

Simulert tidevann i Oslofjorden. Tre forskjellige utforminger av havneområdet i Moss



RAPPORT

Hovedkontor

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

NIVA Region Sør

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

NIVA Region Innlandet

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

NIVA Region Vest

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

Tittel Simulert tidevann i Oslofjorden. Tre forskjellige utforminger av havneområdet i Moss	Løpenr. (for bestilling) 6717-2014	Dato 21.10.2014
	Prosjektnr. Undernr. 13152	Sider 34
Forfatter(e) Karina Hjelmervik (HBV) André Staalstrøm (NIVA) Svend Nordby (HBV)	Fagområde Fysisk oseanografi	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Oslofjorden	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Forskningsprosjektet FjordOs finansiert av Oslofjordfondet og Havnealliansen	Oppdragsreferanse
---	--------------------------

Sammendrag Tidevannsstrømmen er modellert i hele Oslofjorden helt fra Oslo Havn og ut til Helgeroa og svenskegrensa, med høy horisontal oppløsning. Havmodellen FVCOM (Finite-Volume Community Ocean Model), som deler fjorden opp i trekanter med varierende størrelse, er benyttet. Denne modellen gir stor fleksibilitet når det gjelder å tilpasse modellgitteret til en komplisert kystlinje, og i å øke modellens horisontale oppløsning i områder hvor dette er nødvendig, som for eksempel i trange sund, samtidig som et stort fjordareal kan modelleres. På strekningen mellom Helgeroa og svenskegrensa er oppløsningen omtrent 800 m, mens den i Moss havn er nede i 15 m, noe som er nødvendig for å beskrive den trange Mossekanalen. Det er blitt gjennomført tre modellkjøringer hvor eneste forskjell er utformingen av Moss havn. Den ene kjøringen beskriver dagens utforming av havneområdet. I de to andre kjøringene er det lagt inn en ny containerhavn sør for ferjekaia.

Fire norske emneord 1. Oslofjorden 2. Havneutvikling 3. Numerisk modellering 4. FVCOM	Fire engelske emneord 1. Oslofjord 2. Harbour development 3. Numerical modelling 4. FVCOM
--	--

Karina Hjelmervik

Karina Hjelmervik
Prosjektleder

Kai Sørensen

Kai Sørensen
Forskningsleder

13152

Simulert tidevann i Oslofjorden

Tre forskjellige utforminger av havneområdet i Moss

Forord

FjordOs er et samarbeidsprosjekt mellom flere aktører innen forvaltning, forskningsmiljø og næringsliv. Prosjektet har fått støtte fra Oslofjordfondet, regionalt forskningsfond i fylkene Buskerud, Vestfold, Østfold og Telemark.

Målsetningen for prosjektet er å utvikle en ny effektiv og høyoppløselig fjordmodell for Oslofjorden med fokus på anvendbare resultater for oljedrift, drivbaneberegninger og havneutvikling.

En av arbeidspakkene tar for seg strømforholdene i Moss havn. Resultater fra denne arbeidspakken presenteres i denne rapporten. I arbeidspakken inngår Havnealliansen ved Roar Johansen, NIVA ved André Staalstrøm og Høgskolen i Buskerud og Vestfold ved undertegnede. Rapportens faglige innhold har blitt lest gjennom og kvalitetssikret av Nils Melsom Kristensen fra MET.

Alle prosjektdeltagerne takkes for godt samarbeid. En spesiell takk til Nils Melsom Kristensen, Lars Petter Røed og Yvonne Gusdal fra MET.

Horten, 26.04.2015

Karina Hjelmervik

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Innledning	7
2. Modellområdet	8
2.1 Gitter	8
2.2 Moss havn	10
3. Oppsett av modellen	13
4. Simulert strømfelt i Moss havn	14
4.1 Midlet strømfelt ved forskjellige havnedesign	16
4.2 Sirkulasjonsmønster på forskjellige tidspunkt i tidevannsyklusen	17
4.2.1 Høyvann	18
4.2.2 Synkende tidevann	19
4.2.3 Lavvann	20
4.2.4 Stigende tidevann	21
5. Validering	22
5.1 Vannstand	22
5.2 Lokal kunnskap i Moss	23
5.3 Drifterforsøk i Moss havnebasseng	25
5.3.1 Tokt 17. juni 2014	25
5.3.2 Tokt 5. september 2014	26
5.4 Andre strømmodeller	29
5.5 Sedimenttransport	32
6. Konklusjon	33
7. Referanser	34

Sammendrag

Tidevannsstrømmen er modellert i hele Oslofjorden helt fra Oslo Havn og ut til Helgeroa og svenskegrensa, med høy horisontal oppløsning. Havmodellen FVCOM (Finite-Volume Community Ocean Model), som deler fjorden opp i trekanter med varierende størrelse, er benyttet. Denne modellen gir stor fleksibilitet når det gjelder å tilpasse modellgitteret til en komplisert kystlinje, og i å øke modellens horisontale oppløsning i områder hvor dette er nødvendig, som for eksempel i trange sund, samtidig som et stort fjordareal kan modelleres. På strekningen mellom Helgeroa og svenskegrensa er oppløsningen omtrent 800 m, mens den i Moss havn er nede i 15 m, noe som er nødvendig for å beskrive den trange Mossekanalen.

Det er blitt gjennomført tre modellkjøringer hvor eneste forskjell er utformingen av Moss havn. Den ene kjøringen representerer dagens utforming av havneområdet. I de to andre kjøringene er det lagt inn en ny containerhavn sør for ferjekaia. Ifølge resultatene fra modellsimuleringene vil endringene i strømforholdene på motsatt siden av Verlebukta være liten som følge av en utbygging av containerhavna, mens det i nærheten av den nye kaia vil bli store endringer. Modellstudiet viser også at Mossekanalen er svært viktig for strømmønsteret i Moss havn. Hadde Mossekanalen blitt stengt, ville strømstyrkene blitt betraktelig svakere.

Merk at modellen er barotrop og drives kun av tidevann. Ferskvannstilførselen fra Vansjø gjennom Mossesundet og kanalen forventes å ha stor innflytelse på strømfeltet i Værlebukta. Dette er ikke tatt med i modellen. Pådrag fra vind er heller ikke medregnet. Det reelle strømfeltet forventes derfor å være sterkere.

Summary

Title: Simulated tides in the Oslofjord – Three different designs of the Moss Harbor

Year: 2014

Authors: Karina Hjelmervik, Svend Nordby and André Staalstrøm

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: 978-82-577-6452-4

Tidal currents are modeled with high horizontal resolution throughout the Oslofjord from the Oslo Harbor and all the way to Helgeroa and the Swedish border. The ocean model FVCOM (Finite-Volume Community Ocean Model), which divides the fjord into triangles of varying size is used. This model offers great flexibility when adapting the model mesh to a complex coastline, and to increase the model horizontal resolution in areas where this is necessary, such as in narrow straits. Between Helgeroa and the Swedish border, the resolution is about 800 m, while in Moss Harbour it is down to 15 m, which is necessary to describe the narrow Moss Canal.

Three model runs are performed where the only difference is the design of Moss Harbour. In the first run, the current design of the harbor is used. In the other runs, a new port is added south of the ferry dock. According to the model results new harbor designs will cause small changes in the circulation patterns on the opposite side of Verlebukta. The model study also shows that the Moss Canal is very important for circulation pattern in Moss Harbor. If the Moss Canal had been closed, the current strength would become considerably weaker.

Note that the model is barotropic and is only driven by tide. The fresh water input through the Moss Canal is expected to have a large impact on the circulation pattern, but is not included in the model. Neither is the wind nor the waves. The actual currents are therefore expected to be stronger.

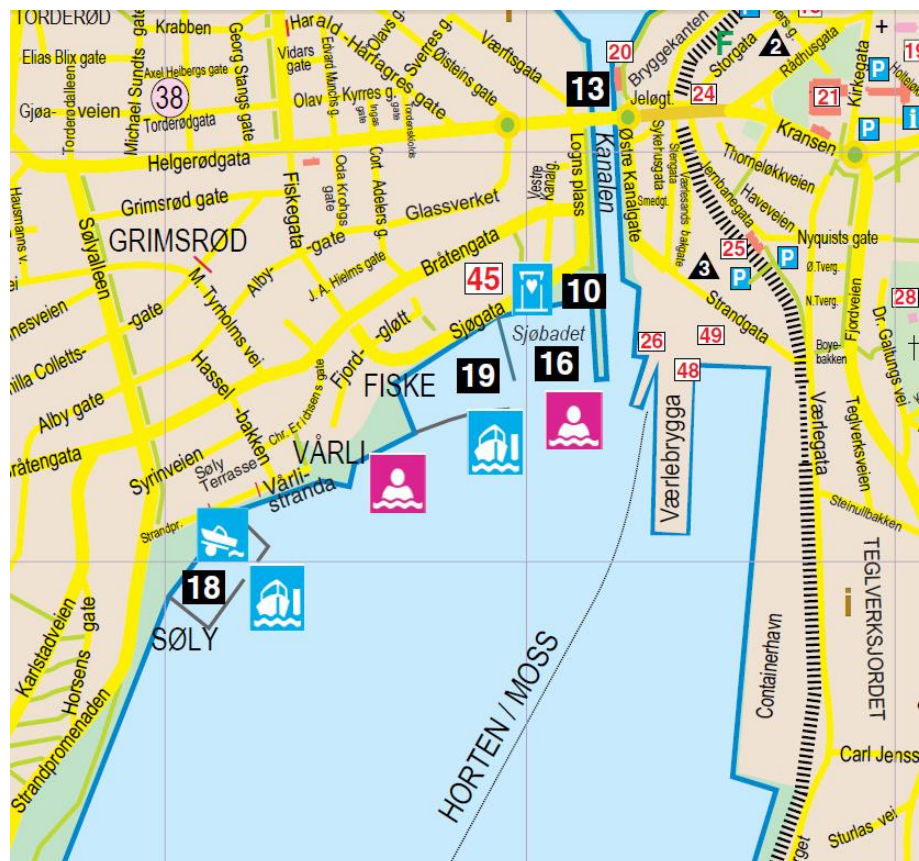
1. Innledning

Utformingen og dimensjoneringen av et nytt havneområde kan medføre endrede strøm-, vind- og bølgeforhold. Hensikten med denne rapporten er å belyse hva en massiv utbygging av havna kan bety for sirkulasjonsmønsteret i havnebassenget i Moss (se **Figur 1**).

Her presenteres resultater fra en tidevanns-modell basert på FVCOM (Chen et al. 2006, 2013). Modellen er satt opp for Oslofjorden. For å modellere strømmen i havnebasseng, kreves god gitteroppløsning. En av fordelene med FVCOM er at gitterstørrelsen kan varieres slik at oppløsningen er bedre i trange sund og streder enn i åpne områder. Modellen er to-dimensjonal, dvs. at strømmen kun varierer horisontalt og regnes lik i hele vannsøylen. Tre forskjellige utforminger av havnen er foreslått og inkludert i modellen.

Det må undersøkes om den numeriske modellen blir troverdig med tanke på anvendelser innen havneutvikling. Modellen valideres her mot vannstandsmålinger fra fire stasjoner i Oslofjorden: Helgeroa, Vikør, Oscarsborg og Oslo. I en nylig avlagt masteroppgave ble lokalbefolkningen intervjuet om strømforholdene i Moss havnebasseng (Müller, 2014). Denne informasjonen er også brukt til validering. Resultater fra et drifterforsøk presenteres, samt resultater fra andre modeller.

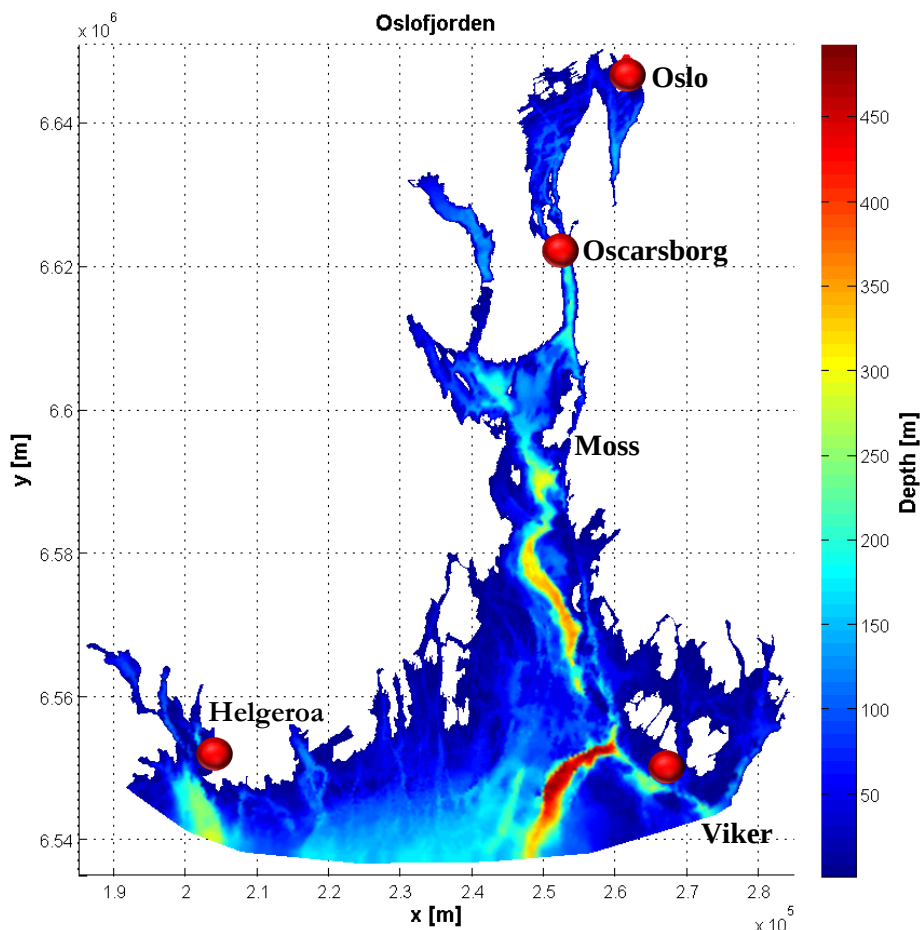
Figur 1. Moss havnebasseng.
18: Søly båthavn
19: Fiske båthavn
13: Kanalen gjestehavn
10: Den norske dame
16: Sjøbadet fontene



2. Modellområdet

Modellområdet for Oslofjorden strekker seg fra innerst i Indre Oslofjord og Drammensfjorden og sør til Helgeroa og Vikør (se **Figur 2**). Maksimumdyp i modellen er 493 meter.

Figur 2.
Modellområdet og de fire faste vannstands-stasjonene i området.



2.1 Gitter

For å se på sirkulasjonen i havnebassenget må gitteravstanden være tilstrekkelig liten til at utbyggingen er dekket. Modellområdet er delt opp i trekantede celler med varierende størrelser. Langs den åpne randen i sør er sidekantene rundt 800 meter, mens i områder med mer krevende topografi, er sidekantene kortere (se **Figur 3**).

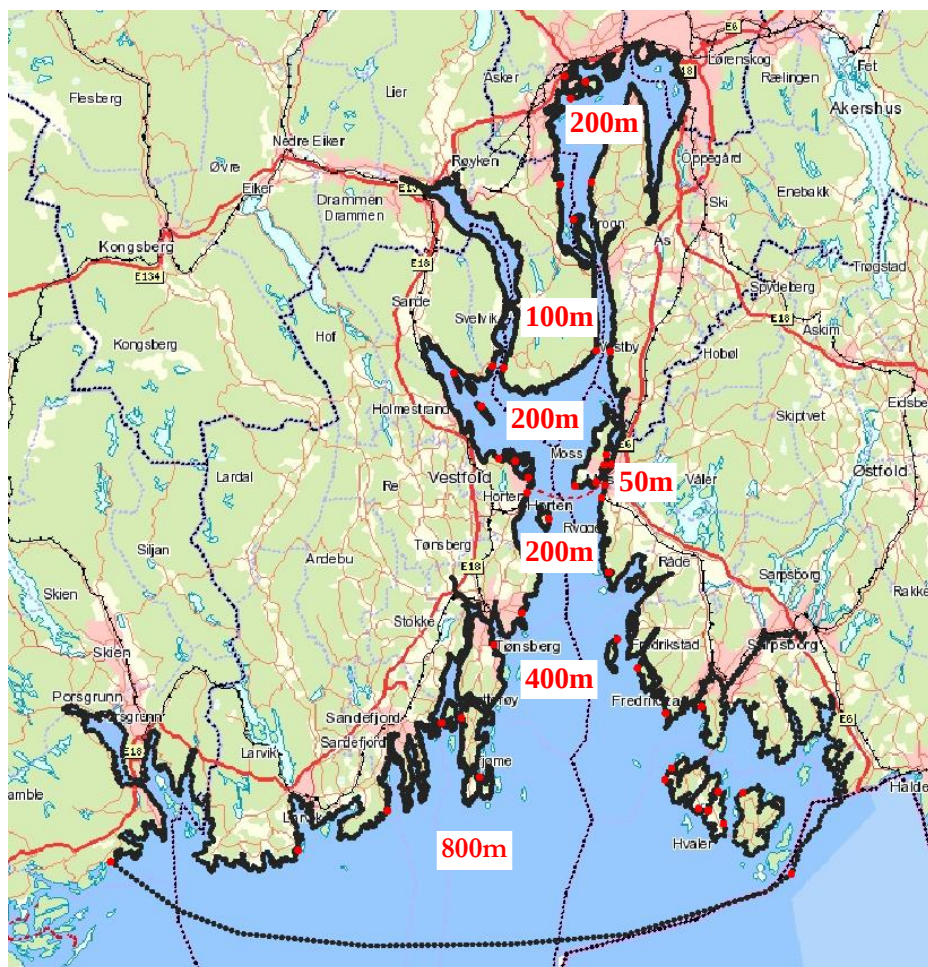
Gitteret er laget i SMS (ECGL, 1995) og må tilfredsstille følgende kriterier:

1. Sund/elver som er for små til å oppløses av gitteret, må fjernes
2. Vinklene i gittercellene må være større enn en kritisk minimumsvinkel (her 30°)
3. Vinklene i gittercellene må være mindre enn en kritisk maksimumsvinkel (her 120°)
4. Gittersidene må stå vinkelrett på den åpne randen
5. Gittercellene kan ikke ha to sider langs land
6. Forholdet mellom arealet til naboceller må ikke bli for stor

Modellen inneholder 448 912 gitternoder som omslutter 105 176 trekantede celler. I modellen er hver trekant omsluttet av tre noder (**Figur 4**). Midtpunktene av hver trekant kalles sentroider. Strømmen beregnes i sentroidene mens vannstand beregnes i nodene, hvor også dybden er angitt.

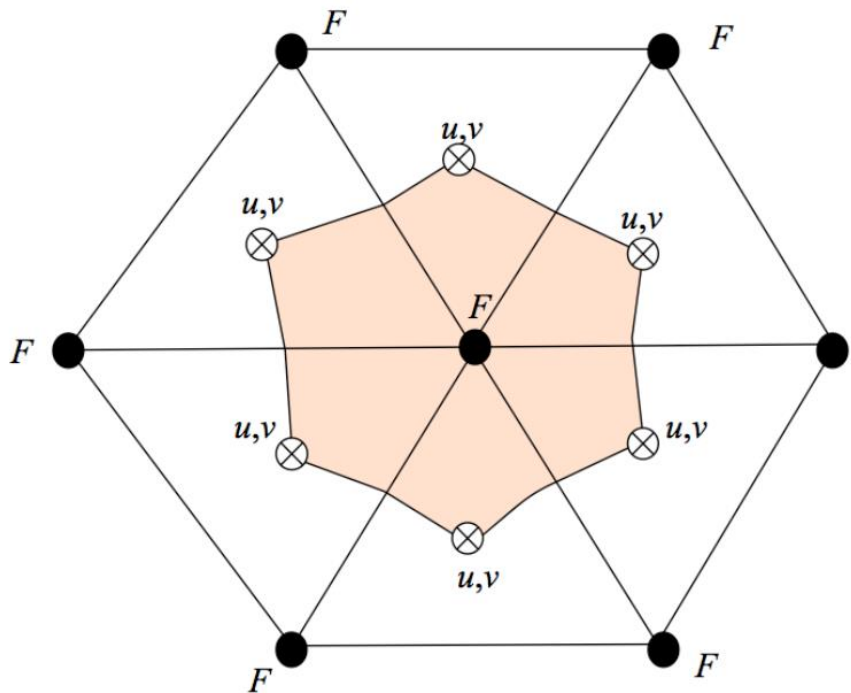
Dersom en finere oppløsning er ønsket i større deler av fjorden, må antall noder og celler økes. Dette vil kreve større regnekraft og mer lagringsplass. Nåværende modell krever ca. 8.5 GB lagringsplass som er håndterlig. Simulert tid er tre måneder og feltet skrives til fil hvert kvarter. Ved å skrive til fil hver time i stedet vil dette redusere nødvendig lagringsplass til rundt en fjerdedel.

Figur 3.
Veiledende
gitteroppløsning



Figur 4.

Illustrasjon av hvordan modellgitteret er bygd opp i FVCOM. Tre noder (merket med F) omslutter trekkanter. I midten av trekantene er det punkter som kalles sentroider hvor strømhastigheten (u, v) beregnes. Vannstanden beregnes i nodene.



2.2 Moss havn

Moss ligger på østsiden av Breiangeren i Oslofjorden, på innsiden av Jeløya. Jeløya er kun skilt fra fastlandet av en 30 meter bred og 4-5 m dyp kanal. Nord for kanalen, innenfor Jeløya, ligger Mossesundet. Sør for kanalen ligger Værlebukta. Det viktigste havneanlegget i Moss befinner seg innerst i denne bukta.

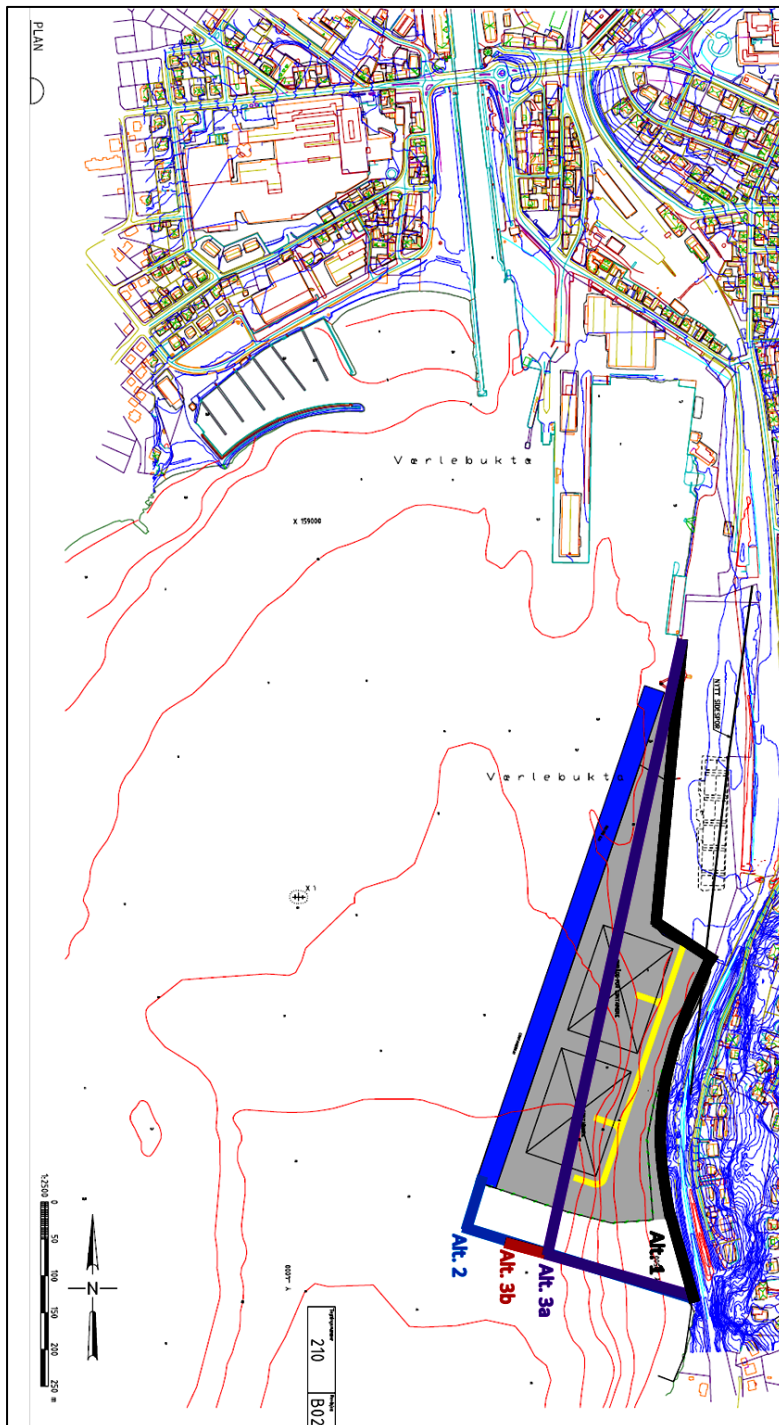
Det planlegges en større utbygning av havneanlegget der store mengder stein skal fylles ut i havnebassenget. Steinen skal legges i trappeform, men man regner med at det slites til en jevn helning over tid. Hvor mye som skal fylles ut, avhenger av undersøkelser og analyser av havbunnen.

Tre alternative geometrier er foreslått (se **Figur 5**).

- Alternativ 1 er dagens geometri.
- Alternativ 2 gir mer plass på land, men det er mulig at dette forslaget gir for liten plass i selve havnebassenget.
- Alternativ 3a gir mer plass i havnebassenget, men mindre på land. Alternativ 3b foreslås for å se om en molo gir noe effekt i modellen og hvilke effekter det i så fall er. Moloen er ikke modellert.

Alternativene er modellert i henholdsvis run A, run B og run C. **Figur 6** og **Figur 7** viser topografien i havnebassenget i de tre simuleringene.

I bukta sør for havneområdet ligger en badestrand. Det ligger også flere badestrender vest for havneområdet langs østsiden av Jeløya. Sediment-transport vil ikke bli modellert, men siden sedimentene fraktes med strømmen, vil retningen kunne anslås.

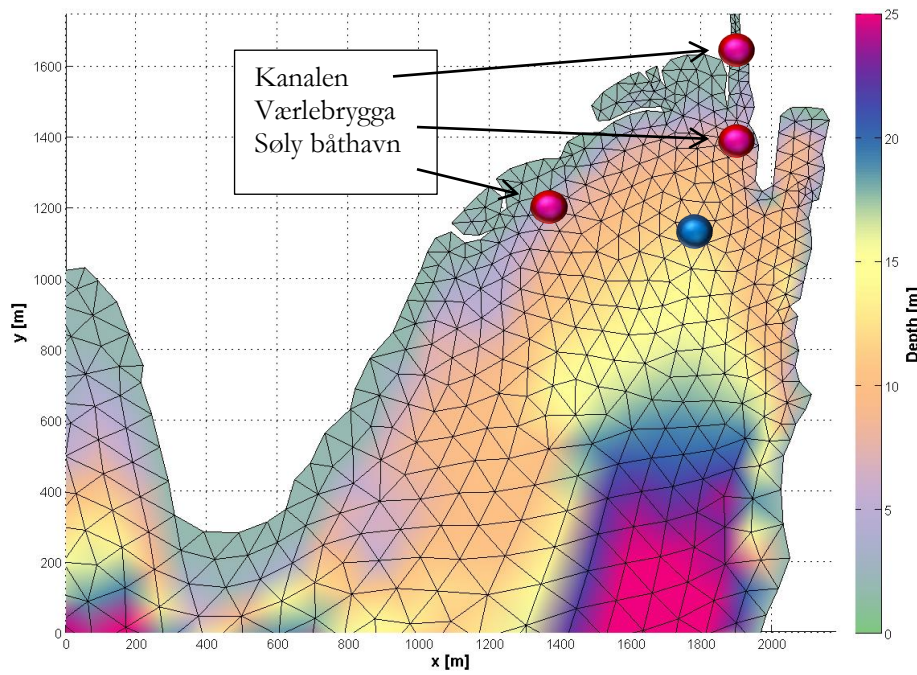


Figur 5.
Forslag til geometri i
Moss havn

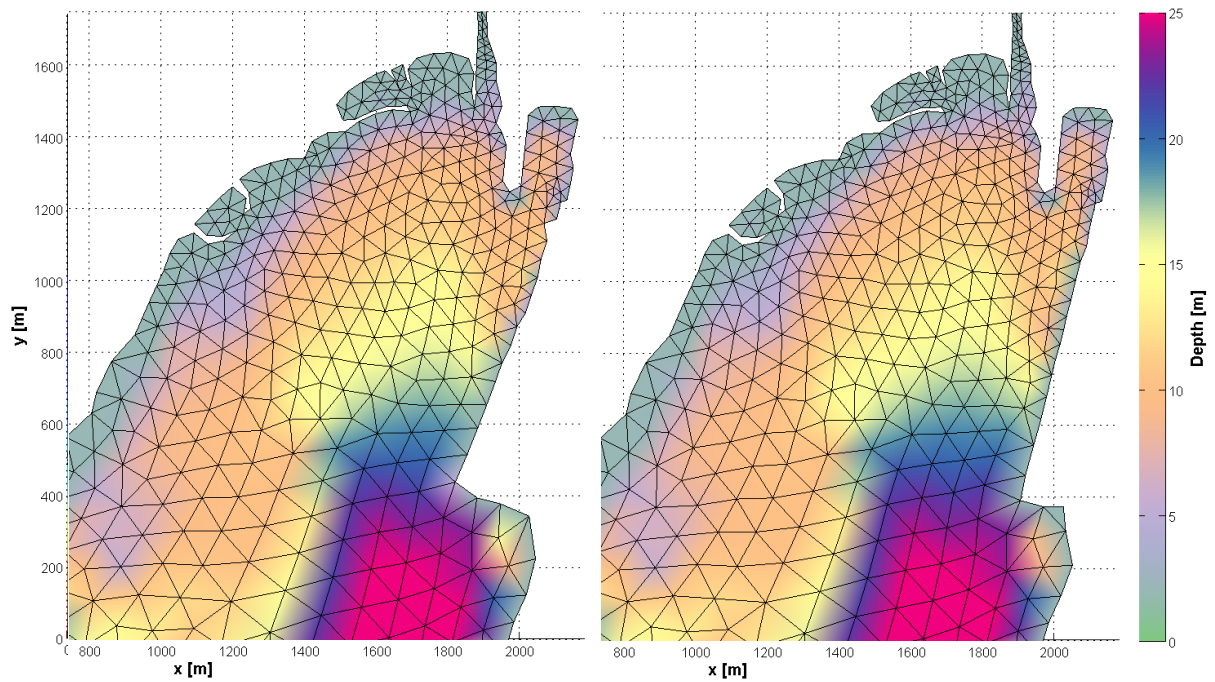
Alt. 1
Nåværende geometri

Alt. 2
Foreløpig utkast

Alt. 3
Alternativ geometri
som gir mer plass i
havnebassenget.
Alt. 3b inkluderer en
molo



Figur 6.
I run A brukes geometri alternativ 1. Tre utvalgte posisjoner for nærmere studium av strøm (rød) og ett for vannstand (blå) er markert



Figur 7.

I run B brukes geometri alternativ 2 (venstre) og i run C brukes geometri alternativ 3a (høyre).

3. Oppsett av modellen

Modellen er basert på FVCOM (Chen et al., 2006). Den er todimensjonal og gir kun barotrop strøm. Det vil si at de beregnede strømhastighetene er gjennomsnitt for hele vannsøylen, og det er ikke sett på hvordan strømmen varierer med dypet.

Tidevannet regnes som det viktigste pådraget for strømmen i fjorden. Modellen er kun drevet av tidevann og resultatene kan derfor anses som normaltilstandene. Ekstreme tilstander forekommer vanligvis i forbindelse med sterk vind og/eller stor ferskvannstilførsel. Slike faktorer er ikke inkludert i modellen.

De fem mest dominerende tidevannskomponentene er tatt med (se **Tabell 1**): Tre halvdaglige (M_2 , S_2 og N_2) og to heldaglige (K_1 og O_1). Disse er lagt på den åpne randen i sør.

Som initialbetingelse, er vannstand og strømhastighet satt til null i hele feltet. Pådraget økes gradvis over ti dager.

Simulert tid er 30 dager. I tillegg til disse korte simuleringene er run A kjørt for 100 dager med oppstart 1. januar 2011. Resultatene fra denne lengre simuleringen er brukt til å beregne tidevannskomponentene i kapittel 5.1.

Tabell 1. Amplitude og fase til tidevannskomponentene som er lagt inn på den åpne randa

		M_2	S_2	N_2	K_1	O_1
Amplitude	[cm]	11,3	2,9	2,9	0,3	2,0
Fase	[deg]	137	83	86	170	296

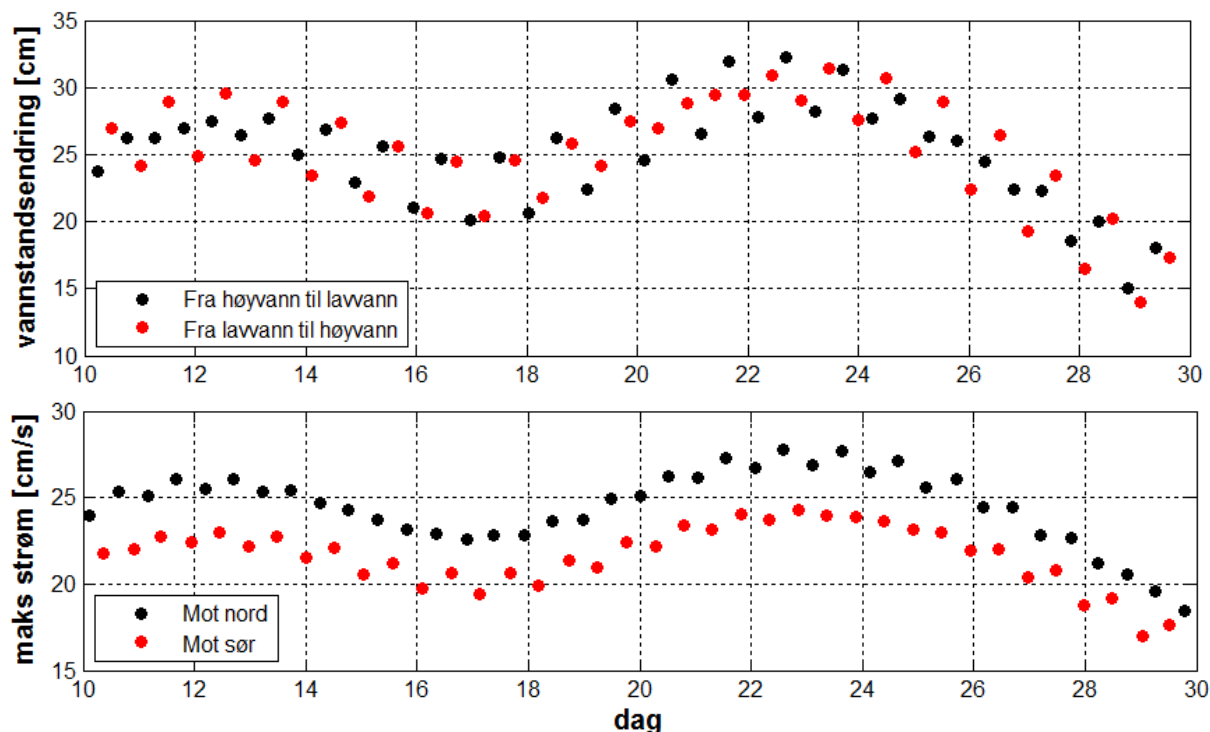
4. Simulert strømfelt i Moss havn

Tidsserier av vannstand viser at forskjellen mellom høyvann og lavvann er 14-33 cm (se **Figur 8**) avhengig av om M_2 og S_2 er i fase eller ei. Høyest hastighet nordover inntreffer ca. 20-40 minutter før lavvann. Merk at forskjellen i vannstand og strøm mellom run A og run B på de utvalgte posisjonene er neglisjerbar (se **Figur 9**).

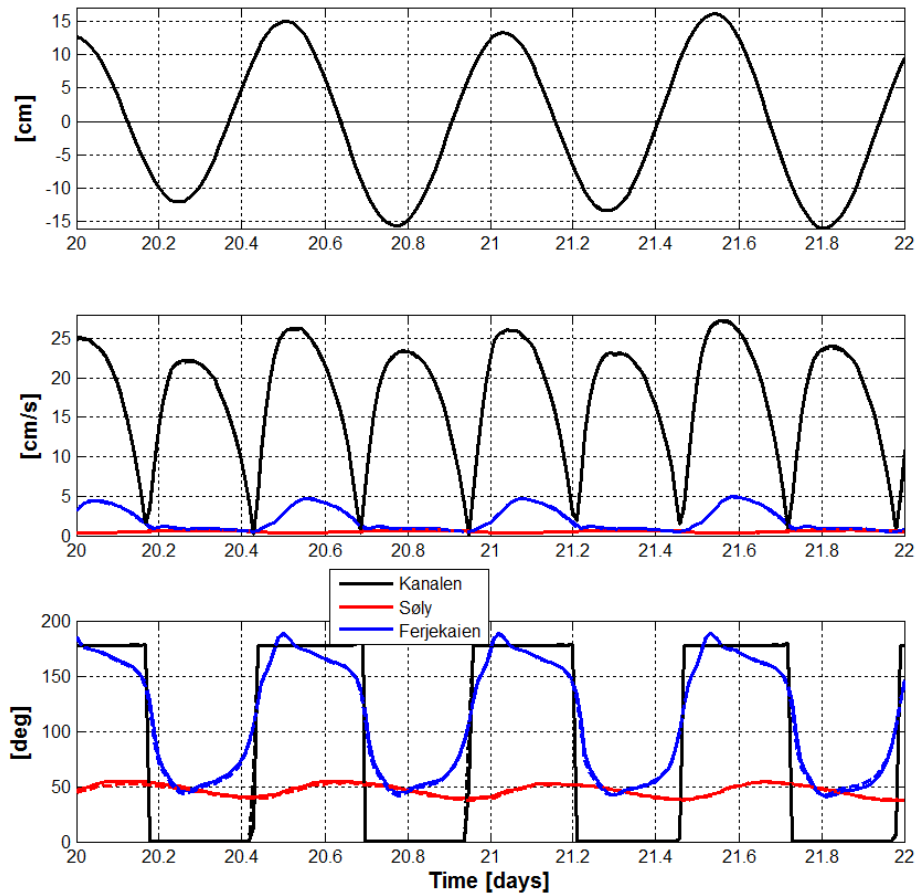
I kanalen er strømmen sørover sterkere enn strømmen nordover (se **Figur 8**). Ved høyvann går strømmen i kanalen sørover med en hastighet på rundt 18-28 cm/s. Høyest hastighet sørover inntreffer ca. 20-40 minutter etter høyvann. Ved lavvann går strømmen nordover i kanalen med en hastighet på rundt 17-24 cm/s.

Tidevannet i modellen gir en forskjell mellom høy- og lavvann på maksimalt 33 cm, som er en typisk springflo i Oslofjorden. I tilfeller hvor kraftige lavtrykk passerer området kan forskjellen mellom laveste og høyeste vannstand bli betydelig større enn ved vanlig tidevannssvariasjon. Slike tilfeller kalles stormflo, og i Oslofjorden kan forskjellen mellom påfølgende lavvann og høyvann bli over 1.5 m. Dette vil si at strømmen forårsaket av vannstandsendringer kan bli opp til 5 ganger kraftigere enn ordinær tidevannsstrøm.

Forbi Værlebrygga er hastigheten rundt 5 cm/s ved høyvann og rundt 1 cm/s ved lavvann (se **Figur 9**). Forbi Søy er hastigheten rundt 1 cm/s ved lavvann og ned mot 0,5 cm/s ved høyvann. Merk at strømmen forbi Søy går mot nordøst under hele tidevannssyklusen.



Figur 8. Differansen mellom høyvann og lavvann i Værlebukta øverst, samt maksimum strøm i kanalen nederst (run A).

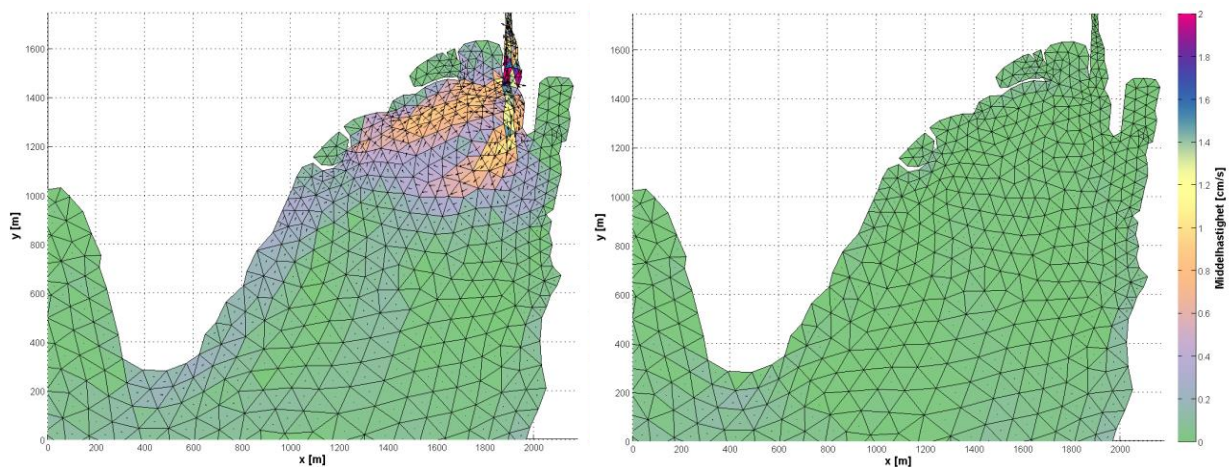


Figur 9. Tidsserier av vannstand (øverst), hastighet (midten) og strømretning (nederst) i run A (heltrukket) og run B (stiplet).

Retningen er 0° mot nord og 90° mot øst.

Merk at ferskvannstilførselen fra Vansjø gjennom Mossesundet og kanalen forventes å ha innflytelse på strømfeltet i Værlebukta. Dette er ikke tatt med i modellen. Pådrag fra vind er heller ikke medregnet. Det reelle strømfeltet forventes derfor å være noe sterkere.

Som en test, ble kanalen lukket i én simulering. Dette resulterte i at strømmen i hele havnebassenget ble neglisjerbar ($< 0.1\text{cm/s}$) og viser at strømmen gjennom kanalen er av avgjørende betydning for sirkulasjonsmønsteret i havnebassenget.



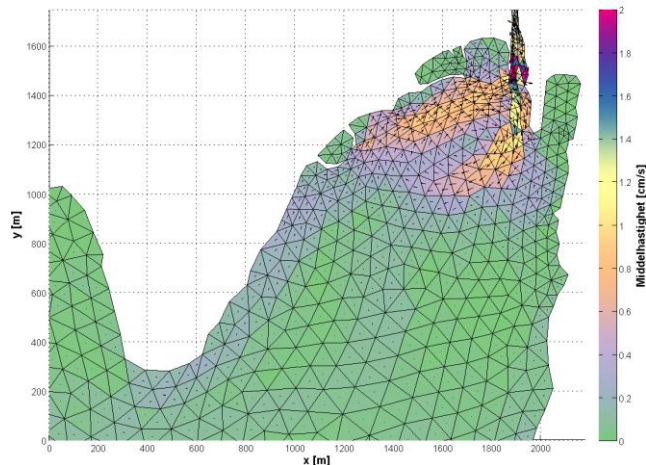
Figur 10. Midlet strømfelt med dagens situasjon (run A, venstre) og dersom kanalen stenges (høyre)

4.1 Midlet strømfelt ved forskjellige utforming av havnen

Midlet strømfelt over ti dager (dag 20 til 30 i simuleringene) er beregnet i run A, B og C. I samtlige simuleringer observeres følgende (se **Figur 11 – Figur 13**):

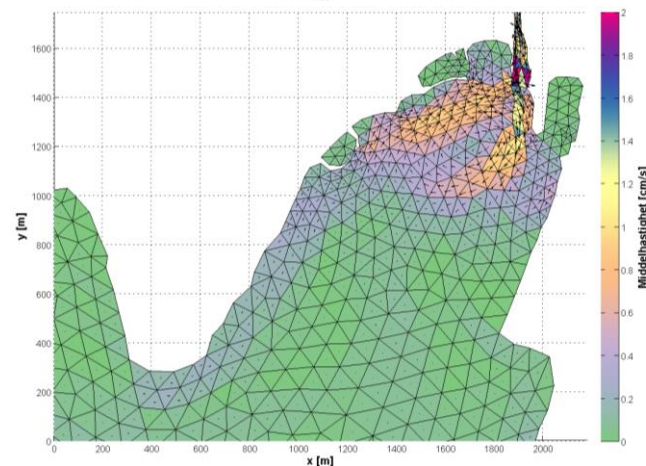
- svak strøm nordover langs Jeløya og fastlandet mot kanalen
- svak strøm sørover midt i Værlebukta
- strømvirvel med klokka innerst i Værlebukta
- mindre strømvirvel mot klokken ved containerhavna

Forskjellene i den midlede strømmen er minimal i de tre simuleringene.



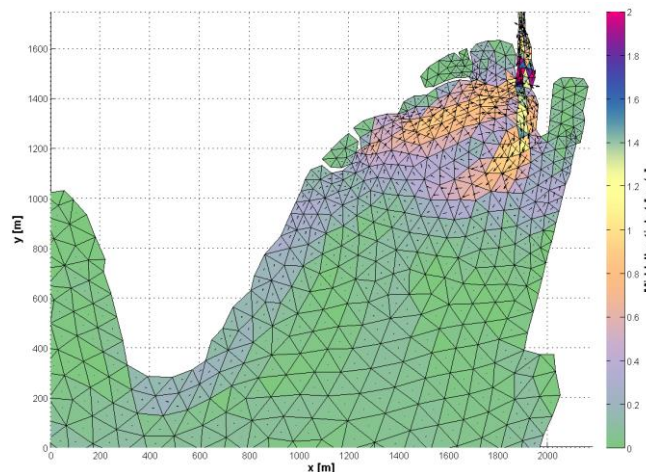
Figur 11.

Midlet hastighetsfelt i run A. Fargen viser styrken og pilene retningen.



Figur 12.

Midlet hastighetsfelt i run B. Fargen viser styrken og pilene retningen.



Figur 13.

Midlet hastighetsfelt i run C. Fargen viser styrken og pilene retningen.

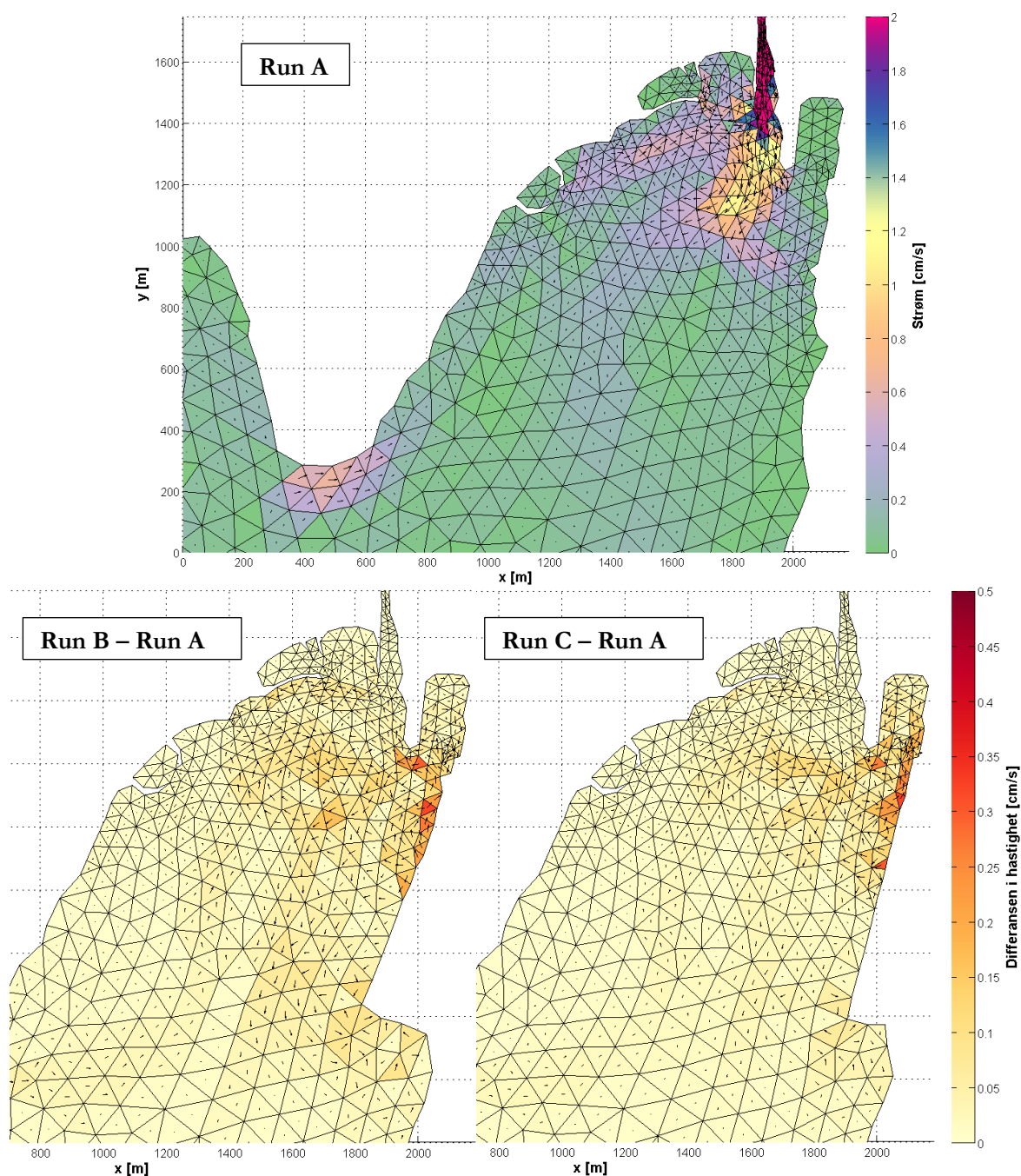
4.2 Sirkulasjonsmønster på forskjellige tidspunkt i tidevannsyklusen

Ved høyvann og synkende tidevann går strømmen sørover i kanalen (se **Figur 14** og **Figur 15**), mens den går nordover ved lavvann og økende tidevann (se **Figur 16** og **Figur 17**). Strømmen i kanalen forårsaker en virvel som går med klokken innerst i havnebassenget og denne danner en svakere virvel mot klokka utenfor nordenden av containerkaia. Ifølge resultatene fra modellsimuleringene vil endringene i strømforholdene på motsatt siden av Verlebukta være liten som følge av en utbygging av containerhavna. Differansen i strømhastighet blir mindre enn 0.3 cm/s. Jo mindre utbygging, jo mindre innflytelse.

4.2.1 Høyvann

Ved høyvann går strømmen sørover i kanalen (se **Figur 14**) med en hastighet opp mot 25 cm/s. Strømmen langs østsiden av Jeløya er relativt svak (< 0.5 cm/s) og skyldes en virvel som går med klokka i havna.

Ifølge modellsimuleringene vil utbyggingen av havna ha liten innvirkning på virvelen og strømmen langs Jeløya. Ved containerhavnen vil strømmen øke noe.

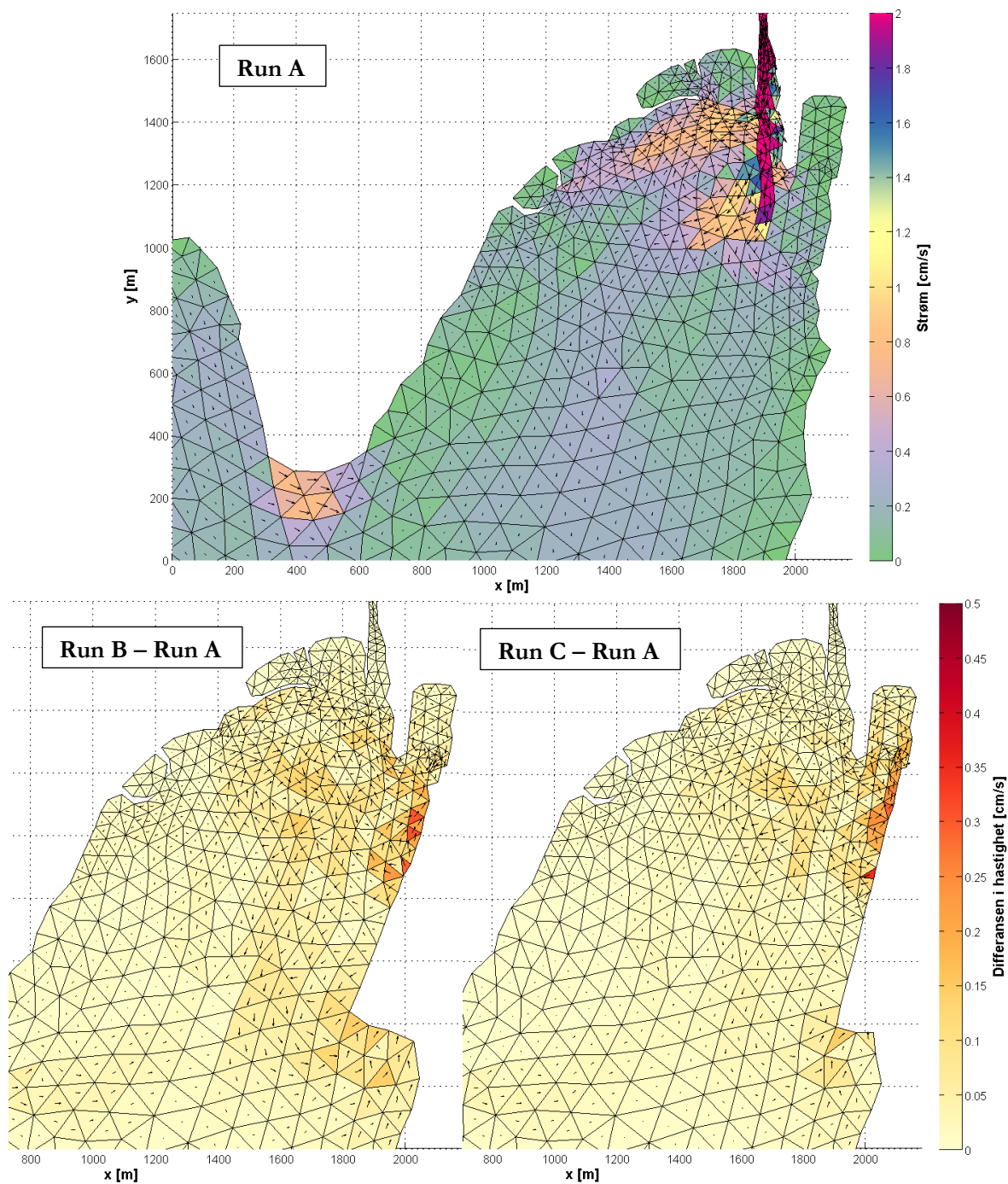


Figur 14. Strømfeltet ved høyvann i run A (øverst), samt strømmen i run B fratrasket strømmen i run A (nederst, venstre) og strømmen i run C fratrasket strømmen i run A (nederst, høyre)

4.2.2 Synkende tidevann

Ved synkende tidevann går strømmen sørover i kanalen (se **Figur 15**). Hastigheten er opp mot 5 cm/s langs ferjekaien. Virvelen i havna er noe sterkere enn virvelen ved høyvann.

Som ved høyvann vil utbyggingen av havna ha liten innvirkning på virvelen og strømmen langs Jeløya. Ved containerhavnen vil strømmen øke noe.

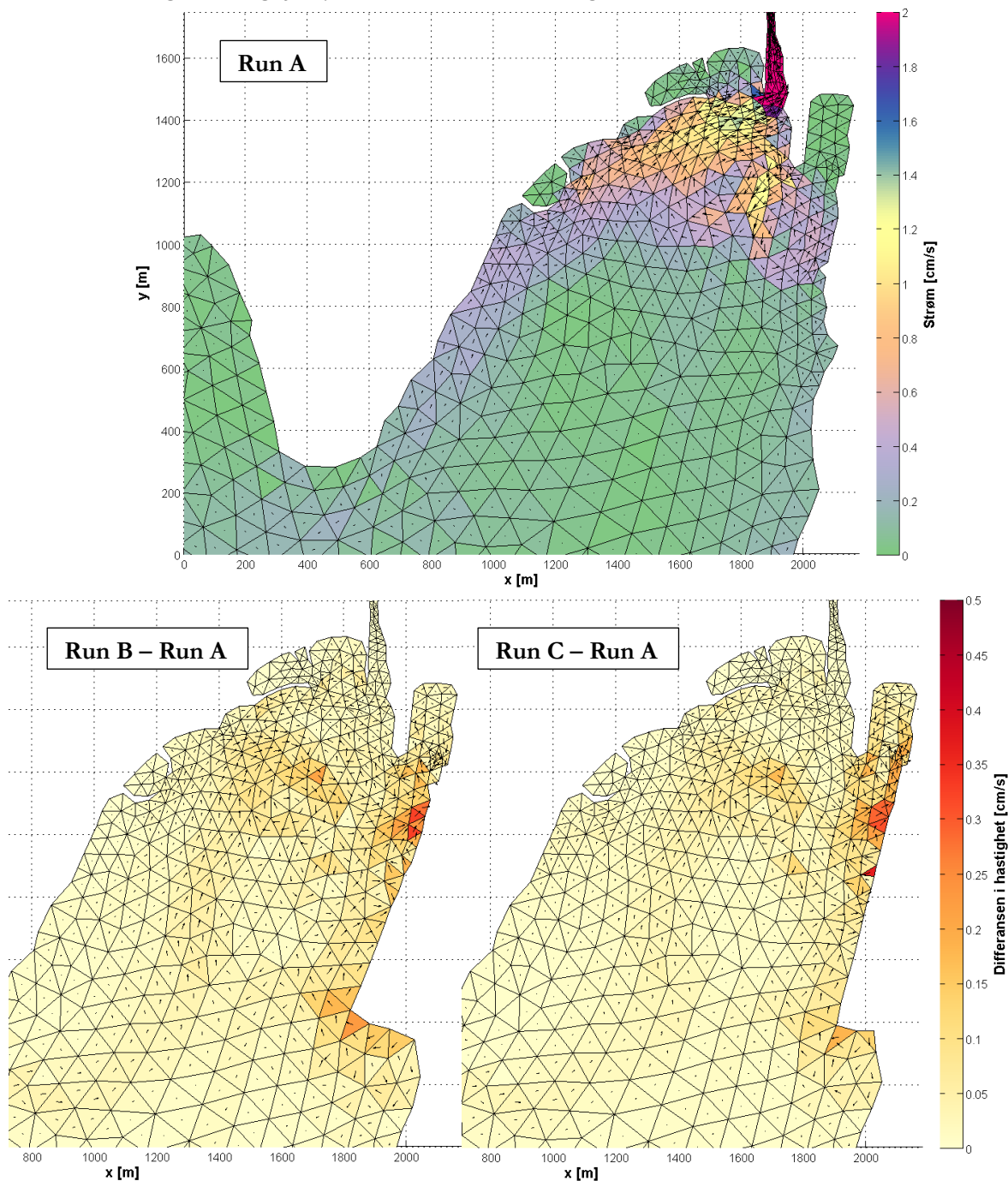


Figur 15. Strømfeltet ved synkende tidevann i run A (øverst), samt strømmen i run B fratrasket strømmen i run A (nederst, venstre) og strømmen i run C fratrasket strømmen i run A (nederst, høyre)

4.2.3 Lavvann

Ved lavvann går strømmen nordover i kanalen (se **Figur 16**). Virvelen i havna som går med klokka, er noe sterkere forbi Søly, men svakere forbi ferjekaia enn ved høyvann. Det dannes en svakere virvel som går mot klokka som gir nordgående strøm ved nordlige enda av containerhavna.

Som ved høyvann, vil utbyggingen ha liten innflytelse på sirkulasjonsmønsteret i havnebassenget ifølge modellsimuleringene. Langs Jeløya vil strømmen avta noe og ved containerhavna vil strømmen øke noe.

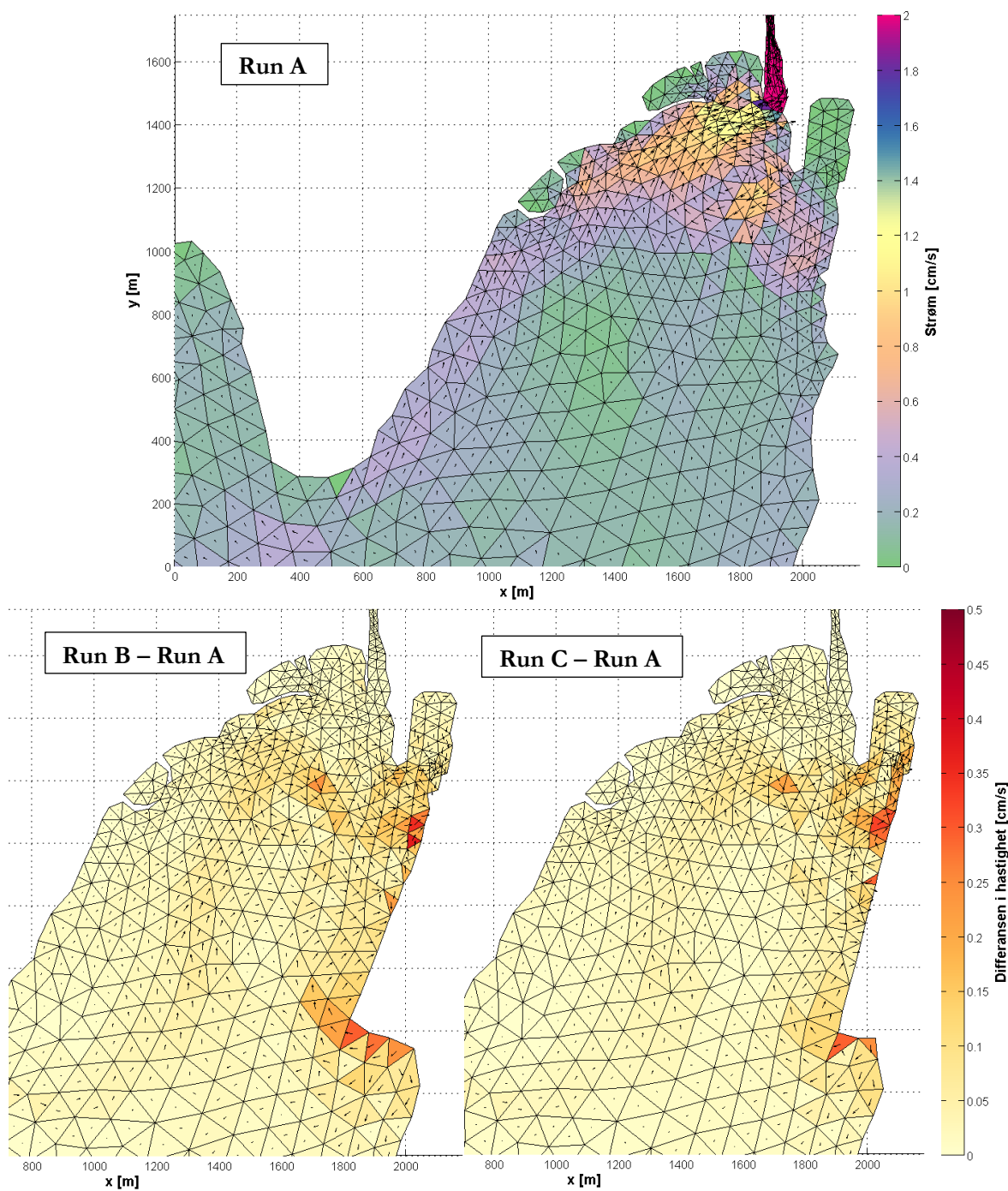


Figur 16. Strømfeltet ved lavvann i run A (øverst), samt strømmen i run B fratrasket strømmen i run A (nederst, venstre) og strømmen i run C fratrasket strømmen i run A (nederst, høyre)

4.2.4 Stigende tidevann

Ved stigende tidevann går strømmen fortsatt nordover i kanalen (se Figur 17). Sirkulasjonen ved stigende tidevann ligner sirkulasjonen ved lavvann. Strømmen langs Søly er sterkere enn ved høyvann og det dannes en svak virvel utenfor nordlige ende av containerhavna.

Ifølge modellsimuleringene har utbyggingen av havna liten betydning for strømmen langs Jeløy. Langs containerhavna er det forventet at strømmen blir noe sterkere.



Figur 17. Strømfeltet ved stigende tidevann i run A (øverst), samt strømmen i run B fratrasket strømmen i run A (nederst, venstre) og strømmen i run C fratrasket strømmen i run A (nederst, høyre)

5. Validering

De ti første dagene i simuleringene er utelatt fra valideringen siden det er satt en oppstartstid på ti dager.

5.1 Vannstand

I Oslofjorden er det fire faste vannstandsstasjoner: Helgeroa, Vikør, Oscarsborg og Oslo (se **Figur 2**). Harmonisk analyse er utført på tidsseriene for både modellert og observert vannstand. Analysen er gjort ved hjelp av t_tide (Pawlowicz et al., 2002) på tidsserier som er 90 dager lange.

Amplitudene til de fem tidevannskomponentene som inngår i modellen, er tilfredsstillende (se **Tabell 2**). Høyest differanse i amplitude, er ved Oscarsborg. Her er geometrien krevende. Tidsseriene viser at modellert amplitude for vannstand samsvarer godt med amplituder fra tidevannstabellen (**Tabell 2**).

Harmonisk analyse er også utført på hele det modellerte feltet. Resultatene viser hvordan amplituden øker innover i fjorden (**Figur 18**). Størst økning er over Drøbaksterkselen og gjennom Svelvikstrømmen.

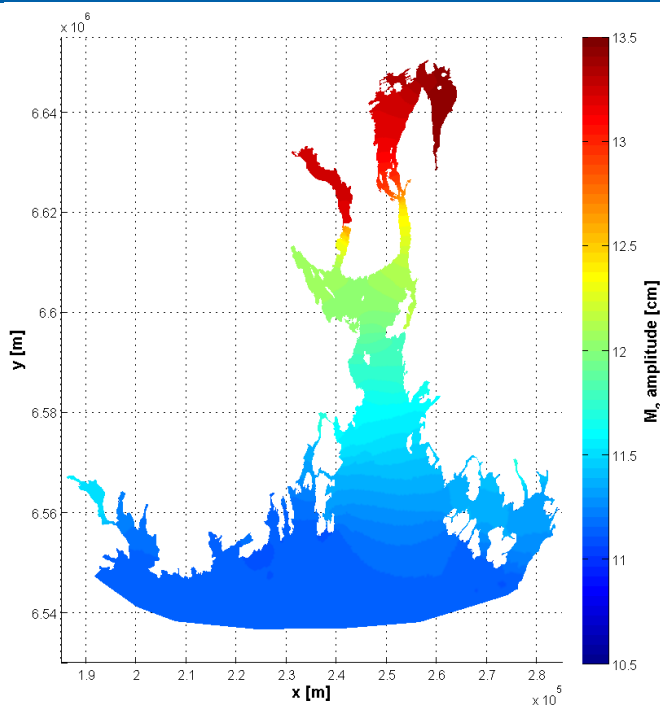
Tabell 2. Observert og modellert amplitude for vannstand.

		M_2 [cm]	S_2 [cm]	N_2 [cm]	K_1 [cm]	O_1 [cm]
Pådrag		11,3	2,9	2,9	0,3	2,0
Helgeroa	Obs	12,0	2,7	2,5	0,2	2,2
	Mod	11,2	2,8	3,0	0,3	2,0
Oslo	Obs	14,8	3,4	3,1	0,5	2,5
	Mod	13,4	3,4	3,5	0,3	2,0
Oscarsborg	Obs	14,1	3,2	2,9	0,4	2,5
	Mod	12,7	3,2	3,4	0,3	2,0
Vikør	Obs	12,3	2,8	2,6	0,1	2,3
	Mod	11,1	2,8	3,0	0,3	2,0

Figur 18.

Amplituder for M_2 .

Fordelingen er tilsvarende for de øvrige komponentene når amplituden skaleres ned.



5.2 Lokal kunnskap i Moss

11 personer med kunnskap om forholdene i Moss havnebasseng er intervjuet i forbindelse med en masteroppgave ved HBV våren 2014 (Müller, 2014). Intervjuobjektene har erfaring fra sjøen som kapteiner, fritidsseilere, redningsarbeidere, dykkere eller surfere. Intervjuene resulterte i skisser som viser strøm, bølger og vind i Moss havnebasseng (to eksempler i **Figur 19** og **Figur 20**).

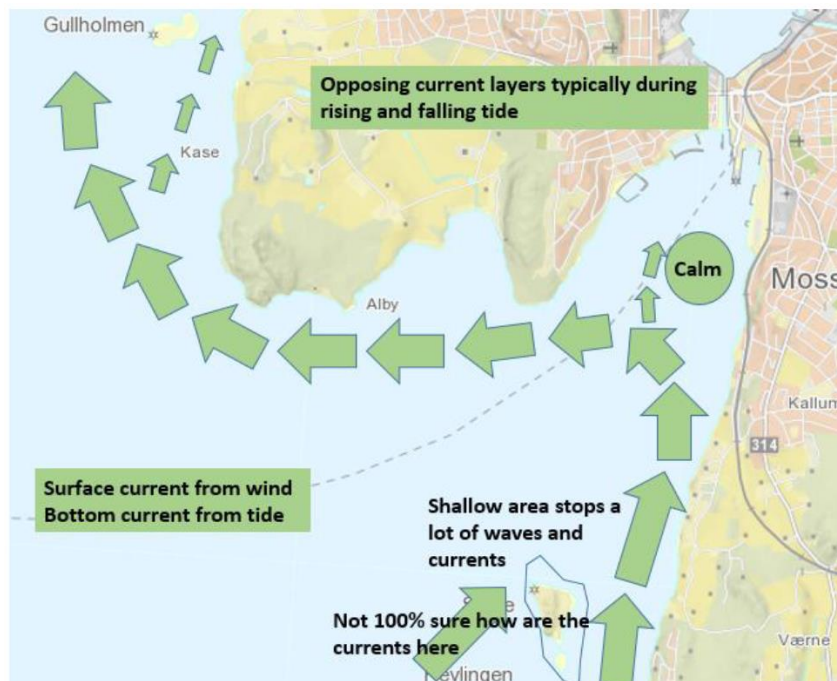
Det er mange utfordringer knyttet til denne type kartlegging. Spesielt nevnes:

- Sprikende resultater grunnet ulik erfaring med sjøen, f.eks. vil en dykker erfare andre fenomen enn en kaptein på et containerskip.
- Varierende forhold avhengig av vær og vind
- Overgangen fra muntlig overlevering til tallfestet data

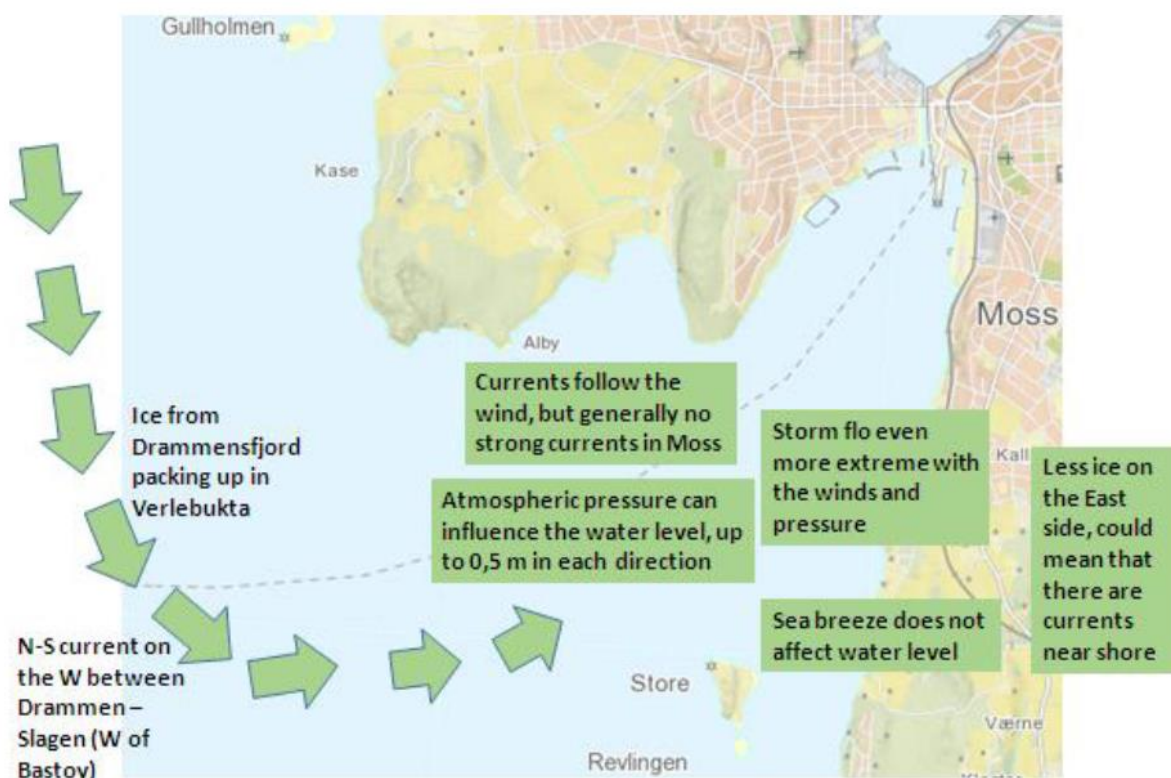
Ingen av intervjuobjektene har observert den modellerte strømvirvelen. Intervjuede kapteiner på Bastøfosen merker lite til strømmen, men en kaptein på et containerskip merket at akterenden møter mostand når han snur skipet for å legge til kai. Dette tyder på det er en strøm som går ut Værlebukta slik modellen viser.

Noen av intervjuobjektene nevnte forskjeller mellom strømmer nær overflaten og mot dypet. Slike forskjeller er også observert i 3D modeller, men ikke i 2D modeller som kun har én strømhastighet for hvert geografisk punkt. Flere påpekte at strømmen i overflaten fulgte vinden og at ferskvannet fra Vansjø har stor innflytelse på strømmen i Værlebukta.

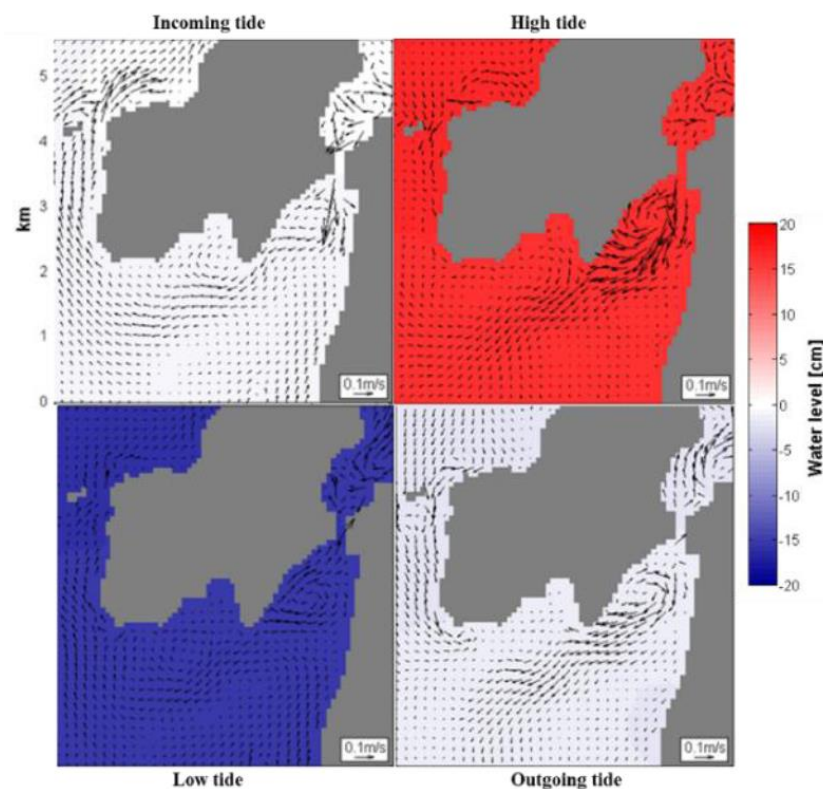
Intervjuobjektene ble vist modellert strømkart som skal representere normaltstanden gjennom en tidevannssyklus (**Figur 21**). Ingen mente plottene ga feil bilde, men flere nevnte at det er vanskelig å isolere tidevannsstrømmen.



Figur 19. Eksempel på skisse av strøm fra et intervjuobjekt



Figur 20. Eksempel på skisse av strøm fra et intervjuobjekt



Figur 21. Strømkart som ble vist intervjuobjektene. Strømkartet er basert på en simulering i ROMS med gitteroppløsning på 75m utført ved NIVA.

5.3 Drifterforsøk i Moss havnebasseng

For å undersøke om virvelen som fremkommer i modellresultater, kan observeres, er det gjennomført to drifterforsøk. Tidspunktene for forsøkene ble nøye valgt ut fra tidevannssyklusen og vindforhold. Begge tokt ble lagt etter maksimalt høyvann slik at det var synkende tidevann og forventet maksimal strøm.

Selv om forsøkene burde gjennomføres i vindstille vær for å isolere effekten fra tidevann, er det ventet at det alltid vil være noe bølger fra enten vind eller båttrafikk. Det gir en Stokes drift som påvirker drivbanene i overflaten. I tillegg vil effekter fra f.eks. stormflo og ferskvannstilførsel påvirke strømmen.

Ferjene har stor innflytelse på sirkulasjonsmønsteret i havnebassenget. Derfor er det ene forsøket gjennomført utenom ferjetidene.

5.3.1 Tokt 17. juni 2014

Et lavteknologisk drifterforsøk ble utført tirsdag 17. juni 2014. Samtidig ble et miljøvennlig og billig alternativ til avanserte driftere, appelsiner, testet (se **Figur 22**). Forhåndsundersøkelsene viste at appelsiner holder seg flytende i ukesvis og at hele 85-90 % av en appelsin ligger under vannflaten i stille vann.

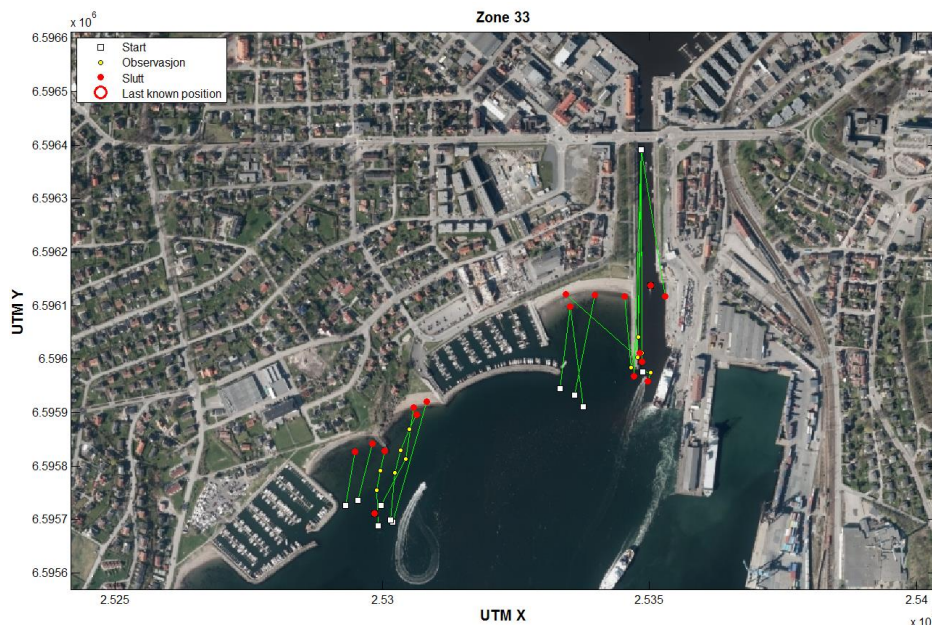
Toktet varte fra kl. 09:30 til kl. 15:00. Høyvann var meldt kl. 09:13 og påfølgende lavvann 14:42 med 26 cm i differanse. Det var meldt flau vind fra nord-nordvest, men vinden blåste svakt fra sør ved start og økte ut over dagen med bølger opp mot 60 cm.

Appelsiner viste seg å være gode driftere som var mer påvirket av strømmen nær overflaten enn av vinden. Appelsinene ble sluppet ut både i kanalen og fra båthavnene Søly og Fiske. I kanalen ble strømhastigheter i overflaten opp mot en halv meter per sekund mot sør observert selv om vinden blåste fra sør. Dette er dobbelt så raskt som de dybdeintegreerte hastighetene i modellen.

Forsøkene antyder at det ligger en virvel som går med klokken i havnebassenget. Samtidig med at strømmen gikk mot sør i kanalen, ble det observert strømmer mot nordøst langs østsiden av Jeløya fra Søly mot kanalen (se **Figur 23**). Vinden genererte bølger som entret Værlebukta og slo inn mot land. Appelsinene som ble sluppet ut langs østsiden av Jeløya, ble dermed tatt av bølgene og drev mot strendene.



Figur 22. Appelsinene hadde god flyteevne

**Figur 23.**

Posisjonene til appelsinene tirsdag 17. juni 2014 mellom kl. 09:30 til kl. 15:00. Drivbanene mellom observasjonene er ukjent.

5.3.2 Tokt 5. september 2014

Et drifterforsøk ble utført natt til fredag 5. september 2014. Siste ferje fra Moss gikk kl. 00:00 og siste fra Horten kom til Moss ca. 00:30. Første ferje fra Moss gikk klokken 05:00 og fra Horten 05:15. Dette ga ca. 4,5 time med ro i havnebassenget. To driftere med GPS-sendere var utlånt fra Meteorologisk institutt (se **Figur 24**, øverst). I tillegg var det laget åtte enkle driftere av flasker (se **Figur 24**, nederst). Høyvann var meldt kl. 02:17 og påfølgende lavvann 08:09 med 25 cm i differanse. Det var meldt 2-4 m/s vind fra sør hele natten, men vinden avtok i fem-tiden (se **Tabell 3**).

Tabell 3. Værmeldingen fredag 5. september 2014

Kl.	Gulholmen værstasjon			Drøbak vannstandsstasjon	
	Temperatur	Vind		Vannstand	
		Middel	Kraftigste vindkast	Observert	Beregnet tidevann
00:00	15,6°	⬆️ Lett bris, 4,8 m/s fra sør	5,5 m/s	53 cm	65 cm
01:00	15,6°	⬆️ Laber bris, 6,1 m/s fra sør	6,9 m/s	64 cm	73 cm
02:00	15,0°	⬆️ Lett bris, 4,7 m/s fra sør-sørvest	6,7 m/s	69 cm	76 cm
03:00	14,3°	↖️ Svak vind, 3,3 m/s fra sørvest	5,4 m/s	69 cm	75 cm
04:00	14,2°	↖️ Svak vind, 2,6 m/s fra sørvest	4,2 m/s	62 cm	70 cm
05:00	12,8°	↖️ Svak vind, 1,8 m/s fra øst-sørøst	3,0 m/s	50 cm	61 cm
06:00	13,0°	↖️ Svak vind, 1,7 m/s fra øst-sørøst	2,2 m/s	37 cm	52 cm
07:00	12,7°	↖️ Svak vind, 2,3 m/s fra øst-sørøst	3,1 m/s	28 cm	44 cm
08:00	13,2°	↖️ Svak vind, 2,0 m/s fra øst-sørøst	3,3 m/s	26 cm	41 cm
09:00	13,9°	↖️ Svak vind, 1,7 m/s fra sør-sørøst	3,1 m/s	28 cm	42 cm

Bilde 1: To GPS-driftere utlånt fra MET.

De to GPS-drifterne registrerte posisjon hvert minutt. Posisjonene ble løpende registret på en nettside slik at de lettere kunne logges og plukkes opp.



Bilde 2: Åtte enkle drifter laget av flasker.

Hver drifter bestod av to flasker: en 1.5-liters flaske og en 0.5-liters flaske. Snoren mellom de to flaskene var ca. 1.5m.

1.5-liters flasker ble fylt med vann og sand, mens en refleks på en pinne var festet til tomme 0.5-liters flasker.

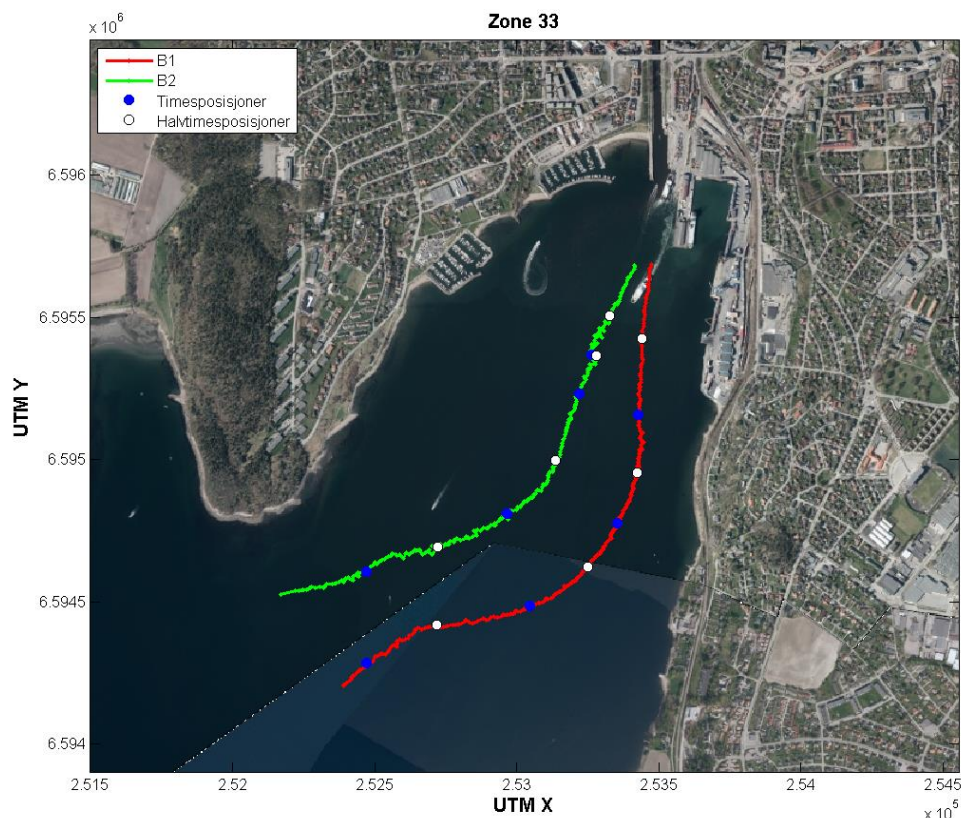
Figur 24. Foto av driftere.

Noen observasjoner av strømmen ble erfart fra kajakk:

- Ved midnatt, 2 timer før høyvann, gikk strømmen sørover i kanalen med ca. 0.8m/s.
- Strømmen langs Jeløya gikk nordover fra Søly småbåthavn mot kanalen hele natten.
- I området vest og sør for Værlebrygga var det høyere bølger enn ellers i havnebassenget. Årsaken er sannsynligvis at strømmen ut fra kanalen ble møtt av bølger på vei nordover.

De to GPS-drifterne, B1 og B2, ble sluppet henholdsvis 01:11 og 01:14. Begge fløt sørover (se **Figur 25**). Fra 01:40 til 02:40 lå B2, nesten stille mens B1 fortsatte sørover. B2 kan ha nærmet seg en virvel og at dette var årsaken til at den lå i samme område i en hel time. B1 virker ikke påvirket av noen virvel. Drifterne ble plukket opp henholdsvis 05:13 og 05:29. Hastigheten til drifterne økte på morgenkvisten da vinden avtok.

De åtte flaskene ble sluppet ut på to linjer (se **Figur 26** og **Tabell 4**). Posisjonene ble registrert ved hjelp av en egenutviklet mobilapplikasjon som ved hjelp av GPS, fant posisjonene. Drifter A3 ble sluppet ut i sterk strøm sørover med møtende bølger på vei nordover. Denne drifteren ble plukket opp grunnet høye bølger og sluppet ut nærmere Jeløya.



Figur 25.
 Drivbaner til
 GPS-drifterne
 fredag 5.
 september
 2014.09.08

B1 ble sluppet ut
 01:11 og plukket
 opp 05:13.

B2 ble sluppet ut
 01:14 og plukket
 opp 05:29.

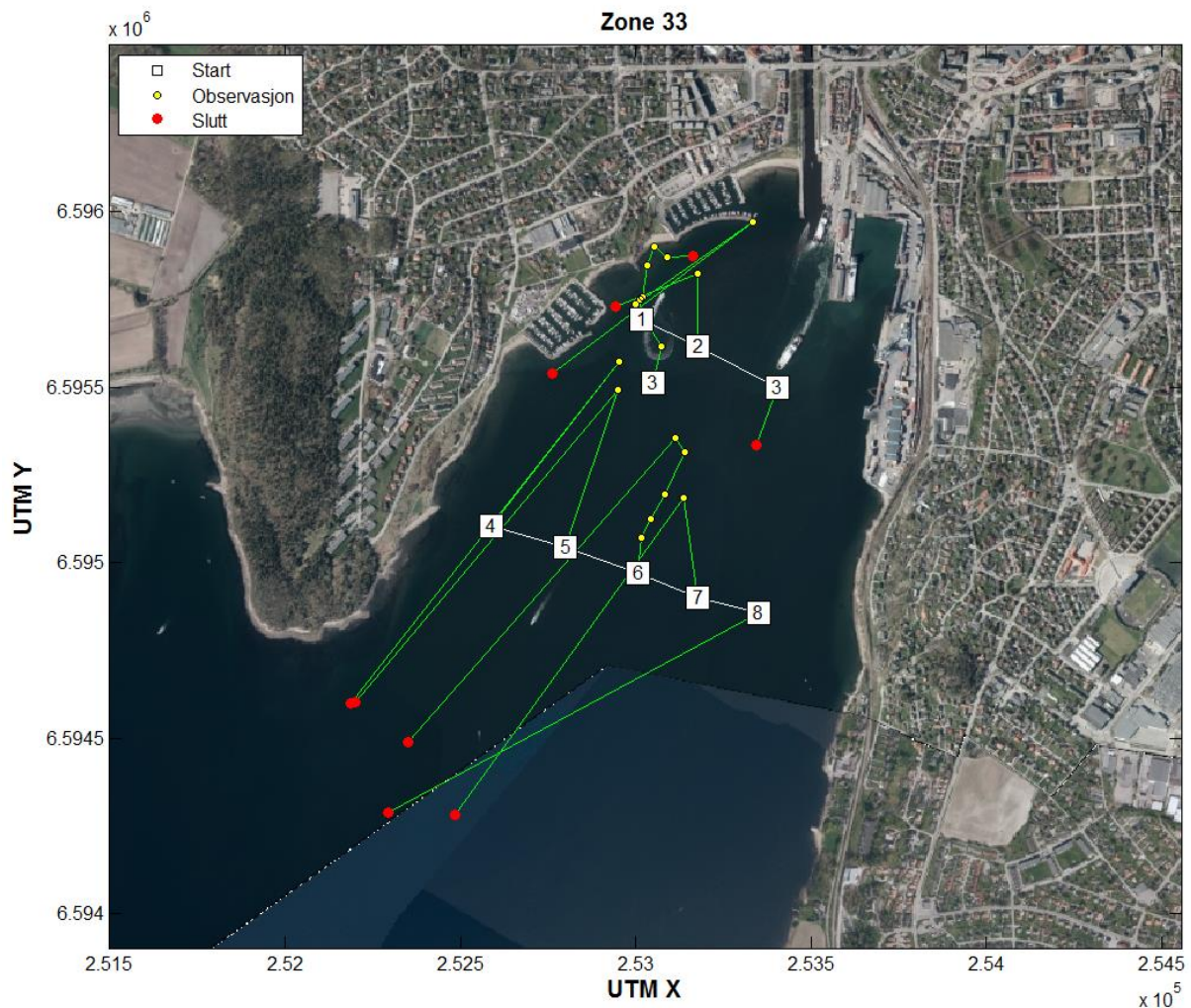
Posisjonene hver
 hele og halve time
 er markert.

Tabell 4. De åtte flaske-drifterne.

Drifter	Start	Slutt	Beskrivelse
A1	00:37:01	04:55:09	Drev nordover langs Jeløya i hele perioden
A2	00:40:02	05:57:09	Ble observert nord for utslippspunktet 02:11, men ble plukket opp ved Søløy båthavn noen timer senere.
A3	00:44:19	01:14:14	Drev sørover tross bølger og vind nordover. Plukket opp tidlig og sluppet ut på ny.
A4	00:51:07	08:18:42	Drev nordover langs Jeløya og ble observert utenfor Søløy båthavn 03:34. Den ble plukket opp på vei ut av Værlebukta.
A5	00:55:56	07:53:54	Drev nordover langs Jeløya og ble observert utenfor Søløy båthavn 03:37. Den ble plukket opp på vei ut av Værlebukta.
A6	00:58:45	07:57:42	Drev nordover og ble observert flere ganger frem til 03:14. Den ble plukket opp på vei ut av Værlebukta.
A7	01:02:09	08:05:18	Drev nordover og ble observert flere ganger frem til 02:43. Den ble plukket opp på vei ut av Værlebukta.
A8	01:04:32	08:02:46	Mistet av syne etter utslipp. Det antas at den har drevet sørover langs samme bane som B1. Ble funnet på morgenvisten.
A3 (ny)	01:23:06	07:34:49	Drev nordover langs Jeløya frem til den ble observert 05:52 ved Fiske båthavn. Den ble plukket opp sør for Søløy båthavn.

Det var lett å ta allerede i ett-tiden og tåken ble tykkere til siktelengden ble redusert til rundt 50 meter i seks-tiden. Først i åtte-tiden lettet tåken. Tåken gjorde det vanskeligere å lokalisere flaske-drifterne og resulterte i færre målinger enn ønsket.

Drifterne som ble sluppet ut i hovedløpet (A3 og A8) fulgte strømmen sørover, mens de øvrige drev nordover. Dette kan skyldes kombinasjonen av bølger og vind fra sør, men det kan også skyldes en virvel med nordovergående strøm langs Jeløya. Da vinden løyet mot morgenvisten drev alle bortsett fra A1 sørover. Hvilke drivbaner de har tatt, er uvisst da tåken var så tett at det var umulig å lokalisere dem før tåken lettet.



Figur 26. Posisjonene til flaske-drifterne fredag 5. september mellom kl. 00:30 til kl. 08:20. Drivbanene mellom observasjonene er ukjent.

Det generelle bildet er at strømmen gikk sørover i hovedløpet (banen til B1) og strømmen langs Jeløya gikk nordover under hele tidevannssyklusen. Dette antyder at det ligger en virvel innerst i Værlebukta som i simuleringene. Under høyvann og synkende tidevann var strømmen svært sterk sør for Værlebukta (rundt A3) – dette stemmer med simuleringene. Under lavvann gikk strømmen sørover i hele Værlebukta sør for Søly båthavn. Hastigheten til flaskedrifterne var vanskelig å observere siden det var lang tid mellom hver observasjon, men GPS-drifterne som lå i hovedløpet hadde en hastighet på opp mot 0.2m/s da vinden hadde løyet.

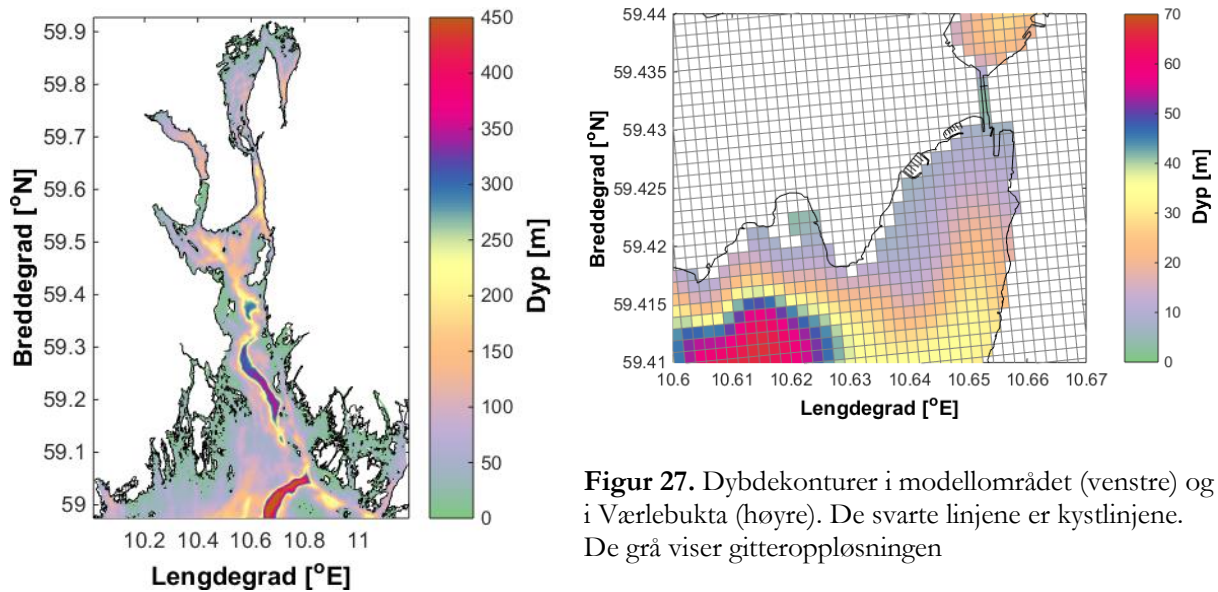
5.4 Andre strømmodeller

For å kunne representere virvelen, må modellen ha tilstrekkelig gitteroppløsning. Flere forskjellige havmodeller for Oslofjorden er under utvikling.

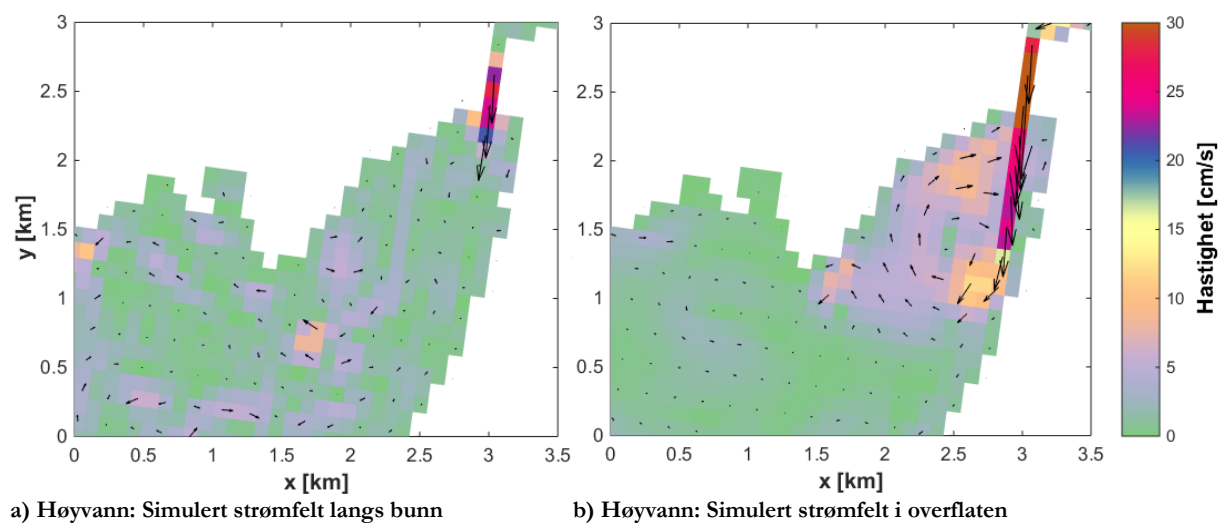
5.4.1 Kurvelineær 3D modell i ROMS

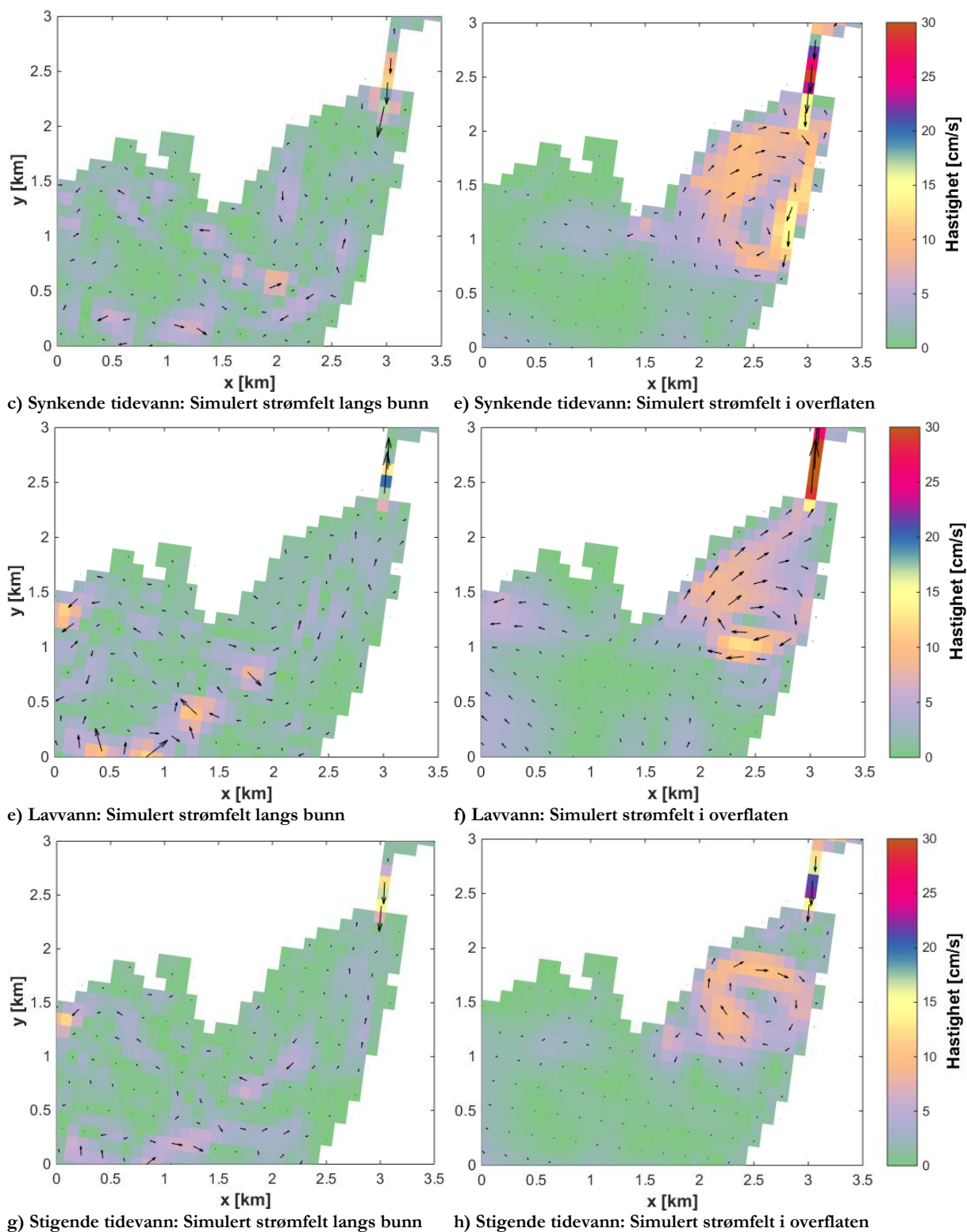
En av modellene under utvikling er en modell i 3D med kurvelineært gitter som benytter ROMS modellen (Haidvogel et al., 2008, Shchepetkin og McWilliams, 2005). Modellen dekker omtrent samme område som

FVCOM-modellen. Gitterstørrelsen varierer. I det aktuelle området ligger gitterstørrelsen på rundt 100 meter. Dette er for grovt til å gjøre et detaljstudium av effektene av en utbygging i Moss havn, men fint nok til å se på de dominerende strømfeltene i fjorden. For å få gjennomstrømning i Mossekanalen er den dobbelt så bred i modellen som i virkelighet.



Foreløpige resultater fra denne kurvelineære modellen viser en virvel med klokken i Vårlebukta (se **Figur 28**). Virvelen eksisterer under hele tidevannssyklusen. Resultatene viser at strømmen er sterkere i overflaten enn langs bunnen. Simulert strømhastighet gjennom Mossesundet er større her enn i FVCOM modellen og stemmer bedre med feltforsøkene. Siden kanalen er bredere i virkeligheten enn i modellen, blir volumfluksen gjennom kanalen større. Dette medfører at for mye vann strømmer gjennom kanalen og inn i Vårlebukta. Dette gir en sterkere jetstrøm ut fra kanalen og en sterkere virvel i Vårlebukta enn i virkeligheten. Strømstyrkene i disse simuleringene, må derfor tolkes med omhu.





Figur 28. Simulert strømfelt for 1. mai 2014. Simuleringene er utført med en kurvilinear 3D modell i ROMS. Simuleringene er utført av MET.

5.4.2 3D modell med 75 meters gitteroppløsning i ROMS

Virvelen i Værlebukta kan også observeres i en eldre ROMS modell med gitteroppløsning på 75 meter (se **Figur 21**). I disse modellkjøringene, som har grovere gitteroppløsning enn i FVCOM modellen, oppstår ikke mindre virvler ved containerkaia. Dette kan skyldes at ROMS modell-gitterne har for grov horisontal oppløsning selv når gitter-oppløsningen er 75 m. Det er ikke forventet at modellkjøringene med ROMS vil få tilstrekkelig gitteroppløsning til å beskrive lokale forhold i Moss havn tilfredsstillende.

5.4.3 Forfinet gitter i FVCOM

Som en test er det gjennomført ytterligere en simulering i FVCOM med dagens design på containerhavnen. Gitteravstanden i denne simuleringen er halvert i forhold til gitterboksene i Run A. Resultatene fra denne simuleringen viser et tilsvarende strømmønster som i Run A.

5.5 Sedimenttransport

Ifølge Moss avis (4. og 5. juli 2006) har det vært en forflytning av sandmasser fra Vårlistranda til strendene Sjøbadet og Fiske. På Vårlistranda er sanden vasket vekk. På Sjøbadet og Fiske hoper sanden seg opp og et stupetårn ble fjernet i 2006 fordi det ikke lenger var dypt nok til at det var forsvarlig å stupe.

Dette tyder på at det er en massetransport nordover langs østsiden av Jeløya slik modellen viser. I denne sammenhengen bør det påpekes at strømmønsteret som skyldes tidevann i Værlebukta er fullstendig dominert av Mossekanalen (se **Figur 10**). Hadde Mossekanalen blitt stengt ville strømstyrkene blitt betraktelig svakere, og dermed ville også forflytning av sandmasser med strømmen blitt redusert.

6. Konklusjon

En 2D havmodell for Oslofjorden er satt opp i FVCOM. Gitteroppløsningen er tilstrekkelig for å kunne se endringer i sirkulasjonsmønsteret i Moss havnebasseng.

Modellen er kun drevet av tidevann. Effekter fra vind, atmosfæretrykk og ferskvannstilførsel inngår ikke. Disse effektene vil påvirke strømmen helt nær overflata, og i kanalen ble det observert strømstyrker som var opp til dobbelt så kraftige enn det den modellerte tidevannsstrøm med FVCOM skulle tilsi. Det må likevel påpekes at tidevannet er den mest dominerende drivkraften som får vannet til å bevege seg dypere ned i vannsøylen enn noen få meter. Effekten av stormflo kan anslå med å multiplisere tidevannsstrømmen fra modellen med en faktor som i Oslofjorden kan bli så stor som omtrent 5.

Resultatene er validert ved hjelp av vannstandsmålinger på faste målestasjoner i fjorden, lokal kunnskap, enkle drifterforsøk og andre fjordmodeller under utvikling. Tidevannet er tilfredsstillende med tanke på amplitude, men modellen gir for svak strøm. Sterkere strømstyrker enn modellert er forventet.

Tre modellkjøringer er gjennomført der eneste forskjell er utformingen av containerhavnen. I den ene kjøringen er dagens utforming av havneområdet. I de to andre kjøringene er det lagt inn en ny containerhavn sør for ferjekaia. Ifølge resultatene fra modellsimuleringene vil endringene i strømforholdene på motsatt siden av Verlebukta være liten som følge av en utbygging av containerhavna, mens det i nærheten av den nye kaia vil bli store endringer. Modellstudiet viser også at Mossekanalen er svært viktig for strømmønsteret i Moss havn. Hadde Mossekanalen blitt stengt, ville strømstyrkene blitt betraktelig svakere.

7. Referanser

- Chen, C., Beardsley, R. C., & Cowles, G. (2006). An unstructured grid, finite-volume coastal ocean model (FVCOM) system. *OCEANOGRAPHY-WASHINGTON DC-OCEANOGRAPHY SOCIETY*-, 19(1), 78.
- Chen, C., Beardsley, R. C., Cowles, G., Qi, J., Lai, Z., Gao, G., Stube, D. Xu, Q., Xue, P., Ge, J., Hu, S., Ji, R., Tian, R., Huang, H., Wu, L., Lin, H., Sun, Y. & Zhao, L. (2013) An Unstructured Grid, Finite-Volume Community Ocean Model, FVCOM User Manual. SMASST/UMASSD-13-0701. MEDM report.
- ECGL (1995) SMS Surface Water Modeling System Reference Manual. Brigham Young University Engineering Computer Graphics, Laboratory, Provo, UT.
- Haidvogel, D. B., Arango, H., Budgell, W. P., Cornuelle, B. D., Curchitser, E., Di Lorenzo, E., ... & Wilkin, J. (2008). Ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and skill assessment of the Regional Ocean Modeling System. *Journal of Computational Physics*, 227(7), 3595-3624.
- Müller, M. (2014) Local Ocean Weather Knowledge. Master Thesis, Buskerud and Vestfold University College.
- Pawlowicz, R., Beardsley, B., & Lentz, S. (2002). Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE. *Computers & Geosciences*, 28(8), 929-937.
- Shchepetkin, A. F., & McWilliams, J. C. (2005). The regional oceanic modeling system (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model. *Ocean Modelling*, 9(4), 347-404.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

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



Norsk institutt for vannforskning

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