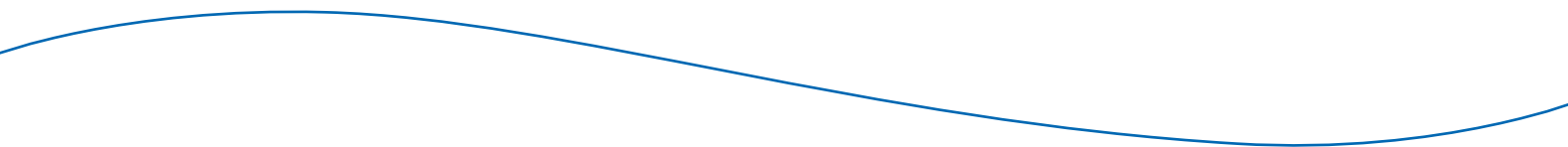


Bispevika. Vurdering av vannutskiftning og vannkvalitet i planlagte kanaler og bassenger

A decorative blue wave line that spans the width of the page, starting from the left edge, rising to a peak, then falling to a trough, and finally rising again towards the right edge.

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

NIVA Region Midt-Norge

Høgskoleringen 9
7034 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Bispevika. Vurdering av vannutskiftning og vannkvalitet i planlagte kanaler og bassenger	Løpenr. (for bestilling) 6669-2014	Dato 30.04.2014
	Prosjektnr. 14076	Sider 30
Forfatter(e) Jarle Molvær Mats Walday	Fagområde Marint	Distribusjon Fri
	Geografisk område Oslo	Trykket NIVA

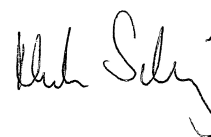
Oppdragsgiver(e) HAV Eiendom, Dronning Eufemias gate 16, 0191 Oslo	Oppdragsreferanse E-post av 22.01.14
---	---

Sammendrag
HAV Eiendom arbeider med detaljplan for utbygging i Bispevika, med utfylling og bebyggelse i nordøstre del. Her inngår bl.a. to bassenger med innløp fra Bispevika. Den foreliggende rapporten vurderer hvordan vannutskiftning, vannkvalitet og mulighetene for dyre- og planteliv vil bli i bassengene. Det er vanskelig å estimere omfang og kvalitet av fremtidige biologiske samfunn i bassengene, men hovedkonklusjonen er at lysforhold og fravær av strøm- og bølgebevegelse i bassengene kan gi dårlig vannkvalitet og begrense tilstedeværelse av tang og andre type organismer som for mange gir en positiv miljøopplevelse. På grunn av fare for at søppel kan akkumulere, kan det bli nødvendig med regelmessig stell og vedlikehold av bassengene for at de skal fremstå som attraktive for publikum.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bispevika 2. Bassenger 3. Vannkvalitet 4. Begroing 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bispevika 2. Basins 3. Water quality 4. Vegetation
---	---



Mats Walday
Prosjektleder



Morten Thorne Schaanning
Forskningsleder

Bispevika

Vurdering av vannutskiftning og vannkvalitet i planlagte kanaler og bassenger

Forord

HAV Eiendom arbeider med detaljplan for utbygging i Bispevika, med utfylling og bebyggelse i nordøstre del. Her inngår bl.a. to bassenger med innløp fra Bispevika. Den foreliggende vurderingen av vannutskiftning og vannkvalitet i bassengene er utarbeidet for HAV Eiendom ved prosjektutvikler Birgitte Aas Gaarder, som takkes for godt samarbeid

Prosjektleder Cecilia Stokkeland, HAV, takkes for utarbeidelse av kartgrunnlaget for modellen som er brukt i vurderingene.

Jarle Molvær, Molvær Resipientanalyse, har utført beregningene av vannutskiftningen i bassengene og vurderinger av vannkvaliteten. Mats Walday har ansvar for vurderingene av biologiske forhold samt prosjektledelse.

Oslo, 30.4.2014

Mats Walday

Innhold

Sammendrag	5
1. Bakgrunn og formål	7
2. Topografi og vannmasser	8
2.1 Topografi	8
2.2 Vannmasser og vannutskiftning	8
3. Beskrivelse av modellen	11
3.1 Metodikk	11
3.2 Data	12
4. Modellens resultater	14
4.1 Overflatesirkulasjon i Bjørvika og Bispevika	14
4.2 Vannsirkulasjon og vannutskiftning i bassengene	14
5. Vannkvalitet og biologiske forhold i bassengene	19
5.1 Vannkvalitet	19
5.2 Algevekst og begroing	23
6. Oppsummering og konklusjoner	26
7. Litteratur	27
Vedlegg A.	28

Sammendrag

HAV Eiendom arbeider med detaljplan for utbygging i Bispevika, med utfylling og bebyggelse i nordøstre del. Her inngår bl.a. to bassenger med innløp fra Bispevika. Den foreliggende rapporten vurderer vannutskiftning og vannkvalitet i bassengene. Dypet i bassengene er planlagt til å bli 1,5m.

Ferskvannet fra Akerselva danner et øvre brakkvannslag i det indre havnebassenget, mens vannmassen fra ca. 2 m dyp er mer typisk 'indre Oslofjord vann'. De to bassengene i Bispevika vil bestå av vann fra dette brakkvannslaget.

Ved middels og stor vannføring i Akerselva er der en tydelig utgående brakkvannsstrøm i havneområdet, mens ved lav vannføring er overflatestrømmene helt dominert av tidevann, vind og lufttrykk. Det halvdaglige tidevannet er viktig for vannutskiftningen.

Vannkvaliteten i Bispevika bestemmes i dag hovedsakelig av: 1) Tilførsler av ferskvann med partikler, næringssalter og andre stoffer fra Akerselva. 2) Lokal avrenning fra vei og andre arealer. 3) Vannkvaliteten lenger sør i indre Oslofjord

Med unntak for 2011 synes det å være en utvikling mot bedre vannkvalitet i Akerselva de siste 8-10 år. I perioder med nedbør og flom i Akerselva kan vannkvaliteten i indre havn forventes å være dårlig, da sedimenter fra nedre del av elva spyles ut i havnebassenget samtidig som avrenningen fra gater og andre flater er stor.

Samlet sett er det grunn til å tro at vannkvaliteten i denne delen av Oslo havn gradvis vil forbedre seg noe ettersom 1) Vannkvaliteten i Akerselva forbedres. 2) Prosjektene (vei og bygg) omkring Bispevika og Bjørvika fullføres. 3) Midgardsormen ferdigstilles.

Det er viktig å være klar over at det ligger en naturgitt begrensning i Bjørvika-/Bispevikaområdet, særlig med hensyn til strøm og bølgeeksponering, som hindrer eller begrenser tilstedeværelse av en rekke marine organismer..

Tidligere undersøkelser har vist at nedslamming av bunnen i området trolig er en faktor som begrenser utbredelsen av marine organismer som lever på fjell og stein (hardbunnsorganismer). Denne nedslamming har sammenheng med tilførselen av partikler via elv og overvann, men også med de svake strømmene og den lave bølgeaktiviteten en har i området.

Undersøkelser høsten 2013 viste en svak positiv trend for de bunnlevende organismene i Bjørvika, men undersøkelsene viste tydelig at det er dårlige lysforhold i vannmassene.

Modellkjøringene våre indikerer at tidevannet i en gjennomsnittssituasjon bare vil skape svake strømmer i de planlagte bassengene og i innløpene til dem. Ved situasjoner med store lufttrykkvariasjoner eller kraftig fralandsvind/pålandsvind (stormflo) vil imidlertid vannstandsvariasjonene – og vannutskiftningen – bli langt større. I bassengene vil det for det meste være svært lite vannbevegelse med hensyn til både strøm og bølger. Det er derfor stor sannsynlighet for at nedslamming vil prege bunnen i bassengene, kanskje også bassensidene.

HAV har påpekt at Plan og bygningsetaten og Riksantikvaren ønsker en større vanndybde enn 1,5m i bassengene. En ufravikelig forutsetning må da være at også dypet i kanalene mellom Bispevika og bassengene økes tilsvarende. Ellers vil det dypest i hvert basseng ligge en vannmasse med liten vannfornyelse og sannsynligvis periodevis (meget) lav oksygenkonsentrasjon.

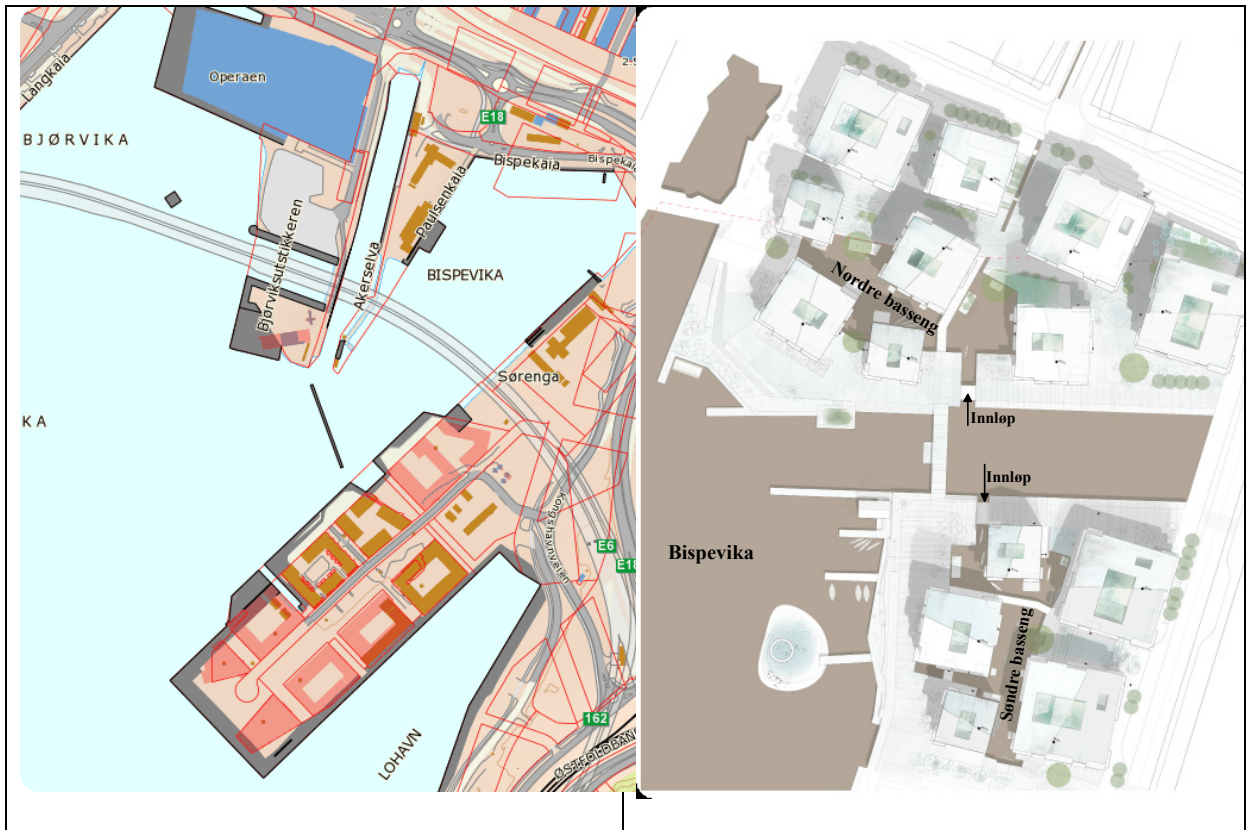
En økt vanddybde fra 1,5 m til 2,5 m eller 3 m, betyr at vannvolumene øker med hhv. 67% og 100%, mens vannskiftningen gjennom tidevannet forblir som før. Større vanddyp vil dermed føre til vesentlig lenger oppholdstid for vannet i bassengene. Det er utvilsomt slik at større vanddyp medfører risiko for dårligere vannkvalitet, algevekst og perioder med lave oksygenkonsentrasjoner. Det kan også nevnes at større vanddyp vil øke antall dager da man ikke kan se bunnen i bassengene

Lysforhold og fravær av strøm- og bølgebevegelse i bassengene kan begrense tilstedeværelse av tang og andre type organismer som for mange gir en positiv miljøopplevelse, og favorisere andre, f.eks trådformete alger, som kan oppleves som mindre positive for miljøet. Fordi det er vanskelig å estimere omfang og kvalitet av groe i bassengene, og at det er fare for at søppel kan akkumulere der, kan det bli nødvendig med noe opprydding/rengjøring av bassengene for at de skal fremstå som attraktive for publikum.

1. Bakgrunn og formål

HAV Eiendom arbeider med detaljplan for utbygging i Bispevika, med utfylling og bebyggelse i nordøstre del. Her inngår bl.a. to bassenger med innløp fra Bispevika (Figur 1). Det er viktig at disse to innløpene sikrer tilstrekkelig vannutskifting i bassengene slik at man unngår sterk begroing og dårlig vannkvalitet.

Prosjektets målsetting er å vurdere den vannutskiftningen man kan forvente i de to bassengene, og tilhørende vannkvalitet.

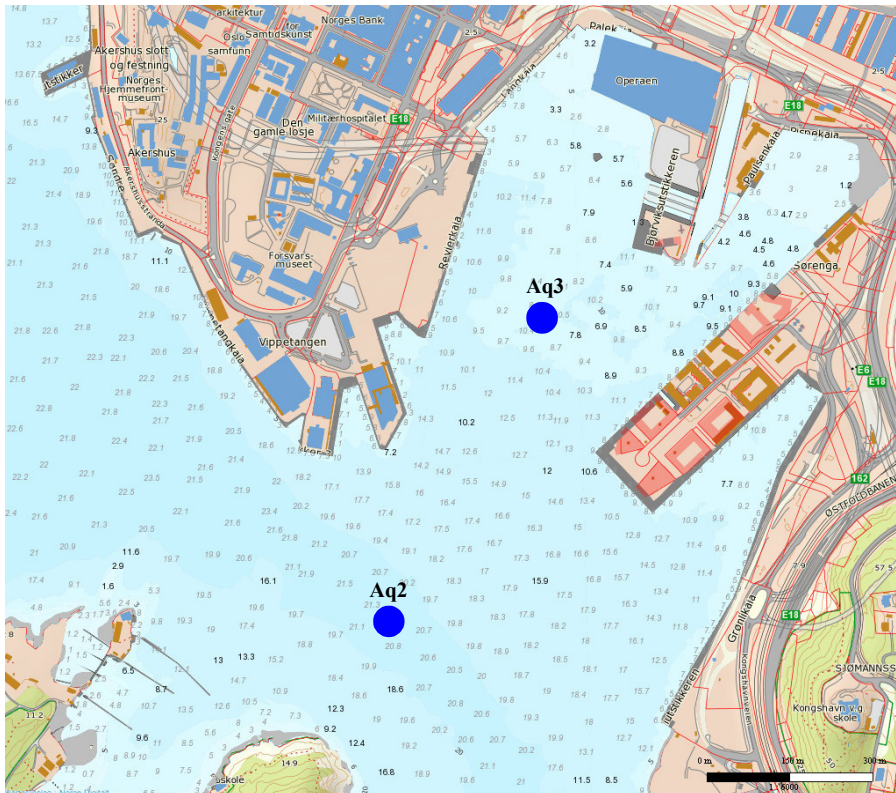


Figur 1. Kart over Bispevika (kilde: gislink.no) og det planlagte utbyggingsprosjektet (kilde: HAV).

2. Topografi og vannmasser

2.1 Topografi

Bispevika ligger på østsiden av Akerselvas utløp og med vanddyb på omkring 2 m i nordre del og 9-10 m i søndre del. Regnes yttergrensen for Akerselvas munningsområde som yttergrensen for Bispevika er overflatearealet ca. 54.000 m² (Figur 1). I nordøst ligger et område (ca. 5000 m²) som ved lavvann ofte er delvis tørrlagt, og holder man dette utenfor er volumet av vannmassen i 0-2 m dyp ca. 100.000 m³.



Figur 2. Kart over Bispevika, Bjørvika og området utenfor. Nærliggende målestasjoner for hydrografi og vannkjemi er vist med blå sirkler. (Kart fra www.gislink.no)

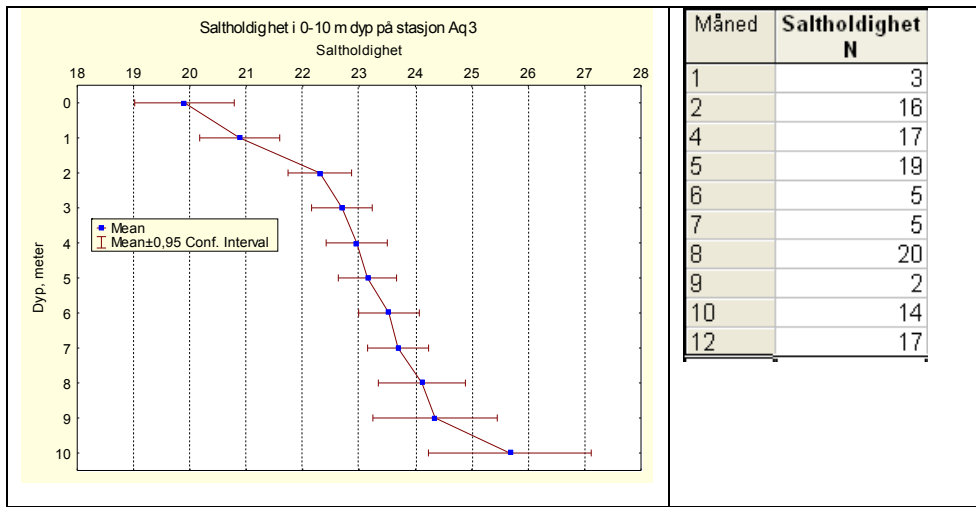
2.2 Vannmasser og vannutskifting

Ferskvannstilførselen til Bispevika og Bjørvika domineres av Akerselva. Gjennomsnittlig vannføring er 17,5 m³/s, mens pålagt minstevannføring i sommerhalvåret er 1,5 m³/s og 1 m³/s i vinterhalvåret (Oslo kommune, Vann- og Avløpsetaten).

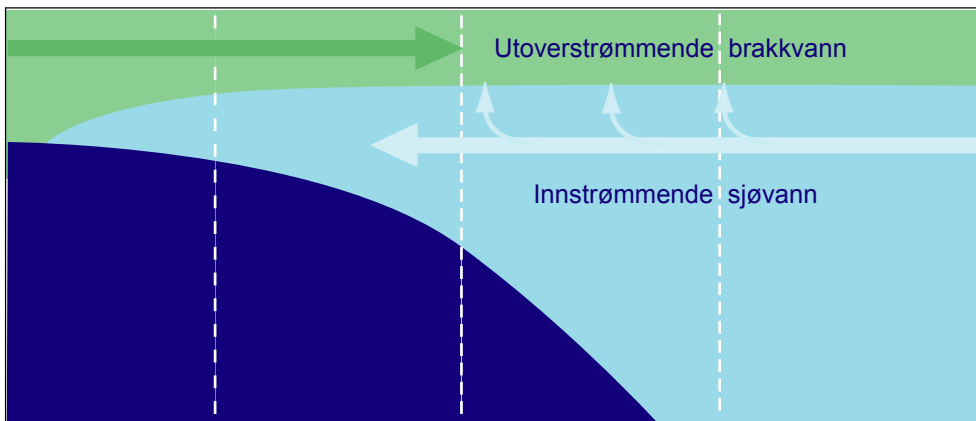
Ferskvannet fra Akerselva danner et øvre brakkvannslag i det indre havnebassenget, mens vannmassen fra ca. 2 m dyp er mer typisk 'indre Oslofjord vann' (Figur 3). Ved middels og stor vannføring er der en tydelig utgående brakkvannsstrøm, mens ved lav vannføring er overflatestrømmene i havneområdet helt dominert av tidevann, vind og lufttrykk.

Sjøvannet som på denne måten transporteres ut av fjorden blir erstattet ved en inngående strøm under overflatelaget. En prinsippskisse av dette strømsystemet er vist i Figur 4. Det understrekes at dette

generelle systemet varierer mye med tiden pga. påvirkning fra tidevann, vind og varierende ferskvannstilførsel.

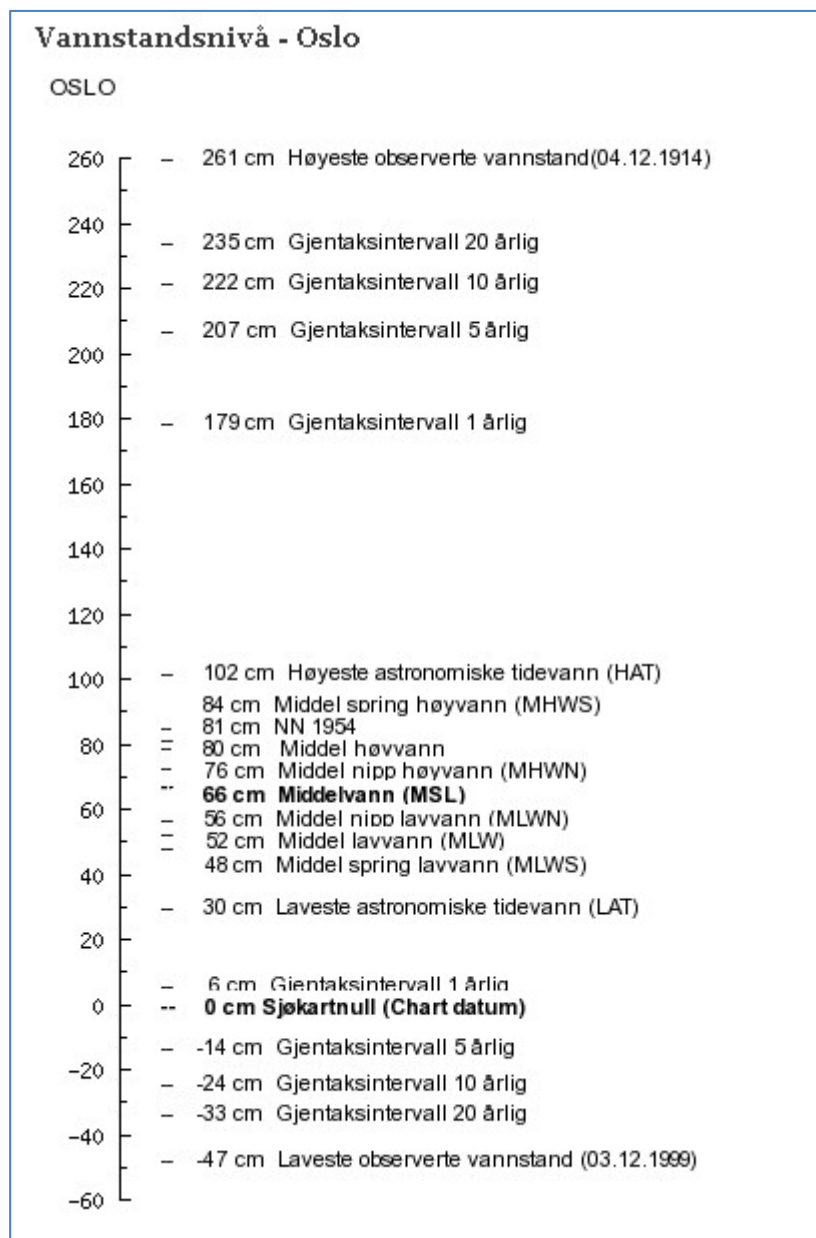


Figur 3. Målinger av saltholdighet i 0-10 m dyp på stasjon Aq3 i tidsrommet 2001-2011. Venstre figur sammenfatter resultatene for hver meters dyp. Høyre figur viser antall observasjoner pr. måned.



Figur 4. Prinsippskisse av strømsystemet som dannes når ferskvann tilføres en fjord.

Det halvdaglige tidevannet er viktig for vannutskiftningen. Som gjennomsnitt er det 28 cm forskjell mellom lavvann og høyvann og 36 cm forskjell ved middels spring (Figur 5).



Figur 5. Tidevannsvariasjoner i Oslo havn (fra Vannstand.no)

3. Beskrivelse av modellen

3.1 Metodikk

Innløpet til bassengene og selve bassengene som planlegges vil være ca. 1,5 m dype og vi velger å sette opp modellen for vannmassen i 0-2 m dyp. Dette tilsvarer noenlunde brakkvannslaget i Bispevika (Figur 3).

For å simulere sirkulasjonen i dette overflatelaget – i Bispevika og i bassengene - brukes modellen SMS/RMA2. Forkortelsen SMS står for "Surface Water Modelling System", som inneholder den numeriske modellen RMA2. SMS er laget ved Brigham Young University i samarbeid med U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station og U.S. Federal Highway Administration (ECGL 1995, Donnell et al.2005). RMA2 er en dynamisk, todimensjonal, dybde-integrert numerisk modell med fri overflate. Modellen beregner løsninger ved hjelp av endelig-element metoden.

Ligninger:

Grunnligningene i RMA2 er Navier-Stokes ligninger for bevarelse av bevegelsesmengde og volum (volumkonservering).

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial a_0}{\partial x} \right) + fv - \frac{\varepsilon_{xx} \partial^2 u}{\rho \partial x^2} - \frac{\varepsilon_{xy} \partial^2 u}{\rho \partial y^2} + \frac{gu}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \left(\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial a_0}{\partial y} \right) - fu - \frac{\varepsilon_{yx} \partial^2 v}{\rho \partial x^2} - \frac{\varepsilon_{yy} \partial^2 v}{\rho \partial y^2} + \frac{gv}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0$$

x =	Distanse i x-retning (positiv mot øst)
y =	Distanse i y-retning (positiv mot nord)
u =	Horisontal strømningshastighet i x-retning
v =	Horisontal strømningshastighet i y-retning
t =	Tid
g =	Tyngdens akselerasjon
h =	Vanddyb
ρ =	Væskens tetthet
ε_{xx} =	Normal turbulent utvekslingskoeffisient i x-retning
ε_{xy} =	Tangensial turbulent utvekslingskoeffisient i x-retning
ε_{yx} =	Tangensial turbulent utvekslingskoeffisient i y-retning
ε_{yy} =	Normal turbulent utvekslingskoeffisient i y-retning
C =	Chezy ruhetskoeffisient (Beregnet ut fra Mannings n)
f =	Coriolis parameter

Oppsett av modellen begynner med konstruksjon av et nettverk (grid) med diskrete punkter (dvs. data over posisjon og dyp for punktene i et nettverk, som siden interpoleres til et grid i SMS). Figur 6 viser

nettverket som ble benyttet for beregningene. Det består av 2790 elementer (trekanter og firkanter). I midtre og sørlige del av modellområdet er oppløsningen 20 m, i Bispevika 10 m og i bassengene 5 m. På den måten kan beregningene gjøres effektivt og med fokus /størst detaljeringsgrad på bassengene

Beregninger av vannhøyde, strømhastighet og strømretning gjøres i elementenes hjørner og i et punkt på hver side, i alt 6-8 punkt (noder) i hvert element. Ved hjelp av de topografiske dataene, grenseflatebetingelsene og initialbetingelsene beregner RMA2 verdier for strømhastighet, retning og vannstand i hvert av de 7761 nodene i nettverket.

Man må tilegne nettverket en initialtilstand. Dette gjøres ved å legge en horisontal, plan overflate over hele nettverket. Modellen trenger så en del tid ("spin up") på å finne representative løsninger.

I dette prosjektet er modellen kjørt for å beskrive sirkulasjon og vannutskifting i bassengene med dyp 1,5 m og det er derfor gjort to forenklinger:

1. Modellen er satt opp for å beskrive sirkulasjonen i et overflatelag med tykkelse 2 m over en horisontal, flat bunn. I bassengene er bunnen hevet med 0,5 m, dvs. til vanddyp 1,5 m.
2. Sirkulasjonen drives av det halvdaglige tidevannet og ferskvannstilførselen fra Akerselva. Vi kjenner ikke de lokale vindforholdene i Bispevika, eller hvordan de evt. endres pga. bebyggelsen omkring, og betydningen av vind er ikke tatt med.

Modellen vil framheve områder med bakevjer og svak/sterk strøm og gi en størrelsesorden for strømhastighet. *Derimot kan man ikke oppfatte strømhastighetene som helt riktige fordi dette ville forutsette en kalibrering av modellen mot bl.a. resultat fra strømmålinger i overflatelaget. Slike data finnes ikke.*



Figur 6. Nettverket eller gridet i RMA2-modellen for Bispevika er utgangspunktet for simulering av overflatesirkulasjonen. Venstre figur viser hele området. Høyre figur viser nettverket i bassengene. I hver node (avmerket som svart punkt) beregnes vannhøyden over referansedypet, strømretning og strømhastighet. I midtre og sørlige del av modellområdet er oppløsningen 20 m, i Bispevika 10 m og i bassengene 5 m.

3.2 Data

Det blir simulert strøm i et 2 meter tykt overflatelag, men med vanddyp 1,5 m i bassengene. Modellen må gis verdier for de turbulente utvekslingskoeffisientene og for bunnfriksjons-koeffisienten

Turbulens og friksjon varierer med strøm- og bunnforholdene, og er samtidig en egenskap ved selve bevegelsen. De er følgelig svært vanskelige å bestemme nøyaktig. Oppgitte størrelser på koeffisientene varierer med flere størrelsesordener (ECGL, 1995), uten at beregningsresultatene endrer seg tilsvarende mye. Bassengene er grunne og vi har satt koeffisienten Mannings-n, som beskriver turbulens og friksjon, lik 0,025 (tilsvarende moderat "friksjon" mot bunn og sider).

Gjennomsnittlig forskjell mellom høyvann og lavvann i Oslo havn ca. 0,28 m (Figur 5). Ved nippflo og springflo er forskjellene 0,2 m og 0,36 m. Vi velger primært å kjøre modellen med 0,28 m mellom lavvann og høyvann, men også mot 0,2 m og 0,36 m. Tidevannet er halvdaglig og strømhastigheten varierer gjennom de 6 timene mellom lavvann og høyvann. For å få en god beskrivelse kjøres modellen over 7 tidevannssperioder, dvs. 87 timer.

Overflatearealet av det største bassenget er ca. 1000 m² og en tidevannsvariasjon på 0,3 m krever dermed inn-/utstrømning av ca. 300 m³. Dette er et relativt lite volum og indikerer at tidevannet bare vil skape svake strømmer i bassengene og i innløpene til dem.

Strømforholdene i modellområdet påvirkes også av ferskvannstilførselen fra Akerselva, og vi har valgt å kjøre modellen med vannføringer 5 m³/s (lav) og 17,5 m³/s (gjennomsnittlig) og 40 m³/s (høy).

Modellen kjøres altså for 5 scenarier som er sammenfattet i Tabell 1.

Tabell 1. Scenarier for beregning av vannutskiftning i bassengene

Scenario	Vannføring i Akerselva	Tidevann
S1	17,5 m ³ /s	0,28 m
S2	5 m ³ /s	0,28 m
S3	40 m ³ /s	0,28 m
S4	17,5 m ³ /s	0,20 m
S5	17,5 m ³ /s	0,36 m

Der finnes ikke data fra strømmålinger i Bispevika som kan brukes for å kalibrere modellen. I juli-august 2001 ble det målt strøm i 4,5 m dyp i Bjørvika (5025 registreringer) og medianen var 1,5 cm/s. I 90 % av tiden var strømhastigheten mindre eller lik 3 cm/s (Molvær et al., 2002). Dette tyder klart på at man i nordre del av Bispevika kan forvente svært lave strømhastigheter.

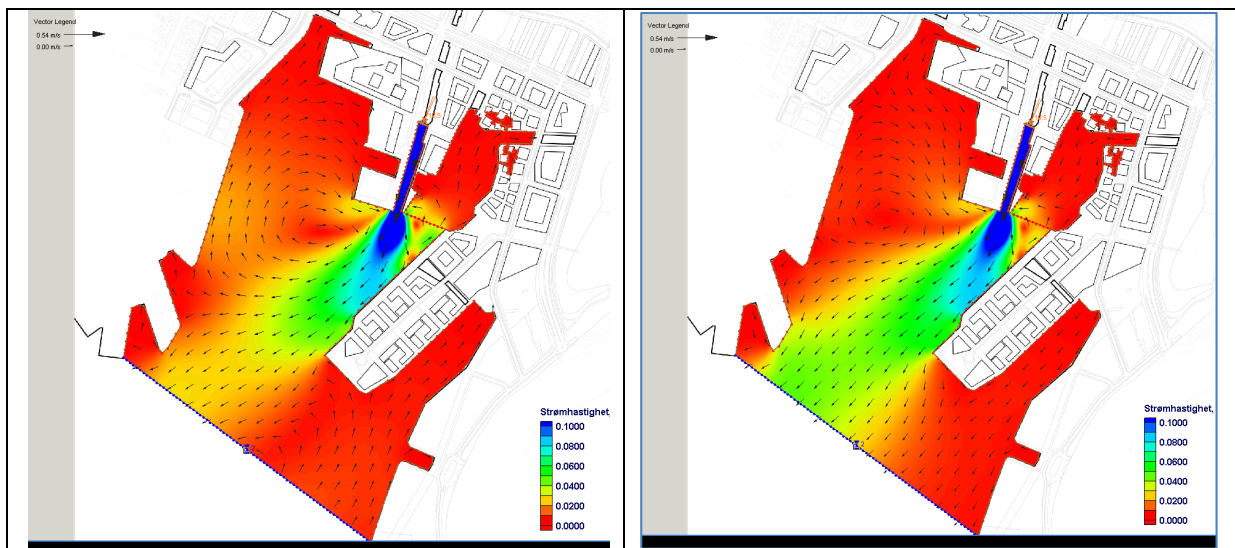
4. Modellens resultater

For hvert scenario (*Tabell 1*) simulerer modellen strømførholdene over 87 timer med konstant ferskvannstilførsel fra Akerselva mens tidevannet varierer. Resultater er beregnet for hver 0,5 time og disse er lagret som en «film» med 162 bilder. I det etterfølgende vises først et 'oversiktsbilde' med utstrømmende tidevann. Deretter fokuseres på bassengene i Bispevikas indre del og det vises to bilder fra hvert scenario: det ene med innstrømmende tidevann og det andre med utstrømmende tidevann. Bildene er fra samme tidspunkt i simuleringene og scenariene kan derfor sammenlignes.

4.1 Overflatesirkulasjon i Bjørvika og Bispevika

Hovedtrekkene er vist i Figur 8. Merk at fargeskalaen (nederst til høyre i hver figur) har 0,1 m/s som maksimal hastighet – og områder med hastighet større enn dette er vist med mørk blåfarge. (Denne skalaen er valgt for å ha bedre oppløsning ved lave hastigheter.)

Elvevannet flyter raskt gjennom det trange utløpet for så å bre seg utover til begge sider samtidig som hastigheten avtar. Der er store områder med lav hastighet både på øst- og vestsiden av Akerselvas utløp.



Figur 7. Beskrivelse av sirkulasjonen i 0-2 m dyp i hele modellområdet med vannføring $17,5 \text{ m}^3/\text{s}$ i Akerselva. Venstre figur: innstrømmende tidevann. Høyre figur: utstrømmende tidevann. Skala for strømhastighet fra 0 (rød) til 0,1 (blå) m/s.

4.2 Vannsirkulasjon og vannutskiftning i bassengene

Resultatene fra modellkjøringene av scenarioene 1-5 er vist i Figur 8 - Figur 12. Merk at strømhastigheten er svært lav og i kanaler og basseng ligger i intervallet 0-1 cm/s (se nederst til høyre i hver figur, der enheten m/s er brukt).

For hvert scenario er resultatene dokumentert med en film (avi-format) på 162 bilder. Her vises bare strømhastigheten ved maksimal innstrømming og utstrømming gjennom kanalene inn til de to bassengene. Dette er også da strømhastigheten inne i bassengene vil være størst.

Resultatene er entydige: i de to bassengene vil tidevannet bare skape svake strømmer, med hastighet på noen mm/s. Ved situasjoner med store lufttrykkvariasjoner eller kraftig fralandsvind/pålandsvind (stormflo) vil imidlertid vannstandsvariasjonene – og vannutskiftningen – bli langt større.

Men gjennomsnittssituasjonen stemmer med overslagsberegningen i kap. 3.2 som indikerte at tidevannet bare vil skape svake strømmer i bassengene og i innløpene til dem.

Sammen med kjennskap til tidevannet gir dette grunnlag for et estimat av vannets oppholdstid i bassengene. Vi forutsetter at som gjennomsnitt er forskjellen mellom lavvann og høyvann i Bispevika 28 cm (se Figur 5). Ideelt sett kunne da ca. 1/5 av bassengvannet (vann dyp 1,5 m) skiftes ut hver tidevannsperiode og at fullstendig vannfornyelse oppnås innen 2,5-3 døgn. Imidlertid viser de langsomme vannbevegelsene at det meste av vannet som forlater bassengene ved utstrømmende tidevann ikke forflytter seg helt ut til selve Bispevika, men befinner seg i kanalen ved lavvann – og dermed transporteres tilbake til bassengene når vannstanden igjen stiger. Ut fra nåværende datagrunnlag og beregninger er det ikke mulig å fastsette størrelsen av den effektive vannfornyelsen, men et sannsynlig estimat er en typisk oppholdstid for bassengvannet omkring 5 døgn. Vi antar at denne relativt korte oppholdstiden vil opprettholde tilfredsstillende oksygenforhold i bassengvannet.

Begrensningen for vannutskiftning i bassengene ligger altså i kombinasjonen av liten tidevannsvariasjon (langsomme vannbevegelser) og relativt lange kanaler mot selve Bispevika.

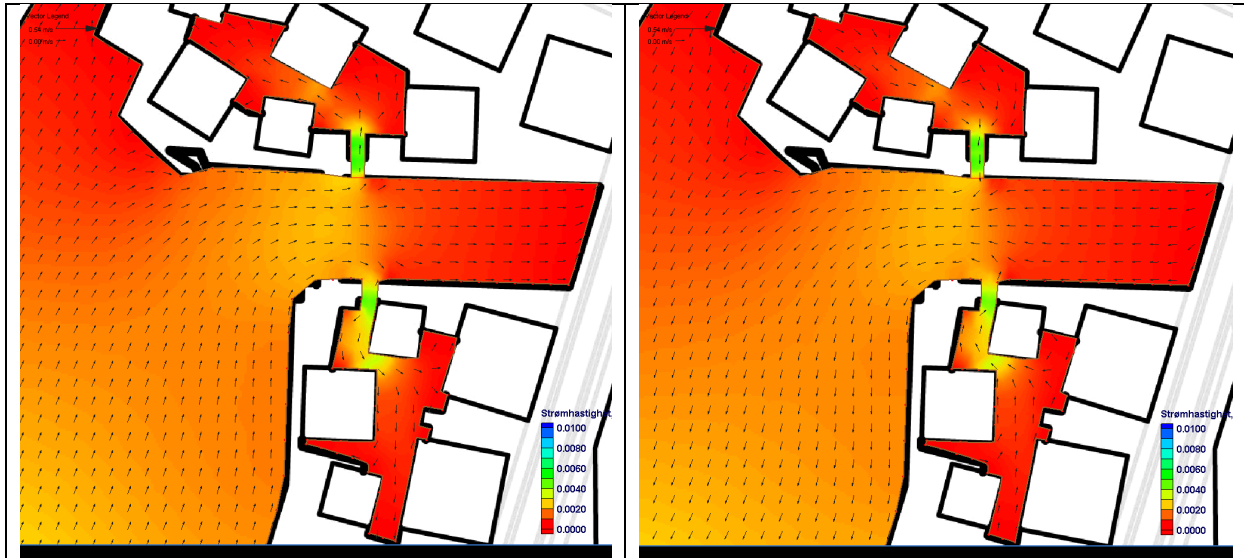
HAV har påpekt at Plan og bygningsetaten og Riksantikvaren ønsker en vanddybde som er minimum 2,5m i bassengene. En ufravikelig forutsetning må da være at også dypet i kanalene mellom Bispevika og bassengene økes tilsvarende. Ellers vil det dypest i hvert basseng ligge en vannmasse med liten vannfornyelse og sannsynligvis periodevis (meget) lav oksygenkonsentrasjon.

Økes vanddypet i bassengene fra 1,5 m til 2,5 m eller 3 m, betyr dette at vannvolumene øker med hhv. 67% og 100%. Men vannutskiftningen gjennom tidevannet forblir som før. Større vanddybde vil dermed føre til vesentlig lenger oppholdstid for vannet i bassengene, sannsynligvis en oppholdstid i størrelsen 8-10 døgn. Omkring disse typiske oppholdstidene vil det være betydelige variasjoner. Som nevnt ovenfor har vi ikke grunnlag for eksakte beregninger av vannkvalitet - og særlig oksygenforhold – i bassengene, men det er utvilsomt slik at større vanddybde medfører risiko for dårligere vannkvalitet, algevekst og perioder med lave oksygenkonsentrasjoner.

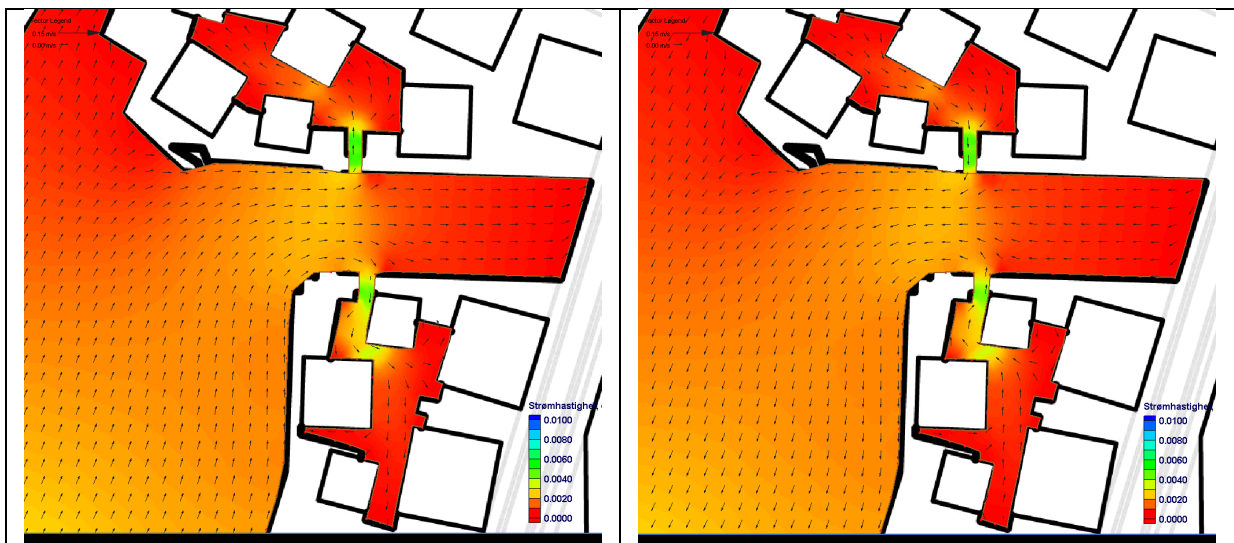
Det kan også nevnes at større vanddybde vil øke antall dager da man ikke kan se bunnen i bassengene (til sammenligning se Figur 17 med målinger fra st. Aq3 der siktedypet kan antas å være bedre enn i Bispevikas indre del).

Begrensningen for vannutskiftning i bassengene ligger altså i kombinasjonen av liten tidevannsvariasjon (langsomme vannbevegelser), relativt lange kanaler mot selve Bispevika og relativt store vannvolum i bassengene.

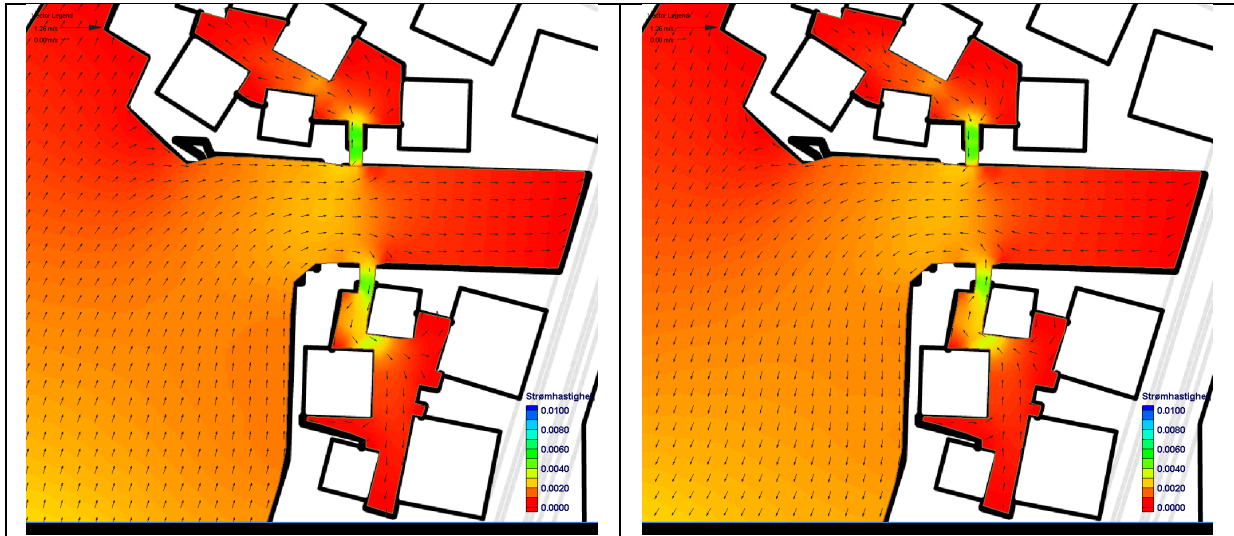
Til sist nevnes at skiftende lufttrykk og vindforhold vil bidra til å øke vannstandsvariasjonene i bassengene og dermed vannutskiftningen. Som en tommelfingerregel kan antas at en lufttrykksendring på 1 millibar fører en vannstandsændring på 1 cm, og iblant kommer virkningen av fralandsvind (bidrar til lavvann) og pålandsvind (bidrar til høyvann) i tillegg. Dette kan medføre vannstandsvariasjoner i størrelsesorden 0,5-1 m – eller iblant betydelig mer – men over mye lenger tidsperioder enn det halvdaglige tidevannet (jfr. Figur 5).



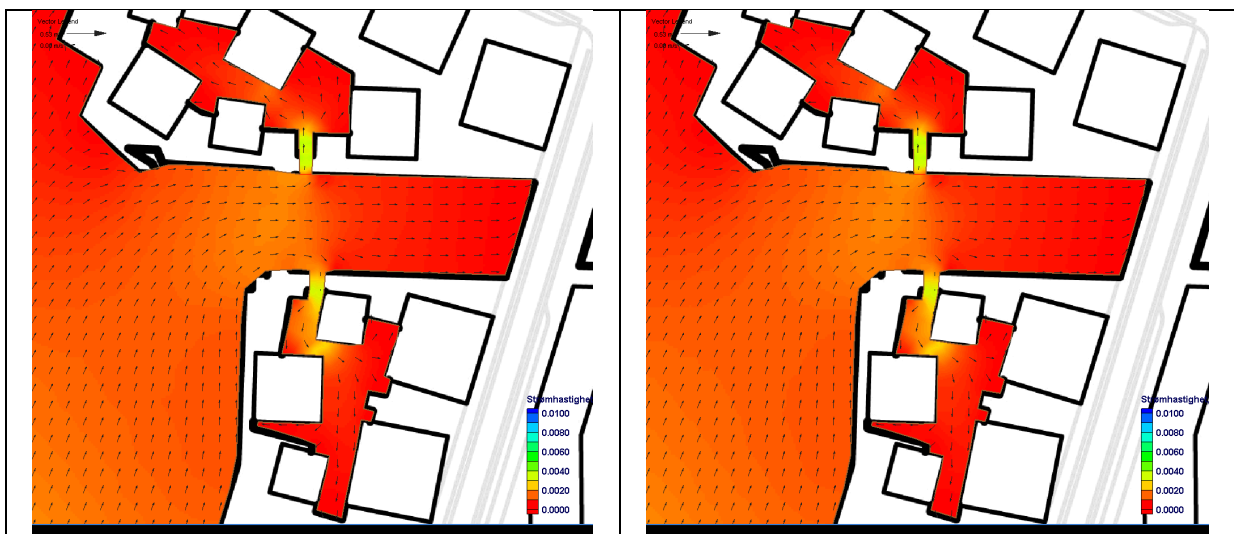
Figur 8. Scenario 1: Simulering av vannsirkulasjon i 0-1,5 m dyp i bassengene ved middels tidevannsvariasjon og vannføring 17,5 m³/s i Akerselva. Venstre figur: innstrømmende tidevann. Høyre figur: utstrømmende tidevann. Nederst til høyre i hver figur: skala for strømhastighet fra 0 (rød) til 0,01 (blå) m/s.



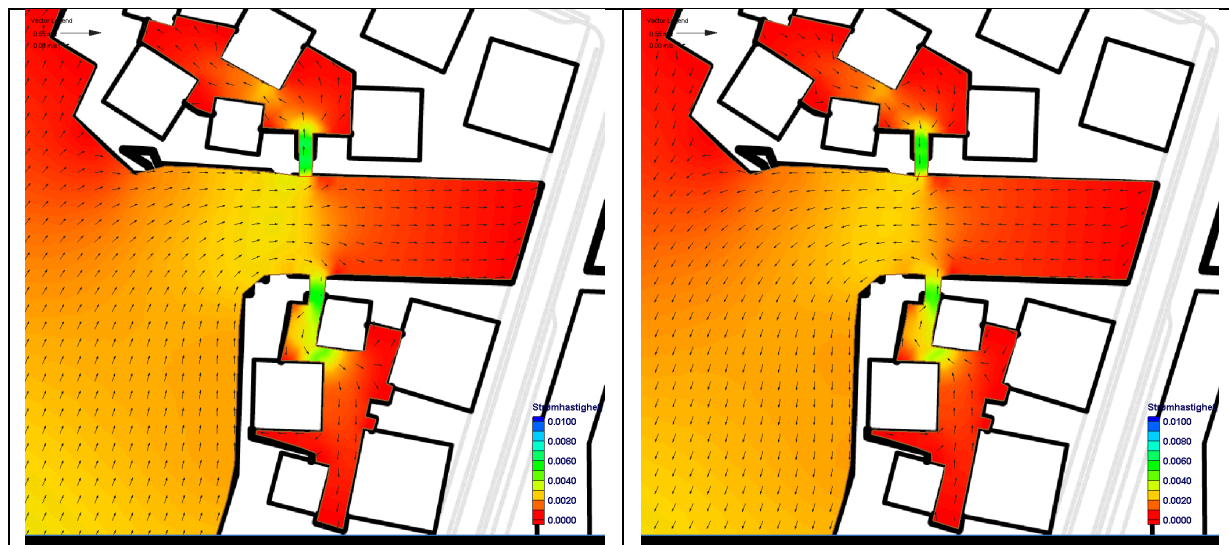
Figur 9. Scenario 2: Simulering av vannsirkulasjon i 0-1,5 m dyp i bassengene ved middels tidevannsvariasjon og liten vannføring (5 m³/s) i Akerselva. Venstre figur: innstrømmende tidevann. Høyre figur: utstrømmende tidevann. Nederst til høyre i hver figur: skala for strømhastighet går fra 0 (rød) til 0,01 (blå) m/s.



Figur 10. Scenario 3: Simulering av vannsirkulasjon i 0-1,5 m dyp i bassengene ved middels tidevannsvariasjon og stor vannføring ($40 \text{ m}^3/\text{s}$) i Akerselva. Venstre figur: innstrømmende tidevann. Høyre figur: utstrømmende tidevann. Nederst til høyre i hver figur: skala for strømhastighet går fra 0 (rød) til 0,01 (blå) m/s.



Figur 11. Scenario 4: Simulering av vannsirkulasjon i 0-1,5 m dyp i bassengene ved liten tidevannsvariasjon og vannføring $17,5 \text{ m}^3/\text{s}$ i Akerselva. Venstre figur: innstrømmende tidevann. Høyre figur: utstrømmende tidevann. Nederst til høyre i hver figur: skala for strømhastighet går fra 0 (rød) til 0,01 (blå) m/s.



Figur 12. Scenario 5: Simulering av vannsirkulasjon i 0-1,5 m dyp i bassengene ved stor tidevannsvariasjon og vannføring 17,5 m³/s i Akerselva. Venstre figur: innstrømmende tidevann. Høyre figur: utstrømmende tidevann. Nederst til høyre i hver figur: skala for strømhastighet går fra 0 (rød) til 0,01 (blå) m/s.

5. Vannkvalitet og biologiske forhold i bassengene

5.1 Vannkvalitet

Vannkvaliteten i denne delen av Oslo havn – inkludert Bispevika - bestemmes i dag hovedsakelig av tre faktorer:

- Tilførsler av partikler, næringssalter osv. fra Akerselva vil oftest dominere forholdene i overflatelaget utenfor elvemunningen, og samtidig i stor grad påvirke vannkvaliteten i Bispevika
- Lokal avrenning fra vei og andre arealer
- Vannkvaliteten lenger sør i indre Oslofjord

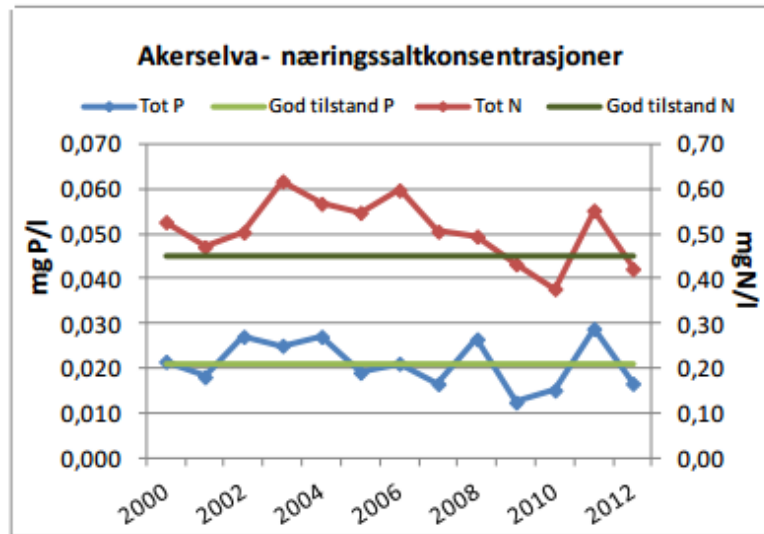
I perioder med nedbør og flom i Akerselva kan vannkvaliteten midlertidig forverres, da sedimenter fra nedre del av elva spyles ut i havnebassenget samtidig som avrenningen fra gater og andre flater er stor.

‘Midgardsormen’ er et nytt avløpsnett under bygging. Det skal modernisere avløpssystemet i indre by og betjene den nye bydelen Bjørvika med avløpsanlegg. Prosjektet ferdigstilles i 2014 og skal blant annet gi bedre vannkvalitet i nedre del av Akerselva, indre havnebasseng og i Oslofjorden.

Så lenge det foregår grave- og byggevirksomhet i Bjørvikaområdet vil overvann som føres ut i fjorden være forurenset av finkornet sand og leire som reduserer klarheten i vannet og gir dårlige levevilkår for fisk, bunndyr og alger. Generelt vil håndtering av overvann ha stor betydning for vannkvaliteten i de indre deler av Indre Oslofjord.

I forbindelse med utbygging av tunnel for E18 og Operaen ble det gjort en rekke undersøkelser av vannutskiftning og vannkvalitet i Bjørvika og utenfor munningen av Akerselva (se Magnusson 2004, og Molvær et al., 2002). Overvåkingsprogrammet for indre Oslofjord har to faste vannkjemistasjoner i området og for dette prosjektet har NIVA stilt til rådighet data for tidsrommet 2001-august 2011 fra stasjon Aq3 (se Figur 2). Målingene på stasjon Aq3 er ujevnt fordelt over året (se Figur 3) og vi velger å fokusere på månedene mai-juli. Vannprøvene for bestemmelse av vannkvaliteten er tatt i ca. 0,5 m dyp, dvs. fra overflatelaget.

I overflatelaget påvirkes vannkvaliteten av ferskvannet fra Akerselva som overvåkes av Vann- og avløpsetaten, Oslo kommune (Figur 13). Der er store årlige variasjoner, men med unntak for 2011 indikerer figuren en utvikling mot bedre vannkvalitet de siste 8-10 år. I 2009, 2010 og 2012 lå konsentrasjonen av fosfor og nitrogen i vannkvalitetsklasse God (se Beschorner og Sjølander 2012), men med betydelige variasjoner fra prøve til prøve. Av betydning for siktdypet i Bispevika og Bjørvika kan nevnes at mengden suspendert stoff varierte i intervallet 1-44 mg/l.



Figur 13. Årlige gjennomsnittsverdier for total fosfor og total nitrogen i Akerselvas nedre del (kopi fra Beschorner og Sjølander, 2012).

I Bispevika og Bjørvika vil andelen av ferskvann i overflatelaget variere mye (se høyre panel i Figur 14) og føre til betydelige variasjoner i vannkvaliteten. I Figur 15-Figur 17 er vist målte konsentrasjoner av fosfor, nitrogen og klorofyll a i overflatelaget på stasjon Aq3 for månedene mai-juli, samt siktdyp.

Det er vanskelig å bedømme vannkvaliteten fordi det eksisterende systemet for klassifisering mht. fosfor og nitrogen (Molvær et al., 1997) har en nedre grense for saltholdighet 20, og som vi har sett ligger saltholdigheten i dette området for en stor del under dette. Men for å antyd hvordan vannkvaliteten kan være er 1997-veilederen brukt, med horisontal strek mellom God og Mindre God tilstand i figurene.

I det reviderte klassifiseringssystemet (Miljødirektoratet, 2013) mangler ennå klassifisering for klorofyll a i sterkt ferskvannspåvirket fjordområde (saltholdighet 5-25) på Skagerrakkysten. Men for beskyttet fjordområde med saltholdighet >25 er oppgitt klorofyll-konsentrasjon 3-<6 $\mu\text{g/l}$ som God Tilstand. For å antyd hvordan vannkvaliteten kan være er klassifiseringen for saltholdighet >25 vist med horisontal strek mellom God og Mindre God tilstand i figuren.

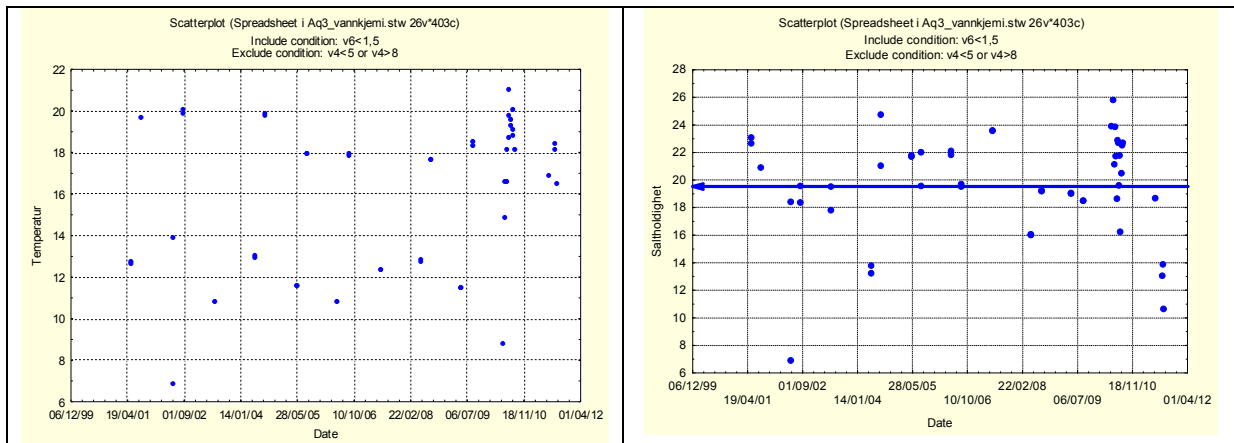
For siktdyp og badevannskvalitet er det vanlig å bruke et kriterium på >2-3 m for egnet badevann, og her velger vi 2 m som grense mellom Egnet og Mindre Egnet badevann (Molvær et al., 1997).

Målingene beskriver vannkvaliteten i et tidsrom med arbeider (Opera, E18-tunnel, mudring av sedimenter, oppføring av bygninger mm.) som i varierende grad kan ha påvirket vannkvaliteten (særlig siktdyp), og av den grunn er datamaterialet neppe helt representativt for den framtidige vannkvaliteten i området. De beskriver tilstanden på stasjon Aq3 sørvest for munningen av Akerselva (Figur 2) – et område som er sterkt preget av ferskvannet fra Akerselva - og det er også usikkert hvor representative de er for vannkvaliteten innerst i Bispevika. Dermed gir ikke dataene grunnlag for en detaljert bedømmelse av forventet vannkvalitet i Bispevikas indre del. De vises her fortrinnsvis for å illustrere nivåer, og som et utgangspunkt for marinbiologiske vurderinger. De siste års målinger er mest interessant, men det er verdt å merke seg at det i 2011 var relativt høye konsentrasjoner av N og P i Akerselva (se Figur 13).

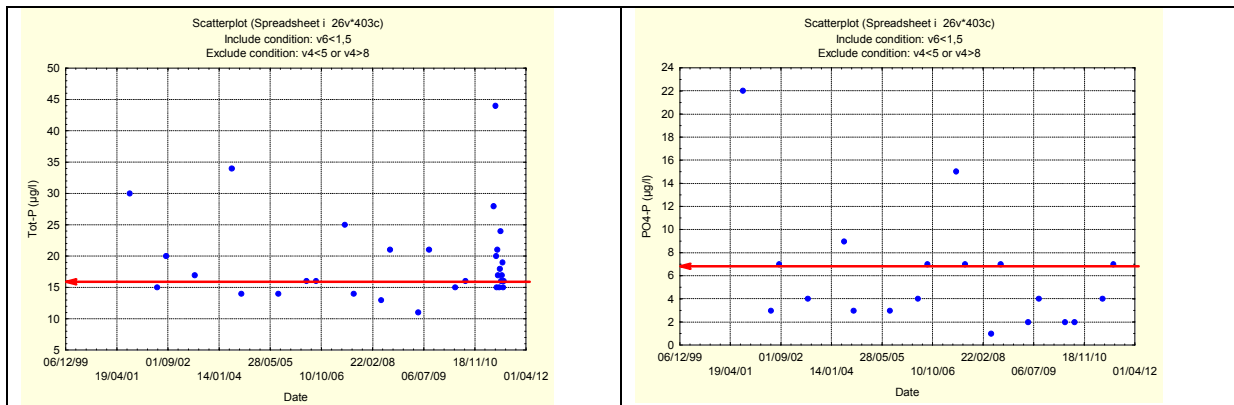
Samlet sett bør det være grunn til å tro at vannkvaliteten i denne delen av Oslo havn gradvis vil forbedre seg noe ettersom

- vannkvaliteten i Akerselva forbedres
- prosjektene (vei og bygg) omkring Bispevika og Bjørvika fullføres
- Midgardsormen ferdigstilles

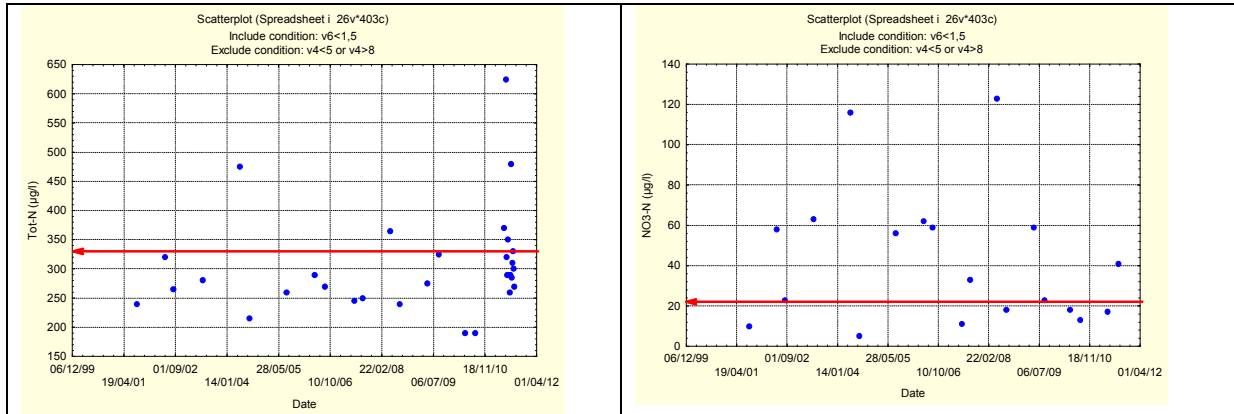
Vi har underveis i prosjektarbeidet fått informasjon om at ett overløp fra "Midgardsormen" er under etablering i området ved Bispevika. Det er uklart hvor selve utslippet skal plasseres, men skulle det bli lagt i Bispevika (som er svært grunn) vil det bl.a. bety at den hygieniske vannkvaliteten (også i kanaler og bassenger) blir meget dårlig når overløpet er i drift.



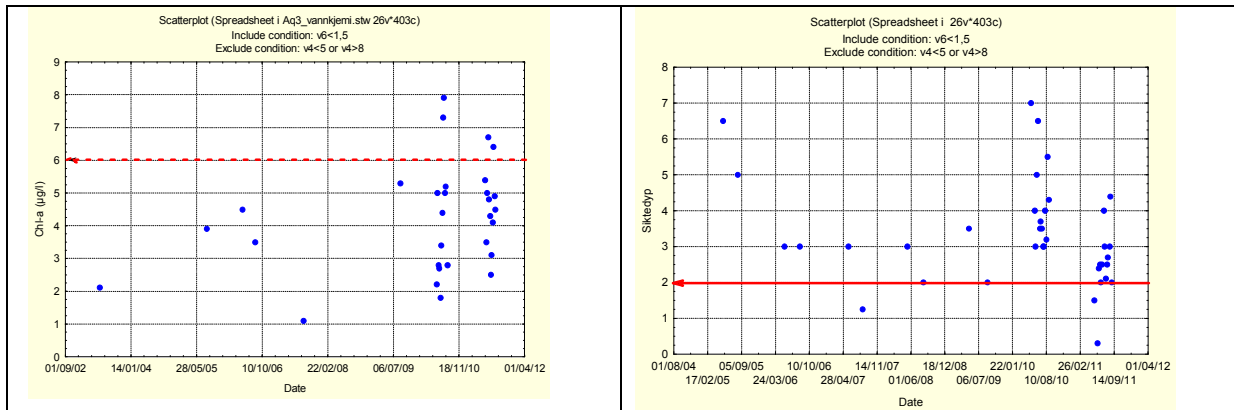
Figur 14. Målinger av temperatur (venstre figur) og saltholdighet (høyre figur) i overflatelaget i Bjørvika (stasjon Aq3) i mai-juli for tidsrommet 2001-2011. Gjennomsnittlig saltholdighet (19,6) er markert med horisontal blå linje.



Figur 15. Stasjon Aq3. Målinger av total fosfor (venstre figur) og ortofosfat (høyre figur) i overflatelaget i mai-juli for tidsrommet 2001-2011. Overgangen mellom God og Mindre God vannkvalitet er markert med horisontal rød linje.

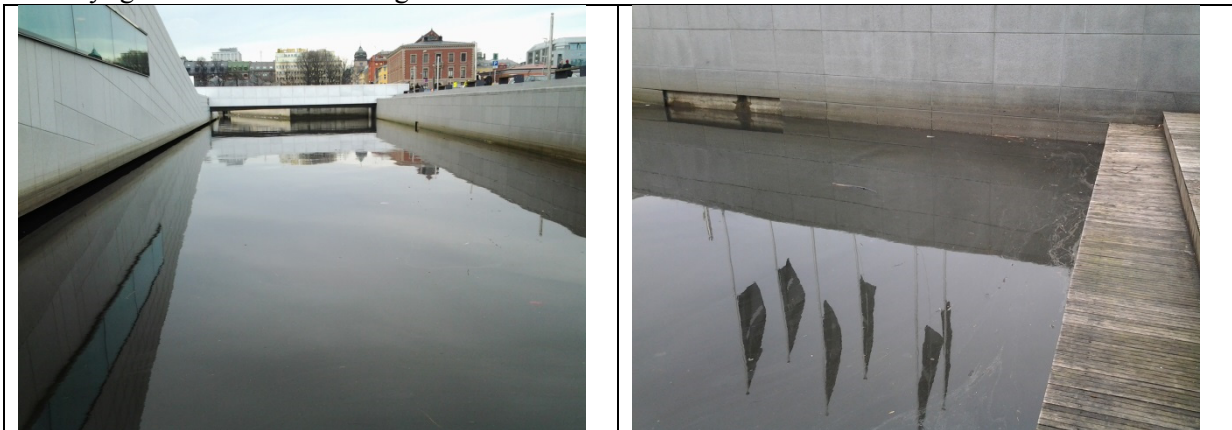


Figur 16. Stasjon Aq3. Målinger av total nitrogen (venstre figur) og nitrat (høyre figur) i overflatelaget i tidsrommet 2001-2011. Overgangen mellom God og Mindre God vannkvalitet er markert med horisontal rød linje.



Figur 17. Stasjon Aq3. Målinger av klorofyll *a* (venstre figur) og siktedyp (høyre figur) i overflatelaget i mai-juli for tidsrommet 2001-2011. For klorofyll *a* er overgangen mellom God og Moderat tilstand antydnet med stiplet horisontal rød linje¹. For siktedyp er overgangen fra akseptabel til ikke-akseptabel markert med horisontal rød linje.

I Bjørvika, nord for operabygningen, er det et basseng/vannspeil som etter vår mening er det som er mest sammenlignbart med det vi kan forvente i bassengene i Bispevika. I **Figur 18** er det vist to bilder som nylig er tatt av dette bassenget.



Figur 18. Fotografier av 'bassenget' nord for operaen tatt 13. mars 2014.

¹ Se omtale av denne klassegrensen i teksten foran.

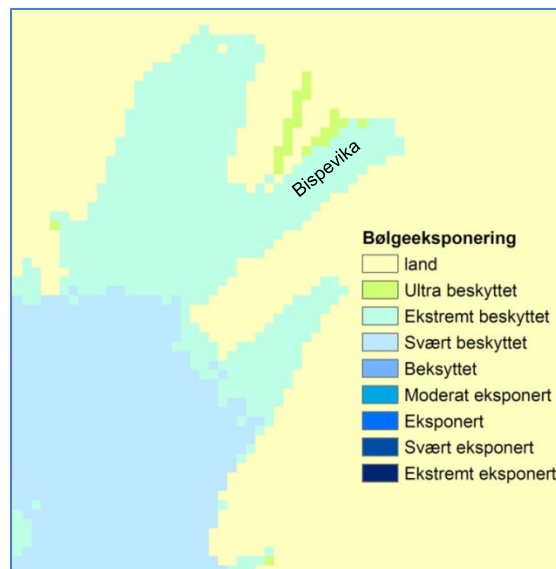
5.2 Algevekst og begroing

Miljøet i indre havn har vært preget av alminnelig havnedrift og nærhet til sterkt trafikkerte byområder og har verken invitert til friluftaktiviteter. Det har heller ikke vært forventninger til vannkvaliteten og livet i sjøen i området. Den nye operaen og etablering av boliger i området vil innebære at det blir en helt annen nærkontakt mellom sjøen og land og forventningen til områdets miljøkvaliteter vil øke. Marin flora og fauna i området vil ha en visuell betydning, men kan også bidra til områdets selvrensningsevne; makrovegetasjonen som binder betydelige mengder næringssalter, flere arter av dyr som filtrerer og renser ut partikler fra vannet, samt eventuell etablering av ålegras som vil kunne bidra til å beskytte larver og småfisk og hindre erosjon og utvasking av bløtbunn i perioder med ekstreme værforhold. Økt biomangfold vil være et kvalitetsstempel for miljøet i området.

Generelt vil mangfoldet av plante- og dyreliv på hardbunn reduseres fra ytre kystområder og innover i fjorder, selv om de ikke er påvirket av forurensning (se bl.a. Rinde & Christie 1992). Indre fjordområder har som oftest mindre vannbevegelse og høyere grad av brakkvanns-påvirkning enn de ytre områder. Begge deler er kjent for å redusere artsmangfoldet eller eliminere en rekke arter som er forbundet med friskere forhold langs kysten. Det ligger altså en naturlig begrensning i hvor friske og mangfoldige forhold en kan få i Bjørvika-/Bispevikaområdet.

Fortsatt er det tiltak som vil kunne forbedre vannkvaliteten ytterligere i havneområdet. Dette gjelder spesielt begrensning av tilførsel av partikler i samband med kraftige regnvær og flommer, slik at nedslamming av substrat og alger i størst mulig grad begrenses og siktdypet blir bedre.

Områdets fysiske forutsetninger er imidlertid begrensende for mulighetene og en vil derfor ikke få like bra forhold i Bjørvika som for eksempel i andre åpnere deler av fjorden med mer vannbevegelse. Inne i de planlagte bassengene i Bispevika vil det være svært lite vannbevegelse med hensyn til både strøm og bølger.



Figur 19. Viser bølgepåvirkning i indre havn ved Bjørvika. Bispevika er klassifisert som 'Ekstremt beskyttet' for vindgenerert bølgepåvirkning (SWM-modellen).

Forekomst av hardbunnsorganismer er vanligvis knyttet til omfanget av egnet substrat. I flere av de undersøkte områdene, blant annet under Sørengautstikkeren, var det ved undersøkelser i 2003 en del egnet substrat, men likevel lite organismer (Walday og Olsgard 2004). Årsaken ble ikke nærmere undersøkt, men nedslamming av bunnen er trolig en faktor som begrenser utbredelsen av hardbunnsorganismer i området. Etableringen av Midgardsormen og andre fremtidige tiltak som begrenser partikkeltilførsel til fjordområdet er viktige for å få levedyktige dyre- og plantesamfunn på hardbunn.

Kunstige rev etablert på ca. 8m dyp utenfor Operaen (Christie og Fredriksen 2011) er preget av nedslamming og såpass dårlige lysforhold at makroalger ikke har klart å etablere seg. Imidlertid har dyrelivet blitt rikere de siste årene. Spesielt interessant er det at det har etablert seg flatøsters (*Ostrea edulis*) på noen av revene. Sjønellik og tarmsjøpung var til dels vanlige dyr på revene. Av andre dyr var det hydroider, kalkrørsmark, små oransje sekkedyr, sekkedyret *Corella*, sjøanemonen *Protantea*, rur, sjøstjerner og kråkebolle, men ingen av dem var vanlige på revene. De få kråkebollene som ble funnet var av arten *Psammechinus miliaris*.

Undersøkelser høsten 2013 viste en svak positiv trend i Bjørvika (H. Christie, NIVA pers.medd.):

- flere arter var etablert på de kunstige revene på 8 m dyp utenfor operaen, til tross for mye sedimentering
- det var en mulig økning av algevekst på skipsstøtvollen ved operaen, ca 2m dyp
- mye tang og blåskjell etablerer seg og overlever på trappetrinnene ved operaen.

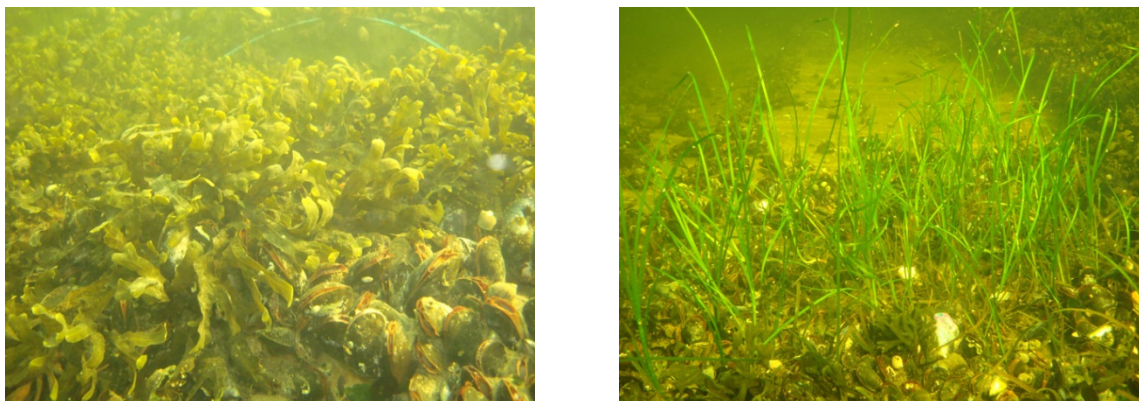
De dårlige lysforholdene i Bjørvika vises imidlertid ved for eksempel mye rikere vegetasjon på snaue 1m dyp ved Operaen enn på 2m dyp på skipsstøtvollen like ved.

De planlagte bassengene vil bli 1,5m dype. Dette gir i forhold til dagens vannkvalitet og den kjennskap vi har til området muligheter for algevekst på bunnen av bassengene, og bunnen vil for det meste være synlig for publikum. Det vil imidlertid være svak strøm (noen få millimeter per sekund) og svært lite bølgebevegelser i bassengene og derfor fare for akkumulering av partikler på bunnen (nedslamming) som er ugunstig for algers etablering og vekst.

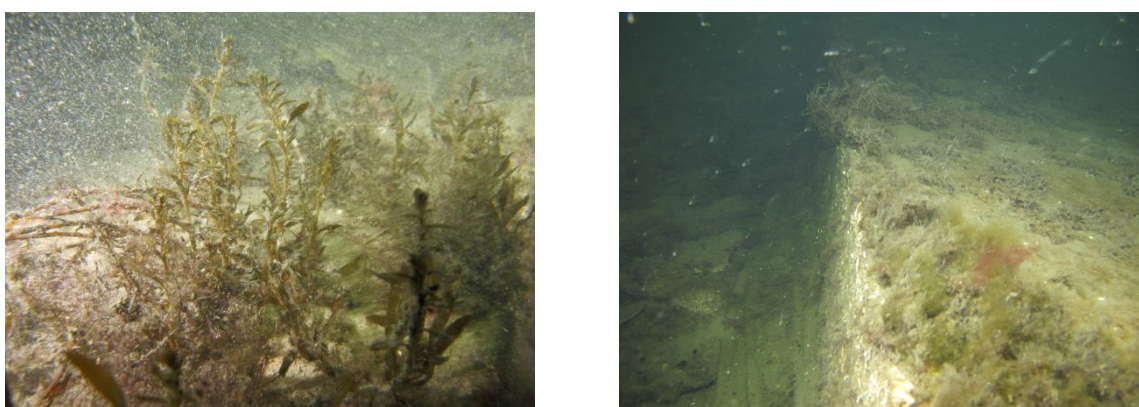
Lysforholdene inne i de planlagte bassengene vil sannsynligvis også være noe reduserte av skygge fra bygningene og fra kai- og bryggekantene som vil strekke seg ca. 2m opp fra vannspeilet.

Våre erfaringer fra trappetrinnene i vannkanten ved operaen har vist at blåskjell, rur og tang (Fucoider) er vanlige organismer i området. I perioder av året, gjerne høsten, kan det også være mye påvekst av sekkedyr (*Ciona intestinalis*). Det vil imidlertid være usikkert om vannbevegelsene i bassengene er tilstrekkelige for å få disse organismene til å gro i dem.

Det er tidligere hevdet at det er gode muligheter for at ålegras kan trives på bløtbunnen i Bjørvika/ Bispevika (Christie et al. 2006). Ålegras trenger en 20 cm sandig leire som substrat for å kunne vokse godt og vanddypt i bassengene er gunstig for ålegras. Christie et al. foreslo at ålegras kunne transplanteres til bunnområdene i Bispevika og andre steder hvor det er relativt grunt. Ålegrasplanter er tidligere blitt registrert på 'trappene' nedenfor operaen, hvor de vokser i sediment som er akkumulert mellom blåskjellene (**Figur 20**).



Figur 20. Foto fra 'trappene' nedenfor operaen høsten 2011. Det venstre bildet viser blåskjell og blæretang og det høyre viser blant annet ålegras og blåskjell. Foto: Stein Fredriksen, UiO. Fra Christie og Fredriksen 2011.



Figur 21. Skipsstøtvollen, ca 2 m dyp. Venstre bilde viser alger på toppen av skipsstøtvollen, her vinterformen av den fremmede arten japansk drivtang. Høyre bilde viser toppen av skipsstøtvollen, merk forskjellen i groe og nedslamming mellom den vertikale og mer horisontale flaten. Foto: Janne Gitmark, NIVA.

Nylige undersøkelser av tarmbakterier og virus i blåskjell på ulike stasjoner i Indre Oslofjord viste ganske høye verdier på stasjonen i Bjørvika. På mange stasjoner var det en sammenheng mellom mye nedbør og høye verdier av bakterier og virus. Dette var i mindre grad tilfelle i Bjørvika og tilsier at man kan ha et problem med lekkasje av kloakk i området som ikke nødvendigvis bare skyldes kloakkoverløp ved mye nedbør (personlig meddelelse, Ingun Tryland NIVA).

6. Oppsummering og konklusjoner

Kvaliteten på vannet i bassengene planlagt innerst i Bispevika er til stor grad styrt av vannkvaliteten i (Bispevika) utenfor. Generelle tiltak for å bedre vannkvaliteten i indre havn vil derfor være gunstige for vannkvaliteten i bassengene.

Det vil være meget liten vannbevegelse i bassengene. Modellen har vist at strømhastigheten for det meste vil være noen få millimeter per sekund. Dessuten er bassengene helt skjermet for bølgeeksponering og relativt høye vegger rundt vannspeilene reduserer lystilgangen. Det er derfor stor sannsynlighet for at nedslamming vil prege bunnområdene i bassengene, og til en viss grad også bassengsidene.

Vannet i bassengene vil imidlertid ha relativt kort oppholdstid slik at det er liten risiko for at oksygenforholdene i bassengvannet ikke vil bli tilfredsstillende.

Siden bassengene er grunne (1,5m) (tilsier det siktedyp som er målt i området at) forholdene på bunnen stort sett vil være synlige for publikum.

Bassengene vil bli utsatt for begroing. Det er vanskelig å si med sikkerhet hva slags organismer som vil gro der. Undersøkelser på trappetrinnene i vannkanten ved operaen viste at blåskjell, rur og tang (Fucoider) var vanlige organismer der. Lysforholdene inne i bassengene, og fravær av strøm- og bølgebevegelse kan imidlertid begrense tilstedeværelsen av tang og andre type organismer som for mange gir en positiv miljøopplevelse, og favorisere andre, f.eks trådformete alger, som kan oppleves som mindre positive for miljøet.

I perioder av året, gjerne høsten, kan det også bli mye påvekst av sekkedyret (*Ciona intestinalis*). Fordi det er vanskelig å estimere omfang og kvalitet av groe i bassengene, og at det er fare for at søppel kan akkumulere i overflaten og være synlig på bassengbunnen, kan det bli nødvendig med regelmessig opprydding/rengjøring av bassengene for at de skal fremstå som attraktive for publikum.

Det kan være potensiale for ålegras til å gro på bunnen i bassengene. Antagelig forutsetter dette at det først tilrettelegges med bunns substrat.

Undersøkelse av tarmbakterier og virus i blåskjell i området har vist at det planlagte boligprosjektet, slik vannkvaliteten er for tiden, ikke bør selges inn med badevannskvalitet i bassengene.

7. Litteratur

Beschorner, A. og Sjølander, I., 2012. Vannkvalitet i byvassdrag og fjord 2012. Oslo Kommune, Vann- og avløpsetaten, avdeling Drift og vedlikehold, seksjon Vannmiljø. 56 sider. http://www.vann-og-avlopsetaten.oslo.kommune.no/vannet_vart/vassdrag_og_fjord/

Christie, H., Fredriksen, S., Magnusson, J. og Rueness, J., 2006. Marinbiologiske forbedringer i Bjørvika/Bispevika. Vurdering av muligheter. NIVA-rapport 5237-2006. 29 sider.

Christie og Fredriksen 2011. Restituering av plante- og dyreliv i Bjørvika. Utsetting av stein med tang og utsetting av kunstige rev utenfor operaen i Bjørvika. NIVA-rapport 6167-2011. 20 sider.

Donnell, B., J. V. Letter, Jr, W. H. McAnally & W. A. Thomas, 2005. Users Guide to RMA-2 WES Version 4.5. U.S. Army, Engineering Research and Development Center Waterways Experiments Station. 277 s.

ECGL, 1995. Surface water modeling system. Reference manual. Brigham Young University. Engineering Computer Graphics Laboratory. 368B CB, Provo, Utah, USA. 170 sider.

Magnusson, J., 2004. Forundersøkelse til overvåking av mudringsarbeider I samband med bygging av senketunnel I Bjørvika/Bispevika: vannkvalitet. Statens Vegvesen, rapport nr. O-VK-204. 26 sider.

Miljødirektoratet, 2013. Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver. Veileder 02:2013. 263 sider.

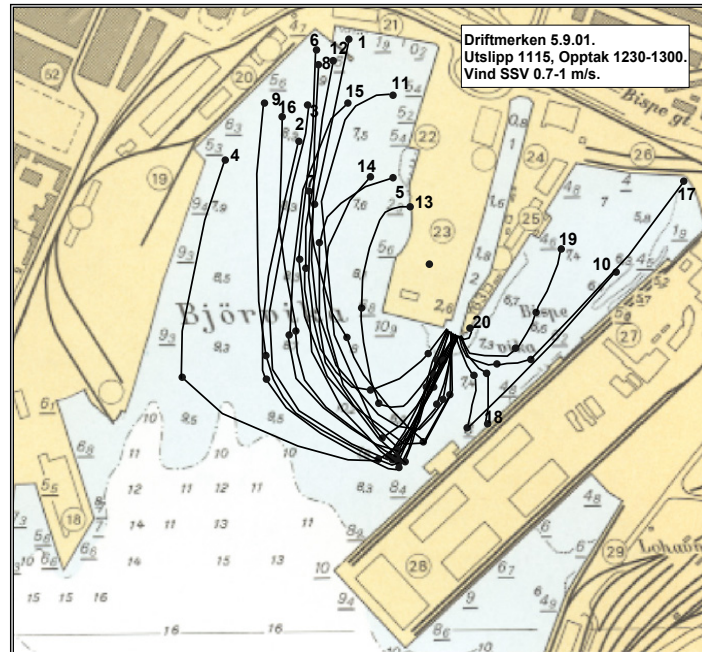
Molvær J, Knutzen J, Magnusson J, Rygg B, Skei J, Sørensen J, 1997. Klassifisering av miljøkvalitet in fjorder og kystfarvann. SFT-veiledning nr. 97:03. TA-1467/1997. 36 sider.

Molvær, J., Muniz, I.P. og Magnusson, J., 2002. E18 mellom Festningstunnelen og Ekebergstunnelen. Detalj- og reguleringsplan,, etappe 1. Vannkvalitet og hensyn til naturmiljøet. NIVA-rapport nr. 4485-2002. 49 sider.

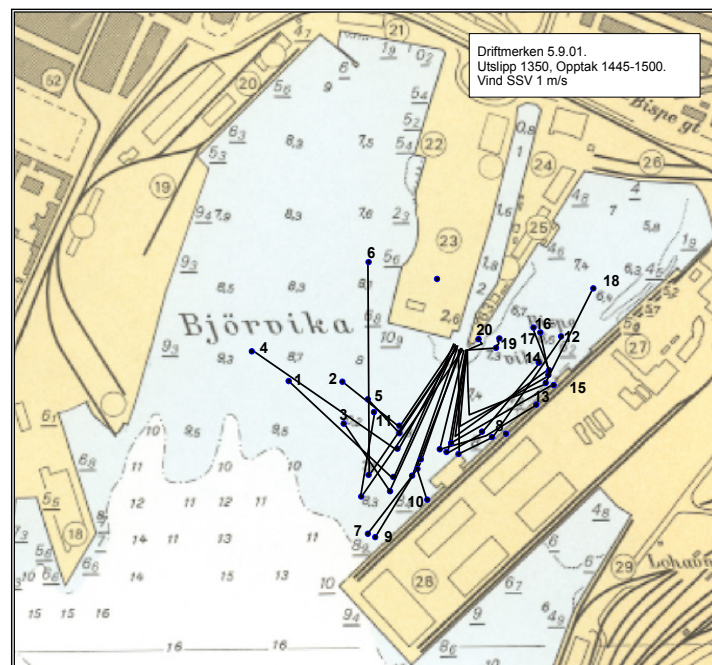
Walday, M., Olsgard, F. 2004. Ny senketunnel i Bjørvika: Biologiske førundersøkelser i november 2003. Bunnforhold kartlagt med ROV og bunnfauna med grabb. NIVA-rapport 4832-2004. 30 s.

Vedlegg A.

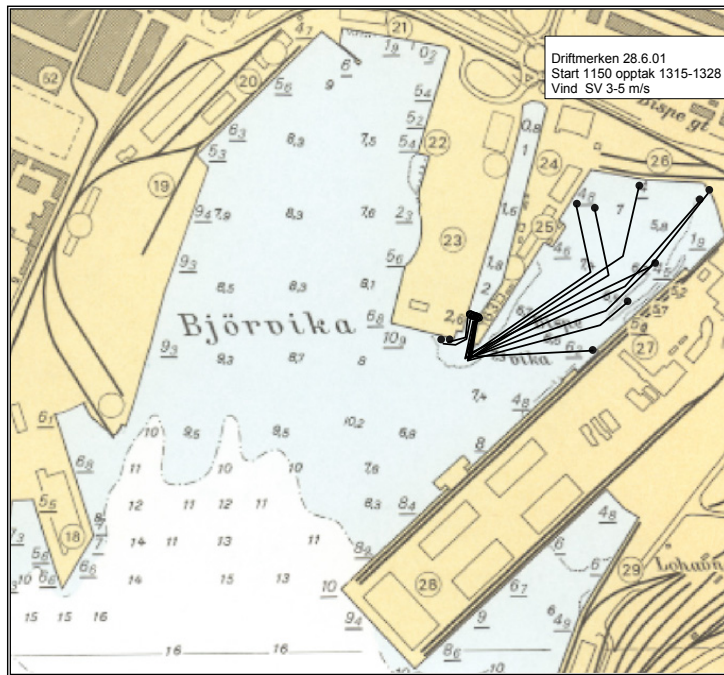
Etterfølgende figurer hentet fra Molvær et al., (2002):



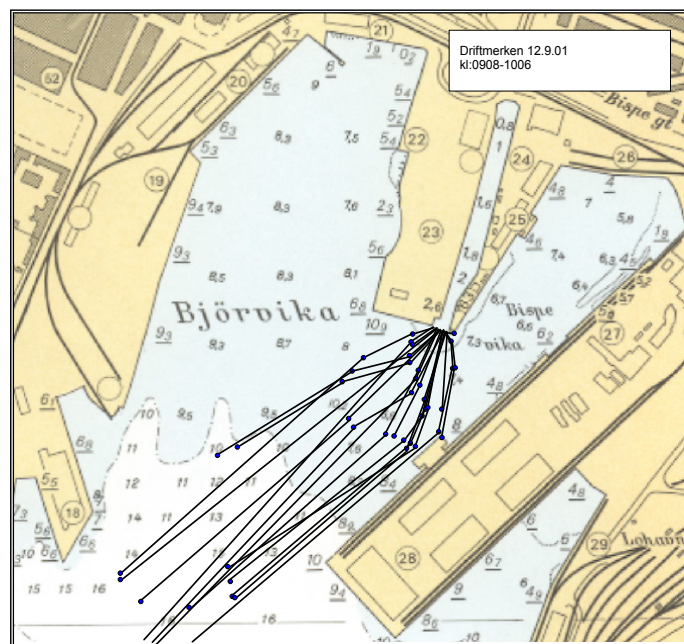
Figur A1. Utslipp av driftmerker for observasjon av overflatestrøm den 5.9.2001. (Svakt fallende vannstand).



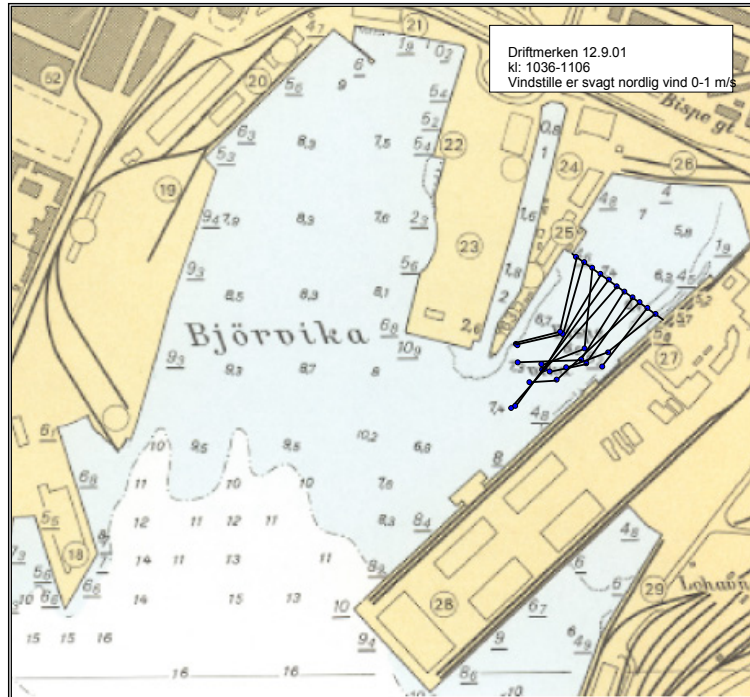
Figur A2. Utslipp av driftmerker for observasjon av overflatestrøm den 5.9.2001. (Lavvann og etterhvert stigende vannstand).



Figur A3. Utslipp av driftmerker for observasjon av overflatestrøm den 28.6.2001. Bris fra sørvest. Svakt fallende vannstand.



Figur A4. Utslipp av driftmerker for observasjon av overflatestrøm den 12.9.2001. Nordlig vind 5-7 m/s og stigende vannstand.



Figur A5. Utslipp av driftmerker for observasjon av overflatestrøm den 12.9.2001. Vindstille eller svak nordlig vind, Svakt stigende vannstand.

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 tilnæringsmåte 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