



RAPPORT LNR 5182-2006

Konsekvenser ved utvidelse av Tingsaker båthavn, Lillesand kommune

Vannsirkulasjon, bunnforhold og
naturtyper i strandsonen



Foto: Jarle Håvardstun

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

Midt-Norge

Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 73 54 63 85 / 86
Telefax (47) 54 63 87

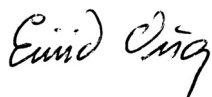
Tittel Konsekvenser ved utvidelse av Tingsaker båthavn, Lillesand kommune. Vannsirkulasjon, bunnforhold og naturtyper i strandsonen.	Løpenr. (for bestilling) 5182-2006	Dato 22. mars 2006
	Prosjektnr. Undernr. 24309 16	Sider Pris 33
Forfatter(e) Eivind Oug Jarle Molvær Tone Kroglund	Fagområde Marin økologi	Distribusjon
	Geografisk område Aust-Agder	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Lillesand kommune	Oppdragsreferanse
---------------------------------------	-------------------

Sammendrag

I Tingsakerfjorden ved Lillesand er det en båthavn med 200 plasser som planlegges utvidet med 180 nye plasser. Denne undersøkelsen vurderer konsekvensene ved en utbygging basert på modellanalyser av sirkulasjon i overflatevannmasser, undersøkelse av bunnforhold og undersøkelse av naturtyper på grunt vann og i strandsonen omkring reguleringsområdet. Modellanalysene viste at overflatestrømmer drevet av tidevann og ferskvannstilrenning er svake med hastigheter jevnt over mindre enn 1 cm/s. Ved utbygging av båthavnen kan vannsirkulasjonen bli ytterligere svekket med dannelse av bakevjer flere steder. Mye av denne effekten kan motvirkes ved å sørge for strategisk plasserte åpninger hvor vannet kan strømme fritt. I båthavnen var bunnforholdene dårlige med organisk overbelastede sedimenter. Utenfor båthavnen var bunnforholdene bedre med forekomst av arter som er følsomme for forurensning. Større bunnområder omkring havnen var bevekst med ålegras. På grunt vann var det i hovedsak sandbunn inn mot land. I strandsonen fantes vanlige flerårige tangarter, men forekomst av endel påvekstaler på tang indikerte anrikning av næringssalter. Nedsatt vannutskiftning som følge av utbyggingen vil føre til dårligere vannkvalitet, økt avsetning av finmateriale i grunnområder omkring havnen og økt vekst av begroingsorganismer. Tiltak som sikrer vanngjennomstrømming i båthavnen vil begrense effektene, men trolig vil bølgedemping fra havnen også bidra til nedsatt vannfornyning i omkringliggende områder.

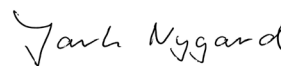
<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Småbåthavn Konsekvensvurdering Overflatesirkulasjon Gruntvannsmiljø 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Marina Evaluation of effects Circulation of surface waters Shallow water environment
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



Eivind Oug
Prosjektleder



Kari Nygaard
Forskningsleder



Jarle Nygard
Fag- og markedsdirektør

Konsekvenser ved utvidelse av Tingsaker båthavn, Lillesand kommune

Vannsirkulasjon, bunnforhold og naturtyper i
strandsonen

Forord

Lillesand kommune ved Lillesand Havn KF har satt i gang planarbeid for rehabilitering og utvidelse av dagens småbåthavn i Tingsakerfjorden. Båthavnen er på 200 båtplasser og planlegges utvidet med ca. 180 nye båtplasser. ViaNova Kristiansand AS gjennomfører planarbeidet og har utarbeidet forslag til utbygging av havnen. Forslaget innebærer at havnen utvides med flere brygger utenfor eksisterende anlegg i sørøstlig retning.

Som et ledd i planarbeidet blir det gjennomført miljøutredninger som tar for seg ulike forhold ved utbyggingen. ViaNova Kristiansand AS ved Bjørn Vidar Hellenes henvendte seg til NIVA 5. oktober 2005 med forespørsel om å foreta en vurdering av konsekvenser for naturtilstanden i sjøområdene i og omkring båthavnen.

NIVA utarbeidet forslag til undersøkelser 26. oktober 2005. Forslaget har tatt sikte på å vurdere virkninger for naturområder som er viktige for biologisk mangfold, for utøvelse av friluftsliv eller som kan utsettes for forurensning. Forslaget ble akseptert av Lillesand kommune i melding av 7. november 2005.

Ved undersøkelsene har Jarle Mølvær foretatt modellanalyser av vannsirkulasjon og vannutskiftning. Tone Kroglund har undersøkt naturtyper og bunnvegetasjon på grunt vann og i fjæresonen omkring reguleringsområdet, mens Eivind Oug har gjennomført undersøkelser av bunnfauna og bunnsedimenter. Feltarbeid ble gjennomført av Jarle Håvardstun og Tone Kroglund.

Kontaktperson hos ViaNova AS har vært Bjørn Vidar Hellenes. Kjell Kartevoll har bidratt med kart og informasjon om forslag til utbygging av båthavnen.

Grimstad, 22. mars 2006

Eivind Oug

Innhold

Sammendrag	5
1. Innledning	7
1.1 Bakgrunn	7
1.2 Undersøkellesområdet	7
1.3 Tidligere undersøkelser	8
1.4 Problemstillinger og mål for undersøkelsen	8
2. Simulering av vannutskiftning	9
2.1 Grunnlag	9
2.2 Metodikk	9
2.3 Resultater	11
3. Bunnforhold og bunntyper	17
3.1 Metodikk	17
3.2 Bunnsedimenter	18
3.3 Bunnfauna	20
4. Naturforhold i strandsonen og på grunt vann	22
4.1 Metodikk	22
4.2 Naturtyper	22
4.3 Vegetasjon og bunndyr i fjæresonen	24
5. Hydrografi	25
6. Vurderinger	26
7. Litteratur	29
Vedlegg A. Metodikk for simulering av overflatesirkulasjon	30
Vedlegg B. Fauna i bunnprøver	32
Vedlegg C. Posisjoner for bunnprøver og hydrografiske profiler	33

Sammendrag

I Tingsakerfjorden ved Lillesand er det en småbåthavn med 200 båtplasser. Båthavnen ligger i bunnen av fjorden med god lokal beskyttelse. Lillesand kommune vurderer nå å utvide båthavnen med ca. 180 nye plasser. Dagens havn og nye anlegg er basert på flytebrygger.

Som et ledd i planarbeidet blir det gjennomført utredninger av konsekvensene for natur og miljø ved utvidelse av småbåthavnen. Denne undersøkelsen tar for seg hvilke konsekvenser utbyggingen kan ha for naturtilstanden i sjøområdene i og omkring båthavnen. Undersøkelsen omfatter modellanalyser av sirkulasjon av overflatevannmasser i fjorden, undersøkelse av bunnforhold i båthavnen og reguleringsområdet og undersøkelse av naturtyper og bunnvegetasjon på grunt vann og i strandsonen omkring reguleringsområdet.

Modellanalysene for overflatesirkulasjon er utført både med utgangspunkt i dagens båthavn og med utgangspunkt i forslag til utbygging av båthavnen. Analysene omfatter både høyvannssituasjon og lavvannssituasjon, som er svært forskjellige fordi det tørrelegges et betydelig areal vest for båthavnen ved lavvann. Modellen drives av tidevann og ferskvannstilrenning. Modellresultatene er relative, men det antas at analysene vil gi god representasjon av forandringene i sirkulasjonen ved utbygging av båthavnen. Modellen simulerer strøm i overflatesjiktene 0-1 m og 0-2 m.

Modellsimuleringene indikerte at hele området er preget av svake overflatestrømmer med strømhastigheter jevnt over mindre enn 1 cm/s. I hovedsak strømmer overflatevannet rett innover og rett utover i fjorden, men sirkulasjonen påvirkes av tilrenning av ferskvann på vestsiden av fjorden. Dagens bryggeanlegg synes ikke å redusere vannutvekslingen i vesentlig grad. Fordi hovedstrømmene er svake, kan lokale vinddrevne strømmer være viktige i området.

Ved utbygging av båthavnen vil overflatesirkulasjonen bli svekket. Simuleringene basert på forslag til utbygging indikerte at det kan dannes bakevjer flere steder, mens vannfornyelsen i området nord for båthavnen vil bli redusert. Det synes også som om vannfornyelsen omkring dagens flytebrygger vil bli dårligere. Analysene ble utført for en tett utbygging av båthavnen uten mulighet for gjennomstrømning, noe som vil være tilfelle dersom hele havnen fylles tett med båter. Ved å begrense antall båtplasser og sørge for strategisk plasserte åpninger hvor vannet kan strømme fritt, kan en viss, om enn ikke fullstendig, vanngjennomstrømning sikres. Plassering av brygger og utnyttelsen av anlegget kan derfor være viktig for å sikre vannfornyelse og motvirke dannelse av bakevjer.

I båthavnen og de dypeste delene av fjorden var bunnen preget av bløte bunnsedimenter. Bunnsedimentene inneholdt planterester og sagflis som må stamme fra sagbruk eller annen treindustri. I båthavnen var tilstanden dårlig. Bunnsedimentet var organisk overbelastet og var nesten uten dyreliv. Utenfor båthavnen var tilstanden moderat god i det dypeste området av fjorden. I bunnfaunaprøvene ble det påvist flere arter som normalt er følsomme for forurensning. Det kan derfor se ut til at områdene utenfor båthavnen var lite påvirket av forurensning fra båthavnen.

Bunnområdene på grunt vann og opp til fjæresonen var stort sett preget av sandbunn, men stedvis var det mudderbunn med forholdsvis mørkt sediment. Sandbunnen gikk de fleste steder helt opp til fjæra hvor den ble avløst av fjell. I store deler av området var bunnen bevokst med ålegras som til dels utgjorde tett, fin vegetasjon. I enkelte grunne områder var det større mengder blåskjell på sandbunnen og spredte tangplanter.

I fjæresonen var det forekomst av vanlige flerårige tangarter, men i det meste av området hvor sandbunnen nådde opp i fjæra, var det bare en smal sone med vegetasjon langs stranden. Flere steder ble det observert mye påvekst (‘lurv’) på tangen som indikerer at fjorden er anrikt av

næringsalter. Ved båthavnen ble det observert felter med hvite forråtnelsesbakterier. Tørrfallsområdet vest for båthavnen hadde bløtt sediment med mye døde blader og annet terrestrisk materiale på overflaten.

Nedsatt vannutskiftning som følge av utbyggingen vil gi seg utslag i dårligere vannkvalitet i og omkring båthavnen, økt avsetning av finmateriale i nærliggende grunnområder og økt vekst av begroingsorganismer på fjell og stein. Langs land kan sandbunnsområdene få mer mudderholdige sedimenter. I strandsonen kan forekomst av påvekstalger ('lurv') og hurtigvoksende trådformete brunalger og grønnalger bli forsterket på steder hvor vegetasjonen i dag er forholdsvis frisk. Dette vil gjøre områdene mindre attraktive og nedsette kvaliteten på strandområdene omkring båthavnen.

Tiltak som sikrer vanngjennomstrømming i båthavnen vil begrense effektene på de omkringliggende strandområdene. Spesielt er det viktig med åpninger i bryggeanlegget som orienteres i samme retning som hovedvannbevegelsene i området, dvs. i fjordens lengderetning, for å opprettholde mest mulig rettlinjert vannbevegelse. Trolig vil det også kunne vinnes mye ved å holde fri vannpassasje langs land innerst i båthavnen. Åpninger i havnen vil også være viktige for vinddrevne overflatestrømmer. Vannmasser under 1-2 m dyp vil kunne passere fritt inn og ut av båthavnen, men vannpassasjen blir redusert dersom det er lite fritt vann under brygger og båter.

I strandsonen vil områdene øst for båthavnen kunne bli mest påvirket ved utbygging. De mest nærliggende områdene må forventes å bli vesentlig mindre attraktive i tilfelle av en tett utbygging av båthavnen. Ved tiltak som sikrer fri vannsirkulasjon langs land vil virkningene bli mindre, men trolig vil forholdene likevel bli dårligere enn dagens tilstand som følge av bølgedempingen fra havnen. Områdene lenger øst i Tingsakerfjorden vil påvirkes i mindre grad. Strandområdene ved campingplassen vest for båthavnen vil trolig påvirkes minst med utbyggingen.

Utvidelse av båthavnen vil rimeligvis også føre til større fare for forurensninger. De fleste miljøgifter som tilføres sjøen er i stor grad knyttet til partikler og bunnfelles i strømsvake områder. Trolig vil det meste bunnfelle i eller nær båthavnen. I utbyggingsområdet må det forventes at forholdene på bunnen under bryggene blir dårlige.

1. Innledning

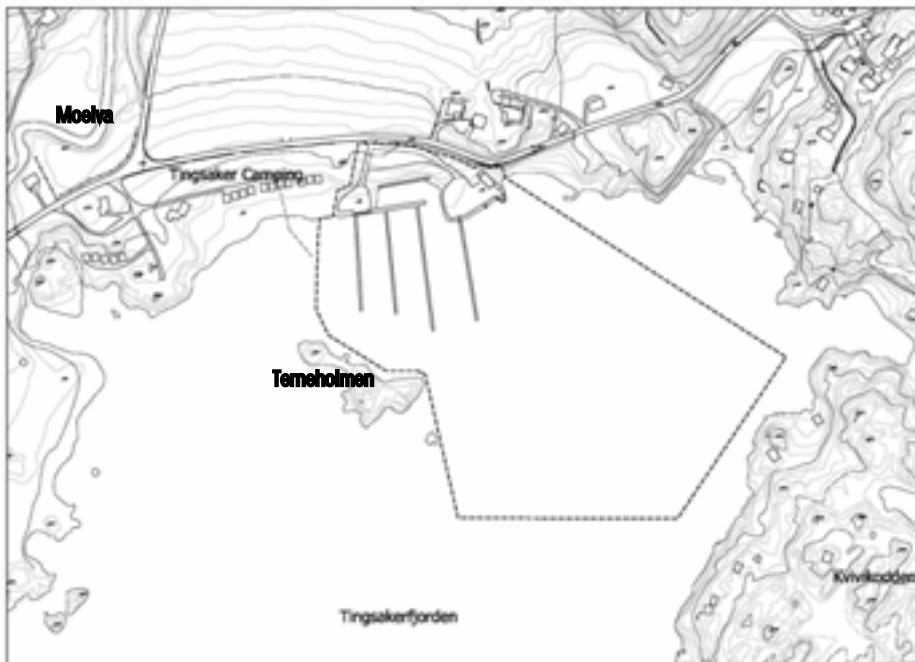
1.1 Bakgrunn

I Tingsakerfjorden ved Lillesand er det en småbåthavn med 200 båtplasser. Båthavnen ble anlagt i 1978 og har senere vært utvidet flere ganger. Lillesand kommune vurderer nå å utvide båthavnen med ca. 180 nye plasser. ViaNova Kristiansand AS har på vegne av Lillesand Havn KF igangsatt planarbeid for rehabilitering og utvidelse av båthavnen. Reguleringsområdet for en utvidet havn vil omfatte et større sjøareal i indre del av Tingsakerfjorden (ViaNova 2005).

Som et ledd i planarbeidet blir det gjennomført utredninger av konsekvensene for natur og miljø ved utvidelse av småbåthavnen. Utredningene omfatter friluftsliv, landskapspåvirkning og naturfaglige forhold. Foreliggende utredning tar for seg hvilke konsekvenser utbyggingen kan ha for naturtilstanden i sjøområdene i og omkring båthavnen. I arbeidet er det lagt vekt på å vurdere naturområder som er viktige for biologisk mangfold, for utøvelse av friluftsliv eller som kan utsettes for forurensning.

1.2 Undersøkellesområdet

Tingsakerfjorden strekker seg ca. 1 km østover fra Lillesand sentrum. Båthavnen ligger i bunnen av fjorden i et område med god lokal beskyttelse (**Figur 1**). Litt utenfor havnen har fjorden dyp ned til 30 m. Båthavnen er skjermet av en liten holme (Terneholmen) som er skilt fra land med et grunnparti som faller tørt ved lavvann. Like vest for båthavnen er det en campingplass og friområder langs land. Ved campingplassen kommer det ut et vassdrag, Moelva. Øst for havnen er det spredt boligbebyggelse. Strandområdene veksler mellom små sandstrender og hardbunnsområder. På strekningen fra båthavnen til Kvikvikodden er det flere eksisterende og planlagte badeplasser.



Figur 1. Indre del av Tingsakerfjorden med eksisterende båthavn og reguleringsområdet for utvidet båthavn (ViaNova 2005).

1.3 Tidligere undersøkelser

Det er tidligere foretatt undersøkelser av bunnsedimenter og av fjæreorganismer i området. I 2000 ble miljøgifter i bunnsedimenter målt på 16 m dyp i båthavnen. Det ble funnet forholdsvis høy forurensning av tjærestoffer (PAH) og oljekomponenter, og høye verdier for tinnorganiske forbindelser (Næs et al. 2002). Bunnsedimentet var sort og hadde moderat lukt av hydrogensulfid.

I 1996-97 ble det foretatt registreringer av strandsoneorganismer på Terneholmen. Strandsonen hadde god tangvegetasjon, men var preget av hurtigvoksende alger med overvekt av forurensningstolerante arter (Kroglund et al. 1999). Resultatene tyder på at området ved Tingsaker er næringsanrikt og at vekst av hurtigvoksende tolerante arter begunstiges.

1.4 Problemstillinger og mål for undersøkelsen

Aktivitetene i en småbåthavn vil alltid medføre at det tilføres noe forurensende stoffer til sjøen. I hovedsak vil dette omfatte lekkasjer av drivstoff, mindre oljesøl og utlekking av begroingshindrende midler fra bunnstoff. I tillegg kan det lekke ut rester av maling, lakk og impregneringsstoffer fra båter og bryggeanlegg. På brygger, tauverk og flytelegemer vil det danne seg naturlig begroing av blåskjell, rur, alger osv. Vekst av begroingsorganismer fører til en ekstra belastning i området ved at begroingsmaterialet faller til bunns og råtner når organismene frigjøres, enten naturlig eller ved mekanisk rensing (Oug & Kroglund 2001).

Faste konstruksjoner og flytebrygger vil redusere vannsirkulasjonen i vannmassene. Dette kan føre til at effektene av forurensninger og organiske tilførsler forsterkes. Spesielt i strømbakevjer vil det være fare for økt avsetning av forurensninger. Forandringer i overflatestrømmer vil også ha betydning for hvor forurensninger på overflaten, for eksempel olje og eventuelt søppel, vil drive og kunne treffe land i områdene omkring.

Undersøkelsen har hatt som mål:

- å beskrive endringer i vannsirkulasjon og vannutskiftning i og omkring båthavnen som følge av utbyggingen
- å kartlegge viktige naturtyper i området som kan være utsatt for økt påvirkning av forurensninger eller utslipp fra båthavnen
- å vurdere i hvilken grad utbyggingen kan føre til økt spredning av forurensninger

Undersøkelsen inneholder tre fagelementer:

- modellanalyse av vannsirkulasjon og vannutskiftning i området
- undersøkelse av bunnforhold og miljøtilstand i båthavnen og i reguleringsområdet
- undersøkelse av naturtyper og hovedorganismer i fjæresonen og på grunt vann omkring reguleringsområdet

Modellanalysen gir en beskrivelse av hvordan utbyggingen kan endre vannutskiftning og sirkulasjonsmønstre i området. Modellen simulerer sirkulasjon og endringer i overflatelaget ned til 2 m dyp. Undersøkelsen av bunnforholdene dokumenterer dagens tilstand i området. Undersøkelsen av naturtyper på grunt vann og i fjæresonen er gjennomført for å avklare hvor det finnes naturtyper som kan være sårbare for forurensninger eller endringer i vannsirkulasjon. Samlet gir undersøkelsene av bunnforhold og naturtyper grunnlag for en kvalitativ karakteristikk av vannkvaliteten i området.

2. Simulering av vannutskiftning

2.1 Grunnlag

Sirkulasjonen i overflatelaget er simulert ved bruk av modellen ”Surface Water Modelling System” (SMS/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). I denne undersøkelsen er modellen benyttet til å beskrive dagens sirkulasjon i området og en framtidig sirkulasjon etter forslag til utbygging av båthavnen.

For å kunne angi strømforholdene presist, må beregningene kalibreres mot feltmålinger av strøm. Det er ikke foretatt strømmålinger i denne undersøkelsen. Modellresultatene er derfor relative, men det antas at analysene vil gi god representasjon av forandringene i sirkulasjonen ved utbygging av båthavnen.

Modellanalysene er utført både for høyvannssituasjon og lavvannssituasjon. Disse er svært forskjellige fordi det tørrlegges et betydelig areal innenfor Terneholmen like vest for båthavnen ved lavvann. I modellen er det antatt at tidevannet er den viktigste drivkraften for strømmen i området. I tillegg er det lagt inn betydningen av ferskvannstilførsler fra Moelva.

Ved beregningene av framtidig sirkulasjonen er det benyttet et planforslag for utvidelse av båthavnen utarbeidet av ViaNova.

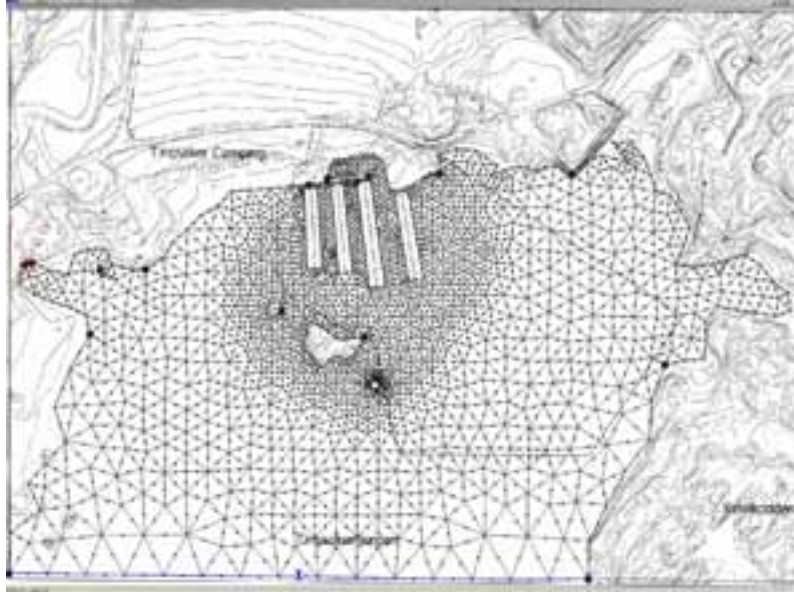
2.2 Metodikk

Metodikk og beregningsgrunnlag for modellen er nærmere beskrevet i **Vedlegg A**.

Modelleringen begynner med å konstruere et nettverk (grid) med diskrete punkter, dvs. data over posisjon og dyp for punktene i et nettverk (**Figur 2**). I denne undersøkelsen ble det benyttet et nettverk med oppløsning omkring flytebryggene på 10 m, mens det i større avstand ble benyttet 20 m og 40 m oppløsning.

Ved analysene må nettverket tilegnes en initialtilstand. Dette gjøres ved å legge en horisontal, plan overflate over hele nettverket. Ved hjelp av topografiske data, grenseflatebetingelser og initialbetingelser beregner modellen løsninger i tidssteg. Modellen beregner verdier for fart, retning og vannstand i hvert av punktene i gridet der det er lagt inn posisjon og dyp.

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



Figur 2. Nettverket eller gridet i RMA2-modellen for simulering av sirkulasjon før utbygging. I hvert hjørne av trekantene og midt på hver side (noder) beregnes høyden over referansedypet, strømretning og strømhastighet

Data og inngangsverdier

Strømforholdene i overflatelaget vil oftest være bestemt av tidevann, vind og den topografiske utformingen av kaier og strandsone. Ifølge Tidevannstabeller fra Norges Sjøkartverk er gjennomsnittlig forskjell mellom høyvann og lavvann i Lillesand ca. 0,2 m. Tidevannet er halvdaglig og man kan regne med at tidsvannsstrømmen er svært svak. Modellen er satt opp til å kjøre 4 tidevannsperioder (48 timer) med tidsskritt på 0,5 time.

Modellen må gis verdier for koeffisienter for turbulens og bunnfriksjon. Turbulens og friksjon varierer med strøm- og bunnforholdene, og er vanskelige å bestemme nøyaktig. I denne analysen er det benyttet verdier for 'middels' friksjon mot dypvann og sider.

Flytebryggene vil være bygd opp av pongtonger som stikker ca. 1 m dyp. Sommerstid kan en del av båtene ved bryggene være noe dypere enn dette. I denne undersøkelsen er det foretatt simuleringer for både 0-1 m og 0-2 m overflatelag. For disse vannlagene vil flytebryggene med båter i stor grad fungere som sperringer. Noe vann vil sannsynligvis bli presset ned og under bryggene, men i perioder med høy ferskvannstilrenning og sjiktning av overflatelaget i fjorden vil dette bare i liten grad finne sted.

I tillegg til å bestemme tykkelsen av vannlaget krever modellen også at man oppgir mengden av vann som strømmer inn eller ut i modellområdet ved en eller flere yttergrenser (render) for modellen. I denne undersøkelsen er modellen satt opp med to slike render:

1. en linje mot sør hvor vannstanden varierer med tidevannet
2. utstrømmingen av Moelva hvor det er brukt en vannføring på 1,5 m³/s. Dette er relativt mye, men inkluderer også en del sjøvann som i elvemunningen blandes inn i det utstrømmende elvevannet. Verdien er hentet fra vannføringsdata for Moelva (Fylkesmannen i Aust-Agder 1988).

Simuleringene er utført for fire ulike kombinasjoner (scenarier) av topografi og vannstand (**Tabell 1**).

Tabell 1. Hovedscenarier for beregning av overflatesirkulasjon.

Scenario	Topografi og vannstand
S1	Dagens situasjon med flytebrygger og høy vannstand
S2	Dagens situasjon med flytebrygger og lav vannstand
S3	Fremtidig situasjon med flere flytebrygger og høy vannstand
S4	Fremtidig situasjon med flere flytebrygger og lav vannstand

2.3 Resultater

Forskjellen i sirkulasjon mellom 1 m og 2 m tykt vannlag – forutsatt tilstrekkelig vandyp under – var ubetydelig. Eneste forskjell var at ved 1 m vannlag framstår virkningen av utstrømmende ferskvann fra Moelva litt sterkere vest for Terneholmen enn ved tykkere lag.

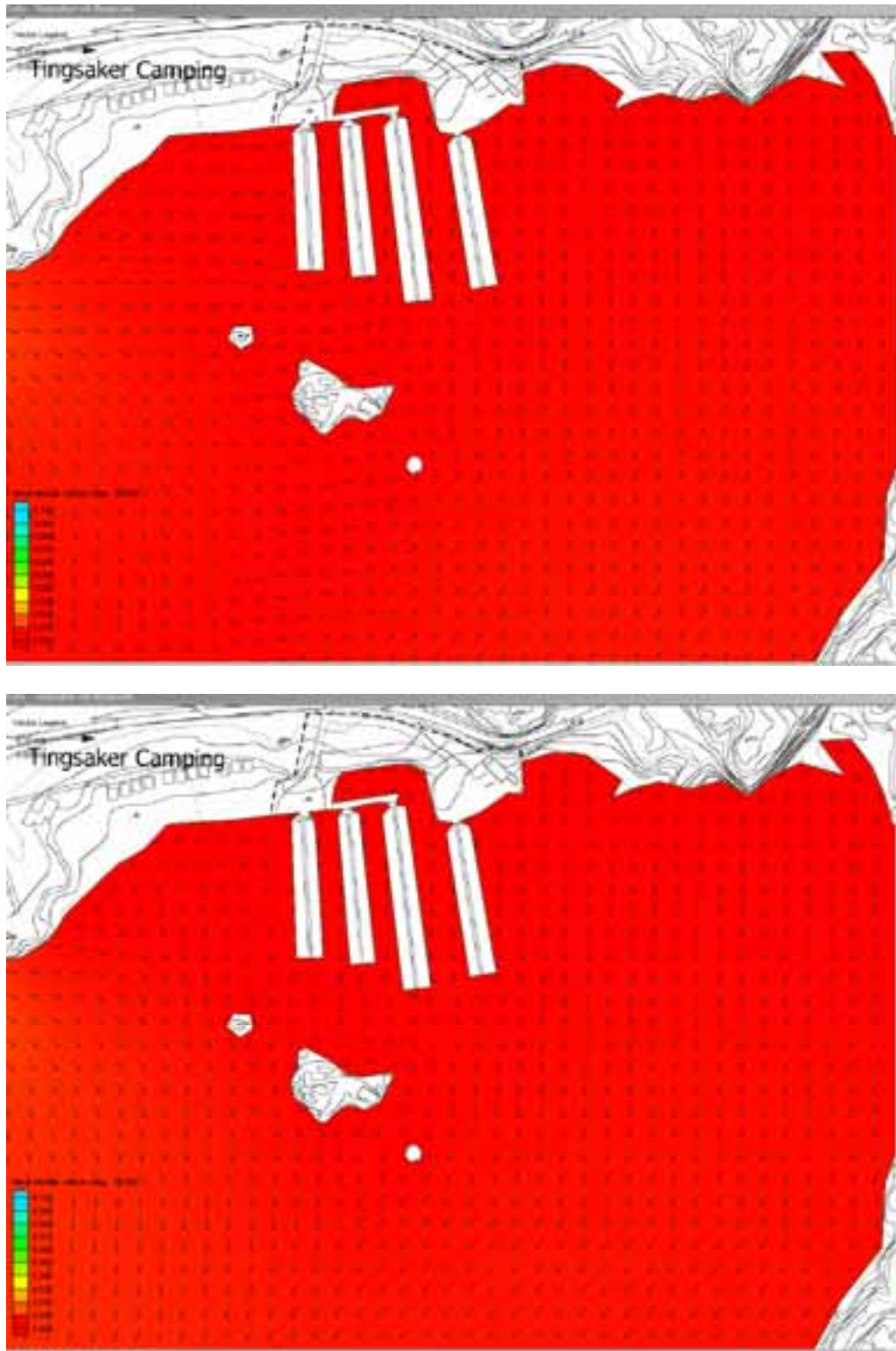
Resultater for de fire scenariene og 1 m tykt vannlag er vist i **Figur 3-6**. Strømretningen er vist med piler og strømhastigheten som meter/sekund er antydnet med fargeskala. Der vandypet er mye større vil betydningen av en småbåthavn bli mindre. Det må også tas i betraktning at modellen bare beskriver virkningen av tidevann og av ferskvannstilførselen fra Moelva. Situasjonen på enkeltdager, spesielt dager med sterk vind eller høy tilrenning også fra andre vannkilder i området, kan derfor bli forskjellig fra hva modellen viser.

Overflatesirkulasjon ved nåværende båthavn

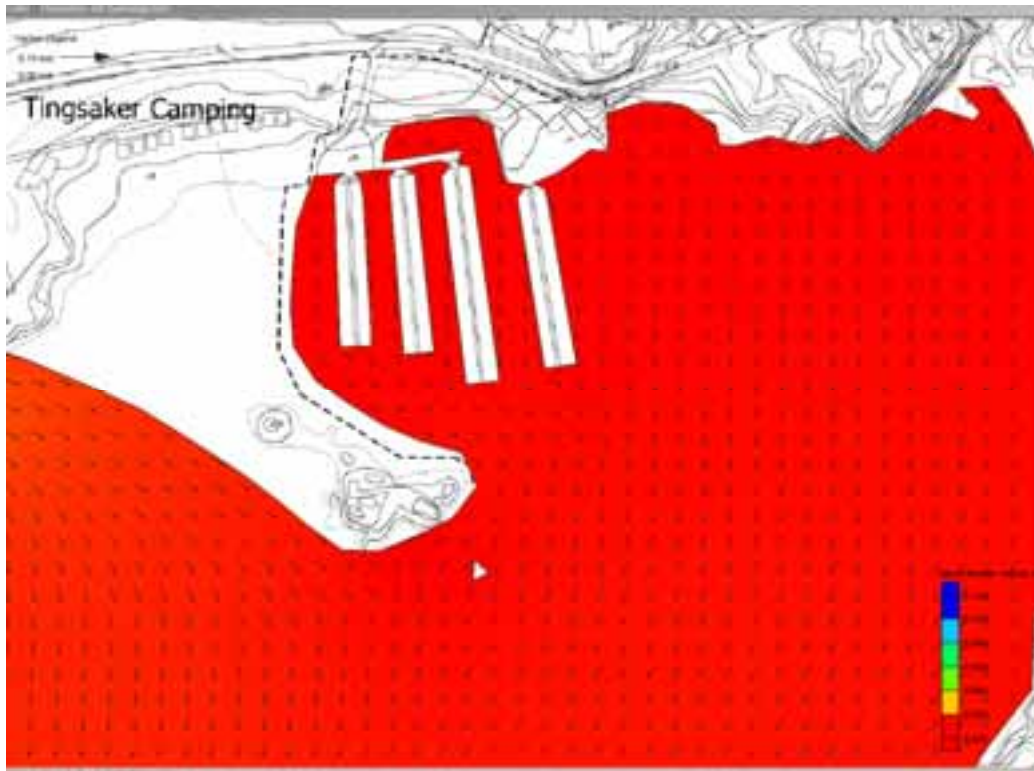
Alle scenarier viser langsomme vannbevegelser og svake strømmer i Tingsakerfjordens indre del, og særlig omkring flytebryggene. Hastigheten er jevnt over mindre enn 1 cm/s.

I **Figur 3 og 4** er det vist modellresultater for høyvannssituasjon og lavvannssituasjon, henholdsvis før og etter vannstandsvending. Resultatene viser at vannet i hovedsak strømmer rett innover og rett utover i fjorden. Ferskvannstilrenningen fra Moelva påvirker strømforholdene på vestsiden av fjorden. Ved stigende sjø (innstrømmende tidevann) vil ferskvannet strømme mot båthavnen, enten direkte mot båthavnen på høyvann eller rundt Terneholmen på lavvann. Ved fallende sjø renner vannet rett ut av båthavnen.

Modellen indikerer at dagens brygger i båthavnen ikke reduserer vannutvekslingen i vesentlig grad. Flytebryggene er rette og retningen avviker ikke så mye fra fjordens lengderetning i området. Tidevannet kan dermed noenlunde enkelt strømme fram og tilbake uten at det dannes mye virvler og bakevjer.



Figur 3. Scenario 1: Strømbilde for 0-1 m vannlag, med dagens utbygging og høy vannstand. Øverst: tidevann strømmer inn (før vannstandsvending). Nederst: tidevann strømmer ut.



Figur 4. Scenario 2: Strømbilde for 0-1 m vannlag, med dagens utbygging og lav vannstand. Øverst: tidevann strømmer ut (før vannstandsvending). Nederst: tidevann strømmer inn.

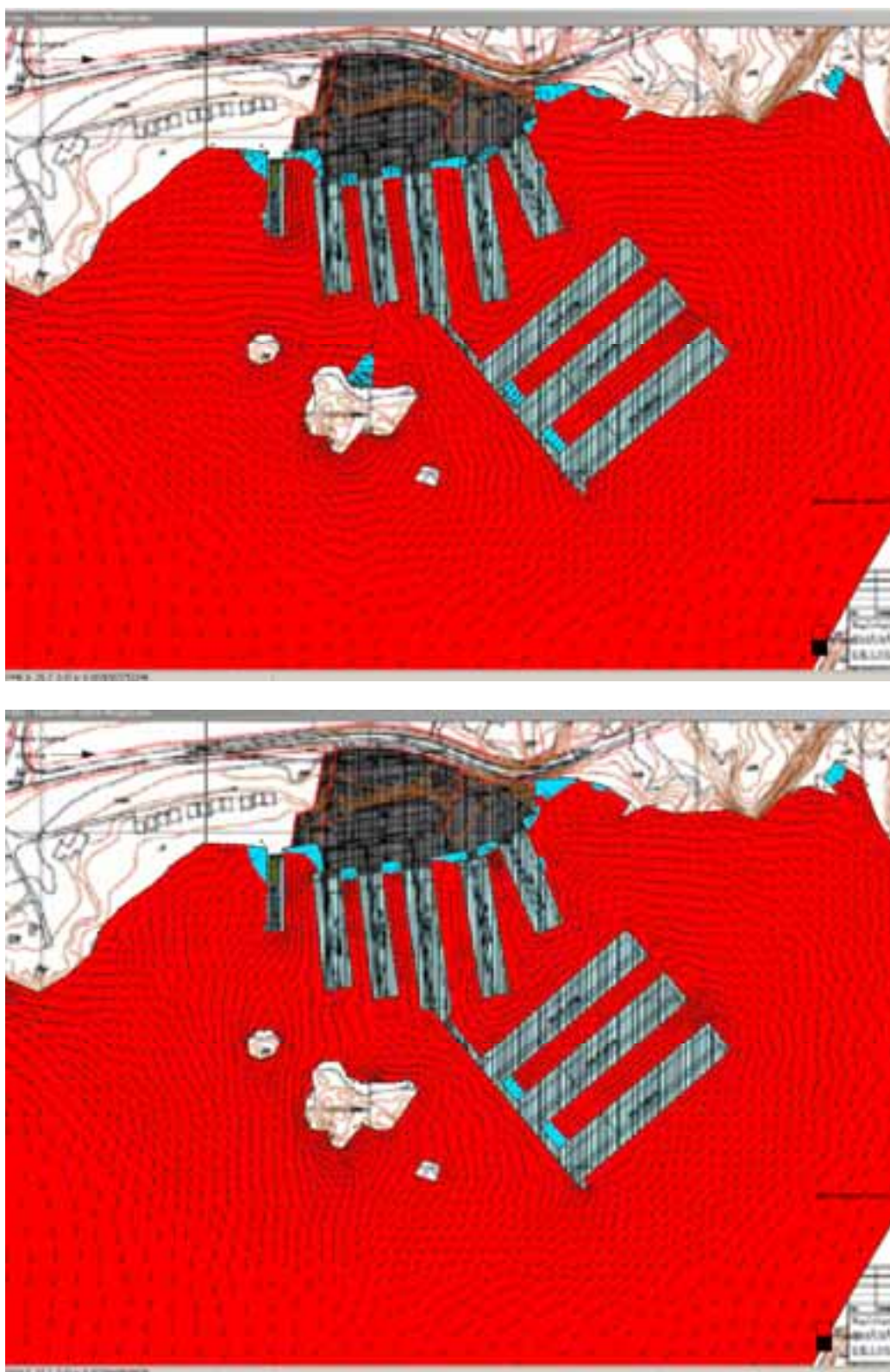
Overflatesirkulasjon ved planlagt utbygging

Ved den planlagte utbyggingen vil småbåthavna omfatte et større område. I forslaget til utbygging som her er benyttet, er det lagt inn tre relativt lange utstikkere på tvers av dagens brygger. Resultatene viser at dette vil føre til en betydelig utvidelse av området med svak vannfornyelse. Utstikkerne blir liggende på tvers av den nåværende hovedstrømretningen med den følge at det dannes bakevjer i mellom utstikkerne og at sirkulasjon og vannfornyelse i området nord for bryggene blir redusert (**Figur 5 og 6**). Det synes også som om utbyggingen vil kunne redusere vannfornyelsen omkring dagens flytebrygger. Disse forholdene er imidlertid vanskelig å fastslå sikkert fordi vannbevegelsen allerede er nede på et nivå der hastigheten er på grensen av det som modellen kan beskrive.

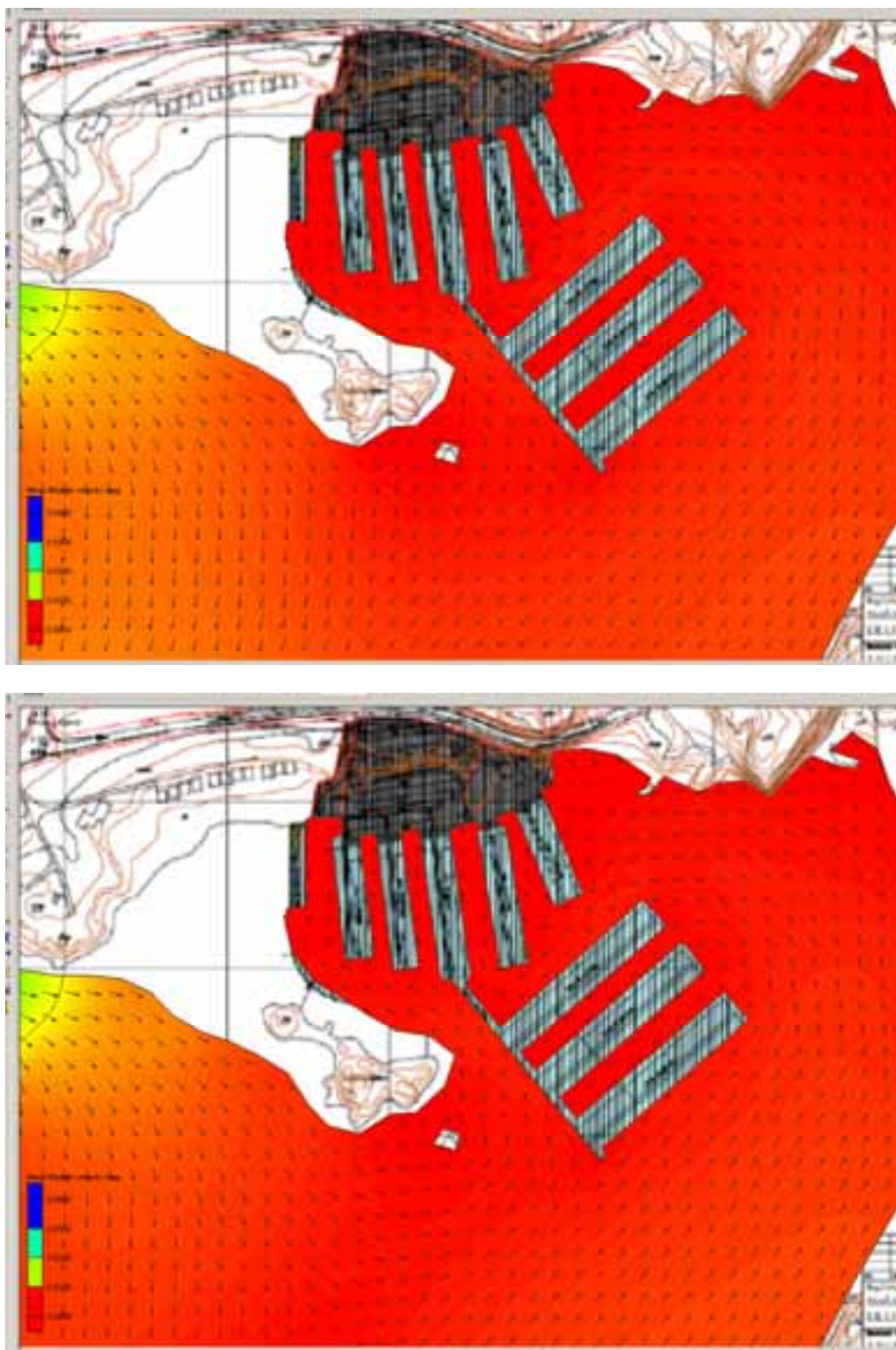
I et område som dette med generelt svake overflatestrømmer betyr skiftende vindforhold mye for vannfornyelsen. Trolig vil også effekten av denne fornyelsesmekanismen bli redusert ved den planlagte utbyggingen.

Ved utbyggingen av havnen er det beregnet å benytte flytebrygger som har god avstand mellom pongtongene og forholdsvis mye åpent vann (inntil 50 % areal) under bryggene (opplysninger fra ViaNova Kristiansand). I prinsippet kan det derfor være fri gjennomstrømning i bortimot halvparten av hver flytebrygges lengde når det ligger få båter ved bryggene. Analysene ovenfor er utført for full utnyttelse av bryggeplasser og full havn. Ved å begrense antall båtplasser og sørge for strategisk plasserte åpninger hvor vannet kan strømme fritt, kan en viss, om enn ikke fullstendig, vanngjennomstrømning sikres. Plassering av brygger og utnyttelsen av anlegget kan derfor være viktig for å sikre vannfornyelse og motvirke dannelse av bakevjer.

Vannmasser under 1-2 m dyp vil kunne passere fritt inn og ut av båthavnen. Vannpassasjen blir imidlertid redusert dersom det er lite fritt vann mellom bunn og pongtonger. For å opprettholde best mulig miljøforhold er det gunstig med størst mulig vandyp der bryggene blir plassert.



Figur 5. Scenario 3: Strømbilde for 0-1 m vannlag, med utbygging og høy vannstand. Tidevann strømmer inn (øverst) og ut nederst.



Figur 6. Scenario 4. Strømbilde for 0-1 m vannlag, med utbygging og lav vannstand. Tidevann strømmer ut (øverst) og inn nederst.

3. Bunnforhold og bunntyper

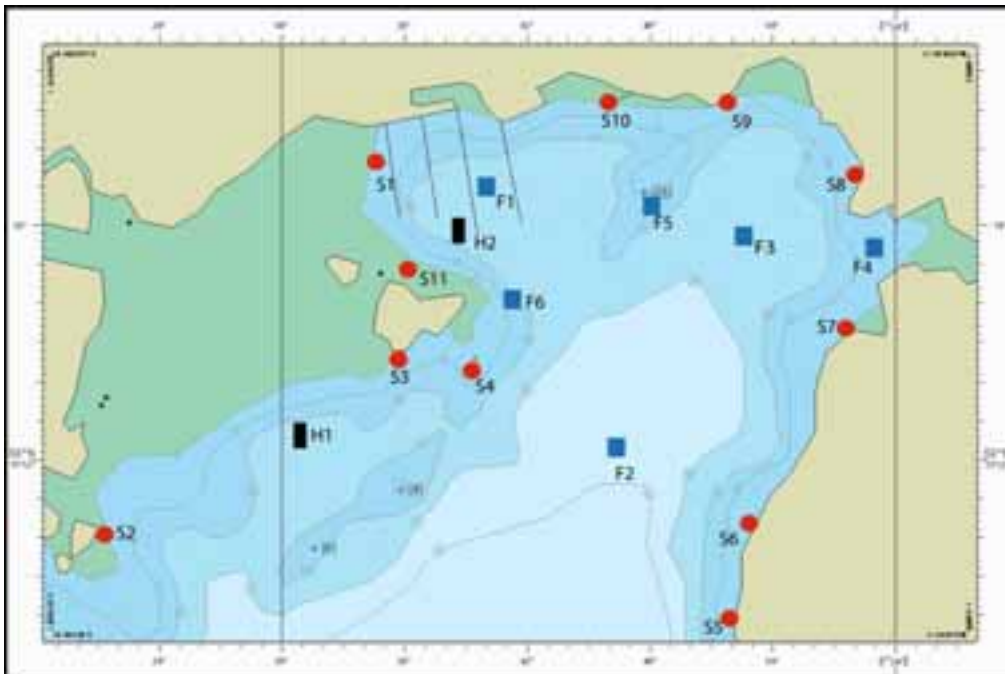
3.1 Metodikk

Feltundersøkelsene ble foretatt 7. desember 2005. Undersøkelsene ble gjennomført fra lettboat og med håndoperert utstyr. På undersøkelsestidspunktet var det overskyet, lett regn og kjølig vær (1-2 °C), men lite vind.

Prøver av bunnfauna og sedimenter ble tatt på tre prøvepunkter (stasjoner), en i eksisterende båthavn (F1) og to i området som vil bli dekket ved en utvidelse av båthavnen (F2, F3) (**Figur 7**). I tillegg ble det tatt bunnprøver for inspeksjon av bunnsedimentet på ytterligere tre stasjoner i og utenfor utredningsområdet (F4, F5, F6).

Prøvene ble tatt med liten håndgrabb av van Veen type med åpningsareal på 0,025 m². Ved prøvetakingen ble sedimentet visuelt inspisert og undersøkt for lukt og farge. Til analyse av bunnfauna ble det tatt to parallelle grabbhugg som ble slått sammen og vasket på 1 mm sikt. Sikterestene ble konserverte i 4-6 % nøytralisert formaldehydløsning.

Fra grabbhuggene ble det tatt delprøver av overflatesediment (0-2 cm) for analyse av sedimentets kornstørrelse (finfraksjon) og innhold av organisk materiale. Sedimentets finfraksjon (andel partikler <0,063 mm) ble bestemt ved våtsikting. Organisk materiale ble bestemt som totalt organisk karbon (TOC) og totalt nitrogen (TN) ved analyse i elementanalysator etter surgjøring med saltsyre. Delprøvene ble frosset ned fram til analyse.



Figur 7. Lokalteter for prøvetaking i Tingsakerfjorden 7.12.05. Blå firkanter: bunnprøver (F1-F6); røde sirkler: strandsone og naturtyper på grunt vann (S1-S11); sorte søyler: hydrografi (H1, H2). Grønt areal: grunnområde som tørrlegges ved lavvann; blå soner: henholdsvis 0-10 m, 10-20 m, >20 m.

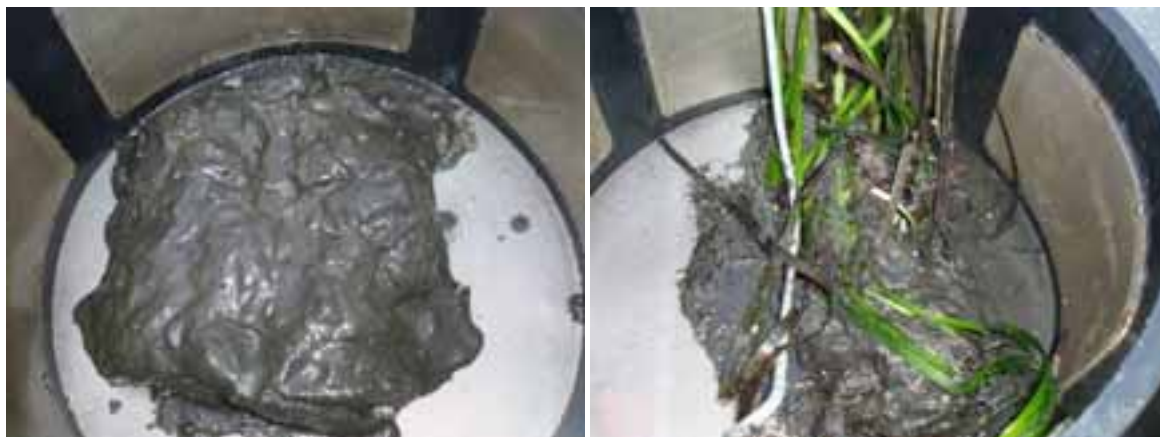
Tabell 2. Visuelle observasjoner av bunnsediment og restmateriale i prøver siktet på 1 mm sikt.

Stasj.		Dyp (m)	Observasjoner	Sikterest (materiale > 1 mm)
F1	Båthavn	14	Bløtt, mørkebrunt til svart sediment med svak lukt av hydrogensulfid (H ₂ S). Mye organisk innhold. Topplaget tynt, flekkvis olivengrønt.	Volum ca. 3 dl. Mye platerester og sagflis, rester av blad, stengler og fibre. Filtaktig rør av sylinderrøse, noen bløte og tynne rør av børstemark, flate rør av amfipoder. Ganske mye gråsvartede rør av <i>Pectinaria</i> . Noen skall av småmuslinger (<i>Thyasira</i> , <i>Abra</i>). Rester av blåskjell, litt sand.
F2		29	Mykt, leiraktig sediment. Brun/grå farge. Ingen lukt av hydrogensulfid (H ₂ S). Topplaget grålig.	Volum ca. 1 dl. En god del platerester, blad, stengler og fibre. Ganske mye sagflis. Skallrester av blåskjell og småmuslinger (<i>Nuculoma</i> , <i>Abra</i> , <i>Thyasira</i> , <i>Corbula</i> , <i>Mysella</i>). Mye rør av <i>Pectinaria</i> (børstemark). Litt sand og smågrus.
F3		18	Sandig brunt sediment med brunt topplag. Ingen lukt av H ₂ S. Mye skjellrester på overflaten. Prøve nr. 2 var kun halvfull.	Volum 0.5 liter. Mesteparten grov skjellsand og skallrester av rur og tykkskallede muslinger (<i>Cardium</i> , <i>Hiatella</i> , <i>Corbula</i> , <i>Mytilus</i> , <i>Astarte</i> , <i>Ostrea</i>). Rør av børstemark (<i>Pectinaria</i>). Endel mineralsand og grus. Litt planterester og sagflis.
F4		10	Bløtt, brunt/svart sediment med lukt av H ₂ S. Topplaget tynt, flekkvis olivengrønt. Mye skjellrester på overflaten. Sjømus og mark observert i prøven.	-
F5		6	Bløtt, brunt/svart sediment med svak lukt av H ₂ S. Mye organisk innhold. Ålegras, sekkedyr, levende muslinger. Sjømus og mark observert i prøven.	-
F6	Terneholmen	1	Sandbunn med spredt tang. Blåskjell, ålegras.	-

3.2 Bunnsedimenter

I båthavnen var bunnsedimentet mørkt på farge, hadde tydelig lukt av hydrogensulfid og inneholdt mye organisk materiale (**Tabell 2**). Sikteresten i prøven var preget av planterester og sagflis. Dette indikerer at bunnsedimentet var organisk overbelastet.

Utenfor båthavnen var bunnsedimentet generelt av lysere farge og visuelt vurdert av bedre tilstand. I det dypeste området av fjorden (st. F2; 29 m) var bunnsedimentet av normal farge og uten lukt, men i sikteresten var det mye planterester og sagflis. Innover mot bunnen av fjorden (st. F3) var det brunt sandig sediment med mye skallrester, mens det mot grunnere vann flere steder var mørkt finkornet sediment med mye organisk materiale (F4, F5). I noen prøver var det ålegras. I **Figur 8** er det vist bilder av bunnsediment fra 6-10 m dyp i indre del av fjorden.



Figur 8. Bilde av bunnsediment fra stasjon F4 (10 m) og F5 (6 m) i indre del av Tingsakerfjorden. Legg merke til skallrester i prøven fra F4 og friskt ålegras i prøven fra F5.

Analysene av sedimentprøvene viste at bunnsedimentet hadde høyt organisk innhold (**Tabell 3**). I båthavnen var verdien for totalt organisk karbon (TOC) nær 100 mg/g (10 %), som er meget høyt. I henhold til SFTs system for klassifisering av miljøkvalitet faller denne verdien i dårligste tilstandsklasse ('meget dårlig tilstand'), faktisk betydelig over grenseverdien som er 41 mg/g (Molvær et al. 1997). Utenfor båthavnen var TOC lavere, men verdiene var fortsatt forholdsvis høye og faller etter SFTs system i nest dårligste tilstandsklasse.

Forholdstallet mellom karbon og nitrogen (C/N-forholdet) var forholdsvis høyt på alle stasjonene. C/N-forholdet kan brukes som en grov indikator på opprinnelsen til det organiske materialet. I sedimenter hvor materialet stammer fra naturlig produksjon i vannmassene (for eksempel plankton) vil forholdstallet være 6-8, mens det i sedimenter som tilføres betydelig mengder materiale fra land overstiger 10. Dette skyldes at plantemateriale fra land er relativt nitrogenfattig. De forholdsvis høye verdiene viser at hele området er påvirket av tilført plantemateriale fra land. Innholdet av treflis i sedimentene vil bidra til det høye C/N-forholdet. I mange indre fjordområdet på Sørlandet, spesielt de som har vært påvirket av treindustri i tidligere tider, er det vanlig å finne høyt organisk innhold og høye C/N-verdier.

Ved undersøkelsen av bunnsedimenter i båthavnen i 2000 ble det registrert et organisk innhold (TOC) på 110 mg/g (Næs et al. 2002). Dette er svært nær verdien i foreliggende undersøkelse, og bekrefter at båthavnen er betydelig belastet av organisk materiale.

Tabell 3. Analyse av bunnsedimenter fra Tingsakerfjorden 7. desember 2005. TTS = totalt tørrstoffinnhold, TOC = totalt organisk karbon, TN = totalt nitrogen. Bunnsedimentet er karakterisert i henhold til SFTs klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann (Molvær et al. 1997). Ved klassifiseringen er TOC normert på basis av korninnhold.

Stasjon	Dyp	TTS mg/g	Korn <63µm, %	TOC mg/g	TN mg/g	C/N- forhold	SFT klassifikasjon
F1 båthavn	14	209	60	98.7	8.0	12.3	V - 'meget dårlig'
F2	29	405	72	34.3	2.7	12.7	IV - 'dårlig'
F3	18	537	35	27.7	1.9	14.6	IV - 'dårlig'

3.3 Bunnfauna

Det var svært få arter og individer i prøvene fra båthavnen (F1) (**Tabell 4**). Noen av artene som ble registrert, som for eksempel fåbørstemark og muslingen *Thyasira*, er svært tolerante for dårlige forhold. Faunaen indikerte tydelig at tilstanden var dårlig.

På den dypeste stasjonen (F2) var det normalt antall arter, men forholdsvis få individer. De fleste artene tolererer mindre gode forhold, men forsvinner når forholdene blir dårlige. En karakteristisk art er slangestjernen *Amphiura filiformis*. Denne finnes ofte i høye tettheter på steder med noe organisk anrikning, men forsvinner når forholdene blir dårlige. *Amphiura* unnviker også områder som er forurenset av miljøgifter.

Tabell 4. Individantall for de viktigste artene ved undersøkelsen i Tingsakerfjorden 7.12.05. Prøvene representerer et areal på 0,05 m². Totalt antall arter og individer i prøvene er også gitt.

	F1 båthavn	F2	F3
Nesledyr			
<i>Edwardsia</i> sp.	-	-	10
<i>Cerianthus lloydi</i> (sylinderrose)	-	-	1
Nemertinea indet (båndmark)	2	2	4
Fåbørstemark			
<i>Tubificoides benedii</i>	3	-	4
Mangebørstemark			
<i>Pholoe baltica</i>	-	4	4
<i>Glycera alba</i>	-	-	3
<i>Prionospio fallax</i>	-	2	3
<i>Chaetozone setosa</i>	-	2	-
<i>Heteromastus filiformis</i>	-	4	-
<i>Myriochele oculata</i>	-	1	3
<i>Sosane sulcata</i>	-	-	7
<i>Terebellides stroemi</i>	-	-	5
Bløtdyr			
<i>Nucula nitidosa</i>	-	3	3
<i>Thyasira</i> sp.	1	3	3
<i>Corbula gibba</i>	-	-	2
<i>Philine</i> sp.	1	1	-
Krepsdyr			
<i>Ampelisca</i> sp.	-	1	2
Pigghuder			
<i>Echinocardium cordatum</i> (sjømus)	-	3	-
<i>Amphiura filiformis</i>	-	4	15
Totalt antall arter	6	25	41
Totalt antall individer	9	48	103

På den innerste stasjonen (F3) var det mange arter og normalt individtall i prøven. Artssammensetningen indikerer at det var god tilstand på denne lokaliteten.

På stasjonene F4 og F5 ble det observert sjømus (*Echinocardium*) og børstemark i prøvene. Dette indikerer at tilstanden ikke var dårlig på disse stasjonene selv om bunnsedimentet var preget av mye organisk materiale.

Fullstendige resultater fra bunnprøvene er gitt i **Vedlegg B**.



Figur 10. Bilder fra undersøkelsesområdet 7. desember 2005.

I det meste av området hvor sandbunnen nådde opp til fjæra, var det bare en smal stripe med tangvegetasjon langs stranden (**Figur 10, Tabell 5**). Tang- og større algearter krever fast fjell eller stabile stein for å vokse. Området var således preget av en litt fattig tangvegetasjon. Ved Kvivikodden på østsiden av fjorden var det fast fjell også et stykke ned under fjæresonen og noe tettere og rikere vegetasjon (st. S5, S6).

I selve båthavna var det grunt vann og sedimentene var dekket med døde blader. Det ble observert mange hvite felter med forråtnelsesbakterier som indikerer at sedimentene har høy belastning av organisk materiale.

Gruntvannsområdet vest for båthavna var tørrlagt ved tidspunktet for undersøkelsen (**Figur 10**). På sedimentoverflaten var det mye døde blader og annet terrestrisk materiale. Stedvis var det hvite felter med forråtnelsesbakterier. Øverste sedimentlag var brunt, men like under overflaten var sedimentet sort og luktet av hydrogensulfid (H_2S).

Tabell 5. Stasjoner for undersøkelse av algevegetasjon og bunntyper i fjæresonen og på grunt vann. Lokalisering av stasjonene er vist på kart i Figur 7.

Lokalitet	Fjæresonen (litoralsonen)	Under fjæra (sublitoralsonen)
S1 Båthavna	-	Sand/mudderbunn med hvite felter med nedbrytningbakterier (<i>Beggiatoa</i>). Mange blader og annet terrestrisk nedfall.
S2	Fast fjell med tangvegetasjon. Sagtang, blæretang. Svært grunt.	Sandbunn med enkelte tangplanter. Tett ålegrasdekke på 1-2 meters dyp.
S3 Terneholmen	Fast fjell med litt spredt tangvegetasjon. Svært grunt, sandbunn fra 0,5m dyp.	Sandbunn med blåskjell. Ålegras lenger ute (spredte planter).
S4	Fast fjell med tangvegetasjon. Sagtang, blæretang, grisetang, strandsnegl. Brunt lurv (epifytter) på tangen. Grunt, sandbunn fra ca. 1 m dyp.	Sandbunn med spredt tangvegetasjon. Ålegrasdekke på dypere vann.
S5 Kvivikodden	Fast fjell med tangvegetasjon. Sagtang, blæretang, grisetang, strandsnegl. Kalkalger. Litt lurv (epifytter) på tangen.	Sandbunn med blåskjell.
S6 Kvivikodden	Fast fjell (bratt) med tangvegetasjon. Sagtang, blæretang, grisetang, rur. Kalkalger. Brunt lurv (epifytter) på tangen. Mye ferskvann i overflaten.	Fjell med spredt tang/andre algearter.
S7	Fast fjell med tangvegetasjon. Sagtang, blæretang, grisetang, rur. Mye ferskvann i overflaten.	Sandbunn med blåskjell i klaser. På dypere vann var det tett dekke med ålegras.
S8	Fast fjell med tangvegetasjon og blåskjell. Sagtang, blæretang, grisetang, rur, strandsnegl. Mye ferskvann i overflaten.	Sandbunn / spredt tang
S9	Bratt fjellvegg på land, brå overgang til slak sandbunn i sjø. Spredt tang.	Sandbunn med ålegrasdekke og noe spredt tang
S10	Fjell/store stein. Sagtang, blæretang, grisetang, rur, strandsnegl.	Sandbunn med spredt tang.
S11 Terneholmen	Fjell med delvis tangvegetasjon og delvis bart fjell.	Sandbunn med ålegras og blåskjell og enkelte spredte tangplanter.

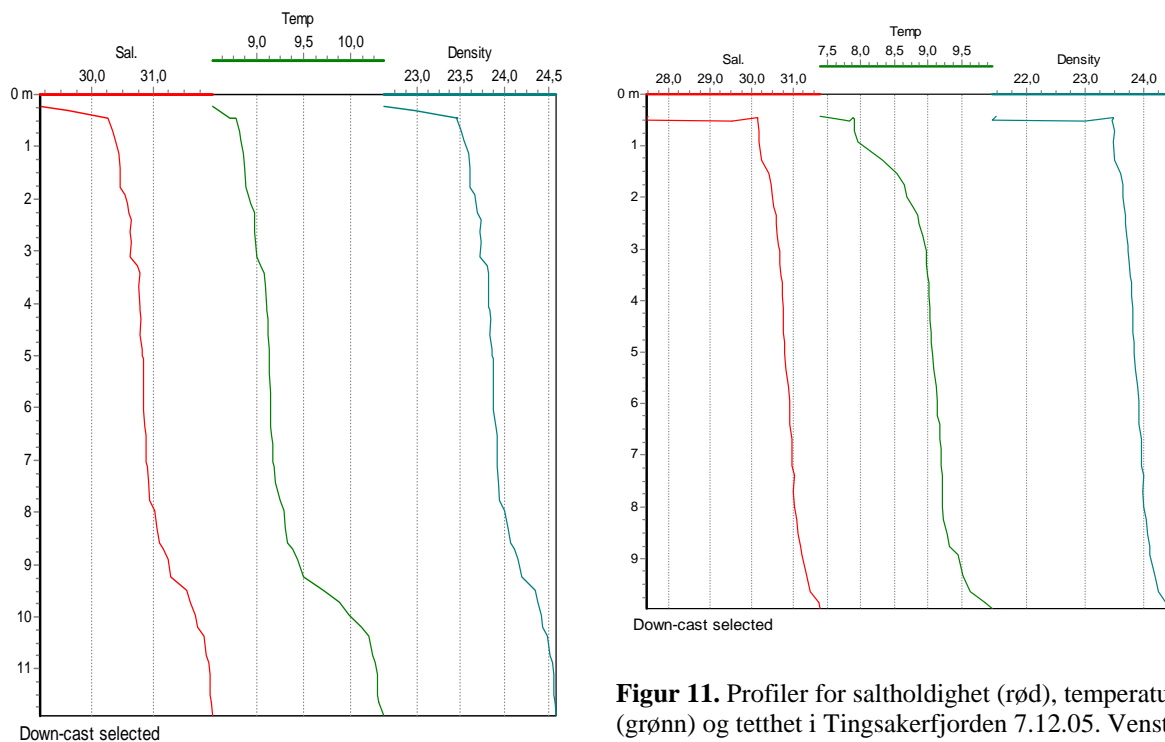
4.3 Vegetasjon og bunndyr i fjæresonen

Tangvegetasjonen var dominert av de vanligste tangartene blæretang, grisetang og sagtang (**Tabell 5**). Flere steder var tangen beveget med andre brunalger, bl.a. tanglo og andre epifytter som vokser som et litt "lurvete" belegg på tangen. Strandsnegl, rur og blåskjell var vanlige i hele området. På stasjonene S5 og S6 på østsiden av bukta var også kalkalger og svartkluft vanlige.

5. Hydrografi

Samtidig med feltarbeidet for bunnprøvetaking og strandsoneregistreringer ble det målt vertikale profiler for temperatur og saltholdighet med STD sonde. Målingene ble tatt to stasjoner, en utenfor utløpet av Moelva og en ved eksisterende båthavn (**Figur 7**).

Målingene er vist i **Figur 11**. På begge steder var det et markert sjikt med nedsatt saltholdighet i overflaten. Dette sjiktet dannes av ferskvann som tilføres fra Moelva. Under overflatelaget var det forholdsvis homogene vannmasser ned til omkring 10 m dyp med saltholdighet på 30-31 PSU og temperatur på 9 °C. Under 10 m var det en noe salttere og varmere vannmasse.



Figur 11. Profiler for saltholdighet (rød), temperatur (grønn) og tetthet i Tingsakerfjorden 7.12.05. Venstre: st. H1 vest av Terneholmen; høyre: st H2 ved båthavnen

6. Vurderinger

Dagens tilstand

Simuleringene av vannsirkulasjon i fjorden indikerte at hele området er preget av svake overflatestrømmer. Tidevann og ferskvannstilrenning, som er viktige drivkrefter for vannsirkulasjon, gir grunnlag for bare svake strømmer. I området ved dagens båthavn ble dette bekreftet ved at det var mudderbunn med mye rester av plantemateriale fra land og hvite flekker av nedbrytningsbakterier opp i fjæra. Ved sterkere vannbevegelser ville planterester fra land og finpartikulært materiale blitt vasket bort. I dagens båthavn synes overflatevannet å kunne strømme forholdsvis fritt selv om strømmene er svake.

I bunnen av fjorden og på østsiden mot Kvivikodden må det være en del mer bevegelser i vannmassene. Dette indikeres av bunnforholdene på grunt vann, med hovedsakelig sandbunn. Trolig er dette et resultat av vindpåvirkning. På Skagerrak-kysten er sørvestlige vinder fremherskende i store deler av året. Fjordens åpenhet og retning mot sørvest tilsier at sørvestlige vinder kan få godt tak og sette opp bølger som fører til effektiv omrøring av overflatevannlaget. Dagens båthavn er beskyttet av Terneholmen og utsettes ikke for bølgepåvirkning i samme grad som mer åpne områder i fjorden. Vind vil også sette opp lokale overflatestrømmer. Strømmene kan ta ulike retninger og forløp, men vil ofte følge langs land ved pålandsvind. Vinddrevne strømmer kan ha betydning for overflatesirkulasjonen fordi strømmer drevet av tidevann og ferskvannstilrenning er så svake.

Undersøkelsene av vegetasjon i fjæresonen, som viste at det var rimelig god forekomst av vanlige flerårige tangarter, tydet på at miljøtilstanden i fjorden var forholdsvis god. Men på flere steder ble det observert påvekst (‘lurv’) på tangen som indikerer at fjorden er anrikt av næringsalter. Sannsynligvis er området preget av mye hurtigvoksende alger (trådformete brunalger og grøninalger) om sommeren. At det ble funnet større felter med hvite forråtnelsesbakterier på grunt vann ved båthavnen, indikerer at området tilføres mer organisk materiale enn det som kan brytes ned uten at vannkvaliteten forringes. Dette underbygges også ved at det på mudderflaten vest for båthavnen var sorte oksygenfrie sedimenter like under overflaten.

Under fjæresonen var større bunnområder bevest med ålegras. Dette indikerer at vannmassene under overflatelaget var friske, men at utskiftningen er begrenset. På flere steder hadde sedimentene høyt organisk innhold.

I de dypeste delene av fjorden var bunnen preget av bløte bunnsedimenter. Bunnsedimentene inneholdt planterester og sagflis som må stamme fra sagbruk eller annen treindustri. Dette indikerer at Tingsakerfjorden er påvirket av tidligere utslipp og av tilførsler av organisk materiale fra land. I båthavnen var tilstanden dårlig. Bunnsedimentet var organisk overbelastet og sterkt preget av materiale som nedbrytes langsomt når oksygenforholdene er dårlige. I båthavnen er det tidligere påvist forhøyde konsentrasjoner av tjærestoffer (PAH) og oljekomponenter (Næs et al. 2002). Dagens tilstand synes derfor å være et resultat både av gamle tilførsler og av forurensninger fra dagens båthold. Det er ikke uvanlig å finne dårlige miljøforhold i småbåthavner (se Næs et al. 2002).

Utenfor båthavnen var tilstanden moderat god i det dypeste området av fjorden. I bunnfaunaprøvene ble det påvist flere arter som normalt er følsomme for oljeforurensning og tjærestoffer (PAH), for eksempel slangestjernen *Amphiura filiformis*. Det kan derfor se ut til at områdene utenfor båthavnen var lite påvirket av forurensning fra havnen.

Konsekvenser ved utbygging av båthavnen

Modellanalysene for vannsirkulasjonen indikerte at strømforholdene i fjorden vil bli ytterligere svekket ved utbygging av båthavnen og at det kan dannes bakevjer flere steder. Vannutskiftningen i dagens båthavn vil bli dårligere. I tillegg vil utbyggingen skjerme for vind og bølgepåvirkning i bunnen av fjorden. Dette vil føre til nedsatt vannomrøring i områder som i dag er bølgeutsatt.

Svakere vannutskiftning og dannelse av strømbakevjer vil gi seg utslag ved dårligere vannkvalitet, økt avsetning av finmateriale i grunnområder og økt vekst av begroingsorganismer på fjell og stein. Langs land kan sandbunnsområdene få mer mudderholdige sedimenter. I verste fall kan det utvikles dårlig bunn med felter av hvite forråtnelsesbakterier. I strandsonen kan forekomst av påvekstalter ('lurv') og hurtigvoksende trådformete brunalger og grøninalger bli forsterket på steder hvor vegetasjonen i dag er forholdsvis frisk. Dette vil gjøre områdene mindre attraktive og nedsette kvaliteten på strandområdene omkring båthavnen.

Modellanalysene ble utført for en tett utbygging av båthavnen uten mulighet for gjennomstrømning av overflatevann, som i praksis vil være tilfelle dersom hele arealet fylles tett med båter. Ved alternative løsninger, hvor det sørges for å holde enkelte frie åpninger mellom brygger og mellom pongtongene bryggene hviler på, kan den blokkerende virkningen av båthavnen reduseres vesentlig. Dette kan ha stor betydning for virkningene på de mest nærliggende strandområdene. Det må da velges løsninger for utforming av brygger og plassering av båter langs bryggene som sikrer frie løp på strategisk viktige punkter. Samtidig er det viktig å unngå at bryggene innbyrdes arrangeres slik at de hindrer vanngjennomstrømningen for hverandre.

Modellanalysene viser at vannsirkulasjon drevet av tidevann og ferskvannstilrenning (Moelva) i hovedsak beveger seg rett inn og rett ut av fjorden. Dette tilsier at åpninger i bryggeanlegget bør orienteres i samme retning for å opprettholde mest mulig rettlinjet vannbevegelse. Trolig vil det også kunne vinnes mye ved å holde fri vannpassasje langs land innerst i båthavnen. Dette åpner for en sirkulasjon langs land som ved høyvann vil kunne passere over tørrfallsområdet og bidra til utskiftning på begge sider av båthavnen. Alle åpninger vil i tillegg være viktige for vinddrevet strøm som kan ta ulike retninger og forløp, men som ved pålandsvind ofte følger langs land.

Vannmasser under 1-2 m dyp vil kunne passere fritt inn og ut av båthavnen. Vannpassasjen blir imidlertid redusert dersom det er lite fritt vann under brygger og båter. Det vil derfor være mest gunstig å plassere bryggene der det er god vanndybde og unngå steder der det er svært grunt.

I strandsonen vil områdene øst for båthavnen bli mest påvirket ved utbygging. Sandbukta like ved båthavnen (ved strandsonelokalitet S10), og som i dag benyttes som badeplass, må forventes å bli vesentlig mindre attraktiv i tilfelle av en tett utbygging av båthavnen. Ved tiltak som sikrer fri vannsirkulasjon langs land vil virkningene bli mindre, men trolig vil forholdene allikevel bli dårligere enn dagens tilstand som følge av bølgedempingen fra havnen. Områdene lenger øst, fra utløpet av bekken fra Langedalstjønn og mot Kvivikodden, vil påvirkes i mindre grad. For hele området vil imidlertid båthavnen føre til en viss bølgedemping. Trolig vil vannutskiftningen kunne opprettholdes nær dagens nivå dersom det sørges for god gjennomstrømning i båthavnen. Det er grunn til å tro at åpninger i havnen vil være spesielt viktige for at vinddrevne overflatestrømmer ikke skal blokkeres.

Strandområdene ved campingplassen vest for båthavnen vil trolig påvirkes minst med utbyggingen, men også her kan tilstanden bli dårligere dersom vannsirkulasjonen blir svakere enn i dag. I dette området er tilstanden allerede mindre god med bløte bunnsedimenter som gir dårlig badekvalitet.

Utvidelse av båthavnen vil rimeligvis også føre til større fare for forurensninger. De fleste miljøgifter som tilføres sjøen er i stor grad knyttet til partikler og bunnfelles i strømsvake områder. Trolig vil det meste bunnfelle i eller nær båthavnen, men spredning kan finne sted over hele området hvor

finpartikulært materiale avsettes. I utbyggingsområdet må det forventes at forholdene på bunnen under bryggene blir dårlige. Oljesøl og annet materiale som flyter på overflaten vil kunne drive på land i hele indre fjord, men sandbukta like øst for havnen og steder hvor det dannes bakevjer vil være mest utsatt. Mindre oljesøl vil vanligvis ikke være til særlig stor skade, men vedvarende eller hyppige oljesøl fører til belegg på steiner og fjell og skader organismer i strandsonen.

Undersøkelsen har ikke påvist noen spesielle naturtyper i området, men ålegras kan fort ødelegges dersom belastningen i området øker eller strømforholdene endres. Større enger av ålegras er viktige som oppvekstområde og skjulested for mange fiskeslag og andre marine dyr.

7. Litteratur

- ECGL 1995. Surface water modeling system, reference manual. Brigham Young University. Engineering Computer Graphics Laboratory. 368B CB, Provo, Utah, USA. 170 s.
- Fylkesmannen i Aust-Agder 1988. Kystnære småvassdrag i Aust-Agder. Hydrologiske beregninger. Notat.
- Kroglund T, Oug E, Dahl E. 1999. Miljøtilstanden i Lillesands kystområder. Oksygenforhold, hardbunnsorganismer og bløtbunnsfauna. NIVA rapport 4052. 75 s.
- Molvær J, Knutzen J, Magnusson J, Rygg B, Skei J, Sørensen J. 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Statens forurensningstilsyn. Veiledning 97:03, TA 1467/1997. 36 sider.
- Næs K, Oug E, Håvardstun J. 2002. Miljøgifter i småbåthavner i Aust-Agder 2000. Metaller, klororganiske forbindelser, PAH, TBT og olje i bunnsedimenter. NIVA rapport 4473-2002. 37 s.
- Oug E, Kroglund T. 2001. Konsekvensutredning for utvidet småbåthavn i Barselkilen, Grimstad kommune. NIVA rapport 4302. 20 s.
- ViaNova 2005. Småbåthavn Tingsaker, Lillesand. Planbeskrivelse – saksutredning. ViaNova Kristiansand AS. Upubl.

Vedlegg A. Metodikk for simulering av overflatesirkulasjon

Modellen 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). Forkortelsen SMS står for "Surface Water Modelling System", som inneholder den numeriske modellen RMA-2. RMA-2 er en dynamisk, todimensjonal, dybde-integrert 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 =	Vann dyp
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). I Figur 2 er en del av nettverket som ble benyttet for beregningene vist. Ved flytebryggene var oppløsningen 10 m, mens det i større avstand ble benyttet 20 m og 40 m oppløsning.

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

Data og inngangsverdier

Modellen gis verdier for de turbulente utvekslingskoeffisientene og for bunnfriksjons-koeffisienten Manning's n . Turbulens og friksjon varierer med strøm- og bunnforholdene, og er samtidig en egenskap ved selve bevegelsen. De er følgelig svært vanskelige å bestemme nøyaktig. Oppgitte størrelser på koeffisientene varierer med flere størrelsesordener (ECGL 1995), uten at beregningsresultatene endrer seg tilsvarende mye. Bunnfriksjonen (Manning's n) er satt lik 0.025 (tilsvarer middels "friksjon" mot dypvannet og sider).

Vedlegg B. Fauna i bunnprøver

Fullstendige resultater for prøvene av bunnfauna i Tingsakerfjorden 7. desember 2005.

van Veen håndgrabb: 0,05 m ² (to prøver)		Stasjon	F1	F2	F3
		Dyp (m)	14	29	18
Cnidaria (nesledyr)	Edwardsia sp.				10
	Cerianthus lloydi				1
	Actiniaria sp.				1
Nemertinea	Nemertinea indet.		2	2	4
Sipunculida	Golfingia sp.				1
Polychaeta (flerbørstemark)	Pholoe baltica			4	4
	Glycera alba				3
	Goniada maculata			1	1
	Nephtys hombergi		1		
	Prionospio fallax			2	3
	Spio decoratus		1		
	Magelona cf minuta			1	
	Chaetozone setosa			2	
	Diplocirrus glaucus			1	2
	Polyphysia crassa			2	2
	Scalibregma inflatum			1	1
	Notomastus latericeus				2
	Mediomastus fragilis				1
	Heteromastus filiformis			4	
	Owenia fusiformis				1
	Myriochele oculata			1	3
	Pectinaria auricoma				1
	Pectinaria koreni				1
	Ampharete lindstroemi			1	2
	Anobothrus gracilis				2
	Sabellides octocirrata				2
	Sosane sulcata				7
	Pista cristata				1
	Polycirrus medusa			1	
	Polycirrus plumosus			1	
	Polycirrus sp.				1
	Terebellides stroemi				5
	Trichobranchus roseus				1
	Jasmineira caudata				1
	Euchone rubrocincta				2
Sabellidae indet.				1	
Oligochaeta (fåbørstemark)	Tubificoides benedi		3		4
Bivalvia (muslinger)	Nucula nitidosa			3	3
	Mysella bidentata			2	
	Dosinia exoleta				1
	Myrtea spinifera			2	
	Venus striatula				1
	Corbula gibba				2
	Thyasira sp.		1	3	3
Gastropoda (snegl)	Philina sp.		1	1	
	Cylichna cylindracea			3	
Caudofoveata	Caudofoveata indet			1	
Crustacea (krepser)	Ampelisca sp.			1	2
	Tanaidacea indet				2
	Paguridae indet				1
Echinodermata (pigghuder)	Amphiura filiformis			4	15
	Echinocardium cordatum			3	
	Labidoplax buski				1
Phoronida	Phoronis sp.			1	
Asciacea (sekkedyr)	Asciacea indet				1

Vedlegg C. Posisjoner for bunnprøver og hydrografiske profiler

Posisjoner for bunnprøver

Stasjon	Dyp	Geografiske koordinater	Prøver
F1 Båthavn	14 m	N 58°15.314' E 08°23.668'	Fauna, TOC, TN, finfraksjon
F2	29 m	N 58°15.205' E 08°23.773'	Fauna, TOC, TN, finfraksjon
F3	18 m	N 58°15.295' E 08°23.870'	Fauna, TOC, finfraksjon

Posisjoner for hydrografiske profiler

Stasjon	Dyp	N	E
Profil H1	12 m	58°15.216'	08°23.509'
Profil H2	10 m	58°15.308'	08°23.639'

Alle posisjoner er gitt i henhold til WGS 84 kartdatum.