellens hovedtrekk angående retning og størrelsesforhold til strømmen. Det er dog viktig å understreke at punktmålinger kan være sterkt farget av svært lokale virvler og bunnforhold, som for eksempel store steiner etc. Strømmen har som regel stor variasjon både i tid og rom inne i fjorder med komplisert topografi.

Ved Vikerøybrua (N14) var nettostrømmen i målingene 3.1 cm/s mot nordøst. Gjennomsnittsfarten til strømmen var 13.3 cm/s. Mer informasjon og roseplott av strømmen er gitt i Moy m.fl. (2014). Kraftige strømmer ble tidvis målt, og maksimalhastigheten var på 88 cm/s. Strømmålingen ved Vikerøybrua er tatt på ca. 2 m dyp, og er trolig representativ for fluksen gjennom Vikerøybrua, i midtlaget/ øvre lag.

Strømhastighetene har blitt rotert slik at strømmålingene peker vinkelrett på tverrsnittet over Vikerøybrua. De roterte strømverdiene på langs av Vikerøysundet er vist i Figur 15, sammen med et filtrert signal (pl33tn) (Beardsley, 2005), som glatter over det halvdaglige tidevannssignalet. Det er tydelig at signalet ikke er symmetrisk om 0, men at det nesten alltid er en nettostrøm sørvestover mot ytre Viksfjorden eller innover mot Varildfjorden. Nettostrømmen var ofte i størrelsesorden 5 cm/s over ett døgn og mer i måleperioden i 2013. Strømmålingene er sjekket mot vindmålinger fra samme periode. Det var ingen spesielt kraftige vinder i måleperioden, men det ser ut som om relativt kraftig vind fra sørvest som

regel gir strøm mot nordøst, og omvendt. 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, ikke vist).

Sørøst for Vikerøya, i Refsholtsundet (N5), ble nettostrømmen målt til 0.77 cm/s mot nord-nordøst. Gjennomsnittsfarten til strømmen ble her mer moderate 4.4 cm/s. Maksimalfarten målt i måleperioden var på 33 cm/s.



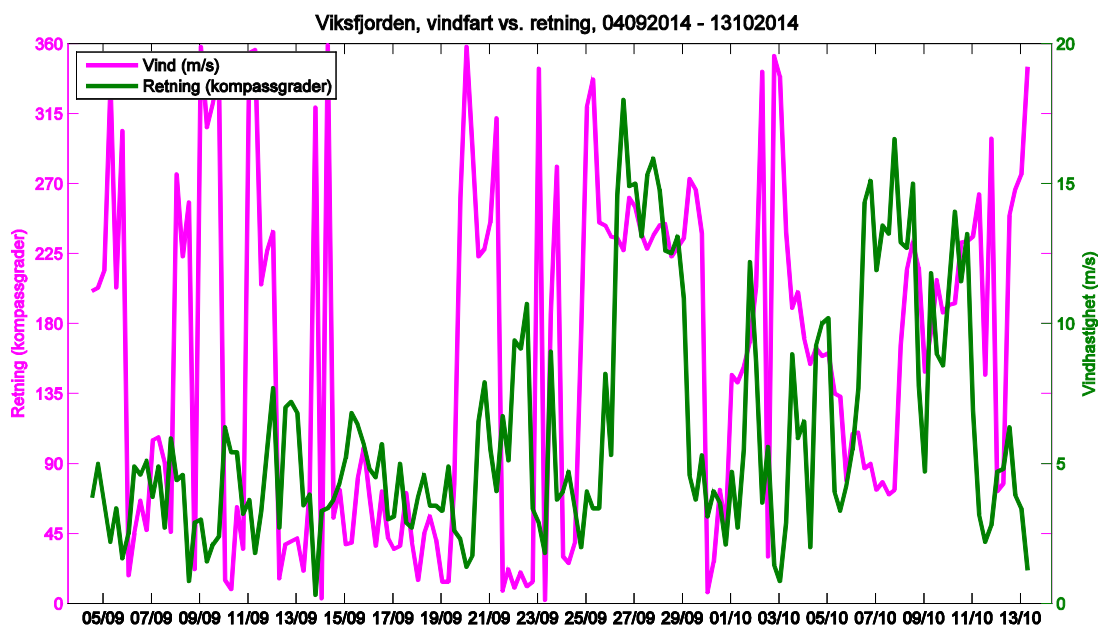
Figur 15: Strømhastigheter vinkelrett på tverrsnittet ved Vikerøybrua fra målinger utført av NIVA i 2013. Positive verdier er inn mot Varildfjorden. Rådata er illustrert i grått, mens filtrerte data (2 døgn) er i blått. Merk at det ifølge disse målingene så og si alltid er en nettostrøm inn eller ut av Vikerøysundet.

2.2.4 Vind

Verdier for vind i modellsimuleringsperioden ble hentet fra Svenner Fyr (4. september – 13. oktober 2014), dvs. samme tidsrom som for målinger av vannstand i Viksfjorden. Vindmålingene er hentet inn via met.no's webside www.eklima.no, med målinger hver 6. time for vindretning og -styrke.

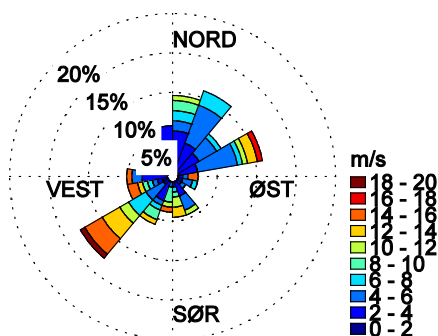
Vindmålinger er vist i Figur 16, med vindstyrke plottet i samme diagram som retning. Det er to markerte perioder med vedvarende sterke vinder. I den første perioden, ca. 27.-29. september, kommer vinden fra ca. 225 grader, altså sørvest. I den andre perioden, ca. 7.- 9. oktober, er vinden først fra nordøst, men dreier over til sørvest mot slutten.

Et vindrose-diagram fra målingene er vist i Figur 17. Her kommer tydelig de to hovedretningene for vind i måleperioden ved Svenner Fyr frem, med vind fra sørvest og nordøst.



Figur 16: Målinger av vindstyrke (grønt, skala på høyre vertikalakse) fra Svenner Fyr hver 6. time i perioden 4. september - 13. oktober 2014. Retninger er også vist i rosa i kompassgrader, med skala på venstre vertikalakse. Grader er oppgitt med hensyn til hvilken retning vinden kommer fra.

Vindrose-diagram fra Svenner Fyr, 04092014-13102014



Figur 17: Vindrose-diagram fra Svenner Fyr 4. september - 13. oktober 2014. Vindmålingene er delt inn i 15 graders sektorer. Prosentandelen av totalt antall målinger som kommer fra hver sektor er gitt som størrelsen av hver sektor. Innenfor hver sektor er andelen av bidrag fra spesifikke hastighetsintervall gitt med fargeskala til høyre. I dette diagrammet er retningen der vinden kommer fra i den retningen hvor sektorene peker.

3 Resultater

3.1 Modellering av vanngjennomstrømning i Viksfjorden

Modelleringen av gjennomstrømningen i Viksfjorden er utført i to faser, som beskrevet i kapittel 2.1.1 og 2.1.2. Resultatene blir rapportert adskilt i kapittel 3.1.1 og 3.1.2, med størst vekt på sistnevnte, på optimeringen av en kanal i Klåstadrenna.

3.1.1 Verifisering av HIs modellkonklusjon; mudring av kanal gir positiv effekt på sirkulasjonsforholdene rundt Vikerøya

Simuleringene med FVCOM og RMA2 viser at strømrretningen i grove trekk er innover på begge sider av Viksfjorden når det går mot flo sjø, og utover når det går mot fjære sjø. Med dagens bunntopografi stopper sirkulasjonen tidvis opp innerst i Viksfjorden på begge sider av kanalområdet, og vannet går ut igjen på begge sider av Vikerøya. Både med og uten kanal, når det ikke er tørrlagt i det potensielle kanalområdet, vil strømbanene fra begge sider av Vikerøya i hovedsak gå inn mot og samles i Varildfjorden innerst i nordvest, og gå ut igjen på begge sider av Vikerøya (Figur 18). Det er som regel kraftigst strøm i de smaleste områder.

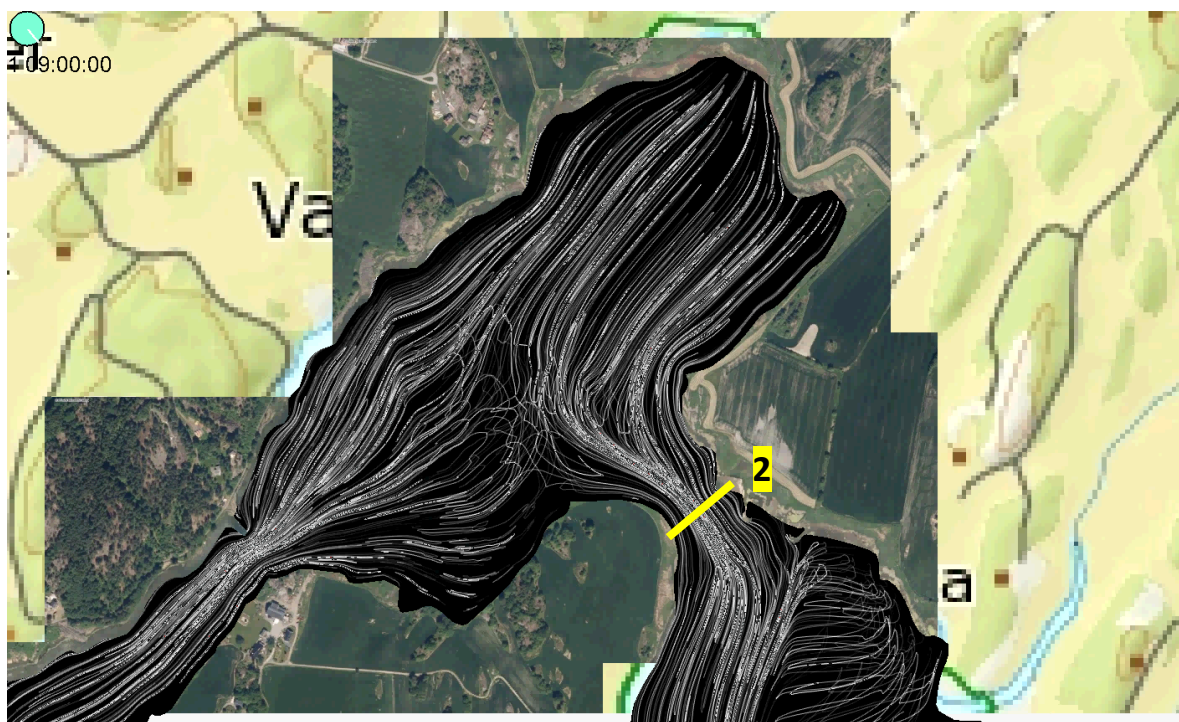
For å sammenlikne resultatene fra simuleringene utført med FVCOM/ RMA2 med ROMS (HI-modellen), er det trukket ut tidsserier av volumflukser på tre strategiske steder (smale sund) vest, nord og øst for Vikerøya, nærmere bestemt ved Vikerøybrua, Klåstadrenna og Refsholtsundet. Posisjonene er illustrert i Figur 5, og samsvarer geografisk med det HI har rapportert (Moy m.fl., 2014). Tidsseriene er vist i Figur 19.

Figur 26 i Moy m.fl. (2014) med timesverdier for volumfluksen kan sammenliknes med Figur 19a (transekt 1 i Figur 5) nedenfor. Absoluttverdien til volumfluksen er i samme størrelsesorden når det er høyvann i ROMS som verdiene fra både med og uten kanal med FVCOM/ RMA2. FVCOM og RMA2 beregner at det er omtrent samme volumfluks som går forbi Vikerøybrua i situasjonene med og uten kanal, og at denne tidevannsfluksen er i størrelsesorden 5-10 ganger større enn den vanlige døgnmidlede transporten illustrert i Figur 23 i Moy m.fl. (2014). Tidvis, ved spesielle omstendigheter, kan imidlertid den døgnmidlede transporten ifølge ROMS være opp mot like stor som den maksimale tidevannsfluksen gjennom sundet. Transporten kan være orientert både i retning med og mot klokka, rundt Vikerøya.

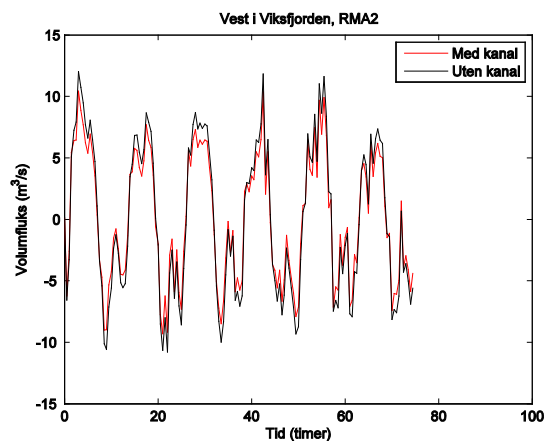
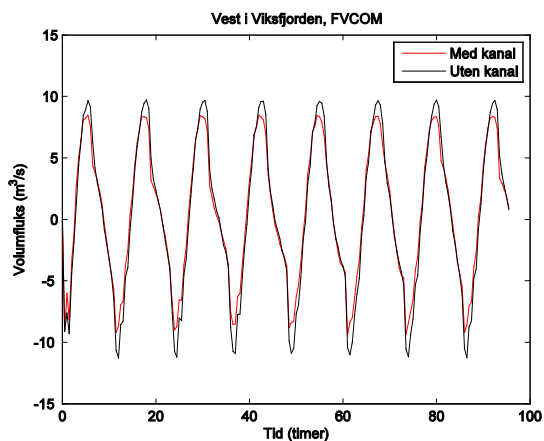
Figur 19b viser volumfluksen innerst i Viksfjorden, i det potensielle kanalområdet (transekt 2 i Figur 5). FVCOM illustrerer tydelig at området periodevis tørrlegges med dagens bunntopografi uten kanal (sort), der grafen blir liggende i lenger tid på verdien 0. Økningen av volumfluksen ved mudring av kanal er omtrent fra 1 til 3 m³/s, ved maksimalstrøm for tidevannet, altså en økning på ca. 300 %. I simuleringene med RMA2 tørrlegges ikke denne kanalen fullstendig, og en noe høyere volumfluks opprettholdes. Derfor er økningen i volumfluks med kanal mindre enn med FVCOM, på ca. 75 %. Fordi FVCOM i disse simuleringene har illustrert tørrleggingen bedre, vil det legges mest vekt på dette modellverktøyet for optimeringen av kanalene beskrevet i kapittel 2.1.2 og 3.1.2.

Figur 19c viser volumfluksene i Refsholtsundet (transekt 3 i Figur 5). FVCOM beregner at omtrent samme volumflukser strømmer gjennom sundet med og uten kanal. Absoluttverdien til volumfluksene er større (14-23 m³/s), enn ved Vikerøybrua i vest (8-12 m³/s).

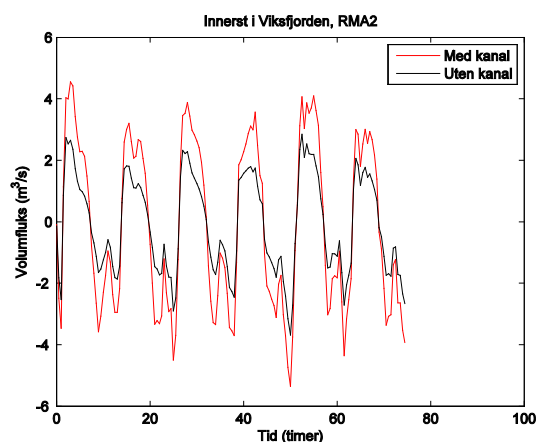
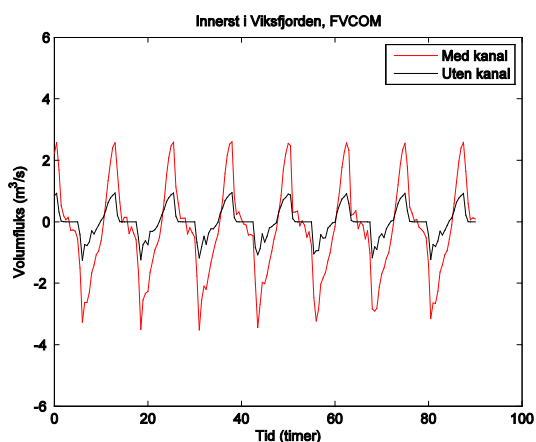
Modellkjøringene med FVCOM og RMA2 har vist at gjennomstrømningen i Klåstadrenna i indre Viksfjorden vil bli 1 -3 ganger større ved graving av kanal, med henholdsvis kun tidevann og faktisk vannstand som drivkraft (konservativ beregning). Denne studien har verifisert det resultatet som HI oppnådde med sin hydrodynamiske modell (ROMS). Prosjektet har derfor gått videre til å omfatte fase 2, som går ut på å optimere utformingen av en eventuell kanal i Klåstadrenna, beskrevet i kapittel 2.1.2 og 3.1.2.



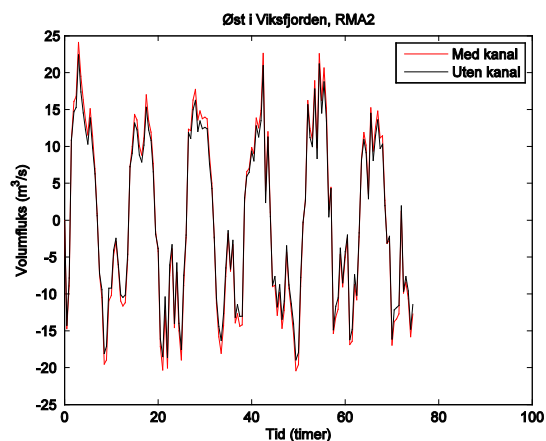
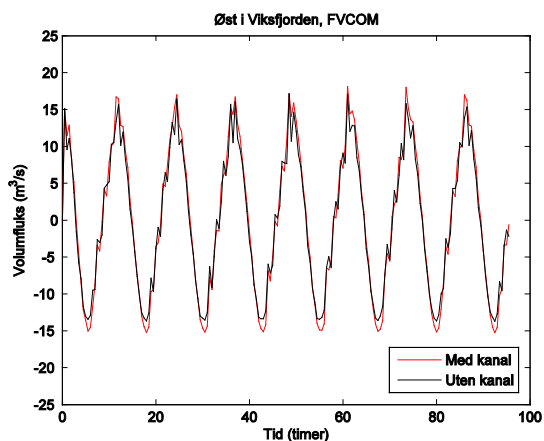
Figur 18: Snapshot av strømbaner (hvite streker) til vannmassene (sort) ved fallende tidevann innerst i Viksfjorden, med kanal. Illustrasjonen er hentet fra RMA2-kjøring, med faktisk vannstand som drivkraft. Simuleringer uten kanal viser tilsvarende situasjon på synkende vannstand. Høy tetthet av strømbaner indikerer sterkere strømhastighet. Gul strek er tegnet på tvers av trasé for en eventuell kanal i Klåstadrenna (kartkilde: mosaikk av flybilder fra www.norgebilder.no og www.gulesider.no).



a)



b)



c)

Figur 19: Resultater fra FVCOM (venstre kolonne) og RMA2 (høyre kolonne). Volumflukser fra a) vest, b) innerst og c) øst for Vikørøya (Posisjoner er vist i Figur 5). Positive verdier er i retning ut av Viksfjorden (mot sørøst i kanalen). Merk kanalens betydning i b) hvor kanalen løper tørr i FVCOM. NB: modellene er ikke i fase, angående tidevann, og kjøringene for de to modellene har noe ulik lengde.

3.1.2 Utforming av kanal i Viksfjorden

Med oppdatert bunntopografi og faktiske vannstandsmålinger på plass, ble modellsimuleringer for fase 2 satt i gang, med 4 ulike batymetrier innerst i Viksfjorden ved Klåstadrenna. Dette tilsvarer nåværende situasjon uten kanal og tre ulike kanalutforminger beskrevet i Tabell 1. Det ble laget tre tverrsnitt i modellsimuleringen, tilsvarende det som ble utført i fase 1 (kapittel 2.1.1 og 3.1.1). Posisjoneringen av tverrsnittene er noenlunde de samme (Vikerøybrua, Klåstadrenna og Refsholtsundet, se Figur 5) og resultatene bør derfor være sammenliknbare. Volumfluksene er beregnet for hele måleperioden gjennom å beregne areal i tverrsnittet, multiplisere med den romlige gjennomsnittshastigheten i tverrsnittet, samt 1 m for å få volumfluks heller enn arealfluks. Dette ble utført for nulltiltak (ingen mudring) og for de tre ulike kanal-alternativene beskrevet i Tabell 1.

Stillbilder av strømhastigheter ved fallende sjø for området rundt Vikerøya er gitt i Figur 20, uten kanal. Videre er det vist illustrasjoner fokusert på området mellom Vikerøybrua og Evja ved de 4 alternativene for kanal i Figur 21a-d. Strømretningen er som regel ut av indre Viksfjorden, når kun faktisk vannstand er drivkraft på modellgrensen. I Klåstadrenna ser det ut som om strømhastigheten økes og konsentreres inn mot midten av sundet når kanalen blir dypere og smalere.

Noen statistiske resultater er gitt i Tabell 2 nedenfor, og tidsserier av fluksene gjennom måleperioden 4. september – 13. oktober 2014 er vist i Figur 22.

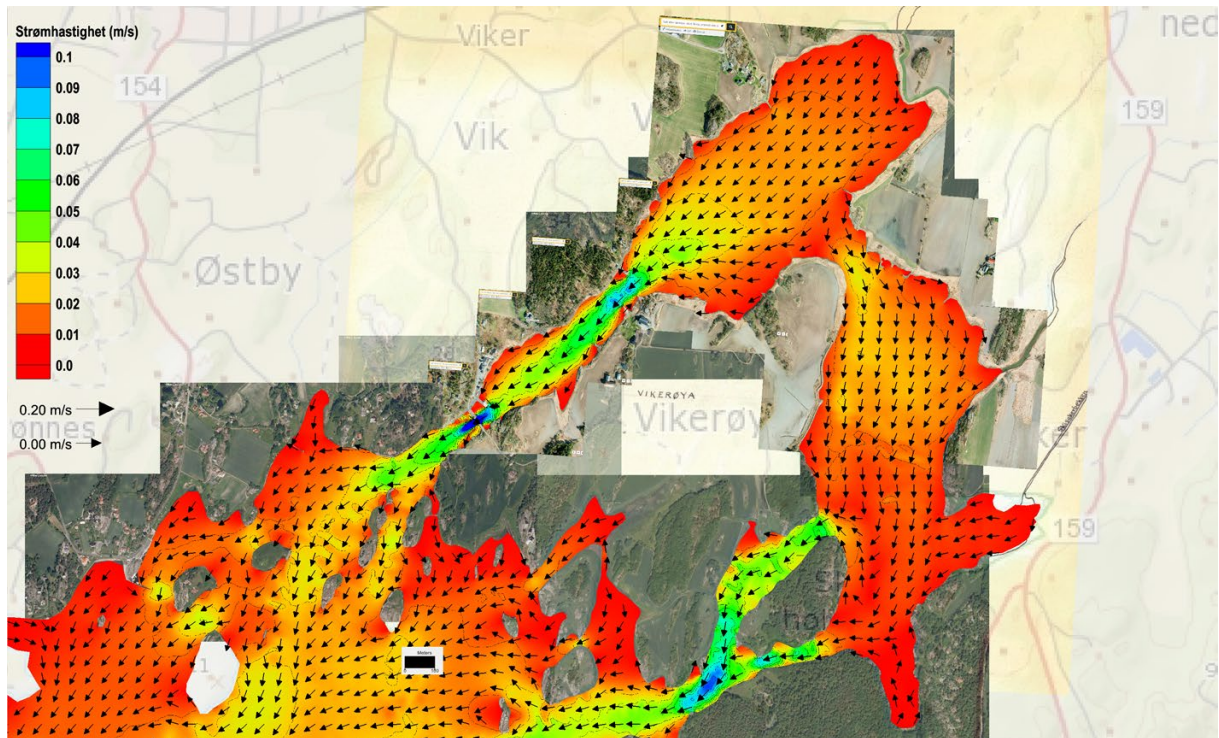
Gjennomsnittsfuksen (absoluttverdi) av vann gjennom kanalområdet var på 0.9 m³/s ved dagens situasjon. Ifølge modellen vil denne gjennomsnittsfuksen øke til 1.3 m³/s med en grunn og bred kanal tilsvarende kanal 1, 1.8 m³/s med en dypere og noe smalere kanal tilsvarende kanal 3 og videre til 2.0 m³/s med den dypeste og smaleste kanal 2. Økningen av gjennomstrømningen ved mudring tilsvarende kanal 2 og 3 var altså over det dobbelte, sammenliknet med alternativ 1 uten graving av kanal.

Maksimalfluksene i løpet av måleperioden økte med henholdsvis over 60 og 80 % for de to alternativene kanal 3 og kanal 2.

I tidsseriene for volumfluksene gjennom tverrsnittet i Klåstadrenna, vist i Figur 22b, ses det tydelig at det er det røde signalet som er minst. Dette signalet tilsvarer scenariet uten kanal. Det lyseblå og sorte signalet er dominerende i størrelse, som tilsvarer henholdsvis kanal 3 og 2. Volumfluksen følger tidevannet, og er i verdier mellom 0 og 6 m³/s i alternerende retning mot øst og vest. Når det er synkende vannstand, er strømretningen mot øst. Når det er stigende vannstand, går vannmassene i hovedsak mot vest.

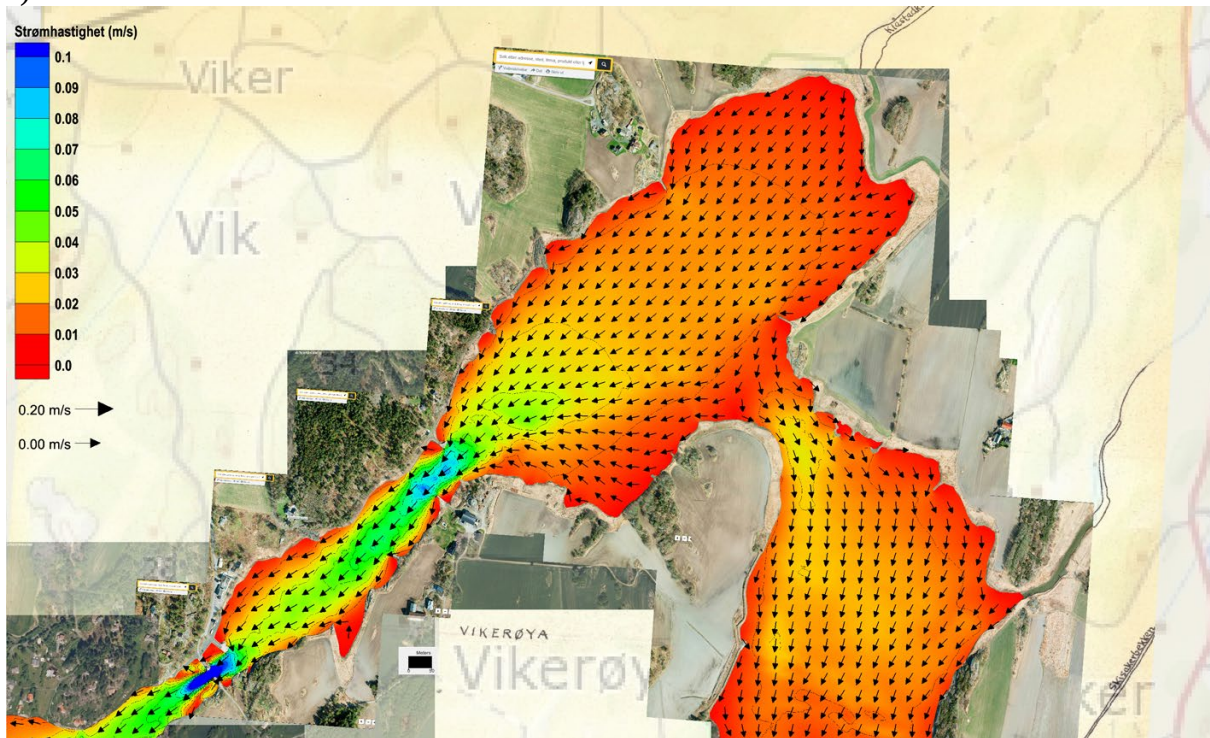
I tverrsnittet ved Vikerøybrua ble den gjennomsnittlige fluksen noe redusert ved åpning av kanal i Klåstadrenna, maksimalt nesten 10 % ved kanal 2. Tilnærmet tilsvarende økninger ble funnet ved tverrsnittet sørøst for Vikerøya i Refsholtsundet. Forskjellen mellom de ulike kanalalternativene var generelt små for fluksberegningene i de to tverrsnittene på begge sider av Vikerøya. Av modellresultatene kan vi også se at det er tilnærmet ingen nettofluks gjennom de tre tverrsnittene, men mulig det er en marginal nettofluks i retning mot klokka rundt Vikerøya både uten og med kanal. Ved lavpass-filtrering av modellens strøm vinkelrett på tverrsnittet ved Vikerøybrua, tilsvarende som for strømmålingene fra 2013 i Figur 15, viste modellen som regel en svak nettostrøm inn eller ut av sundet. Typiske verdier var 1-2 cm/s nettostrøm, som var en del svakere enn for strømmålingene (4-6 cm/s).

I tidsseriene for fluksene fra tverrsnittet over Vikerøybrua (Figur 22a) og Refsholtsundet (Figur 22c) kan det så og si bare skimtes ett signal. Det er fordi fluksene fra de ulike alternativene for kanal og nulltiltak gir omtrent like flukser i disse områdene, når kun faktisk vannstand er drivkraft på modellgrensen. Fluksene blir marginalt mindre ved Vikerøybrua og marginalt større i Refsholtsundet, som kan observeres hvis det blir zoomet inn i tid, jfr. resultatene fra Tabell 2. Dette betyr at det, ifølge modellsimuleringene, kommer noe mer vann fra øst inn i Varildfjorden, på bekostning av vannmasser fra Vikerøysundet.

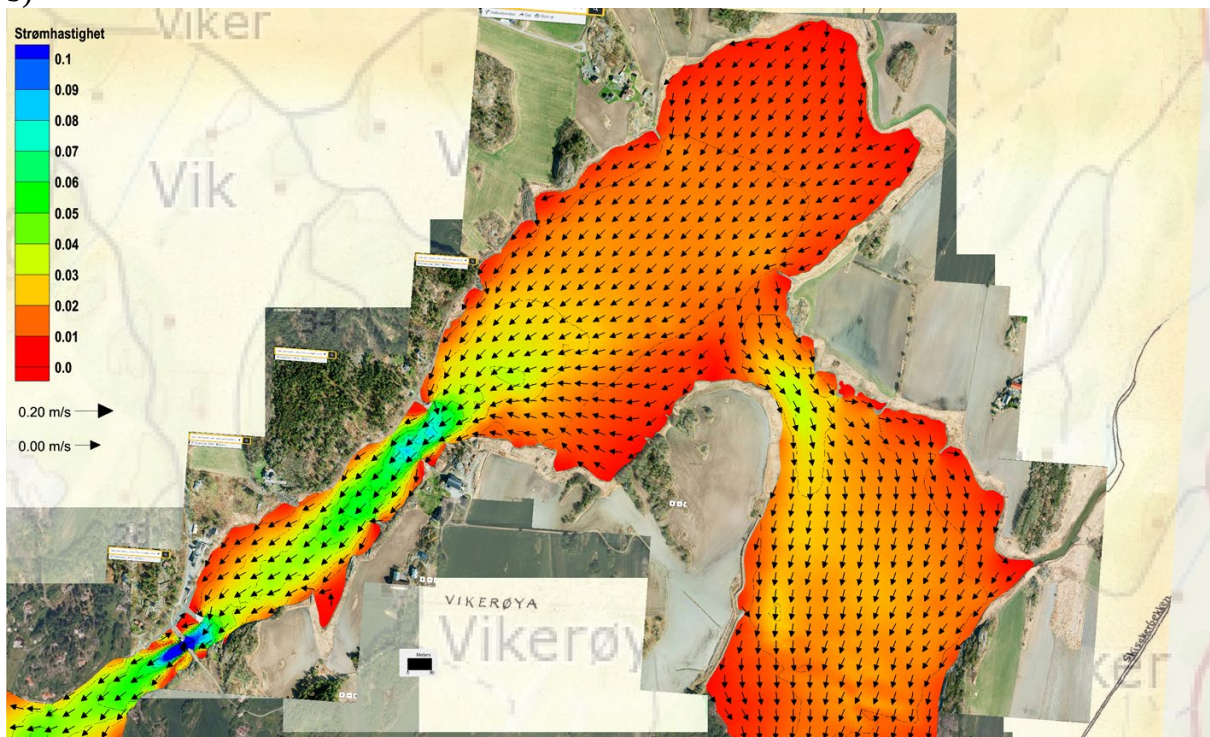


Figur 20: Snapshot av strømhastigheter i indre Viksfjorden simulert med RMA2 ved fallende vannstand, uten kanal. Simuleringer ved stigende vann viser tilsvarende situasjon, men med hastighetspilene pekende inn mot Varildfjorden. Fargeskala er oppe til venstre, der blå farge illustrere de sterkeste strømmene (kartkilde: mosaikk av flybilder fra www.norgebilder.no og www.gulesider.no).

a)



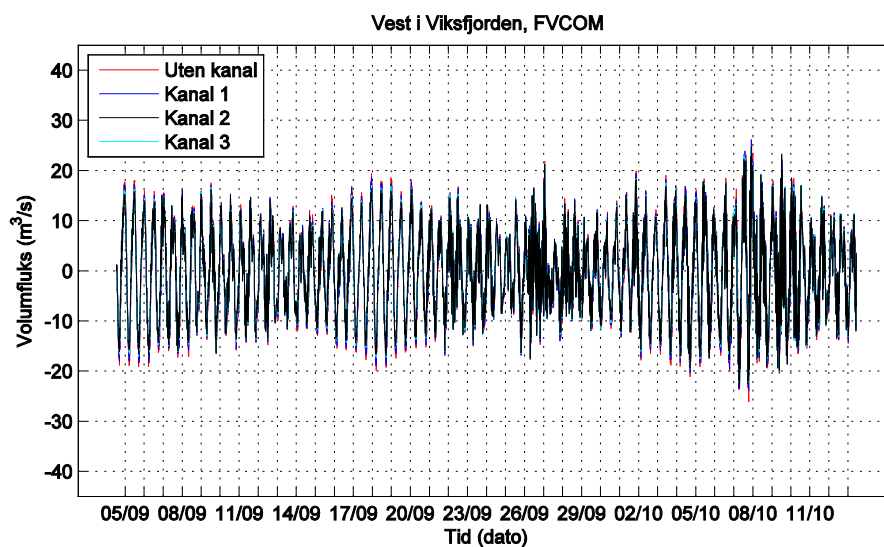
b)



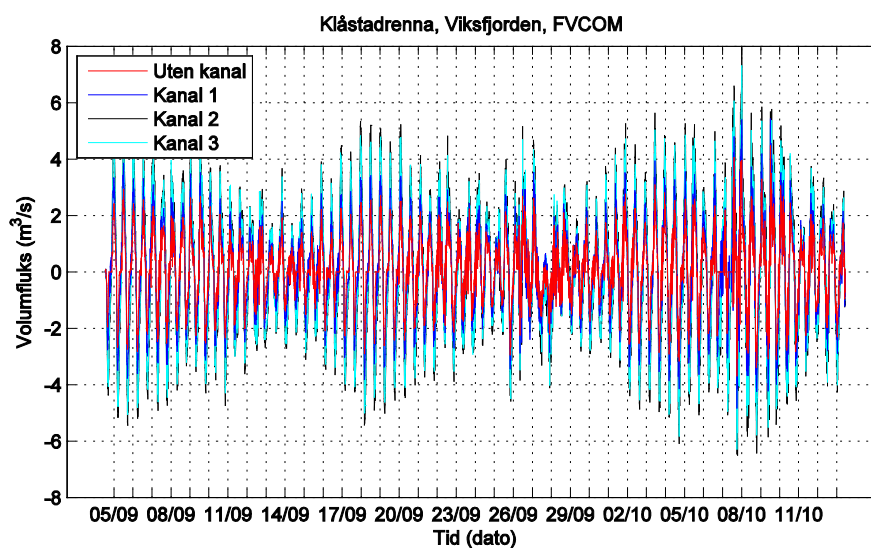
Modellstudier for utforming av kanal. Indre Viksfjorden, Larvik kommune
Akvaplan-niva AS Rapport 7221 - 01

Tabell 2: De viktigste statistiske resultater av volumfluksberegninger fra simuleringer med FVCOM for tverrsnitt ved Vikerøybrua, Klåstadrenna og Refsholtsundet (se Figur 4). Positiv retning for gjennomsnittlig fluks er inn mot Varildfjorden.

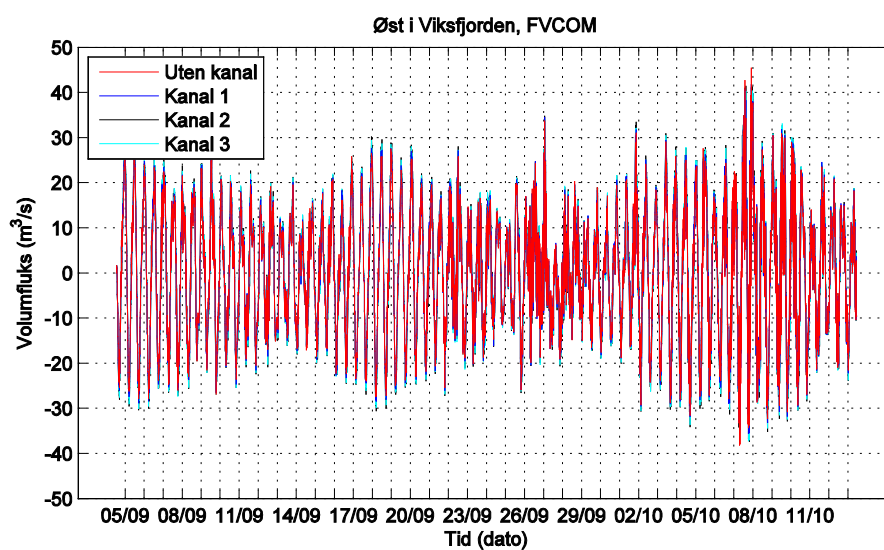
Sted for tverrsnitt	Scenarie	Gjennomsnittlig fluks (absoluttverdi) (m ³ /s)	Gjennomsnittlig fluks (absoluttverdi) i forhold til nulltiltak (ingen kanal)	Maksimal fluks (m ³ /s)	Maksimal fluks i forhold til nulltiltak (ingen kanal)	Netto fluks (m ³ /s)
Vikerøybrua	Ingen kanal	7.5		26.1		-0.22
	Kanal 1	7.3	97 %	26.1	100 %	-0.23
	Kanal 2	6.8	91 %	24.7	95 %	-0.16
	Kanal 3	6.9	92 %	24.6	94 %	-0.18
Klåstadrenna	Ingen kanal	0.91		4.5		0.07
	Kanal 1	1.3	142 %	5.4	121 %	0.06
	Kanal 2	2.0	221 %	8.1	181 %	0.01
	Kanal 3	1.8	202 %	7.3	163 %	0.00
Refsholtsundet	Ingen kanal	10.7		45.4		0.18
	Kanal 1	11.0	103 %	41.7	92 %	0.19
	Kanal 2	11.6	108 %	41.4	91 %	0.13
	Kanal 3	11.4	107 %	40.3	89 %	0.15



a)



b)



c)

Figur 22: Resultat fra simuleringer med FVCOM for Viksfjorden, med beregninger av volumflukser gjennom tverrsnitt ved a) Vikerøybrua, b) Klåstadrenna og c) Refsholtsundet (se Figur 5). Positiv retning er inn mot Varildfjorden innerst i Viksfjorden.

3.2 Sensitivitetsanalyse og usikkerheter

Endring i noen parametere i modellen og noen drivkrefter har stor påvirkningsevne på resultatene til simuleringene. Det ønskes å utelukke at slike effekter kan ha innflytelse på resultatene for optimeringen av kanal i Klåstadrenna. Noen viktige parametere er:

- Bunnfriksjon
- Turbulent diffusjonskoeffisient/ viskositet

Drivkrefter som kan ha stor påvirkningsevne er:

- Vannstandsendringer
- Vind
- Horisontale tetthetsforskjeller (inntrengning av kystvann)
- Elvetilførsel

Mange grunne områder i indre Viksfjorden huser store forekomster av grønnauger, ålegress og andre vekster på havbunnen i sommerhalvåret. Disse skaper motstand mot bevegelser av vannmassene. I en numerisk modell kan dette representeres som økt bunnfriksjon. De initielle kjøringene med FVCOM har relativt lav bunnfriksjon. Derfor er det valgt å kjøre scenarier med høyere bunnfriksjon, for å se effektene på resultatet angående de ulike kanalalternativene, mer tilsvarende en sommersituasjon. En nøyaktig parametrisering av makroalger som kilde til bunnfriksjon for Viksfjorden krever en inngående kalibreringsstudie, og derfor skal denne analyse kun benyttes som en veiledning på effekt av makroalger på gjennomstrømningen. Resultater fra testing med bunnfriksjon er beskrevet i kapittel 3.2.1.

I FVCOM er den turbulente diffusiviteten, i.e. hvor seigtflytende vannmassene er, beskrevet med Smagorinsky-metoden (Smagorinsky, 1963). Diffusiviteten vil endre seg med størrelsen til beregningscellen. I RMA2 ble diffusiviteten gitt ved Peclet-metoden (Donnel m.fl., 2006). For å få RMA2 til å konvergere og ikke bli ustabil, ble diffusiviteten satt relativt lav i RMA2 (relativt høy viskositet, altså mer seigtflytende), mens Smagorinsky-metoden fungerte bra med FVCOM med en relativt høy og realistisk diffusivitet. Testing av diffusiviteten ble derfor ikke prioritert.

Vannstandsendringer er blitt målt i prosjektperioden på modellranden. Denne antas å være konstant over randen for hvert tidssteg. Det forventes å være svært liten usikkerhet forbundet med denne variabelen.

Vind ser ut til å periodevis være en viktig drivkraft til strømmønster og strømhastigheter i Viksfjorden. Dette er vist i Figur 13 og diskutert i kapittel 4. Derfor er det valgt å kjøre noen kortere testsimuleringer med vind, beskrevet i kapittel 3.2.2.

Modellsimuleringene er utført i 2D, og det er derfor ikke mulig å få med effekter av horisontale tetthetsforskjeller eller effekter av oppvelling og oppstuvning av vannmasser. For øvrig så er vannstandsendingene beregnet med faktisk målt vannstand, og derfor er i utgangspunktet andre drivkrefter også indirekte inkludert på randen til modellen. Vertikale hastighetsskjær og tetthetsdrevet strøm inne i modellområdet kan ikke tas høyde for uten en 3D-modell. Angående optimeringen av en kanal antas disse 3D-effekter ikke å være av avgjørende betydning.

Elvetilførsel påvirker også strømmønsteret og gjennomstrømningen av vann i indre delen av Viksfjorden. Elvetilførsler er utelatt av simuleringen av hovedsakelig to årsaker:

1. Avrenningen til Viksfjorden er generelt liten (se kapittel 2.1.2) og har begrenset effekt i tid og rom på strømmønsteret.
2. Elvetilførsler vil føre til økt gjennomstrømning av vann i indre deler av Viksfjorden. Modellsimuleringer uten elvetilførsler vil derfor være av konservativ art angående beregninger av gjennomstrømning av vann.

3.2.1 Bunnfriksjon/ bunnruhet

Bunnfriksjonen i områder med mindre enn 3 m dyp (se kapittel 1.2) ble økt med en faktor på 10 i FVCOM-oppsettet. Modellen ble ellers kjørt på samme måte som beskrevet i kapittel 2.1.2 og 3.1.2. Noen statistiske resultater er oppgitt i Tabell 3 og tidsserier er illustrert i Figur 23. Disse kan direkte sammenliknes med Tabell 2 og Figur 22.

Gjennomsnittsfluksen (absoluttverdi) av vann gjennom kanalområdet ble nå redusert til 0.32 m³/s ved dagens situasjon (Tabell 3), en reduksjon på 65 % i forhold til simuleringene med lavere bunnfriksjon (Tabell 2). Med kanalalternativene ble denne reduksjonen omtrent 60 %. For Vikerøybrua-snittet ble det noe økning i gjennomsnittsfluksen med ekstra bunnfriksjon, mens det ble en tilsvarende reduksjon sørøst for Vikerøya.

Gjennomstrømning i forhold til ingen kanal økte med henholdsvis 44 %, 174 % og 132 % for kanal 1, kanal 2 og kanal 3. Dette viser at også med høy bunnfriksjon så er økningen i gjennomstrømning mest effektiv med den dypeste kanal 2, ganske tett fulgt av den noe bredere og grunnere kanal 3. Den relative økningen i forhold til dagens situasjon uten kanal var noe høyere enn med simuleringene med lav bunnfriksjon, men fortsatt tilsvarte økningen en faktor mellom 2 og 3.

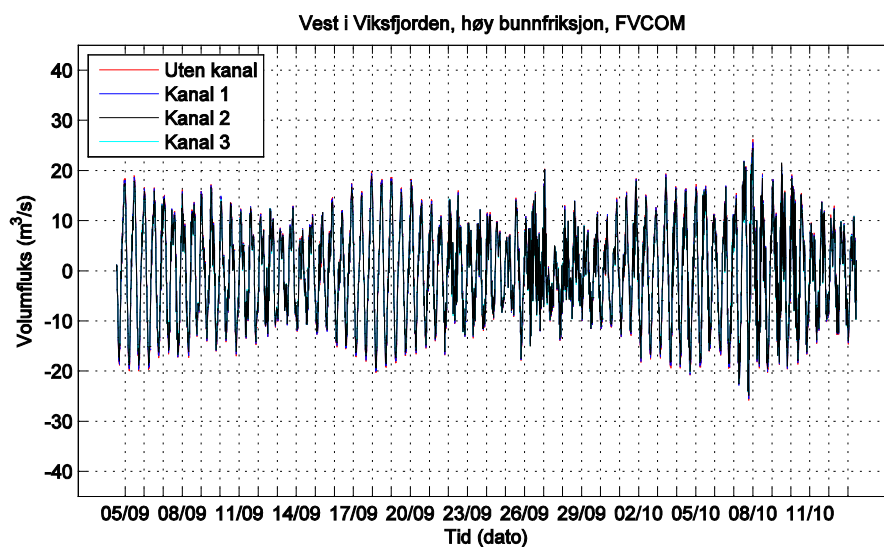
Maksimalfluksene i måleperioden økte relativt noe mindre enn gjennomsnittsfluksene, tilsvarende simuleringene med lavere bunnfriksjon.

I tverrsnittet ved Vikerøybrua ble den gjennomsnittlige fluksen noe redusert med å grave kanal i Klåstadrenna, opptil 6 % ved kanal 2. Tilnærmet tilsvarende økninger ble funnet ved tverrsnittet sørøst for Vikerøya, i Refsholtsundet. Også dette viser er i tråd med simuleringene med lav bunnfriksjon. De grove trekk i de innbyrdes variasjonene i fluksberegningene mellom de ulike kanalalternativene var bevart.

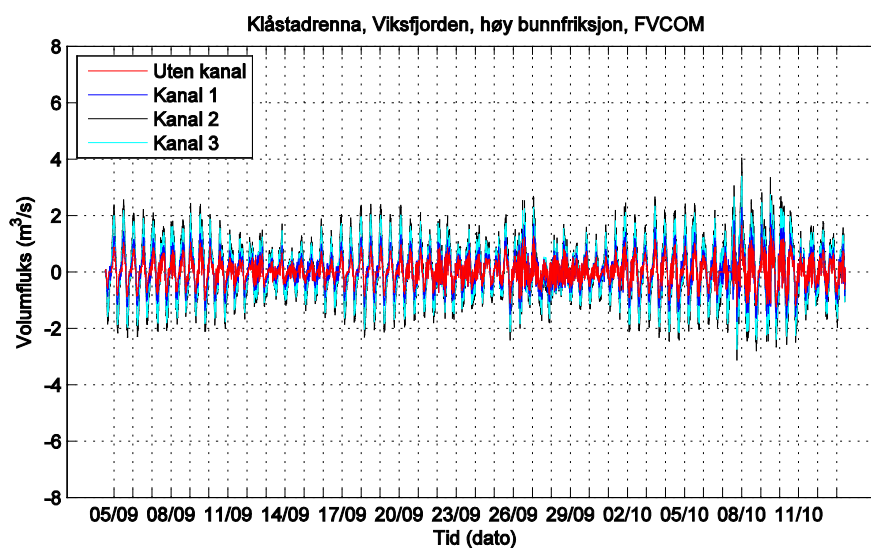
I tidsseriene for fluksene for tverrsnittet over Klåstadrenna, vist i Figur 22b, ses det tydelig at det er det røde signalet som er minst, tilsvarende scenariet uten kanal. Samme innbyrdes resultater oppnås for de ulike kanalalternativene. Den største forskjellen fra simuleringene med lavere bunnfriksjon er at gjennomstrømningen i kanalområdet er vesentlig redusert (Figur 22b vs. Figur 23b). Det lyseblå og sorte signalet er dominerende i størrelse, som tilsvarende henholdsvis kanal 3 og 2. I Figur 23a og Figur 23c, ved Vikerøybrua og sørøst for Vikerøya, ses kun en av fargene for kanalene. Årsaken til dette er, som i Figur 22a og Figur 22c, at fluksene er marginalt forskjellige gjennom de to tverrsnittene ved de ulike kanalalternativene beskrevet i Tabell 1.

Tabell 3: Volumfluksberegninger fra simuleringer med FVCOM med økt bunnfriksjon i øverste 3 m for tverrsnitt ved Vikørøybrua, Klåstadrenna og Refsholtsundet. Situasjonen svarer til en sommersituasjon. NB: bunnfriksjonen er ikke kalibrert til dette formål, så dette er kun en veiledende analyse.

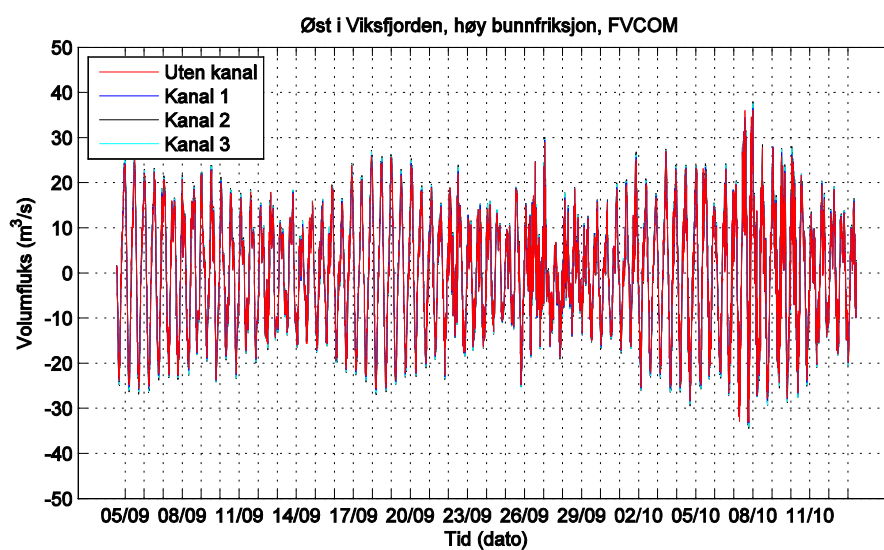
Sted for tverrsnitt	Scenarie	Gjennom-snittlig fluks (absolutt-verdi) (m ³ /s)	Gjennom-snittlig fluks (absolutt-verdi) i forhold til nulltiltak (ingen kanal)	Gjennom-snittlig fluks (absolutt-verdi) i forhold til lav bunnfriksjon (Tabell 2)	Maksimal fluks (m ³ /s)	Maksimal fluks i forhold til nulltiltak (ingen kanal)	Maksimal fluks (absolutt-verdi) i forhold til lav bunnfriksjon (Tabell 2)	Netto fluks (m ³ /s)
Vikørøybrua	Ingen kanal	7.8		104 %	26.2		100 %	-0.10
	Kanal 1	7.7	99 %	106 %	25.5	97 %	98 %	-0.12
	Kanal 2	7.4	94 %	108 %	24.4	93 %	99 %	-0.16
	Kanal 3	7.5	96 %	108 %	24.8	95 %	101 %	-0.14
Klåstadrenna	Ingen kanal	0.32		35 %	1.6		37 %	0.02
	Kanal 1	0.47	144 %	36 %	2.3	139 %	42 %	0.03
	Kanal 2	0.89	274 %	44 %	4.0	245 %	50 %	0.07
	Kanal 3	0.75	232 %	40 %	3.4	206 %	46 %	0.06
Refsholtsundet	Ingen kanal	10.0		93 %	36.0		79 %	0.08
	Kanal 1	10.1	101 %	92 %	36.5	101 %	87 %	0.10
	Kanal 2	10.5	105 %	91 %	37.9	105 %	92 %	0.14
	Kanal 3	10.4	104 %	91 %	37.4	104 %	93 %	0.13



a)



b)



c)

Figur 23: Resultat fra simuleringer med FVCOM for Viksfjorden med 10 ganger større bunnfriksjon på dyp < 3 m sammenliknet med simuleringene vist i Figur 22. Figurene viser beregninger av volumflukser gjennom tverrsnitt ved a) Vikerøybrua, b) Klåstadrenna og c) Refsholtsundet, sørøst for Vikerøya. Samme grenser på vertikalaksen er benyttet som i Figur 22.

3.2.2 Vind

Modellen ble kjørt med to ulike vindscenarier (vindhastighet 10 m/s fra nordøst og fra sørvest, over 6 dager) i tillegg til scenariet uten vind som er rapportert i kapittel 3.1.2. Den positive effekten på vanngjennomstrømningen av de ulike vindscenariene er markant for alle de 4 kanalalternativene (Tabell 4). Med vind får dessuten alle alternativene en klar nettostrøm i de tre tverrsnittene ved Vikerøybrua, Klåstadrenna og Refsholtsundet med vedvarende sterk vind fra enten sørvest eller nordøst. Dette vil følgelig ha stor positiv effekt på vannutskiftningen i Klåstadrenna og nærområdet til Klåstadrenna. I forhold til scenariene uten vind, får den grunneste kanalen (kanal 1) relativt størst økning av volumfluks på grunn av vinden, og kommer opp i størrelsesorden som med dypere kanal. Hvis vannstanden derimot er svært liten eller det løper tørt, vil grunne alternativer ha mindre eller ingen utbytte av vinden. Ved en dypere kanal, vil det aldri løpe tørt i Klåstadrenna. Dermed vil vind og tidevann alltid kunne virke på sirkulasjonen gjennom Klåstadrenna, som igjen påvirker sirkulasjonsforholdene rundt Vikerøya. Dette gjelder når vinden blåser i de to hovedretningene, fra sørvest og nordøst.

Vanngjennomstrømningen i de dype kanalalternativene (kanalene 2 og 3) er større ved vind fra nordøst enn ved vind fra sørvest, med en økning i volumfluksen beregnet til ca. 30 og 75 %. I simuleringene for Klåstadrenna er nettofluksen gjennom et tverrsnitt over innsnevringen i samme størrelsesorden for de 4 kanalalternativene, for begge vindretninger. Disse resultatene er illustrert i Figur 25.

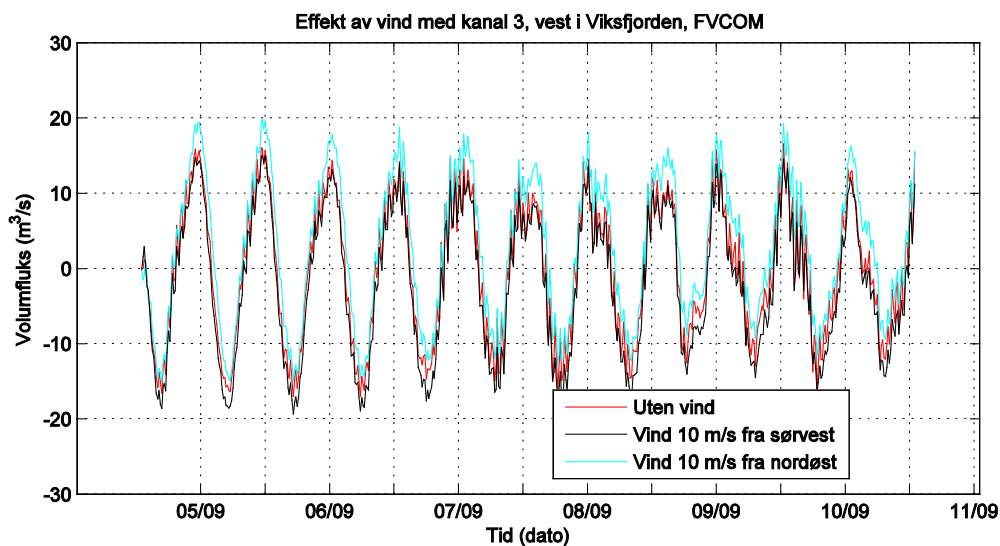
Nettofluksen (Tabell 4) viser at strømmen i Klåstadrenna overveiende vil gå i retning mot øst når det blåser fra nordøst. Når det blåser fra sørvest, vil strømmen gå mot vest, mot Varildfjorden. I Refsholtsundet går nettostrømmen mot nordlig retning når vinden blåser fra sørvest, og nettofluksen er mot sørvest når vinden blåser fra nordøst. Ved Vikerøybrua finner man da det noe merkelige resultatet at det blir en svak nettostrøm mot sørvestlig retning når vinden blåser fra sørvest, og motsatt når vinden blåser fra nordøst. Årsaken til dette er at modellen er i 2D, og nettostrømmen gjelder vannmassens gjennomsnittshastighet integrert over dypet. I virkeligheten vil strømretningen sammenfalle med vindretning ved overflaten. Disse resultatene er illustrert i Figur 24 med kanal 3 som eksempel, for de tre snittene. Merk at det er relativt liten forskjell i volumfluksen i de dype snittene ved Vikerøybrua og Refsholtsundet når det blåser vind fra forskjellige retninger, mens det er relativt stor forskjell i snittet ved Klåstadrenna. I absoluttverdi er det noenlunde samme størrelsesorden på disse forskjellene.

Figur 25 viser resultater av de to ulike vindscenariene for de ulike kanalalternativene i Klåstadrenna. Forskjellen mellom de 4 kanalalternativene er størst i Klåstadrenna. Tilsvarende liten innbyrdes forskjell mellom de ulike kanalalternativene for fluksene vest (Vikerøybrua) og sørøst for Vikerøya (Refsholtsundet) som i Figur 22 og Figur 23 ble funnet. Derfor er illustrasjoner av disse utelatt da de inneholder mer eller mindre én graf slik som resultatene ble for uten vind. For Klåstadrenna derimot, var det signifikant forskjell mellom de ulike kanalalternativene (Figur 25). Figur 25b Viser at Klåstadrenna blir tørrlagt med alternativet uten kanal. Dette ses ved at den røde grafen blir liggende noenlunde stabilt på 0. Med vind og sterk nettostrøm én vei, vil de dype kanalene (kanal 2 og 3) fortsatt ha gjennomstrømning i begge retninger, mens grunn kanal/ ingen kanal kun vil ha gjennomstrømning i én retning.

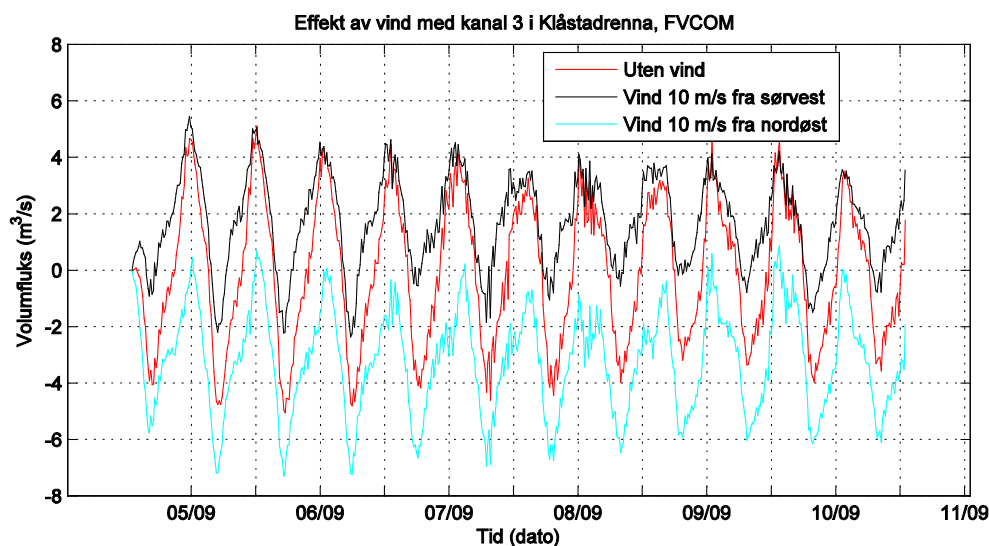
I Tabell 4 er innskrevet resultater for to av alternativene (ingen kanal og kanal 3) for de to fluks-tverrsnittene ved Vikerøybrua og Refsholtsundet. For Klåstadrenna er alle kanalalternativer inkludert.

Tabell 4: Oversikt over volumfluksberegninger fra simuleringer med FVCOM med ulike scenarier for vind. Vindhastighet 10 m/s tilsvarer frisk bris. Tabellen kan sammenliknes med Tabell 2, uten vind. Fluksberegningene er utført for tre ulike; ved Vikørøybrua, Klåstadrenna og Refsholtsundet. Merk at gjennomsnittsverdiene for volumflukser med vind kun er hentet ut fra 6 dagers kjøring.

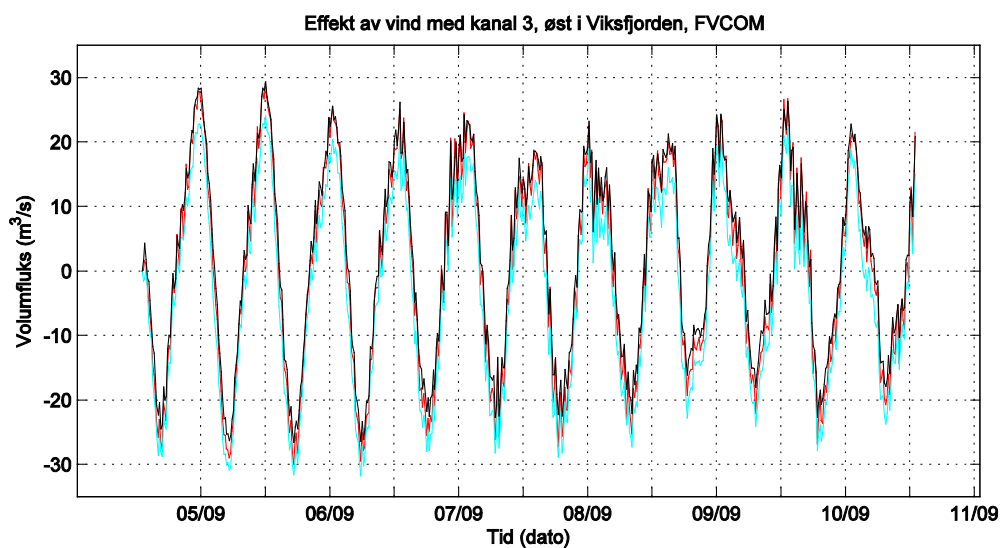
Sted for tverrsnitt	Vindscenarie	Kanal-alternativ	Gjennomsnittlig fluks (absolutt-verdi) (m ³ /s)	Netto fluks (m ³ /s)
Vikørøybrua	10 m/s fra sørvest	Ingen kanal	9.0	-1.8
		Kanal 3	8.4	-2.0
	10 m/s fra nordøst	Ingen kanal	9.3	1.9
		Kanal 3	8.4	2.8
Klåstadrenna	10 m/s fra sørvest	Ingen kanal	1.6	1.6
		Kanal 1	2.1	2.1
		Kanal 2	1.6	1.1
		Kanal 3	2.0	1.7
	10 m/s fra nordøst	Ingen kanal	2.3	-2.3
		Kanal 1	3.2	-3.2
		Kanal 2	2.6	-2.5
		Kanal 3	3.3	-3.2
Refsholt- sundet	10 m/s fra sørvest	Ingen kanal	12.3	1.5
		Kanal 3	13.0	1.7
	10 m/s fra nordøst	Ingen kanal	12.0	-2.5
		Kanal 3	12.9	-3.4



a)

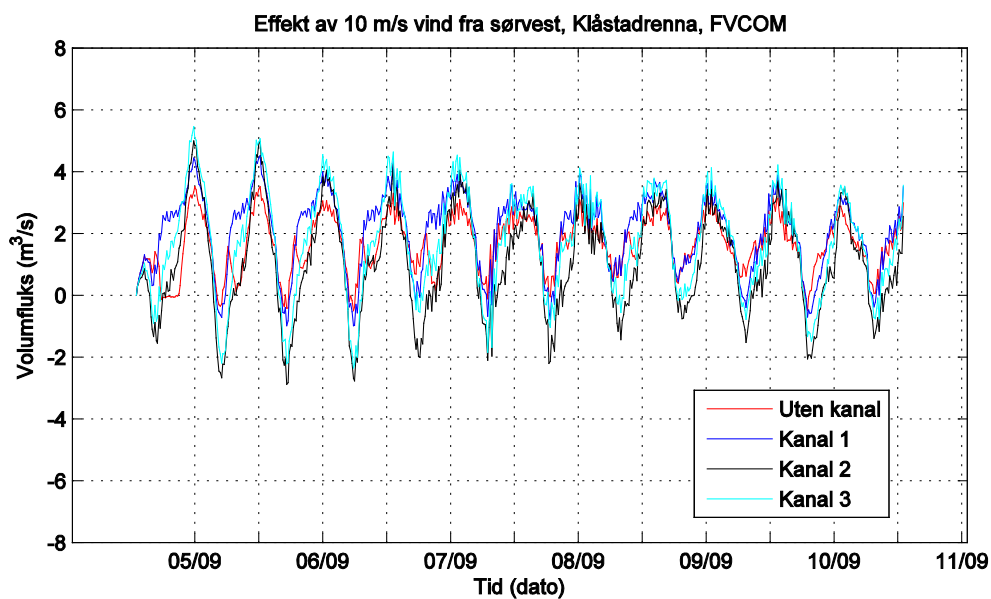


b)

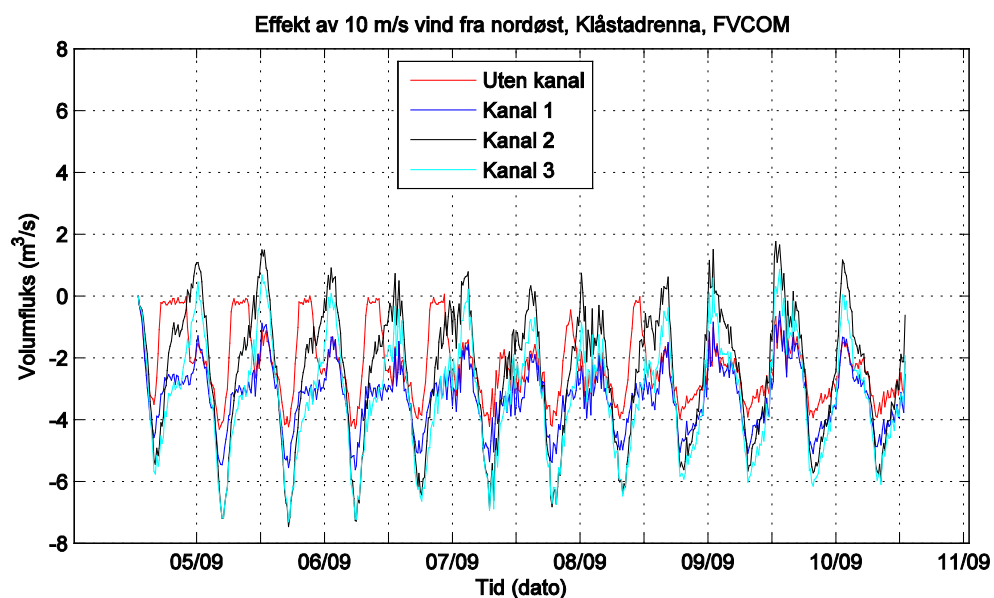


c)

Figur 24: Effekt av ulike vindscenarier med kanalalternativ 3 på fluksen av vannmasser gjennom tverrsnitt ved a) Vikerøybrua vest for Vikerøya, b) Klåstadrenna og c) Refsholtsundet sørøst for Vikerøya. Positiv retning er inn mot Varildfjorden, mot vest. Det er først og fremst i Klåstadrenna at forskjellene mellom de ulike vind-scenariene får relativt stor innvirkning på volumfluksen.



a)



b)

Figur 25: Effekt av ulike vindscenarier på volumfluksen gjennom Klåstadrenna for de ulike kanalalternativer. a) viser konstant 10m/s vind fra sørvest, b) viser konstant 10 m/s fra nordøst. Positiv retning er inn mot Varildfjorden, mot vest. Merk at vind fra sørvest gir fortrinnsvis strøm i retning mot Varildfjorden i vest, mens vind fra nordøst gir strøm mot øst gjennom Klåstadrenna.

3.3 Validering av modell

Valideringsgrunnlaget for modellen er data fra to strømmålere med omtrent en måneds måling i løpet av sommeren 2013 beskrevet i kapittel 2.2.3. Det er, som nevnt i kapittel 2.2.3, ikke riktig å ha stor fokus på validering av punktmålinger. Det viktigste er at strømverdier er i riktig størrelsesorden, og at retningene stemmer noenlunde.

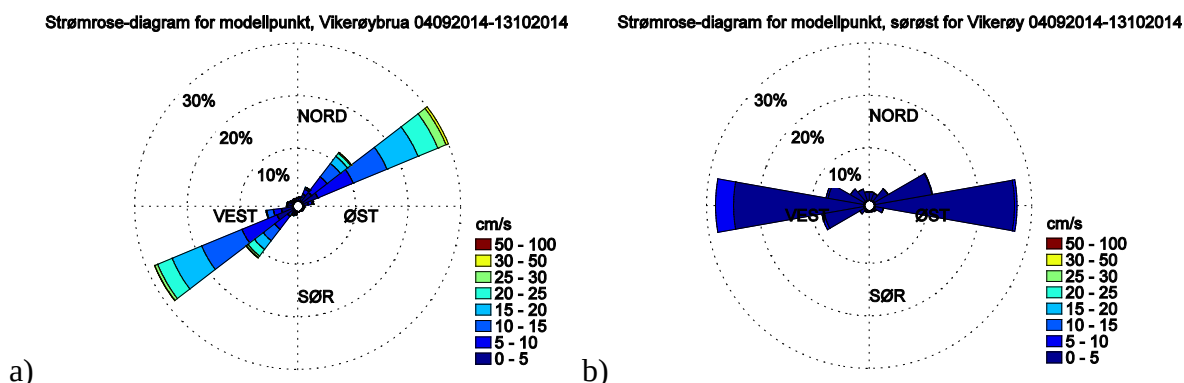
Modellresultater for perioden 4. september – 13. oktober 2014 er trukket ut for strømmålerpunktet ved Vikerøybrua (se Figur 3). Her brukes det forbedrete griddet (kapittel 2.1.2) med modellen FVCOM. Modellen gir gjennomsnittshastigheten 11.3 cm/s for denne perioden, mens gjennomsnittshastigheten for strømmåleren som målte i en måneds tid sommeren 2013 var 13.3 cm/s.

Maksimalhastigheten var vesentlig mindre 40 cm/s vs. 88 cm/s, men det er usikkerhet rundt noen av de høyeste verdiene til strømmåleren. Uansett er det naturlig at modellresultatene skal vise noe lavere strømhastigheter, da noen av de reelle drivkrefter som vind, estuarin sirkulasjon og tetthetsdrevet strøm er utelatt. Strømrose for modellresultatene er vist i Figur 26a, som kan direkte sammenliknes med Figur 36 i Moy m.fl. (2014). Hovedretningene til strømmen er også i overenstemmelse med målingene. Samlet sett viser dette godt samsvar mellom modell og målinger.

Modellpunktet som ble validert sør for Vikerøya viste betydelig lavere strømhastigheter enn måleren. Gjennomsnittet var omtrent halvparten (2.1 vs. 4.4 cm/s), maksimalhastigheten under en tredjedel (9.0 vs. 33.4 cm/s). Retningen derimot, som sett i Figur 26b, er samsvarende mellom modell og strømmåler. I områder med svakere strømmer kan andre drivmekanismer enn tidevann være regjerende, og er en naturlig forklaring til ulikheten i strømfart.

Nettostrømmen er svak i begge målepunktene, under 1 cm/s. Dette er som forventet da andre drivkrefter enn vannstand på modellgrensen ikke er inkludert.

Generelt viser modellen FVCOM bra samsvar med målingene fra 2013 når det gjelder retning og noenlunde bra når det gjelder størrelsesorden. Dette ser ut til å gjelde for målepunktet ved Vikerøybrua der gjennomsnittsstrømmen i modellen var 85 % av den i virkeligheten. Sørøst for Vikerøya var gjennomsnittsstrømmen i modellen 48 % av den fra målingen, men her er enda større usikkerhet i topografi etc. Man skal også huske på at målingene er hentet fra en annen periode enn modellkjøringene, som øker usikkerheten ytterligere.



Figur 26: Strøm-rosediagram fra modellpunkter i FVCOM fra kjøring 4. september - 13. oktober 2014, som samsvarer med strømmålerposisjoner til NIVA i 2013. For sammenlikning, se Moy m.fl. (2014). Strømmålingene er delt inn i 15 graders sektorer. Prosentandelen av totalt antall målinger som kommer fra hver sektor er gitt som størrelsen av hver sektor. Innenfor hver sektor er andelen av bidrag fra spesifikke hastighetsintervall gitt med fargeskala til høyre. I dette diagrammet er retningen der strømmen går til, i den retningen hvor sektorene peker.

4 Diskusjon og sammenfattende vurderinger

Studien av effekt av utdyping av kanal innerst i Viksfjorden har blitt utført i 2 faser.

Resultatene fra første fase bekreftet HIs konklusjon angående den positive effekten en kanal i indre Viksfjorden vil ha for økt vanngjennomstrømning/ vannutskiftning i området i og ved Klåstadrenna.

I fase 2 ble gjort simuleringer med modellen FVCOM for å optimere utformingen av en kanal. Dette ble gjort for tre alternativer (kanal 1, 3 og 2) med respektivt økende dyp og minkende bredde i forhold til hverandre. Videre er det benyttet forbedrete inngangsdata i forhold til prosjektfase 1 i form av oppdatert batymetri, faktisk målt vannstand og horisontal oppløsning ned til ca. 2 m. Resultatene bekreftet at vanngjennomstrømningen vil øke markant i Klåstadrenna ved oppmudring til en kanal.

Simuleringene i denne studien viser altså at gjennomstrømningen i Klåstadrenna innerst i Viksfjorden vil 2 – 3 ganger større med graving av kanal/ mudring, med kun tidevann som drivkraft (konservativ beregning). Dette er pumpa som jevnt og trutt driver vannutskiftningen, uansett vær og vind. Det forventes at dette også gir markante positive effekter for vanngjennomstrømning og vannutskiftning i Varildfjorden mellom Opptaksplassen og Klåstadrenna. Åpnes det for kanal vil dette sannsynligvis også øke kystvannets, lufttrykkets og den lokale vindens bidrag til økt sirkulasjon i indre deler av Viksfjorden. Ved noen situasjoner kan sistnevnte effekter tilsvare tidevannets effekter og forsterke/ begrense sirkulasjonen, men i det daglige forløp er det tidevannet som først og fremst styrer sirkulasjon og gjennomstrømning av vann.

I Figur 14 i kapittel 2.2.2 er vind i måleperioden plottet opp i samme diagram som målt vannstand. Her kommer sammenhengen mellom vannstand og vindforhold tydelig frem i ekstremsituasjoner. Perioden i slutten av september med sterk vind fra sørvest faller sammen med perioden med unormalt høy vannstand i Viksfjorden (> 30 cm over middelvannstand). Man kan da forestille seg at vinden skyver vannmassene inn i Viksfjorden, og oppstuvning av vannmasser forekommer inne i fjorden.

Perioden 7. – 8. oktober med sterk vind fra nordøst faller sammen med en periode med unormalt lav vannstand i Viksfjorden (> 40 cm under middelvannstand). Her kan man forestille seg at vinden drar vannmassene med seg ut av Viksfjorden, mot sørvest. Effekter av vind vil spille inn når vinden er vedvarende og sterk. Simuleringene bekrefter resultatene beskrevet i kapittel 3.2.2. Inkludering av konstant vind over hele modellområdet i to simuleringer med forskjellig retning ga nettostrømmer i ulike retninger i Klåstadrenna. Vinden i modellområdet ga spesielt stor gevinst for de grunne alternativene kanal 1 og ingen kanal, sammenliknet med simuleringer uten vind. Hovedårsaken til dette er trolig at det er først og fremst overflatelaget som blir dratt av garde med vinden. På dypere vann blir det underliggende laget ikke påvirket så mye av vinden, og den dypeste kanal 2 får minst utbytte av den kraftige vindpåvirkningen. På grunn av de økte nettostrømmene, vil vedvarende vind i én retning kunne drive vanngjennomstrømningen rundt Vikerøya i hovedsakelig én retning. Denne effekten vil være svært viktig for å øke vannutskiftningen for vannmassene både i grunnområdet øst for Klåstadrenna og i området mellom Opptaksplassen og Klåstadrenna, og dermed redusere oppholdstiden til vannmassene for eksempel inne i Varildfjorden.

Det antas at elvetilførsel kun kan endre marginalt på sirkulasjonsmønster og styrke til gjennomstrømningen, da elvene i området er av liten størrelse. Det vurderes dessuten at denne drivkraften begrenset i tid og hyppighet til store vedvarende regnskyl og snøsmeltesesongen.

Ekskludering av elvetilførsel vil uansett være en konservativ tilnærming mht. gjennomstrømning.

Så lenge vannstandsdrivkraften er riktig på modellgrensene, så vurderes det at en 2D-modell er tilstrekkelig for å studere gjennomstrømning av vannmasser, men mindre god på få nøyaktig tall på utskiftning av vannmasser. Sannsynligvis gir den noe svakere gjennomstrømning da den ikke har en inkludert tetthetsdrevet strøm, men vil kunne betraktes som konservativ i så måte.

Det er utført simuleringer både med høy og lav bunnfriksjon i de øverste 3 m, som begge kan ses på som ekstreme situasjoner med mye algevekst om sommeren og fravær av algevekst om vinteren. Høy bunnfriksjon reduserte vanngjennomstrømningen med ca. 60 % i forhold til sirkulasjonen med lav bunnfriksjon.

Resultatene er sensitive overfor bunntopografien i området. Det er målt opp manuelt i prosjektperioden fra området like nord for Opptaksplassen i vest og Evja i øst, i innerste delen av Viksfjorden, og her antas det en usikkerhet på opptil 20 cm. Lenger ute i Viksfjorden er det målt opp med multistråle-ekkolodd på de dype områdene, med svært høy nøyaktighet. I grunnområdene i ytre Viksfjorden kan det være usikkerhet på noen meter, da flybilder og bunntopografi benyttet av HI i Moy m.fl. (2014) er eneste datakilder.

Samlet vurderes det at det er flere usikkerhetsfaktorer inkludert i modellsimuleringene, slik at absoluttverdiene til simuleringene kan være noe usikker. Validering av strømhastigheter og retninger i modellpunkter mot strømmålinger tatt fra en annen tidsperiode har imidlertid vist at størrelser og retninger i modellen er fornuftige.

Den økte vanngjennomstrømningen med kanal gjennom Klåstadrenna vil bidra til økt potensiale for utskiftning av vannmasser nærliggende områder, spesielt i søndre del av Varildfjorden nordøst for Opptaksplassen, men også i det store grunnområdet øst for Klåstadrenna. Den samlede utskiftningen blir imidlertid ikke belyst fullt ut med modellsimuleringene som er foretatt med FVCOM/RMA2 i 2D, hvor kun vannstandsendringer på modellgrensen er drivkrefter. I en vanlig tidevannssyklus går vannmassene omtrent 6 timer i en retning, teoretisk sett. Med en lav fart på 1 cm/s i 5 timer vil vannmassen da kunne bevege seg 180 m. Mellom Opptaksplassen og Vikerøybrua er farten større. Med en mer sannsynlig gjennomsnittlig fart på ca. 5 cm/s vil vannmassen kunne bevege seg opp mot 1 km i løpet av de 5 – 6 timer. Avstanden mellom Opptaksplassen og Vikerøybrua og Opptaksplassen er 600 m. Utenfor Vikerøybrua, mot sørvest, forventes det mer sammenblanding med vannmasser fra ytre Viksfjorden. Det forventes derfor at en viss andel av vannmassene fra Varildfjorden når å komme sør for Vikerøybrua og bli utblandet med andre vannmasser i løpet av en tidevannssyklus.

Modellsimuleringene foretatt med ROMS (Moy m.fl., 2014) og strømanalysen i Figur 15 viser at det med relativt lange og uregelmessige mellomrom kan komme sterkere pulser med varighet på flere dager av vann inn i indre deler av Viksfjorden. Disse pulsene kan sette opp strømmer som overveiende går i én retning rundt Vikerøya og dermed settes det opp en netto gjennomstrømning i én retning. Slike situasjoner vil ha en svært gunstig effekt for utskiftning av vann i sørlige deler av Varildfjorden. Målingene i Figur 15 viste en relativt vanlig nettostrøm ved Vikerøybrua i størrelsesorden 3-5 cm/s. Dette kan medføre at vannmasser i netto forflytter seg i størrelsesordenen et par kilometer på ett døgn ved slike situasjoner. Disse pulsene kan være forårsaket av atmosfæriske drivkrefter og/ eller tetthetsforskjeller mellom kystvannet utenfor Larviksfjorden og vannet inne i Viksfjorden. Pulsene antas å bli hovedsakelig fanget opp i målingene av den faktiske vannstanden, som er drivkraft på modellgrensen i Viksfjorden. Tetthetsdrevne strømmer kan en 2D-modell ikke fange opp. Beregninger basert på slike tetthetsforskjeller samt vannstandsvariasjoner gir som regel større utskiftning av vannmasser enn med kun varierende vannstand som drivkraft. Av denne årsak

vil simuleringene med bare endring av vannstand på modellgrensen sannsynligvis underestimere gjennomstrømning og utskiftning av vannmasser.

Man kan også se for seg perioder med høytrykk og medfølgende lavvann i Viksfjorden, som sannsynligvis vil medføre noe redusert gjennomstrømning. Denne reduserte vannutskiftningen vil imidlertid ikke vare lenge (størrelsesorden på noen dager), og vil føre med seg ekstra god vannutskiftning når lavvannsperioden er over. Det er sannsynligvis spesielt ved slike høytrykk at kanalen vil gi størst positiv effekt i forhold til dagens situasjon angående økt vanngjennomstrømning i området mellom Opptaksplassen i vest og Kolladjupet/ Evja i øst. Simuleringer med modellen FVCOM har vist en flerdobling av utvekslingen mellom vannmassene i vestlige og østlige del av Viksfjorden når det er slik at Klåstadrenna tørregges ved lavvann. Da blir det innlysende at en kanal vil medføre økt vanngjennomstrømning og potensiale for økt vannutskiftning i Viksfjorden for vannmassene mellom Opptaksplassen i vest og Evja i øst.

Nøyaktige verdier for samlet netto utskiftning av vannmasser er vanskelig å forutsi, også for en modell. Derfor ble det i denne studien fokusert på gjennomstrømning av vann, for å optimere kanalutformingen.

Volumet av vann som strømmer forbi det potensielle kanalområdet (frem og tilbake) i løpet av ett døgn vil overslagsvis kunne komme opp mot $80\,000\text{ m}^3$ uten kanal og $170\,000\text{ m}^3$ med kanal (kanal 3). Økningen i vanngjennomstrømning i løpet av ett døgn tilsvarer omtrent 16 % av vannmassevolumet mellom innsnevringen av Viksfjorden like nord for Opptaksplassen og kanalområdet i øst, altså hele Varildfjorden. Tar man bare vannmassene over 1 m dyp i den sørlige delen av Varildfjorden, sør for utstikkere/ pিরer i Varildfjorden nordvest for Klåstadrenna, tilsvarer økningen ca. 30 %. Økningen av gjennomstrømningen ved en utgraving av kanal er betydelig i forhold til volumet av de vannmasser som befinner seg inne i det aktuelle området hvor det søkes bedre vannutskiftning. Dette støtter opp om at den økte gjennomstrømningen vil ha en markant positiv effekt på vannutskiftningen i området mellom Opptaksplassen og Klåstadrenna.

Den gjennomsnittlige gjennomstrømningen ved Vikerøybrua med kanalalternativ 3 i Klåstadrenna er ifølge Tabell 2 på $6.9\text{ m}^3/\text{s}$. Ved Opptaksplassen har beregninger vist at denne er redusert til $5.6\text{ m}^3/\text{s}$. Volumfluksen gjennom et snitt tvers over innerste delen av Varildfjorden er beregnet til $2.4\text{ m}^3/\text{s}$, mens Tabell 2 gir en volumfluks på $1.8\text{ m}^3/\text{s}$ gjennom Klåstadrenna. I forhold til scenariet uten kanal er dette en økning i Klåstadrenna på $0.9\text{ m}^3/\text{s}$. Beregninger av den gjennomsnittlige volumfluksen over snittet i nordlige del av Varildfjorden er uforandret med graving av kanal, mens tverrsnittet ved Opptaksplassen gir en reduksjon på $0.6\text{ m}^3/\text{s}$. Dette viser at gravingen av kanal, ifølge modellen, ser ut til å tilføre Varildfjorden ekstra vannmasser fra området øst for Klåstadrenna, på bekostning av vannmasser som strømmer gjennom sundet ved Vikerøybrua. Modellsimuleringene viser en liten økning på $0.3\text{ m}^3/\text{s}$ totalt i gjennomstrømningen i systemet mellom Klåstadrenna og Opptaksplassen, med kun vannstand som drivkrefter.

Tabell 4 viser en økning i nettostrøm gjennom sundene rundt Vikerøya i størrelsesorden $2\text{--}3\text{ m}^3/\text{s}$ med vind på 10 m/s fra sørvest eller nordøst. Denne økningen i nettostrøm vil ha størst effekt i områdene med minst gjennomstrømning/ utskiftning. Et slikt område vurderes å være sørlige del av Varildfjorden. Beregninger viser at med samme vind vil nettostrømmen gjennom snittet i øst-vest-retning i nordlige del av Varildfjorden være liten, mindre enn $0.5\text{ m}^3/\text{s}$. Dette betyr at vindindusert økning i nettostrømmen rundt Vikerøya vil være spesielt favorabel for sørlige del av Varildfjorden.

Graving av kanal vil, ifølge Tabell 4, gi en økning i netto volumfluks på mellom 0 og $1\text{ m}^3/\text{s}$. Når det løper tørt i Klåstadrenna eller er lavvann, vil denne økningen være markant. Når det

er høyvann vil kanalen gi et mindre markant bidrag i forhold til når det ikke er foretatt utgraving av kanal i Klåstadrenna.

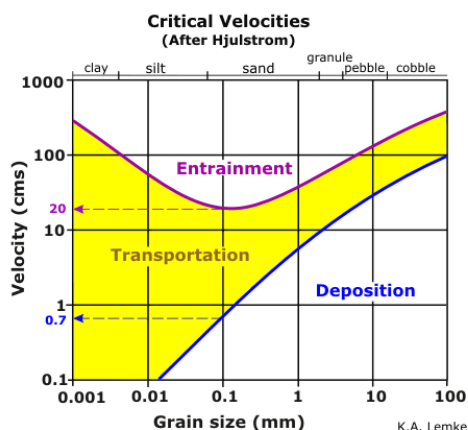
Simuleringene viser små økninger i dypet til en kanal gir mer økning i vanngjennomstrømning enn større økninger i bredden til en kanal. Kanal 3 er ca. 12 m bredere enn kanal 2, samtidig som den er 0.5 m grunnere. Likevel har den noe mindre vanngjennomstrømning enn kanal 2. Kanal 1, som er ytterligere 0.5 m grunnere og 13 m bredere enn kanal 3, har vesentlig mindre vanngjennomstrømning. Disse resultatene er tilnærmet uavhengig av bunnfriksjon. For kanal 2 og kanal 3 viser simuleringene en økning i vanngjennomstrømning med en faktor på mellom 2 og 3 i forhold til ingen kanal.

Beregningene av en kanals virkning på gjennomstrømningen i Klåstadrenna relativt til nulltiltak viser betydelig positiv effekt, og resultatene angående gunstig valg av kanalutforming har solid grunnlag. En kanal tilsvarende kanal 2 og 3, eller et sted der imellom når det gjelder dyp (1.0 – 1.5 m) og bredde (20 -30 m) vil være optimalt. Dypere og bredere kanal vil ha positiv effekt, men den relative økningen av effekten vil ikke være stor i forhold til å grave fra nulltiltak og ned til kote 1.0 m eller 1.5 m referert til middelvannstand.

Hvis en økt vannutskiftning med tilstøtende vannmasser skal ha en positiv effekt på vannkvaliteten, forutsetter at de nærliggende vannmasser generelt har bedre vannkvalitet enn vannmassene i Varildfjorden.

Økt gjennomstrømning i Klåstadrenna betyr at det tidvis kan forekomme økte strømhastigheter i området, relativt til dagens situasjon. Det økte tverrsnittsarealet avbøter imidlertid på dette. Modellsimuleringene viser for eksempel at maksimalstrømmen med kanal 2 går ned med 17 % , mens gjennomsnittsstrømmen øker noe for et tilfeldig valgt punkt midt i kanalen. Det antas derfor at strømhastighetene ikke er tilstrekkelig til å endre vesentlig på morfologien/ utformingen av en eventuell kanal i Klåstadrenna. Avhengig av størrelsen på bunnsedimentene, vil strømmen kunne virvle opp og/ eller flytte på sedimentene, jfr. diagrammet i Figur 27. En sikrere vurdering av denne problemstillingen krever analyse av kornfordelingen i bunnsedimentet.

I kapittel 2.2.1 ble det anslått at middelvannstanden i innerste delen av Viksfjorden kan ha blitt redusert med 10 – 20 cm i løpet av de siste 60 år. På grunn av denne utviklingen og hvis denne utviklingen fortsetter, kan det være hensiktsmessig å foreta avbøtende tiltak for å sikre at gjennomstrømning blir bevart for å opprettholde gunstig vannkvalitet i indre Viksfjorden.



Figur 27: Hjulstrøms diagram (Hjulstrøm, 1935; K.A. Lemke, 2010). Figuren viser hvor stor strømhastighet som skal til (y-aksen) for å sedimentere (nederst til høyre), transportere (gult område = rulling og saltasjon) og erodere (øverst = suspensjon) partikler med økende grad av kornstørrelse (x-aksen). Diagrammet er basert på eksperimenter med sfæriske kvartskorn.

5 Konklusjoner

Hydrodynamiske simuleringer av vannutskiftning og gjennomstrømning i Viksfjorden har blitt utført med modellverktøyene FVCOM og RMA2 med ustrukturerte grid gjennom to prosjektfaser.

Prosjektfase 1 verifiserte hovedresultatet i HIs modelleringer: en kanal innerst i Viksfjorden vil ha markant positiv effekt for gjennomstrømning av vann i indre del av Viksfjorden, nærmere bestemt i Klåstadrenna og i nærheten av denne. På bakgrunn av simuleringer med modellene FVCOM og RMA2 konkluderes dermed at vanngjennomstrømningen ved Klåstadrenna kan økes med en faktor på 2-3 med en kanal innerst i Viksfjorden. Netto gjennomstrømning på begge sider av Vikerøya med kanal i Klåstadrenna vil imidlertid endre seg relativt lite i forhold til dagens situasjon. Den økte gjennomstrømningen ved Klåstadrenna antas å medføre generelt økt vanngjennomstrømning mellom Opptaksplassen i vest og Evja i øst. Den økte vanngjennomstrømningen består hovedsakelig av økt vannvolum som strømmer frem og tilbake, men det som resultat å forekomme generelt økt omrøring og utblanding av vannmasser, og derfor å være gunstig for vannutskiftningen i området.

I prosjektfase 2 er modellverktøyene benyttet for å optimere utformingen av en slik kanal innerst i Viksfjorden. Tre ulike utforminger/ dimensjonerings av kanal har blitt testet ut for varierende bredde og dybde. Resultatene viser at i forhold til økning i bredden gir en relativt dyp kanal størst effekt for gjennomstrømning i kanalområdet. Relativt sett er det størst gevinst ved å øke dypet fra 0.5 m til 1 m dyp. Gevinsten er noe mindre ved å grave 1.5 m dyp kanal i stedet for 1 m dyp kanal. Både 1 m dyp kanal og 1.5 m dyp kanal øker gjennomstrømningen med en faktor mellom 2 og 3 sammenliknet med nåværende situasjon uten kanal. Det anbefales derfor en kanal med minst 1 m dyp referert til middelvannstand. Det vurderes også at bredden bør være betydelig for å sikre god vannutskiftning, helst opp i mot 30 m.

Sterk og vedvarende vind i hovedvindretningene i området ved Viksfjorden øker gjennomstrømningen av vann, spesielt i grunne områder ved Klåstadrenna. I tillegg har vedvarende lokale vinddrivkrefter kapasitet til å gi nettostrøm i én bestemt retning over lenger tid, slik at tidevannet i stor grad vil bremse og øke strømmen i én retning. Dette vil redusere oppholdstiden for vannmassene i Varildfjorden, spesielt vest og sørvest for Klåstadrenna, og vil derfor ha en gunstig effekt for vannutskiftningen.

Økt bunnfriksjon på grunt vann på forårsaket av vekster sommerstid og vedvarende sterk vind ut eller inn av Viksfjorden endrer ikke effekten av å grave en kanal. Disse ytre faktorer påvirker de relative endringer i vanngjennomstrømning mellom de ulike kanalalternativene i svært liten grad.

Graving av kanal med utforming liknende kanal 3 har vist seg å effektivt øke den generelle gjennomstrømningen i området ved Klåstadrenna, med vannstandsendringer og vind som drivkrefter. Det anbefales å benytte et dyp mellom 1 og 1.5 m og en bredde på 30 m. Det antas at den økte gjennomstrømningen ved Klåstadrenna også gir generelt økt gjennomstrømning og vannutskiftning i området mellom Opptaksplassen og Evja

Strømmålinger har bekreftet at det som regel er en svak, men markant nettostrøm i Vikerøysundet. Dette støtter opp om at en økt gjennomstrømning i Klåstadrenna vil åpne opp for bedre vannutskiftning generelt i området Vikerøybrua – Opptaksplassen – Klåstadrenna – Kolladjupet.

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.
- Donnell, B., J. V. Letter, Jr, W. H. McAnally & W. A. Thomas, 2006. Users Guide to RMA-2 WES Version 4.5. U.S. Army, Engineering Research and Development Center Waterways Experiments Station. 277 pp.
- Hjulstrøm, P., 1935. Studies of the morphological activity of rivers at illustrated by the river Fyris. Inaugural dissertation. Uppsala Universitet. Bulletin, Vol.25, 1934-35, pp. 221-527.
- Lemke K.A., 2010. (http://www.uwsp.edu/geo/faculty/lemke/geomorphology/lecture_outlines/03_stream_sediment.html). Lest juli 2010.
- Leikvin, Ø., 2014. 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.
- Liungman, O. og S. Lindahl, 2003. Modellberäkнад vattenomsättning för "Friskare Hav Strömstad". SMHI Rapport nr. 54. DNR: 2003/1002/204. 12 sider.
- Lund, M., 1960. Rapport over: Orienterende jord- og grunnundersøkelser i Viksfjorden. 11 sider.
- Met.no, 2014. www.eklima.no. (Lest september 2014).
- Moy, F., J. Albreten, 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.
- Sande, H. 2014. (Pers.komm, Statens Kartverk, Sjøkartverket).
- Shchepetkin, A. F., and J. C. McWilliams, 2005: The Regional Ocean Modeling System: A split-explicit, free-surface, topography following coordinates ocean model, *Ocean Modelling*, 9, 347-404.
- Skarøhamar, J. og L.H. Larsen, 2005. Strengelvågsfjorden i Øksnes kommune – dokumentasjon av miljøtilstand og anbefaling av forbedringstiltak. APN-rapport 412.3145. 24 sider.
- Smagorinsky, J., 1963. General circulation experiments with the primitive equations, I. The basic experiment. *Monthly Weather Review*, 91:99-164.
- Statens Kartverk, Sjøkartverket, 2014. www.sehavniva.no. (Lest september 2014).
- Simonsen & Smith, 2011. Forurensningsregnskap for Vestfold. Ask Rådgivning/ Norconsult.
- Wiecek, D. and J. Floyd, 2007. *Does dredging in ICOLL entrances improve tidal flushing?* Proceedings 16th NSW Coastal Conference, 7-9 November 2007, Yamba, NSW. 20 sider. (<http://www.manlylagoon.com.au/manly-lagoon-rehabilitation-works/>)

Vedlegg

A) Innstillinger, for modellkjøringer med FVCOM og RMA2

Følgende innstillinger er benyttet for simuleringer med FVCOM og RMA2.

Beregningslikninger og forklaring av de ulike parametere er gitt i Chen m.fl. (2013) for FVCOM og Donnel m.fl. (2006) for RMA2. Merk at forskjellige likninger for enkelte variabler er benyttet, og at verdier oppgitt i modellen som regel ikke kan sammenliknes direkte.

Parameter	FVCOM			RMA2		
	Fase 1	Fase 2	Kommentar	Fase 1	Fase 2	Kommentar
	Verdi	Verdi		Verdi	Verdi	
Antall beregnings-noder	33975	38972		123 416	110 712	
Antall beregnings-celler	64871	74753	Høyere oppløsning i Klåstadrenna i fase 2	60 180	54 234	Mindre enn FVCOM pga. maksgrense i RMA2. Mer fokus på Klåstadrenna i fase 2, på bekostning av områder ved Vikerøybrua og Refsholtsundet.
Tidssteg	0.7 sekunder	0.7 sekunder		30 minutter	30 minutter	
Bunnfriksjon	*Konstant: 0.0027 for øverste 3 m. Ellers minker med dyp.	*Konstant= 0.027 for øverste 3 m. Ellers minker med dyp.		*Konstant: 0.04	*Mannings N=0.04 Depth for no vegetation= 3.0 m Roughness coefficient= 0.1667	
Turbulent diffusjons-koeffisient	Smagorinsky-metoden, varierer med celleareal	Smagorinsky-metoden, varierer med celleareal		Eddy diffusivity, $E_{xx}=E_{yy}=E_{zz}=E_{xy}=E_{yz}=E_{zx}=1500$	Peclet number=18	Mye iterasjon. Gikk fra ikke-viskøst til mer viskøst for å få stabil modell.
"Wetting and drying" - skjema	Dry depth = 0.05 m	Dry depth = 0.05 m		Dry depth=0.084 m Active depth = 0.183 m (default)	Dry depth=0.084 m Active depth = 0.183 m (default)	Testet med ulike verdier.
Marsh porosity	-	-	Finnes ikke i FVCOM	Distance below each nodes's bathymetry value = 0.91 Transition range = 0.6 Min surface wetted factor = 0.02	Distance below each nodes's bathymetry value = 0.91 Transition range = 0.6 Min surface wetted factor = 0.02	Testet med ulike verdier
Vind	Default	Default	Default-verdier	Wu-formel	Wu-formel	Default-verdier

**merk at formelen for bunnfriksjon er ulik for FVCOM og RMA2 og derfor kan ikke verdiene sammenliknes mellom de to modellene.*