



RAPPORT 4852-2004

Molo ved Noroltomta i Drøbak

Vurdering av konsekvenser
ved bygging av småbåthavn
i Drøbak

Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5005 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-niva

9296 Tromsø
Telefon (47) 77 75 03 00
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Molo ved Noroltomta i Drøbak . Vurdering av konsekvenser ved bygging av småbåthavn i Drøbak.	Løpenr. (for bestilling) 4852-2004	Dato 25.06.04
	Prosjektnr. Undernr. 23243	Sider Pris 23
Forfatter(e) Jo Høkedal Jarle Molvær	Fagområde Oseanografi	Distribusjon Fri
	Geografisk område Akershus	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Follo Prosjekt a.s	Oppdragsreferanse
--	-------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Ved bygging av ny molo og båthavn ved Noroltomta i Drøbak tilrår vi at man under utfylling av den nye moloen kun dumper ved sydgående strøm for å unngå at oppvirvlede bunnsedimenter når vanninntaket til Drøbak Akvarium. Vi kan ikke se at noen spesielle tiltak er nødvendige for å sikre en tilfredsstillende vannutskifting i den nye båthavna.</p>
--

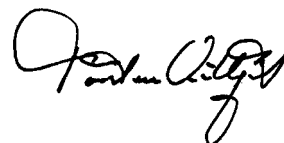
<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Havn Molo Akvarium Drøbak 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Harbour Breakwater Aquarium Drøbak
---	--



Jo Høkedal
Prosjektleder



Dominique Durand
Forskningsleder



For Jens Skei
Forskningsdirektør

O-23243

Molo ved Noroltomta i Drøbak

Vurdering av konsekvenser ved bygging av småbåthavn
i Drøbak

Forord

Follo Prosjekt a.s henvendte seg til Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) forsommeren 2003 vedrørende bygging av småbåthavn ved Noroltomta i Drøbak. De ønsket å få utredet konsekvensene av molobygginga for Drøbak Akvarium og av vannsirkulasjonen innenfor den nye småbåthavna. På NIVA har Jarle Molvær arbeidet på prosjektet, Birger Bjerkeng har vært kvalitetssikrer og undertegnede prosjektleder.

Jo Høkedal

Innhold

Sammendrag	6
1. Innledning	8
2. Behov for skjerming av vanninntaket til Drøbak Akvarium?	10
2.1 Adveksjon og partiklenes synkehastighet	11
2.2 Horisontal diffusjon av partikler	13
2.3 Konklusjon	15
3. Simuleringer av sirkulasjon og vannutskifting innenfor moloen	16
3.1 Metodikk	16
3.2 Data	18
3.3 Resultater	20
4. Sammenfattende vurdering	24
4.1 Skjerming av vanninntaket	24
4.2 Vannfornyelsen innenfor moloen	24

Sammendrag

På oppdrag fra Follo Prosjekt a.s har Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) studert vannsirkulasjon i og rundt den planlagte moloutbygginga ved Noroltomta i Drøbak, samt hvilken effekt dette under anleggsperioden kan få for Drøbak Akvarium gjennom deres vanninntak.

Under dumpinga av sprengsteinmassene til moloen er det muligheter for at bunnsedimenter som virvles opp vil kunne komme i vanninntaket til Drøbak Akvarium.

For å unngå dette er vår tilråding at man fortrinnsvis kun dumper masser på bunn ved *sydgående strøm (fallende sjø)*.

Hvis helt umulig, kan man enten plassere vanninntak på større dyp (typisk 60 meters dyp) eller stenge vanninntaket når dumpinga finner sted ved nordgående strøm. Hva som er maksimal varighet på en slik avstengning må avgjøres av Drøbak Akvarium.

Videre anser vi at det med en molo i øst/vest-retning og bølgebryter i nord/syd-retning ikke vil være nødvendig med åpning i molo eller bølgebryter for å få tilstrekkelig vannsirkulasjon innenfor.

Innledning

I forbindelse med utvidelse av farleia gjennom Drøbaksundet vil Kystverket ta opp sprengsteinmasser. Det foreligger planer om å bruke av disse massene til å forlengje moloen ved Noroltomta i Drøbak (G.nr 86, bnr. 259) for videre å legge ut bølgebrytere og anlegge båthavn. Etter vedtak i Frogn Kommune 20030409 er det satt som vilkår blant annet:

- «...analyse av hvordan vanninntaket til akvariet kan skjermes gjennom anleggsperioden.»
- «...analyse av behovet for vanngjennomstrømning i moloen...»

For å finne svar på disse to punktene ble Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) engasjert av Follo Prosjekt a.s.

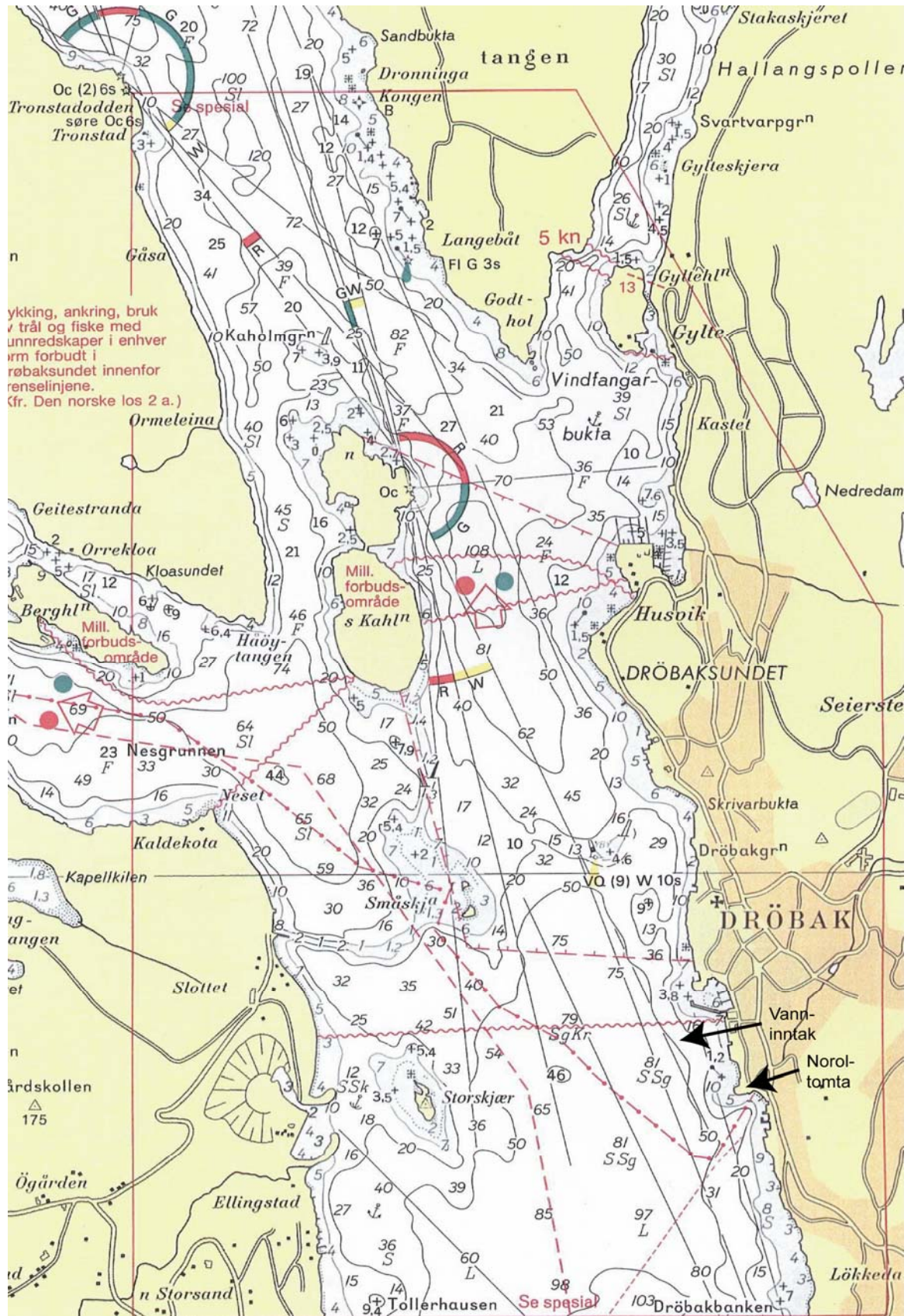
Vår forståelse av punktene er: Vedrørende skjermingen¹ av vanninntaket til akvariet forstår vi det som at problemet vil kunne ligge i oppvirvling av bunnsedimenter ved dumping av sprengsteinmassene og at sedimentpartiklene påfører skade om de trekkes inn i akvariene. For behovet av vanngjennomstrømning i moloen ser vi på strømhastigheter og sirkulasjonsmønstre og vurderer hvilken effekt det vil ha på vannkvaliteten i overflatelaget.

Vi forholder oss videre til at den nye moloen og båthavna vil bestå av:

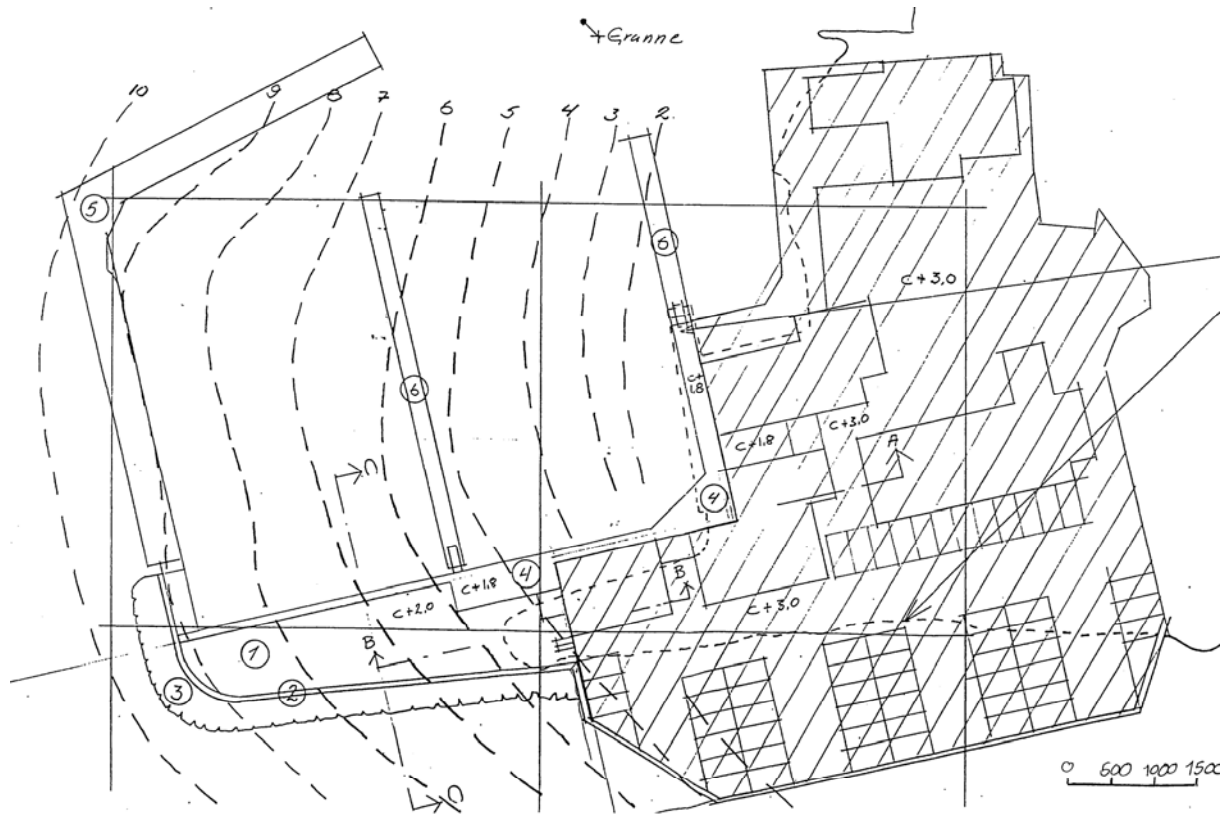
- Molo fylles ut med sprengsteinmasser i øst/vest-retning ned til et maksimumsdyp på cirka 10 meter.
- Fra vestspissen av moloen legges det en nordgående bølgebryter ned til cirka 2 meters dyp, bølgebryteren svinger deretter mot øst/nordøst.

Kart over Drøbaksundet og tegninger for molo og bølgebryter er vist i figurene på side 9 og 10.

¹ Mer enn en fysisk avskjerming ser vi på hvilke tiltak som om nødvendig eventuelt kan gjøres for å unngå redusert vannkvalitet til akvariet.



Figur 1. Kart over Drøbaksundet (utsnitt av sjøkart nummer 402 utgitt av Statens sjøkartverk).



Figur 2. Tegning over ny molo og bølgebryter. (Tegning fra Drøbak Arkitektkontor AS.)

1. Behov for skjerming av vanninntaket til Drøbak Akvarium?

Moloen er tenkt bygd med sprengstein tatt opp lenger inn i Drøbaksundet. Vi tar det for gitt at det er store steiner man ønsker å fylle med og at støv fra sprengningen under vann har naturlig blitt skylt av i forbindelse med opptaket av massene. Ved dumpingen av sprengsteinmassene fra lekter vil vi få en oppvirvling av bunnsedimentene. Sedimentene som virvles opp består dels av mineralske partikler og dels partikler av biologisk opprinnelse. Dette er partikler som, i motsetning til støv fra sprengningen, ikke har skarpe kanter som kan skade f.eks fiskegjeller. Videre antar vi at det ikke er giftstoffer som frigjøres fra bunnsedimentene ved dumpingen.

Massedumpingen skjer på dyp ned til 10 meter, vanninntaket til Drøbak Akvarium ligger på 35 meter og det er cirka 200 meter horisontal avstand mellom ny molo og inntaket. Med

partiklene suspendert i vannet ved moloen er det 3 prosesser vi anser vil gi betydning for vannkvaliteten på inntaksvannet til Drøbak Akvarium:

- Adveksjon. Dette er en prosess som *horisontal*² flytter partiklene fra oppvirvlingsstedet og eventuelt over vanninntaket. Det vil si at partiklene transporteres av vannstrømmen uten at noen uttynning nødvendigvis finner sted.
- Horisontal diffusjon. Horisontal turbulens sprer partiklene utover i en større vannmasse slik at partiklenes inbyrdes avstand øker.
- Utsynking. Partiklene fra bunn har alle en tetthet større enn vann og vil følgelig synke.. I tillegg er synkehastigheten avhengig av det vertikale turbulensnivået i vannet ved at turbulensen holder partiklene opp med påfølgende reduksjon i synkehastigheten. Noen partikler vil synke til bunns før de rekker å nå vanninntaket, noen vil treffe vanninntaket mens atter andre synker så langsomt at de vil være advektert forbi før de er på samme dybde som vanninntaket.

Vi fokuserer her på mineralske partikler fordi (1) biologiske partikler som har en tetthet ikke mye høyere enn vann synker derfor langsomt, og (2) de er allerede i betydelig grad har blitt vasket ut på større dyp av strømmen i sundet, eventuelt gjenværende støv i sprengsteinmassene er samtidig tatt med.

Vi vil i de to neste avsnitta se på de to typer tilfeller der oppvirvla bunnsedimenter vil kunne nå vanninntaket:

1. Oppvirvlede sedimenter blir advektert av strømmen samtidig at de synker *vertikalt* . Da kan vi ha at adveksjonen fører partiklene fra oppvirvlingsstedet til/forbi vanninntaket mens utsynkningen gjør at partiklene faller ned til vanninntakdypet.
2. Sprengsteinmassene raser ned på sjøbunnen og virvler opp sedimenter på omlag samme dyp som vanninntaket. Partiklene vil da kunne advekteres mot vanninntaket.

1.1 Adveksjon og utsynkning av partikler

Mulighet for at partikler transporteres til vanninntaket ble undersøkt ved analytiske beregning av synkehastighet vs. strømhastighet og vertikal turbulens.

² Vi understreker at det her er snakk om horisontal bevegelse, vertikalbevegelsene i sjøen er vesentlig mye mindre enn de horisontale.

Utgangspunktet er at friksjonskraften (ifølge Stokes' motstandslov³) må balanseres av partikkelens netto tyngdekraft⁴ og vi får:

$$U = \frac{2}{9} \frac{a^2}{\mu} (\rho - \rho_v) g$$

der U er synkehastigheten, a er partikkelens radius, μ er den dynamiske viskositetskoeffisienten (til vann, $10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$), ρ er partikkelens tetthet ($2,65 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$), ρ_v er vannets tetthet ($1,02 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) og g er tyngdens akselerasjon ($9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$). Setter vi inn for de ulike størrelsene finner vi at synkehastigheten U ligger i størrelsesorden $1 \mu\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ til $10 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ for partikkelstørrelse fra henholdsvis $1 \mu\text{m}$ til $0,1 \text{ mm}$. For større partikler vil Reynoldstallet overstige 1 og Stokes' lov er ikke lenger gyldig, vi velger likevel å bruke den, men legger oss på minnet at denne feilen underestimerer synkehastighetene blir for disse partiklene. Videre er det slik at Stokes' lov gjelder for sfæriske partikler, partiklene vi finner i naturen har typisk en irregulær form som leder til redusert synkehastighet. Det med andre ord faktorer som trekker i forskjellige retninger, følgelig bør resultatene fra Stokes' lov sees mest som en indikasjon på størrelsesordenen.

En ekstrem strømhastigheten utenfor Noroltomta kan være opp til $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. For en slik hastighet må partiklene ha en synkehastighet på $0,15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (ca. $0,4 \text{ mm}$ i diameter) for å synke 25 meter samtidig som de advekteres 200 meter til vanninntaket. Reduserer vi strømhastigheten til det moderate $0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ finner vi at partikler med en synkehastighet på cirka $9 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ (diameter rundt $0,1 \text{ mm}$) når vanninntaket. Så nære land som moloen vil ligge er det rimelig å anta at vi ofte vil ha strømhastigheter opp mot $0,2 - 0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ hvilket gir oss en synkehastighet på cirka $4 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ (omlag $0,2 \text{ mm}$ i diameter). Videre gir en relativ strømhastighet på $0,4 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ en synkehastighet på cirka $0,4 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ($20 \mu\text{m}$ i diameter). For lavere strømhastigheter vil enda mindre partiklene kunne nå inntaket. Så lav strømhastighet som den sistnevnte kan vi likevel bare forvente i perioder når tidevannet snur i Drøbakssundet. Utrekningene over forutsetter at partiklene har en konstant synkehastighet noe

³ Stokes' motstandslov gir oss motstandskraften på en kule som beveger seg gjennom et fluid; loven lyder $F = 6\pi\mu aU$ der F er kraften, μ er den dynamiske viskositetskoeffisienten, a er kulas radius og U er hastigheten.

som ikke er tilfellet; vanligvis har vi et sprangsjikt i sjøen der vann med relativt lav tetthet ligger over tyngre vann. Dette sprangsjiktet, som i Drøbakssundet oftest ligger mellom 10 og 35 meter er preget av et noe høyere turbulensnivå, og dette har en tendens til å holde partiklene oppe slik at en midlere synkehastighet blir redusert, følgelig må partikkelstørrelsene vi har funnet her betraktes som minimumstørrelser på partiklene som når vanninntaket.

1.2 Horisontal diffusjon av partikler

Så langt har vi kun sett på hva som skjer om alle massene dumpes der de er planlagt, men det finnes en risiko at deler av sprengstenmassene kommer dypere (det være seg feildumping eller stener fra moloen raser nedover langs havbunnen). Altså ser vi på en sedimentpartikkelsky som blir danna på samme dyp som vanninntaket og som så advekteres horisontalt. Om dette skjer ved nordgående strøm kan partikkelskya treffe vanninntaket og i et slikt tilfelle er partikkelkonsentrasjonen og ikke minst størrelsen på skya av interesse. Vi velger to angrepsvinkler, en ren teoretisk og en mer intuitiv.

En diffusjonsmodell som er gitt av Joseph og Sendner⁵ beskriver horisontal diffusjon og antar at all masse som skal diffunderes ved initialtidspunktet er samlet i en vertikal streng (det vil si ingen horisontal utstrekning). Modellen har løsninga

$$c(r,t) = \frac{M}{2\pi(Pt)^2} e^{-\frac{r}{Pt}}$$

der c er konsentrasjonen⁶, r er avstanden fra senter i skya, t er tiden fra utslippstidspunktet, M er totalmassen ved $r = 0$ og $t = 0$, og P er diffusjonskoeffisienten.

La oss nå anta at det er $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ masse som suspenderes i vannet og at diffusjonskoeffisienten P er $0,003 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (funnet for overflatelaget i Oslofjorden av Gade). Det gir i senter av skya en

⁴ Netto tyngdekraft er differansen mellom kulas tyngde og av det vannet den fortrenger, vi får:

$F = \frac{4}{3}\pi a^3(\rho - \rho_v)g$ der F er tyngdekraften, a er kulas radius, ρ er kulas tetthet, ρ_v er vannets tetthet og g er tyngdens akselerasjon.

⁵ Joseph, J., & Sendner, H., 1958. Über die horizontale Diffusion im Meere. Deutsche hydrographische Zeitschrift, 11: 49-77.

⁶ Merk at konsentrasjonen kommer ut i enheten masse per areal noe som er naturlig når vi opererer med en teoretisk modell for horisontal diffusjon, når vi integrerer over et vannlag får vi resultatet i enheten vi forventer, masse per volum.

konsentrasjon for $c(t = 200\text{s}) = 0,4\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ og $c(t = 2000\text{s}) = 0,004\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ etter henholdsvis 200 og 2000 sekunder som er tiden partikkelskya vil bruke på de 200 meterne mellom moloen og akvariets vanninntak ved enten den kraftige strømhastighetene $1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ eller den mer beskjedne $0,1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Disse konsentrasjonsverdiene gjelder for $r = 0$, går vi fem meter vekk fra sentret i spredningsskya ($r = 5\text{m}$) får vi etter de samme tidene konsentrasjonene $c(t = 200\text{s}) = 0,002\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ og $c(t = 2000\text{s}) = 0,00004\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$.

Om vi nå antar at tjukkelsen på skya er 2 meter gir dette oss en konsentrasjon av suspendert materiale som for $r = 0$ er mellom 0,2 og $0,002\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Den laveste av disse verdiene er av en størrelse man typisk finner for overflatevannet i Oslofjorden, den høyeste derimot må sies å være ekstrem⁷. For $r = 5$ ser vi over at konsentrasjonen vil fortsatt være vesentlig lavere enn i origo for de tidene vi opererer med her, hvilket betyr at partikkelkonsentrasjonen vil være neglisjerbare så langt ute.

Som nevnt over er Joseph og Sendners modell teoretisk og går ut fra at all masse ved utslippstidspunktet er samlet i en vertikal streng med infinitesimal horisontal utstrekning. Ettersom dette ikke nødvendigvis er noen holdbar antagelse når initialstørrelsen på skya ikke er mye mindre enn hva vi kan forvente når den eventuelt passerer vanninntaket vil vi derfor gjøre en betraktning hvor vi ser for oss partikkelskya som en skarpt avgrensa sky som langsomt ekspanderer. Siden partikkelskya på grunn av diffusjon vil bli mindre og mindre skarpt avgrensa kan vi ikke sette noen eksakt ekspansjonshastighet, men fra Joseph og Sendners modell er et resultat at $\bar{v} = 2P$ der \bar{v} er den midlere diffusjonshastigheten til partiklene. Bruker vi dette og sier at midlere diffusjonshastighet har samme størrelsesorden som ekspansjonshastigheten til partikkelskya får vi derfor et estimat på sistnevnte størrelse. Setter vi inn for verdien av P og runder oppover for også å inkludere effekten av økt turbulens nær bunn gir det oss en ekspansjonshastighet for skya på $0,01\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. Dette gir at

⁷ En slik konsentrasjon av suspendert materiale vil gi oss en sikt på under 1 desimeter i vannet.

ved kraftig strøm blir det en økning i partikkelskyas radius med $200 \text{ s} \cdot 0,01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 2 \text{ m}$ mens den ved en moderat strømhastighet blir $2000 \text{ s} \cdot 0,01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 20 \text{ m}$.

1.3 Konklusjon

Vi har sett at:

- Ved moderat til sterk nordgående strøm er det av de partiklene som virvles opp ved moloen kun de relativt store som kan nå vanninntaket ved synking og adveksjon. Virvles partiklene opp på samme dyp som vanninntaket vil en partikkelsky rekke å ekspandere noe, men likevel ikke mer enn at partikkelkonsentrasjonen vil kunne være betydelig.
- Ved lavere hastigheter (både relative og absolutte på nordgående strøm) vil de mindre partiklene som virvles opp ved moloen kunne nå vanninntaket selv om diffusjonen vil redusere konsentrasjonen betydelig. Ved oppvirvling på større dyp vil diffusjonen få betydning i tillegg til at også utsynkning og påfølgende reduksjon i partikkelkonsentrasjonen også vil bidra til en reduksjon i partikkelkonsentrasjonen.

Etter vår oppfatning er det derfor fullt mulig at oppvirvlede sedimentpartikler vil kunne bli trukket inn i vanninntaket ved *nordgående strøm*.

Våre tilrådinger er derfor:

- Helst bør *sprengsten dumpes* på bunn ved *sydgående strøm*. Det bør også bemerkes at dumpingen ikke bør gjøres kort tid (mindre enn anslagsvis en time) før strømmen snur.

Ønsker man å kunne dumpe uavhengig av tidesperioden, tilrår vi:

- at Drøbak Akvarium tar inn vann på et større dyp enn det nåværende; vi anser da at 60 meters dyp slik akvariet har vært i samtale med Kystverket for å være tilstrekkelig.

eller

- at man stopper inntaket av vann når det dumpes ved nordgående strøm. Hvor lang tid man så bør drøye før man igjen starter innpumpingen vil avhenge av strømhastigheten, men etter vår oppfatning vil 1 time være et minimum, i hvilken grad dette er gjennomførbart må Drøbak Akvarium besvare..

2. Simuleringer av sirkulasjon og vannutskifting innenfor moloen

2.1 Metodikk

For å simulere sirkulasjonen i overflatelaget (0-2 meters dyp) har vi brukt modellen SMS/RMA-2. Forkortelsen SMS står for "Surface Water Modelling System", som inneholder den numeriske modellen RMA-2. SMS er laget ved Brigham Young University i samarbeid med U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station og U.S. Federal Highway Administration⁸. RMA-2 er en dynamisk, todimensjonal, dybde-integrert numerisk modell med fri overflate. Modellen beregner løsninger ved hjelp av endelig-element metoden.

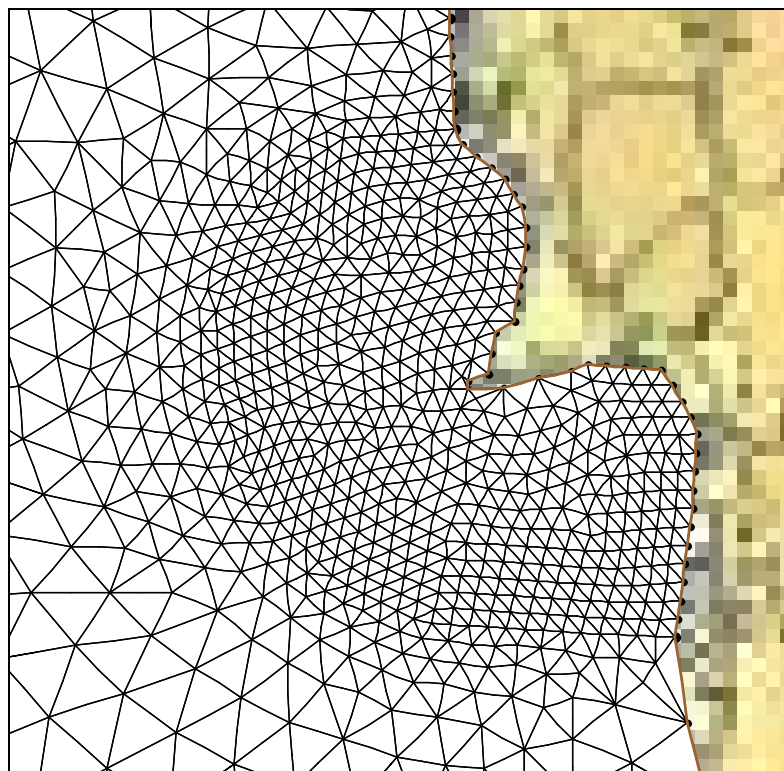
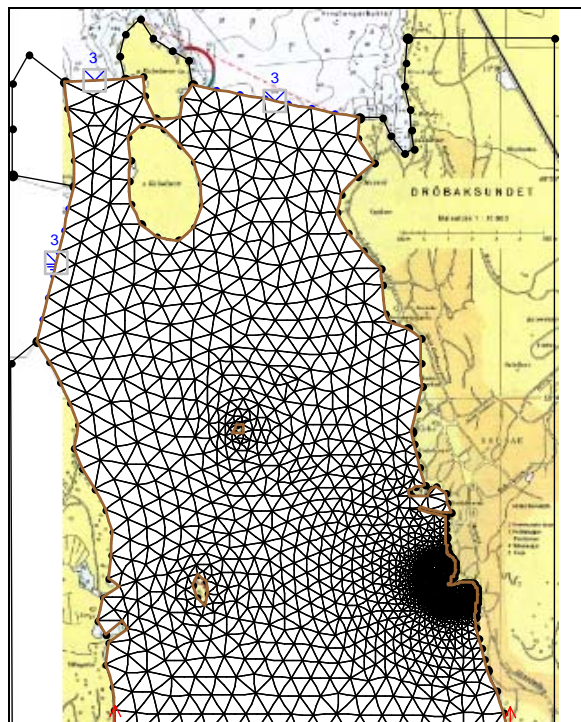
Ligninger:

Gruntvannsligningene i RMA-2 er Navier-Stokes ligninger for bevarelse av bevegelsesmengde og volum (volumkonservering) .

Modelleringen 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 3 viser en del av nettverket som ble benyttet for beregningene. Ved utbyggingsområdet var oppløsningen 10 meter, mot henholdsvis 50 og 100 meter lenger unna.

⁸ ECGL 1995: Surface water modeling system, Reference manual. Brigham Young University. Engineering Computer Graphics Laboratory. 368B CB, Provo, Utah, USA. 170 sider.



Figur 3. Nettverket i RMA2-modellen for simulering av sirkulasjon før og etter utbygging. Øverst: hele området. Nederst: den sentrale delen av området som i øverste figur (med liten oppløsning) hovedsaklig er svart. I hvert hjørne av trekantene og midt på hver side beregnes høyden over referansedypet, strømretning og strømhastighet.

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

Ved hjelp av de topografiske dataene, grenseflatebetingelsene og initialbetingelsene beregner RMA-2 løsninger for hvert tidssteg. Modellen beregner verdier for fart, retning og vannstand i hvert av punktene i gridet der det er lagt inn posisjon og dyp.

En slik type modell egner seg til å beskrive sirkulasjonen i et overflatelag når man betrakter dette som en vertikal homogen vannmasse over en horisontal, flat bunn. Spesielt vil modellen framheve områder med bakevjer og svak strøm. Videre vil beregningene gi grunnlag for å sammenligne strømstyrke og bakevjedannelse før og etter en utbygging av betongkai. Derimot må man være forsiktig med å tolke strømhastighetene absolutt, noe som i så fall ville forutsette en inngående kalibrering av modellen.

2.2 Data

Modellen

Modellen må gis verdier for de turbulente utvekslingskoeffisientene og for bunnfriksjonskoeffisienten Manning's n . 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. Bunnfriksjonen (Manning's n) er satt lik 0,025 (tilsvarende middels "friksjon" mot dypvannet og sider).

Strømforholdene i overflatelaget vil oftest være bestemt av tidevann, vind og den topografiske utformingen kaier og strandsoner. Ifølge tidevannstabeller fra Norges Sjøkartverk er gjennomsnittlig forskjellen mellom høyvann og lavvann i Oslo havn cirka 0,24 meter. Tidevannet er halvdaglig. Arealet av området nord for modellens sørlige grense i Drøbaksundet (**Figur 3**) er cirka 197 km^2 og for å heve vannflaten med 0,24 meter behøves tilførsel av cirka $47 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ over et tidsrom på cirka 6 timer. Innstrømningen skjer i hele vannmassen mellom overflate og bunn. Hastigheten vil i tidevannsstrømmen være relativt liten hvor dypet er 90-100 meter. Men fordi vannet må passere de relativt grunne og trange

partiene mellom fastlandet – Kaholmen – Håøya - Hurumlandet vil tidevannstransporten i den nordre delen av Drøbaksundet i hovedsak foregå i cirka 0-20 meters dyp.

Dagens flytebrygger er 2-2.5 meter dype. Vi har valgt å simulere sirkulasjonen i et cirka 2 meter dypt overflatelag, som betyr at flytebryggene i stor grad fungerer som sperringer for dette overflatelaget (noe vann vil sannsynligvis bli presset ned og under bryggene).

I tillegg til å bestemme tykkelsen av vannlaget krever modellen også at man oppgir mengden av innstrømmende vann som strømmer inn (eller ut) i modellområdet ved en eller flere yttergrenser (render) for modellen. Våre fire render ligger mellom fastlandet ved Husvik og Kaholmen (R1), Kaholmen og Håøya (R2), Håøya og fastlandet (R3), og Storesand og Løkkedal i sør (R4). Strømhastighet og strømretningen i området er i hovedsak bestemt av tidevannet. Vanntransporten følger dermed en noenlunde sinusformet kurve med periode på cirka 12 timer. Samlet transport over cirka 6 timer (fra lavvann til høyvann eller omvendt) utgjør i gjennomsnitt cirka $47 \cdot 10^9 \text{ m}^3$. Vi antar at 10-15% av transporten foregår i 0-20 meters dyp og sinuskurven gir da at maksimal innstrømning der vil være cirka $500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Ved utstrømming følger med en del ferskvann som tilføres indre Oslofjord og utstrømningen er dermed satt til $550 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Denne transporten er fordelt mellom de fire rendene som følger:

R1: $250\text{-}300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

R2: $150\text{-}200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

R3: $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

R4: $500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Vi har ikke grunnlag for å kontrollere resultatene mot strømmålinger utenfor Noroltoma og minner igjen om at det må legges mer vekt på hovedtrekkene i sirkulasjonen ved nåværende og en framtidig utbygging enn en detaljert sammenligning av strømhastigheter. Simuleringene er utført for 5 ulike kombinasjoner av ulik topografi, strømforhold som er sammenfattet i Tabell 1.

Tabell 1. Hovedscenarier for beregning av overflatesirkulasjon i et 2 meter tykt overflatelag.

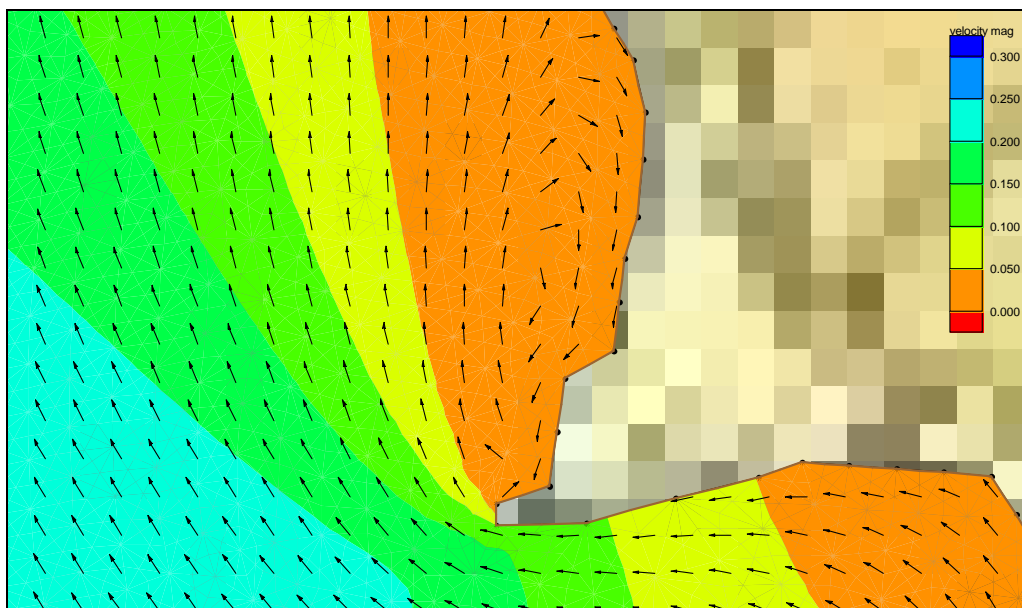
Scenario	Topografi
1a	Dagens situasjon, med strøm mot nord
1b	Dagens situasjon, med strøm mot sør
2a	Med hel molo og flytebrygger - med strøm mot nord
2b	Med hel molo og flytebrygger - med strøm mot sør
3a	Med rør/kulvert gjennom moloen - med strøm mot nord
3b	Med rør/kulvert gjennom moloen - med strøm mot sør

I scenario 3a-3b er regnet med en kulvert med åpning på 3 meter i den indre delen av moloen.

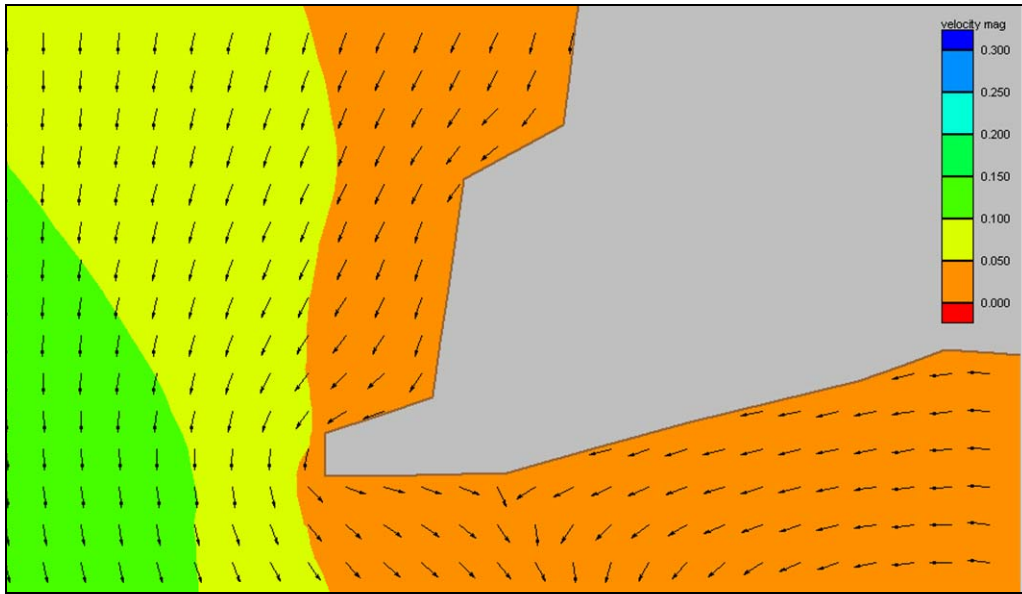
2.3 Resultater

Resultater for de seks scenariene er vist i **Figur 4 - Figur 9**. Strømretningen er vist med piler og strømhastigheten som meter per sekund er vist med en fargeskala (se Figurenes øvre høyre hjørne).

Scenariene for dagens forhold (**Figur 4 - Figur 5**) viser svake strømmer i utbyggingsområdet, dvs. strømhastigheter i intervallet $0-5 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$. I praksis betyr det at skiftende meteorologiske forhold (vindstyrke, vindretning og tildels lufttrykk) i stor grad nå bestemmer vannsirkulasjonen i utbyggingsområdet.

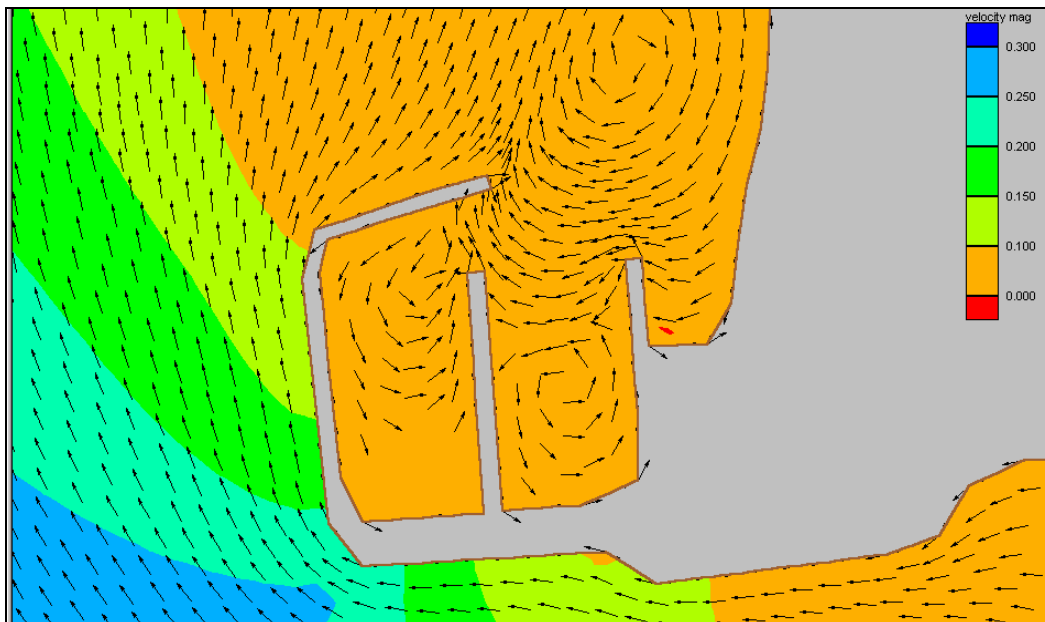


Figur 4. Scenario 1a: Strømbilde for 0-2 m vannlag under nordgående strøm og dagens situasjon.

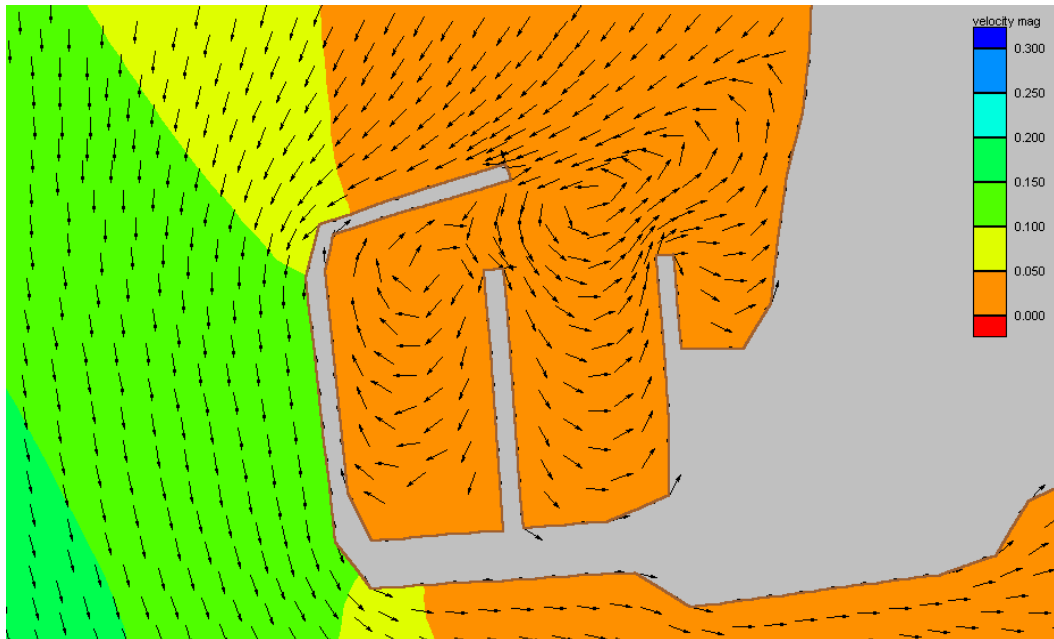


Figur 5. Scenario 1b: Strømbilde for 0-2 m vannlag under sørgående strøm og dagens situasjon.

Med den planlagte moloen (**Figur 6 - Figur 7**) vil hele området mellom moloen og land være preget av meget svake og varierende strømmer, der virkningen av varierende vindforhold i stor grad er bestemmende for sirkulasjonen.

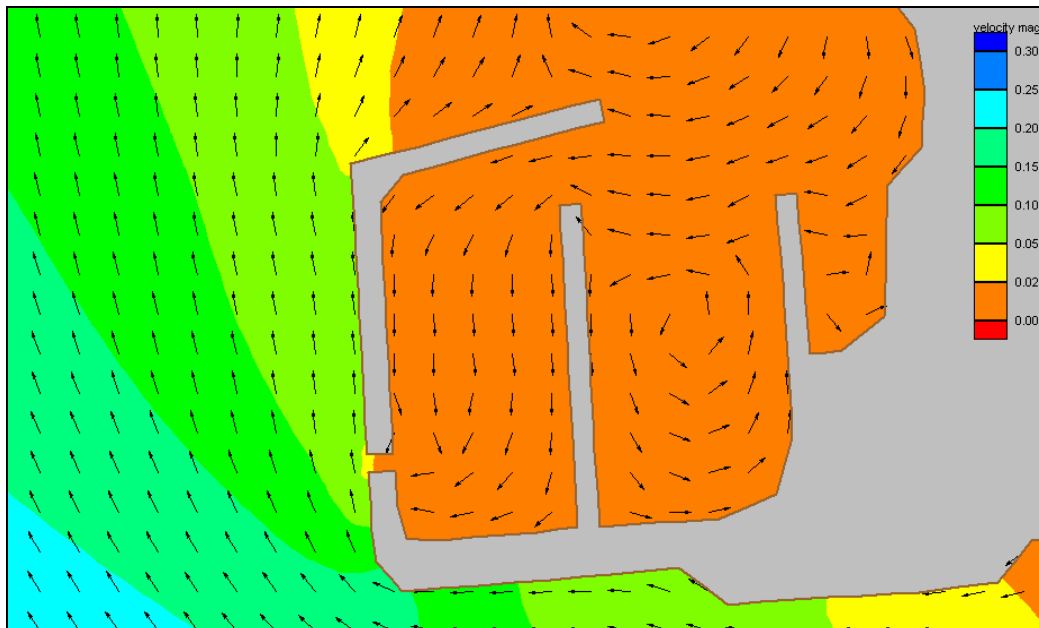


Figur 6. Scenario 2a: Strømbilde for 0-2 m vannlag med ny betongmolo, uten kulvert og ved nordgående strøm.

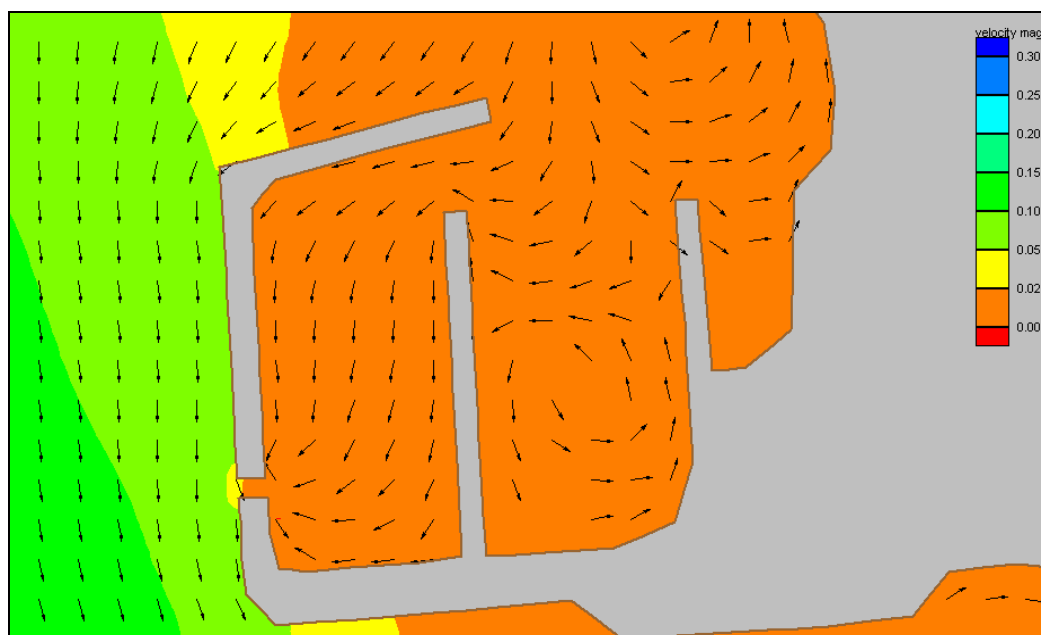


Figur 7. Scenario 2b: Strømbilde for 0-2 m vannlag med ny **betongmolo, uten kulvert** og ved **sørgående strøm**.

En åpning med 3 meters bredde mot vest i overgangen mellom molo og bølgebryter (**Figur 8** - **Figur 9**) ser ikke ut til å gi noe merkbart bidrag i form av økt vannsirkulasjon og kortere oppholdstid for vannmassen innenfor moloen (sett under ett). På den annen side vil den utvilsomt bidra til økt vannutskiftning i bassengets sørvestre del.



Figur 8. Scenario 3a: Strømbilde for 0-2 m vannlag med ny **betongmolo, kulvert** (ca. 3 m bred) og ved **nordgående strøm**. Topografien er litt forskjellig fra Fig. 4-5, uten at det har noen betydning for resultatene.



Figur 9. Scenario 3b: Strømbilde for 0-2 m vannlag med ny **betongmolo, kulvert** (ca. 3 m bred) og ved **sørgående strøm**. Topografien er litt forskjellig fra Fig. 4-5, uten at det har noen betydning for resultatene.

3. Sammenfattende vurdering

3.1 Skjerming av vanninntaket

Ved dumpinga av sprengsteinmassene til moloen vil oppvirvla sedimentpartikler kunne komme i det nåværende vanninntaket til Drøbak Akvarium på 35 meters dyp ved nordgående strøm. Slik vi ser det vil det beste være å dumpe sprengsteinmasser kun ved sydgående strøm (fallende sjø). Alternativer til dette er enten at det tas inn vann på større dyp til akvariet (60 meters dyp) eller at man, i en periode ikke lenger enn en time, stanser innpumpingen av vann.

B

3.2 Vannfornyelsen innenfor moloen

Bruk av en matematisk modell som simulerer tidevannet gjennom Drøbaksundet tyder på at området hvor småbåthavna er planlagt er preget av relativt svake strømmer. Moloen og bølgebryteren vil påvirke strømforholdene og redusere vannfornyelsen i området innenfor. I småbåthavna viser beregningene at strømhastigheten i 0-2 meters dyp kan bli meget lav (mindre enn $1 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$), med unntak for perioder med sterk sørlig vind.

Strømsimulering med en cirka 3 meter bred åpning mellom molo og bølgebryter viser at kulverten bare i liten grad vil øke vannutskiftningen i småbåthavna under rolige vindforhold. Man kan likevel ikke se bort fra at åpningen vil gi en viss øking av vannutskiftningen i 0-2 meters dyp og eventuelt forbedring av vannkvaliteten i småbåthavnas sør-vestre del. Spesielt kan vannfornyelsen gjennom åpningen være av betydning ved vind fra nord-nordvest, som ellers kan bidra til en viss oppstuing av overflatevann i småbåthavna.

Inntil det eventuelt er fastsatt mer konkrete mål for vannkvaliteten i småbåthavnas overflatelag vil det ha liten hensikt å forsøke å dimensjonere åpninger i moloen eller bølgebryter for å imøtekomme disse.

Bølgebryteren stikker cirka 2 meter ned i vannet. Dypere vannmasser i småbåthavna vil derfor ha fri forbindelse vestover mot Drøbaksundet, og vannutskiftningen vil i hovedsak være som før havna ble etablert. Man kan anta at virksomheten i småbåthavna vil tilføre

bunnsedimentene noe mer organisk materiale og avfall enn tilfellet er i dag. Oksygenforholdene i vannet nær bunnen er ikke kjent, men det er liten grunn til å tro at bygging av småbåthavna vil gi noen vesentlig forverring av dagens forhold.

Etter etableringen ser vi ikke at småbåthavna får noen innflytelse på kvaliteten av vannet som tas inn til Drøbak Akvarium.