

Foregår det interngjødsling i Vansjø?

Av Tom Andersen, Knut Bjørndalen og Åge Brabrand

Tom Andersen er førsteamanuensis ved Biologisk Institutt, Universitetet i Oslo,
Knut Bjørndalen er forsker ved Norsk institutt for vannforskning
Åge Brabrand er forsker ved Laboratorium for Ferskvannøkologi og Innlandsfiske,
Universitetet i Oslo

Innlegg på fagtreff i Vannforeningen 16. oktober 2006

Sammendrag

Vannområdeutvalget Morsa fikk i 2005 økonomisk støtte fra Miljøvern-departementet/Statens forurensnings-tilsyn til å gjennomføre utredninger i Vansjø i 2005. Hovedmålsetningen var å få økt kunnskap om innsjøen og prosesser knyttet til omsetningen av næringsstoffer, som grunnlag for planlegging av videre hensiktsmessige tiltak. Et sentralt delprosjekt var å vurdere om det foregår interngjødsling i Vansjø.

Tidligere beregninger har vist at det renner mer fosfor ut av Vestre Vansjø enn det som renner inn via Storefjorden. Det ble derfor igangsatt undersøkelser med sikte på å vurdere om det foregår interngjødsling som følge av vinddrevet resuspensjon, høy pH, lavt oksygeninnhold, båttrafikk og fisk.

Resultatene viser at sedimentene i Vansjø har et overraskende lavt fosforinnhold, spesielt i det mest eutrofe vestre bassenget. Eksperimenter og beregninger indikerer at interngjødslingen fra sedimentene er tilnærmet

null på årsbasis. I kortere perioder om sommeren kan sedimentoppvirvling forårsaket av vind og fisk, kombinert med høy pH, likevel gi netto fosfortilførsel til vestre Vansjø, noe som kan bidra til å forverre eller forlenge oppblomstringen av blågrønnalger.

Innledning

Vannområdeutvalget Morsa fikk i 2005 økonomisk støtte fra MD/SFT til å gjennomføre utredninger i Vansjø i 2005 mht. tilstandsvariasjoner, interngjødsling, naturtilstand, forbedring av tilførselsberegninger, beregning av fosforbudsjett og tålegrenser. Målsetningen var å få økt kunnskap om innsjøen og prosesser knyttet til omsetningen av næringsstoffer, som grunnlag for planlegging av videre hensiktsmessige tiltak.

Miljøtilstanden i Vansjø har ikke vist signifikant bedring i de senere år til tross for gjennomføring av betydelige tiltak for å begrense fosfortilførsler fra nedbørfeltet. Særlig i Vanemfjorden har store oppblomst-

ringer av toksiske blågrønnalger de senere år medført betydelige bruker-konflikter. En mulig årsak til at man ikke så noen respons på de tiltakene som ble gjennomført innen landbruk og avløpssektoren, var at man ikke hadde tatt hensyn til mulig intern utlekking av fosfor fra innsjøsedimentene i det totale fosforbudsjettet. For å kunne vurdere dette, ble det bestemt å undersøke sedimentsammensetningen og mekanismene for fosforutlekking nærmere. I sammenheng med vurdering av interngjødslingen

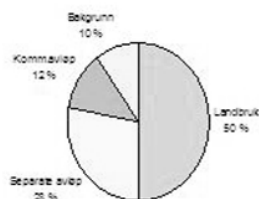
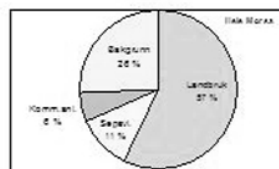
var det også ønsket at innvirkningen av karpefisk og båttrafikk blir belyst og vurdert.

Vansjø nedbørfelt

Vansjø-Hobølvassdraget er et næringsrikt lavlandsvassdrag og størstedelen av nedbørfeltet ligger under den marine grense. Nedbørfeltet er på 690 km² og jordbruk drives på ca. 15 % av arealet. Resten av arealet i nedbørfeltet er hovedsakelig skog (se fig 1). Det bor ca. 40.000 mennesker i nedbørfeltet.



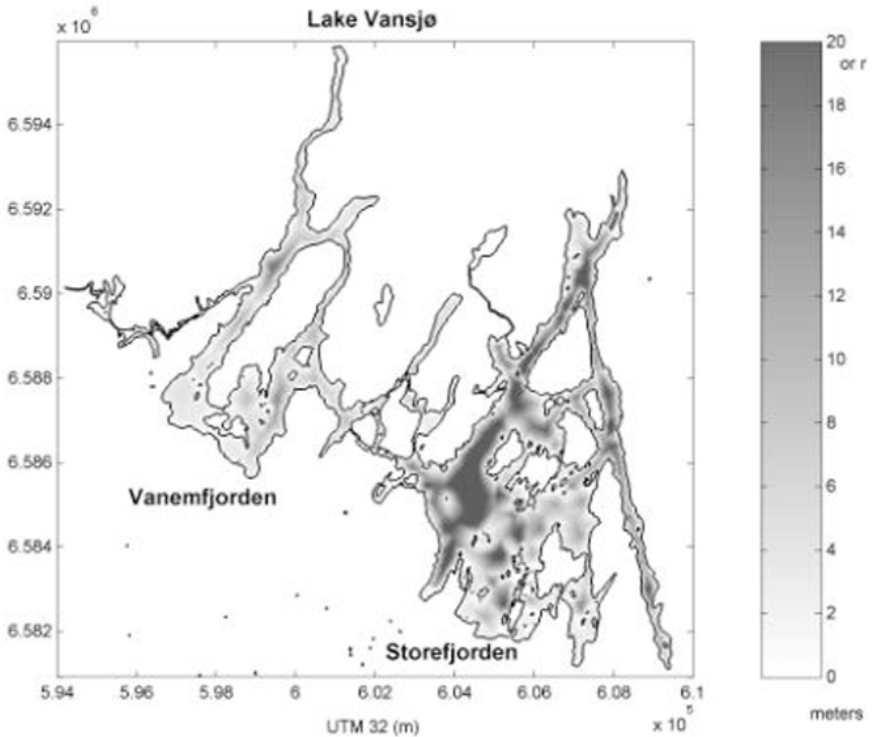
Figur 1. Vansjø nedbørfeltet og fordeling av fosfortilførsler fra nedbørfeltet (øverst), samt fordeling av biotilgjengelig fosfor (nederst). Kakediagrammene er fra Tiltaksanalysen for Morsa fra 2001.



Innsjøen Vansjø

Selve innsjøen er 36 km² og består av flere bassenger som er skilt fra hverandre av trange sund og grunne terskler (se Figur 2). Man deler ofte Vansjø inn i to hovedbassenger; en østre del (Storefjorden) som er på 24 km² og

den vestre delen (Vanemfjorden) som er på 12 km². De største tilløpselvene munner ut i Storefjorden, mens utløpet (Mosseelva) er fra Vanemfjorden og ut i Mossesundet (Oslofjorden). Morfometriske data for innsjøen er vist i tabell 1.



Figur 2. Dybdekart over Vansjø

Morfometri	Storefjorden	Vanemfjorden
Overflateareal (km ²)	23,8	12
Middeldyp (m)	9,2	3,7
Største dyp (m)	41	17
Vannets teoretiske oppholdstid (år)	0,85	0,21

Tabell 1. Vansjø – Morfometriske data

Brukerinteresser

Det er knyttet betydelige friluftsinnteresser til Vansjø. Vansjø er råvannskilde for ca. 60.000 mennesker i Mosseregionen. Vansjø vannverk har inntak i Storefjorden og er et fullrenseanlegg med aktivt kull som etterbehandling. Vansjø brukes i stor grad til båtliv, kanopadling, bading og fiske. Innsjøen benyttes også til jordbruksvanning og som resipient for avløpsvann og avrenning fra jordbruk. Det er betydelige brukerkonflikter mellom de interessene som er avhengig av tilfredsstillende vannkvalitet og de som benytter Vansjø som resipient.

Interngjødsling

Beregninger basert på eksisterende datagrunnlag viser at det renner mer fosfor ut av Vestre Vansjø enn det som renner inn via Storefjorden. Årsakene til dette avviket kan være underestimert av tilførsler fra lokale bekker i vestre Vansjøs nedbørfelt, interngjødsling i innsjøen, samt at tilførslene fra Storefjorden kan være underestimert. For å kunne anbefale ytterligere tiltak for å bedre vannkvaliteten i vestre Vansjø er det av avgjørende betydning å finne ut hvor mye av dette fosforet som kommer fra henholdsvis lokale tilførsler og fra sedimentene (interngjødsling). Dermed bidraget fra sedimentene er stort, er det også viktig å kunne fastslå hvilke prosesser som bidrar til interngjødslingen og omfanget av denne, herunder bioturbasjon (bunndyrspisende fisk), vinddrevet resuspensjon (oppvirvling), anaerob frigjøring ved oksygenvinn og aerob frigjøring ved høy pH.

Oksygenmålinger tatt i august 2004 indikerer at utlekking av fosfor under oksygenfrie forhold ikke utgjør hoveddelen av den antatte interne gjødslingen. Det antas derfor at resuspensjon som følge av vindpåvirkning i gruntvannsområder, samt effekt av bunndyrspisende fisk som roter opp sedimentoverflaten, utgjør hoveddelen av interngjødslingen. For å teste denne antagelsen, samt for å anslå hvor stort bidrag som kommer fra de forskjellige prosessene, ble det foretatt undersøkelser av innsjøens sedimenter og utført enkle eksperimenter. Særlig fokus ble lagt på sommerperioder med høy algevekst og tidvis høy pH, og hvilken rolle interngjødslingen kunne spille for oppblomstring av blågrønnalger.

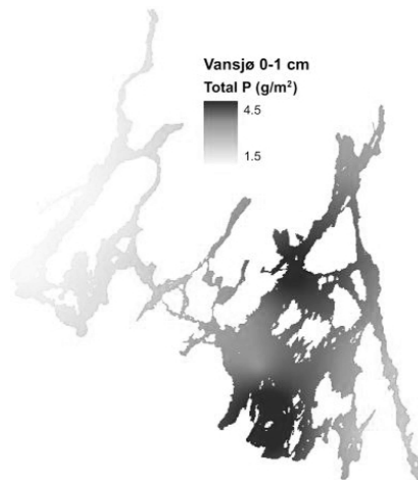
For å få en oversikt over hvor mye fosfor som finnes i sedimentene, og i hvilken form det finnes, ble det gjort en omfattende horisontal undersøkelse av sedimentkjerner fra de to hovedbassengene i Vansjø. I tillegg ble det gjort tre typer forsøk for ytterligere å vurdere frigjøring av fosfor:

- Binding og frigivelse av fosfor til sedimentpartikler som følge av vinddrevet resuspensjon (adsorpsjons- og desorpsjonsprosesser)
- Oppvirvling av sedimentpartikler og fosfor fra vannmassene via båttrafikk.
- Fosforutlekking ved henholdsvis høy pH og anaerob (oksygenfri) frigjøring, ved utvekslingsforsøk med intakte sedimentkjerner.

Sedimentenes betydning

Sedimentene i Vansjø er fattige på organisk materiale. Det vil si at selv om Vansjø har høy produksjon så gjør en effektiv nedbrytning at lite av dette lagres i sedimentene. Store grunne områder og sterk vindpåvirkning er begge naturgitte forhold som gir rask og effektiv omsetning i Vansjø. Organisk materiale som synker til bunns vil med stor sannsynlighet kunne virvles opp igjen av vinddrevne strømmer. Hver gang partikler synker ned etter en slik episode vil de synke ned igjen litt fattigere på organisk materiale, og på litt større dyp. Slik blir det også til at det er relativt stor akkumuleringsrate (ca. 1 cm pr. år) i de aller dypeste sedimentene i Vansjø, mens store arealer antageligvis har praktisk talt ingen sedimentakkumulering (erosjonssediment). Hvis vi ser på hele Vansjø samlet, vokser antagelig tykkelsen på sedimentet med ca. 1 mm pr. år, noe som er typisk for mange lavlandsinnsjøer i Norge.

Undersøkelsene viser at sedimentene i Vansjø har relativt lave konsentrasjoner av fosfor. Særlig hvis en sammenlikner med for eksempel innsjøer i jernrike morenelandskap som Frøylandsvatnet på Jæren, hvor konsentrasjonen av fosfor i sedimentene er omtrent 10 ganger høyere enn i Vansjø. Vi ser dessuten litt overraskende at fosforkonsentrasjonene i overflatesediment er lavest i de mest næringsrike vestre bassengene, og at konsentrasjonen øker nedover i sedimentet i hele innsjøen (jmf Figur 3 og Figur 4.)



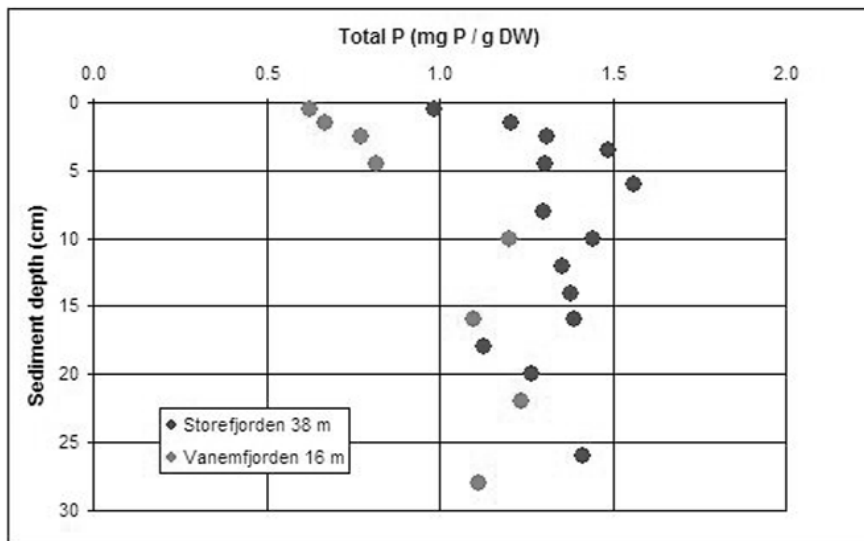
Figur 3. Romlig interpolasjon (kriging) av fosforinnhold i overflatesediment, målt som gram P per m² i sjiktet 0-1 cm. Punktene markerer stasjonene hvor det ble tatt sedimentkjerner.

At fosforinnholdet i sedimentene synes å være høyere i eldre (dypere) sedimenter kan tolkes enten som at sedimentene tilføres mindre fosfor, eller at de har fått mindre evne til å binde fosfor. Da sedimentene i Storefjorden ble grundig undersøkt for 25 år siden var tendensen den motsatte, med høyest fosforkonsentrasjon i det øverste (yngste) laget. Det er nærliggende å tolke dette som en opplading av sedimentene i Storefjorden under økende eutrofiering på 1970-tallet, og en tilsvarende tømning som resultat av reduserte tilførsler i senere tid.

Fosfor som er lagret i sedimentene kan frigjøres tilbake til vannmassene under bestemte kjemiske forhold. Dette kalles gjerne interngjødsling, selv om uttrykket er upresist: fosfor som lekker ut fra sedimentene har også opprinnelig blitt tilført utenfra.

Interngjødsling blir først og fremst et problem når fosfor som er tilført over lengre tid, kanskje flere tiår, begynner å lekke tilbake til vannmassene. Denne prosessen vil være spesielt betydningsfull i en innsjø som har et stort fosforbud-

slett når de ytre tilførselene avlastes, men vil alltid til slutt avta igjen, selv om det kan ta lang tid å komme dit hvis sedimentene har et stort fosforlager.



Figur 4. Total fosfor i sedimentprofiler fra dypområdene i Storefjorden og Vanemfjorden i 2005

For Vestre Vansjø viser alle målinger og forsøk vi har gjort at intern-gjødslingen må være betydelig mindre enn man i utgangspunktet trodde. Fosforfrigjøring i bunnvannet under oksygenfrie forhold angår så små områder og er av så begrenset omfang at denne prosessens bidrag til totalfosforbudsjettet anses som helt ubetydelig sammenlignet med andre kilder.

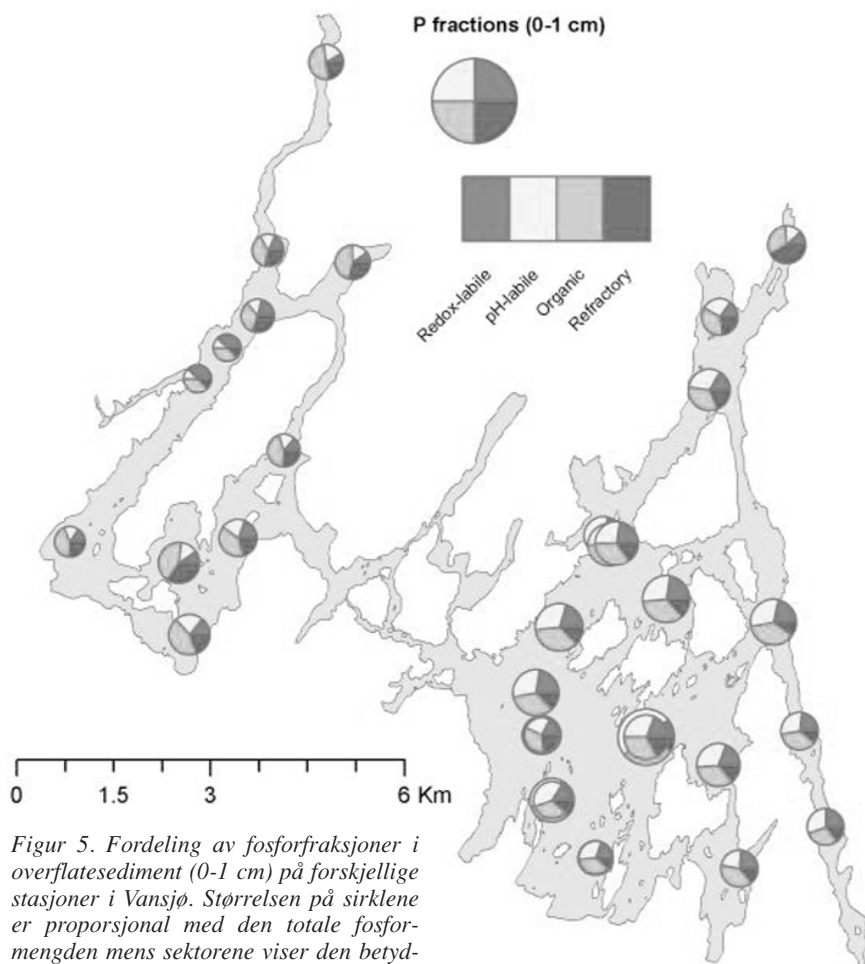
Fosforfrigjøring fra oppvirkede sedimenter på grunnere vann kan ha en betydning i en kortere periode midt på sommeren, særlig kombinert med

høy pH, men på årsbasis er antagelig nettoeffekten nær null. Den korte perioden med netto frigjøring fra oppvirkede sedimenter kan likevel bidra til å forverre og/eller forlenge den for tiden årlige *Microcystis*-oppblomstringen i Vestre Vansjø.

Sedimentene totale lager av mobiliserbart fosfor er betydelig mindre enn tidligere antatt. Dersom dette lageret hadde vært større kunne utlekking fra sedimentene ha forsinket en forbedring av vannkvaliteten i lang tid. Det betyr også at det må finnes andre kilder enn sedimentene, som kan

forklare hvorfor vestre Vansjø har nesten dobbelt så høy total fosfor konsentrasjon (33 vs. 19 $\mu\text{g/l}$) som Østre Vansjø, selv om det i prinsippet er det samme vannet. Lokale kilder i det lokale nedbørfeltet til Vestre Vansjø er antagelig den viktigste årsaken til dette, men det kan også være mer fosfor i de littorale sedimentene i Vestre Vansjø. Disse ble ikke undersøkt i 2005, men skal undersøkes i 2006.

Den romlige fordelingen av fosforfraksjoner viser at sedimentene i Vanemfjorden ikke bare er fattigere på fosfor enn resten av Vansjø, men at disse sedimentene også inneholder de laveste andelene av labile fosforfraksjoner, dvs. den delen som antas å kunne frigjøres ved høy pH eller oksygenvinn (jmf Figur 5).



Figur 5. Fordeling av fosforfraksjoner i overflatesediment (0-1 cm) på forskjellige stasjoner i Vansjø. Størrelsen på sirklene er proporsjonal med den totale fosformengden mens sektorene viser den betydningen av de forskjellige fraksjonene.

Fosfor og oksygen i bunnvannet

I en horisontal undersøkelse av oksygenforholdene i Vansjø 8.-9. august 2005 ble det funnet oksygenbrist på dyp større enn 11 meter i Vanemfjorden. Det ble også funnet lave oksygenverdier i bunnvannet i mer isolerte bukter og vikar i resten av innsjøen (Grepperødfjorden, Rosefjorden, Borgebunnen), men ikke i

selve hovedbassenget i Storefjorden. Figur 6 viser den horisontale utbredelsen av oksygenfrie bunnområder i Vansjø, august 2005. På grunn av topografi (store gruntvannsområder) og beliggenhet (stort vindfang i hovedvindretningen for solgangsbrisen om sommeren), så har Vansjø relativt begrensede områder hvor det kan utvikle seg oksygenbrist.



Figur 6. Horisontal utbredelse av oksygenfrie bunnområder i Vansjø, 5.-6. august 2005 (mørkere skravering). Områdene representerer dyp større enn 11 m i Vanemfjorden, større enn 30 m i Rosefjorden (Storefjorden, nord) og større enn 22 m i Borgebunnen (Storefjorden, sørøst). Dybdekartet har ikke tilstrekkelig detaljeringsgrad til å vise de oksygenfrie områdene i Grepperødfjorden (dypere enn 6,5 m), men også her dreier det seg om meget små områder.

Oppvirvling av sediment fra båttrafikk

Oppvirvling av sediment fra båttrafikk har kun en lokal effekt som maksimalt kan øke mengden partikulært uorganisk materiale med 50 %. Den samlede effekten av båttrafikken blir antagelig svært liten i forhold til den vinddrevene oppvirvlingen i Vansjø. Som antydnet ovenfor så er nettoeffekten av vinddrevet resuspensjon på fosfortilførselene til Vansjø antagelig relativt liten siden fosforinnholdet i sedimentene er så lavt i utgangspunktet. På bakgrunn av dette blir effektene av båttrafikk antagelig et ubetydelig bidrag til fosfortilførselene i Vansjø.

Fiskens betydning

Fiskens resirkulering av fosfor gjennom konsum av sedimenter er en del av de mekanismer som går under samlebegrepet "resuspensjon" fra sedimenter. Her inngår tilbakeføring av fosfor som skyldes effekt av vind, pH, oksygenvinn, bunndyr, og også fisk.

Det er gitt en beregning av fosforbidrag fra fisk i vestre Vansjø. Beregning av fiskens bidrag er basert på:

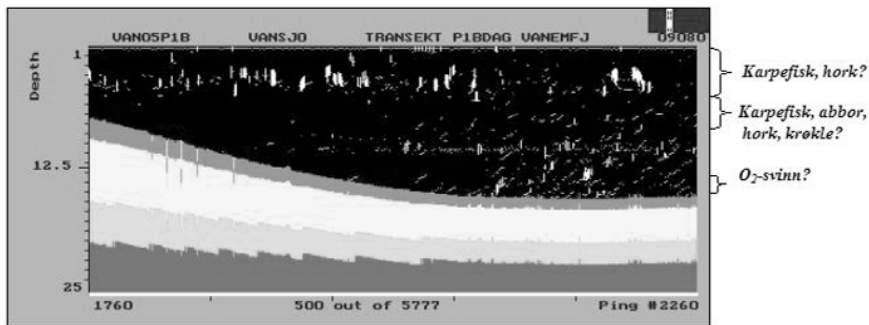
- Beregning av total fiskebiomasse i ulike størrelsesgrupper av mort og arter tilhørende "brasmegruppen" (brasme, flire, hybrider mort/brasme), basert på garnfangster og kvantitativ hydroakustikk i vestre Vansjø 2005

- Analyse av fiskens næringsvalg i vestre Vansjø i august 2005.
- Fosfor ekskresjonsrater som funksjon av fiskens størrelse basert på litteraturverdier
- Korreksjon for de temperaturene som er målt i vestre Vansjø 2005.

Dybdefordeling, arter og biomasse

Det ble beregnet en tetthet på 7 400 fisk ha⁻¹ i områder av Vanemfjorden som er i dybdesjiktet 2-8 m i august 2005. Basert på garnfangster var 37 % av dette mort og 38 % tilhørende "brasmegruppen". Dette ga en biomasse på 70 kg ha⁻¹ mort og 117 kg ha⁻¹ av "brasmegruppen" (korrigert til dybdesjiktet 2-9 m under vannoverflaten) for alle lengdegrupper. Biomassen av fisk større enn ca. 10 cm er beregnet å være henholdsvis 66 kg mort og 107 kg i "brasmegruppen", og det er disse biomassene som er lagt til grunn for beregningene av resuspensjon av fosfor fra fisk.

En beregnet biomasse i vestre Vansjø av mort på 70 kg ha⁻¹ og av arter i "brasmegruppen" på 117 kg ha⁻¹ gir et samlet estimat på 187 kg ha⁻¹ karpfisk for dybdesjiktet 2-8 m. Dette må betegnes som rimelig ut fra forventningen basert på total artsammensetning og områdets eutrofe tilstand.

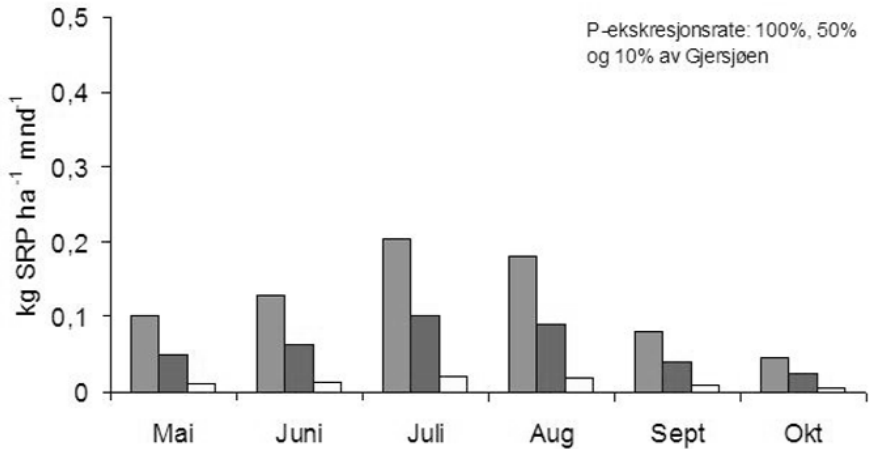


Figur 7. Ekkogrammer fra Vanemfjorden, Vansjø 7.08.05 på dagtid. Det vises både enkelt fisk og stimer av fisk. Der totaldyptet er større enn ca. 10 m vises et markert sjikt med stimer i vannsjiktet 2-5 m

For både brasme og mort større enn ca. 10 cm ble det konsumert betydelig mengder av typiske sedimentert materiale, vekselvis av både sand/mudder og preg av leire med mer eller mindre dødt organisk materiale (detritus). Det totalt dominerende næringsdyr var larver av fjærmygg. Disse er nedgravd i substratet, og vil følge med når fisker suger i seg bunnmaterialet mer eller mindre selektivt. For de grupper av fisk som er undersøkt utgjør sedimenter og detritus en andel på 80 %. Det er helt tydelig at næringsopptaket skjer ved et lite selektivt næringsøk ved opptak av bunnmateriale. For individer mindre enn ca. 10 cm ble det konsumert hovedsakelig dyreplankton, men enkelte konsumerte også betydelige mengder påvekstlager.

Ved beregninger for Vansjø er det benyttet månedlig målt temperatur for epilimnion i Vanemfjorden for 2005 (mai = 13 °C, juni = 15 °C, juli = 19 °C, august = 18 °C, september = 10 °C,

oktober = 5 °C). Basert på artssammensetningen på garnfangstene er det forutsatt at 74 % av fiskebiomassen beregnet ved hydroakustikk er karpefisk, og fosforekksjon er basert på denne andelen karpefisk av totalt antall fisk. Av karpefisk vil mort, brasme og flire være typiske sedimentspisere. Disse artene utgjør den helt overveiende delen av biomassen karpefisk. Suter (nyetablert), laue og sørv consumerer også ikke-animalsk næring, men disse artene er mer utpregete detritus- og plantespisere. Med sin karakteristiske munnutforming er det også lite sannsynlig at sørv er en typisk sedimentspiser i nærvær av mort, brasme og flire. Sørv er derfor ikke inkludert i brasme-gruppen i denne sammenheng. Suter har liten bestand, og inngikk ikke i fangstene i august 2005. En økning i denne artens forekomst i fremtiden kan ikke utelukkes, og vil med stor sannsynlighet tilhøre samme funksjonelle gruppe som "brasme-gruppen".



Figur 8. Beregnet mengde fosfor (SRP) regenerert fra sedimentspisende fisk i Vestre Vansjø, basert på biomasse av fisk over 10 cm av mort (66 kg ha⁻¹) og "brasmegruppen" (107 kg ha⁻¹). Det er benyttet ekskresjonsrater som for sedimentspisende mort i Gjersjøen (antatte maksimalverdier) og henholdsvis 50% og 10 % av disse.

Denne fiskebiomassen er beregnet å bidra med et internbidrag av P som skyldes ekskresjon. Den maksimale mengden ble beregnet til 0,68 og 0,6 mg m⁻² døgn⁻¹ i henholdsvis juli og august, noe som tilsvarer 0,20 kg SRP ha⁻¹ mnd⁻¹ i juli og august 0,18 kg SRP ha⁻¹ mnd⁻¹ i august.

Dette estimatet er basert på at ekko-grammene er representative, at garnfangster gir et korrekt bilde av arts-sammensetningen og at ekskresjon av fosfor fra fisk i vestre Vansjø er den samme som i Gjersjøen for mort og brasme, og for sedimentspisende karpe.

Når det gjelder ekskresjonsrater må det antas at disse er avhengig av P-innholdet i det som konsumeres. Det er i 2005 funnet lavt innhold av fosfor

i sedimenter over store områder i Vestre Vansjø, og det er konkludert med at "lekkasjen" av fosfor fra sedimenter fra disse områdene er lavt. Dette resulterer i at det sannsynligvis er lavere ekskresjonsrater av fosfor fra fisk i Vansjø enn fra Gjersjøen, og at tilbakeføringen av fosfor fra fisk som er beregnet for Vestre Vansjø derved er for høy, i beste fall maksimalverdier. Vi har derfor også beregnet fiskens bidrag dersom ekskresjonsraten er hhv.50% og 10% av de ratene som ble funnet i Gjersjøen. Videre er det sannsynlig at det fosforet som fisk bringer opp i vannmassene er det samme fosforet som andre internkilder bidrar med, og at fiskens bidrag derved ikke kan betraktes som nytt fosfor som ellers ville vært unntatt resirkulasjon.