



Statens vegvesen

E18 mellom Festningstunnelen og Ekebergtunnelen (etappe 1)

BYGGEPLAN



Simuleringer av vannsirkulasjonen i
Akerselvas utløpsområde

Rapport nr. 0-VK-202

Desember 2003

Norsk institutt for vannforskning

RAPPORT

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 E18 mellom Festningstunnelen og Ekeberg tunnelen, etappe 1. Simuleringer av vannsirkulasjonen i Akerselvas utløpsområde	Løpenr. (for bestilling) 4757-2003	Dato 1.12.2003
	Prosjektnr. Undernr. 23253-1	Sider Pris 26
Forfatter(e) Jarle Molvær	Fagområde Oseanografi	Distribusjon
	Geografisk område Oslo	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Aas-Jakobsen AS, Lilleakerveien 4, 0283 Oslo	Oppdragsreferanse
--	-------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Den planlagte senketunnelen vil skape en ca. 50 m bred kanal gjennom Bjørvikautstikkeren og Paulsenkaia og dermed endre munningstopografien for Akerselva. Denne tilstanden ansees som mindre gunstig for vandringen av fisk gjennom munningsområdet. Simuleringer av utstrømming og sirkulasjon i et vannlag på 1-2 m tykkelse viser at i en byggeperiode på 1-2 år vil bare en mindre andel av elvevannet finne veien gjennom det nåværende utløpet, men følge de brede kanalene direkte ut i Bjørvika og Bispevika. Ved ferdigstilt tunnelprosjekt vil denne utstrømningen bli stoppet av voller og nåværende vannutstrømming og overflatesirkulasjon ved munningen av Akerselva blir dermed gjenopprettet.</p>

Fire norske emneord 1. Bjørvika 2. Tunnel 3. Vannsirkulasjon 4. Modell	Fire engelske emneord 1. Bjørvik 2. Tunnel 3. Circulation 4. Model
--	--

Prosjektleder

Forskningsleder

Forskningsdirektør

ISBN 82-577-4432-8

E18 mellom Festningstunnelen og Ekeberg tunnelen,
etappe 1

**Simuleringer av vannsirkulasjonen i
Akerselvas utløpsområde**

Forord

Statens vegvesen region Øst planlegger å bygge vegtunnel gjennom Bjørvika og Bispevika i indre Oslo havn. I den forbindelse har NIVA tidligere foretatt vurderinger av effekter av ulike utbyggingsalternativer på vannsirkulasjon, vannkvalitet og livsmønster for laks og sjøørret omkring Akerselvas munningsområde og i Akerselva (bl.a. Schaanning et al., 2000 og Molvær et al., 2002).

Denne rapporten gir en beskrivelse av sirkulasjonen i overflatelaget omkring munningen av Akerselva med en utforming av munningsområdet som gjør at nåværende sirkulasjon blir beholdt.

Jarle Molvær, NIVA, har utført beregningene av vannsirkulasjonen og har ledet prosjektet.

Kontaktpersoner hos Aas-Jakobsen AS har vært Per Meaas og Hans-Petter Kristiansen, og begge takkes for konstruktive innspill til prosjektet.

Oslo, 1.12 2003

Jarle Molvær

Innhold

Simuleringer av vannsirkulasjonen i Akerselvas utløpsområde	3
Forord	3
Innhold	4
Sammendrag.....	5
Summary.....	6
1. Innledning.....	7
2. Topografi og utbyggingsplaner.....	8
3. Ferskvannstilførselen fra Akerselva	11
4. Simulering av overflatesirkulasjon i Bjørvika og Bispevika.....	12
4.1 Metodikk	12
4.2 Data	14
4.3 Sirkulasjonen i overflatelaget i byggeperioden og ved ferdig tunnelprosjekt.....	15
4.3.1 Byggeperioden: Scenariene 1-3	15
4.3.2 Ferdig tunnelprosjekt: Scenariene 4-6.....	19
5. Strømforhold ved bunnen i deponiområder for leir- og siltmasser	23
6. Oppsummering og konklusjoner	24
7. Litteratur	26

Sammendrag

Den planlagte senketunnelen vil bli gravd gjennom Bjørvikautstikkeren og Paulsenkaia som en ca. 50 m bred kanal og vil føre til at selve utløpet trekkes innover, men etterlater to ”øyer” litt utenfor den nye munningen. Dette endrer vannsirkulasjonen i Akerselvas utløpsområde fordi det meste av ellevannet vil strømme direkte ut i Bjørvika og Bispevika. Bare en mindre del av ellevannet vil finne veien sørover gjennom det tidligere utløpet. På vei ut av Akerselva (som smolten om våren) og ved vandring opp i elva må fisken passere munningsområdet. En 3-deling av utløpet er ansett som mindre gunstig i forhold til vandringen av fisk.

For å gjenopprette situasjonen med utstrømming gjennom ett utløp er det vedtatt å bygge voller for hindre utstrømming direkte til Bjørvika og til Bispevika. Det er derfor gjort simuleringer av overflatesirkulasjonen i munningsområdet i byggeperioden uten voller – og for ferdigstilt prosjekt da slike voller er på plass. Simuleringene er gjort for vannføringene 5 m³/s, 10 m³/s og 30 m³/s. De to laveste antas å være typiske for vannføringer da smolt om våren vandrer ut av Akerselva og for lokkeflommer som skal få fisk til å vandre opp i elva. Resultatene viser at i byggeperioden vil det meste av ellevannet strømme direkte ut til Bjørvika og til Bispevika, og en mindre andel finne veien gjennom det nåværende utløpet. Ved ferdigstilt prosjekt vil vollene gjenopprette vannutstrømmingen og sirkulasjonen ved det nåværende utløpet av Akerselva.

Fra starten av ble simuleringene utført med voller som var trukket ca. 4 m tilbake i forhold til det nåværende elveløpet. Senere er det besluttet at vollen mot Bjørvika skal følge den nåværende elvebredden. Dette er en fordel i forhold til fiskens vandring gjennom området.

For sirkulasjonen i overflatelaget i Bispevika og i Bjørvika medfører bruk av voller at den nåværende sirkulasjonen i alt vesentlig blir beholdt. Det nye operabygget vil ikke påvirke overflatesirkulasjon og strømningsforhold i Akerselvas munningsområde.

Mellom selve Bjørvika og vollen som sperrer for utstrømming fra Akerselva til Bjørvika vil det bli et område med relativt liten vannsirkulasjon. I mindre grad gjelder dette Bispevika.

For de planlagte deponiene i Bjørvika og i Bispevika viser strømmålinger at under normale forhold er strømhastigheten så liten til at overdekkingen blir liggende i ro. Det er mulig at manøvrering av større (dyptgående) fartøy i nærheten av deponiene kan skape kortvarige situasjoner da strømsstyrken nær bunnen er så stor at toppen av overdekkingen virvles opp

Summary

Title: E18 between the Castle tunnel and the Ekeberg tunnel, phase 1. Simulations of surface water circulation around the mouth of Aker river.

Year: 2003

Author: Jarle Molvaer

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4432-8

The planned tunnel will create a 50 m wide channel through the Bjørvikautstikker and the Paulsenkai. Most of the freshwater from Aker river will then flow through the wide openings to the Bjørvika and the Bispevika, and only a minor part will flow through the present river mouth. In relation to migration of fish through the areas this is considered an unfavourable situation.

In order to maintain the present river mouth the authorities will build walls to stop the outflow through the channel. Simulations of the surface water circulation for various outflows show that such walls will effectively keep today's outflow and circulation.

1. Innledning

Statens vegvesen region Øst (SvRØ) planlegger å bygge en vegtunnel i bunnen av Bjørvika og Bispevika i indre Oslo havn. I sitt miljøoppfølgingsprogram har SvRØ satt klare mål mht. å unngå forringelse av vannkvalitet og unngå skader og forstyrrelse av dyre og planteliv (SvO 2000). I den forbindelse har NIVA utført flere vurderinger av effekter av ulike utbyggingsalternativer på vannkvalitet og biologiske forhold i området. Tidligere rapporter er avgitt i 1999, 2000 og 2002 (Schaanning et al. 1999, Schaanning et al. 2000, Molvær et al. 2002). Den sistnevnte rapporten ble utarbeidet i samarbeid med NINA-NIKU og inneholdt også konkrete vurderinger av konsekvenser for vandring og livsmønster for laks og sjøørret som følge av inngrep i Akerselvas munningsområde

I rapporten fra 2002 ble det påpekt at tunnelen vil skjære gjennom Bjørvikautstikkeren og Paulsenkaia som en 50 m bred kanal og gi Akerselvas et 3-delt utløp der bare en mindre del av elvevannet vil ta veien gjennom den nåværende munningen. En slik oppsplittet munningstopografi kan ha uheldige virkninger for vandring av fisk gjennom munningsområdet. Dette er senere vurdert av SvRØ og Aas-Jakobsen AS. Man har valgt en løsning hvor det i byggeperioden vil være en ca. 50 m bred grøft gjennom utstikkerne slik som skissert ovenfor. Når anlegget er ferdig vil det være etablert voller langs begge sider av Akerselva der hvor grøfta skjærer gjennom, og disse skal gjenopprette den nåværende utstrømningen gjennom et elveutløp.

Hensikten med den foreliggende rapporten er å

- *gi en oppdatert beskrivelse av overflatesirkulasjonen i Bjørvika og Bispevika innenfor Reguleringsplanens avgrensning.*
- *vurdere sirkulasjonen ved bruk av voller som skal gjenopprette den nåværende utstrømningen gjennom en elvemunning.*

2. Topografi og utbyggingsplaner

Bjørvika og Bispevika er to bassenger i Oslo indre havn med åpning mot selve havnebassenget og fjorden utenfor (**Figur 1**). Bassengene er typisk 7-9 meter dype og har i dag ingen terskler som begrenser vannutskiftingen. Akerselva munner ut mellom de to bassengene. Elva har en gjennomsnittlig vannføring på 17,5 m³/s. Beregnede flateareal og underliggende vannvolum for ulike dyp er vist i **Tabell 1**. For Bjørvika er maks. dyp angitt til 12,1 m i tabellen, det gjelder et mindre område litt sør for tunneltraseen.

Tabell 1. Areal- og volumer innenfor tunneltraseen for Bjørvika og Bispevika, beregnet etter dagens topografi (fra Molvær et al., 2002).

	Dyp (m)	Areal (m ²)	Volum under gitt dyp (m ³)
Bjørvika	0	82 500	514 600
	4	68 400	212 800
	6	53 600	90 800
	8	19 500	17 700
	9	5 700	5 100
	10	1 400	1 500
	12,1	0	
Bispevika	0	49 900	258 500
	2	48 700	159 900
	4	37 000	74 200
	6	23 000	14 200
	7	3 800	800
	7,4	0	

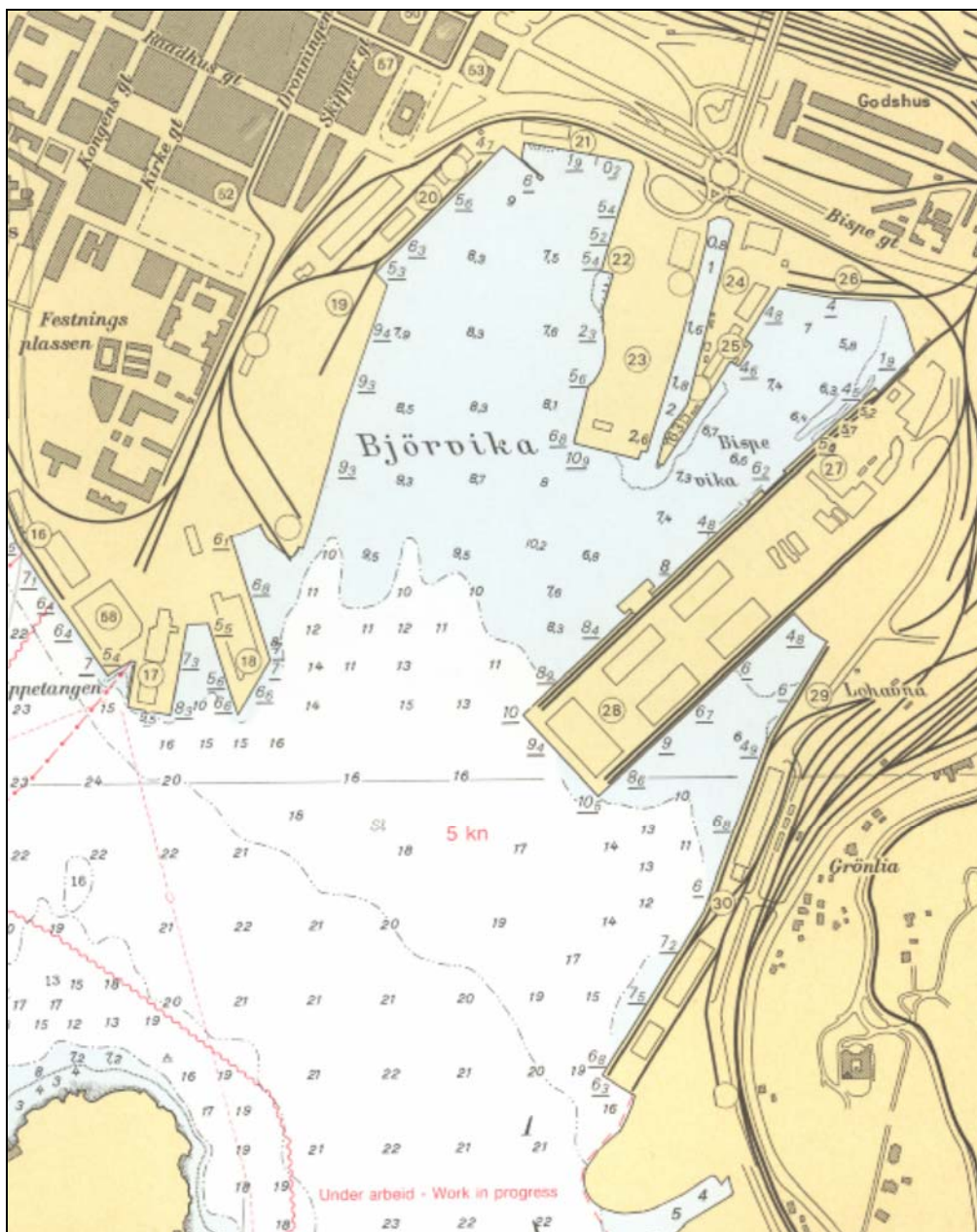
Traseen for planlagte senketunnelen er vist i **Figur 2**. Ved kaikanten på Bjørvikas vestsida dukker tunnelen ned under sjøbunnen og fortsetter fullstendig nedgravd gjennom resten av Bjørvika (ca 150 m) og videre under Bjørvikautstikkeren, Akerselva og Paulsenkaia. I Bjørvika og Bispevika fylles det tilbake til kote -6 m over tunnelen.

Tunnelen vil skjære gjennom Bjørvikautstikkeren og Paulsenkaia som en ca. 50 m bred og 6 m dyp kanal. Der kanalen krysser Akerselvas utløp blir bunndypet hevet til 3 m, som tilsvarer dypet i dagens utløp.

I byggeperioden vil kanalen gi Akerselva tre utløp:

- det nåværende relativt trange utløpet mot sør
- nytt bredt utløp mot Bjørvika
- nytt bredt utløp mot Bispevika

I forhold til vandringsområdene for fisk gjennom elvas munningsområde er tre utløp vurdert som uheldig (Molvær et al., 2002). Når anlegget er ferdig vil det derfor på begge sider av Akerselva bli etablert voller som sperrer for utstrømming av ellevann sideveis til Bjørvika og Bispevika. Den nåværende utstrømmingen gjennom et utløp skal dermed gjenopprettes.



Figur 1. Oslo havn. Dagens situasjon (utsnitt fra sjøkart nr. 452).

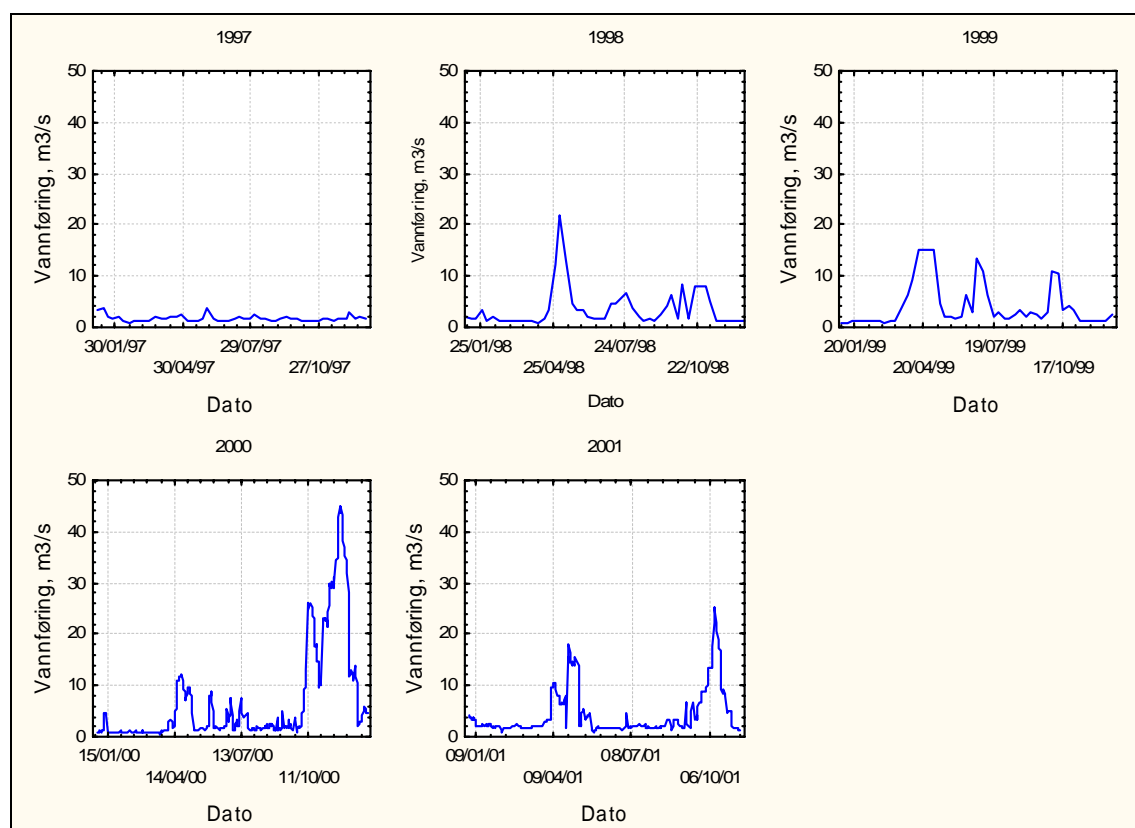


Figur 2. Kart over Bjørvika og Bispevika med inntegnet tunneltrase (kilde: Aas-Jakobsen AS).

3. Ferskvannstilførselen fra Akerselva

Vannføringsdata fra Akerselva er framskaffet av Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten. Vannføringen varierer gjennom sesongen som følge av varierende nedbørsmengde og snøsmelting om våren. Tidsrommet 1997-1999 (med relativt varme vintre) antas å gi et tilnærmet normal bilde av årsvariasjonene, med høy vannføring om våren og til dels om høsten og vanligvis lav vannføring om vinteren og sommeren (**Figur 3**). Høsten 2000 var preget av eksepsjonelt store vannmengder.

Pålagt minstevannføring i Akerselva er nå 1,5 m³/s. Minstevannføringen kan imidlertid ikke opprettholdes i tørre år med høyt kommunalt vannforbruk. I 1996 for eksempel, var vannføringen i perioder bare 200 l/s, og fisket ble stengt. Vannføringen i Akerselva kan både påvirke hydrografien i det indre havnebassenget og spesielt fiskevandringene til og fra elva. Ved lav vannføring er overflatestrømmene i havneområdet helt dominert av flo- og fjære, vind og lufttrykk.



Figur 3. Vannføring i Akerselva for perioden januar 1997-november 2001. Forholdene preges av perioder med relativt lav vannføring og perioder med høy vannføring pga. snøsmelting eller regnvær. Merk at for 1997-99 er vist ukemidler mens 2000-2001 viser døgnverdier (data fra Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten)

4. Simulering av overflatesirkulasjon i Bjørvika og Bispervika

4.1 Metodikk

For å simulere sirkulasjonen i overflatelaget har vi brukt modellen SMS/RMA-2. Forkortelsen SMS står for "Surface Water Modelling System", som inneholder den numeriske modellen RMA-2. Modellen 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). 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).

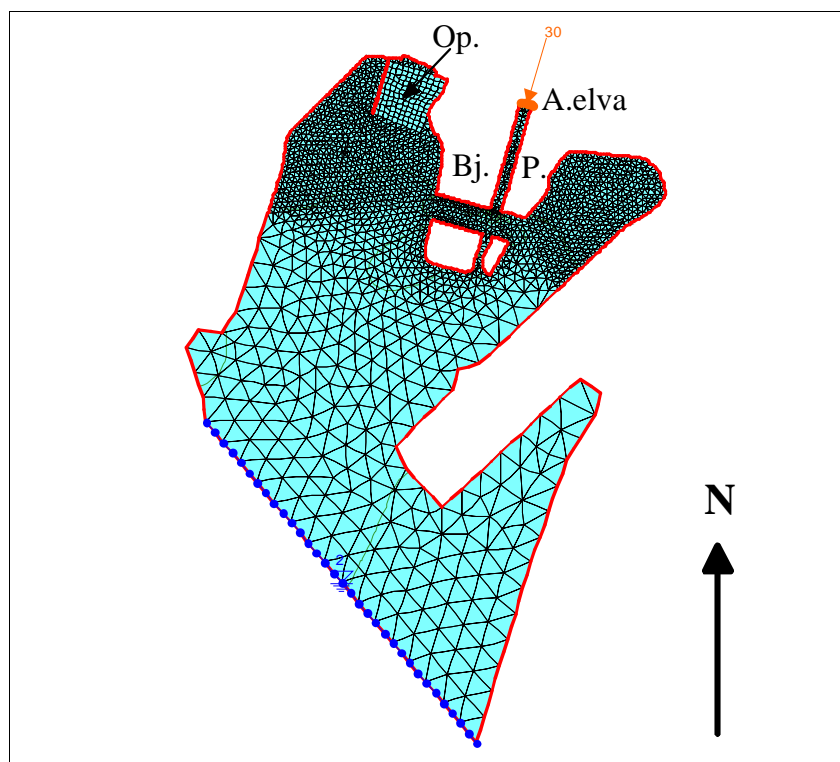
$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0$$

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

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

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 =	Vannndyp
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

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 4** viser nettverket som ble benyttet for beregningene. I Bjørvika framstår området som operaen omfatter som litt lysere og fronten mot vest er merket med rødt. I Akerselvas munningsområde sees rester av Bjørvikautstikkeren og Paulsenkaia som blir liggende utenfor tunnelen.



Figur 4. Nettverket eller gridet i RMA2-modellen for Bjørvika og Bispevika for simulering av sirkulasjon etter utbygging. Figuren viser Operaens front mot vest og hvordan Bjørvikautstikkeren og Paulsenkaia gjennomskjæres at grøfta hvor tunnelen plasseres. For hvert element i gridet beregnes høyden over referansedypet, strømretning og strømhastighet i hvert hjørne og i et punkt på hver side. Forkortelser: Bj.: Bjørvikautstikkeren, P: Paulsenkaia, Op.: Operaen, A.elva: Akerselva.

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.

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 brakkvannslaget utenfor munningen av Akerselva, 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 godt grunnlag for sammenligning av vannsirkulasjonen ved Akerselva utløp før bygging av tunnel, med kanal tvers gjennom området og med voller som sperrer for utstrømming til Bispevika og Bjørvika. Derimot må man være forsiktig med å tolke strømhastighetene absolutt, noe som i så fall ville forutsette en inngående kalibrering av modellen.

4.2 Data

Modellen

Det blir simulert strøm i et 1-2 meter tykt overflatelag der det utstrømmende vannet fra Akerselva vil befinne seg. Modellen gis verdier for de turbulente utvekslingskoeffisientene og for bunnfriksjonskoeffisienten Mannings 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 (Mannings n) er satt lik 0,020 (tilsvarende moderat "friksjon" mot dypvannet og sider), og økt til 0,025 der hvor bunn dyppet er mindre enn 2,5 m.

Strømforholdene i overflatelaget vil oftest være bestemt av ferskvannstilførselen fra Akerselva, og av tidevann, vind og den topografiske utformingen av utløpsområdet. De ulike scenariene for disse parameterne er valgt i samsvar med tilbudet til Statens vegvesen region Øst.

Ut fra vurdering av hvilke vannføringer som er mest typiske for situasjoner da fisk vandrer opp i Akerselva, eller ut (smoltutvandring), har man valgt å kjøre modellen med vannføringer 5, 10 og 30 m^3/s .

Ifølge Tidevannstabeller fra Norges Sjøkartverk er gjennomsnittlig forskjellen mellom høyvann og lavvann i Oslo havn ca. 0,24 m. Tidevannet er halvdaglig. Ved synkende vannstand vil utstrømningen være maksimal, mens ved stigende vannstand kan innstrømningen være mindre fordi utstrømmende brakkvann og innstrømmende tidevann er motsatt rettet.

Innstrømning og utstrømning av tidevann er ikke begrenset til brakkvannslaget, men fordeler seg over vannmassen mellom overflate og bunn. Bunn dyppet i Bjørvika og i Bispevika er hhv. 7-9 m og 6-7 m. Ved økende dyp øker tverrsnittsarealet som vannet strømmer gjennom. Vårt estimat er at i dette området vil 25-30% av tidevannet bevege seg i de øverste 2 m, mens resten strømmer ut og inn under dette dypet og bunnen. Dette betyr videre at ved en gjennomsnittlig forskjell på 24 cm mellom høyvann og lavvann, vil den delen av tidevannet som beveger seg fram og tilbake i 0-2 m dyp bare endre vannstanden med 6-7 cm. Betydningen av tidevannet i Bjørvika kan da illustreres som følger:

- Arealet er 80.000 m^2 . Innstrømning av ca. 5500 m^3 vil øke tykkelsen av overflatelaget med ca. 7 cm.
- Innløpet er 300 m bredt, som for 0-2 m dyp gir et tverrsnittsareal på 600 m^2 .
- Innstrømningen av tidevann foregår over ca. 6 timer, som over det tidsrommet gir en gjennomsnittshastighet på 0,4 mm/s gjennom tverrsnittsarealet på 600 m^2 .

Tidevannets hastighet varierer gjennom de 6 timene, men overslagsberegningen illustrerer likevel at tidevannet ikke vil skape særlig sterke strømmer i området. Tilsvarende konklusjon kan trekkes mht. tidevannets betydning for sirkulasjonen i Bispevika. Spesielt gjelder dette for selve elvemunningen som i stor grad domineres av utstrømmende brakkvann. Beregningene er derfor gjort uten tidevann.

For den topografiske utformingen av utløpsområdet er modellen kjørt med bredde 50 m av tunnelen gjennom Bjørvikautstikkeren og Paulsenkaia. Fordi pilarene under operabygget i Bjørvika ikke har merkelig betydning for vannsirkulasjonen (Molvær og Bjerkeng 2003) er bare fronten på byggets vestsida inkludert (se Figur 4). For topografien blir det dermed to hovedscenarier.

- Byggeperioden:** Akerselvas utløp uten voller som sperrer for utstrømning til Bjørvika og Bispevika.
- Ferdig prosjekt:** Akerselvas utløp med voller som sperrer for utstrømning til Bjørvika og Bispevika. Vollene er trukket ca. 4 m tilbake i forhold til nåværende utløp.

Hver scenario inkluderer tre vannføringer:

- Lav: 5 m^3/s (forholdsvis typisk for situasjonen ved utvandring av smolt om våren)
- Moderat: 10 m^3/s (kan representere situasjonen ved innvandring av fisk om høsten)
- Stor vannføring: 30 m^3/s

Dette utgjør 6 scenarier som er sammenfattet i **Tabell 2**. Kortvarige variasjoner pga. skiftende vindforhold er ikke forsøkt beskrevet.

Tabell 2. Hovedscenarier for beregning av overflatesirkulasjon

Topografi	Scenario	Vannføring i Akerselva	Tykkelse overflatelag
Byggeperioden: Åpen kanal gjennom Bjørvikautstikkeren og Paulsenkaia	S1	5 m ³ /s	1 m
	S2	10 m ³ /s	1.5 m
	S3	30 m ³ /s	2 m
Ferdig prosjekt: Kanal gjennom Bjørvikautstikkeren og Paulsenkaia, men med sidevoller mot Akerselva	S4	5 m ³ /s	1 m
	S5	10 m ³ /s	1.5 m
	S6	30 m ³ /s	2 m

4.3 Sirkulasjonen i overflatelaget i byggeperioden og ved ferdig tunnelprosjekt

Modellen blir kjørt uten tidevann og vind. I det etterfølgende vil vi ta i betraktning virkninger av varierende vind og tidevann i den grad dette kan gi ny og vesentlig informasjon.

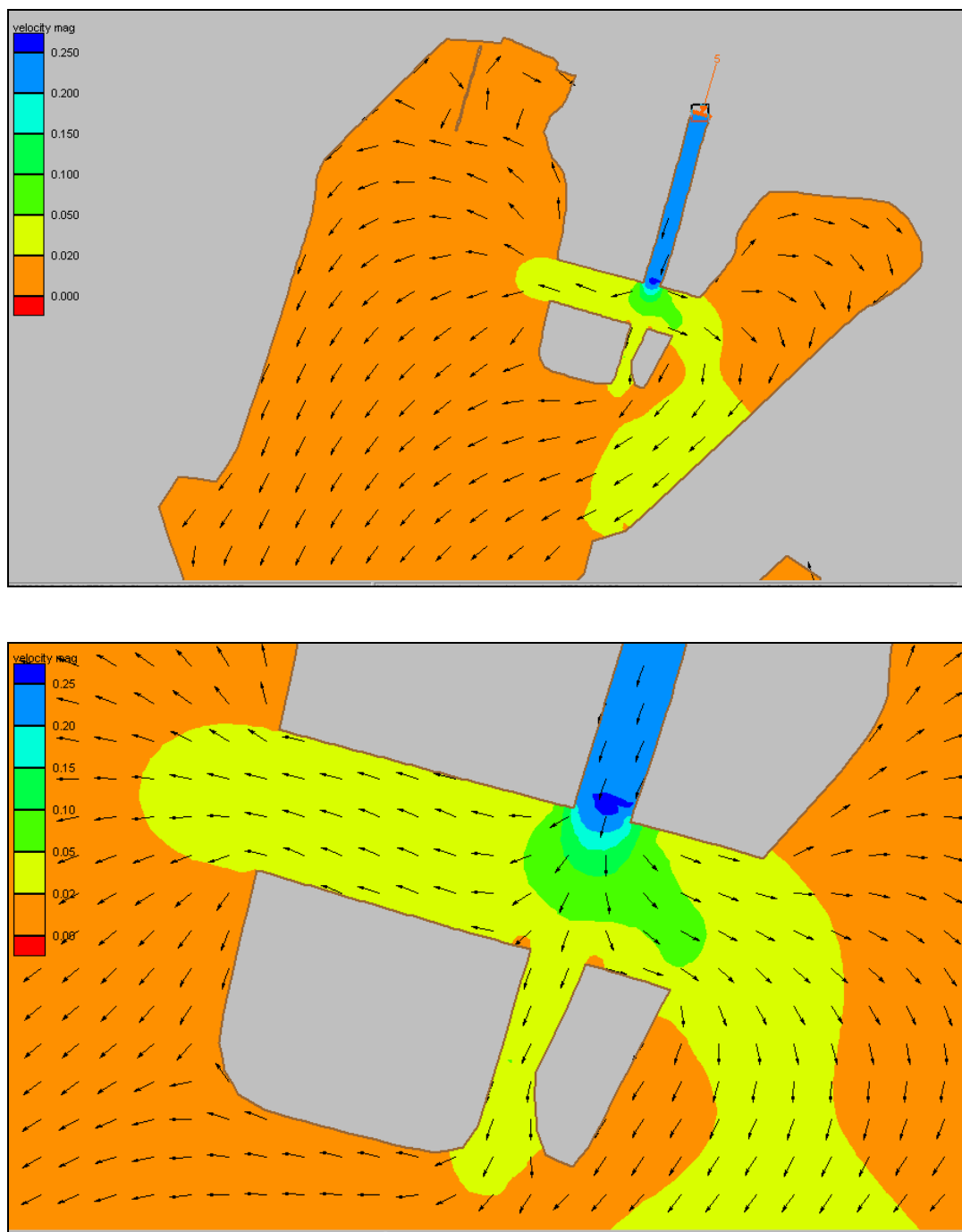
4.3.1 Byggeperioden: Scenariene 1-3

Disse scenariene ble vist av Molvær et al. (2002) hvor man konkluderte at en 3-deling av elvas utløpsområde var ugunstig i forhold til fiskens vandring gjennom området. Hovedtrekkene er vist i **Figur 5-Figur 6**. I selve munningsområdet preges overflatesirkulasjonen av utstrømmende ellevann. Når vannet kommer fram til kanalen vil det umiddelbart bre seg utover til begge sider samtidig som hastigheten avtar. Det meste av ellevannet vil strømme til Bjørvika og til Bispevika, mens en mindre andel fortsetter gjennom det nåværende utløpet. Ved økende vannføring i Akerselva øker vannmengdene som strømmer gjennom de tre åpningene, men fortsatt strømmer det aller meste til Bjørvika og Bispevika. Ved stor vannføring (30 m³/s) vil overflatelaget i indre havn være preget av utstrømmende brakkvann fra Akerselva (**Figur 7**).

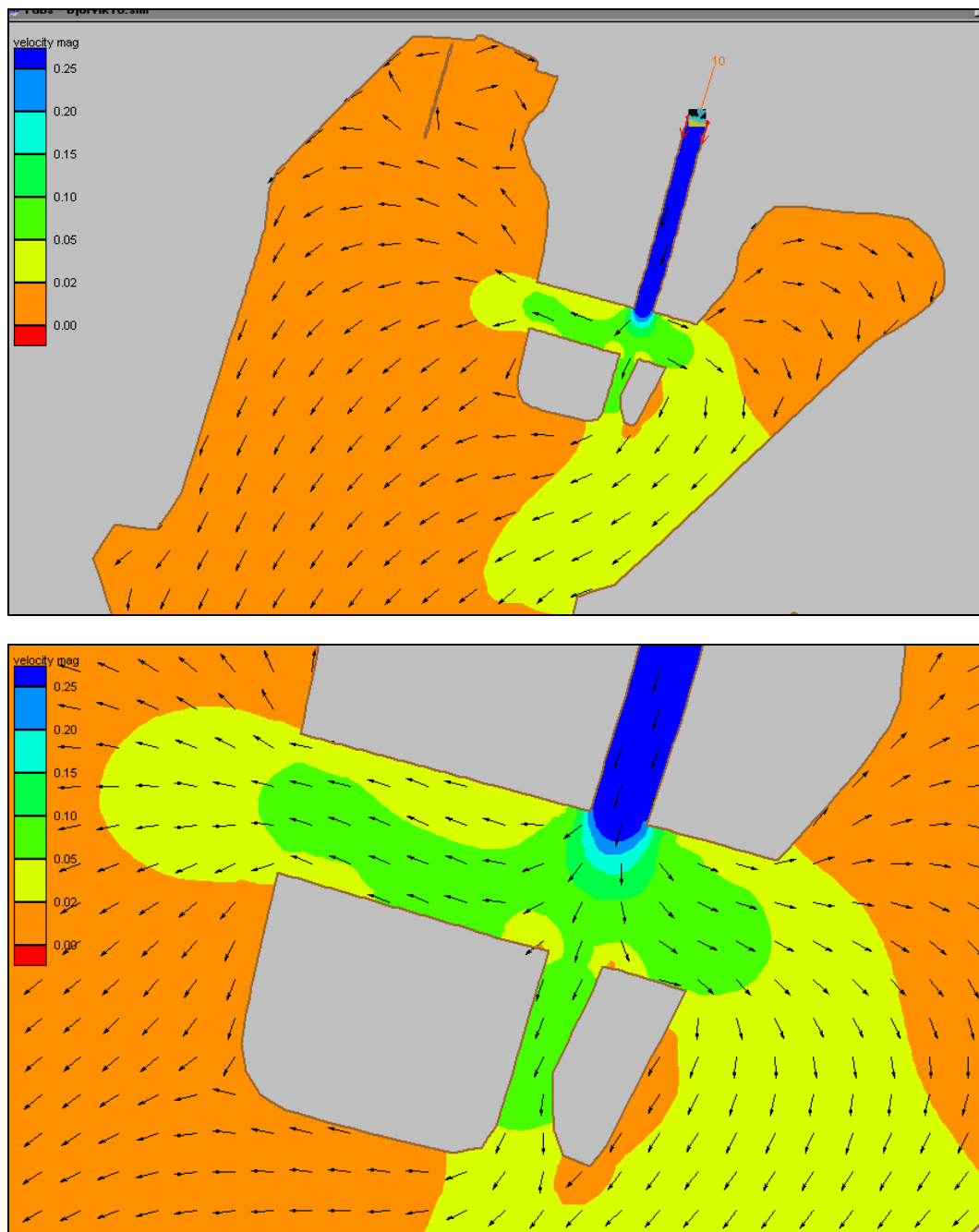
Vannet som strømmer ut i Bispevika vil påvirke strømforholdene der noe mer enn tilfellet er for utstrømming til Bjørvika. Dette skyldes ulik størrelse og topografi – i første rekke at det utstrømmende vannet til Bispevika ”møter” kaia på vikas østside.

I Bjørvika og i Bispevika opptrer oftest store og langsomme virvler. Ved liten-moderat vannføring i Akerselva vil vannbevegelsene som skapes av utstrømmingen være så langsomme at virkningen av tidevann og av skiftende vindstyrke og vindretning vil prege sirkulasjonen i overflatelaget for disse to bassengene.

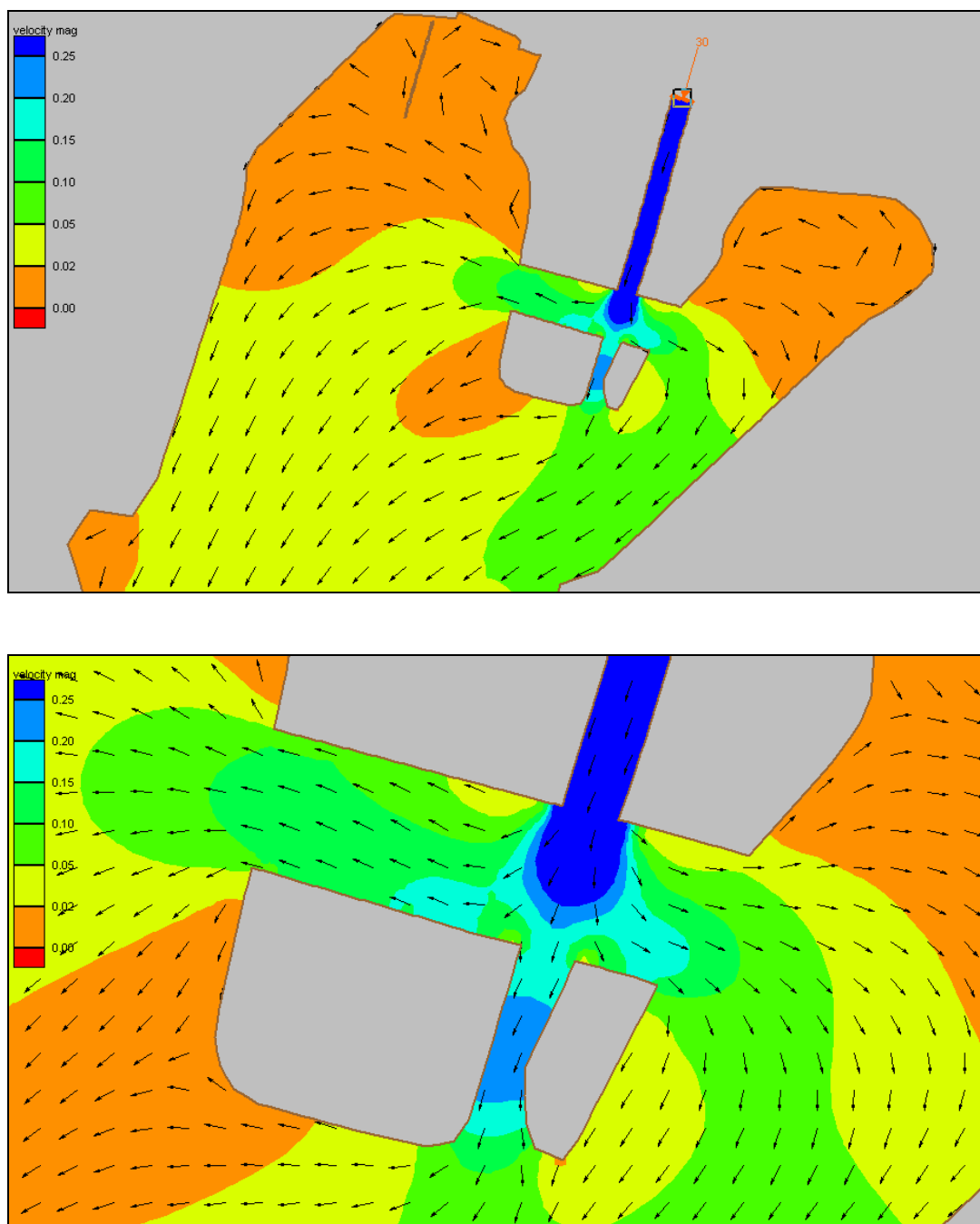
I den nordre delen av Bjørvika vil fronten på operabygningens vestside påvirke sirkulasjonen i overflatelaget (jfr. Molvær og Bjerkeng, 2003).



Figur 5. Simulering av vannsirkulasjon i 0-1 m dyp ved utgravd tunnel og en vannføring på 5 m³/s i Akerselva. Strømretningen er vist med piler mens hastigheten er vist med en fargeskala (se øvre venstre hjørne av figurene og med enhet m/s). Nedre figur fokuserer på kanalområdet.



Figur 6. Simulering av vannsirkulasjon i 0-1.5 m dyp ved utgravd tunnel og en vannføring på $10 \text{ m}^3/\text{s}$ i Akerselva. Strømretningen er vist med piler mens hastigheten er vist med en fargeskala (se øvre venstre hjørne av figurene og med enhet m/s). Nedre figur fokuserer på kanalområdet.



Figur 7. Simulering av vannsirkulasjon i 0-2 m dyp ved utgravd tunnel og en vannføring på 30 m³/s i Akerselva. Strømretningen er vist med piler mens hastigheten er vist med en fargeskala (se øvre venstre hjørne av figurene og med enhet m/s). Nedre figur fokuserer på kanalområdet.

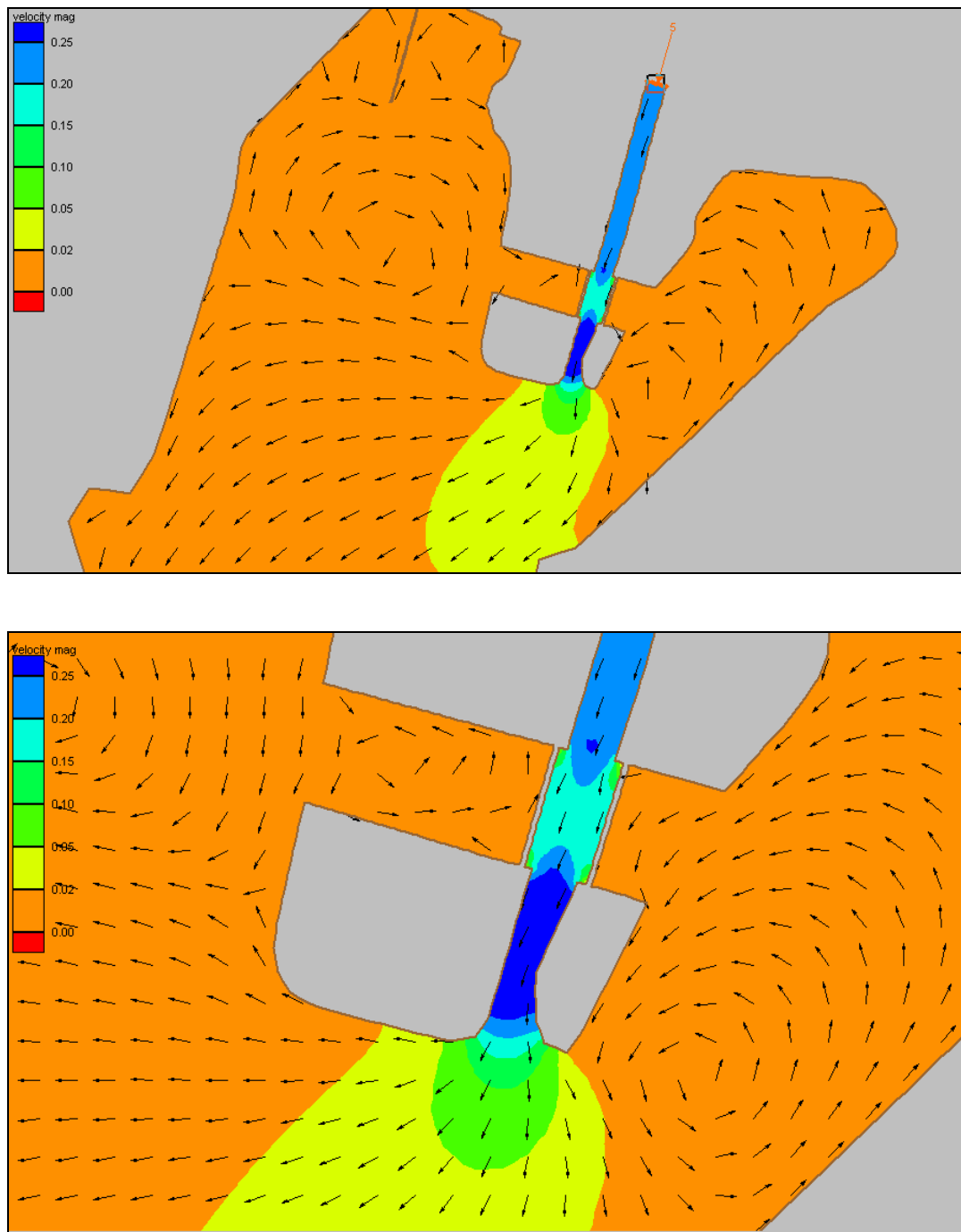
4.3.2 Ferdig tunnelprosjekt: Scenariene 4-6

For å unngå en 3-delning av Akerselvas utløp vil man sperre for sideveis utstrømming til Bjørvika og Bispevika med bruk av voller. For modellkjøringene ble forutsatt at vollene bygges skrått opp fra elvebunnen som i Akerselva vil være på kote -3, og at selve toppen av vollene blir trukket ca. 4 m tilbake i forhold til nåværende elveløp (etter at modellkjøringene ble gjennomført er det vedtatt at vollen mot Bjørvika skal følge nåværende elvebredde – se kommentar nedenfor). På den siden av vollen som vender mot Bjørvika blir bunnen på kote -6 og mot Bispevika ligger bunnen på kote -7 (se **Figur 8**, nedre figur).

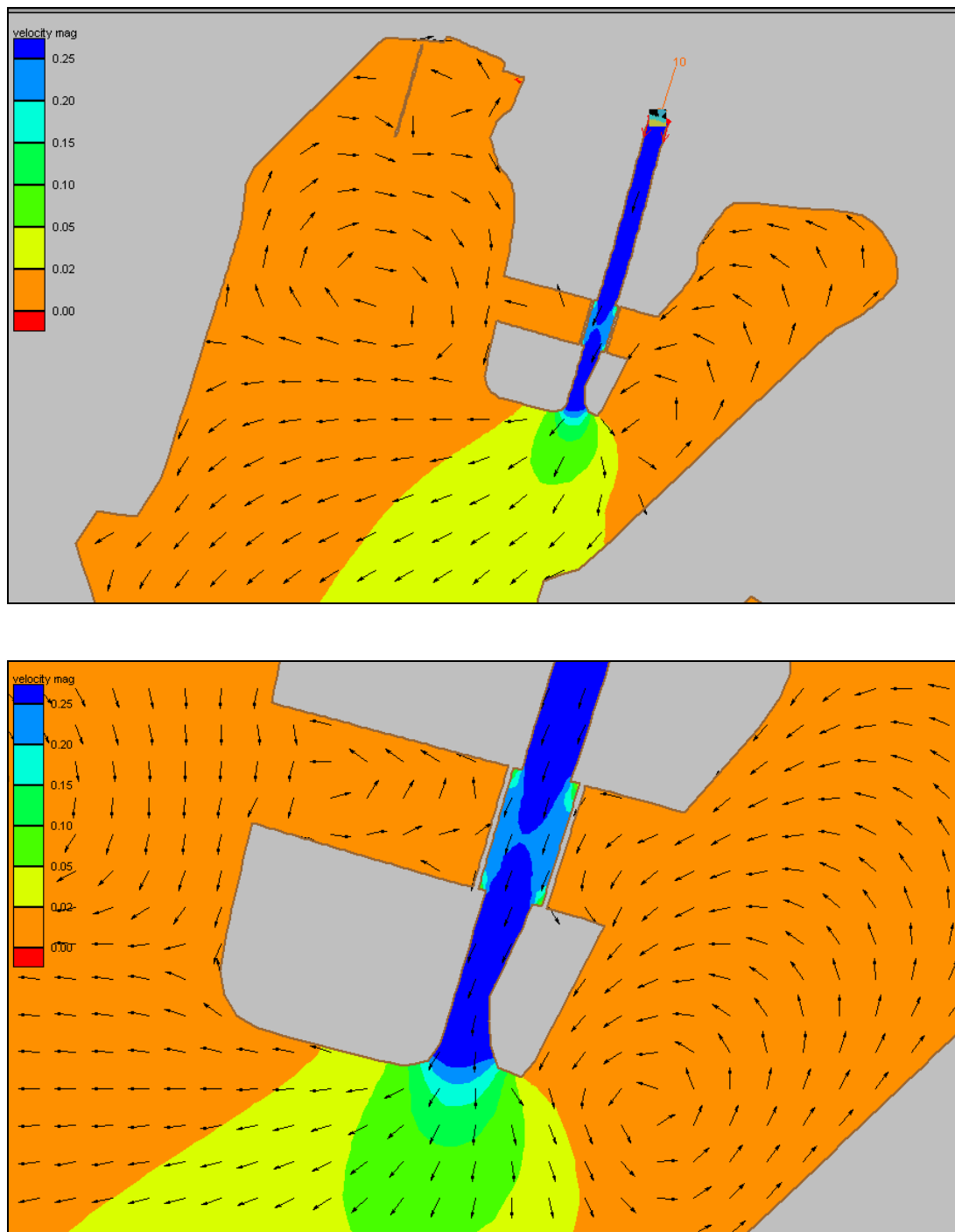
Sirkulasjonen i overflatelaget med bruk av voller er ellers simulert med samme topografi, samme koeffisienter og samme vannføringer som for Scenariene 1-3, og resultatene er vist i **Figur 8-Figur 10**. Vollene vil fungere etter hensikten og dagens utstrømming og munnings sirkulasjon vil bli gjenopprettet. Vi vil imidlertid påpeke to forhold:

1. Etter at beregningene ble fullført er det besluttet at vollen mot Bjørvika skal følge nåværende elvebredde, noe som er gunstig sett i forhold til fiskens vandring gjennom området. Ved lav og moderat vannføring kan det oppstå en mindre bakevje på sidene for innløp og utløp ved vollen mot Bispevika som er trukket noe tilbake i forhold til elveløpet lenger nord og sør. For å unngå bakevjer vil det være gunstig å utforme en gradvis endring av bredden ved innløp og utløp og/eller flytte vollen enda nærmere det nåværende elveløpet.
2. Mellom vollen som sperrer mot Bjørvika og selve Bjørvika vil der være et vannareal med relativt liten sirkulasjon og lav vannfornyelse. I mindre grad gjelder dette Bispevika.

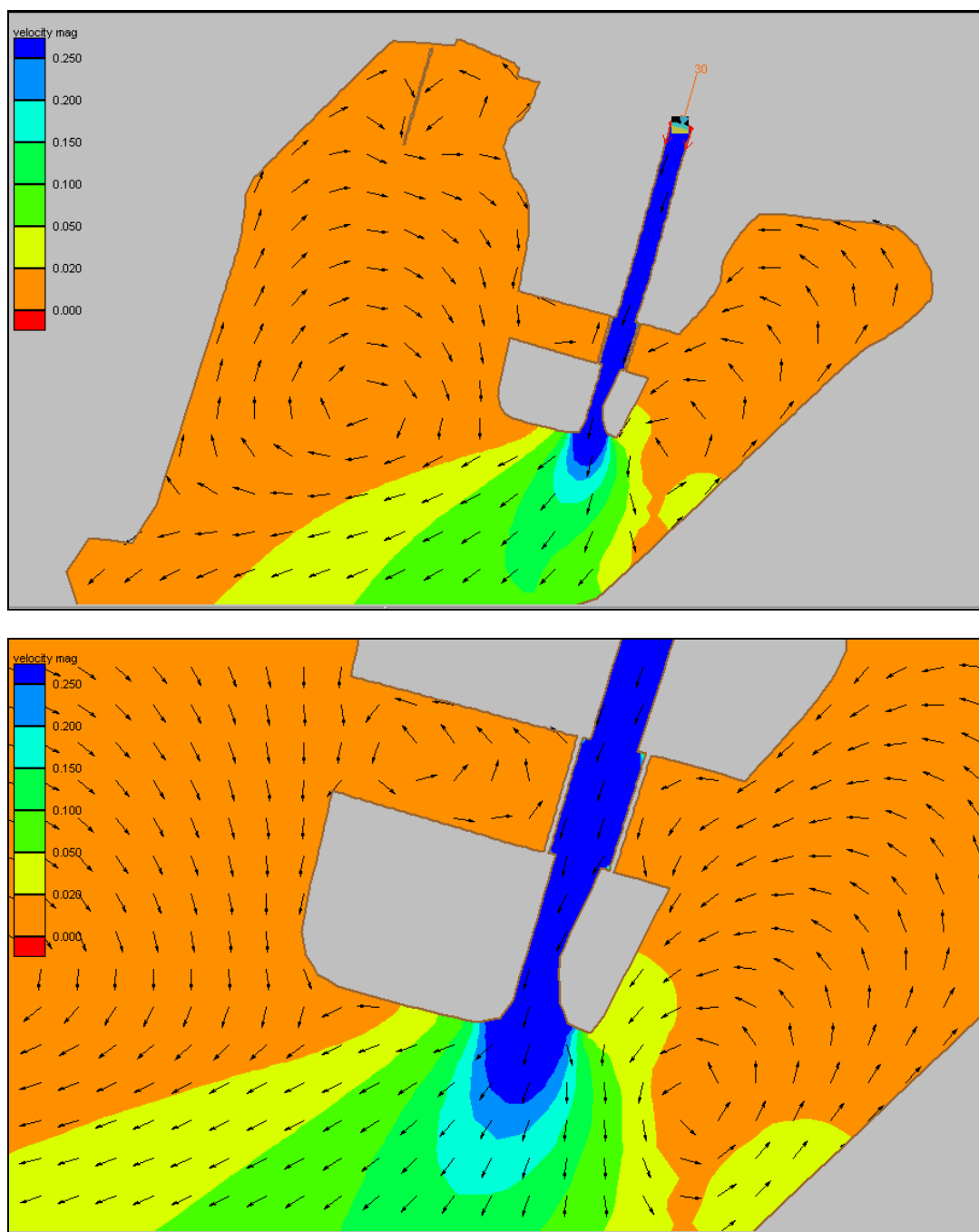
For sirkulasjonen i overflatelaget i Bispevika medfører bruk av voller at den nåværende sirkulasjonen i alt vesentlig blir beholdt. Det samme gjelder for Bjørvika, med unntak for de endringer som operabygget vil medføre i vikas nordre del (Molvær og Bjerkgeng, 2003). Operabygget vil ikke påvirke overflatesirkulasjon og strømningsforhold i Akerselvas munningsområde.



Figur 8. Simulering av vannsirkulasjon i 0-1 m dyp ved utgraving for tunnel gjennom utstikkerne og en vannføring på $5 \text{ m}^3/\text{s}$ i Akerselva. Voller sperrer for utstrømming mot Bjørvika og Bispevika. Strømretningen er vist med piler mens hastigheten er vist med en fargeskala (se øvre venstre hjørne av figurene og med enhet m/s). Nedre figur fokuserer på kanalområdet.



Figur 9. Simulering av vannsirkulasjon i 0-1.5 m dyp ved utgraving for tunnel gjennom utstikkerne og en vannføring på $10 \text{ m}^3/\text{s}$ i Akerselva. Voller sperrer for utstrømming mot Bjørvika og Bispevika. Strømretningen er vist med piler mens hastigheten er vist med en fargeskala (se øvre venstre hjørne av figurene og med enhet m/s). Nedre figur fokuserer på kanalområdet.



Figur 10. Simulering av vannsirkulasjon i 0-2 m dyp ved utgraving for tunnel gjennom utstikkerne og en vannføring på 30 m³/s i Akerselva. Voller sperrer for utstrømming mot Bjørvika og Bispevika. Strømretningen er vist med piler mens hastigheten er vist med en fargeskala (se øvre venstre hjørne av figurene og med enhet m/s). Nedre figur fokuserer på kanalområdet.

5. Strømforhold ved bunnen i deponiområder for leir- og siltmasser

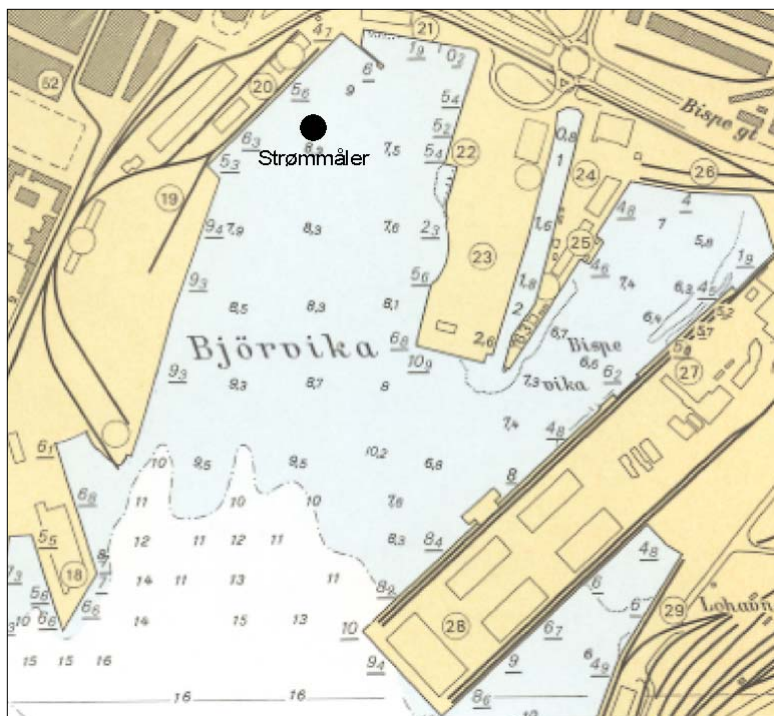
Indre deler av Bjørvika og av Bispevika kan bli brukt som deponiområder for forurensede leir- og siltmasser. I Bjørvika vil toppen av deponiet ligge i 6 m dyp, mot 4 m dyp for deponiet i Bispevika. Massene skal overdekkes med geotekstil og 1 m ren sand. Planlegging av denne overdekkingen forutsetter kunnskap om strømforholdene i området.

I tidsrommet 27.7-31.8 2001 var en selvregistrerende strømmåler av type Aanderaa RCM9 utplassert på 4.5 m dyp i Bjørvikas indre del (**Figur 11**). Resultatene viste gjennomgående svak strøm, men med korte perioder med høyere hastigheter (**Figur 12**). Strømmens hastighet varierte mellom 0-16 cm/s, med 1.6 cm/s som gjennomsnitt. I 90 % av tiden var strømhastigheten mindre eller lik 3 cm/s. Strømmens retning lå oftest i sektoren vest-nord-øst, og med en noe lavere frekvens mot sør til sørøst (for detaljer se Molvær et al., 2002).

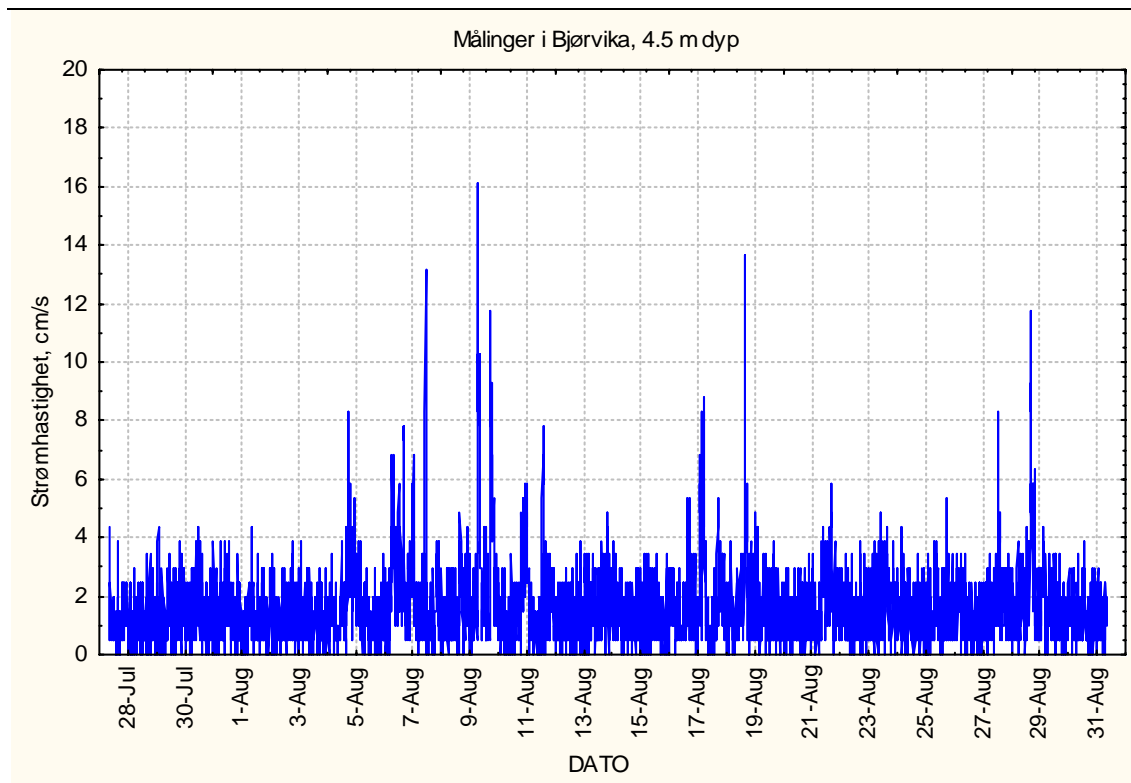
Noen målinger av kortvarig sterk strøm ble gjort samtidig med høy turbiditet. Dette tyder på at årsaken var at et større fartøy da manøvrerte i området og at propellen virvlet opp bunnsedimenter.

Det er ikke gjort tilsvarende målinger i Bispevika, men det er all grunn til å anta at strømforholdene i hovedsak er som i Bjørvika – sannsynligvis med noe lavere strømhastighet.

For begge deponier gjelder dermed at under normale forhold er strømhastigheten for liten til at overdekkingen blir hvirvlet opp og flyttet. Det er mulig at manøvrering av større (dyptgående) fartøy i nærheten av deponiene kan skape kortvarige situasjoner da strømfyrken nær bunnen er så stor at sanden kan virvles opp



Figur 11. Posisjon for strømmåler i juli-august 2001.



Figur 12. Strømhastighet i ca. 4,5 meters dyp i Bjørvika juli-august 2001. Jevnt over er hastigheten mindre enn 4 cm/s. Kortvarige episoder med sterk strøm kan opptre når skip manøvrerer inne i havnebassenget.

6. Oppsummering og konklusjoner

Ved nåværende forhold har Akerselva et framspringende utløp og fører en vel definert strøm ut i fjorden. Både i Bjørvika og i Bispevika bidrar denne strømmen til langsomme virvler, som i praksis ofte endres pga. av virkning av vind og tidevann.

Den planlagte senketunnelen vil bli gravd gjennom Bjørvikautstikkeren og Paulsenkaia som en ca. 50 m bred kanal og vil føre til at selve utløpet trekkes innover, men etterlater to ”øyer” litt utenfor den nye munningen. Dette endrer vannsirkulasjonen i Akerselvas utløpsområde vesentlig fordi det meste av elvevannet vil strømme direkte ut i Bjørvika og Bispevika. Bare en mindre del av elvevannet finner veien sørover gjennom det tidligere utløpet. På vei ut av Akerselva (som smolten om våren) og ved vandring opp i elva må fisken passere munningsområdet. En 3-delning av utløpet er ansett som mindre gunstig i forhold til vandringen av fisk.

For å gjenopprette situasjonen med utstrømming gjennom ett utløp er det vedtatt å bygge voller for hindre utstrømming direkte til Bjørvika og til Bispevika. Det er derfor gjort simuleringer av overflatesirkulasjonen i munningsområdet i byggeperioden uten voller – og for ferdigstilt prosjekt da slike voller er på plass. Simuleringene er gjort for vannføringene 5 m³/s, 10 m³/s og 30 m³/s. De to laveste antas å være typiske for vannføringer da smolt om våren vandrer ut av Akerselva og for lokkeflommer som skal få fisk til å vandrer opp i elva. Man skal være forsiktig med å tolke beregningene av strømhastighetene absolutt fordi dette vil forutsette en mer inngående kalibrering av modellen. Resultatene viser imidlertid at i byggeperioden kan det meste av elvevannet strømme direkte ut til Bjørvika og til Bispevika, og en mindre andel finne veien gjennom det nåværende utløpet. Varigheten vil være 1-2 år. Ved ferdigstilt prosjekt vil vollene gjenopprette vannutstrømmingen og sirkulasjonen ved det nåværende utløpet av Akerselva.

Fra starten av fant man at bygningstekniske forhold kunne gjøre det nødvendig å trekke vollene noe tilbake i forhold til dagens elveløp, og simuleringene ble derfor utført med voller som var trukket ca. 4 m tilbake i forhold til det nåværende elveløpet. Senere er det besluttet at vollen mot Bjørvika skal følge den nåværende elvebredden. Dette er en fordel i forhold til fiskens vandring gjennom området.

For sirkulasjonen i overflatelaget i Bispevika medfører bruk av voller at den nåværende sirkulasjonen i alt vesentlig blir beholdt. Det samme gjelder for Bjørvika, med unntak for de endringer som operabygget vil medføre i vikas nordre del (Molvær og Bjerkeng, 2003). Operabygget vil ikke påvirke overflatesirkulasjon eller strømningsforhold i Akerselvas munningsområde.

Mellom selve Bjørvika og vollen som sperrer for utstrømming til fra Akerselva Bjørvika vil det bli et område med relativt liten vannsirkulasjon. I mindre grad gjelder dette området mellom vollen og Bispevika.

For de planlagte deponiene i Bjørvika og i Bispevika viser strømmålinger at under normale forhold er strømhastigheten så liten til at overdekkingen blir liggende i ro. Det er mulig at manøvrering av større (dyptgående) fartøy i nærheten av deponiene kan skape kortvarige situasjoner da strømsstyrken nær bunnen er så stor at toppen av overdekkingen kan virvles opp

7. Litteratur

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

Molvær, J., Magnusson, J. og Muniz I.P, 2002. E18 mellom Festningstunnelen og Ekeberg tunnelen. Etappe 1, detalj- og reguleringsplan. Vannkvalitet og hensyn til naturmiljøet. NIVA-rapport nr. 4485-2002. 51 sider.

Molvær, J. og Bjerkeng, B., 2003. Opera i Bjørvika. Vurdering av vannutskiftning og vannkvalitet i operaens nærområde. NIVA-rapport nr. 4705-2003. 27 sider.

Schaanning, M.T., B. Bjerkeng, L. Golmen, J. Magnusson og A. Sundfjord, 1999. Vurdering av tiltak for å sikre vannkvalitet etter utbygging av E18 i senketunnel gjennom Bjørvika og Bispevika. NIVA-rapport nr. 4112-1999. 32 sider.

Schaanning, M.T., B. Bjerkeng, J. Magnusson og A. Sundfjord, 2000. E18 mellom Festningstunnelen og Ekeberg tunnelen. Tiltak for å sikre vannkvalitet etter utbygging av E18 i senketunnel gjennom Bjørvika og Bispevika. NIVA-rapport nr. 4250-2000. 35 sider.

Statens vegvesen Oslo (SvO) 2000. Miljøoppfølgingsprogram Etappe 1. E18 Festningstunnelen – Ekeberg tunnelen. Statens vegvesen Oslo. 36 sider.