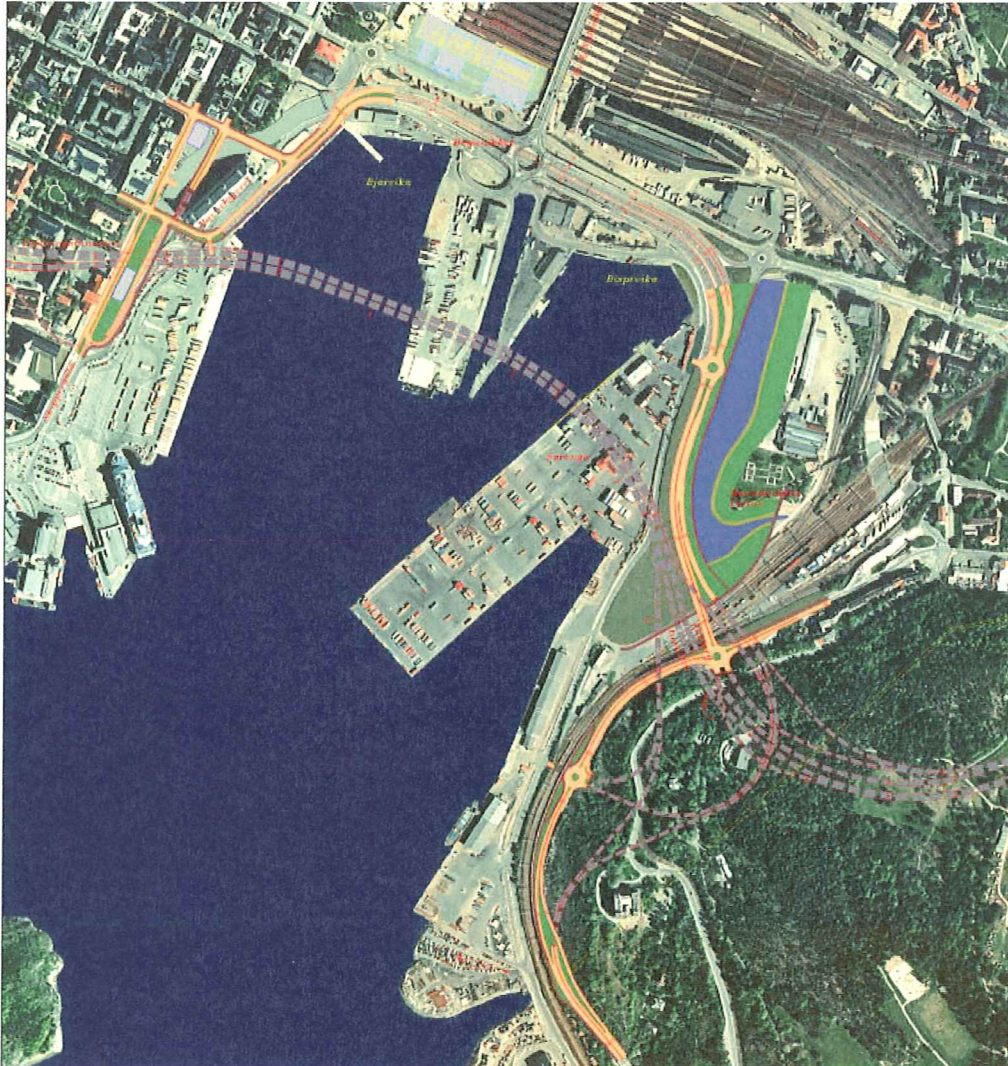




Statens vegvesen
Oslo

E18 mellom Festningstunnelen og Ekebergtunnelen Detalj- og reguleringsplan, etappe 1



VANNKVALITET OG HENSYN TIL NATURMILJØET

Vedlegg til reguleringsplan
Rapport nr. V5



AAS-JAKOBSEN

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
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-NIVA A/S

9015 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel E18 mellom Festningstunnelen og Ekebergstunnelen Detalj- og reguleringsplan, etappe 1. Vannkvalitet og hensyn til naturmiljøet.	Løpenr. (for bestilling) 4485-2002	Dato 20.2 2002
	Prosjektnr. Undernr. 21158	Sider Pris 48
Forfatter(e): Jarle Molvær, Ivar P. Muniz og Jan Magnusson	Fagområde Marint miljø	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Oslo	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Aas-Jakobsen A/S	Oppdragsreferanse Hans-Petter Kristiansen
--------------------------------------	---

<p>Sammendrag</p> <p>Prosjektets formål er å beskrive overflatesirkulasjon og vannkvalitet i Bjørvika og Bispevika før og etter utbygging av tunnel, samt vurdere virkninger på vandring og livsmønster for laks og sjørøret i området.</p> <p>Siktedypet og oksygenmengden i vannmassene i Bjørvika og Bispevika i 2001 varierte mye og må karakteriseres som god til dårlig. Dette skyldes både en lokal og en mer regional påvirkning. Anleggsperioden vil påvirke miljøtilstanden i området og virksomheten bør planlegges med sikte på minst mulig negative effekter både for vannkvalitet og for fisk som vandrer opp eller ut av Akerselva. Vannkvaliteten kan bli noe bedre etter at tunnelprosjektet er gjennomført, men mye avhenger av andre prosjekter i området. Tilstanden bør overvåkes både i anleggsperioden og senere. Det er viktig at overvåkingen koordineres både i forhold til andre prosjekter og med de etablerte overvåkingsprogrammene for indre Oslofjord og Akerselva.</p>

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Bjørvika	1. Bjørvika
2. Tunnel	2. Tunnel
3. Vannkvalitet	3. Water quality
4. Fiskebiologi	4. Fish biology


Jarle Molvær
Prosjektleder


Kristoffer Næs
Forskningsleder


Jens Skei
Forskningsdirektør

Forord

Statens vegvesen, Oslo, planlegger å bygge vegtunnel gjennom Bjørvika og Bispevika i indre Oslo havn. I den forbindelse er NIVA engasjert av Aas-Jakobsen A/S for å foreta en løpende vurdering av effekter av ulike utbyggingsalternativer på vannkvalitet. I en tidligere rapport (Schaanning et al. 2000) har man presentert feltobservasjoner fra Bjørvika sommeren 1999. Sammen med planene for utbygging ble feltobservasjonene benyttet i en vurdering av effekter og behov for tiltak. Den foreliggende rapporten oppdaterer disse vurderingene i forhold til endrede utbyggingsplaner. Videre inneholder rapporten vurderinger av hvilke konsekvenser vegprosjektet kan få for vandring og livsmønster for laks og sjø-ørret omkring Akerselvas munningsområde og i Akerselva.

Omtalen av vannutskiftning og vannkvalitet er ved Jan Magnusson, NIVA, mens de fiskebiologiske forholdene er vurdert av Ivar Pors Muniz, NINA-NIKU. Jarle Molvær, NIVA, har utført beregningene av vannsirkulasjonen etter utbygging og har ledet prosjektet siden 1.8.01 da han tok over for Morten Schaanning, NIVA.

Kontaktperson hos Statens vegvesen Oslo har vært Turid Winther-Larsen.

Oslo, 20.2 2002

Jarle Molvær

Innhold

Sammendrag.....	5
1. Innledning	6
2. Topografi og utbyggingsplaner	7
3. Vannføring i Akerselva	10
3.1. Generell beskrivelse	10
3.2. Vannføring i 2001	13
3.3. Vannføring i forhold til utvandring av fisk	13
4. Vannutskifting og vannkvalitet i området før utbygging	14
4.1. Måleprogrammet 1999-2000	14
4.2. Måleprogrammet i 2001	14
4.3. Resultater	16
4.3.1. Vannmasser og sirkulasjon i Bjørvika og Bispevika	16
4.3.2. Vannkvalitet	22
5. Overflatesirkulasjon før og etter utbygging.....	26
5.1. Metodikk	26
5.2. Data	28
5.3. Simuleringer av sirkulasjon i overflatelaget	30
5.4. Sammenfatning	33
6. Utbyggingens direkte og indirekte virkninger på vandringer og livsbetingelser for laks- og sjørret i tiltaksområdet.....	34
6.1. Historikk	34
6.2. Fiskeforhold	36
6.3. Mulige konsekvenser at utbyggingen	37
7. Oppsummering, konklusjoner og anbefalinger	40
7.1. Nåværende sirkulasjon, vannkvalitet og vandring av fisk	40
7.2. Framtidig sirkulasjon, vannkvalitet og vandring av fisk	40
7.3. Anbefalinger	41
8. Litteratur	43
Vedlegg A.	45

Sammendrag

Statens vegvesen Oslo planlegger å bygge en vegtunnel i bunnen av Bjørvika og Bispevika i indre Oslo havn. Den foreliggende rapporten er utarbeidet på oppdrag for Aas-Jakobsen A/S og bygger på tidligere studier samt feltarbeid sommer-høst 2001 med sikte på å beskrive og vurdere:

- *Overflatesirkulasjonen i Bjørvika og Bispevika før og etter utbygging av tunnel*
- *Vannkvaliteten i Bjørvika og Bispevika før og etter utbygging av tunnel*
- *Konsekvenser for vandring og livsmønster for laks og sjøørret som følge av inngrep i Akerselvas munningsområde.*

Undersøkelsen har omfattet siktedyp og oksygen og målt med de norske kriteriene for vannkvalitet er forholdene Mindre gode - Dårlige. Sammenligning med målinger på stasjoner i nærliggende deler av indre Oslofjord viser en generell samvariasjon mellom tilstanden på disse og forholdene i Bjørvika og Bispevika. For siktedyp kommer en lokal påvirkning av turbid elvevann og periodevis avrenning av partikkelholdig vann fra gater i tillegg.

Påvirkningen av vannmassen og fiskebiologiske forhold i forbindelse med tunnelprosjektet kan inndeles i to faser: Anleggsfasen og ettertiden. Anleggsfasen kan være en kritisk periode mht. vannkvalitet og virkninger på inn- og utvandring av fisk. For vannkvaliteten er trolig oksygen, partikler og muligens miljøgifter (i tilfelle oppvirvling av sterkt forurensede bunnsedimenter) de viktigste parameterne. For fiskens vandring gjennom området (utvandring av smolt i mai-juni, gyteoppgangen i september-november) er det viktig å legge til rette tidsrom da den ikke møter unødige problemer pga. dårlig vannkvalitet og eller sterk støy. Det er mulig at levetilstandene for fisken periodevis forringes vesentlig i anleggsperioden, og i verste fall med fiskedød som resultat. Risikoen for dette må vurderes og om nødvendig overvåkes.

I dag har Akerselva et framspringende utløp og fører en vel definert strøm ut i fjorden. Både i Bjørvika og i Bispevika skaper strømmen langsomme virvler, som ofte endres pga. av virkning av vind og tidevann. Ved ny utforming av utløpsområdet for Akerselva kan de ytterste delene av Bjørvikautstikkeren og Paulsenkaia bli liggende igjen. Dette gir en tredeling der mest av elvevannet går det østlige og det vestlig utløpet og en mindre del i mer sentralt løp ut i bassenget som nå. For fiskens del er antagelig konsekvensen at ferskvannsstrømmen i dens oppmarsjonsområde blir mer diffus/spredt slik at oppgangen blir mindre rettet enn nå. På den bakgrunn vil vi derfor anbefale at de to gjenstående delene av kaiene av fjernes. Etter utbyggingen bør sirkulasjonen i overflatelaget beskrives på nytt.

Tunnelprosjektet og aktivitetene som Oslo havnevesen (Mudring av bunnsedimenter) og Statsbygg (Operaen) planlegger i Bjørvika og Bispevika bør koordineres med sikte på en helhetlig plan til beste for vannmiljøet i området. Overvåkingen av tilstanden i området bør også koordineres med overvåkingsprogrammet for indre Oslofjord og overvåking av Akerselva.

1. Innledning

Statens vegvesen Oslo (SvO) planlegger å bygge en vegtunnel i bunnen av Bjørvika og Bispevika i indre Oslo havn. I sitt miljøoppfølgingsprogram har SvO satt klare mål mht. å unngå forringelse av vannkvalitet og unngå skader og forstyrrelse av dyre og planteliv (SvO 2000). I den forbindelse er NIVA engasjert av Aas-Jakobsen A/S for å foreta en løpende vurdering av effekter av ulike utbyggingsalternativer på vannkvalitet og biologiske forhold i området. Tidligere rapporter er avgitt i 1999 og i 2000 (Schaanning et al. 1999, Schaanning et al. 2000).

Den foreliggende rapporten bygger på de foregående studier samt feltarbeid sommer-høst 2001 med sikte på å beskrive og å vurdere:

1. *Vannkvaliteten i Bjørvika og Bispevika før og etter utbygging av tunnel:* En videreføring av arbeid påbegynt i 1999-2000.
2. *Overflatesirkulasjonen i Bjørvika og Bispevika før og etter utbygging av tunnel:* Særlig med sikte på å beskrive hvordan gjennomskjæring av Bjørvikautstikkeren og Paulsenkaia med senketunnel kan endre overflatesirkulasjonen ved munningen av Akerselva.
3. *Konsekvenser for vandring og livsmønster for laks og sjøørret som følge av inngrep i Akerselvas munningsområde:* Dels en generell beskrivelse av livsmønsteret og dels en vurdering av konsekvenser der resultater fra prosjektene 1-2 trekkes inn. Denne delen av prosjektet fullføres etter noe mer feltarbeid våren 2002.

Foruten disse temaene inneholder rapporten også anbefalinger om avbøtende tiltak samt koordinering av utbyggingsprosjektet og miljøovervåking med andre prosjekter som planlegges i indre Oslo havn.

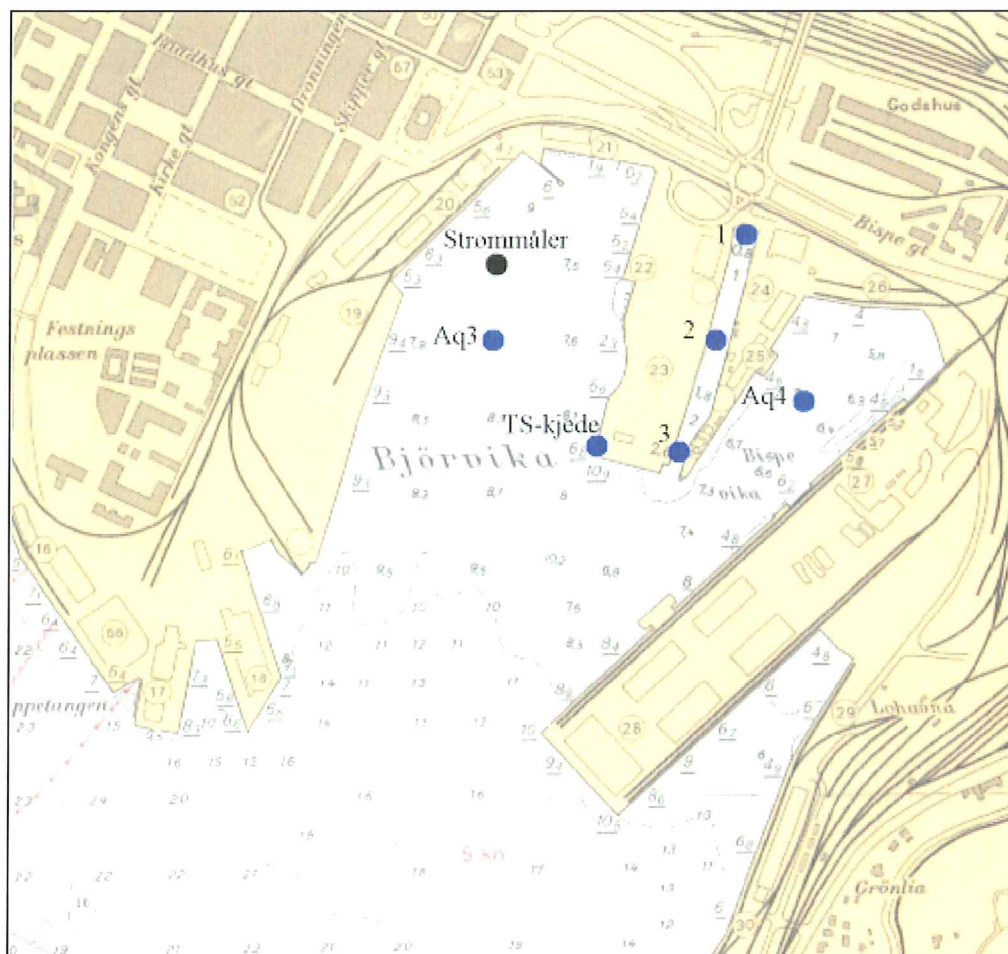
2. Topografi og utbyggingsplaner

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.

	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	

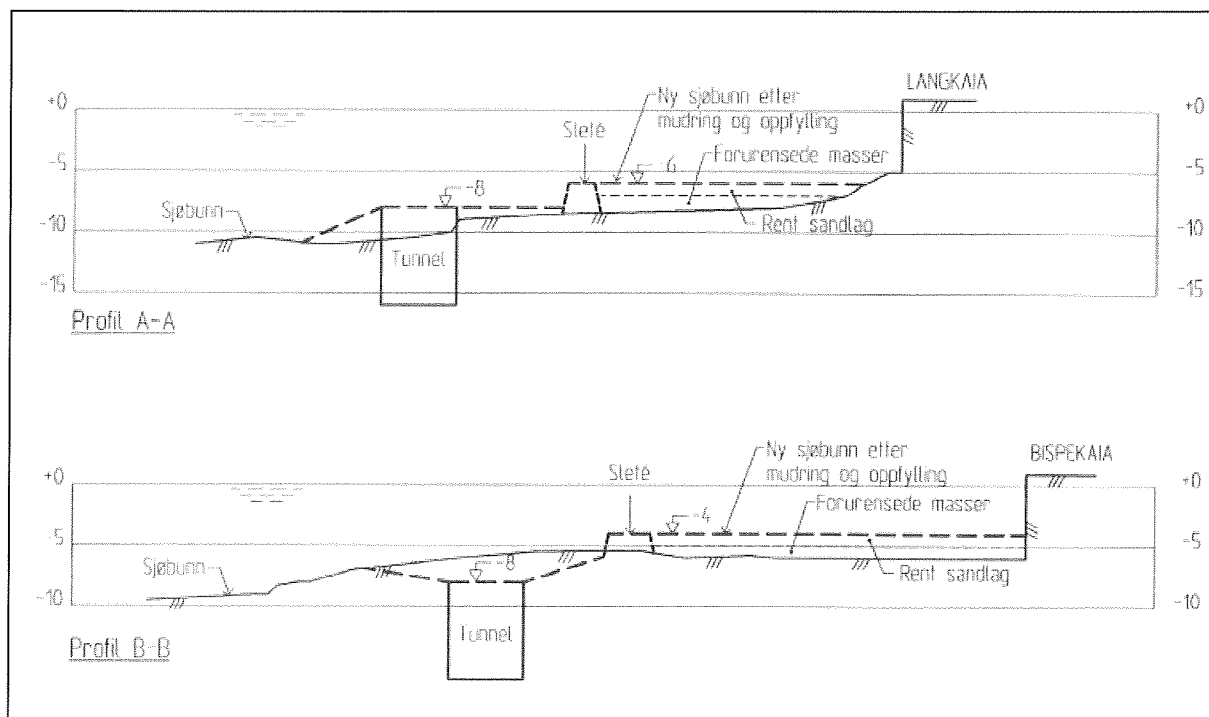
Eksisterende topografi med inntegnede planer for senketunnelen er vist i **Figur 2** og **Figur 3**. Ved kaikanten på Bjørvikas vestsida dukker tunnelen ned under sjøbunnen og fortsetter fullstendig nedgravd gjennom resten av Bjørvika (ca 150 m), videre under Bjørvikautstikkeren, Akerselva og Paulsenkaia. Man planlegger å fylle opp over senketunnelen og innerst i vikene med rene leire- og siltmasser fra utgravingen av tunneltraseen (overskuddsmasser) eller masser fra Oslo havnevesens oppmudring – hvis ikke disse i sin helhet plasseres i dypvannsdeponi. Tilbakefylling over senketunnelen og deponi/oppfylling i vikene vil gi en sjøbunnstopografi med flere sprang (trappetrinn). I Bjørvika får man kote -10 m utenfor tunneltraseen, kote -8 m over tunnelen og kote -6 m ved deponiet innenfor. I Bispevika vil deponiet ligge på kote -4 m. Ved Akerselvas utløp vil sjøbunnen ligge på ca. kote -9 m der tunnelen krysser for brått å stige til kote -2 m. Denne overgangen vil komme lenger opp i elvas utløp enn dagens situasjon.



Figur 1. Stasjonsnett i Bjørvika/Bispevika. TS-kjeden var i bruk i 1999, mens det i 2000 – 2001 ble tatt prøver og gjort målinger ved øvrige stasjonene

Slik oppfylling innenfor tunnelen berører vannkvalitetsproblematikken på flere måter. Først og fremst blir volumene av vannmassene i Bjørvika og Bispevika noe mindre enn før. Dermed vil oksygenforbrukende materiale i sedimentene bli redusert ved at sedimenter med høyt innhold av organisk materiale, erstattes med sand og stein. Dette vil trolig gi redusert oksygenforbruk på kort sikt, men varig redusert oksygenforbruk vil bare kunne oppnås ved at tilførselene av organisk materiale reduseres. Heving av sjøbunnen vil kunne medføre noe sterkere bunnstrøm og dermed noe mindre akkumuleringen av organiske partikler på toppen av deponiene.

For å skjerme tunnelen mot sammenstøt med store båter ble det i en tidligere fase av prosjektet vurdert å bygge skipsstøtvoller. Nå som tunnelen i sin helhet blir liggende under bunnen, er slike voller ikke lenger aktuelle. Derimot er det planlagt en skipsstøtvoll på sørsiden av Operaen.



Figur 3. Sjøbunnsprofil for Bjørvika og Bispevika, regnet fra sør mot nord. Profilene A-A og B-B er vist i Figur 2.

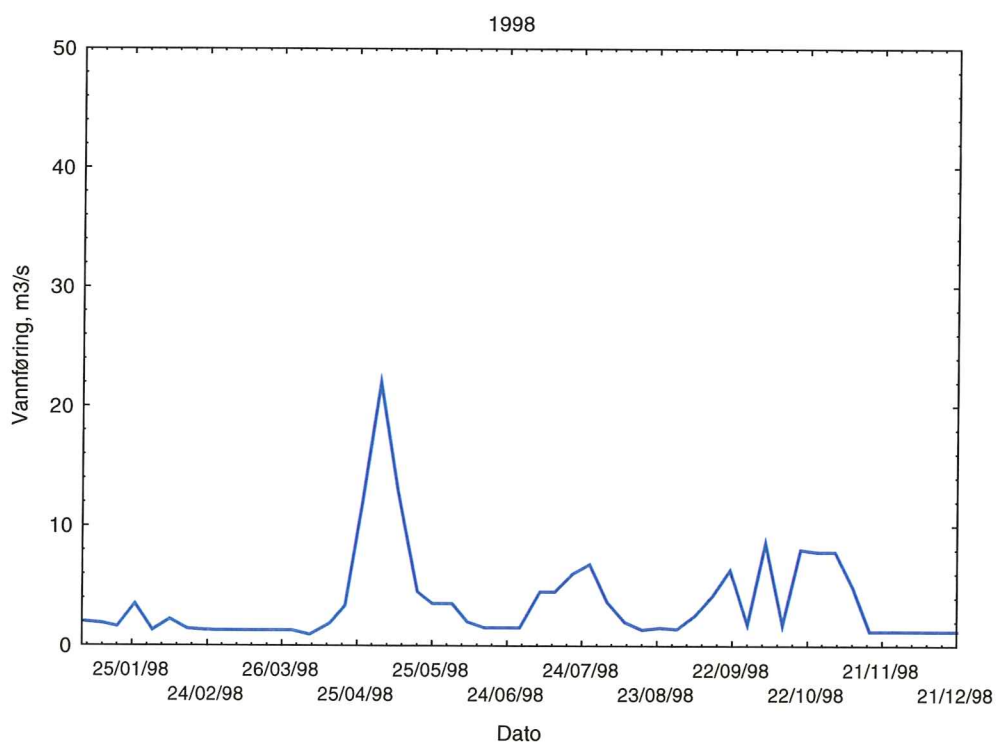
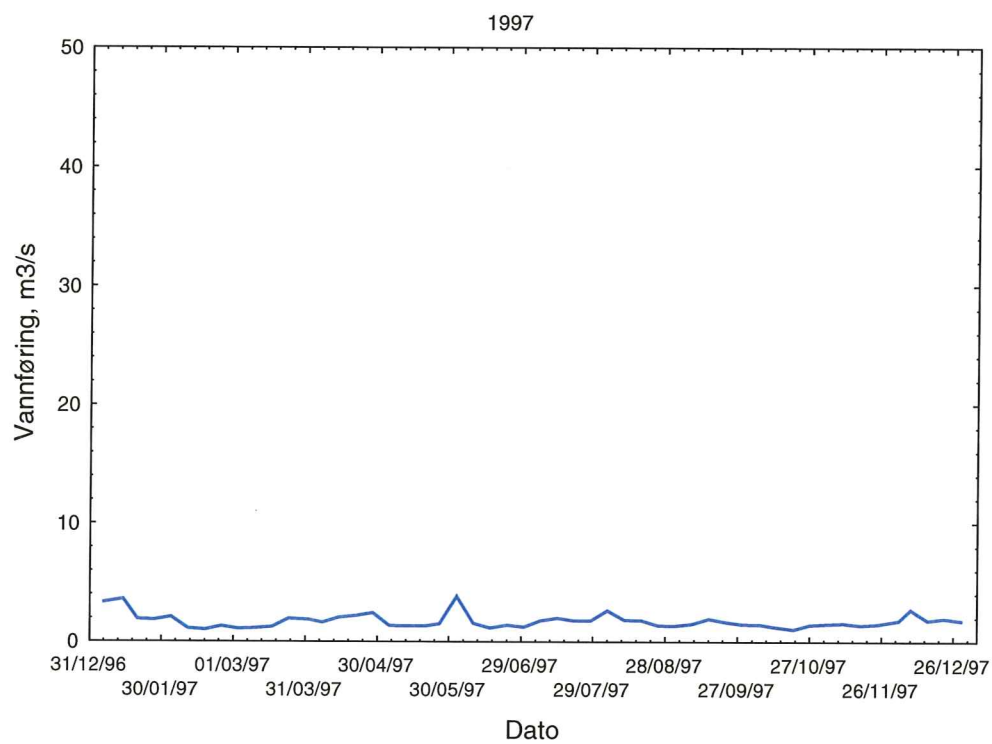
3. Vannføring i Akerselva

Vannføringen i Akerselva varierer svært mye, avhengig av nedbørmengde og snøsmelting om våren. Pålagt minstevannføring er $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ og under flom stiger den til $40\text{-}50 \text{ m}^3/\text{s}$. I 2001 var vannføringen relativt lav i tidsrommet juni-september etterfulgt av en høstflom (ca. $25 \text{ m}^3/\text{s}$) i oktober.

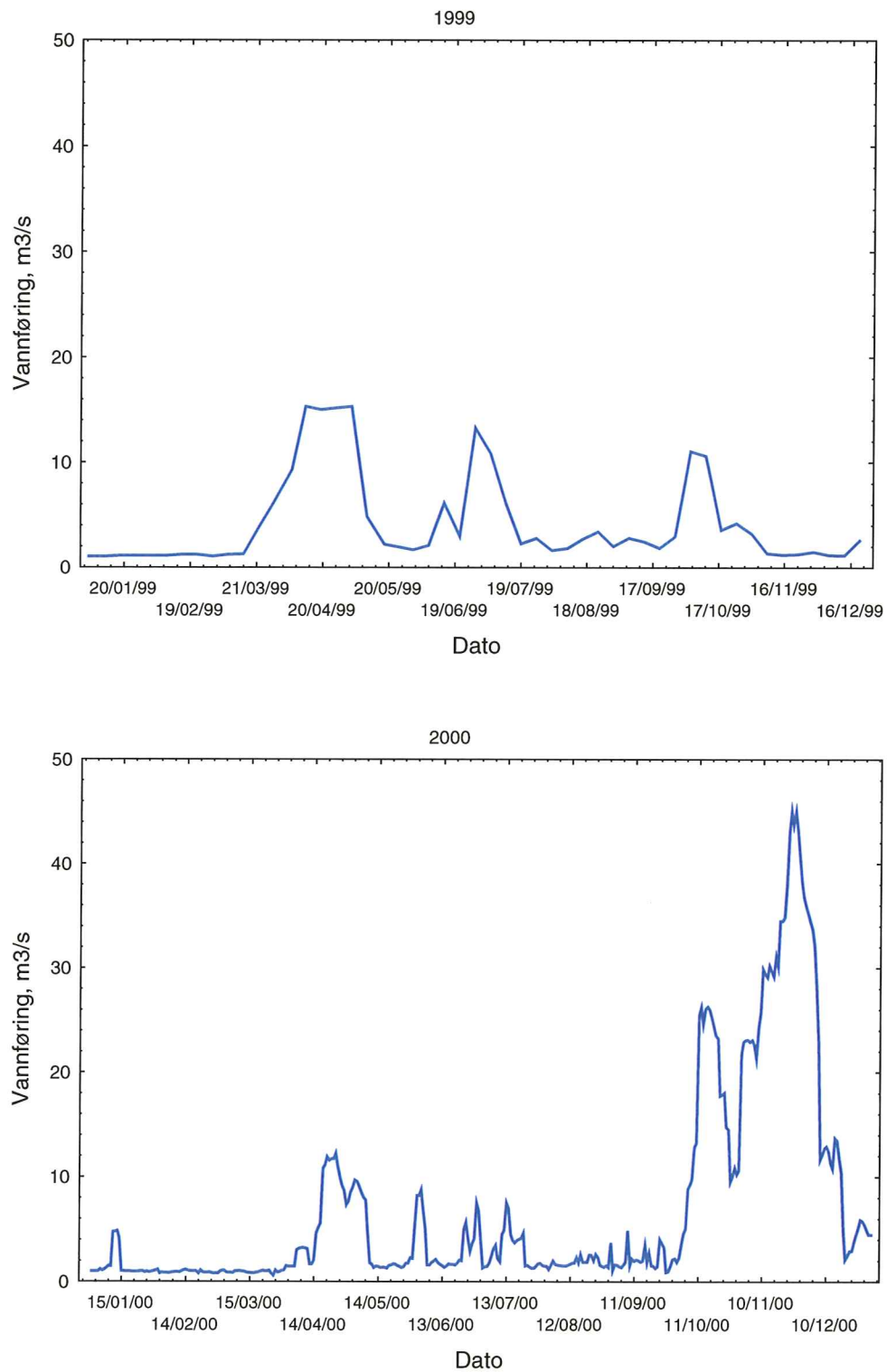
3.1. Generell beskrivelse

Vannføringsdata fra Akerselva er framskaffet av Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten. Vannføringen varierer gjennom sesongen avhengig av nedbørmengden og snøsmeltingen om våren. Tidsrommet 1997-1999 (med relativt varme vintre) antas å gi en tilnærmet normal bilde av vannføringens årsvariasjoner, med høy vannføring om våren og til dels om høsten, men vanligvis lav om vinteren og sommeren (**Figur 4** og **Figur 5**). I tillegg kommer kommunens uttak av drikkevann fra Maridalsvannet. Høsten 2000 var preget av eksepsjonelt store vannmengder.

Pålagt minstevannføring i Akerselva er nå $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$. 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 havnebasenget og spesielt fiskevandringene til og fra elva. Ved lav vannføringen er overflatestrømmene i havneområdet helt dominert av flo- og fjære, vind og lufttrykk.



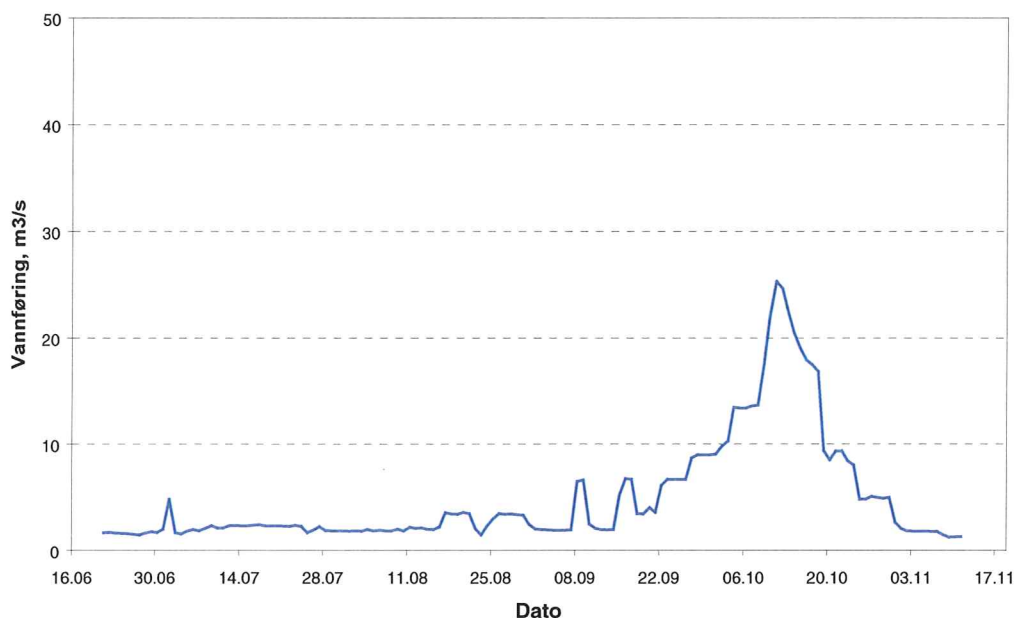
Figur 4. Vannføring i Akerselva for perioden 1997-1998 (data fra Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten)



Figur 5. Vannføring i Akerselva for perioden 1999-2000 (data fra Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten)

3.2. Vannføring i 2001

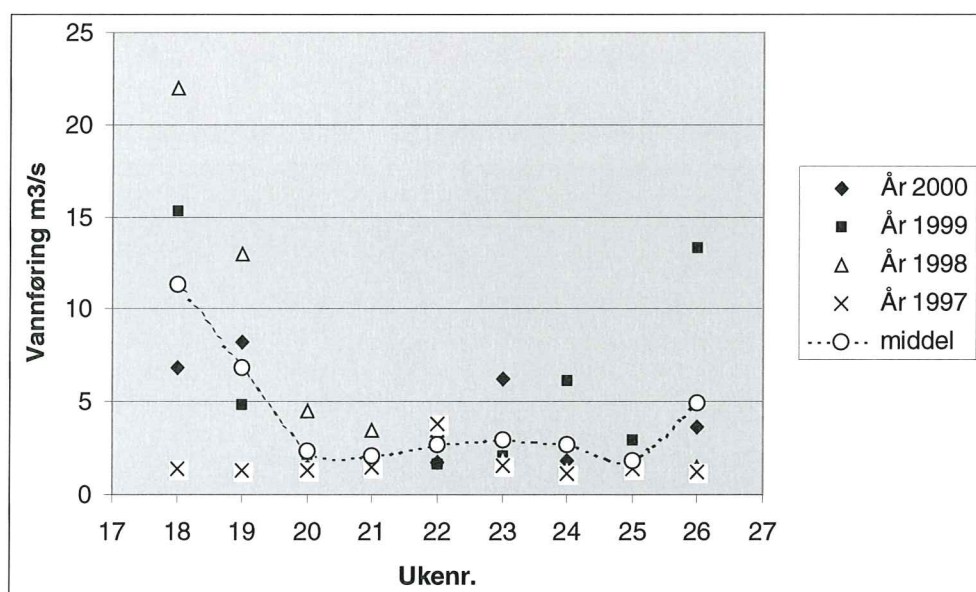
Mens feltmålingene foregikk i 2001 var vannføringen relativt lav i tidsrommet juni-september etterfulgt av en høstflom i oktober (**Figur 6**).



Figur 6. Vannføringen i Akerselva sommer-høst 2001 (data fra Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten).

3.3. Vannføring i forhold til utvandring av fisk

Lakseyngel svømmer ned Akerselva ut i fjorden hver vår, oftest i mai. Vannføringen er da oftest omkring 5 m³/s eller lavere (**Figur 7**), og legges til grunn for simuleringer av overflatesirkulasjonen ved ny utforming av utløpsområdet for elva.



Figur 7. Ukemidler for vannføring i Akerselva i mai-juni (uke 18-26) for årene 1997-2000.

4. Vannutskifting og vannkvalitet i området før utbygging

Hensikten med å kartlegge vannkvaliteten er å dokumentere tilstanden i området før utbyggingen, samt bidra til grunnlaget for de fiskebiologiske vurderingene. Bedømt ut fra siktedypet er vannkvaliteten i Bjørvika og Bispevika dårlig. Oksygenforholdene var i 2001 jevnt over meget gode, men i et kort tidsrom i september-oktober var tilstanden dårlig. Sannsynligvis skyldes dette innstrømning av oksygenfattig vann fra områder utenfor Bjørvika/Bispevika og ikke et stort lokalt oksygenforbruk.

4.1. Måleprogrammet 1999-2000

For å få bedre informasjon om forholdene i Bjørvika ble det i 1999 lagt inn ekstra observasjoner i det ordinære miljøovervåkingsprogrammet for indre Oslofjord. Utvidelsen besto i å observere siktedyp, dypprofil av temperatur og saltholdighet (CTD) ca. en gang i uka i perioden 1.6. til 30.8.1999. I tillegg ble det i mai 1999 satt ut et instrument (TS-kjede) som målte tilnærmet kontinuerlig vannets temperatur og saltholdighet i fem faste nivåer. Hensikten var å kartlegge korttidsvariasjonene i sjiktningen i området. Resultatene fra undersøkelsene i 1999-2000 er rapportert i Schaanning et al. (2000) og posisjonen for stasjonen i Bjørvika og for TS-kjeden er vist i **Figur 1**.

4.2. Måleprogrammet i 2001

I 2001 ble observasjonsprogrammet endret i forhold til tidligere år. Det ble gjort målinger i munningen av Akerselva, Bjørvika og Bispevika for dels å skaffe informasjon om sjiktning og strøm til støtte for de fiskebiologiske vurderingene, dels observasjoner av overflatestrømmer for å sammenligne resultatene fra disse med en strømmmodell. Undersøkelsene som er knyttet til de fiskebiologiske vurderinger vil forsette våren 2002. Måleprogrammet for 2001 beskrives mer i detalj nedenfor.

Vertikalprofiler av temperatur og saltholdighet

Vertikalprofiler av sjøens temperatur og saltholdighet midt i Bjørvika og Bispevika (stasjon Aq3 og Aq4, **Figur 8**) ble målt med sonde (Seabird SBE19). I 2001 ble det også tatt observasjoner i Bispevika (stasjon Aq4). Måledatoene var:

Juni:	6., 11., 19., 26.
Juli:	3., 10., 17., 24., 31.
August:	7., 14., 21., 28.
September:	5., 12.
Oktober:	22.10.

Målingene ble gjort fra båt, og fra overflaten og til bunn med intervall på 0.1-0.2 m. Siktedyp ble målt med sikteskive til samme tidspunkter og på samme posisjon som CTD-målingene.

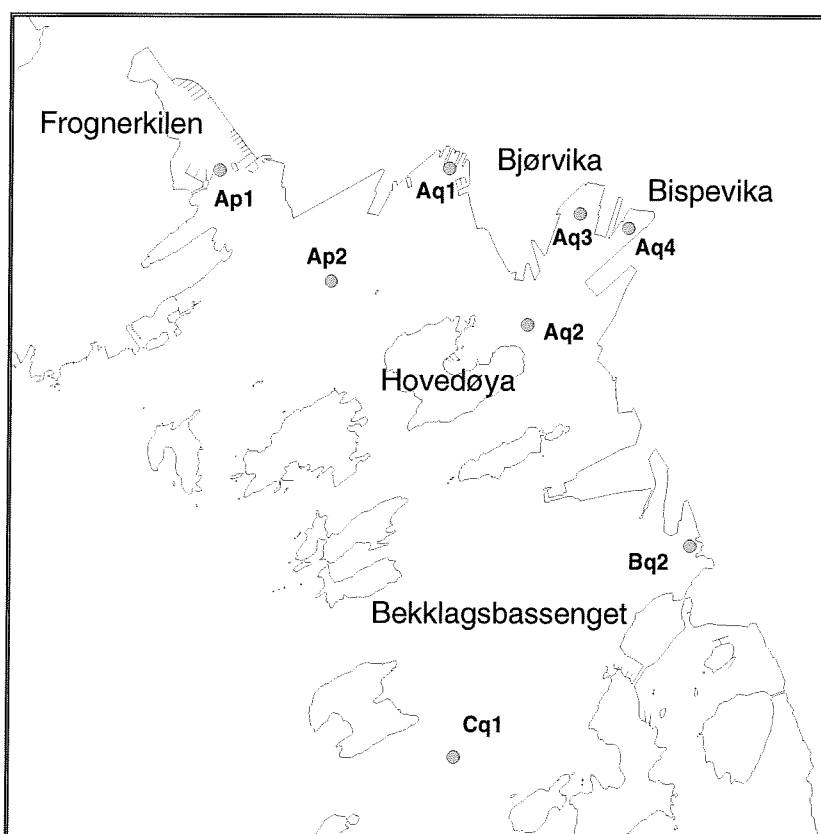
Oksygenmålinger

I 1999-2000 ble oksygenmålingene i Bjørvika utført med en YSI oksygensensor. Sensoren viste noe lavere konsentrasjoner enn forventet og det ble besluttet å følge opp med mer nøyaktige målinger i 2001. Sommer og høst 2001 ble oksygen målt i Bjørvika (stasjon Aq3) og Bispevika (stasjon Aq4) ved bruk av en metode basert på kjemisk titrering ("Winkler-metoden"). Vannprøver for Winkler-titrering ble tatt ca. 1 m over bunnen på de to stasjonene i perioden juni-oktober.

Oksygenobservasjoner fra overvåkingsprogrammet for indre Oslofjord tatt i Bekklagsbassenget (**Figur 8**) i 1999-2001 er også blitt brukt i vurderingene.

Strømmåler i Bjørvika

En strømmåler (type Aanderaa RCM9) ble plassert i Bjørvika 27.7.-31.8.2001 (**Figur 1**) på ca. 4.5 meters dyp. Posisjonen og dyp var valgt ettersom tunnelen her muligens kunne ligge så høyt som ca. 3 meter under overflata og at dette skulle kunne gi et annet strømmønster etter at tunnelen var ferdig¹. For beskrive det nåværende strømbildet og for dermed i ettertid å kunne bedømme eventuelle forandringer ble måleren plassert her. Observasjoner ble tatt hver 10 minutt i perioden.



Figur 8. Stasjonsnett i overvåkingsprogrammet for indre Oslofjord og stasjoner i Bjørvika og Bispevika.

Driftmerker

For å kartlegge overflatesirkulasjonen i Bjørvika/Bispevika, spesielt Akerselvas innflytelse, ble det foretatt tre utlipp av driftmerker sommer-høst 2001. Hensikten var dessuten å kunne kontrollere den modell for overflatestrom som skulle brukes for å se hvordan endringer i utløpet av Akerselva kan endre overflatesirkulasjonen i området. Feltarbeidet ble gjennomført den 28.6., 5.9 og 12.9.2001.

¹ Senere er det avgjort at hele tunnelen skal ligge under bunnen.

4.3. Resultater

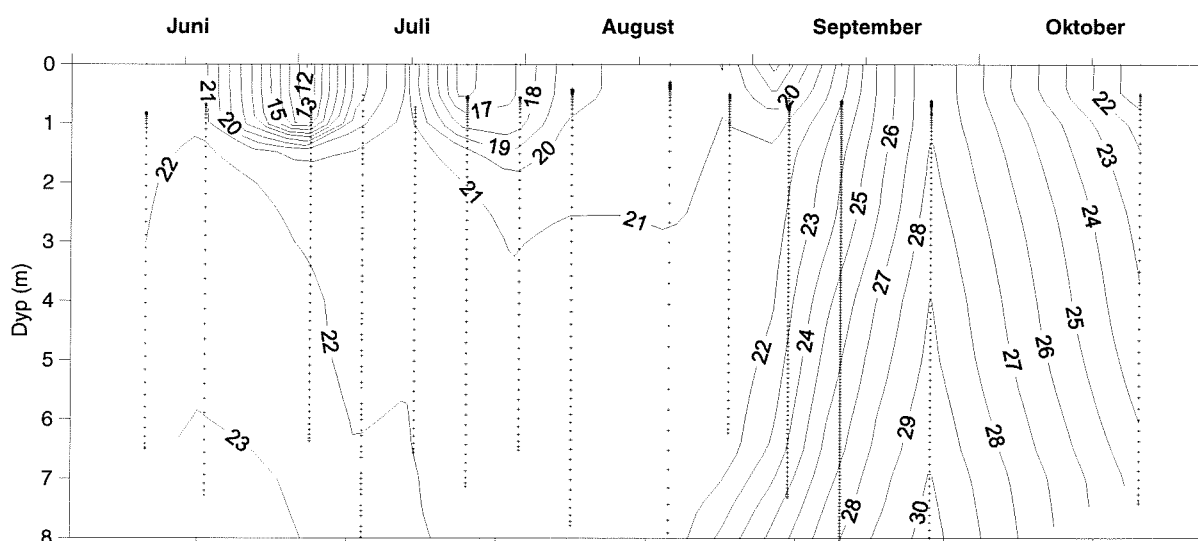
4.3.1. Vannmasser og sirkulasjon i Bjørvika og Bispevika

Sjiktning og vannutskiftning

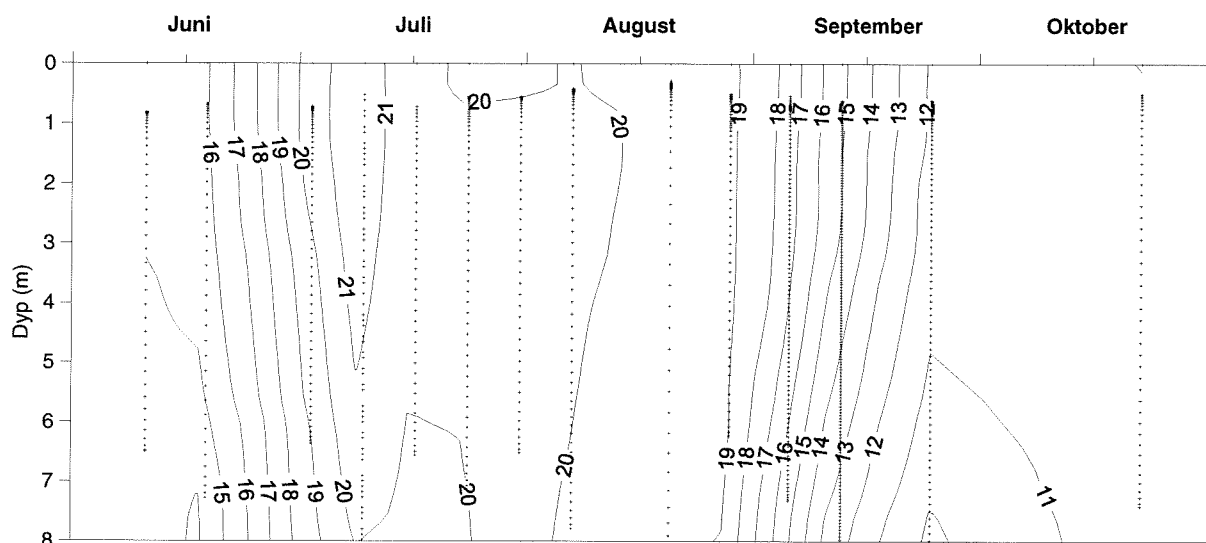
Vannmassens temperatur, saltholdighet og egenvekt i Bjørvika og Bispevika er omtrent lik og varierer i takt (Schaanning et al., 2000) og for 2001 vises derfor bare resultater fra Bjørvika (**Figur 9-Figur 11**). I overflaten varierte saltholdigheten fra ca. 10 til over 20 i sommerhalvåret. Variasjonene fulgte delvis ferskvannstilrenningen fra Akerselva. Elvas direkte innflytelse er begrenset til øverste 1-2 meter, mens variasjonene dypere nede følger fjordens generelle variasjoner.

Vannutskiftingen under overflatelaget kan bedømmes noenlunde ut fra variasjoner fra måletidspunkt til måletidspunkt (måleintervall ca. 1 uke). Observerte endringer i hydrografi over tid gjenspeiler sannsynligvis endringer i hele indre havnebasseng, og ikke bare Bjørvika. En kan anta at endringer utenfor raskt (i løpet av en dag eller to, eller raskere) forplanter seg inn i Bjørvika, både i overflaten og i dypet. Det framgår av profilene at det ikke var lik situasjon fra uke til uke mellom noen av målingene. Det betyr at det var en kontinuerlig utskifting i hele vannsøylen gjennom måleperioden.

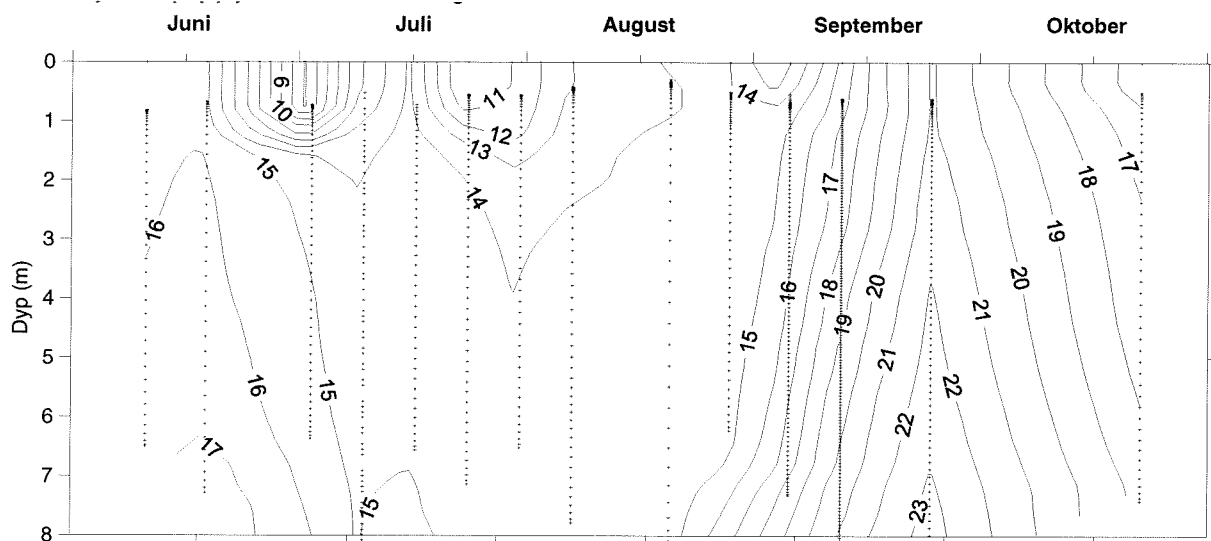
Vannutskiftingen før utbygging har vært vurdert av Schaanning et al. (2000) som for mai 1999 fant at oppholdstiden i søndre del av Bjørvika varierte fra mindre enn et døgn opp til 5-6 døgn. For detaljer henvises til nevnte rapport.



Figur 9. Saltholdigheten i Bjørvika (Aq3) juni-oktober 2001. Målepunkt er vist som "svarte prikker". Vi ser episoder med lav saltholdighet i overflatelaget i månedsskiftet juni-juli og i slutten av juli.



Figur 10. Temperaturen i Bjørvika (Aq3) juni-oktober 2001. Det var små forskjeller i temperatur mellom overflate og bunn.



Figur 11. Egenvekten (Sigma-t^2) i Bjørvika (Aq3) juni-oktober 2001. Som ventet viser variasjoner i egenvekt store likhetstrekk med saltholdigheten.

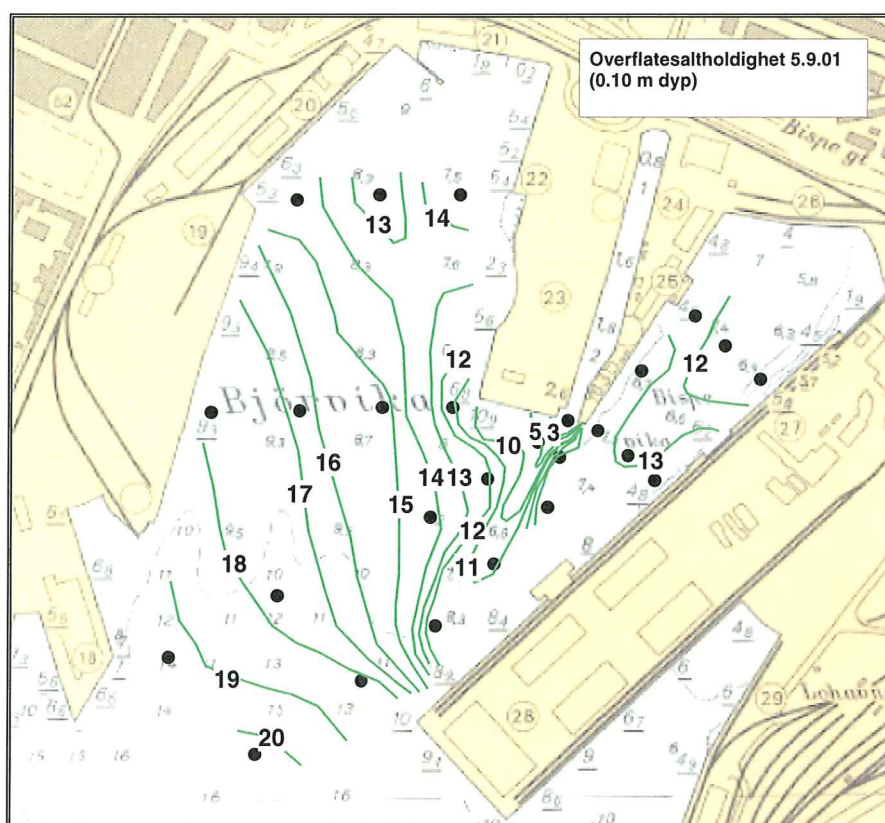
² $\text{Sigma-t} = (\text{egenvekt} - 1000)$ er en forenklet framstilling av egenvekten, som her vil ligge i intervallet 1001-1027 kg/m^3 . Sigma-t ligger da i intervallet 1-27 og oppgis uten benevning.

Sirkulasjonen i overflatelaget beskrevet ved driftmerker

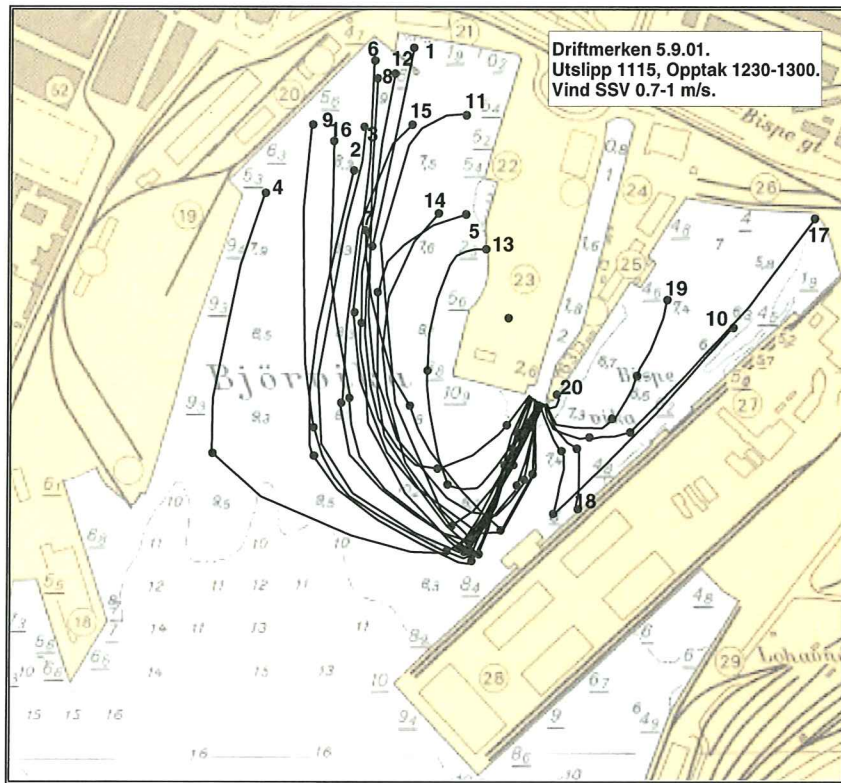
Overflatesaltholdigheten fra den 5.9.2001 (**Figur 12**) viser at ferskvannet fra Akerselva påvirket overflatelaget i Bjørvika og Bispevika og at saltholdigheten raskt økte med avstanden fra elvemunningen. Markert lavere saltholdighet ved vannføringer mindre enn $2-3 \text{ m}^3/\text{s}$ var bare observerbare nær (100–200m) fra munningen av elva.

Resultatene fra driftmerkeforsøkene den 5.9.01 er vist i **Figur 13** og **Figur 14**, og de øvrige i **Vedlegg A**. Ferskvannet fra Akerselva setter sitt preg på overflatesirkulasjonen i området, men også vind og tidevann har stor betydning. Det var relativt svake sørlige vind (vindstille – svak vind) ved alle forsøk, unntatt den 12.9. På morgenen denne dagen, ved første slipp av driftmerker, var det nordlig laber til frisk bris (opp mot 7 m/s).

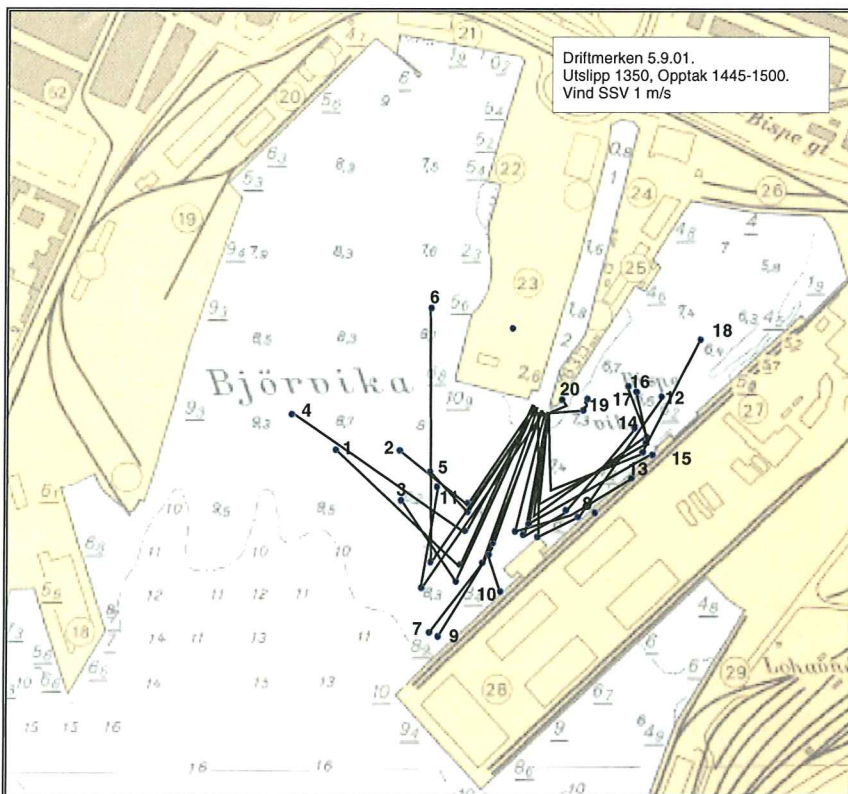
Ved svak sørlige vind og liten tidevannspåvirkning virker det som det er to virvler i området, en som roterer med klokka i Bjørvika og en mot klokka i Bispevika (situasjonen den 28.6 og 5.9.) Ved nordlig vind var det ikke noe tydelig strømmønster. Strømmen i overflaten var i hovedsakelig sørlig, men med en tendens til en horisontal skjevhet eller tendens til virvler motsatt de ved sørlig vind (12.9). Dette stemmer med det generelle bildet som de hydrografiske observasjonene har vist, nemlig at nordlig vind gir en rask uttransport av overflatevann fra området, kompensert ved inntransport av dypere liggende vann. Omvendt kan sørlig vind medføre en nordlig transport av overflatevann til området (og holde tilbake utstrømmende ellevann) og etterhvert sette opp en sørlig transport av dypere liggende vann.



Figur 12. Overflateobservasjoner av saltholdighet den 5.9.200, klokken 1300-1325. Svak vind fra sør og innstrømmende tidevann.



Figur 13. Utslipp av driftmerker for observasjon av overflatestrøm den 5.9.2001. (Svakt fallende vannstand).



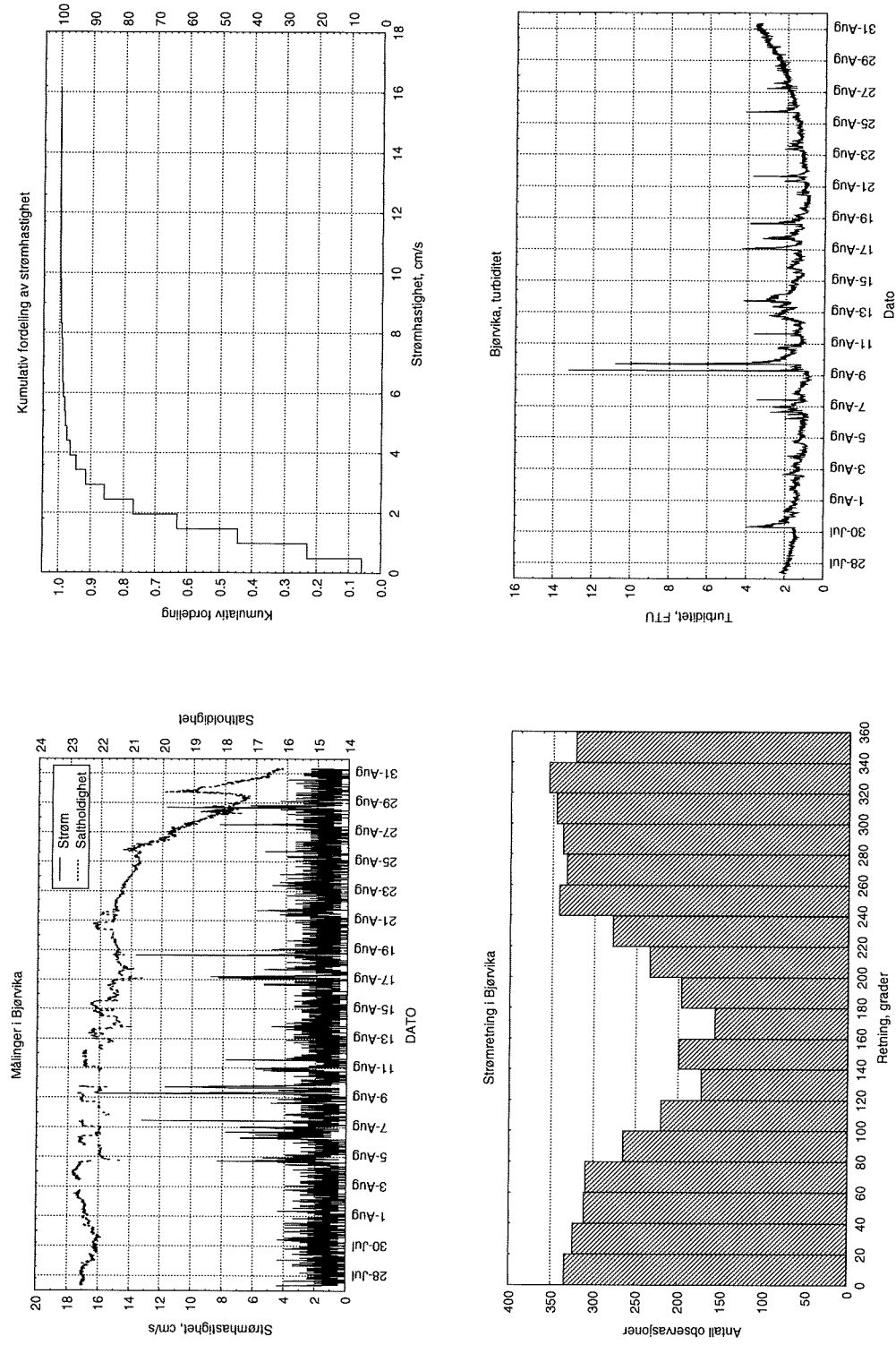
Figur 14. Utslipp av driftmerker for observasjon av overflatestrøm den 5.9.2001. (Lavvann og etterhvert stigende vannstand).

Strømmålinger

Resultatene av målingene i 4.5 m dyp i Bjørvikas nordvestre del er vist i **Figur 15**. Det var gjennomgående svak strøm, men med korte perioder med høyere hastigheter. 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 (se øvre høyre Figur). Strømmens retning lå oftest i sektoren vest-nord-øst, og med en noe lavere frekvens mot sør til sørøst. Resultatene tyder på overvekt av nordlig strøm i midten av Bjørvika og utstrøm langs kaien sørover.

Turbiditeten (se nedre høyre Figur) var jevnt over relativt lav og økte med avtakende saltholdighet (de fleste observasjonene). Økningen i turbiditet skyldes derfor økt tilførsel av turbid ferskvann (fra Akerselva og som mer generell avrenning fra landarealer). Noen målinger av kortvarig høy turbiditet ble gjort under høy strømhastighet og relativt høyere saltholdighet, og kan skyldes at et større fartøy da manøvrerte i området og virvlet opp bunnsedimenter.

Et nytt fysisk hinder (f.eks. en støtvoll opp til 2 m dyp foran operaen) vil åpenbart fungere som en sperre for sirkulasjon dypere enn 2 m og medføre betydelig redusert vannfornyelse bak vollen. Likeledes vil fundamenteringen av en operabygning utvilsomt endre strømforholdene og vannutskiftningen i nordre del av Bjørvika, fra overflate og til bunn.



Figur 15. Strømshastighet, strømretning, saltholdighet og turbiditet på ca. 4.5 meters dyp i Bjørnvika juli/ august 2001.

4.3.2. Vannkvalitet

Siktedyp

Vannkvaliteten i området bestemmes i dag av tre faktorer:

- Tilførsler av partikler, næringssalter osv. fra Akerselva vil oftest dominere forholdene i overflatelaget utenfor elvemunningen
- Lokal avrenning fra vei og andre arealer
- Oppvirvling av sedimenter.

I perioder med nedbør og flom i Akerselva kan vannkvaliteten forventes å være ekstra dårlig, og da sedimenter fra nedre del av elva spyles ut i havnebassenget samtidig med avrenningen fra gater er stor. I tillegg har havneområdet god kontakt med vannmassene lenger sør i indre Oslofjord og påvirkes av vannkvaliteten der.

Akerselva undersøkes regelmessig av Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten. Vannkvaliteten i nedre del av elven variere betydelig - fra dårlig til god. **Tabell 2** viser noen typiske verdier fra nedre del av Akerselva for tidsrommet januar - august 2001. I denne perioden var vannkvaliteten mht. fosfor og nitrogen mindre god - og dårlig i forhold til turbiditet, bedømt etter Statens forurensningstilsyns vannkvalitetskriterier (Andersen et al. 1997).

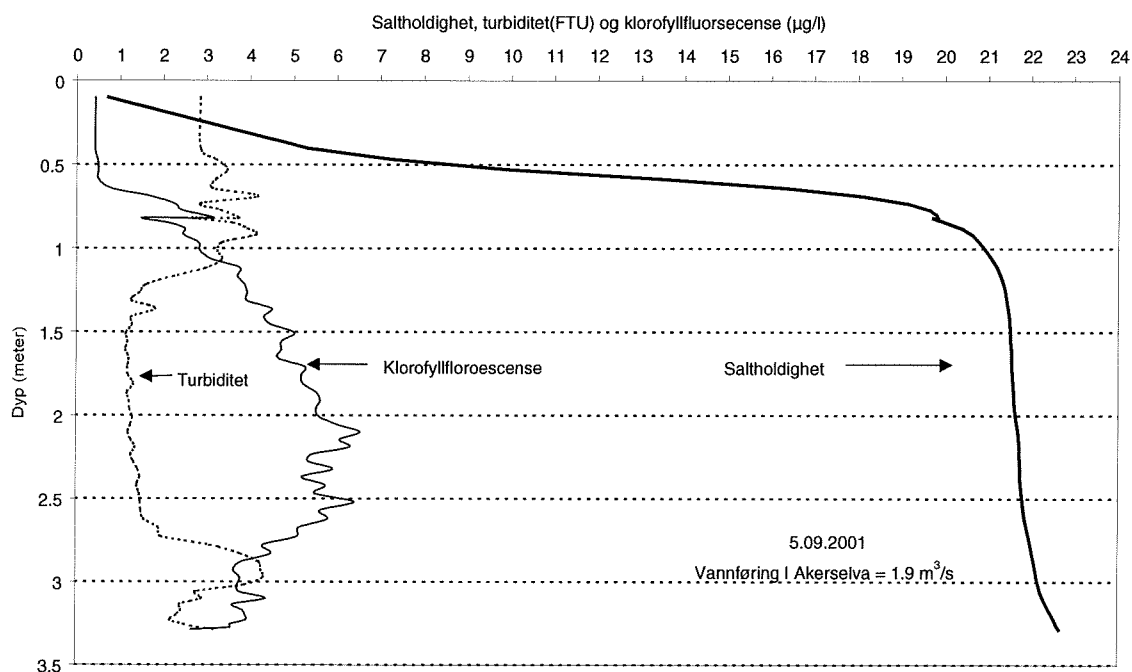
Tabell 2. Vannkvalitetsdata fra nedre del av Akerselva januar-august 2001 (ukentlige prøver). Data fra Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten.

Parameter	Turb FTU	Tot-N mg/l	Tot-P mg/l	STS mg/l
Middel	3.1	0.506	0.018	4.3
Median	2.2	0.513	0.018	3.5

I utløpet av Akerselva blander ferskvannet seg etterhvert med noe sjøvann og det dannes et brakkvannslag (**Figur 16**). Ved lav vannføring (ca. 2 m³/s) og lite vind ligger brakkvannet i de øvre 0.5 meterne, men tykkelsen øker med økende vannføring (ca. 1 meter ved 6 m³/s). Under det utstrømmende brakkvannet strømmer sjøvann inn. Ferskvannet har høy turbiditet og egenskaper som er vanlige for Akerselva, mens sjøvannet har lavere turbiditet og høyere innhold av planteplankton. Ved utløpet av Akerselva er således vannkvaliteten i overflatelaget omtrent som i nedre del av Akerselva, mens det underliggende sjøvannet har omtrent samme vannkvalitet som sjøvannet i området utenfor elva.

Siktedypet i Bjørvika er sammenlignet med siktedypet ved Kavringen og Hovedøya i 1999-2001 (**Figur 17**). Siktedypet i havneområdet følger den generelle ugunstige utviklingen i fjorden disse årene (Magnusson m.fl., 2001), men med noe dårligere siktedyp i Bjørvika enn på de andre to stasjonene. Tilstanden, bedømt etter Statens forurensningstilsyns klassifisering av tilstand i fjorder (Molvær m.fl., 1997) var dog den samme i de tre årene – nemlig tilstandsklasse IV (dårlig).

Det er ingen signifikant forskjell mellom siktedypet i Bjørvika og Bispevika (**Figur 18**). Siste observasjon ble tatt da en stor oppblomstring av planteplankton (*Ceratium furca*) var flekkvis fordelt over hele Bunnefjorden og Havnebassenget. Maksimalt siktedyp ble i 2001 målt til ca. 4.5 meter i både Bjørvika og Bispevika og laveste siktedyp til 1.6-1.7 meter. At det ikke var noen forskjell mellom siktedyp i de to områdene betyr at den lange observasjonsserien fra Bjørvika sannsynligvis også gjelder for Bispevika. I tidsrommet 1999-2001 er laveste siktedyp i Bjørvika målt om sommeren (0.7 meter) og høyeste om vinteren (7.2 meter). Gjennomsnittet for sommerverdiene var 2.8 meter (**Tabell 3**).



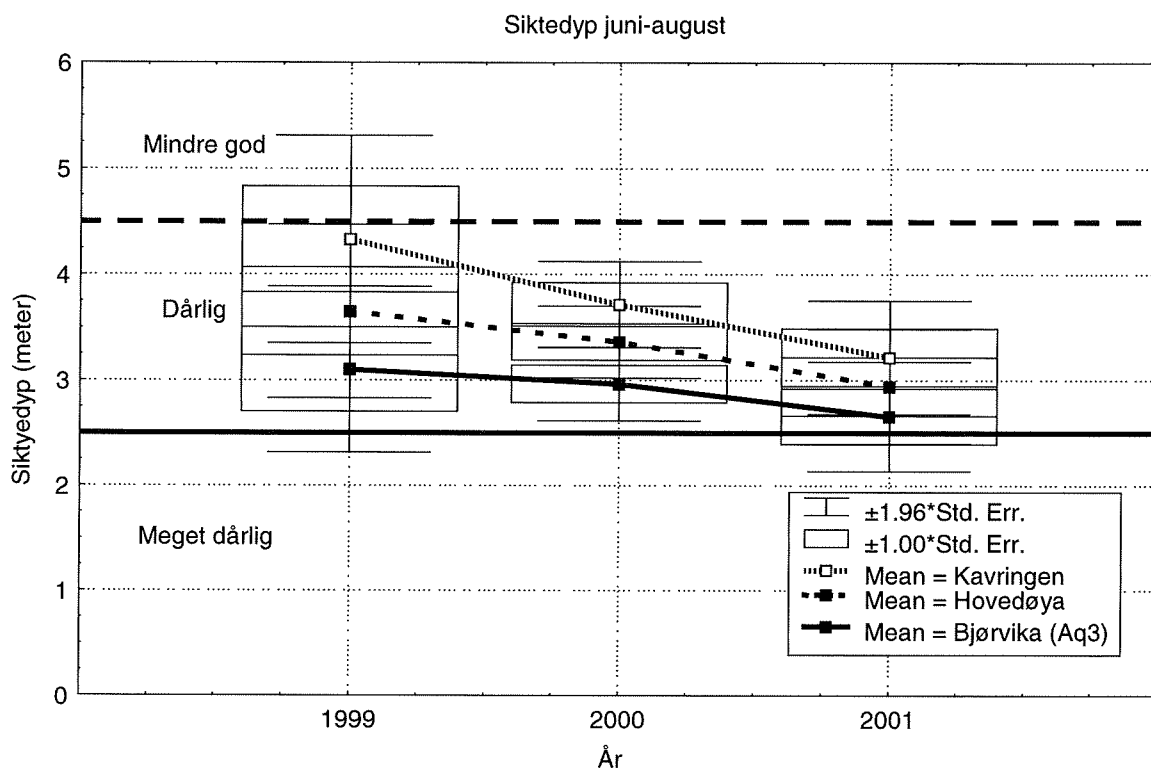
Figur 16. Sjøkning beskrevet ved saltholdighetsprofilen, samt turbiditet og klorofyllfluorescens i utløpet av Akerselva den 5.9.2001. Vannføringen var $1.9 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabell 3. Siktedypet i Bjørvika 1999-2001.

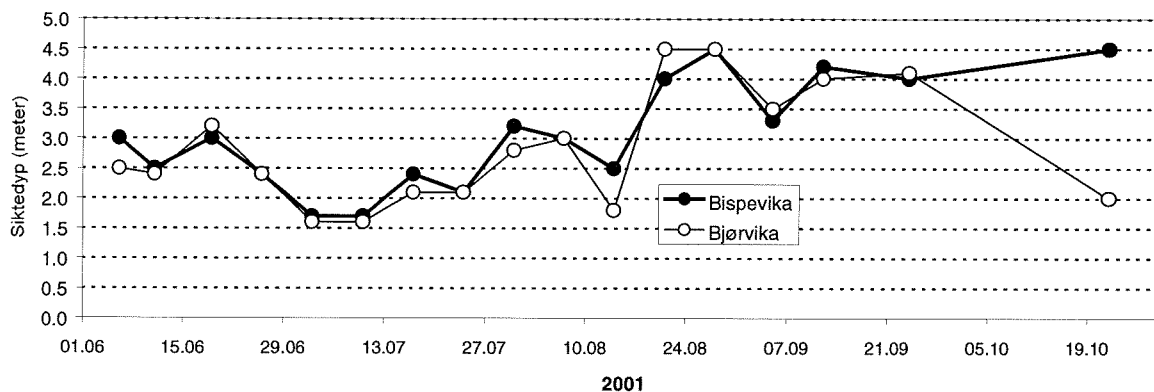
Sesong	Vinter (des-feb)	Vår (mar-mai)	Sommer (jun-aug)	Høst (sep-nov)
Antall obs.	4	2	39	4
Median	5	4	2.8	3.75
Øvre kvartil	7.2	4.5	3.5	4.0
Nedre kvartil	2.8	3.5	2.1	2.75
Min	2.8	3.5	0.7	2
Maks	7.2	4.5	5.1	4.1

Bedømt ut fra siktedypet er vannkvaliteten i Bjørvika og Bispevika dårlig (**Figur 18**). Siktedypet varierer over året, med best siktedyp vinterstid og dårligst i flomperioder og sommer/høst

Siktedypet er et resultat av innholdet av partikler (i hovedsak leirpartikler og plankton) i overflatevann, og gir samtidig et mål for nedre grense for mulig primærproduksjon (dvs. så langt ned det er tilstrekkelig lys for fotosyntese). Denne nedre grensen er omtrent $2.5x$ siktedypet, og et siktedyp mellom $0.7 - 5.1$ meter tyder på at primærproduksjon foregår i en vannsøyle som på det minste omfatter ca. $0-2$ m dyp og ofte omfatter hele vannsøyle fra overflate til bunnen.



Figur 17. Siktedyp ved Kavringen (Ap2), Hovedøya (Aq2) og Bjørvika (Aq3), juni- august 1999, 2000 og 2001. For klassifisering er brukt Molvær et al. (1997).



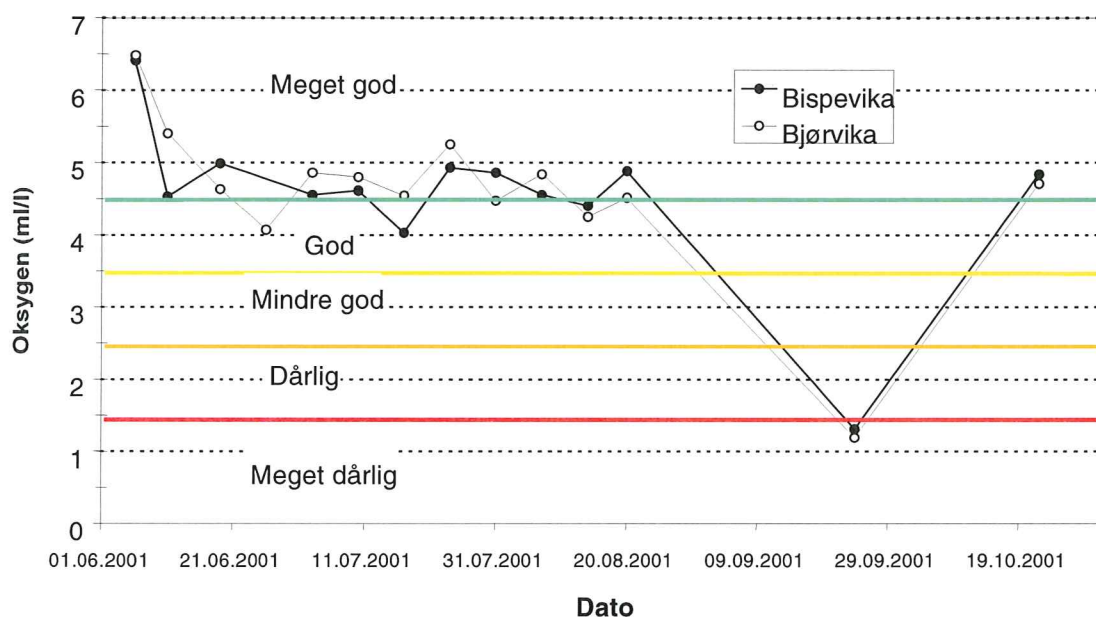
Figur 18. Siktedypet i Bjørvika og Bispevika sommer-høst 2001. En vannmasse med siktedyp på mer enn 2 m ansees som egnet for bading (Statens helsetilsyn, 1994).

Oksygen

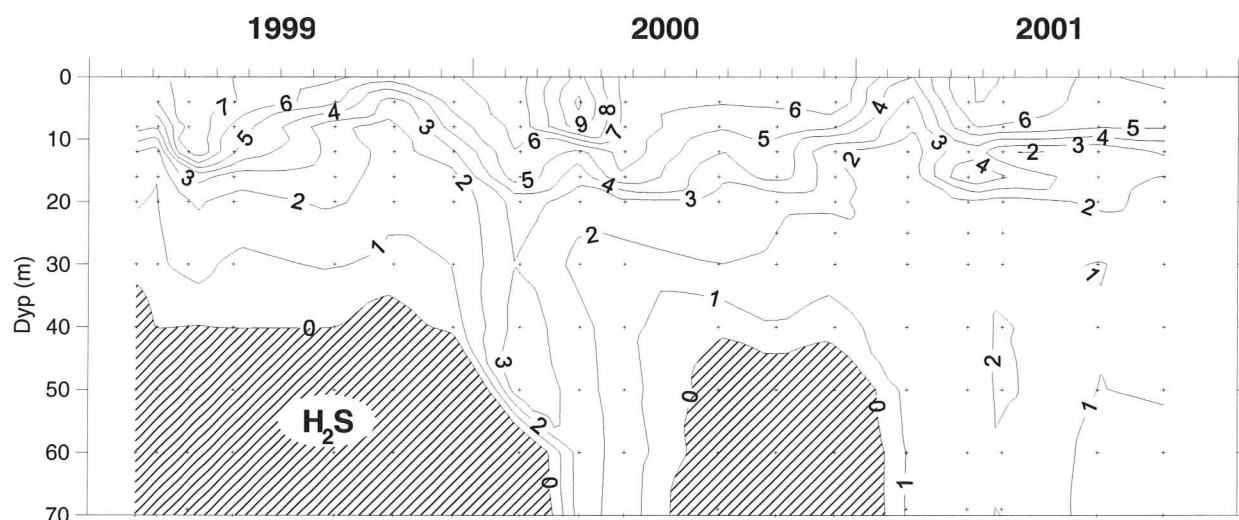
Oksygenforholdene i Bjørvika og Bispevika var i 2001 jevnt over meget gode ($>4.5 \text{ mlO}_2/\text{l}$, **Figur 19**). En observasjon fra september 2001 viste imidlertid en konsentrasjoner nær 1.5 ml/l . Dette er en meget lav konsentrasjon sammenlignet med det som anses for å være tilfredsstillende nivåer for fisk (Kirkerud, 1998). Saltholdighetsvariasjonene fra høsten 2001 (**Figur 9**) tyder imidlertid på at de lave oksygenkonsentrasjonene ble observert i en vannmasse som strømmet inn i området før prøvetakingen

og at denne vannmassen forsvant ut igjen før neste prøvetaking i oktober. Observasjoner fra Bekkelagsbassenget høsten 2001 viste at det var lave oksygenkonsentrasjoner på ca. 12 meters dyp, med en saltholdighet bare litt over det som ble observert i Bjørvika i september (**Figur 20**). Det er derfor sannsynlig at den lave oksygenkonsentrasjonen i Bjørvika ikke først og fremst skyldes lokalt høyt oksygenforbruk og liten vannutskiftning, men kan ha oppstått fordi vannmasser med lavt oksygeninnhold fra nærliggende områder strømmet inn i havnebassenget.

Episoder med lav oksygenkonsentrasjon på relativt grunt vann i randområdene for indre del av Oslofjorden er kjent fra før, og har forekommet når dypereliggende oksygenfattig vann blir ført opp mot overflaten i sammenheng med en dypvannsfornyelse i fjorden (Magnusson m.fl., 1996).



Figur 19. Oksygenkonsentrasjon i Bjørvika (Aq3) og Bispevika (Aq4) på ca. 7 meters dyp juni-oktober 2001.



Figur 20. Oksygenkonsentrasjonen i Bekkelagsbassenget (Cq1) i tidsrommet 1999-2001.

5. Overflatesirkulasjon før og etter utbygging

Simuleringer av overflatesirkulasjonen i Bjørvikka og Bispevika før og etter utbygging er gjort for vannføringene $5 \text{ m}^3/\text{s}$ og $10 \text{ m}^3/\text{s}$, som antas å være typiske for vannføringer i perioder da smolt om våren vandrer ut av Akerselva og for lokkeflommer som skal få fisk til å vandre opp i elva.

Ved nåværende forhold har Akerselva et framspringende utløp og fører en vel definert strøm ut i fjorden. Både i Bjørvika og i Bispevika skaper strømmen langsomme virvler, som i praksis ofte endres pga. av virkning av vind og tidevann. Den planlagte senketunnelen vil føre til at selve utløpet trekkes innover, men etterlater to "øyer" litt utenfor den nye munningen. Dette endrer strømforholdene vesentlig fordi det meste av elvevannet vil strømme direkte ut i Bjørvika og Bispevika. Bare en mindre del av elvevannet finner veien gjennom det tidligere utløpet. En skipsstøtvoll i 2 m dyp foran Operaen vil bare ha liten innvirkning på den langsomme overflatesirkulasjonen i Bjørvikas indre del.

5.1. 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. 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). 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).

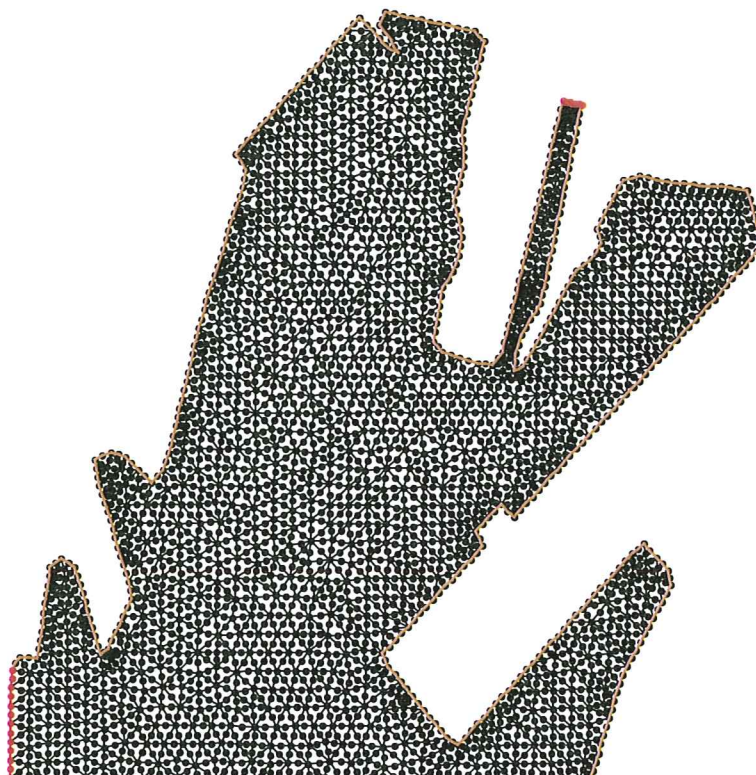
$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0$$

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

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

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 =	Vanndyp
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 21** viser nettverket som ble benyttet for beregningene.



Figur 21. Nettverket eller gridet i RMA2-modellen for Bjørvika og Bispevika for simulering av sirkulasjon før utbygging. I hver node (avmerket som svart punkt) beregnes høyden over referansedypet, strømrretning og strømhastighet

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 grunnlag for å sammenligne strømstyrke og bakevjedannelse ved forskjellige utforminger av området ved Paulsenkaia. Begge deler er viktig informasjon for de fiskebiologiske vurderingene. Derimot må man være forsiktig med å tolke strømhastighetene absolutt, noe som i så fall ville forutsette en inngående kalibrering av modellen.

5.2. Data

Modellen

Det blir simulert strøm i et 2 meter tykt overflatelag. Modellen må gis verdier for de turbulente utvekslingskoeffisientene og for bunnfriksjons-koeffisienten 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 bunndypet 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 samråd med Aas-Jakobsen, NINA og Statens vegvesen Oslo.

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 m³/s og 10 m³/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. Bunndypet 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 m². Innstrømning av ca. 5500 m³ vil heve vannstanden med ca. 7 cm.
- Innløpet er 300 m bredt, som for 0-2 m dyp gir et tverrsnittsareal på 600 m².
- Innstrømningen av tidevann foregår over ca. 6 timer, som over det tidsrommet gir en gjennomsnittshastighet på 0.4 m/s gjennom tverrsnittsarealet på 600 m².

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.

For den topografiske utformingen av utløpsområdet er modellen kjørt med

- Nåværende utforming
- Utgravd tunnel gjennom utstikkerne. Ytre deler blir stående som øyer.
- Utgravd tunnel gjennom utstikkerne. Ytre deler blir stående som øyer og skipsstøtvollen foran Operaen legges inn

Samtlige scenarier er sammenfattet i **Tabell 4**, dvs. i alt 4 hovedscenarier. Som nevnt ovenfor vil sirkulasjonen i overflatelaget også være påvirket av vindforhold og av tidevann. De fleste av scenariene er derfor kjørt for vindstille samt vindhastighet 10 m/s fra henholdsvis nordnord-øst og sørsør-vest – og for noen også ved innstrømmende og utstrømmende tidevann. I tillegg er det også gjort simuleringer for en vannføring på 3 m³/s i Akerselva.

Tabell 4. Hovedscenarier for beregning av overflatesirkulasjon

Scenario	Topografi	Vannføring i Akerselva
S1	Dagens utforming av kailinjer og utstikkere	5 m ³ /s
S1	Utgravd for tunnel gjennom utstikkerne.	5 m ³ /s
S3	Utgravd for tunnel gjennom utstikkerne.	10 m ³ /s
S4	Utgravd for tunnel gjennom utstikkerne. Skipstøtvoll foran Operaen	10 m ³ /s

Feltmålinger

Målingene av overflatesirkulasjon (Kap. 4.3) ved bruk av driftmerker er til nytte for vurderinger av hvor godt modellen beskriver forholdene.

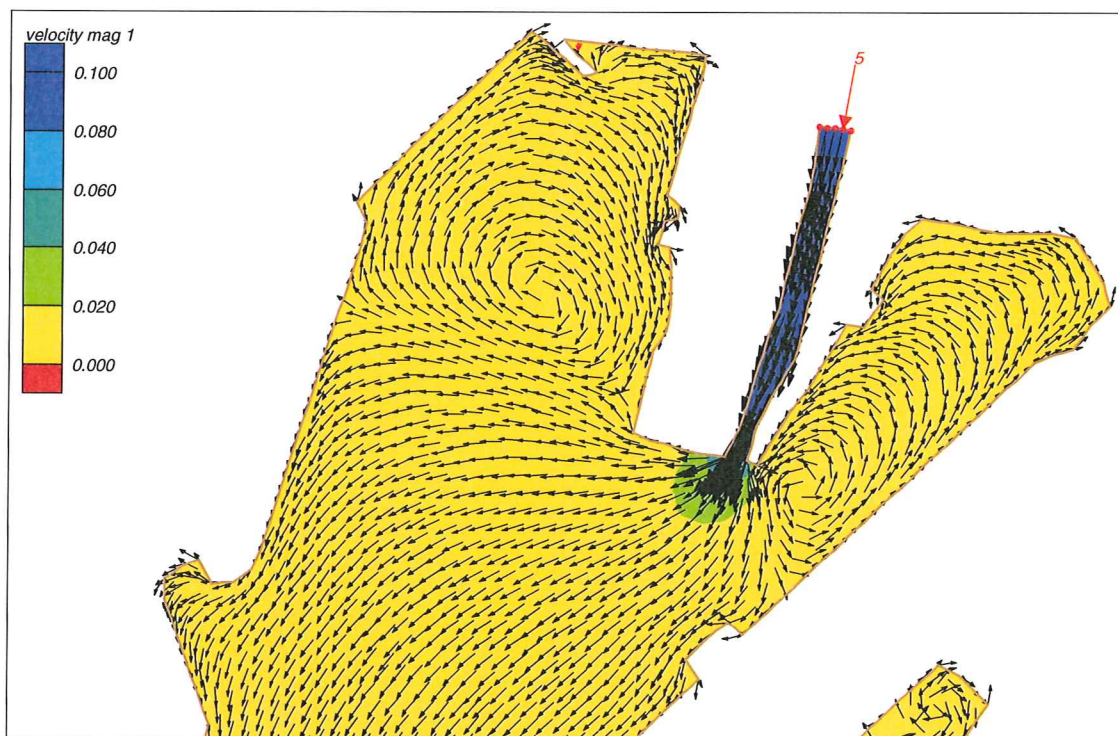
5.3. Simuleringer av sirkulasjon i overflatelaget

I tilknytning til scenariene i **Tabell 4** ble det påpekt at modellen også ble kjørt med varierende tidevann og vind. Samlet sett betyr det 3-5 kombinasjoner av topografi, vannføring, vind og tidevann innen hvert scenario, eller omkring 15 i alt. I det etterfølgende vil vi imidlertid bygge diskusjonen på hovedscenariene og trekke inn virkninger av varierende vind og tidevann i den grad dette gir ny og vesentlig informasjon.

Vi minner om at modellen beregner gjennomsnittstilstanden for en vannmasse som er 2 m dyp. Ved liten vannføring i Akerselva vil ferskvannet i alt vesentlig blandes inn i 0-1 m dyp og modellen gir dermed for lave strømhastigheter. I vurderingen av resultatene må dette tas i betraktning, og man skal legge større vekt på strømrretning og beliggenhet av bakevjer enn strømhastigheten.

Scenario 1: Dagens utforming av kailinjer og utstikkere og vannføring 5 m³/s

Hovedtrekkene er vist i **Figur 22**. Elvevannet flyter raskt gjennom det trange utløpet for så å bre seg utover til begge sider samtidig som hastigheten synker til under 2 cm/s. Både i Bjørvika og i Bispevika opptrer store og langsomme virvler. Vannbevegelsene som skapes av utstrømmingen fra Akerselva er så langsomme at virkningen av skiftende vindforhold og av tidevann vil prege sirkulasjonen. Bildet som modellen simulerer er ikke ulikt det som driftmerkene viste (Kap. 4.3).

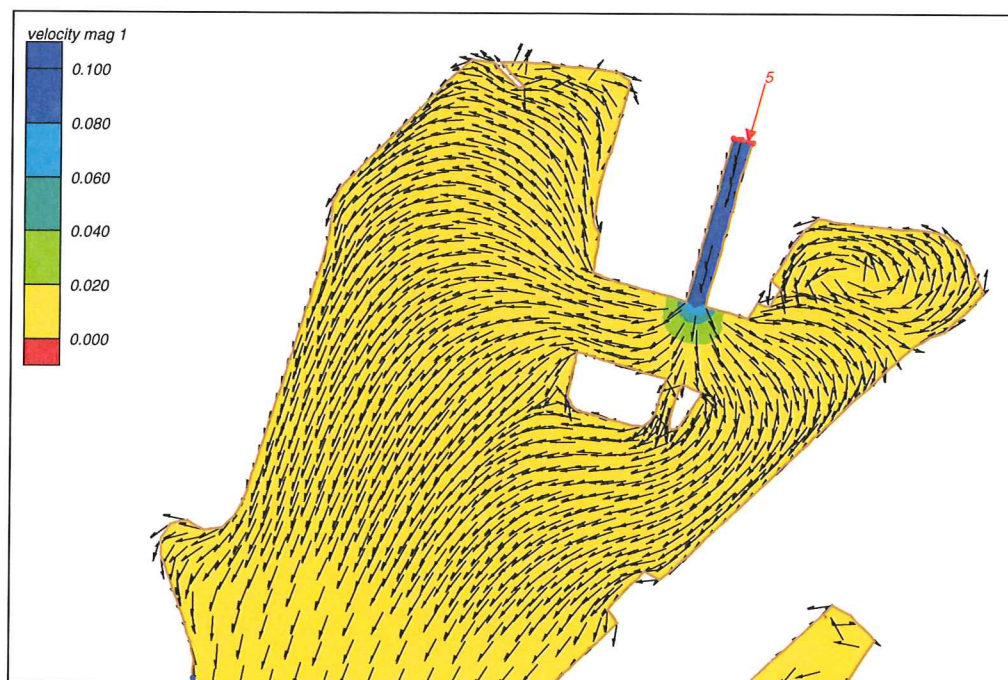


Figur 22. Simulering av vannsirkulasjon i 0-2 m dyp ved nåværende topografi og en vannføring på 5 m³/s i Akerselva. Det er ingen vind eller virkning av inn- eller utstrømmende tidevann.

Scenario 2: Utgravd for tunnel gjennom utstikkerne og vannføring 5 m³/s

Ved utgraving av tunnel gjennom utstikkerne endres strømbildet mye i forhold til situasjonen som scenario S1 beskrev (**Figur 23**). Det meste av elvevannet strømmer da direkte til Bjørvika og Bispevika og endrer på det generelle mønsteret med store og langsomme virvler. Strømhastigheten er imidlertid fortsatt liten og strømbildet vil fort endres ved skiftende vind- og tidevann.

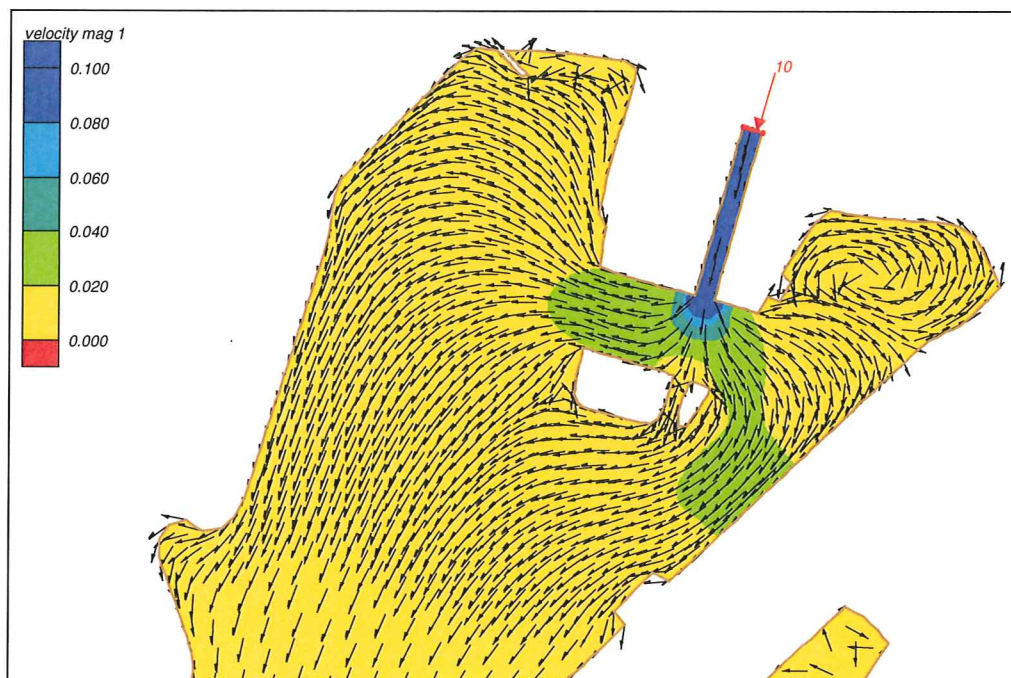
Et annet forhold av betydning er at mer ferskvann tilføres Bjørvika og Bispevika, og tilsvarende mindre strømmer til området utenfor nåværende munning av elva.



Figur 23. Simulering av vannsirkulasjon i 0-2 m dyp ved utgraving for tunnel gjennom utstikkerne og en vannføring på 5 m³/s i Akerselva. Det er ingen vind eller virkning av inn- eller utstrømmende tidevann.

Scenario 3: Utgravd tunnel gjennom utstikkerne og vannføring 10 m³/s

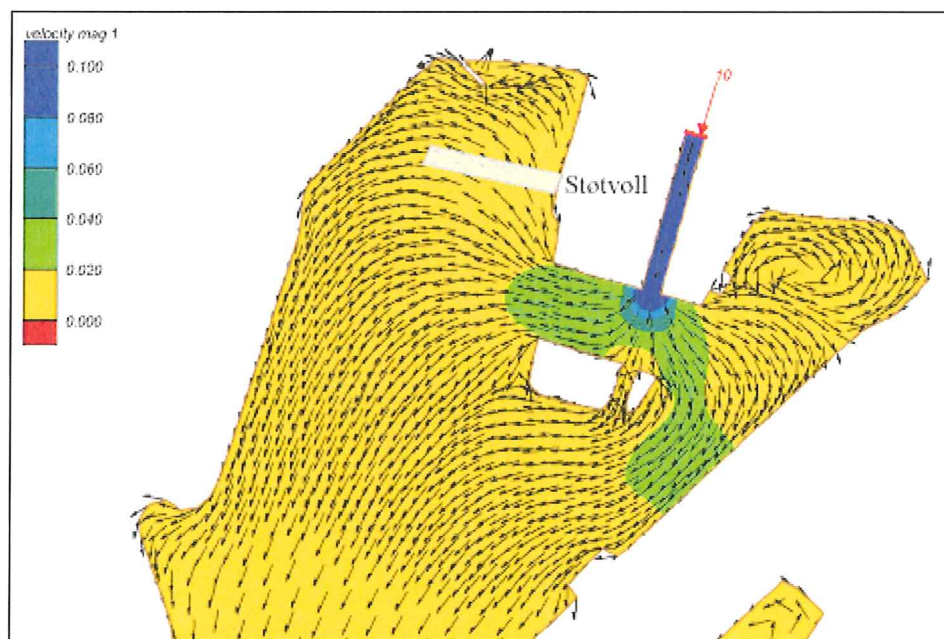
I forhold til S2 er vannføringen i Akerselva dobbelt så stor. Den viktigste endringen i strømmønsteret er at strømhastigheten i elva og gjennom utløpene til Bjørvika og Bispevika er tilsvarende større (**Figur 24**). Fortsatt blir hastigheten i overflatelaget svært liten straks en kommer et stykke bort fra utløpene.



Figur 24. Simulering av vannsirkulasjon i 0-2 m dyp ved utgraving for tunnel gjennom utstikkerne og en vannføring på 10 m³/s i Akerselva. Det er ingen vind eller virkning av inn- eller utstrømmende tidevann.

Scenario 4: Utgravd for tunnel gjennom utstikkerne, vannføring 10 m³/s og skipsstøtvoll foran Operaen

I forhold til S4 er vannføringen i Akerselva er virkningen av skipsstøtvollen i 2 m dyp i Bjørvika lagt inn. For bevegelsen av det langsomt strømmende overflatelaget i dette område har støtvollen liten betydning (**Figur 25**).



Figur 25. Simulering av vannsirkulasjon i 0-2 m dyp ved utgraving for tunnel gjennom utstikkerne og en vannføring på 10 m³/s i Akerselva. En skipsstøtvoll på 2 m dyp er lagt inn i Bjørvikas nordre del. Det er ingen vind eller virkning av inn- eller utstrømmende tidevann.

5.4. Sammenfatning

Simuleringer er gjort for vannføringene 5 m³/s og 10 m³/s, som 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.

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

Den planlagte senketunnelen vil føre til at selve utløpet trekkes innover, men etterlater to ”øyer” litt utenfor den nye munningen. Dette endrer strømforholdene vesentlig fordi det meste av elvevannet vil strømme direkte ut i Bjørvika og Bispevika. Bare en mindre del av elvevannet finner veien gjennom det tidligere utløpet.

Simuleringen med skipsstøtvoll i 2 m dyp foran Operaen viser at den vil ha liten innvirkning på den langsomme overflatesirkulasjonen i Bjørvikas indre del. Derimot er det neppe tvil om at utfyllinger og selve fundamenteringen av et operabygg vil medføre store endringer av overflatesirkulasjonen i denne delen av Bjørvika.

6. Utbyggingens direkte og indirekte virkninger på vandringer og livsbetingelser for laks- og sjørret i tiltaksområdet

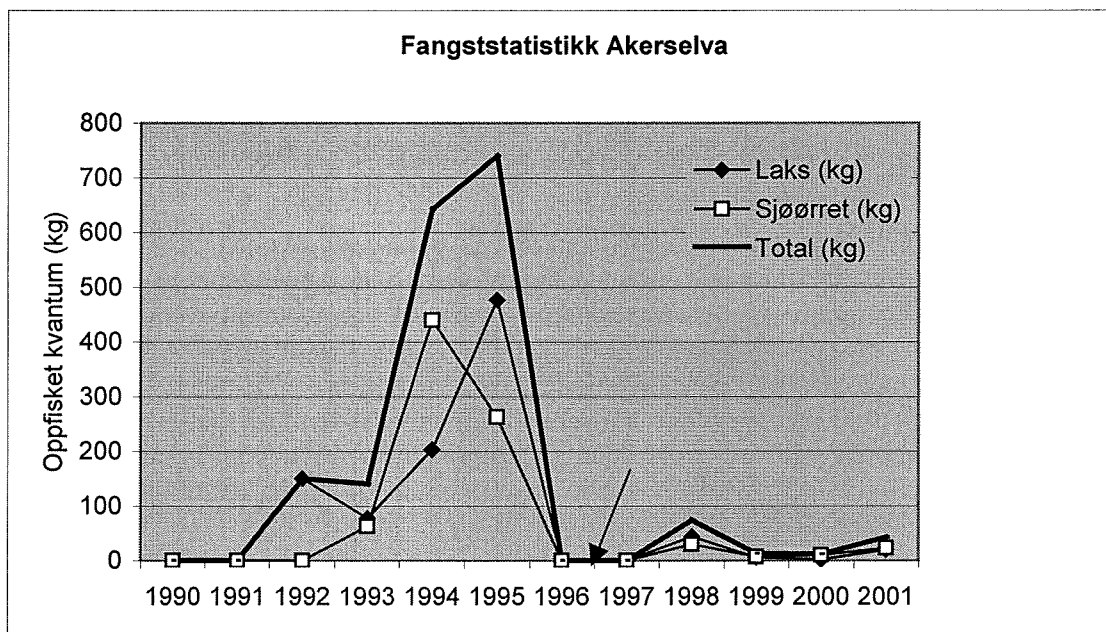
Akerselva har bestander av laks og sjørret som gir grunnlag for fiske i elva og i Oslofjorden. Disse artene har et vandringsmønster hvor smolten vandrer ut i fjorden om våren og gytefisken kommer tilbake på sensommer/høst. Fisken vandrer opp i elva når vannføringen er tilstrekkelig (anadromt livsmønster). Smolten er mer følsom for forurensing enn gytefisken. Miljøforholdene i Akerselva og i indre fjord er ikke optimale for anadrom fisk, og uten avbøtende tiltak kan E18 prosjektet medføre betydelige negative endringer i miljøet, spesielt i anleggsfasen. De framlagte planer om et tredelt utløp endrer hydrografen og, kan skade fiskeoppvandring når vannføringen i Akerselva er lav. Anleggsstøy, fysiske vandringshindre samt frisetting av miljøgifter og andre vannkvalitetsendringer pga. håndtering av forurensede sedimenter, er andre trusselfaktorer som kan skade fiskens vandringsmønster og gi betingelser for fiskedød i og omkring tiltaksområdet i indre havn.

6.1. Historikk

Elvas midtre og nedre deler var i minst 100 år fisketom på grunn av tilførsler av husholdningskloakk og industriutslipp. Disse utslippene har avtatt, og med bedret vannkvalitet har ferskvannsaunaen mange steder blitt helt eller delvis reetablert (Brittain & Saltveit 1985, 1988). Selv om utslippene nå i hovedsak er sanert, har det relativt nylig forekommet episodiske industriutslipp som har gitt skader på både fisk og bunndyr, for eksempel i 1996. Vannkvaliteten og miljøtilstanden i havnebasenget er imidlertid fortsatt preget av nåværende og tidligere tilførsler av forurensninger, og mange steder er klassifisert som sterkt eller betydelig forurenset.

Vellykkede smoltutsettinger av laks i Akerselva og ørretutsettinger i Oslofjorden ble foretatt fra begynnelsen av 1980 tallet (Hansen 1989, Hansen & Jonsson 1990, Aas 1982). Akerselva har det siste tiåret hatt en betydelig bestand av anadrom fisk, i hovedsak laks og sjørret (Enerud & Lund 1999). Fiskestellarbeidet er mest utført av frivillige jeger- og fiskeforeninger tilknyttet Osloomarka Fiskeadministrasjon (OFA). De siste årene har denne aktiviteten vært noe redusert, men bestandene danner fortsatt grunnlag for et ikke ubetydelig rekreativt fiske i elva og Oslofjorden (**Figur 26**). Fangststatistikken er ufullstendig for tiåret 1980-1990 og de to siste år. Den store nedgangen i fangstene fra 1995 avspeiler virkningene av industriutslipp med stor fiskedød, fiskefredning i 1996 pga. svært liten vannføring og påfølgende liten tilbakevandring i 1997.

Når man ser på fangststatistikken, skal en imidlertid være oppmerksom på at det her er store mørketall, og lokale oppsynsmenn regner med at det faktiske uttaket er betydelig høyere enn hva statistikken viser. I 2001 ligger det antagelig på 20 – 40 laks og omkring 100 sjørreter eller 10 ganger høyere enn de offisielle tall. Gjennomsnittvekten på laksen ligger mellom 1,5 og 2,5 kg, for sjørreten ligger gjennomsnittvekten omkring 1 kg.



Figur 26. Innrapporterte fangster fra Akerselva 1990 – 2001. Fiskestopp pga. svært liten vannføring i 1996 er angitt med svart pil.

Den nederste del av Akerselva går i lukket kulvert. Kulverten har to adskilte løp hvorav det østre er åpent for båttrafikk. Denne ferdsel synes imidlertid ikke å hindre fiskens vandring mellom beiteområdene i sjøen og gyteplassene i elva. Vannet i kulverten er sjiktet med et ferskvannslag over et saltvannslag. Ved høyvann i fjorden kan sjøvannet trenge opp forbi Grønlandsleiret.

6.2. Fiskeforhold

Fiskevandring og livshistorier

Fiskeoppgangen blir sterkt påvirket av vannføringen i Akerselva og stimuleres ved flommer, synkende vanntemperaturer og kortere daglengder. Det meste av fiskevandringene til og fra elva foregår henholdsvis høst og vår. Oppvandringsområdene for gytefisk av laks og sjøørret ligger i tiltaksområdet og påvirkes av forholdene der. Vandringen til laks og ørret skiller på at laksen ofte går mer rett opp i elva enn sjøørreten, som kan vandre til og fra elva flere ganger i løpet av sesongen. Oppvandring av laks ser ut til å skje over en lengre periode i sommerhalvåret og tidlig høst. Er sommervannføringen liten vil imidlertid laksen først gå opp i elva om høsten når det blir mer vann i elva, og etter at fiskesesongen er over i september. I motsetning til laksen kommer vanligvis hovedtyngden av sjøørreten mer samlet opp i løpet av noen uker. Hvis vannføringen er normal, vil sjøørreten gå opp i månedsskiftet september-oktober.

Både laks og sjøørret er høstgytere. Laksen gyter vanligvis i november. Laksen som overlever gytingen (støingene), vandrer ut i Oslofjorden, enten senhøstes og tidlig vinter eller om våren for å beite, hovedsakelig i Norskehavet (Hansen & Jonsson 1991).

Sjøørreten gyter i oktober, men dødeligheten er mindre enn for laksen slik at mange forlater Akerselva relativt kort tid etter gyting. Sjøørreten foretar også mye kortere vandring enn laksen. Oslofjorden er dens viktigste beiteområde. Noen vandrer også til ytre Oslofjord og de nærmest liggende kystområdene i Skagerrak (Hansen & Jonsson 1991). Begge fiskeartene er i perioder også tilstede i Bjørvika og Bispevika. Det gjelder spesielt sjøørreten.

Mekanismer som styrer fiskens adferd

I tillegg til faktoren vannføring, er smoltifiseringen og vandringsadferden er underlagt en indre biologisk klokke utviklet over lang tid slik at fisken får størst mulig vekst og overlevelse tilpasset de årlige forandringer i miljøet. Synkroniseringen skjer ved at de årvisse miljøendringene virker som nøkkelstimulus for de indre forandringene. I takt med ytre forandringer skjer det hormonelle endringer hos fisken som styrer smoltifisering, vandringsadferd, vekst og kjønnsmodning. Det er vist at daglengden, som følger et fast årlig mønster, er et slikt nøkkelstimulus i miljøet. Smoltutgangen skjer om våren med økende daglengde og vanntemperatur.

Vanntemperaturen er først og fremst en hastighetskontrollerende faktor i smoltifiseringen som kontrollerer hastigheten på responsen av fotoperioden. Høyere temperatur akselerer smoltifiseringen og nedkorter den perioden fisken er smolt. Økende vanntemperaturer om våren og forsommeren virker mer stimulerende på fiskens utvikling enn konstant temperatur. Dette vil ikke endres som følge av utbyggingen.

Ofte starter smoltutgangen i månedsskiftet april/mai, når maksimum omkring 20 mai og er vanligvis over midt i juni. Det kan være årlige forskyvninger i dette mønsteret, men som hovedregel kan vi si at utgangen skjer på fallende vårflom og økende vanntemperaturer og ved omkring 10 C⁰.

I utvandringsfasen er smolten mest følsom for miljøforstyrrelser og forurensing. Ved vandringen har smolten negativ rheotaksis, dvs. at den forflytter seg nedover med strømmen. Den svømmer svakt motstrøms og går ofte i stim for å beskytte seg mot mulige fiender som rovfisker og fiskeetende fugler. Smolten fortsetter også med å stå mot strømmene i munningsområdet og lar seg føre med til den kommer til områder med meget svak strøm. Dette kan for laksens del ta noen få uker. Deretter starter smolten å svømme utover i fjorden, sjøørreten søker mot land mens laksen vandrer sørover og følger strømmen langs kysten til den drar ut i Norskehavet for å beite i åpent hav. Sjøørreten er mer avhengig av tidevannsstrømmene når den vandrer inn og ut fra land for å beite. For det alternativet vi skal vurdere vil strømmen fra Akerselva i hovedsak bli delt i en vestre og en østre del slik at mer vann

styres inn i "bakevjene" i henholdsvis Bjørvika og Bispevika. Som tidligere nevnt, vil smolten da bli trukket inn i slike bakevjer der slike oppstår og hvis de har dårlig vannkvalitet kan det medføre fiskedød.

I den første tiden etter utvandring vandrer sjøørreten nær land og beiter, senere jager den mer pelagisk, etter krill og liten sild og brisling. Sjøørreten kan også foreta kortvarige vandring mellom fjorden og elva. Det vil si at den er mer utsatt for miljøendringer i tiltaksområdet enn laksen som en stor del av året beiter i åpent hav.

Når laksen vandrer fra havet og kommer inn i Oslofjorden, har den en litt spesiell adferd. Den vandrer aktivt i sjøvannslaget men tar med jevne mellomrom en tur opp mot overflaten, antagelig for kunne lukte vannet fra hjemmeelva. Når den kommer inn mot munningsområdet kan den gå å krysse i overflaten før den går opp i elva. Oppvandringen utløses av vannføringen, er den liten, vil fisken fortsette å vandre mot strømmen i havnebassenget. Er strømmingsbildet i munningen normalt, dvs. med en veldefinert utgående hovedstrøm som nå, kan en anta at fisken da lettere kan navigere enn når strømbildet blir mer diffust fordi elvevannet blir fordelt på flere løp. Dette vil antagelig mest være tilfelle på middels og lave vannføringer, ved større vannføringer vil fisken uten større problemer vandre opp i elva.

De mest kritiske periodene for den anadrome fisken er altså i forbindelse med smoltutvandringen om våren. Gytefisken er generelt mindre følsom. Det betyr imidlertid ikke at forholdene i perioden september-november, når gyteoppgangen er størst, ikke er viktige.

Den naturlige vandringsadferden påvirkes i tillegg til klimatisk betingete forhold, av strømsetningen i tiltaksområdet (nye kaifronter og endret elveutløp), vannkvalitetsendringer pga. flytting/fjerning av forurensede sediment, og med dette endrede O₂-forhold, turbiditet mv.) og eventuelle fysiske hindringer som følge av tiltaket.

6.3. Mulige konsekvenser av utbyggingen

Vurderingene av mulige fiskebiologiske konsekvenser av endret vannkvalitet og sirkulasjon i Bjørvika og Bispevika bygger på de sist fremlagte planskisser. Oppgaven i denne omgang er å vurdere potensielle virkninger av utforminger av munningsområdet, forurensingssituasjoner under og etter anleggsperioden og diskutere hvordan disse kan påvirke fiskens vandringsadferd og overlevelse. Selv om det planlagte operabygget ikke er del av vårt oppdrag vil vi også kort omtale dette.

Fisken oppholder seg kortere eller lengre tid i overflatelaget/brakkvannet nær og i elvemunningen, i Bjørvika og i Bispevika mot Sørenga, dvs. i eller nær tiltaksområdet. Her vil inngrep kunne påvirke det nåværende leveområdet for fisken, og endre dens vandringsadferd, og i verste fall kan disse føre til økt dødelighet.

Grovt sagt er vurderingene todelte, A) de hydrografiske og fysiske og B) de vannkvalitetsmessige.

Hydrografiske og fysiske

I dagens situasjon ligger munningen av Akerselva fremskutt i bassenget med en definert ledestrøm for fisk som søker opp mot elvemunningen. Strømbildet er relativt veldefinert og topografien er også det. Til tross for at det er bakevjer i både Bjørvika og Bispevika har vi et fungerende system der fisk som står i elvemunningen vandrer opp fra fjorden hvis det er passe vannføring i Akerselva eller det benyttes kortvarige lokkeflommer (5 m³/s) i perioder når vannføringen i Akerselva er liten. tilgodeser fiskens behov.

Den fremtidig situasjon utfra de foreliggende utbyggingsscenarier er mer kompleks. En kan vurdere dette i to perspektiv, det kortsiktige dvs. i selve utbyggingperioden og umiddelbart etterpå, og noe mer langsiktig m.a.o. i de påfølgende årene. Sentralt i dette står utforming av elvemunningen. Når ytre del av Paulsenbrygga og Bjørvikautstikkeren beholdes vil gi en tredeling av elvevannet i et østlig, et vestlig del og et mer sentralt løp ut i bassenget. For fiskens del er antagelig en viktig konsekvens at ferskvannsstrømmen i dens nåværende oppmarsjområde blir mer diffus/spredt slik at oppgangen blir mindre rettet enn nå. Dette betyr antakelig en risiko for at det oppstår situasjoner der fiskens vandring kan bli negativt påvirket spesielt ved middels og lave vannføringer.

Fisk er i tillegg til strømsetningen også følsom for lys fordi mye av vandringene skjer nattetid når forstyrrelsene normalt er mindre, og kanskje spesielt lavfrekvent støy (dyp lyd). Blir den sterkt forstyrret kan den vise unnvikelsesreaksjoner, for eksempel ved ikke å vandre opp (eller ned) Akerselva. Driftstidens lengde og hvilke måneder det skal arbeides i munningsområdet, kan vi ikke si noe eksakt om, men på driften av grøften der senketunnelen blir antagelig døgntkontinuerlig og vil opplagt generere mye støy som vil forplante seg i vannet. Når det gjelder støy i luft, vil normalt 99,9% av lydenergien reflekteres fra en grenseflate mellom luft og vann slik at bare én tusendel av lyden i luft overføres til lyd i vann, eller omvendt. Det betyr at luftstøy fra byggeplassen vil for alle praktiske formål ikke høres av og virke forstyrrende på fisken nede i vannet. Det motsatte gjelder undervannsstøy.

For laksefisk er øvre hørselsgrense ca. 300 Hz, den nedre grense ligger antagelig omkring eller under 1 Hz. Denne sansen til å høre infralyder som er intense, virker skremmende på fisk. Lydoverføring fra bakken til vann er meget god og slik lavfrekvent "støy" som fra en byggeplass ved elv eller vann, hører fisken lett (Sand 1992). Lavfrekvent støy (< 10 Hz) kan også hindre at fisken vandrer naturlig. Forsøk i Sandvikselva har en vist at nedgangen av smolt da stopper opp. Det forsøkes nå med å teste ut akustiske fiskesperrer (O. Sand pers. medd.). Det er observert at laksen ofte hopper når tog passerer over jernbanebrua i Sandvikselva ved lav vannføring om høsten når det står mye fisk i området rundt og venter på oppgangen. Slik vaking er et tegn på atferdsmessige konflikter mellom individer, forstyrrelser eller er en ren fryktreaksjon. Det betyr at lavfrekvent støy fra et anleggsområde, helt eller delvis vil kunne stoppe fiskens naturlige vandring forbi anleggsområdet.

Eventuell utforming av ny sjøbunn etter fjerning av forurensede sedimenter og tilrettelegging av nye bunnsstrater vil på kort sikt kunne ha negative effekter på fisken. Disse påvirkningene avhenger blant annet av typen (sand, grus, stein), mengden og kvaliteten av påleggsmassene som benyttes. Nødvendige hensyn må tas til vandringsperiode/mønster for laks og ørret i utforming av prosjektet, i den senere anleggsfasen og seinere som følge av endrete strømforhold.

Vannkvalitetsmessige

I vannfasen og særlig i bunnsedimentene i Bjørvika-Bispevika er det både overgjødning og høye konsentrasjoner av metaller og organiske miljøgifter. Deres giftvirkninger avhenger av deres tilgjengelighet. For eksempel kan graving og flytting av forurenset bunnmateriale øke tilgjengeligheten av miljøgiftene og bidra til økt overgjødning. Omrøring av oksygenfrie sedimenter fører til økt nedbrytning av organisk materiale, forbruk av oksygen, og frisetting av gasser (for eksempel H₂S) som kan gi akutte giftvirkninger på fisk. Samtidig vil det også kunne skje en økt partikkelforurensing samt økt tilførsel av nitrogenrester fra sprengningsarbeider, som ytterligere bidrar til å forverre vannmiljøet for fisken.

SFT-kriteriet om O₂ > 4 mg/l er vanligvis innfridd, men systemet er sårbart for økt oksygenforbruk. Økt tilgang av oksyderbart organisk materiale i forbindelse med gravearbeider/deponering kan i situasjoner med liten vannutskiftning tenkes å øke oksygenforbruket slik at kriteriet overskrides og uheldige biologiske effekter oppstår.

Akutte forhold ved anleggsdriften kan dermed oppsummeres slik:

- Inngrepene resulterer i vannkvaliteter som fører til fiskedød i de antatt mest kritiske vandringsperiodene, eller til så store unnvikelsesreaksjoner at vandringsadferden i vesentlig grad forstyrres. Blir påvirkningen stor kan oppgangen av voksen fisk stoppe slik at fisken utsettes for økt predasjon og i verste fall vil den ikke kunne gyte. Dette kan avhjelpest noe ved etablering av kunstige vandringskorridorer. Brukes Bjørvika som deponi for forurensede masser, bør den vurderes fysisk avsperrt fra havneområdet til massene er plassert og sedimentert og sikret ved overdekking.
- inngrepene fysisk sett stopper eller i vesentlig grad hindrer oppgang eller nedgang av gytefisk eller gjellfisk av sjørret eller forstyrrer utvandringen av laks- og sjørret-smolt. Dette kan unngås ved at utbyggingen prosjekteres slik at det i hele utbyggingsperioden er steder i traseen for senketunnelen der fisk kan passere naturlig eller ledes forbi. Når det gjelder støy, vil døgnkontinuerlig drift ikke gi "støyfrie" perioder i løpet av døgnet da fisken kan vandre naturlig. Fiskens naturlige vandringsrytme med den største aktiviteten etter mørkets frembrudd til ca. kl 02.00, kan bli vesentlig forstyrret.

7. Oppsummering, konklusjoner og anbefalinger

Havnebassenget har nå en forholdsvis veldefinert overflatesirkulasjon. Vannkvaliteten er periodevis dårlig. Tilstanden i området er viktig for fisk som vandrer opp i Akerselva eller ut fra denne. I anleggsperioden bør miljøtilstanden overvåkes både i forhold til vannkvalitet og til virkning på fisk. Den framtidige utformingen av elvemunningen kan endre sirkulasjonen, men det er grunn til å vente noe forbedret vannkvalitet i området etter at tunnelprosjektet er gjennomført. Utviklingen mht. vannkvalitet og fisk bør da overvåkes i en periode, og det er viktig at overvåkingen koordineres med andre undersøkelser og tiltak i området.

7.1. Nåværende sirkulasjon, vannkvalitet og vandring av fisk

Ved nåværende forhold fører Akerselva en vel definert vannstrøm ut i fjorden. Både i Bjørvika og i Bispevika skaper dette langsomme hvirvler, som i praksis ofte endres pga. av virkning av vind og tidevann.

Med hensyn til vannkvalitet ha undersøkelsen omfattet siktedyp og oksygen og i forhold til de norske miljøkvalitetskriteriene er tilstanden Mindre God-Dårlig. Mht. oksygen var forholdene jevnt over Meget Gode, men en kortvarig episode med oksygenkonsentrasjon nær 1.5 mlO₂/l gjør at tilstanden likevel må bedømmes som dårlig. Målinger på stasjoner utenfor havnebassenget viser at forholdene i Bjørvika og Bispevika i stor grad påvirkes av den generelle tilstanden i nordre del av indre Oslofjord. Siktedypet påvirkes i tillegg av turbid elvevann og periodevis avrenning av partikkelholdig vann fra gater.

I dagens situasjon har vi et fungerende system der fisken vandrer opp i Akerselva fra fjorden. De siste år har man brukt kortvarige lokkeflommer (5 m³/s) for å få fisken til å gå raskere opp i perioder når vannføringen i Akerselva er liten og fisken står og "stanger" i elvemunningen.

7.2. Framtidig sirkulasjon, vannkvalitet og vandring av fisk

I tillegg til det foreliggende prosjektet med E18 i senketunnel er det planer om to andre prosjekt som vil påvirke miljøforholdene i området:

- Oslo havnevesen planlegger å fjerne forurensede bunnsedimenter i Bjørvika og Bispevika
- Statsbygg planlegger bygging av en opera i Bjørvikas nordre del

Alle vil på sitt vis påvirke tilstanden i Bjørvika og til dels Bispevika. Vår vurdering av framtidig miljøtilstand vil dermed i hovedsak gjelde utbyggingen av E18 og kan ikke gi et samlet bilde av den framtidige tilstanden i området.

Sirkulasjon og vannkvalitet

Den planlagte senketunnelen vil føre til at utløpet for Akerselva trekkes innover, men etterlater to "øyer" litt utenfor den nye munningen. Det meste av elvevannet vil strøkke direkte ut i Bjørvika og Bispevika og bare en mindre del av elvevannet finner veien gjennom det tidligere utløpet. Simuleringen med skipsstøvvoll i 2 m dyp foran Operaen viser at den vil ha liten innvirkning på den langsomme sirkulasjonen i overflatelaget i Bjørvikas indre del. Derimot er det neppe tvil om at utfyllinger og selve fundamenteringen av et operabygg vil medføre endringer i denne sirkulasjonen. I anleggsperioden må man forvente lokal forverret vannkvalitet, i første rekke ved spredning av partikler som påvirker siktedypet.

Det er grunn til å vente en noe forbedret vannkvalitet i Bjørvika og i Bispevika etter at tunnelprosjektet er fullført, men det avhenger i stor grad av hvilke tiltak som ellers gjennomføres. Hvis forurensede bunnsedimenter blir fjernet og at nytt egnet bunnsstrat legges ut vil det forbedre

vannkvaliteten både ved at det lokale oksygenforbruket blir mindre, samt at oppvirvling av slam fra bunnen sannsynligvis vil avta og dermed føre til noe bedre siktedyp. På den annen side er det klart at siktedypet i hovedsak bestemmes av den generelle tilstanden i indre Oslofjord, samt av vannkvaliteten i Akerselva og overflatevann fra gater og andre arealer. Perioder med dårlige oksygenforhold kan fortsatt inntreffe som følge av innstrømming av oksygenfattig vann fra områder utenfor denne delen av havnebassenget.

Vandring av fisk

Når ytre deler av Bjørvikautstikkeren og Paulsenkaia beholdes gir dette en tredeling av elvevannet i en østlig, en vestlig del og en mindre transport i et mer sentralt løp ut i bassenget. For fiskens del vil konsekvensen være at ferskvannsstrømmen blir mer diffus og at oppgangen blir mindre rettet enn nå.

7.3. Anbefalinger

1. Forhold som må tas hensyn i forhold til vannkvalitet og fiskebiologi.

Under planleggingen av utforming av kanal og ny topografi er det viktig å legge vekt på at

- rester av Paulsenkaia og Bjørvikautstikkeren utenfor den nye munningen av Akerselva fører til en 3-deling av strømmen av elvevann. Dette uoversiktlige strømbildet kan vanskeliggjøre oppvandring av fisk, og kairestene bør vurderes fjernet.
- glatte og mer sammenhengende kaifronter gir mer veldefinerte strømforhold som fisken kan følge langs sjøkanten og i elvemunningen, og i mindre grad gir lokale "bakevjer" der fisk kan samles og bli mer utsatt for forurensende utslipp eller predasjon.

Under selve anleggsperioden bør en ta hensyn til følgende:

- At inngrepene ikke vil skape en vannkvalitet som fører til fiskedød i de antatt mest kritiske vandringsperiodene, eller til så store unnvikelsesreaksjoner at vandringsadferden i vesentlig grad forstyrres.. Dette kan avhjelpest noe ved etablering av kunstige vandringskorridorer.
- At det blir to perioder (vandringsvinduer) hvor fisken trenger mest mulig fri adgang til elva. Det er i forbindelse med smoltutgangen i mai –juni og under oppgang av gytefisk i oktober-november.
- At en i løpet av døgnet gi fisken "støyfrie" perioder da den kan vandre ut. Disse bør tilpasses fiskens naturlige vandringsrytme hvor den største aktiviteten foregår etter mørkets frembrudd til ca. kl 02.00.

I tillegg bør man vurdere å justere anleggsdriften slik at lokkeflommene får full effekt.

2. Overvåking i utbyggingsfasen og etter at prosjektet er fullført

I sitt miljøoppfølgingsprogram for E18-prosjektet har SvO satt klare mål mht. å unngå forringelse av vannkvalitet og unngå skader og forstyrrelse av dyre og planteliv. Måloppnåelsen må dokumenteres gjennom et overvåkingsprogram. Vi nevner kort noen hovedelementer.

- a. I utbyggingsfasen vil det spesielt være behov for overvåking av vannkvalitet og fiskebiologiske forhold for å kunne reagere med mottiltak hvis miljømessig uheldige situasjoner oppstår, eller kunne dokumentere omfanget av slike:

I forhold til vannkvalitet er sannsynligvis oksygen og turbiditet de mest sentrale parameterne. I tillegg kan det være aktuelt med overvåking i forhold til metaller, avhengig av hvordan anleggsvirksomheten griper inn i forurensede sedimentmasser. Oksygen, turbiditet og evt. konsentrasjon av utvalgte metaller bør overvåkes hyppig på utvalgte stasjoner og dyp, og det fastsettes grenseverdier der overskridelse skal utløse f.eks. mer intensiv og utvidet prøvetaking

eller midlertidig stopp i anleggsvirksomheten. Støtteparametre vil være temperatur, saltholdighet og evt. næringssalter. Etter utbyggingen bør sirkulasjonen i overflatelaget beskrives på nytt.

De mest kritiske periodene for den anadrome fisken er smoltutvandringen i mai-juni og september-november når gyteoppgangen er størst. Den naturlige vandringsadferden påvirkes i tillegg til klimatisk betingete forhold, av strømsetningen i tiltaksområdet (kaifronter og endret elveutløp), vannkvalitet (flytting/fjerning av forurensede sedimenter, O₂-forhold mv.) og fysiske hindringer som følge av tiltaket. Den beste måte å registrere dette er å sette ut fisketeller(e) i Akerselva for å registrere fiskeoppgangen i en aktuell periode.

I tillegg er det mulig at levetilstandene for fisken periodevis forringes vesentlig i anleggsperioden, med fiskedød som resultat. Risikoen for dette må vurderes og om nødvendig overvåkes slike situasjoner med f.eks. bioassay med levende fisk i høyrisiko-perioder i anleggstiden

- b. Etter at utbyggingen er avsluttet vil det være behov for overvåking for å kunne dokumentere hvordan forholdene har blitt. Utformingen av overvåkingsprogrammet må ta hensyn til andre aktiviteter som påvirker forholdene i området, som bygging av en Opera og fjerning av forurensede bunnsedimenter, og bør omfatte en ajourføring mht. sirkulasjon og dertil en lengre overvåking mht. vannkvalitet og fisk.

Overvåkingen bør koordineres med overvåkingsprogrammet for indre Oslofjord (i regi av Fagrådet for indre Oslofjord) og overvåking av Akerselva.

8. Litteratur

Andersen, J.R., Bratli, J.L., Fjeld, E., Faafeng, B., Grande, M., Hem, L., Holtan, H., Krogh, T., Lund, V., Rosland, D., Rosseland, B.O. og Aanes, K.J. 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. SFT Veiledning 97:04. TA-1468/1997, 31 sider.

Aas, P. 1982. Fjord stockings of nonanadromous brown trout *Salmo trutta* L. ICES C.M. 1982/M33, 6 s.

Brittain, J.E. & Saltveit, S.J., 1985. Faunaen i elver og bekker i Oslo kommune. Del V. Bunndyr og fisk i Akerelva 1982 og 1983. Rapport Ferskvannøkologisk Laboratorium, Oslo 77, 33 s.

Brittain, J.E. & Saltveit, S.J., 1988. A fish-kill in the river Akerselva, Oslo, Norway: The use of benthos and fish to trace the source of pollution. Fauna Norvegica, Serie A 9: 37-42.

Enerud, J. og K. Lund 1999; Registrering av sjøørretvassdrag. Fylkesmannen Oslo og Akershus, rapport nr 1, 1999.

Hansen, J.P. 1989. Introduction of Atlantic salmon *Salmo salar* L. to the river Akerselv, Oslo. Fauna Norvegica, Serie A 7: 27-32

Hansen, J.P. & Jonsson, B., 1990. Restocking the River Akerselv, Oslo with Atlantic salmon smolts *Salmo salar* L. of different stocks. Fauna Norvegica, Serie A 11: 9-15.
different

Hansen, J.P. & Jonsson, B., 1991. Effect of smolt age on migratory behaviour of Baltic salmon, *Salmo salar* L., transplanted to the east Atlantic. Aquaculture and Fisheries Management, 22: 357-362.

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

Kirkerud, L., 1998. Critical oxygen levels for demersal fishes and invertebrates. NIVA-report no. 3917-98. 36 pp. Oslo.

Konieczny, R., 1994: Miljøgiftundersøkelser i indre Oslofjord. Delrapport 4. Miljøgifter i sedimenter. Norsk institutt for vannforskning. Rapport nr. 3094.

Magnusson, J., Lømsland, E.R. og Johnsen, T., 1996. Overvåking av forurensningssituasjonen i indre Oslofjord 1995. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport nr. 661/96. NIVA-rapport I.nr. 3487:96.

Magnusson, J., Berge, J.A., Bjerkeng, B., Bokn, T., Gjøsæter, J., Johnsen, T., Lømsland, E.R., Schram, T.A. og Solli, A., 2001. Overvåking av forurensningssituasjonen i indre Oslofjord 2000. Statlig program for forurensningsovervåking, TA-1807/2001. NIVA-rapport nr. 4387-2001. 86 sider.
Molvær J., J.Knutzen, J.Magnusson, B.Rygg, J.Skei og J.Sørensen, 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystvann. SFT Veiledning 97:03. TA-1467/1997, 36 sider.

Sand, O. 1992. Hørsel og sidelinjesans. - I Fiskens fysiologi (K. Døving & E. Reimers red.), John Grieg Forlag AS, Bergen : 92-105

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 LNR 4112-99. 32 sider.

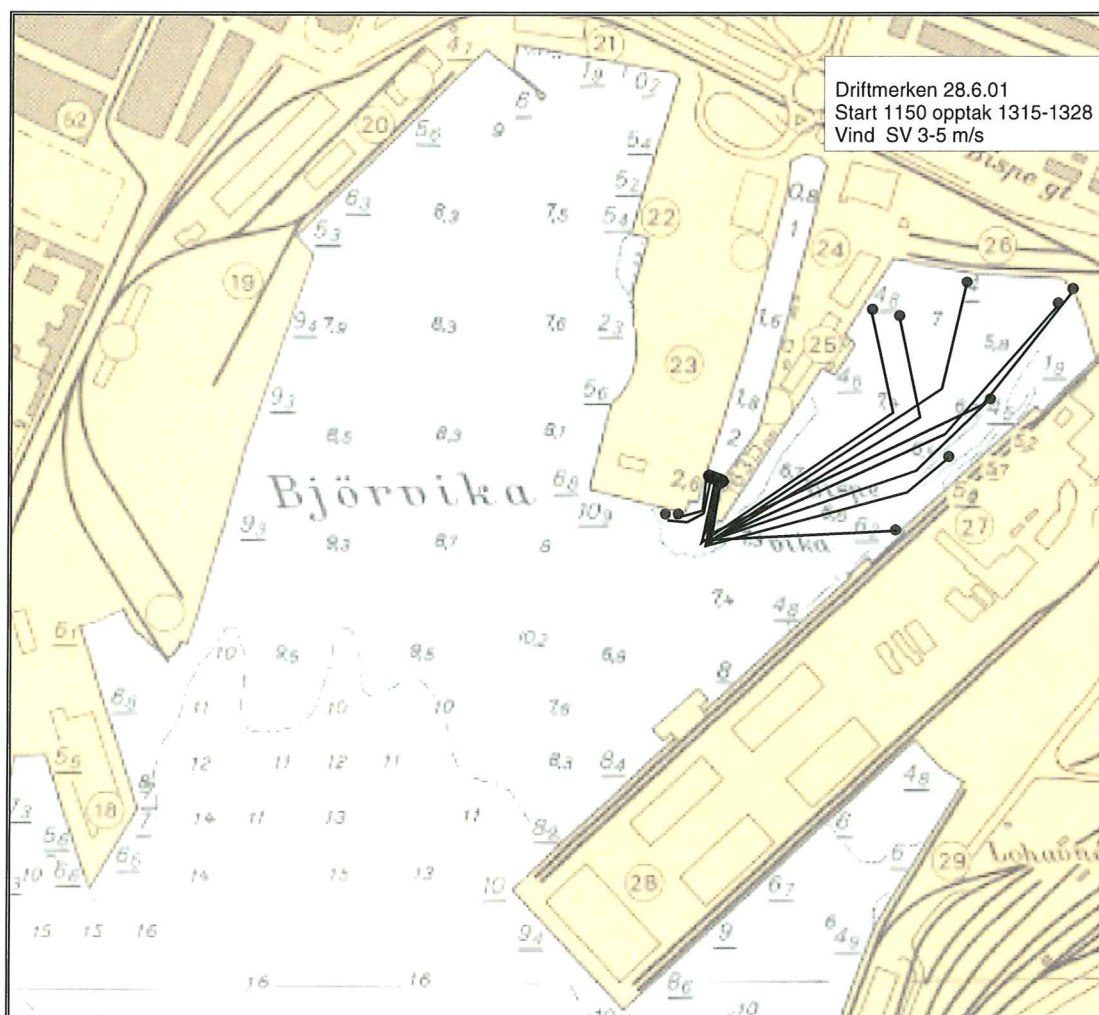
Schaanning, M.T., B. Bjerkeng, J. Magnusson og A. Sundfjord, 2000. E18 mellom Festningstunnelen og Ekeberg tunnelen. Tiltak for å sikre vannkvalitet etter utbygging av E18 i senketunnel gjennom Bjørvika og Bispevika. NIVA-rapport nr. 4250-2000. 35 sider.

Statens helsetilsyn 1994. Vannkvalitetsnormer for friluftsbad. Friluftsbad - badevann. Rundskriv IK-21/94 med vedlegg.

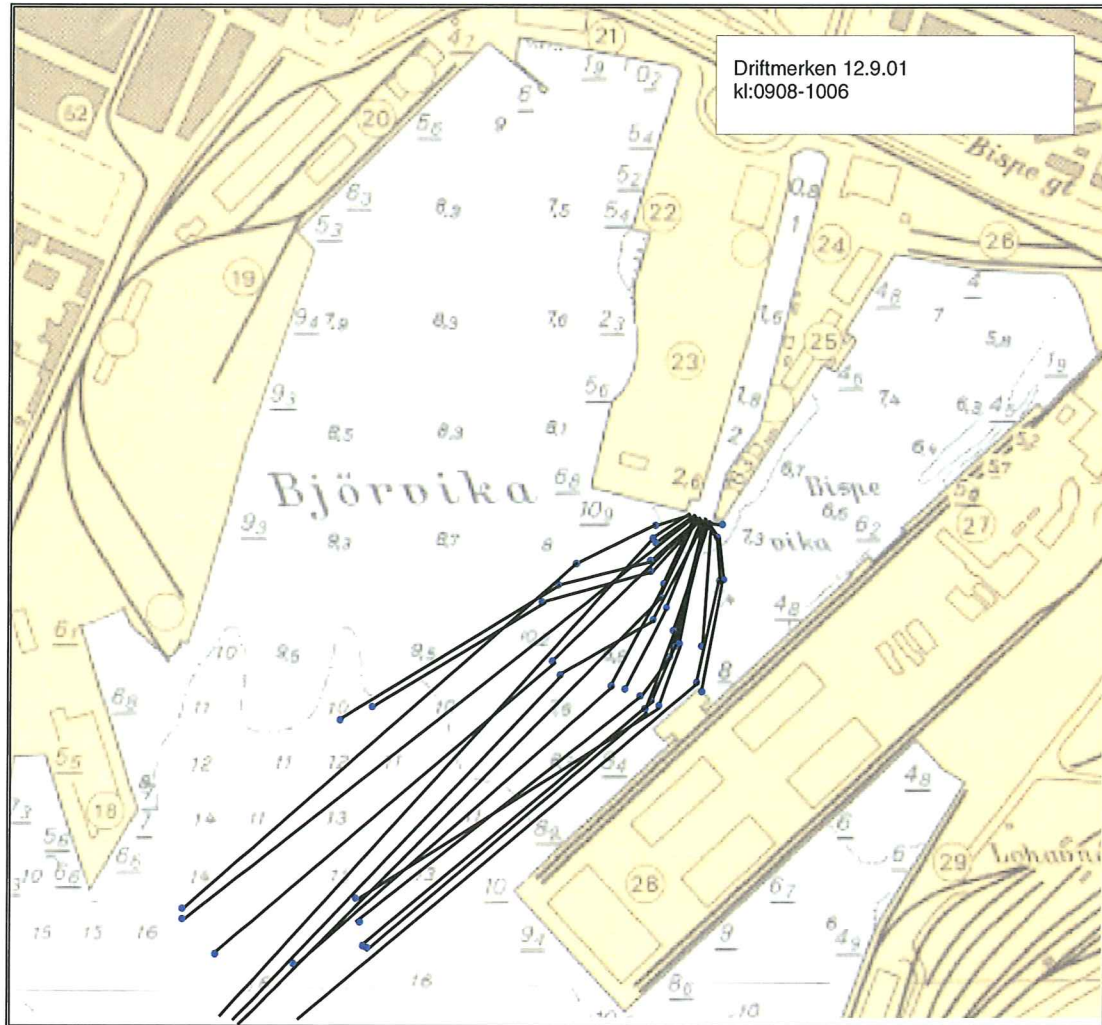
Statens vegvesen Oslo (SvO) 2000. Miljøoppfølgingsprogram Etappe 1. E18 Festningstunnelen – Ekeberg tunnelen. Statens vegvesen Oslo. 36 sider.

Vedlegg A.

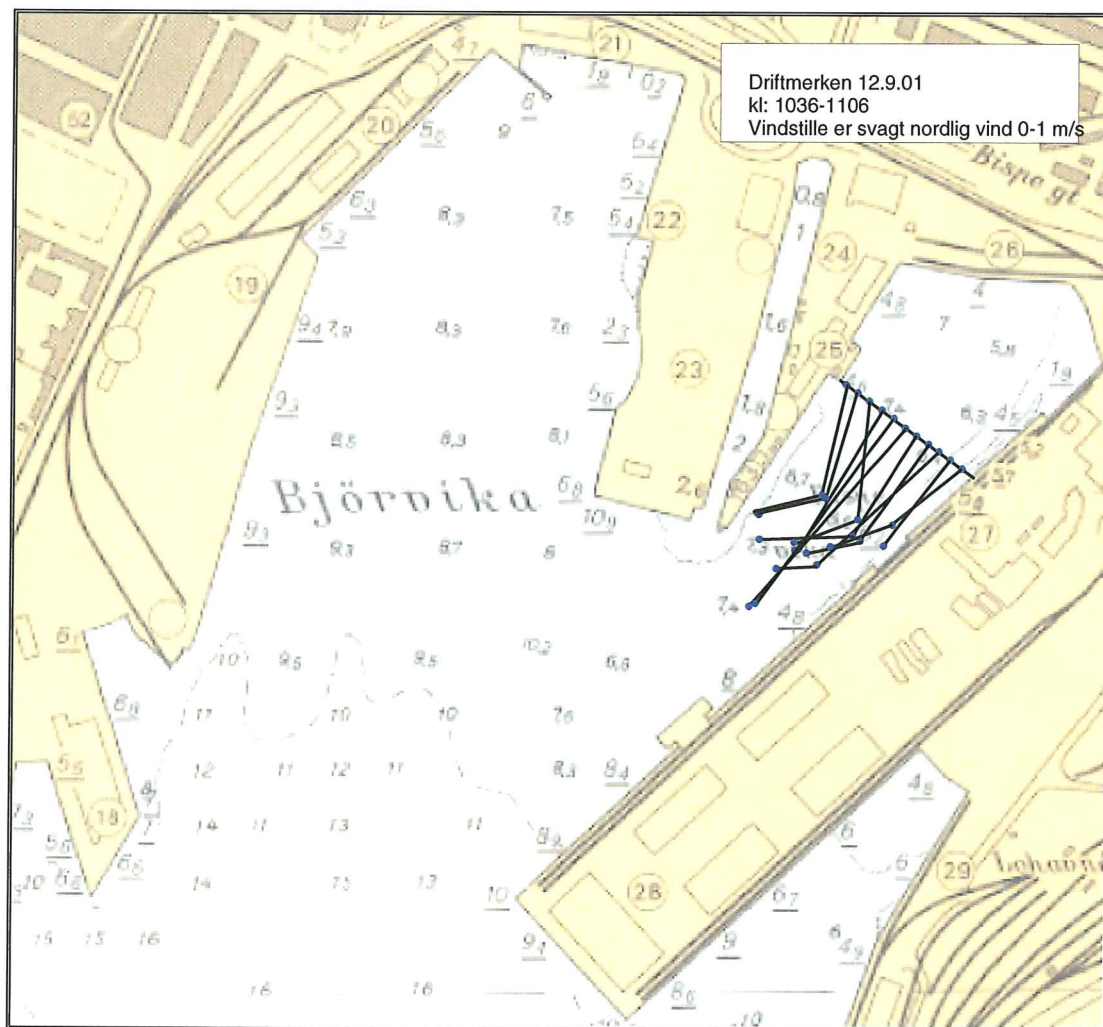
Figurer som viser resultat fra kartlegging av overflatesirkulasjon ved bruk av driftmerker.



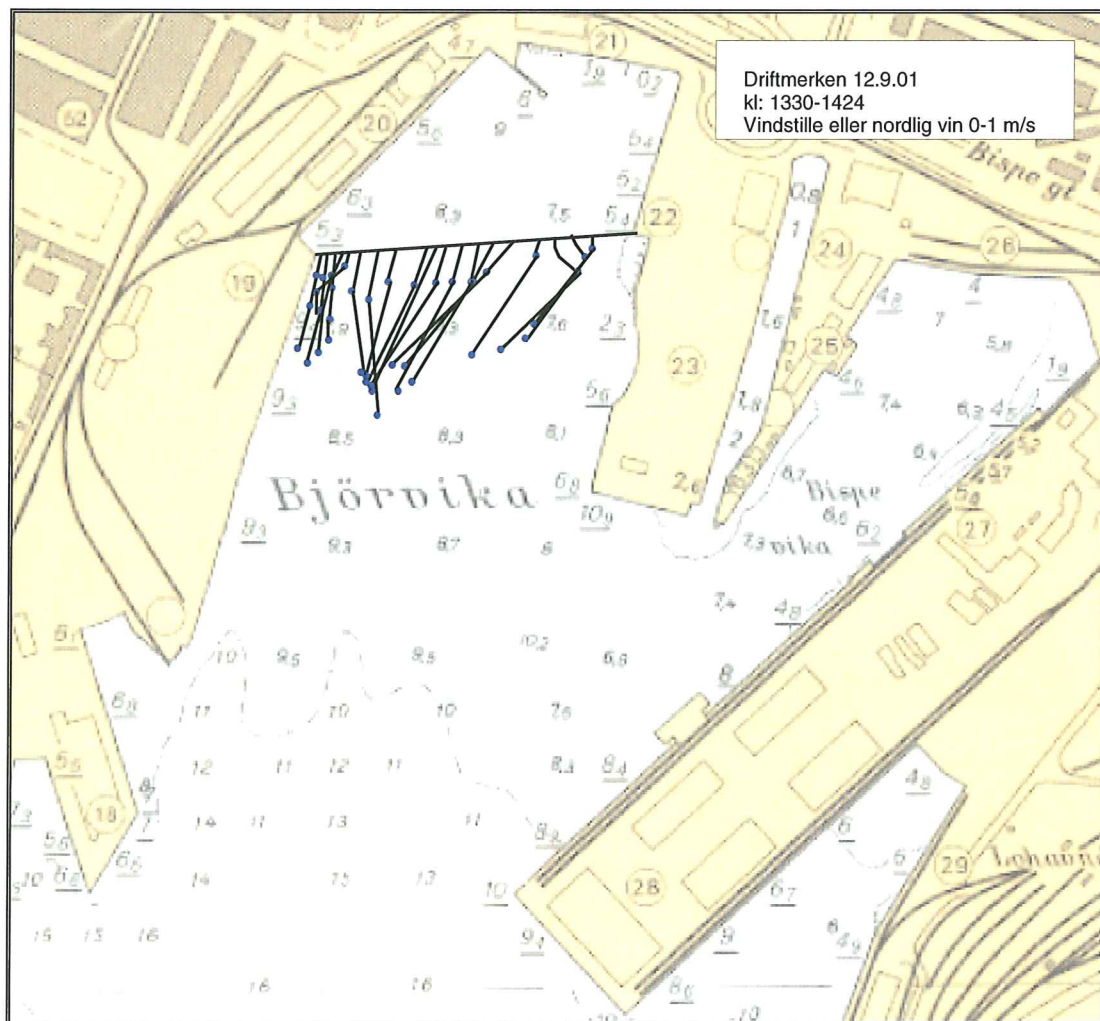
Figur A1. Utslipp av driftmerker for observasjon av overflatestrøm den 28.6.2001.
Bris fra sørvest. Svakt fallende vannstand.



Figur A2. Utslipp av driftmerker for observasjon av overflatestrøm den 12.9.2001. Nordlig vind 5-7 m/s og stigende vannstand.



Figur A3. Utslipp av driftmerker for observasjon av overflatestrøm den 12.9.2001.
Vindstille eller svak nordlig vind, Svakt stigende vannstand.



Figur A4. Utslipp av driftmerker for observasjon av overflatestrøm den 12.9.2001.
Vindstille eller svak nordlig vind, Svakt fallende vannstand.