

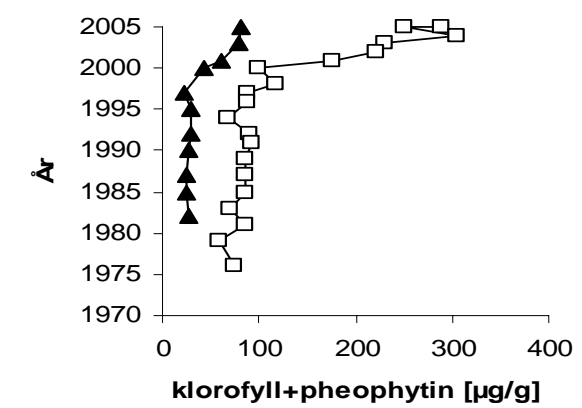
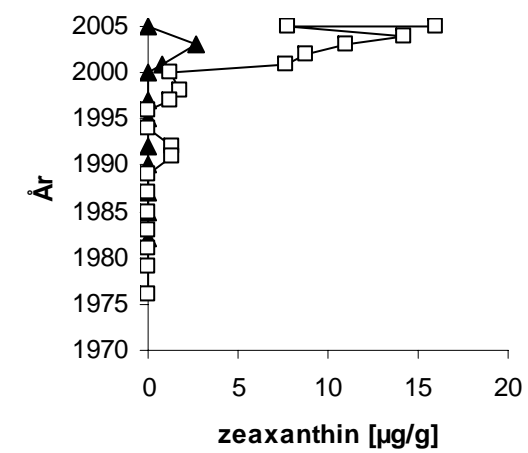


RAPPORT LNR 5145-2006

Utredninger Vansjø 2005

Undersøkelse av naturtilstanden og eutrofiutviklingen

Delrapport 3



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 Undersøkelser av naturtilstanden og eutrofieringsutviklingen i Vansjø.	Løpenr. (for bestilling) 5145-2006	Dato 1. februar 2006
	Prosjektnr. Undernr. O-25207	Sider Pris 42
Forfatter(e) Anne Lyche Solheim, Thomas Rohrlack, Merete Grung, Anders Hobæk, alle NIVA Helen Bennion, Amy Burgess, Handong Yang, alle University College London	Fagområde Eutrofi	Distribusjon Åpen
	Ferskvann	Trykket NIVA
	Geografisk område Østfold	

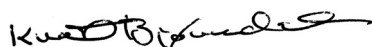
Oppdragsgiver(e) Statens forurensningstilsyn og Vannområdeutvalget Morsa	Oppdragsreferanse Helga Gunnarsdottir
---	--

Sammenheng

Hovedmålet har vært å estimere naturtilstanden i Vansjø vha. paleoøkologiske data fra sedimentkjerner, samt ved historiske data og modeller. Resultatene av sedimentundersøkelsene kan ikke si noe sikkert om naturtilstanden i innsjøen, da bunnen av kjernene ikke var eldre enn ca. 1980. De samlede resultater tyder likevel på at de to bassengene (Vanemfjorden og Storefjorden) har forskjellige naturtilstand, med høyere fosforkonsentrasjon, mer alger og større andel blågrønnalger i Vanemfjorden enn i Storefjorden. Modellestimater for totalfosfor (TP) og klorofyll indikerer at naturtilstanden for TP kan ligge rundt 11-14 µg/L i Storefjorden og 14-20 µg/L i Vanemfjorden, mens naturtilstanden for klorofyll kan være 4-7 µg/L i Storefjorden og 7-11 µg/L i Vanemfjorden. Den naturtilstanden som ble estimert i tiltaksanalysen i 2001 (8 µg/L) kan dermed være for lav. Den estimerte naturlige TP i Storefjorden er lik eller høyere enn det miljømålet som ble satt i tiltaksanalysen, noe som indikerer at dette miljømålet kan være noe for ambisiøst og således bør vurderes på nytt. For Vanemfjorden kan naturtilstanden mht TP være ennå høyere enn det som ble estimert i tiltaksanalysen. Miljømålet for denne delen av innsjøen også bør dermed også revurderes f.eks. vha. nye modeller.

Resultatene fra sedimentkjernene har også blitt benyttet til å vurdere eutrofieringsutviklingen av de to bassengene i Vansjø de siste 25 årene. Disse viser at eutrofieringsutviklingen har vært svært forskjellig: For Storefjorden viser de fleste parametrene en svak endring i de senere år, trolig relatert til år til år variasjoner i vannføring og dertil hørende tilførsler av erosjonsmateriale fra nedboerfeltet. For Vanemfjorden viser de målte parametrene en nærmest eksplosiv eutrofieringsutvikling etter år 2000.

Fire norske emneord 1. Naturtilstand 2. Rammedirektivet for vann 3. Overgjødsling 4. Sedimentkjerner	Fire engelske emneord 1. Reference conditions 2. Water Framework Directive 3. Eutrophication 4. Sediment cores
--	--



Knut Bjørndalen
Prosjektleder



Stig A. Borgvang
Forskningsleder



Øyvind Sørensen
Prosjektleder

Utredninger Vansjø 2005

Naturtilstanden

Delrapport 3

Forord

Delprosjektet om naturtilstand er finansiert over NIVAs basisbevilgning, og er utført i samarbeid med Environmental Change Research Centre (ECRC) ved Dept. of Geography ved University College London (UCL), som er ett av verdens ledende fagmiljøer på paleoøkologiske undersøkelser. UCL-ECRC har hatt ansvar for datering av sedimentkjernene og analyse av kiselalger i kjernene.

Hovedkontaktperson ved UCL har vært Helen Bennion, som har organisert arbeidet og tolket resultatene fra kiselalgeanalysene. Handong Yang ved UCL har hatt ansvar for datering av kjernene, mens Amy Burgess har utført kiselalgeanalysene. Simon Turner (ECRC) har bearbeidet prøver for tillaging av kiselalgepreparater.

NIVA-forskere som har vært involvert er: Thomas Rohrlack og Merete Grung som har hatt ansvar for analyse av algepigmenter i sedimentkjernene, samt Anders Hobæk som har hatt ansvar for analyse og tolking av vannløpper i sedimentkjernene. Tom Andersen takkes for prøvetaking av sedimentkjerner i felt. Forskningsassistent Hege Hansen takkes for bistand ved splitting av kjernene, samt ved bearbeiding og veiing av sedimentprøver for analyse.

Anne Lyche Solheim har hatt delprosjektansvar og er også ansvarlig for skrivning og redigering av denne delprosjektrapporten.

Rapportutkast har vært kommentert av oppdragsgiver Helga Gunnarsdottir og hovedprosjektleder Knut Bjørndalen, som begge takkes for konstruktive forslag til forbedringer.

Det samme gjelder forskningsleder Stig Borgvang, som har kvalitetssikret rapporten.

Oslo, 1.februar 2006

Anne Lyche Solheim

Sammendrag

Hovedmålet med dette delprosjektet har vært å estimere naturtilstanden i Vansjø vha. paleoøkologiske data fra sedimentkjerner, samt ved å benytte andre aktuelle metoder (bl.a. historiske data og modeller). Dette vil kunne gi et sikrere grunnlag for vurderingen av naturtilstanden i Vansjøens to hovedbassenger, Storefjorden og Vanemfjorden, enn de foreløpige vurderingene av naturtilstanden som ble gjort ut fra beregninger av bakgrunnsavrenning i tiltaksanalysen i 2001.

Et tilleggsmål har også vært å benytte data fra sedimentkjernene til å vurdere eutrofieringsutviklingen i de to hovedbassengene i Vansjø de siste 25 årene (1980-2005).

Resultatene av sedimentundersøkelsene kan ikke si noe sikkert om naturtilstanden i innsjøen, da bunnen av kjernene ikke var eldre enn slutten av 70-tallet / begynnelsen av 80-tallet. Dette skyldes høyere akkumulasjonsrate enn forventet i utgangspunktet, og en sedimenthenter som var for lett til å trenge særlig langt ned i de kompakte leirsedimentene. Hvis vi sammenligner bunnen av kjernene fra de to bassengene, er det likevel klart at de var forskjellige allerede rundt 1980, med høyere fosforkonsentrasjon, mer alger, større andel blågrønnalger og flere arter av vannlopper i Vanemfjorden enn i Storefjorden.

Foreløpig konklusjon er man minst må tilbake til 50-tallet, og helst før 1940, for å finne naturtilstanden (dvs. referansetilstanden) for Vansjø. Naturtilstanden i innsjøen er derfor fortsatt meget usikker, men de samlede resultater tyder på at de to bassengene (Vanemfjorden og Storefjorden) er forskjellige. Modellestimater for totalfosfor og klorofyll indikerer at naturtilstanden for totalfosfor kan ligge rundt 11-14 µg/L i Storefjorden og 14-20 µg/L i Vanemfjorden, mens naturtilstanden for klorofyll kan være 4-7 µg/L i Storefjorden og 7-11 µg/L i Vanemfjorden. Det er sannsynlig at naturtilstanden for Vanemfjorden er noe mer næringsrik enn for Storefjorden, da Vanemfjorden er grunnere og har noe høyere alkalitet.

Historiske data viser at planteplanktonet var dominert av kiselalger i begge bassengene før 1960-tallet, mens grønnalgene ble mer dominerende i Vanemfjorden i løpet av 60-årene. Blågrønnalger forekom i begge bassengene allerede rundt århundreskiftet, men hadde da liten mengdemessig betydning og besto av arter som normalt forekommer i oligo og svakt mesotrofe innsjøer (*Anabaena flos.aquae* og *Gomphosphaeria lacustris*).

De foreliggende resultater tyder på at den naturtilstanden som ble estimert i tiltaksanalysen i 2001 ($8 \mu\text{gL}^{-1}$) er for lav, samt at naturtilstanden ikke er den samme i begge bassengene. Den estimerte naturlige fosforkonsentrasjonen i Storefjorden er lik eller høyere enn det miljømålet som ble satt i tiltaksanalysen, noe som indikerer at dette miljømålet kan være noe for ambisiøst og således bør vurderes på nytt. For Vanemfjorden ser naturtilstanden ut til å være ennå høyere mht. fosforkonsentrasjon enn det som ble estimert i tiltaksanalysen. Det er derfor mulig at miljømålet for denne delen av innsjøen også bør revurderes f.eks. vha. nye modeller.

Resultatene fra sedimentkjernene har også blitt benyttet til å vurdere eutrofieringsutviklingen av de to hovedbassengene i Vansjø de siste 25 årene. Disse kan sammenholdes med overvåkingsdata fra vannmassene. De viktigste resultatene fra sedimentundersøkelsen, som viser eutroferingsutviklingen i to bassengene er den store forskjellen mellom dem etter år 2000: For Storefjorden viser de fleste parametrene en svak endring i de senere år, trolig relatert til år til år variasjoner i vannføring og dertil hørende tilførsler av erosjonsmateriale fra nedboerfeltet. For Vanemfjorden viser de målte parametrene en nærmest eksplosiv eutrofieringsutvikling etter år 2000: kraftig økning i akkumulasjonsrate og i % organisk karbon, svært lavt C/N forhold, kraftig økning i klorofyll og minimal nedbrytning av klorofyll, kraftig økning i næringskrevende algeklasser: grønnalger, euglenophyceer og *Microcystis*, samt store mengder av en vannloppart som indikerer meget næringsrike forhold (*Chydorus sphaericus*).

1. Innledning	6
1.1 Problemstilling	7
1.2 Prosjektmål	7
2. Paleoøkologisk materiale og metoder	8
2.1 Feltarbeid og opparbeiding av sedimentprøver	8
2.2 Datering	8
2.3 Analyser av algepigmenter	8
2.4 Analyse av kiselalger	9
2.5 Analyse av vannlopper (cladocerer)	9
3. Andre metoder	10
3.1 Modeller	10
3.2 Statistiske data fra upåvirkede innsjøer av samme type innen Norden	10
3.3 Historiske data	10
4. Paleoøkologiske resultater og diskusjon	11
4.1 Datering	11
4.1.1 Storefjorden - VAN1A	11
4.1.2 Vanemfjorden VAN2B	12
4.2 Sedimentasjonsrate	13
4.3 Kjemiske forhold	14
4.3.1 Sammenlignbarhet mellom kjerner brukt til datering og til andre analyser	14
4.3.2 Kjemiske elementer	16
4.4 Algepigmenter	18
4.5 Kiselalger	20
4.5.1 Storefjorden (VAN1B)	20
4.5.2 Vanemfjorden (VAN2A)	20
4.6 Vannlopper (Cladocerer)	24
4.7 Samlet vurdering av paleoøkologiske resultater	26
5. Resultater fra andre metoder for vurdering av naturtilstand	26
5.1 MEI-Modellen	26
5.2 Nordiske data fra referansesjøer	27
5.3 Historiske data	28
6. Referanser	28
Vedlegg 1: Radiometriske dateringsresultater	30
Vedlegg 2: Algepigmenter i Vansjø-sedimenter	32
Vedlegg 3: Kiselalgearter i Vansjø sedimenter	34
Vedlegg 4. Cladocerer (vannlopper) i sedimentene.	36

1. 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. Videre var det en målsetning at kunnskap en samler i prosjektgjennomføringen er av en slik karakter at den har størst mulig overføringsverdi til andre vassdrag.

Mangelen på uberørte lokaliteter av samme vanntype som Vansjø (moderat kalkrike, humøse innsjøer i lavlandet), gjør det vanskelig å fastsette hva som er naturgitte bakgrunnsnivåer for næringsstoffer i innsjøen. Slik kunnskap er viktig både for å fastsette realistiske miljømål og å vurdere tålegrenser og avlastningsbehov. Det vil også være avgjørende i relasjon til EUs rammedirektiv for vann, der avvik fra naturtilstanden blir viktig å fastsette. En mulig måte å belyse dette på, er å kartlegge innsjøens historiske utvikling gjennom analyse av sedimentkjerner. I tillegg til å skaffe informasjon om den opprinnelige tilstanden i innsjøene, vil dette også ha kulturhistorisk interesse ved å belyse når utviklingen i landbruket og i kulturlandskapet fikk betydning for tilstanden i vassdragene.

Den foreliggende rapport omhandler undersøkelse av naturtilstanden i Vansjø. De øvrige temaene gis ut i egne delrapporter.

1.1 Problemstilling

I henhold til EUs Rammedirektiv for Vann skal økologisk status i alle vannforekomster fastsettes som avvik fra naturtilstand ("Reference conditions"). Naturtilstanden må derfor fastsettes for alle vanntyper. I Norge vil naturtilstanden for de fleste vanntyper kunne fastsettes ut fra overvåkingsdata i upåvirkede vannforekomster. Unntaket er moderat kalkrike innsjøer i lavlandet, som er den vanntypen Vansjø tilhører, der vi ikke har tilstrekkelig antall upåvirkede lokaliteter. Naturtilstanden for denne vanntypen må derfor fastsettes vha. andre metoder, som for eksempel paleoøkologiske undersøkelser av innsjøens historie ved analyse av kjemiske og biologiske forhold i sedimentkjerner. Dette er en mye brukt metode innen geofagene, og har også i de senere år vært brukt i økologiske studier av bl.a. tidsutvikling av forsurening og eutrofiering av innsjøer. I Norge er det lite erfaring med bruk av slike metoder til å analysere eutrofieringsutvikling i innsjøer, mens andre land, som f.eks. England og Danmark har meget utbredt erfaring med dette. I dette delprosjektet har vi derfor samarbeidet med engelske forskere ved University College London, som er verdens ledende fagmiljø for slike studier.

Historiske data er en annen metode for estimering av naturtilstanden. Tidligere studier av sedimentene i Vansjø har gitt data fra århundreskiftet og fram til 1977, og omfatter bl.a. kiselalgeanalyser (Erlandsen 1978), og analyser av karbon, nitrogen, fosfor og en rekke andre elementer som kalsium og tungmetaller (Augustson et al. 1982). I denne rapporten vil vi derfor sammenholde de historiske dataene angitt i disse tidligere rapportene med resultatene fra våre undersøkelser i 2005.

En alternativ metode for fastsetting av naturtilstanden i Vansjø er å benytte modeller som angir naturlig fosforkonsentrasjon ut fra innsjøens middeldyp og alkalitet. En slik modell som nå brukes i bl.a. EU prosjektet REBECCA, samt av engelske myndigheter på nasjonalt nivå, er den såkalte Morpho-Edaphic Index (MEI-modellen) (Vighi and Chiaudani 1985, Lyche-Solheim et al. 2005). Denne modellen er ogsaa benyttet i denne rapporten.

Via samarbeid med andre nordiske land, som ogsaa har data fra upåvirkede vannforekomster av samme type som Vansjø, er det ogsaa mulig å estimere naturtilstanden mhp. fosfor og klorofyll ut fra statistiske fordelinger av det totale nordiske datamaterialet fra de aktuelle innsjøene. Dette datamaterialet er nå sammenstilt og benyttes ogsaa til å gi et uavhengig estimat av naturtilstanden i Vansjø mht disse to parametrene.

1.2 Prosjektmål

Hovedmålet med dette delprosjektet har vært å fastsette naturtilstanden i Vansjø. Dette har blitt forsøkt gjort vha. paleoøkologiske data fra sedimentkjerner, samt ved å benytte andre aktuelle metoder, for å få et sikrere grunnlag for vurderingen av naturtilstanden i Vansjø's to hovedbassenger, Storefjorden og Vanemfjorden. Disse alternative metodene er:

- tilgjengelige historiske overvåkingsdata,
- statistiske fordelinger av nordiske overvåkingsdata,
- empiriske prediktive modeller basert på middeldyp og alkalitet (MEI-modellen)

I tiltaksanalysen (Lyche Solheim et al. 2001) ble det gjort foreløpige vurderinger av naturtilstand ut fra estimater av bakgrunnsavrenning av fosfor, basert på avrenning fra skog og utmark, deponisjon på fri vannflate og naturlig bakgrunnsavrenning fra dagens jordbruksarealer. Sistnevnte avrenning ble estimert til 10-15 g P / daa (kg/km²). Den estimerte naturlige fosforkonsentrasjonen ble ut fra dette beregnet til ca 8 µg/L i begge bassengene. Vi vil i denne rapporten sammenholde beregningene av naturtilstand fra tiltaksanalysen med de nye resultatene, både for å kunne vurdere om det er forskjell på de to bassengene, og om de tidligere resultatene ang. naturtilstand fra tiltaksanalysen må korrigeres.

Denne undersøkelsen vil dermed gi et bedre grunnlag for å vurdere om de miljømålene som ble satt i tiltaksanalysen er realistiske, og evt. behovet for å revurdere disse.

Et tilleggsmål med rapporten har ogsaa vaert å benytte data fra sedimentkjernene til å vurdere eutrofieringsutviklingen i de to hovedbassengene i Vansjø de siste 25 årene (1980-2005).

2. Paleoøkologisk materiale og metoder

2.1 Feltarbeid og opparbeiding av sedimentprøver

To sedimentkjerner ble hentet opp fra hovedstasjonene i Vansjøs to hovedbassenger, dvs. dypeste punkt i Storefjorden og i Vanemfjorden 8. august 2005. Kjernene ble hentet opp vha. vanlig sedimenthenter ("Gravity corer"). Pga. hardpakket, leirholdig sediment var det ikke mulig å få opp lange kjerner med det utstyret vi hadde tilgjengelig. De kjernene vi fikk opp var kun 10-20 cm lange i Storefjorden og 20-30 cm lange i Vanemfjorden.

Kjernene ble splittet i 1 cm skiver, og sendt til analyse. De lengste kjernene fra hvert basseng ble sendt til datering. Før analyse ble hver skive fra de korteste kjernene fra hvert basseng delt i fire like store deler for analyse av hhv. kjemiske forhold (våtvekt, tørrvekt, gløderest, C, N), algepigmenter, kiselalger og vannlopper (cladocerer). Delp prøvene for analyse av algepigmenter ble frysetørket før analyse, mens de øvrige prøvene ble oppbevart i kjølerom fram til analyse. Prøvene for datering av sedimentkjernene og analyse av kiselalger ble sendt til University College London, der de har lang erfaring med slikt arbeid.

2.2 Datering

En kjerne fra hvert basseng ble sendt til datering hos University College London. Dateringsmetodikken er beskrevet i det følgende:

Bly-210 (halveringstid: 22.3 år) er en naturlig produsert radionuklide, som stammer fra atmosfærisk deposisjon (såkalt ustøttet (unsupported) ^{210}Pb). Cesium-137 (halveringstid: 30 år) og Americium ^{241}Am er antropogent produserte radionuklider, som stammer fra atmosfærisk deposisjon fra prøvespregninger av atomvåpen og kjernekraftulykker. Sedimentkjerner fra de to hovedbassengene i Vansjø: Storefjorden (VAN1A) og Vanemfjorden (VAN2B) ble analysert mht. innhold av ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{137}Cs and ^{241}Am ved direkte måling av gammastråling på laboratoriet til Bloomsbury Environment Institute ved University College London. En germanium detektor med lav bakgrunnsstråling av typen ORTEC HPGe GWL serier ble brukt. Bly-210 ble bestemt via dens gamma stråling ved 46.5keV, og ^{226}Ra ved 295keV og 352keV gamma stråler avgitt av dens datter-isotopen ^{214}Pb etter 3 ukers lagring i en forseglet beholder for å sikre innstilling av radioaktiv likevekt. Cesium-137 og ^{241}Am ble målt ut fra deres stråling ved 662keV og 59.5keV. Detektorens absolutte effektivitet ble bestemt ved hjelp av kalibrerte radioaktive kilder og sedimentprøver med kjent radioaktivitet. Korreksjoner ble gjort for effekten av selvabsorpsjon av lav-energi gamma stråler i prøven.

2.3 Analyser av algepigmenter

Pigmentene ble ekstrahert med 90 % aceton i vann over 4 timer. Prøvene ble behandlet med ultralyd i 1 min. for å fremme ekstraksjonen. Etter ekstraksjon ble prøvene sentrifugert og analysert for pigmenter ved bruk av høytrykksvæskeskromatografi (HPLC) koblet til en synlig lys detektor (diode-array detektor). Analysebetingelsene er beskrevet av (1) og (2), og består i korthet av følgende betingelser: Injeksjonsvolumet av ekstraktet var 100µl som ble eluert med følgende mobilfaser i en trinnvis gradienteluering: a) 80:20 metanol:0.5M ammoniumacetat, b) 90:10 acetonitril:vann, c) etylacetat. Gjennomstrømningshastigheten var på 1 ml/min, og pigmentene ble detektert ved en bølgelengde på

436 nm. Kalibrering av systemet er basert på pigmentstandarder kjøpt fra DHI Water and Environment, Hørsholm, Danmark. Identifikasjon av pigmentene er basert på sammenligning av retensjonstider og spektrofotometrisk sammenligning med pigmentstandardene.

2.4 Analyse av kiselalger

Etter en rask inspeksjon av alle prøvene fra begge kjernene, ble topp og bunnprøver fra begge kjernene VAN1B og VAN2A, samt noen prøver fra midten av hver kjerne (en fra VAN1B og tre fra VAN2A) bearbeidet for analyse av kiselalger. Bearbeiding og analyse ble gjort ut fra metodikken beskrevet av Battarbee *et al.* (2001). Minst 300 kiselaskall ble telt fra hver prøve i et Leitz mikroskop med 100x oljeimmersjons-objektiv og fasekontrast. Artene ble bestemt vha. diatomefloraen fra Krammer & Lange-Bertalot (1986-1991). Kiselaskallene var godt bevart i alle prøvene fra begge kjernene. Alle de bearbeidede mikroskop-preparatene er arkivert på laboratoriet til ECRC og alle data er lagret i ECRCs Amphora database. Figurer av kiselalge stratigrafien i begge kjernene VAN1B og VAN2A, viser kun taxa som forekom i >2 % av totalt antall celler i minst en prøve. Figurene ble produsert vha. dataprogrammet C² versjon 1.4.2 (Juggins, 2003). Alle kiselalgetaxa som ble identifisert i Vansjø-kjernene VAN1B and VAN2A er listet i Vedlegg 3.

Rekonstruksjon av fosforkonsentrasjon ut fra kiselalgefloraen

En kiselalger-total fosfor (TP) korrelasjons-funksjon ble anvendt på kiselalgedataene fra hver kjerne, i hht. taksonomisk harmonisering mellom et treningsdatasett og de fossile dataene. Rekonstruksjoner av totalfosfor ut fra kiselalgenes forekomst langs fosforgradienten (DI-TP) ble produsert ut fra et treningsdatasett fra 56 relativt store, moderat dype innsjøer (> 10 m maks. dyp) fra Skottland, Nord-Irland, Cumbria, sør-Norge og sentral Europa. Treningsdatasettet hadde årlig gjennomsnittlige TP konsentrasjoner fra 1-73 $\mu\text{g TP L}^{-1}$ og en medianverdi på 22 $\mu\text{g TP L}^{-1}$ (Bennion & Anderson, upublisert). Den beste modellen ble funnet ved beregning av enkle veide middelverdier og invers antikrymping (deshrinking) (ter Braak & van Dam, 1989). Regresjonskoeffisienten (r^2) mellom observert og estimert verdi var 0.75 og midlere kvadratrotfeil i prediksjonen (RMSEP basert på jack-knifing kryss valideringsmetode) var 0.25 $\log_{10} \mu\text{g TP L}^{-1}$. Alle rekonstruksjoner ble utført ved bruk av dataprogrammet C² versjon 1.4.2 (Juggins, 2003).

2.5 Analyse av vannlopper (cladocerer)

Det er lagret fullstendige serier for analyse av subfossile vannlopper, men foreløpig er bare det øverste (resente) laget og det dypeste laget i kjernene analysert. Prøvene ble rørt ut i 100-150 ml 10% KOH, og satt på en oppvarmet magnetrører i ca. 1 time. Temperaturen lå like under kokepunktet. Denne behandlingen løser opp lett nedbrytbart organisk materiale ("deflokkulering"), mens tyngre nedbrytbart materiale som kitin og lignin ikke påvirkes. Det blir da lettere å opparbeide materialet under mikroskop. Etter lutbehandlingen ble prøvene filtrert på en duk med maskevidde 45 μm , luten skylt bort og så spylt ned i en tube. Volumet ble justert til 5 mL. Noen dråper gentiana-fiolett ble tilsatt som fargestoff (farger kitin i skallrestene).

Fra tubene med ferdig behandlet sediment ble det tatt ut delprøver på 50 μL med en pipette. Dette ble overført til et objektglass, et dekkglass lagt på, og preparatet ble undersøkt i mikroskop (100-630 X forstørrelse). En rekke slike delprøver ble undersøkt. Alle identifiserbare rester av vannlopper ble notert.

3. Andre metoder

3.1 Modeller

I EU-prosjektet REBECCA (www.rbm-toolbox.net) er data fra flere hundre hovedsakelig nordiske referansesjøer brukt til å estimere naturlig fosfor og klorofyll- konsentrasjon ut fra innsjøenes middeldyp, alkalitet, høyde over havet og humusinnhold (Carvalho et al. 2005, Cardoso et al. 2005).

Modellene for klarvannssjøer er basert på data fra 288 referansesjøer:

- 1a) $\text{Log(Chl)} = 0.894 (\pm 0.063) - 0.192 (\pm 0.035) \text{Log(Depth)} + 0.110 (\pm 0.033) \text{Log(Alk)} - 0.121 (\pm 0.023) \text{Log(Alt)}$
- 1b) $\text{Log(TP)} = 1.55 (0.04) - 0.09 (0.02) \text{Log(Alt)} + 0.24 (0.06) \text{Log(Alk/Depth)}$

Modellene for humussjøer er basert på data fra 137 referansesjøer:

- 2a) $\text{Log(Chl)} = 1.35 (\pm 0.099) - 0.560 (\pm 0.071) \text{Log(Depth)} + 0.179 (\pm 0.097) \text{Log(Alk)}$
- 2b) $\text{Log(TP)} = 1.62 (0.12) - 0.09 (0.02) \text{Log(Alt)} + 0.24 (0.06) \text{Log(Alk/Depth)}$

TP = Total fosfor i $\mu\text{g/L}$

Chl = Klorofyll a i $\mu\text{g/L}$

Alk = Alkalinitet i mekv/L

Depth = Middeldyp i m

Alt = Altitude (høyde over havet) i m

Pga. lav regresjonskoeffisient gir disse modellene svært usikre estimater for naturtilstanden for hhv. fosfor og klorofyll. Da dette likevel gir et uavhengig estimat, har vi likevel valgt å bruke denne metoden. Dersom resultatene fra denne metoden viser seg å være omtrent på samme nivå som estimatene fra de andre metodene, vil det gi større styrke til konklusjonene.

3.2 Statistiske data fra upåvirkede innsjøer av samme type innen Norden

I regi av REBECCA prosjektet har man også analysert statistiske fordelinger av fosfor og klorofyll i referansesjøer fra bl.a. Norden (Carvalho et al. 2005, Cardoso et al. 2005). Disse gir estimater for referanseverdier (naturtilstand) for begge disse parametrene.

3.3 Historiske data

De eldste rapportene fra Vansjø er fra midten av 1960-årene (se bl.a. Holtan 1966). Vi har også forsøkt å sammenstille data fra disse for å si noe om mulig naturtilstand.

4. Paleoøkologiske resultater og diskusjon

4.1 Datering

Resultatene av dateringen er vist i tabellene 3.1 og 3.2, og rådataene er gitt Vedlegg 1. Menneskeskapt (supported) ^{210}Pb aktivitet ble antatt å være lik den målte ^{226}Ra aktiviteten, og naturlig (unsupported) ^{210}Pb aktivitet ble beregnet ved å trekke den menneskeskapte (supported) ^{210}Pb aktiviteten fra den målte totale ^{210}Pb aktiviteten. Den konstante initielle konsentrasjonsmodellen (CIC) kunne ikke brukes pga. ikke-monotone ^{210}Pb data i de to kjernene. Radiometriske datering ble utført ved bruk av en annen modell, som er basert på konstant tilførselsrate (constant rate of supply, CRS) (Appleby *et al.* 1978). Stratigrafisk informasjon om tidspunkt for deposisjon av menneskeskapt ^{137}Cs and ^{241}Am ble brukt for å bestemme sedimentdybden som tilsvarte Tsjernobyl-ulykken i 1986 og prøvesprengningene i 1963.

4.1.1 Storefjorden - VAN1A

Bly-210 Aktivitet

Total ^{210}Pb aktivitet oppnår ikke likevekt med menneskeskapt (supported) ^{226}Ra i bunnen av kjernen fra Storefjorden. Den gjennomsnittlige ^{226}Ra aktiviteten på 88 Bq kg^{-1} er på same nivå som det som er funnet i andre innsjøsedimenter fra Sør-Norge. Høyere ^{226}Ra aktivitet i den øverste 1 cm av sedimentet indikerer endringer i mineralogien i sedimentene i de senere årene. Naturlig (unsupported) ^{210}Pb aktivitet avtar fra overflaten til rundt 4 cm, sannsynligvis pga. reduksjoner i bruken av blybensin i de siste ti årene. Fra 6 cm og ned til bunnen av kjernen viste den naturlige (unsupported) ^{210}Pb små variasjoner uten signifikant avtak, noe som antyder endringer i sedimentasjonsraten. Dette kan skyldes år til år variasjoner i sedimenttransporten med Hobølelva relatert til naturlige klimatiske svingninger.

Tabell 3.1: VAN1A CRS Modell Pb₂₁₀ kronologi og sedimentasjonsrater i Storefjorden.

210-Pb flux = $179.3 \pm 23.6 \text{ Bq/m}^2/\text{aar}$

90% Ekvilibrium dybde = 20.1 cm, eller 7.97 g/cm^2

99% Ekvilibrium dybde = 38.0 cm, eller 14.4 g/cm^2

Dybde cm	Tørrvekt g/cm ²	Kum. Naturlig (Unsupp) Pb-210 Bq/m ²	Kronologi		Sedimentasjonsrate			
			Årstall	Alder år	Std avvik	g/cm ² /år	cm/år	% Std avvik
0.00	0.0000	5759.2	2005	0				
1.00	0.1929	5447.6	2003	2	2	0.1088	0.485	18.5
2.00	0.4381	5143.2	2001	4	2	0.144	0.511	19.7
3.00	0.7196	4867.4	2000	5	2	0.2103	0.672	25.3
4.00	1.0434	4557.8	1997	8	2	0.2066	0.629	26.1
5.00	1.4095	4222.7	1995	10	2	0.1329	0.384	22.4
6.00	1.7770	3894.9	1992	13	3	0.1225	0.323	22.5
7.00	2.1457	3576.5	1990	15	3	0.1752	0.447	26.7
8.00	2.5370	3302.7	1987	18	4	0.193	0.482	29.7
9.00	2.9509	3067.2	1985	20	4	0.1758	0.429	31.6
10.00	3.3647	2848.5	1982	23	5	0.1586	0.375	33.4
11.00	3.7993	2559.6	1979	26	6	0.1298	0.299	34.9
12.00	4.2546	2225.6	1974	31	7	0.0896	0.2	36.1
13.00	4.7161	1881.2	1969	36	9	0.0746	0.162	40.7
14.00	5.1761	1558	1963	42	11	0.0779	0.17	46

Deposisjon av kunstig produserte radionuklider

^{137}Cs aktiviteten versus dyp viser en relativt tydelig topp ved 13-14 cm sedimentdyp, som antagelig har sammenheng med tidspunktet for maksimal deposisjon av radioaktive isotoper etter prøvesprengningene i 1963.

Kjernekroneologi

Kronologiske data (årstall) ble beregnet ut fra COS dateringsmodellen (constant rate supply, se metoder ovenfor). I hht. CRS modellen er sedimentene på 14 cm dybde fra 1963, noe som er i god overensstemmelse med toppen i ^{137}Cs (se ovenfor). Dette impliserer at CRS dateringsmodellen er god for denne kjernen.

4.1.2 Vanemfjorden VAN2B**Bly-210 Aktivitet**

Som i VAN1A, total ^{210}Pb aktivitet i denne kjernen oppnår heller ikke likevekt med menneskeskapt (supporting) ^{226}Ra i bunnen av kjernen. Den gjennomsnittlige ^{226}Ra aktiviteten er 84 Bq kg^{-1} og er relativt stabil. Den naturlige (unsupported) ^{210}Pb aktiviteten avtar fra overflaten til bunnen av kjernen, noe som antyder at endringer av sedimentasjonsraten er jevnere enn i Storefjorden. Dette skyldes sannsynligvis at det er mindre år til år variasjon i sedimenttransporten til Vanemfjorden enn til Storefjorden.

Tabell 3.2: VAN2B CRS Modell Pb₂₁₀ Kronologi og sedimentasjons rater i Vanemfjorden

210-Pb flux = $179.3 \pm 23.6 \text{ Bq/m}^2/\text{aar}$

90% Ekvilibrium dybde = 20.1 cm, eller 7.97 g/cm^2

99% Ekvilibrium dybde = 38.0 cm, eller 14.4 g/cm^2

Dybde cm	Tørrvekt g/cm ²	Kum. Naturlig (Unsupp) Pb-210 Bq/m ²	Kronologi		Sedimentasjonsrate			% Std avvik
			Årstall	Alder år	Std avvik	g/cm ² /år	cm/år	
0.00	0.0000	11121.6	2005	0				
1.00	0.0874	10983.6	2005	0	2	0.2129	2.049	23.1
2.00	0.2061	10780	2004	1	2	0.1962	1.437	22.6
3.00	0.3517	10524.6	2003	2	2	0.183	1.134	22.9
4.00	0.5314	10207	2002	3	2	0.1774	0.93	23.4
5.00	0.7452	9833.2	2001	4	2	0.1795	0.828	24.2
6.00	0.9776	9456.9	2000	5	2	0.1865	0.78	25.2
7.00	1.2284	9079.7	1998	7	2	0.1986	0.786	26.4
8.00	1.4879	8698.2	1997	8	2	0.1953	0.744	27.4
9.00	1.7560	8314.4	1996	9	3	0.1766	0.654	28.2
10.00	2.0305	7916	1994	11	3	0.166	0.596	29.4
11.00	2.3115	7506.7	1992	13	4	0.1636	0.571	30.9
12.00	2.6023	7103	1991	14	4	0.1626	0.553	32.6
13.00	2.9028	6706.1	1989	16	5	0.163	0.54	34.3
14.00	3.2082	6312.7	1987	18	5	0.1578	0.514	36.2
15.00	3.5183	5924.8	1985	20	6	0.1472	0.474	38.1
16.00	3.8319	5550.6	1983	22	7	0.1475	0.468	40.9
17.00	4.1491	5197.8	1981	24	8	0.1537	0.477	44.2
18.00	4.4759	4874.2	1979	26	9	0.1633	0.492	47.2
19.00	4.8122	4558.1	1976	29	10	0.1517	0.452	49.6

Deposisjon av antropogent produserte radionuklider

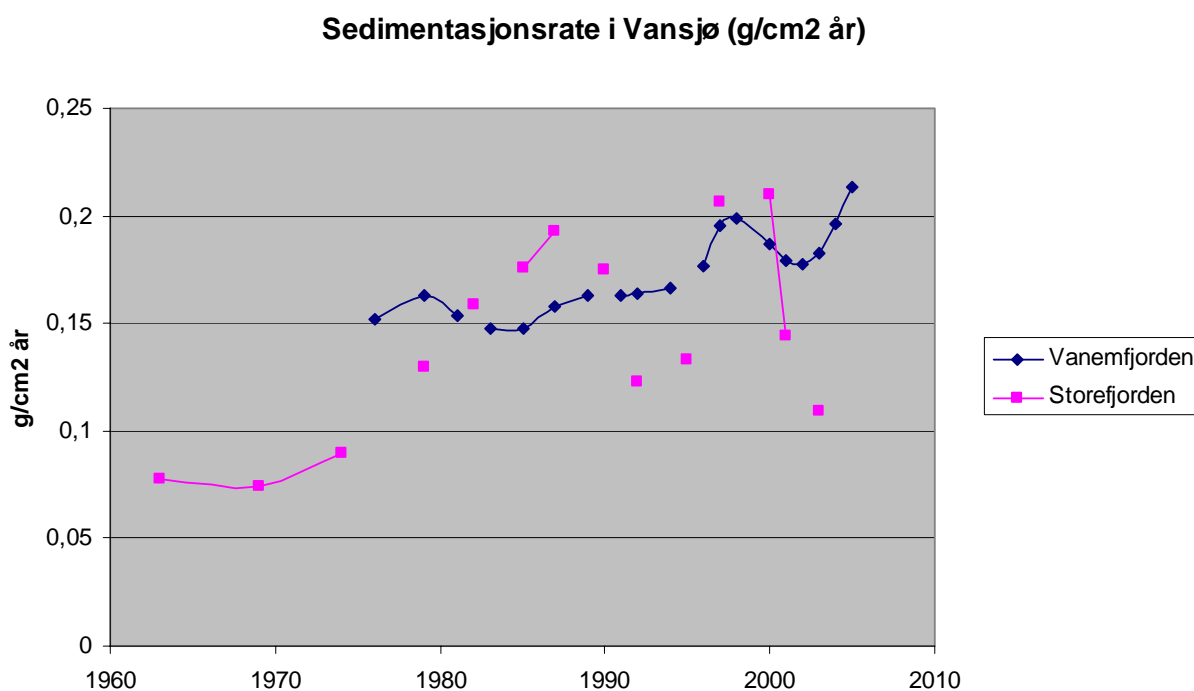
^{137}Cs aktiviteten versus sedimentdybde har ingen tydelig topp i denne kjernen, i motsetning til det som ble funnet i kjernen fra Storefjorden. ^{137}Cs aktiviteten viser en gradvis økning fra overflaten og ned til bunnen av kjernen, noe som indikerer at det kan være en topp ved eller under 20 cm sedimentdybde (bunnen av kjernen).

Kjernekroneologi

Kronologiske data ble beregnet vha. CRS dateringsmodellen på samme måte som for den andre kjernen fra Storefjorden. CRS modellen fastsetter 1986 mellom 17 og 18 cm. Det ble også funnet målbare spor av ^{134}Cs i prøven fra 17 – 18 cm, noe som også antyder at dette var tidspunktet for deposisjon av radioaktive isotoper fra Tsjernobyl ulykken. I motsetning til kjernen fra Storefjorden viste ^{137}Cs fra Tsjernobyl ulykken ingen tydelig topp.

4.2 Sedimentasjonsrate

Beregningene av sedimentasjonsraten indikerer at fra 1960-tallet til 1980-tallet økte sedimentasjonsratene i Storefjorden fra 0.075 til 0.19 $\text{g cm}^{-2} \text{ år}^{-1}$. I det siste tiåret derimot har sedimentasjonsraten fluktuert betydelig over et større spenn, noe som sannsynligvis gjenspeiler variasjoner i flom-relaterte alloktone tilførsler av partikler fra nedbørfeltet. Bildet er annerledes i Vanemfjorden: Beregningene indikerer at fra bunnen til overflaten av sedimentkjernen fra Vanemfjorden økte sedimentasjonsraten gradvis fra 0.15 til 0.21 $\text{g cm}^{-2} \text{ år}^{-1}$. Sedimentasjonsratene i Vanemfjorden er derfor mere stabile enn sedimentasjonsratene i Storefjorden. Dette skyldes nok at det er mindre alloktont materiale som tilføres fra nedbørfeltet, og at det har vært en mer gradvis økning i autokton (innsjøintern) produksjon forbundet med økende overgjødning i den delen av Vansjø.

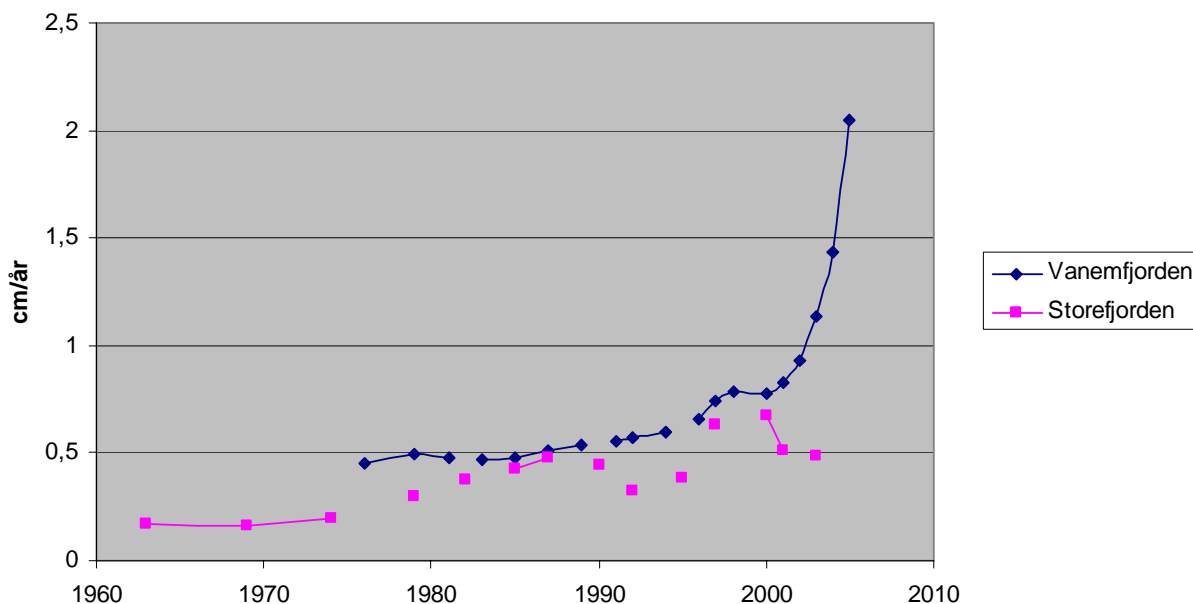


Figur 3.1. Sedimentasjonsrate i Vansjø i perioden 1960-2005 målt som $\text{g/cm}^2 \text{ år}$.

Akkumulasjonsraten i sedimentene er svært forskjellig i de to bassengene (figur 3.2) de siste 5 årene, med raskt økende akkumulasjonsrate i Vanemfjorden fra ca. 0.5 cm/år før 1990 til ca. 2 cm/år i 2005. Storefjorden viser en mer beskjeden økning i akkumulasjonsraten fra ca. 0.2 cm/år før 1980 til ca. 0.5 cm/år etter dette. De høyeste akkumulasjonsratene i Storefjorden er fra 1997 og 2000, noe som trolig er relatert til episoder med særlig stor vannføring i april og mai 1996, samt flomepisodene i 1999 og 2000

(Staalnacke et al. 2005), som brakte store mengder alloktone partikler til Storefjorden. Den nærmest eksplosive økningen i akkumulasjonsraten i Vanemfjorden de siste fem årene er sannsynligvis et resultat av en kraftig økning i algeproduksjonen, kombinert med en overgang til mindre beibare alger (se algepigmentavsnittet nedenfor), slik at også en større andel av primærproduksjonen sedimenterer istedenfor å bli omsatt i næringskjeden. Dette kan være en indirekte effekt av økte tilførsler av næringsalter under flommen i år 2000 og/eller et resultat av økte interne tilførsler etter dette tidspunkt (se avsnittet om algepigmenter nedenfor). Eventuelle endringer i næringskjeden som forårsaker redusert beiting på algene etter år 2000 (se avsnittet om vannlopper nedenfor), kan også muligens ha bidratt til den økte akkumulasjonen.

Akkumulasjonsrate i Vansjø (cm/år)



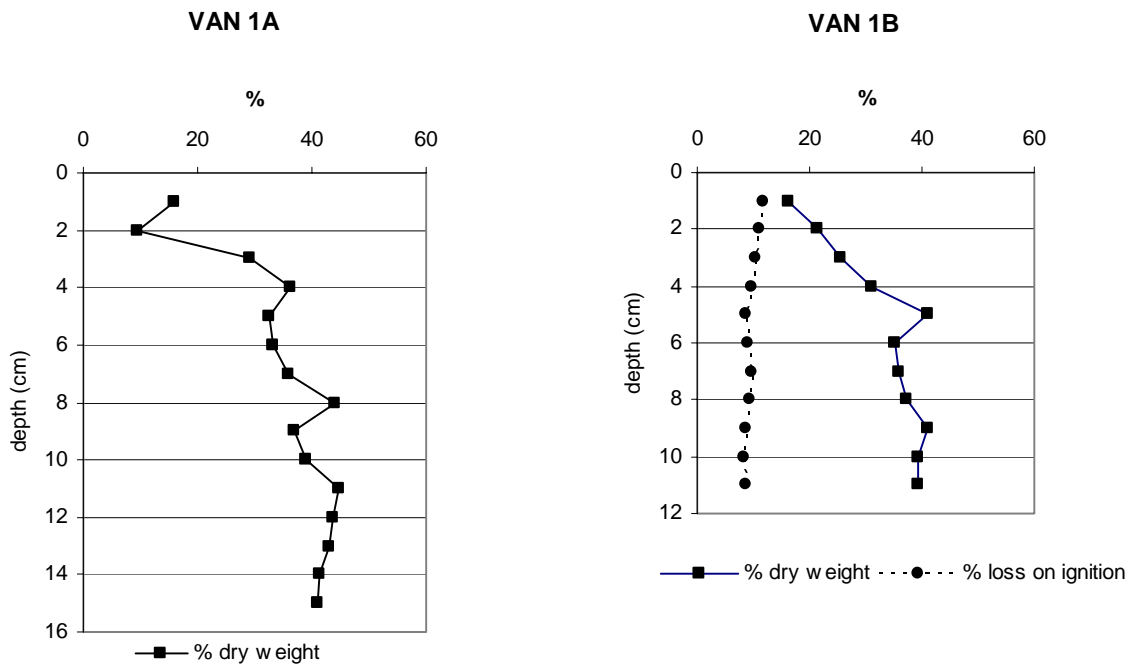
Figur 3.2. Akkumulasjonsrate i sedimentene i Storefjorden og Vanemfjorden, målt som cm/år.

4.3 Kjemiske forhold

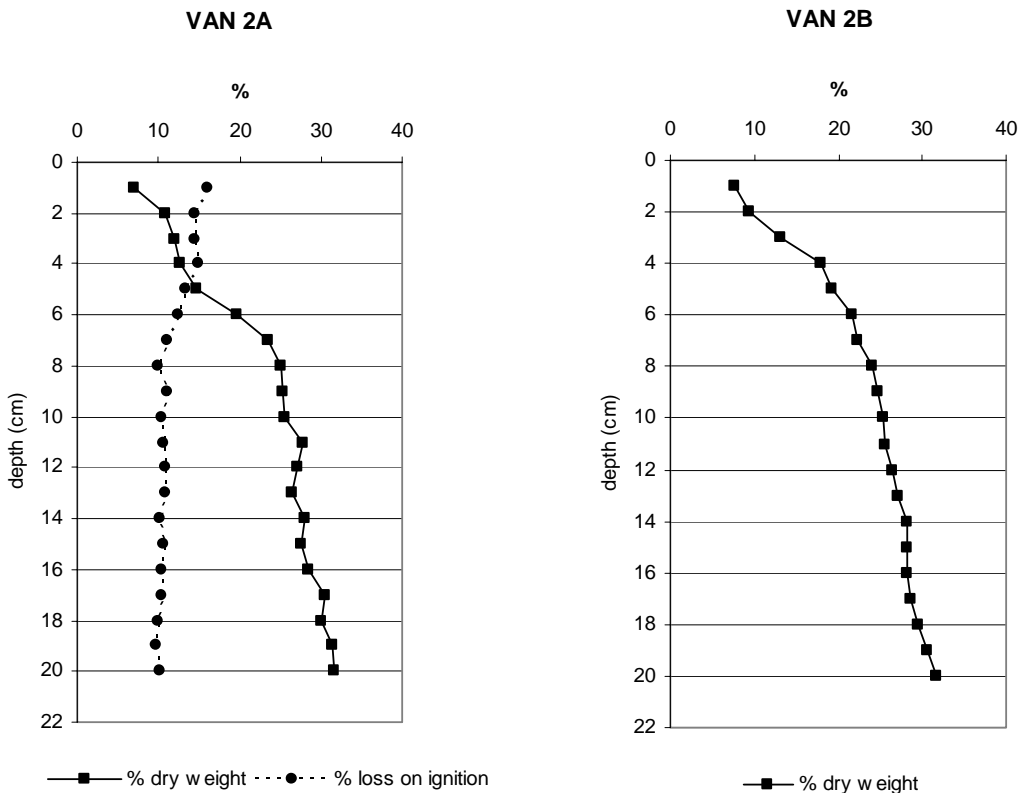
4.3.1 Sammenlignbarhet mellom kjerner brukt til datering og til andre analyser

Tørrvekt (DE) og glødetap (LOI) data for kjernene VAN1A/B og VAN2A/B er vist i figurene 3.3 og 3.4. Glødetaps-profilene, tilgjengelig kun for kjernene VAN1B og VAN2A, indikerer at det organiske innholdet i sedimentene har økt mot toppen av kjernene; fra ca. 5 cm dypde i kerne VAN1B og fra ca. 8 cm dypde i kerne VAN2A. Dette indikerer eutrofieringen av de to bassengene i nyere tid.

Det er tilstrekkelig likhet mellom tørrvektprofilene for de to kjernene fra Storefjorden (VAN1A og VAN1B), og også mellom de to kjernene fra Vanemfjorden (VAN2A og VAN2B), til at de kronologiene som er funnet i de daterte kjernene (VAN1A and VAN2B) er representative for de to andre kjernene som er brukt til alle de andre analysene av kjemiske elementer, algepigmenter, kiselalger og vannlopper (VAN1B and VAN2A).



Figur 3.3. Tørrvekt og glødetapsprofiler for Storefjorden, kjernene VAN1A og VAN1B



Figur 3.4. Tørrvekt og glødetapsprofiler for Vanemfjorden, kjernene VAN2A og VAN2B

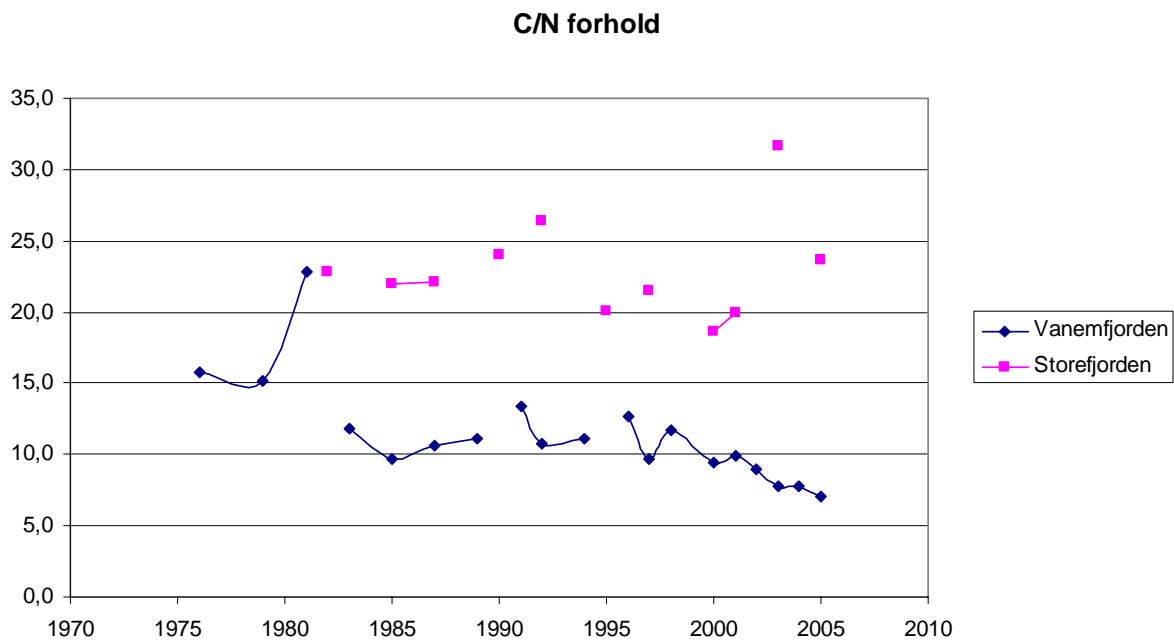
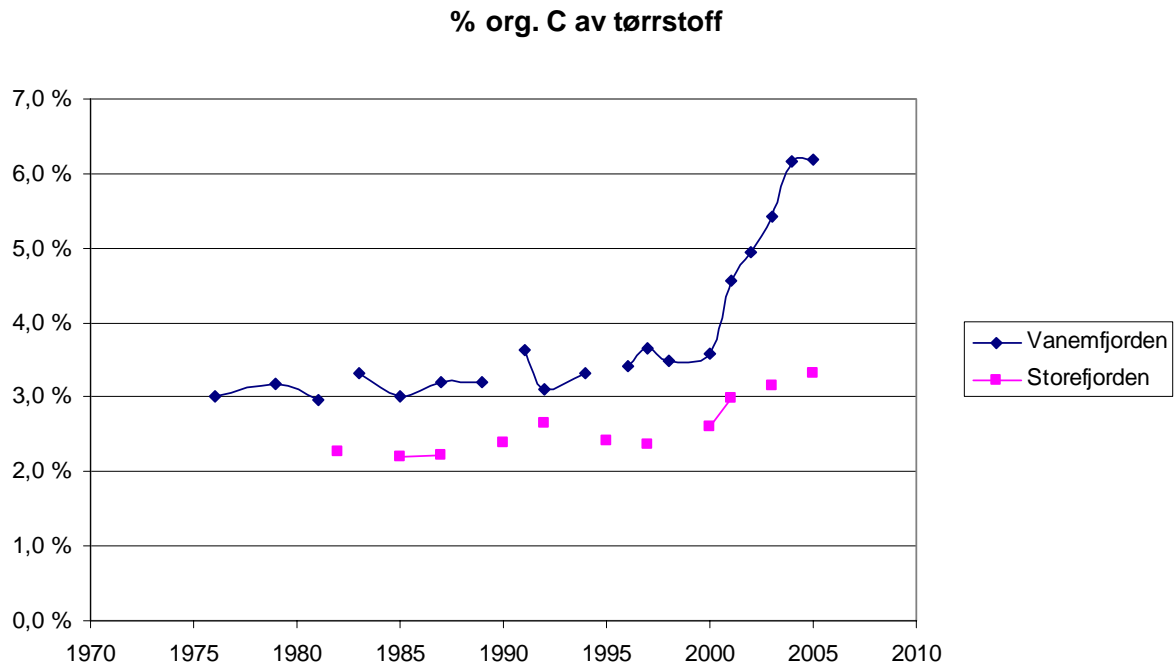
4.3.2 Kjemiske elementer

Tabell 3.3 viser kjemiske analyseresultater for Vansjø-sedimentene. Høyere akkumulasjonsrate enn forventet i utgangspunktet, og en sedimenthenter som var for lett til å trenge særlig langt ned i så kompakte leirsedimenter, gjorde at kjernene ble for korte til å kunne si noe om naturtilstanden i innsjøen (bunnen av kjernen i Storefjorden var ikke eldre enn 1982). I Vanemfjorden ble bunnen av sedimentkjernen datert til 1976, men dette er også lenge etter at eutrofieringen av innsjøen hadde startet. De analyserte parametrene viser likevel en utflating før år 2000, og kurvene før dette kan således indikere at eutrofieringen av innsjøen var mer moderat fram til år 2000.

Tabell 3.3. Kjemiske analyseresultater av Vansjø-sedimenter.

Prøve	Årstall	tørrvekt g/kg	%		gløderest mg/g TS	org.stoff %	N µg/mg N TS	C µg/mg C TS	org.C %	C/N
			tørrvekt	gløderest						
Storefjorden										
VAN 1b 1	2005	161	16,1 %	884	11,6 %	1,4	33,1	3,3 %	23,6	
VAN 1b 2	2003	213	21,3 %	889	11,1 %	<1,0	31,6	3,2 %	>31,6	
VAN 1b 3	2001	254	25,4 %	897	10,3 %	1,5	29,9	3,0 %	19,9	
VAN 1b 4	2000	312	31,2 %	902	9,8 %	1,4	26,1	2,6 %	18,6	
VAN 1b 5	1997	410	41,0 %	913	8,7 %	1,1	23,6	2,4 %	21,5	
VAN 1b 6	1995	351	35,1 %	910	9,0 %	1,2	24,1	2,4 %	20,1	
VAN 1b 7	1992	360	36,0 %	903	9,7 %	<1,0	26,4	2,6 %	>26,4	
VAN 1b 8	1990	374	37,4 %	906	9,4 %	<1,0	24	2,4 %	>24	
VAN 1b 9	1987	410	41,0 %	915	8,5 %	<1,0	22,1	2,2 %	>22,1	
VAN 1b 10	1985	394	39,4 %	916	8,4 %	<1,0	22	2,2 %	>22	
VAN 1b 11	1982	394	39,4 %	915	8,5 %	1	22,8	2,3 %	22,8	
Vanemfjorden										
VAN 2a 1	2005	71	7,1 %	840	16,0 %	9,4	66,4	6,6 %	7,1	
VAN 2a 2	2005	109	10,9 %	855	14,5 %	8,1	57,5	5,8 %	7,1	
VAN 2a 3	2004	119	11,9 %	855	14,5 %	7,9	61,7	6,2 %	7,8	
VAN 2a 4	2003	127	12,7 %	850	15,0 %	7	54,2	5,4 %	7,7	
VAN 2a 5	2002	147	14,7 %	866	13,4 %	5,5	49,4	4,9 %	9,0	
VAN 2a 6	2001	196	19,6 %	876	12,4 %	4,6	45,7	4,6 %	9,9	
VAN 2a 7	2000	234	23,4 %	889	11,1 %	3,8	35,8	3,6 %	9,4	
VAN 2a 8	1998	250	25,0 %	900	10,0 %	3	35	3,5 %	11,7	
VAN 2a 9	1997	252	25,2 %	890	11,0 %	3,8	36,6	3,7 %	9,6	
VAN 2a 10	1996	256	25,6 %	895	10,5 %	2,7	34,2	3,4 %	12,7	
VAN 2a 11	1994	278	27,8 %	894	10,6 %	3	33,2	3,3 %	11,1	
VAN 2a 12	1992	271	27,1 %	892	10,8 %	2,9	31,1	3,1 %	10,7	
VAN 2a 13	1991	265	26,5 %	892	10,8 %	2,7	36,2	3,6 %	13,4	
VAN 2a 14	1989	281	28,1 %	899	10,1 %	2,9	32,1	3,2 %	11,1	
VAN 2a 15	1987	276	27,6 %	894	10,6 %	3	32	3,2 %	10,7	
VAN 2a 16	1985	285	28,5 %	896	10,4 %	3,1	30,1	3,0 %	9,7	
VAN 2a 17	1983	306	30,6 %	897	10,3 %	2,8	33,1	3,3 %	11,8	
VAN 2a 18	1981	301	30,1 %	900	10,0 %	1,3	29,7	3,0 %	22,8	
VAN 2a 19	1979	313	31,3 %	903	9,7 %	2,1	31,8	3,2 %	15,1	
VAN 2a 20	1976	316	31,6 %	899	10,1 %	1,9	30	3,0 %	15,8	

Figur 3.5 viser tidsutviklingen av sedimentenes innhold av organisk stoff og C/N-forhold. Innholdet av organisk karbon er svært lavt i begge bassengene, noe som ikke er uvanlig i leirsedimenter. Innholdet av organisk karbon før år 2000 var 3-4% i Vanemfjorden og 2-3% i Storefjorden, noe som er i god overensstemmelse med tidligere undersøkelser av Vansjøsedimentene (fig. 4.9 i Augustson et al. 1982).



Figur 3.5. Innhold av organisk karbon og C:N-forhold i Vansjøsedimentene.

Etter år 2000 øker det organiske innholdet i Vanemfjorden-sedimentene kraftig, mens økningen i Storefjorden er relativt liten. Dette gjenspeiler ogsaa netto-effekten av økt algeproduksjon i Vanemfjorden og muligens redusert nedbrytning pga. oksygensvinn i bunnvannet etter dette tidspunktet.

C/N-forholdet er vesentlig høyere i sedimentene i Storefjorden enn i Vanemfjorden pga. større andel alloktont sediment i Storefjorden. C/N-forholdet i Vanemfjorden lå ganske stabilt på 10-12 gjennom 80- og 90-tallet, mens dette var 20-25 i Storefjorden i samme periode. De siste 5 årene har C/N-forholdet gått ned til ca. 7 i Vanemfjorden, noe som tilsvarer C/N-forholdet i levende planteplankton (Redfield-forholdet), mens det fortsatt ligger på 20-30 i Storefjorden.

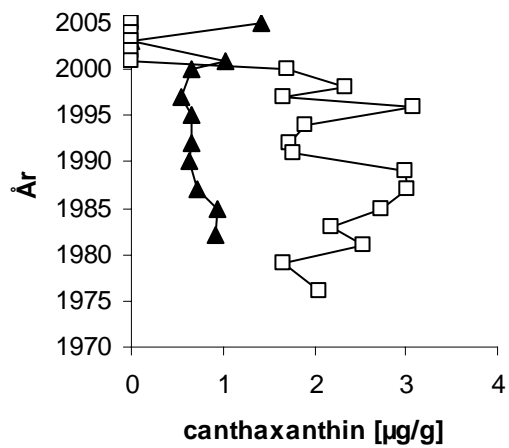
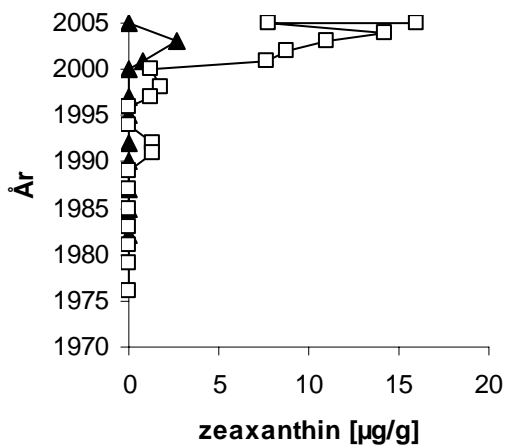
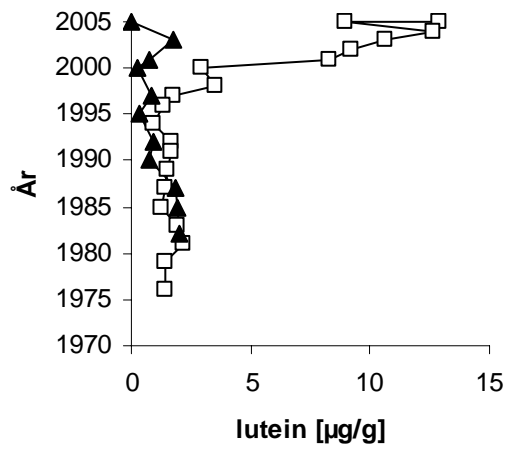
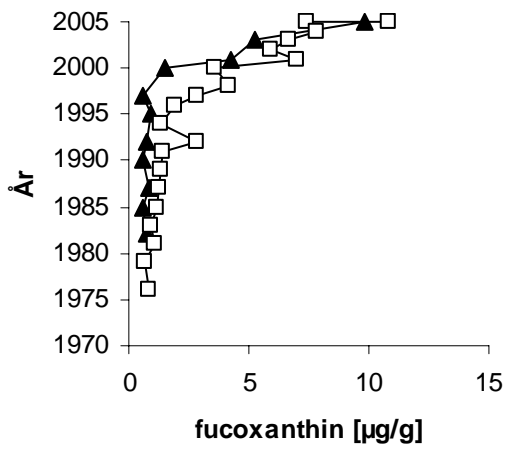
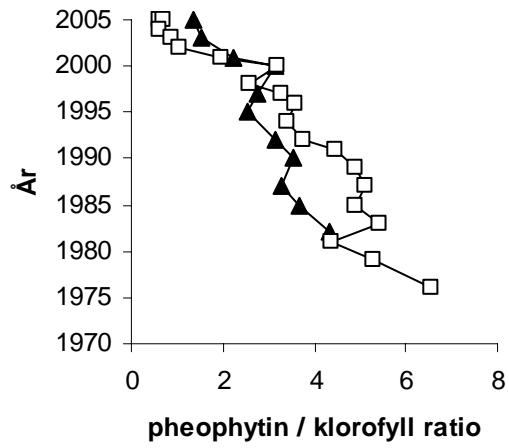
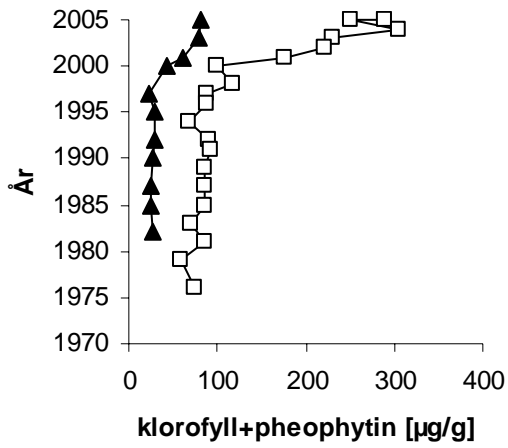
C/P-forholdet i sedimentene på 1950-tallet var ca. 25 i Storefjorden og ca. 60, dvs. betydelig høyere i Rødsengkilen, som er i Vestre Vansjø øst for Dillingøya, der vannkvaliteten i dag er mer lik den i Vanemfjorden (Figur 4.9 i Augustson et al. 1982). Det lave C/P-forholdet i sedimentene i Storefjorden på 1950-tallet kan ha sammenheng med alloktion tilførsel av fosfor i leirpartikler.

4.4 Algepigmenter

Vedlegg 2 viser analyseresultatene for algepigmentene i sedimentkjernene i Vansjø. Tidsutviklingen av de mest interessante pigmentene er vist i figur 3.6.

Den totale mengden klorofyll + pheophytin (nedbrytningsprodukter av klorofyll) gir et inntrykk av utviklingen av total planteplanktonbiomasse i de to bassengene tilbake til tidlig på 80-tallet. Dette er altfor kort til at vi kan si noe sikkert om naturtilstanden, men resultatene kan likevel indikere hvordan forholdene i innsjøens to hovedbassenger har utviklet seg siden 1980. Kurvene i figur 3.6 viser at algemengden i Vanemfjorden var betydelig høyere enn i Storefjorden allerede i 1980, og at algemengden har økt dramatisk i Vanemfjorden siden år 2000. Også i Storefjorden har algemengden økt de siste 5 årene, men i vesentlig mindre grad enn i Vanemfjorden. Forholdet mellom pheophytin og klorofyll øker nedover i sedimentet i begge bassengene, noe som er et resultat av naturlig nedbrytning av klorofyll over tid. I Storefjorden er nedbrytningen av klorofyll relativt lineær i hele perioden 1980-2005, mens den er meget atskillig lavere de siste fem årene i Vanemfjorden enn en lineær nedbrytning skulle tilsi. Den lave nedbrytningshastigheten av klorofyll i Vanemfjorden etter 2001 kan indikere at bunnvannet der prøvene ble tatt (dvs. dypeste punkt) har vært oksygenfritt siden 2001. Årets overvåking av innsjøen viser ogsaa oksygensvinn på hovedstasjonen i Vanemfjorden (se delrapport 1, lnr. 5143-2006).

Tidsutviklingen av fucoxanthin, som er et karakteristisk pigment i kiselalger og gullalger, er ganske lik i begge bassengene i hele tidsperioden. Disse algeklassene kan m.a.o. ikke forklare forskjellen i totalklorofyll i sedimentene i de to bassengene. Luteininnholdet, som er et vanlig pigment i grønnalger og euglenophyceer, var ganske likt i begge bassengene fram til 1995. Siden dette har disse algeklassene økt kraftig i Vanemfjorden, mens de har gått noe tilbake i Storefjorden. Utviklingen av blågrønnalger er meget forskjellig i de to bassengene. Zeaxanthin, som kjennetegner de mest eutrofe blågrønnalgeslektene, som f.eks *Microcystis*, finnes ikke i noen av bassengene før 1990. Fra 1990 – 2000 er det små mengder av dette pigmentet, mens det har økt kraftig i Vanemfjorden de siste fem årene. Dette er i tråd med overvåkingsdata av planteplankton i vannmassene samme periode, som viser at *Microcystis* var mer moderat i Vansjø før år 2000 (Bjørndalen pers. medd.). De andre blågrønnalgene, som indikeres av canthaxanthin pigmentet, viser det motsatte forløpet med dobbelt så store mengder fram til år 2000 i Vanemfjorden som i Storefjorden. De siste fem årene har dette pigmentet blitt helt borte i Vanemfjorden, mens det har økt i Storefjorden.



4.5 Kiselalger

Kiselalgeprofilene for kjernene VAN1B og VAN2A er vist i figur 3.7 og 3.8. Siden profilene på de daterte kjernene er godt korrelert med de andre kjernene, har vi brukt kronologien i de daterte kjernene for å presentere resultatene av kiselalgeanalysene i figurene 3.7 og 3.8. Fullstendige artslistene av kiselalger fra sedimentkjernene er gitt i Vedlegg 3.

4.5.1 Storefjorden (VAN1B)

I de tre prøvene som ble analysert fra Storefjorden-sediment (VAN1B: 0.5, 4.5, 10.5 cm), ble det funnet 74 arter av kiselalger (se Vedlegg 3). Figur 3.7 viser at kiselalgesammensetningen er relativt stabil fra toppen til bunnen av kjernen, som dekker perioden ~1980 til 2005 basert på kronologien fra VAN1A kjernen. Planktoniske kiselalger dominerer gjennom hele kjernen, og de viktigste artene er *Aulacoseira subarctica*, *Aulacoseira ambigua*, *Asterionella formosa*, *Tabellaria flocculosa* (lang form), *Cyclotella stelligera/pseudostelligera*, *Cyclotella radiosa* og *Diatoma tenuis*. Dette er arter som indikerer mesotrofe forhold med fosfor optima på 10-30 $\mu\text{g L}^{-1}$ TP. Mot toppen av kjernen, opptrer de planktoniske artene *Fragilaria crotonensis* og *Stephanodiscus medius* i lave tettheter, noe som kan indikere en svak økning i produktivitet.

Over 90 % av kiselalgeartene i prøvene fra Storefjorden-sedimentet (VAN1B) fantes i DI-TP modellen, noe som viser at det ikke var noe problem med moderne analoger. Rekonstruksjon av fosforkonsentrasjon basert på kiselalgefloraen i denne kjernen (Figur 3.7) indikerer at innsjøens trofegrad har vært relativt stabil fra 1980-2005, med TP på 16-19 $\mu\text{g L}^{-1}$, selv om det er en svak økning fra den nederste prøven opp til 4 cm sedimentdybde, som tilsvarer perioden 1980-1995. Den kiselalge-estimerte TP konsentrasjonen i overflatesedimentet er 19 $\mu\text{g L}^{-1}$ TP, som er nøyaktig likt den målte gjennomsnittlige TP konsentrasjonen i vannsøylen i Storefjorden i 2005 (se Bjørndalen m fl 2006). Den gode overensstemmelsen mellom observert og kiselalge-estimert TP indikerer at DI-TP modellen er i stand til å gi ganske nøyaktige prediksjoner av fosforkonsentrasjonen i Storefjorden.

4.5.2 Vanemfjorden (VAN2A)

Kiselalge-profilen for kjernen fra Vanemfjorden (VAN2A) er veldig lik den fra Storefjorden (VAN1B), både mht. artssammensetning og relativ stabilitet fra topp til bunnen av kjernen. Kjernen fra Vanemfjorden er estimert til å dekke omtrent den samme 25 års perioden (~1980-2005) som kjernen fra Storefjorden. I de fem prøvene som var analysert fra Vanemfjorden-sedimentet; VAN2A: 0.5, 2.5, 4.5, 10.5, 18.5 cm, ble det påvist 83 kiselalgearter (se Vedlegg 3). Også Vanemfjorden-sedimentet domineres av planktoniske arter typisk for mesotrofe innsjøer (Figur 3.8), inkludert *Aulacoseira ambigua*, *Aulacoseira subarctica*, *Asterionella formosa*, *Tabellaria flocculosa* (lang form), *Cyclotella pseudostelligera*, *Cyclotella radiosa* and *Diatoma tenuis*. Mens *A. subarctica* dominerte i kjernen fra Storefjorden (VAN1B), er det *A. ambigua* som dominerer i kjernen fra Vanemfjorden (VAN2A). Sistnevnte art utgjør 20-30 % av total kiselalgemengde i alle prøvene, med unntak av bunnprøven, der den har noe lavere relativ forekomst (~14 %). Dominansen av denne arten gjenspeiler den mer næringsrike tilstanden i Vanemfjorden, siden *A. ambigua* typisk assosieres med rikere forhold enn *A. subarctica*, med DI-TP optima i treningsdatasettet på hhv. 36 versus 24 $\mu\text{g L}^{-1}$ TP.

Den kiselalge-estimerte TP-konsentrasjonen fra Vanemfjorden-sedimentet (VAN2A, Figur 3.8) indikerer at trofegraden for denne delen av innsjøen også har vært relativt stabil fra bunnen til toppen av kjernen, med TP mellom 21 og 27 $\mu\text{g L}^{-1}$. Det er likevel en svak økning fra den nederste prøven opp til 4 cm sedimentdybde, som tilsvarer ~1980-2002. Den nåværende målte gjennomsnittlige TP konsentrasjon i vannmassene i Vanemfjorden på 33 $\mu\text{g L}^{-1}$, er høyere enn den kiselalge-estimerte TP-konsentrasjonen fra overflatesedimentet. Dette tyder på at modellen underestimerer faktisk TP konsentrasjon i Vanemfjorden. Ca. 96% av artene som ble funnet i sedimentet er også representert i modellen, så forskjellen mellom observert og estimert TP kan ikke skyldes dårlige moderne analoger. Avviket mellom modellert og observert TP kan skyldes at en stor del av TP er bundet til partikler og dermed er utilgjengelig for planktonalgene.

Kjernene fra begge bassengene i Vansjø er relativt korte og dekker kun de siste 25 årene, tilbake til ca. 1980. Den kiselalge-estimerte TP-konsentrasjonen i bunnen av kjernene (ca. 1980) er ca. $15 \mu\text{g L}^{-1}$ for Storefjorden og $20 \mu\text{g L}^{-1}$ for Vanemfjorden, noe som viser at allerede i 1980 var Vanemfjorden mer eutrof enn Storefjorden (fig. 3.7 and 3.8). Historiske data viser at eutrofieringen av innsjøen startet før 1980. Bunnen av sedimentkjernene som ble analysert nå kan derfor ikke si noe om naturtilstanden. Mindre endringer som indikerer svak eutrofiering er påvist for kiselalgefloraen fra begge bassengene de siste 25 årene. Kiselalgesammensetningen i begge bassengene er stort sett lik, men som forventet så har Vanemfjorden-sedimentet høyere relative mengder av mer næringskrevende arter enn de som ble funnet i Storefjorden-sedimentet. Lengre kjerner er nødvendig for å spore endringer i innsjøen tilbake til tiden før eutrofieringen startet, og dermed for å kunne få informasjon om naturtilstanden.

En tidligere undersøkelse av kiselalger i sedimentene i Storefjorden i Vansjø (Erlandsen 1978), som dekker perioden 1900-1977, viser at kiselalgefloraen endret seg etter 1965 fra arter som vanligvis dominerer i mesotrofe lokaliteter til arter som er mer typiske i eutrofe lokaliteter (Erlandsen 1978, Augustson et al. 1982,). Dette tyder på at vi må tilbake til tidlig 60-tallet, eller 1950-tallet, for å kunne finne informasjon om referansetilstanden i Vansjø. De artene som i følge Erlandsen (1978) dominerte før 1965 var *Melosira* (nå *Aulacoseira*) *italica subsp. subarctica*, *Cyclotella compta* og *Cyclotella stelligera*, som indikerer mesotrofe eller oligo/mesotrofe forhold. For perioden etter 1965 fant Erlandsen et avtak i oligotrofe arter som *Melosira* (*Aulacoseira*) *distans var alpigena*, og en klar økning av mer meso-eutrofe arter, herunder *Asterionella formosa*, *Synedra cf. radians* og *Cyclotella pseudostelligera*. Fosforoptimum for de artene som dominerte før 1965 er over $20 \mu\text{g/L}$ (Bennion pers. comm.), hvilket ikke gir noe entydig bilde av mer næringsfattige forhold i Storefjorden før 1965. Lengre sedimentkjerner må til dersom en mer entydig vurdering av naturtilstanden skal kunne gjøres.

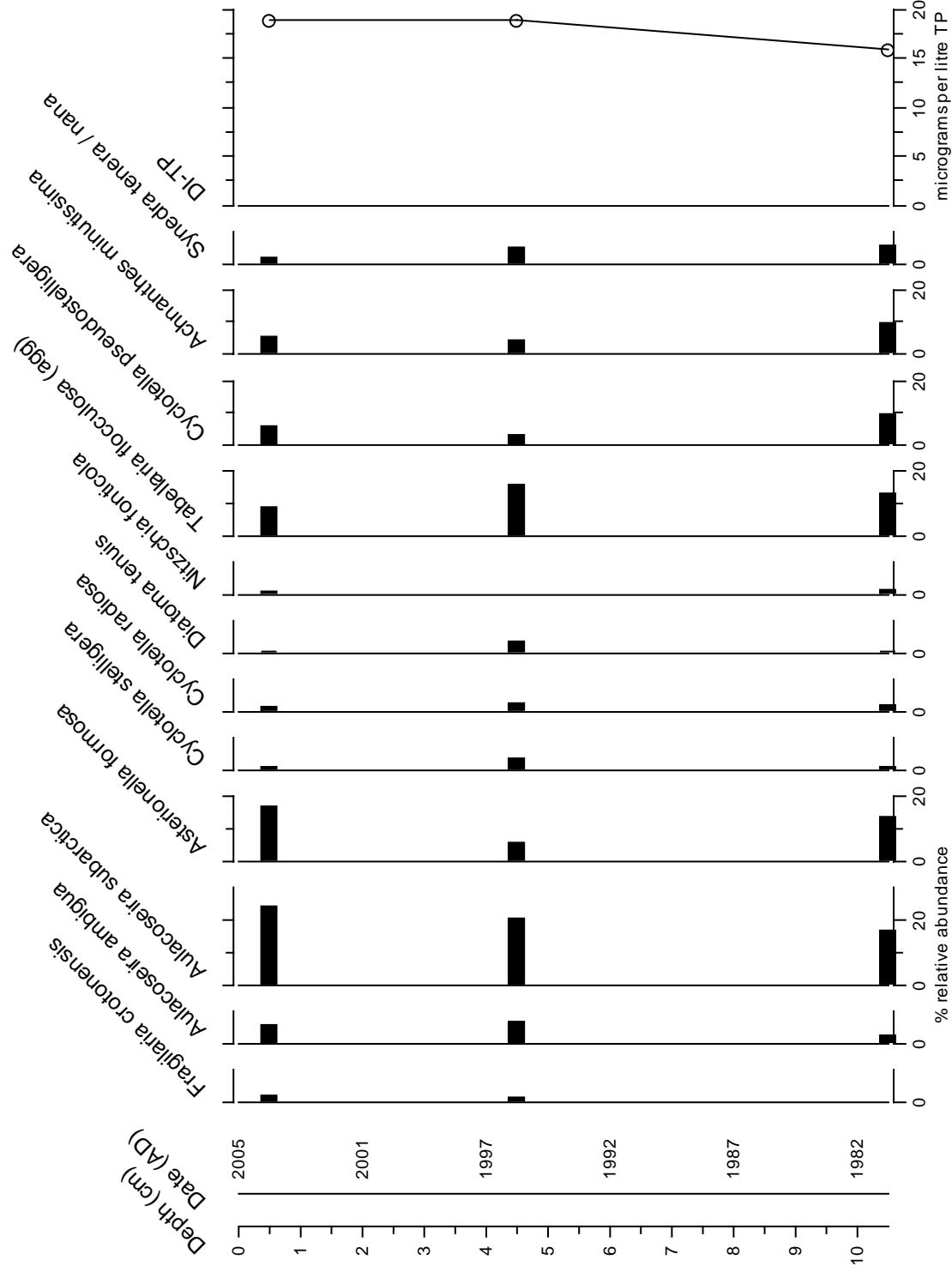


Figure 3.7: Kiselasge-stratigrafi for Storefjorden-sediment (VAN1B). Kun arter som har >2 % relativ abundans i minst en proeve er vist. Artene er sortert ut fra veide middelverdier fra venstre mot høyre. Aarstallene er basert paa kronologien i den andre kjernen fra Storefjorden (VAN1A).

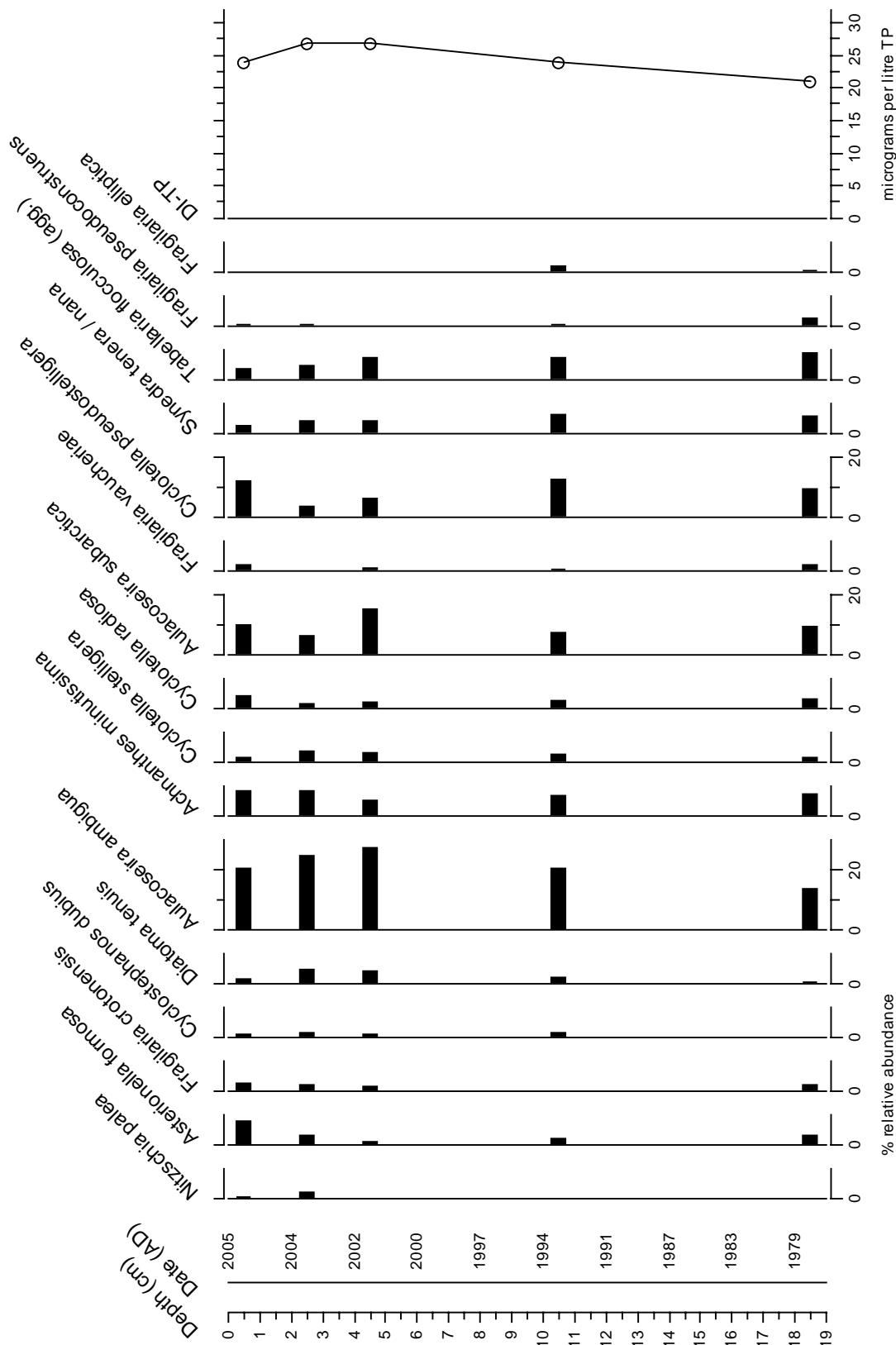


Figure 3.8: Kislalage-stratigrafi for Vanemfjorden-sediment (VAN2B). Kun arter som har >2 % relativ abundans i minst en prøve er vist. Artene er sortert ut fra veide middelværdier fra venstre mot høyre. Årstallene er basert på kronologien i den andre kjernen fra Vanemfjorden (VAN2A).

4.6 Vannlopper (Cladocerer)

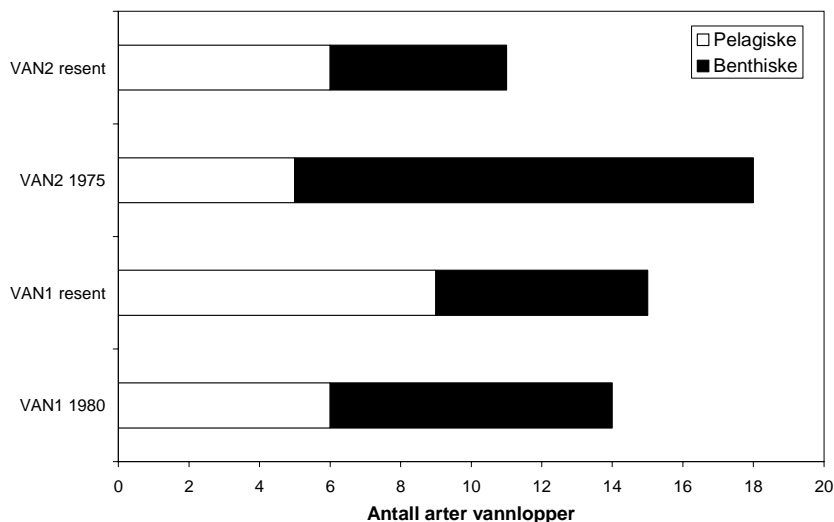
Sedimentprøvene inneholdt store mengder små mineralpartikler. Dette vanskeliggjorde opparbeidelsen av materialet, fordi det blir vanskeligere å se restene, og fordi prøvene nødvendigvis må tynnes mer ut.

Alle arter og grupper som ble påvist er listet i Vedlegg 4. Som ventet fant vi en sterk dominans av slekten *Bosmina*. Dette er pelagiske arter som er dominerende i planktonet, og deres skalldelel bevares spesielt godt i sedimentene. Det er derfor normalt å finne overvekt av disse artene i sedimentprøver. I tillegg ble det påvist en rekke andre arter innen *Sididae*, *Leptodoridae*, *Macrothricidae* og *Chydoridae*. Mange av artene lever benthisk (på slam- stein- eller sandbunn, eller blant vannplanter). Noen av dem er pelagiske.

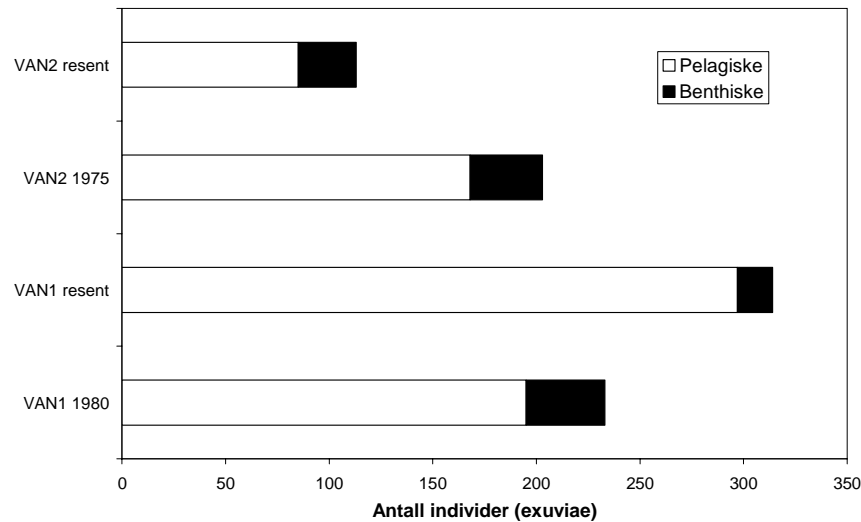
I Storefjorden (VAN1) var det liten forskjell i antall arter (taxa) mellom eldste og yngste sediment (Figur 3.9). Imidlertid så vi en økning i andelen pelagiske arter i de yngste avsetningene. Antallsmessig dominerte de pelagiske artene sterkt, og andelen av pelagiske individer var høyere (19.5%) i det eldste sedimentet enn i det yngste (5.7%) (figur 3.10).

I Vanemfjorden fant vi en markert forskjell i andelen bentiske arter fra eldste til yngste sediment (Figur 3.9), med tydelig reduksjon i innslaget av bentiske arter i de yngste avsetningene. I antall var imidlertid forholdet motsatt, idet andelen bentiske individer var høyere (32.9%) i de yngste enn i de eldste (20.8 %) (Figur 3.10). Dette skyldtes først og fremst et høyt antall av *Chydorus sphaericus*. Den ble ikke påvist i de eldste avsetningene på denne stasjonen (figur 3.11).

De fleste artene er vanlige over det meste av landet. Vi har imidlertid innslag av enkelte arter som er sjeldne og/eller forekommer bare i den sør-østligste delen av landet. Dette gjelder først og fremst *Leydigia leydigi*. Denne arten, som er svært sjelden hos oss, er tidligere påvist i Vansjø av G.O. Sars før 1900. Det ble også funnet et enkelt eksemplar i håvtrekk i Storefjorden høsten 2005. Også artene av sl. *Pleuroxus* er forholdsvis sjeldne, og det samme gjelder *Alona rectangula*.



Figur 3.9. Antall arter av vannlopper påvist i sedimenter fra Storefjorden (VAN1) og Vanemfjorden (VAN2), fordelt på pelagiske og bentiske arter.



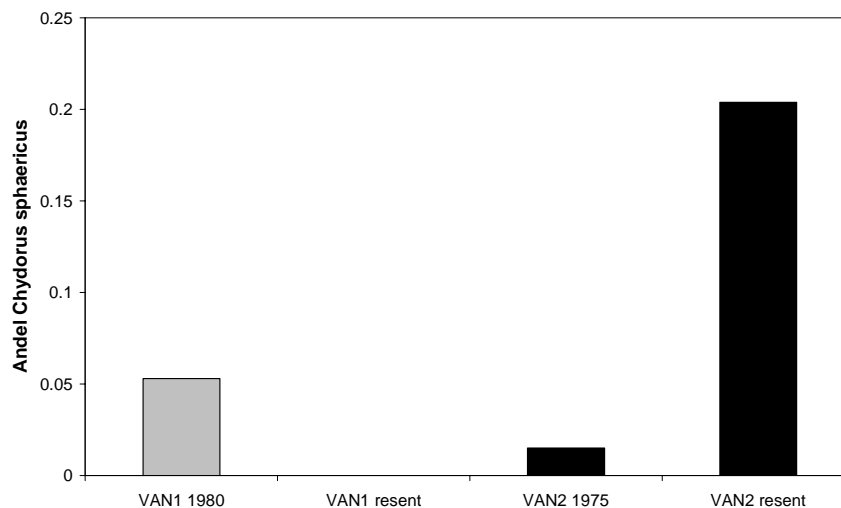
Figur 3.10. Antall individer (exuvier) påvist i sedimenter fra Storefjorden (VAN1) og Vanemfjorden (VAN2), fordelt på pelagiske og benthiske arter.

Det er også interessant å konstatere at *Limnospira frontosa* var tilstede i Vansjø på 1970-tallet. Denne arten er i spredning på Østlandet, og er så vidt vi vet ikke omtalt i Vansjø tidligere.

Samfunnet av vannlopper viser betydelig forskjell mellom bassengene. Som forventet var innslaget av pelagiske former mest dominant i Storefjorden, som er det største bassenget med åpne vannmasser. Andelen benthiske arter og individer er større i Vanemfjorden. I dette bassenget så vi de største endringene i faunaen, med tydelig reduksjon i antallet benthiske arter. Dette kan henge sammen med effekter av økt turbiditet for vannplanter og dermed arter som lever på disse. Det kan også tenkes at forverrede forhold med lite oksygen kan ha betydning.

I tillegg til vannlopper ble det også påvist rester av andre dyr. Her er verdt å nevne svevemygg som det ble funnet rester av i sedimentene fra begge bassenger.

Chydorus sphaericus er en av våre vanligste og mest utbredte arter, og opptrer under nesten alle slags miljøforhold. Normalt er den nesten utelukkende bunnlevende. Den er imidlertid kjent som en indikator for eutrofe forhold, fordi den ved stor forekomst av alger kan opptre i store tettheter også pelagisk. I materialet fra Vanemfjorden utgjorde arten en betydelig høyere andel av individene som ble funnet i det yngste sedimentet enn i det eldste (Figur 3.11). Dette kan tyde på at arten også opptrer pelagisk, noe som bekreftes av planktonundersøkelsene i 2005. *Ch. sphaericus* var et regelmessig innslag i de pelagiske prøvene. I Storefjorden så vi ikke tegn til en slik utvikling (her ble arten faktisk ikke påvist i resent sediment). Dette henger trolig sammen med at denne delen av Vansjø har lavere konsentrasjon av næringssalter og algemengden er vesentlig mindre.



Figur 3.11. Andelen av *Chydorus sphaericus* blant rester i sedimenter fra Storefjorden (VAN1) og Vanemfjorden (VAN2).

4.7 Samlet vurdering av paleøkologiske resultater

Høyere akkumulasjonsrate enn forventet i utgangspunktet, og en sedimenthenter som var for lett til å trenge særlig langt ned i de kompakte leirsedimentene, gjorde at kjernene ble for korte til å kunne si noe om naturtilstanden i innsjøen. Bunnen av kjernene var ikke eldre enn slutten av 70-tallet / begynnelsen av 80-tallet. Dette er altfor kort til å kunne konkludere noe om naturtilstanden i Vansjø, da innsjøen viste klare tegn på eutrofiering allerede i 70-årene. Hvis vi sammenligner bunnen av kjernene fra de to bassengene er det klart at de var forskjellige allerede rundt 1980, med mer alger, større andel blågrønnalger og flere arter av vannlopper i Vanemfjorden enn i Storefjorden. Tot-P konsentrasjonen i 1980 ble estimert ut fra kiselalgefloraen til ca. 15 µg/L i Storefjorden og 20 µg/L i Vanemfjorden.

Resultatene av sedimentundersøkelsen gir likevel meget verdifulle opplysninger om eutrofieringsutviklingen i de to bassengene fra 1980 og fram til i dag. Disse kan sammenholdes med overvåkingsdata fra vannmassene. De viktigste resultatene som viser eutroferingsutviklingen i to bassengene er den store forskjellen mellom dem etter år 2000: For Storefjorden viser de fleste parametrene en svak endring i de senere år, trolig relatert til år til år variasjoner i vannføring og dertil hørende tilførsler av erosjonsmateriale fra nedboerfeltet. For Vanemfjorden viser de målte parametrene en nærmest eksplosiv eutrofieringsutvikling etter år 2000: kraftig økning i akkumulasjonsrate og i % organisk karbon, svært lavt C/N forhold, kraftig økning i klorofyll og minimal nedbrytning av klorofyll, kraftig økning i næringskrevende algeklasser: grønnalger, euglenophyceer og *Microcystis*, samt store mengder av en vannloppeart som indikerer meget næringsrike forhold (*Chydorus sphaericus*).

5. Resultater fra andre metoder for vurdering av naturtilstand

5.1 MEI-Modellen

Tabell 3.4 viser resultater av modellberegningene for referansetilstand for totalfosfor og klorofyll i de to hovedbassengene i Vansjø. Resultatene blir ganske forskjellige avhengig av humusinnholdet i innsjøer. Da humusinnholdet i både Storefjorden og Vanemfjorden som regel er over 30 mg Pt/L, som er grensen mellom klarvannssjøer og humussjøer i den internasjonale typologien for innsjøer, vil nok estimatene fra humusmodellene gi det mest realistiske estimatet. Det presiseres at disse modellene har høy usikkerhet og

at estimatene derfor må brukes med stor forsiktighet i det videre arbeidet med miljømålfastsetting for Vansjø.

Resultatene av modellberegningene med humusmodellene viser at naturlig totalfosfor er $12,7 \pm 1,5$ $\mu\text{g/L}$ i Storefjorden og $17,1 \pm 3,0$ $\mu\text{g/L}$ i Vanemfjorden. Den naturlige klorofyllkonsentrasjonen er estimert til $4,9 \pm 1,0$ $\mu\text{g/L}$ i Storefjorden og $8,7 \pm 2,0$ $\mu\text{g/L}$ i Vanemfjorden.

Tabell 3.4. Modellberegninger av naturlig totalfosfor og naturlig klorofyll konsentrasjon ut fra empiriske korrelasjoner med middeldyp, alkalitet og høyde over havet. Humussjøer og klarvannssjøer har forskjellige modeller. Totalfosfor modellene er hentet fra Cardoso et al. submitted to Hydrobiologia (Shallow lakes conference), mens klorofyllmodellene er hentet fra Carvalho et al. (submitted Hydrobiologia or Ref.cond.report REBECCA)

Naturlig Tot-P i Klarvannssjøer

$\text{Log(TP)} = 1.55 (0.04) - 0.09 (0.02) \text{Log(altitude)} + 0.24 (0.06) \text{Log(MElalk)}$

Innsjø	h.o.h.	middeldyp m	alkalitet mekv/L	Tot-P _{+ref} $\mu\text{g/L}$	Tot-P _{ref} $\mu\text{g/L}$	Tot-P _{-ref} $\mu\text{g/L}$
Vansjø Storefjorden	25	9,20	0,22	10,1	10,8	11,6
Vansjø Vanemfjorden	25	3,70	0,30	14,6	14,5	14,4

Naturlig Tot-P i Humussjøer

$\text{Log(TP)} = 1.62 (0.12) - 0.09 (0.02) \text{Log(altitude)} + 0.24 (0.06) \text{Log(MElalk)}$

Name	h.o.h.	middeldyp m	alkalitet mekv/L	Tot-P _{+ref} $\mu\text{g/L}$	Tot-P _{ref} $\mu\text{g/L}$	Tot-P _{-ref} $\mu\text{g/L}$
Vansjø Storefjorden	25	9,20	0,22	14,3	12,7	11,3
Vansjø Vanemfjorden	25	3,70	0,30	20,6	17,1	14,1

Naturlig klorofyll i Klarvannssjøer

$\text{Log(Chl)} = 0.894 (\pm 0.063) - 0.192 (\pm 0.035) \text{Log(Depth)} + 0.110 (\pm 0.033) \text{Log(Alk)} - 0.121 (\pm 0.023) \text{Log(Alt)}$

Name	h.o.h.	middeldyp m	alkalitet mekv/L	Chlf _{+ref} $\mu\text{g/L}$	Chlf _{ref} $\mu\text{g/L}$	Chlf _{-ref} $\mu\text{g/L}$
Vansjø Storefjorden	25	9,20	0,22	3,8	2,9	2,3
Vansjø Vanemfjorden	25	3,70	0,30	4,5	3,6	2,9

Naturlig klorofyll i Humussjøer

$\text{Log(Chl)} = 1.35 (\pm 0.099) - 0.560 (\pm 0.071) \text{Log(Depth)} + 0.179 (\pm 0.097) \text{Log(Alk)}$

Name	h.o.h.	middeldyp m	alkalitet mekv/L	Chlf _{+ref} $\mu\text{g/L}$	Chlf _{ref} $\mu\text{g/L}$	Chlf _{-ref} $\mu\text{g/L}$
Vansjø Storefjorden	25	9,20	0,22	6,3	4,9	3,9
Vansjø Vanemfjorden	25	3,70	0,30	10,7	8,7	7,1

5.2 Nordiske data fra referansesjøer

De statistiske fordelingene av nordiske data fra referansesjøer innsamlet i REBECCA-prosjektet og i det nordiske interkalibreringsarbeidet viser at medianverdi for totalfosfor for den innsjøtypen som kommer nærmest Vansjø (L-N8, dvs. humøse moderat kalkrike innsjøer i Norden) er $12,7$ $\mu\text{g/L}$, mens 25 og 75 persentilene er $9,1$ og $16,7$ $\mu\text{g/L}$ (Cardoso et al. submitted).

Tilsvarende data for klorofyll er 7,0 µg/L med 75 persentil på 10 µg/L (Carvalho et al. 2005). Datamaterialet som disse fordelingene er basert på var kun 9 lokaliteter, så disse tallene er også meget usikre.

5.3 Historiske data

Data fra 1964 finnes i Holtan 1966. Fosforanalysene på den tiden ble gjort med en metode som ga altfor høye verdier av totalfosfor pga. interferens fra silikat. TP verdiene i denne rapporten kan derfor ikke brukes. Derimot er planteplanktonet analysert og sammenlignet med kvalitative og semi-kvantitative data fra 1896, 1899, rapportert av Strøm 1921 og fra 1927 rapportert av Braarud et al. 1928. Analysene fra 1964 oppgis kun som antall celler pr. liter og er derfor vanskelig å relatere til dagens metodikk uten ytterligere databearbeiding. Resultatene viser likevel hvilke arter som dominerte i de respektive årene:

Ved århundreskiftet var planteplanktonet i Vansjø i juni dominert av kiselalgen *Melosira granulata*, blågrønnalgen *Gomphosphaeria lacustris* var. *compacta* Lemm, og en rekke grønnalgearter. Det er ikke kjent hvor i innsjøen disse håvtrekkene er tatt, men sannsynligvis er de fra Storefjorden. Data fra sensommeren 1927 viser at fordelingen av arter mellom de viktigste taksonomiske klassene stort sett var den samme som på sensommeren i 1964: Kiselalgene dominerte i begge disse tidsperiodene. De kiselalgartene som dominerte i 1927 var *Melosira distans* og *M. islandica* var. *helvetica*, samt *Tabellaria fenestrata*, mens de artene som dominerte i 1964 var *Melosira ambigua*, *M. italica*, *Asterionella formosa* og *Cyclotella kützing*. De fleste av de sistnevnte artene er kjent som mer eutrofe enn dem som dominerte rundt århundreskiftet, samt i 1927.

I 1964 var det betydelig mer planktonalger i Vanemfjorden enn i Storefjorden, dette gjaldt både algemengde og antall arter. Artssammensetningen var forskjellig mellom de to bassengene med mer grønnalger i Vanemfjorden, selv om det også var mye kiselalger her. Allerede i 1964 var det oppblomstring av blågrønnalgen *Anabaena flos-aquae* i Storefjorden. Denne arten er vanlig forekommende også i ganske oligotrofe innsjøer.

6. Referanser

Appleby, P G. (2001). Chronostratigraphic techniques in recent sediments. In W M Last and J P Smol (eds.) *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Vol. 1: Basin Analysis, Coring, and Chronological Techniques*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 171-203.

Appleby, P G, Nolan, P J, Gifford, D W, Godfrey, M J, Oldfield, F, Anderson, N J & Battarbee, R.W. (1986). ²¹⁰Pb dating by low background gamma counting. *Hydrobiologia*, **141**, 21-27.

Appleby, P.G. & Oldfield, F. (1978) The calculation of ²¹⁰Pb dates assuming a constant rate of supply of unsupported ²¹⁰Pb to the sediment. *Catena*, **5**,1-8.

Augustson, J.H., Hauger, T. & Skogheim, O.K. 1982. En studie av innsjøsedimenter i Vansjø. FFI-rapport 82/3016: 99 s.

Battarbee R.W., Jones V.J., Flower R.J., Cameron N.G., Bennion H., Carvalho L. & Juggins S. (2001) Diatoms. In: Smol J.P, Birks H.J.B. & Last W.M (eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 3: Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 155 -202.

Bennion, H. (2004). *Identification of reference lakes and evaluation of palaeoecological approaches to define reference conditions for UK (England, Wales, Scotland & Northern Ireland) ecotypes*. Final Report to the Scotland and Northern Ireland Forum for Environmental Research, Project WFD08: 149 pp.

- Braarud, T., Føyn, B. & Gran, H.H. 1928. Biologische Untersuchungen in einigen Seen des östlichen Norwegens August-September 1927. Avhandlingar utgitt av Det Norske Vitenskaps-Akademi i Oslo, I. Matem. Naturvid. Klasse no. 2.
- Cardoso, A.C., A. Solimini, G. Premazzi, L. Carvalho, A. Lyche Solheim & S. Rekolainen *in press*. Application of the Morphoedaphic index to setting phosphorous reference concentrations in european lakes. Hydrobiologia (Proceedings from the Shallow Lakes Conference, Netherlands June 2005)
- Carvalho, L. 2005. Reference conditions for chlorophyll in European lakes. In Lyche Solheim, A. (ed.): Reference conditions of European Lakes. REBECCA Deliverable no. 7. NIVA-report *in press*.
- Erlandsen, A. 1978. Vansjø, en diatomé-analyse fra Storefjorden, Rapport til Samarbeidsutvalget for Vansjø-Hobøl-vassdraget.
- Holtan, H. 1966. Vansjø – En limnologisk undersøkelse i 1964. NIVA-rapport O-5/64: 161 s.
- JEFFREY, S. W., MANTOURA, R. F. C. & WRIGHT, S. W. (1997) *Phytoplankton pigments in oceanography: guidelines to modern methods* (UNESCO Publishing).
- Juggins, S. (2003). *C² User guide*. Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualisation. University of Newcastle, Newcastle upon Tyne, UK, 69 pp.
- Krammer, K. & Lange-Bertalot, H. (1986-1991) Bacillariophyceae. 1-4 Teil. *Süßwasserflora von Mitteleuropa* (eds H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer). Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Lyche-Solheim, A., Vagstad, N., Kraft, P., Løvstad, Ø., Skoglund, S., Turtumøygard, S. & Selvik, J.R. 2001. Tiltaksanalyse for Morsa (Vansjø-Hobøl-vassdraget). Sluttrapport. NIVA-report 4377: 104 pp.
- Staalnacke, P., Lyche-Solheim, A. & Bechmann, M. 2005. Utvikling av vannkvaliteten i Vansjø og Hobølelva. En foreløpig analyse av tidsserier. NIVA rapport
- Strøm, K.M. 1921. The phytoplankton of some Norwegian lakes. Videnskapsselskapets Skrifter, I. Matem. Naturvid. Klasse, no. 4.
- ter Braak, C. J. F. & van Dam, H. (1989). Inferring pH from diatoms: a comparison of old and new calibration methods. *Hydrobiologia*, **178**, 209-223.
- Vighi, M. & Chiaudani, G. 1985. A simple method to estimate lake phosphorus concentrations resulting from natural loadings. *Water Research*, 19: 987-991.
- WRIGHT, S. W., JEFFREY, S. W., MANTOURA, R. F. C. et al. (1991) Improved HPLC method for the analysis of chlorophylls and carotenoids from marine phytoplankton, *Marine ecology progress series. Oldendorf [MAR.ECOL.PROG.SER.]*, 77, 183-196.

Vedegg 1: Radiometriske dateringsresultater

VAN1A: Pb-210

9 Pb-210 Data Points

Depth	Dry Mass	Pb-210		Units=BQ		Std Errors		Cum
		Total	Conc	Cum Unsupp	Pb-210	Conc	Uns	
cm	g/cm ²	Bq/Kg	Bq/Kg	Bq/m ²	Tot	Uns	Uns	
0.5	0.0884	266.99	163.78	146.2	23.68	24.3	16.9	
1.5	0.2974	238.65	148.49	472.3	13.33	13.67	44.1	
3.5	0.8603	146.48	60.56	1024.1	13.72	14.08	83.4	
5.5	1.5926	220.77	131.7	1694.7	12	12.3	130.3	
7.5	2.3301	132.36	52.94	2332.1	9.96	10.22	160.3	
10.5	3.5716	143.33	57	3014.2	12.36	12.73	204.7	
12.5	4.4823	173.67	93.03	3684	11.43	11.72	241.8	
13.5	4.95	152.65	66.64	4054	10.54	10.82	251.2	
14.5	5.4021	151.04	58.19	4335.7	6.55	6.76	255.7	
15	5.6302			4468.4				

9 Ra-226 Data Points (Equilibrium >15.0cm)

Depth	Dry Mass	Ra-226 Conc	Std Errors
cm	g/cm ²	Bq/Kg	
0.5	0.0884	103.21	5.46
1.5	0.2974	90.16	3.01
3.5	0.8603	85.92	3.17
5.5	1.5926	89.07	2.68
7.5	2.3301	79.42	2.31
10.5	3.5716	86.33	3.06
12.5	4.4823	80.64	2.61
13.5	4.95	86.01	2.46
14.5	5.4021	92.85	1.68

VAN1A: Cs-137, Cs-134 and Am-241

Depth	Cs-137 Conc			Cs-134 Conc		Am-241 Conc	
	Bq/kg	+/-		Bq/kg	+/-	Bq/kg	+/-
0.5	55.56	4.04		0	0	0	0
1.5	53.11	2.25		0	0	0	0
3.5	37.11	2.18		0	0	0	0
5.5	49.46	1.98		0	0	0	0
7.5	46.39	1.73		0	0	0	0
10.5	84.14	2.69		0	0	1.7	1.09
12.5	202.35	3.5		0	0	0	0
13.5	315.58	3.92		4.46	1.75	0	0
14.5	188.44	2		0	0	0	0

VAN2B: Pb-210

13 Pb-210 Data Points				Units=BQ			
Depth	Dry Mass	Pb-210	Conc	Cum Unsupp	Std Errors		
cm	g/cm ²	Total	Unsupp	Pb-210	Conc	Uns	Cum
		Bq/Kg	Bq/Kg	Bq/m ²	Tot		Uns
0.5	0.0415	238.69	154.39	64	19.22	19.73	6.6
1.5	0.1333	248.01	167.48	211.6	16.02	16.48	17.7
3.5	0.4245	269.6	183.55	722.4	15.6	15.95	49.4
5.5	0.8521	250.67	166.52	1470.2	14.71	15.05	87.3
7.5	1.3539	216.38	135.34	2224.9	14.02	14.36	119.2
9.5	1.89	239.21	151.39	2992.7	13.28	13.62	145.9
11.5	2.452	223.53	140.15	3811.5	13.22	13.53	169.3
13.5	3.0531	205.18	124.36	4605.5	12.08	12.4	190.7
15.5	3.6733	214.27	125.95	5381.7	9.04	9.3	207.5
16.5	3.9905	196.41	109.23	5754.1	13.02	13.4	211.9
17.5	4.3077	183.57	101.53	6088.2	13.08	13.45	216.8
18.5	4.644	169.47	85.32	6401.6	11.62	11.97	221.7
19.5	4.9803	191.84	104.56	6719.8	7.29	7.49	225.3
20	5.1407			6886.4			

13 Ra-226 Data Points (Equilibrium > 20.0cm)

Depth	Dry Mass	Ra-226 Conc	Std Errors
cm	g/cm ²	Bq/Kg	
0.5	0.0415	84.3	4.44
1.5	0.1333	80.53	3.87
3.5	0.4245	86.05	3.32
5.5	0.8521	84.15	3.17
7.5	1.3539	81.04	3.09
9.5	1.89	87.82	3.01
11.5	2.452	83.38	2.88
13.5	3.0531	80.82	2.8
15.5	3.6733	88.32	2.19
16.5	3.9905	87.18	3.17
17.5	4.3077	82.04	3.14
18.5	4.644	84.15	2.88
19.5	4.9803	87.28	1.73

VAN2B: Cs-137, Cs-134 and Am-241

Depth	Cs-137	Conc	Cs-134	Conc	Am-241	Conc
cm	Bq/kg	+/-	Bq/kg	+/-	Bq/kg	+/-
0.5	65.08	3.42	0	0	0	0
1.5	59.8	2.96	0	0	0	0
3.5	72.48	2.8	0	0	0	0
5.5	68.15	2.66	0	0	0	0
7.5	74.04	2.68	0	0	0	0
9.5	88.2	2.69	0	0	1.71	1.13
11.5	91.16	2.75	0	0	0	0
13.5	106.53	2.79	0	0	0	0
15.5	122.24	2.11	0	0	0	0
16.5	137.43	3.34	0	0	0	0
17.5	158.46	3.56	6.05	2.56	0	0
18.5	159.44	3.25	0	0	0	0
19.5	245.08	2.36	0	0	0	0

Vedlegg 2: Algepigmenter i Vansjø-sedimenter

Algae* Stability**	Year	1	1	1	2, 5, 8	4	3, 6	3, 7	7	1		
		chl a µg/g	pheoph a µg/g	sum Cl, Ph µg/g	ratio ch/ph	fucox µg/g	allox µg/g	lutein µg/g	zeax µg/g	canthax µg/g	echin µg/g	b,b-c µg/g
		3	1	1	2	1	1	1	1	1	1	
Storefjorden												
VAN 1B 1	2005	33,990	46,595	80,585	1,371	9,870	4,151	0,000	0,000	1,415	0,000	
VAN 1B 2	2003	31,564	48,436	80,000	1,535	5,284	5,806	1,742	2,630	0,000	3,389	
VAN 1B 3	2001	18,818	41,799	60,617	2,221	4,268	5,523	0,746	0,769	1,036	1,778	
VAN 1B 4	2000	10,316	32,655	42,971	3,165	1,533	2,625	0,282	0,000	0,662	0,282	
VAN 1B 5	1997	6,248	17,155	23,403	2,745	0,598	1,921	0,836	0,000	0,549	0,183	
VAN 1B 6	1995	8,561	21,694	30,255	2,534	0,894	2,412	0,362	0,000	0,663	0,111	
VAN 1B 7	1992	7,249	22,778	30,027	3,142	0,713	2,078	0,902	0,000	0,652	0,379	
VAN 1B 8	1990	6,132	21,750	27,882	3,547	0,618	2,211	0,763	0,000	0,645	0,224	
VAN 1B 9	1987	5,649	18,642	24,291	3,300	0,799	1,897	1,823	0,000	0,725	0,181	
VAN 1B 10	1985	5,197	18,971	24,168	3,650	0,558	2,233	1,939	0,000	0,944	0,487	
VAN 1B 11	1982	5,094	21,990	27,084	4,317	0,758	2,154	1,993	0,000	0,926	0,274	
Vanemfjorden												
VAN 2a 1	2005	179,608	109,116	288,723	0,608	10,854	17,238	12,941	15,946	0,000	18,939	32,787
VAN 2a 2	2005	147,092	104,561	251,653	0,711	7,412	12,125	8,932	7,773	0,000	16,933	15,374
VAN 2a 3	2004	187,999	117,141	305,140	0,623	7,809	15,943	12,625	14,197	0,000	20,072	33,932
VAN 2a 4	2003	123,420	106,937	230,358	0,866	6,703	13,875	10,682	11,016	0,000	14,544	24,290
VAN 2a 5	2002	107,719	113,384	221,103	1,053	5,938	11,974	9,179	8,832	0,000	4,334	20,559
VAN 2a 6	2001	59,544	116,809	176,353	1,962	6,988	15,893	8,266	7,669	0,000	unsure	6,775
VAN 2a 7	2000	23,637	75,418	99,055	3,191	3,549	7,427	2,910	1,261	1,699	unsure	0,945
VAN 2a 8	1998	32,969	84,711	117,680	2,569	4,133	9,192	3,484	1,742	2,344	unsure	1,631
VAN 2a 9	1997	20,760	67,668	88,428	3,260	2,809	7,138	1,731	1,237	1,670	unsure	1,007
VAN 2a 10	1996	19,243	68,948	88,190	3,583	1,928	6,617	1,346	0,000	3,074	unsure	0,729
VAN 2a 11	1994	15,425	52,360	67,785	3,394	1,326	4,875	0,926	0,000	1,911	unsure	0,371
VAN 2a 12	1992	18,780	70,507	89,287	3,754	2,816	6,977	1,712	1,281	1,720	unsure	0,934
VAN 2a 13	1991	16,911	75,671	92,582	4,475	1,425	6,852	1,666	1,320	1,771	unsure	0,985

VAN 2a 14	1989	14,651	71,765	86,416	4,898	1,338	6,131	1,507	0,000	2,998	unsure	0,610
VAN 2a 15	1987	14,025	71,637	85,662	5,108	1,290	6,377	1,391	0,000	3,022	unsure	0,608
VAN 2a 16	1985	14,377	70,392	84,770	4,896	1,138	5,902	1,287	0,000	2,730	unsure	0,000
VAN 2a 17	1983	11,062	59,782	70,844	5,404	0,941	4,604	1,920	0,000	2,177	unsure	0,000
VAN 2a 18	1981	15,967	69,877	85,845	4,376	1,099	4,966	2,183	0,000	2,526	unsure	0,000
VAN 2a 19	1979	9,489	50,126	59,615	5,283	0,691	3,414	1,414	0,000	1,655	0,000	0,189
VAN 2a 20	1976	9,750	64,052	73,802	6,570	0,870	3,998	1,401	0,000	2,060	0,000	0,000

***Algae groups**

- 1 All
- 2 Diatoms
- 3 Greens
- 4 Cryptophyta
- 5 Dinophyta
- 6 Euglenophyta
- 7 Cyanophyta
- 8 Chrysoophyta

****Stability**

- 1 svært stabil
- 2 stabil
- 3 lite stabil (lett nedbrytbart)

Vedlegg 3: Kiselalgearter i Vansjø sedimenter

VAN1B (Storefjorden)

Diatcode	Name	Diatcode	Name
AC006A	<i>Achnanthes clevei</i>	NA9999	<i>Navicula</i> sp.
AC001A	<i>Achnanthes lanceolata</i>	NA166A	<i>Navicula submuralis</i>
AC002A	<i>Achnanthes linearis</i>	NA114A	<i>Navicula subrotundata</i>
AC022A	<i>Achnanthes marginulata</i>	NI042A	<i>Nitzschia acicularis</i>
AC013A	<i>Achnanthes minutissima</i>	NI020A	<i>Nitzschia angustata</i>
AC007A	<i>Achnanthes oestrupii</i>	NI015A	<i>Nitzschia dissipata</i>
AC035A	<i>Achnanthes pusilla</i>	NI002A	<i>Nitzschia fonticola</i>
AC136A	<i>Achnanthes subatomoides</i>	NI009A	<i>Nitzschia palea</i>
AC161A	<i>Achnanthes ventralis</i>	NI9999	<i>Nitzschia</i> sp.
AM011A	<i>Amphora libyca</i>	PI022A	<i>Pinnularia subcapitata</i>
AS001A	<i>Asterionella Formosa</i>	PI007A	<i>Pinnularia viridis</i>
AU002A	<i>Aulacoseira ambigua</i>	PI9999	<i>Pinnularia</i> sp.
AU003D	<i>Aulacoseira granulata</i>	SA001A	<i>Stauroneis anceps</i>
AU003B	<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i>	ST014A	<i>Stephanodiscus medius</i>
AU020A	<i>Aulacoseira subarctica</i>	SU073A	<i>Surirella brebissonii</i>
BR001A	<i>Brachysira vitrea</i>	SU001A	<i>Surirella angusta</i>
CA002A	<i>Caloneis bacillum</i>	SY003C	<i>Synedra acus</i> var. <i>angustissima</i>
CO067A	<i>Cocconeis neothumensis</i>	FR060A	<i>Synedra tenera</i> / <i>nana</i>
CC001A	<i>Cyclostephanos dubius</i>	FR009G	<i>Synedra rumpens</i>
CY054A	<i>Cyclotella krammeri</i>	SY001A	<i>Synedra ulna</i>
CY003A	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	TA9996	<i>Tabellaria flocculosa</i> (agg)
CY002A	<i>Cyclotella pseudostelligera</i>		
CY019A	<i>Cyclotella radiosa</i>		
CY004A	<i>Cyclotella stelligera</i>		
CM018A	<i>Cymbella gracilis</i>		
CM031A	<i>Cymbella minutum</i>		
CM009A	<i>Cymbella naviculiformis</i>		
DT021A	<i>Diatoma mesodon</i>		
DT004A	<i>Diatoma tenuis</i>		
EU070A	<i>Eunotia bilunaris</i>		
EU009A	<i>Eunotia exigua</i>		
EU047A	<i>Eunotia incise</i>		
EU020A	<i>Eunotia meisteri</i>		
EU110A	<i>Eunotia minor</i>		
EU9999	<i>Eunotia</i> sp.		
FR002C	<i>Fragilaria construens</i> var. <i>venter</i>		
FR008A	<i>Fragilaria crotonensis</i>		
FR018A	<i>Fragilaria elliptica</i>		
FR064A	<i>Fragilaria exigua</i>		
FR045E	<i>Fragilaria parasitica</i> var. <i>subconstricta</i>		
FR001A	<i>Fragilaria pinnata</i>		
FR056A	<i>Fragilaria pseudoconstruens</i>		
FR007A	<i>Fragilaria vaucheriae</i>		
FU002A	<i>Frustulia rhomboids</i>		
GO004A	<i>Gomphonema gracile</i>		
GO013A	<i>Gomphonema parvulum</i>		
NA038A	<i>Navicula arvensis</i>		
NA007A	<i>Navicula cryptocephala</i>		
NA023A	<i>Navicula gregaria</i>		
NA009A	<i>Navicula lanceolata</i>		
NA152A	<i>Navicula lapidosa</i>		
NA042A	<i>Navicula minima</i>		
NA008A	<i>Navicula rhyncocephala</i>		

VAN2A (Vanemfjorden)

Diatcode	Name	Diatcode	Name
AC006A	<i>Achnanthes clevei</i>	NA142A	<i>Navicula</i> cf. <i>medioconvexa</i>
AC134A	<i>Achnanthes Helvetica</i>	NA042A	<i>Navicula minima</i>
AC001A	<i>Achnanthes lanceolata</i>	NA014A	<i>Navicula pupula</i>
AC002A	<i>Achnanthes linearis</i>	NA003A	<i>Navicula radiosa</i>
AC022A	<i>Achnanthes marginulata</i>	NA008A	<i>Navicula rhyncocephala</i>
AC013A	<i>Achnanthes minutissima</i>	NA005A	<i>Navicula seminulum</i>
AC007A	<i>Achnanthes oestrupii</i>	NA053A	<i>Navicula subcostulata</i>
AC035A	<i>Achnanthes pusilla</i>	NA033A	<i>Navicula subtilissima</i>
AC136A	<i>Achnanthes subatomoides</i>	NA9999	<i>Navicula</i> sp.
AC034A	<i>Achnanthes suchlandtii</i>	NA166A	<i>Navicula submuralis</i>
AC161A	<i>Achnanthes ventralis</i>	NA675A	<i>Navicula tenelloides</i>
AS001A	<i>Asterionella Formosa</i>	NI042A	<i>Nitzschia acicularis</i>
AU002A	<i>Aulacoseira ambigua</i>	NI063A	<i>Nitzschia agnita</i>
AU003D	<i>Aulacoseira granulate</i>	NI011A	<i>Nitzschia commutata</i>
AU020A	<i>Aulacoseira subarctica</i>	NI015A	<i>Nitzschia dissipata</i>
BR001A	<i>Brachysira vitrea</i>	NI017A	<i>Nitzschia gracilis</i>
CC001A	<i>Cyclostephanos dubius</i>	NI009A	<i>Nitzschia palea</i>
CY054A	<i>Cyclotella krammeri</i>	NI024A	<i>Nitzschia sublinearis</i>
CY003A	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	NI9999	<i>Nitzschia</i> sp.
CY002A	<i>Cyclotella pseudostelligera</i>	PI022A	<i>Pinnularia subcapitata</i>
CY019A	<i>Cyclotella radiosa</i>	PI9999	<i>Pinnularia</i> sp.
CY004A	<i>Cyclotella stelligera</i>	SU001A	<i>Surirella angusta</i>
CM015A	<i>Cymbella cesatii</i>	SU016A	<i>Surirella minuta</i>
CM007A	<i>Cymbella cymbiformis</i>	SY003C	<i>Synedra acus</i> var. <i>angustissima</i>
CM018A	<i>Cymbella gracilis</i>	FR060A	<i>Synedra tenera</i> / <i>nana</i>
CM031A	<i>Cymbella minuta</i>	FR009G	<i>Synedra rumpens</i>
CM9999	<i>Cymbella</i> sp.	SY001A	<i>Synedra ulna</i>
DT004A	<i>Diatoma tenuis</i>	TA9996	<i>Tabellaria flocculosa</i> (agg.)
DP009A	<i>Diploneis elliptica</i>		
DP012A	<i>Diploneis marginestriata</i>		
EU070A	<i>Eunotia bilunaris</i>		
EU107A	<i>Eunotia implicate</i>		
EU047A	<i>Eunotia incise</i>		
EU002D	<i>Eunotia pectinalis</i> var. <i>undulata</i>		
EU9999	<i>Eunotia</i> sp.		
FR006A	<i>Fragilaria brevistriata</i>		
FR009B	<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>mesolepta</i>		
FR002D	<i>Fragilaria construens</i> fo. <i>exigua</i>		
FR002B	<i>Fragilaria construens</i> var. <i>binodis</i>		
FR002C	<i>Fragilaria construens</i> var. <i>venter</i>		
FR008A	<i>Fragilaria crotonensis</i>		
FR018A	<i>Fragilaria elliptica</i>		
FR064A	<i>Fragilaria exigua</i>		
FR045E	<i>Fragilaria parasitica</i> var. <i>subconstricta</i>		
FR001A	<i>Fragilaria pinnata</i>		
FR056A	<i>Fragilaria pseudoconstruens</i>		
FR007A	<i>Fragilaria vaucheriae</i>		
FU002A	<i>Frustulia rhomboids</i>		
GO006A	<i>Gomphonema accuminatum</i>		
GO004A	<i>Gomphonema gracile</i>		
GO013A	<i>Gomphonema parvulum</i>		
GY005A	<i>Gyrosigma accuminatum</i>		
NA038A	<i>Navicula arvensis</i>		
NA032A	<i>Navicula cocconeiformis</i>		
NA751A	<i>Navicula cryptotenella</i>		
NA023A	<i>Navicula gregaria</i>		

Vedlegg 4. Cladocerer (vannlopper) i sedimentene.

Tabell 3A: Subfossile rester av vannlopper i sedimentkjerner fra Vansjø. Tabellene gir antall rester observert av ulike kroppsdelar av artene. 2/2 kroppskjold betyr et helt kroppskjold. Mens 1/2 kroppskjold betyr bare den ene halvdel av skallet. P1-6 indikerer ulike benpar. Postabdomen er dyrenes bakre kroppsdel. Som ofte bærer klør. Furca er betegnelse for de tilsvarende bakre utvekster hos *Leptodora*. Basert på alle registrerte kroppsdelar er de gitt et minimum antall exuvier (skall) for hver art. Nederst i tabellene er det oppsummert antall exuvier. Totalt og fordelt på benthiske og pelagiske arter.

VAN1B Storefjorden	2/2	1/2	HS	A1	Pn	PA post-	PAK	E	A2	FU	#
0-1 cm (2005)	Kropp- skjold	kropp- skjold	Hode- skjold	1. antenne	fragment p1-6	post- abdomen	PA- klo	Ephippium	ledd 2. antenne	Furca	exuv
<i>Leptodora kindti</i>					1					6	3
<i>Limnosida frontosa</i>							4		1		2
<i>Daphnia</i> sp.							6	2			3
<i>Bosmina longirostris</i>			68	3		1					70
<i>Bosmina coregoni</i>	25		90	18							99
<i>Bosmina longispina</i>	43		18								43
<i>Bosmina</i> indet	74	6	10	3		13					77
<i>Sida crystallina</i>											
<i>Chydorus sphaericus</i>											
<i>Chydorus piger</i>											
<i>Alonella nana</i>			1								1
<i>Alonella exisa</i>											
<i>Disparalona rostrata</i>	1		1								1
<i>Pleuroxus laevis</i>											
<i>Pleuroxus cf. aduncus</i>						1					1
<i>Alona affinis</i>	1					3					3
<i>Alona quadrangularis</i>	1		5								5
<i>Alona cf. guttata</i>											
<i>Alona rectangula</i>											
<i>Alona</i> sp., liten	2										2
<i>Alonopsis elongata</i>			1			1					1
<i>Acroperus harpae</i>											
<i>Graptoleberis testudinaria</i>											
<i>Leydigia leydigi</i>						3	2				3
<i>Monospilus dispar</i>											
Ubestemte chydoridae											
<i>Ophryoxus gracilis</i>							1				1
planktoniske vannlopper											297
benthiske vannlopper											17
N											314
N uten <i>Bosmina</i>											25
Benthiske vannlopper, %											5.7
planktoniske taxa											6
benthiske taxa											9

VAN1B	2/2	1/2	HS	A1	Pn	PA	PAK	E	A2	FU	#
10-11 cm (1979-1982)	Kropp- skjold	kropp- skjold	Hode- skjold	1. antenne	fragment p1-6	post- abdomen	PA- klo	Ephippium	ledd 2. antenne	Furca	exuv
Leptodora kindti										4	2
Limnosida frontosa				2			14		2		7
Daphnia sp.							5	2			3
Bosmina longirostris			25			1					25
Bosmina coregoni	30		85	14							92
Bosmina longispina	3		1								3
Bosmina indet	61	3	3			3		1		1	63
Sida crystallina											
Chydorus sphaericus	24	1	12								25
Chydorus piger			2								2
Alonella nana	1										1
Alonella exisa											
Disparalona rostrata											
Pleuroxus laevis											
Pleuroxus cf. Aduncus											
Alona affinis	1		1			2					2
Alona quadrangularis	1		3			3					3
Alona cf. Guttata											
Alona rectangula						1					1
Alona sp., liten	2										2
Alonopsis elongata											
Acroperus harpae	2					1					2
Graptoleberis testudinaria											
Leydigia leydigi											
Monospilus dispar											
Ubestemte chydoridae											
Ophryoxus gracilis											
planktoniske vannlopper											195
benthiske vannlopper											38
N											233
N uten Bosmina											50
Benthiske vannlopper, %											19.5
planktoniske taxa											6
benthiske taxa											8

VAN2A	2/2	1/2	HS	A1	Pn	PA	PAK	E	A2	FU	#
0-1 cm 2003-2005	Kropp- skjold	kropp- skjold	Hode- skjold	1. antenne	fragment p1-6	post- abdomen	PA- klo	Ephippium	ledd 2. antenne	Furca	exuv
Leptodora kindti					1						1
Limnosida frontosa							20		3		10
Daphnia sp.								1			1
Bosmina longirostris	12		23	3							25
Bosmina coregoni	11	5	37	11							43
Bosmina longispina		1									1
Bosmina indet	3	2									4
Sida crystallina											
Chydorus sphaericus	22	1	12								23
Chydorus piger											
Alonella nana	1	1	2								2
Alonella exisa			1								1
Disparalona rostrata	1		1								1
Pleuroxus laevis											
Pleuroxus cf. aduncus											
Alona affinis						1					
Alona quadrangularis											
Alona cf. guttata											
Alonopsis elongata											
Acroperus harpae											
Graptoleberis testudinaria											
Leydigia leydigi											
Monospilus dispar											
Ubestemte chydoridae	1					1					1
Ophryoxus gracilis											
planktoniske vannlopper											85
benthiske vannlopper											28
N											113
N uten Bosmina											40
Benthiske vannlopper, %											32.9
planktoniske taxa											6
benthiske taxa											5

VAN2A 19-20 cm 1976 og eldre	2/2	1/2	HS	A1	Pn	PA	PAK	E	A2	FU	# exuv
	Kropp- skjold	kropp- skjold	Hode- skjold	1. antenne	fragment p1-6	post- abdomen	PA- klo	Ephippium	ledd 2. antenne	Furca	
Leptodora kindti					4					6	3
Limnosida frontosa							20		4		10
Daphnia sp.											
Bosmina longirostris	15	10	21	9							26
Bosmina coregoni	6	8	71	61							103
Bosmina longispina	3	2									4
Bosmina indet	20	4	2	2							22
Sida crystallina							5				3
Chydorus sphaericus	3	2	1								3
Chydorus piger			2								2
Alonella nana	1	1	1								2
Alonella exisa		1									1
Disparalona rostrata											
Pleuroxus laevis	5										5
Pleuroxus cf. Aduncus											
Alona affinis	2	1	2			7	1				7
Alona quadrangularis			1			2					2
Alona cf. Guttata			3								3
Alonopsis elongata			3								3
Acroperus harpae											
Graptoleberis testudinaria		2	1								1
Leydigia leydigi			1								1
Monospilus dispar			1								1
Ubestemte chydoridae	2		1								1
Ophryoxus gracilis											
planktoniske vannlopper											168
benthiske vannlopper											35
N											203
N uten Bosmina											48
Benthiske vannlopper, %											20.8
planktoniske taxa											5
benthiske taxa											13