

Utredninger Vansjø 2006

Undersøkelse av naturtilstanden og eutrofiutviklingen



Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Thormøhlensgt. 53D
5006 Bergen
Telefon (47) 2218 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

NIVA Midt-Norge

Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Utredninger Vansjø 2006 – Undersøkelser av naturtilstanden og eutrofieringsutviklingen i Vansjø	Løpenr. (for bestilling) 5460-2009	Dato Desember 2009
	Prosjektnr. Undernr. 26280 3	Sider Pris 48
Forfatter(e) Anders Hobæk, Knut Bjørndalen, Merete Grung, Stein Wisthus Johansen, Thomas Rohrlack, Anne Lyche Solheim, (alle NIVA), Helen Bennion, Amy Burgess, Handong Yang, (alle University College London)	Fagområde Eutrofi ferskvann	Distribusjon Fri
	Geografisk område Østfold	Trykket NIVA

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

<p>Sammendrag</p> <p>Rapporten redegjør for oppfølgende sedimentundersøkelser i Vansjø 2006, med opptak av sedimentkjerner fra Vanemfjorden og Storefjorden. Basert på resultater fra disse kjernene, og på data fra undersøkelser utført i 2005, gis en samlet vurdering av trofikutviklingen i Vansjø, og av innsjøens naturtilstand. Paleoøkologiske resultater indikerer små endringer fra 1800-tallet til midt på 1900-tallet. Deretter har produktiviteten økt, mest markert etter 1995-2000. Analyser av kiselalger viser relativt små endringer, mens analyse av algepigmenter i sedimentene gir et mer nyansert bilde. Resultatene gir ganske usikre anslag for naturtilstand med hensyn på fosforinnhold. For Vanemfjorden synes fosformengden å ha vært minst 14µg/L tilbake til ca. 1850, og for Storefjorden minst 11 µg/L. Avsetninger eldre enn 1850 fra Vanemfjorden indikerer at produktiviteten kan ha vært lavere før dette.</p>

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Naturtilstand Vannforskriften Overgjødning Sedimentkjerner 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Reference conditions Water Framework Directive Eutrophication Sediment cores
--	--



Anders Hobæk
Prosjektleder



Unn Hilde Refseth
Forskningsleder



Bjørn Faafeng
Seniorrådgiver

Utredninger Vansjø 2006

Undersøkelse av naturtilstanden og eutrofiutviklingen

Forord

Delprosjektet om naturtilstanden i Vansjø startet i 2005, men resultatene fra dette året kunne ikke si noe sikkert om naturtilstanden da bunnen av kjernene ikke var eldre enn slutten av 1970-tallet. Det ble derfor tatt opp nye kjerner i 2006 og da kom en tilbake til slutten av 1800-tallet.

Arbeidet som ble utført i 2005 er beskrevet i NIVA-rapport 5145-2006.

Environmental Change Research Centre (ECRC) ved Dept. of Geography ved University College London (UCL) hadde ansvaret for dateringene i 2005, mens dateringene i 2006 ble foretatt hos Institute of Geography, University of Copenhagen. Analyse av kiselager ble både i 2005 og 2006 foretatt ved UCL-ECRC.

Feltarbeidet, bearbeiding av sedimentprøvene, analyse av kjemi og algepigmenter er begge årene utført av NIVA. Analyse av totalfosfor i sediment i 2006 er imidlertid analysert ved Analycen AS.

Prosjektleder i 2006 var Eva Skarbøvik fram til februar 2007 da hun sluttet på NIVA. Knut Bjørndalen overtok som prosjektleder fra og med februar 2007. Ved hans fratredelse overtok Anders Hobæk ansvaret for å ferdigstille prosjektet.

Thomas Rohrlack har hatt hovedansvaret for analyse og vurdering av algepigmenter, mens Anders Hobæk og Stein Wisthus Johansen har skrevet deler av rapporten som omhandler de kjemiske forhold. Anders Hobæk har også hatt hovedansvaret for å sammenligne dataene fra 2005 og 2006 og å skrive en fellesrapport basert på dataene fra begge årene.

Takk til Eirik Fjeld, Hege Hansen og Tom Andersen som har bidratt på ulike måter under arbeidet, og til Helga Gunnarsdottir for samarbeid og konstruktive innspill til rapporten.

Oslo/Bergen, oktober 2009

Anders Hobæk

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Innledning	7
2. Materiale og metoder	8
2.1 Prøvetaking og splitting av kjerner	8
2.2 Datering	8
2.3 Fysisk/kjemisk analyse av sedimenter	8
2.4 Algepigmenter	8
2.5 Kiselalger	9
3. Resultater	10
3.1 Fysisk/kjemiske forhold	10
3.2 Datering	11
3.2.1 Vanemfjorden	11
3.3 Sedimentasjonsrater	12
3.4 Kjemiske parametre	13
3.5 Algepigmenter	15
3.6 Kiselalger	17
4. Sammenstilling av data fra 2005-2006	19
5. Diskusjon	24
5.1 Klorofyll i forhold til organisk materiale	24
5.2 Andre algepigmenter	24
5.3 Fosformengder i sediment	26
5.4 Referansetilstand basert på MEI-modellen	26
5.5 Naturtilstand for fosfor i Vansjø	27
6. Konklusjoner	29
7. Henvisninger	31
Vedlegg A. Dateringsrapporter 2006	32
Vedlegg B. Fysiske og kjemiske sedimentdata	42
Vedlegg C. Analysedata algepigmenter	44
Vedlegg D. Oversikt over kiselalger (2005 og 2006)	46

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 Vansjø to hovedbasseng, 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.

Resultater basert på sedimentkjerner hentet opp i 2005 er rapportert tidligere. Disse kjernene var imidlertid for korte til å rekke tilstrekkelig langt bakover i tid til å fortelle om Vansjø i en mer upåvirket tilstand. Nye og lengre sedimentkjerner ble hentet opp i 2006, og her rapporteres resultatene av disse undersøkelsene. Rapporten søker også å gi en samlet vurdering av utviklingen i Vansjø to hovedbasseng basert på alle tilgjengelige data.

De paleoøkologiske resultatene viser små endringer før midten av 1900-tallet, og forskjellen mellom de to hovedbassengene har vært relativt liten. Fra midt på 1900-tallet indikerer algepigmenter økt produktivitet i begge bassenger. Dette mønsteret er tydeligst i Vanemfjorden etter ca. 1965. En ny og mer markert økning i produktivitet inntraff i begge basseng i perioden 1995-2000. Fra 2000 økte pigmentmengden tydelig i begge basseng, men med langt mer dramatisk utslag i Vanemfjorden enn i Storefjorden.

Sedimentkjernen fra Vanemfjorden rakk lengst tilbake i tid. De nederste 10-12 cm må antas å være eldre enn 1850, og i denne delen var mengden algepigmenter lavere. Dette kan indikere at Vansjø har vært merkbart påvirket av jordbruk allerede midt på 1800-tallet. I så fall er selv de lengste kjernene vi har studert for korte til å karakterisere en upåvirket tilstand pålitelig.

Det viktigste verktøy for å rekonstruere historisk fosforinnhold er analyser av kiselalgeskall i daterte sedimenter, basert på kalibreringsdata fra en rekke moderne undersøkelser. For Vansjø indikerer slike analyser ikke dramatiske endringer i mengden næringssalter (fosfor). Bare for Storefjorden synes dette kalibreringssettet å være brukbart, og indikerer ca. 16 µg P per liter rundt 1870. For Vanemfjorden synes kalibreringssettet å passe dårlig, fordi dagens tilstand blir feilestimert. Kiselalgene indikerer ca. 18 µg P per liter før 1850 (trolig før 1800), men vi fester ikke lit til dette estimatet. Det er likevel mulig å se endringer fra eldre sedimenter (med dominans av mindre næringskrevende arter) til i dag (med større innslag av næringskrevende arter).

Stikkprøver av subfossile rester av vannlopper indikerer en markert endring i næringsnett i Vanemfjorden fra 1975 til i dag, mens en tilsvarende endring ikke var merkbar i Storefjorden. Dette kan gjenspeile trofiske endringer som har bidratt til utviklingen i Vanemfjorden, men data er for sparsomme til å konkludere.

Empirisk baserte regresjonsmodeller indikerer at naturtilstand for fosfor i Storefjorden kan ha vært ned mot 11 g P per liter, og i Vanemfjorden 14 µg per liter. Sedimentstudiene tyder på at disse nivåene har vært overskredet gjennom det aller meste av tiden som sedimentene dekker, kanskje med unntak for de eldste avsetningene i Vanemfjorden. I et kaldere klima kan nivået ha vært lavere, men neppe under 10 µg/L.

Summary

Title: Vansjø investigations 2006

Year: 2009

Author: Anders Hobæk, Knut Bjørndalen, Merete Grung, Stein Wisthus Johansen, Thomas Rohrlack, Anne Lyche Solheim, Helen Bennion, Amy Burgess, Handong Yang

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-5195-1

The aim of this project was to provide revised estimates of reference conditions in Lake Vansjø using palaeoecological methods, supplemented by historical data and model calculations. Preliminary assessments in 2001 were based on estimates of background (natural) runoff from the watershed. An additional goal was to utilize data from sediment cores to elucidate the development of eutrophication in two major basins of the lake.

Results from sediment cores collected in 2005 have been reported previously. These cores turned out to be too short to reach sufficiently long back in time, and new and longer cores were collected in 2006. Here we report the results obtained from these new cores, and also attempt to integrate all information available on the development of the lake.

Palaeoecological data indicate slight changes before mid 1900's, and also that the difference between the two basins has been relatively minor. Algal pigments in the sediments indicate increased productivity in both basins from about 1950, most clearly seen in the Vanemsfjorden basin after 1965. A new and more marked productivity increase was evident in both basins in the period 1995-2000. From about 2000, the amount of algal pigments increased in both basins, but the levels were markedly higher in the Vanemsfjorden than in the deeper and larger Storefjorden basin.

The core from the Vanemsfjorden basin reached longest back in time, and its 10-12 cm lower part were assumed to be older than 1850. Relatively low contents of algal pigments in this section of the core indicate that the lake was noticeably influenced by agriculture already from about 1850.

Estimates of previous total phosphorus (TP) levels based on diatom stratigraphy of the sediments and transfer functions suggest only small changes over time. An estimate for the Storefjorden basin suggests about 16 µg/L around 1870. For the shallow Vanemsfjorden basin the diatom transfer function suggests 18 µg TP per liter in 1850 or earlier, a result we consider unreliable, possibly due to few lakes of this type in the training data set applied for the transfer function. Nonetheless, older deposits show a higher incidence of diatom species with a lower nutrient demand than those present today.

Subfossil remains of cladocerans indicate a drastic change in the food web of the Vanemsfjorden basin between 1975 and present. A similar change could not be detected in the larger Storefjorden basin. This change is assumed to reflect trophic changes that could contribute to the more dramatic development seen in the Vanemsfjorden basin, however, these data are too sparse to draw a confident conclusion.

Regression models based on empirical data indicate that the background TP content in the Storefjorden basin might have been as low as 11 µg/L. A similar estimate for the Vanemsfjorden basin is 14 µg/L. The palaeoecological studies suggest that these levels have been exceeded from at least about 1850. Under colder climatic conditions (like the Little Ice Age) the TP levels may have been slightly lower, although probably not less than 10 µg TP per liter.

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 et naturlig bakgrunnsnivå for næringsstoffer i innsjøen. Slik kunnskap er viktig både for å fastsette realistiske miljømål og for å vurdere tålegrenser og avlastningsbehov. Det er også viktig i forhold til EUs rammedirektiv for vann, der avvik fra naturtilstanden blir avgjørende for å vurdere tilstand. 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.

Prøvetakingen i 2005 ga forholdsvis korte sedimentkjerner, fordi prøvetakeren var for lett til å trenge ned i de kompakte leireavsetningene. Høyere akkumulasjonsrate enn forventet bidro også til at de eldste sedimentene vi fikk opp var nokså unge (slutten av 70-tallet/begynnelsen av 80-tallet). Resultatene av analysene fra 2005 kunne dermed ikke si noe sikkert om naturtilstanden i innsjøen. Derimot viste resultatene store endringer gjennom perioden, spesielt i Vanemfjorden.

I 2006 ble det hentet opp nye sedimentkjerner fra Vansjøs to hovedbassenger. Denne gangen ble det benyttet en tyngre sedimenthenter som fikk opp lengre kjerner. Disse kjernene rekker tilbake til 1800-tallet, og gjorde det mulig å vurdere tilstand lengre tilbake i tid.

Resultatene fra 2005-kjernene er rapportert tidligere (Lyche Solheim m. fl. 2006). Her rapporteres nye resultater fra 2006. I tillegg har vi forsøkt å integrere resultatene fra de to prøve-seriene, og revurdert det samlede grunnlaget for å anslå naturtilstanden i Vansjøs to hovedbasseng.

2. Materiale og metoder

2.1 Prøvetaking og splitting av kjerner

Sedimentkjerner ble hentet opp med en tyngre prøvetaker ("Gravity corer") enn i 2005. I tillegg til at selve prøvetakeren er tyngre, ble det også benyttet et lodd for å banke prøvetakeren dypere ned i sedimentene. I mars 2006 (på isen) tok vi opp én kjerne fra dypeste punkt i Vanemfjorden, ca 17 m. Kjernen var 56 cm lang, og ble splittet i 1 cm sjikt gjennom hele kjernen. I august 2006 tok vi opp én 62 cm lang kjerne fra Storefjordens dypeste basseng (ca. 40 m). Denne ble splittet i 1 cm sjikt gjennom de øverste 30 cm, og nedenfor dette i 2 cm sjikt.

Siden det bare ble tatt en kjerne fra hvert basseng, måtte materialet i hvert sjikt fordeles til flere typer analyser. Ikke alle sjiktene i hver kjerne kunne analyseres på samtlige parametere.

Alle sjikt ble analysert mhp. våtvekt, tørrvekt og gløderest. 7 sjikt i hver kjerne ble analysert for C, N og P (ca. hver 10 cm). Nest nederste sjikt i hver kjerne (54-55 cm i Vanemfjorden og 58-60 cm i Storefjorden) ble analysert for kiselalger, som supplement til analyser av yngre lag fra 2005-kjernene. Algepigmenter ble analysert for hver 2. cm i Vanemfjorden og for hver 2. cm (0-30 cm) og 4. cm (30-62 cm) i Storefjorden. Datering ble utført på 18 sjikt fra Storefjorden og 20 sjikt fra Vanemfjorden.

Delprøvene for analyse av algepigmenter ble frysetørket før analyse, mens de øvrige prøvene ble oppbevart i kjølerom fram til analyse.

2.2 Datering

Prøver for datering av de to sedimentkjernene ble sendt til Gamma Dating Center ved Institute of Geography, University of Copenhagen. Dateringene er basert på radionuklidene ^{210}Pb (halveringstid 22.3 år) og ^{137}Cs (halveringstid 30 år). Den første av disse forekommer naturlig, mens den andre er et resultat av kjernefysiske reaksjoner. Begge spres gjennom atmosfæren. Spredning av den sistnevnte isotopen knyttes til prøvesprengninger med avsetningstopp i 1963, og til Tsjernobyl-ulykken i 1986. Alder og sedimentasjonsrater ble rekonstruert med CRS-modellen (Appleby 2001). Målemetodikken og beregningsmodellene er de samme som ble benyttet for 2005-kjernene (se også Vedlegg 1).

2.3 Fysisk/kjemisk analyse av sedimenter

7 sjikt i hver kjerne ble analysert for C, N og P (ca. hver 10 cm). De fleste analyser ble gjort på NIVAs laboratorium. For hvert sjikt av sedimentkjernene registrerte vi våtvekt, tørrvekt (etter tørking til konstant vekt ved 105 °C) og gløderest (gløding til 550 °C) etter standard metoder (NS 4764). Innhold av nitrogen og karbon ble også målt (NIVA metode G 6 med Carlo Erba Elementanalysator 1106). I etterkant ble det bestemt også å analysere på fosforinnhold. Dette ble utført av AnalyCen AS (metode NS-EN ISO 11885 m, dvs. ICP-AES på HNO_3 -oppsluttet sediment).

2.4 Algepigmenter

Etter frysetørking ble pigmentene 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 høytrykksvæskekromatografi (HPLC) koblet til en synlig lys detektor (diode-array detektor). Analysebetingelsene er beskrevet av Wright m.fl. (1991) og Jeffrey m.fl. (1997), og består i korthet av følgende betingelser: Injeksjonsvolumet av ekstraktet var 100 μl 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.

Metodikken er den samme som ble benyttet på 2005-kjernene.

2.5 Kiselalger

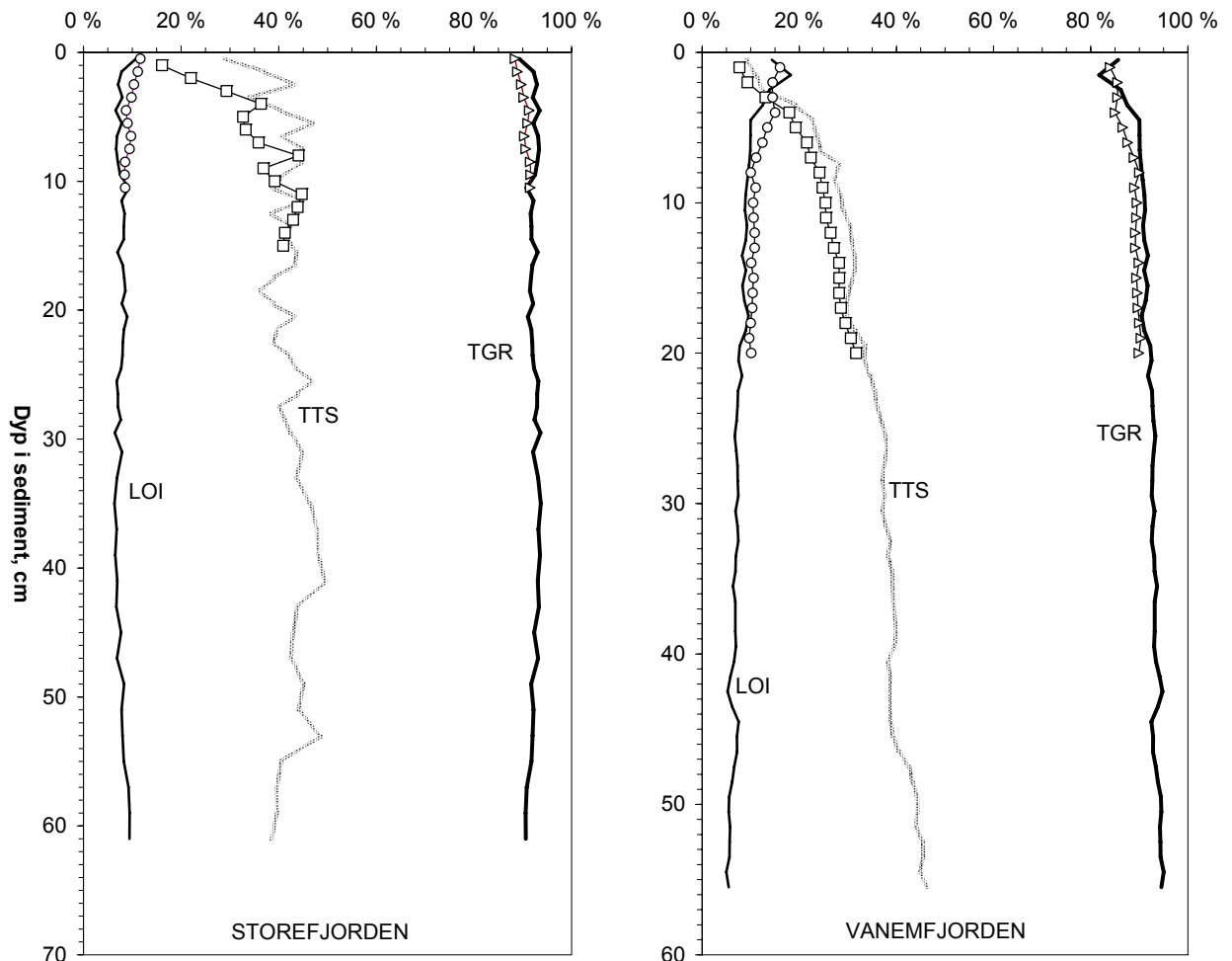
Prøver til analyse av kiselalger ble sendt til ECRC, University College London. Bearbeiding og analyse ble gjort ut fra metodikken beskrevet av Battarbee *et al.* (2001) som for 2005-kjernene. Minst 300 kisel skall ble telt fra hver prøve i et Leitz mikroskop med 100x olje-immersjons-objektiv og fasekontrast. Artene ble bestemt vha. diatomefloraen fra Krammer & Lange-Bertalot (1986-1991). Alle kiselalgetaxa som ble identifisert i Vansjø-kjernene i 2005 og 2006 er listet i Vedlegg 3.

I 2006 ble bare ett sjikt fra hver av de to sedimentkjernene analysert, som supplement til 2005-dataene. Hensikten var å komme lengre tilbake i tid. Disse prøvene var nest nederste sjikt i hver kerne (54-55 cm i Vanemfjorden og 58-60 cm i Storefjorden).

3. Resultater

3.1 Fysisk/kjemiske forhold

Generelt sett har sedimentene i Vansjø et lavt innhold av organisk materiale. Dette har sammenheng med betydelig avsetning av leire i innsjøbassengene. I begge bassengene fikk vi redusert tørrstoffinnhold mot toppen av kjernene (**Figur 1**), men mens reduksjonen er ganske jevn i Vanemfjorden er variasjonen mye større i Storefjorden. Glødetap (organisk) og gløderest (uorganisk) er inverse størrelser. I begge innsjøer økte glødetapet mot toppen av kjernene. I sedimentene fra Vanemfjorden lå glødetapet mellom 14 og 18% nær toppen av kjernene, mens i de dypeste lagene lå glødetapet rundt 5,5%. I Storefjorden varierte organisk innhold mellom 6,3 og 9,5 % gjennom dt meste av kjernen, men øverst var nivået litt høyere (rundt 11%). I de dypere sedimentlagene har altså organisk innhold i Vanemfjorden ligget lavere enn i Storefjorden. Her finner vi en svakt økende trend i organisk innhold i perioden 1900 -1960. Deretter har det organiske innholdet økt noe raskere, for å skyte i været fra år 2000, helt opp mot 16%. Dette gjenspeiler trolig nettoeffekten av økt algeproduksjon i Vanemfjorden, og muligens redusert nedbrytning pga. oksygensvinn i bunnvannet etter dette tidspunktet.

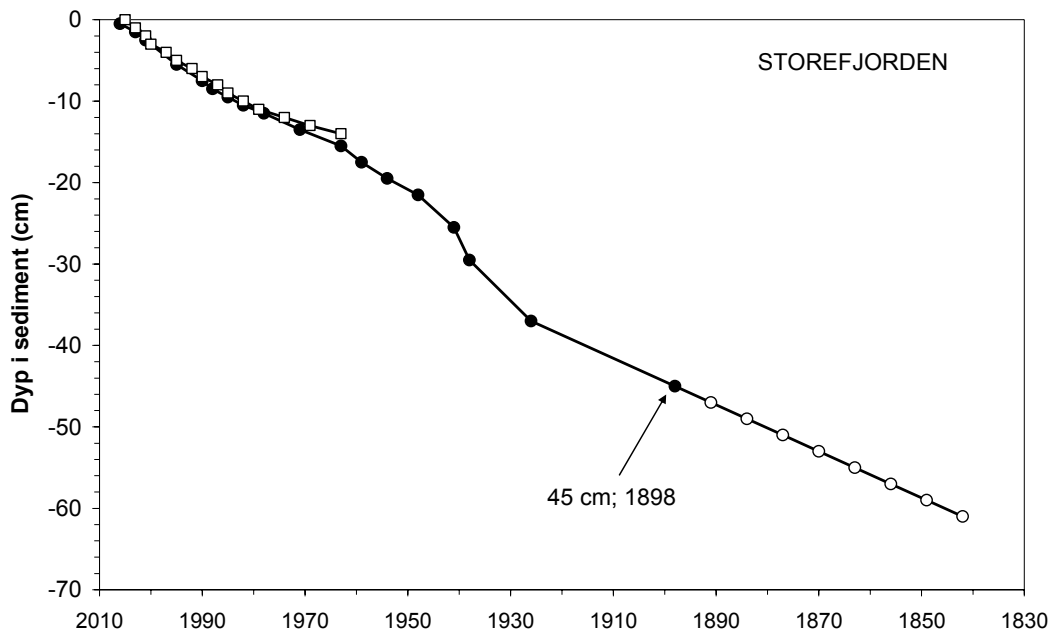


Figur 1. Profiler av tørrstoff (TTS), gløderest (innhold av uorganisk materiale; TGR) og organisk materiale (Loss on ignition, LOI) i sedimentkjerner fra Vansjø. Kjerner fra 2006 er vist som linjer, mens kjerner fra 2005 er vist som åpne punkter. Merk at y-aksene er litt forskjellig for de to panelene.

I Storefjorden viste organisk innhold en lang mer beskjeden, men merkbar, økning i de yngste avsetningene.

3.2 Datering

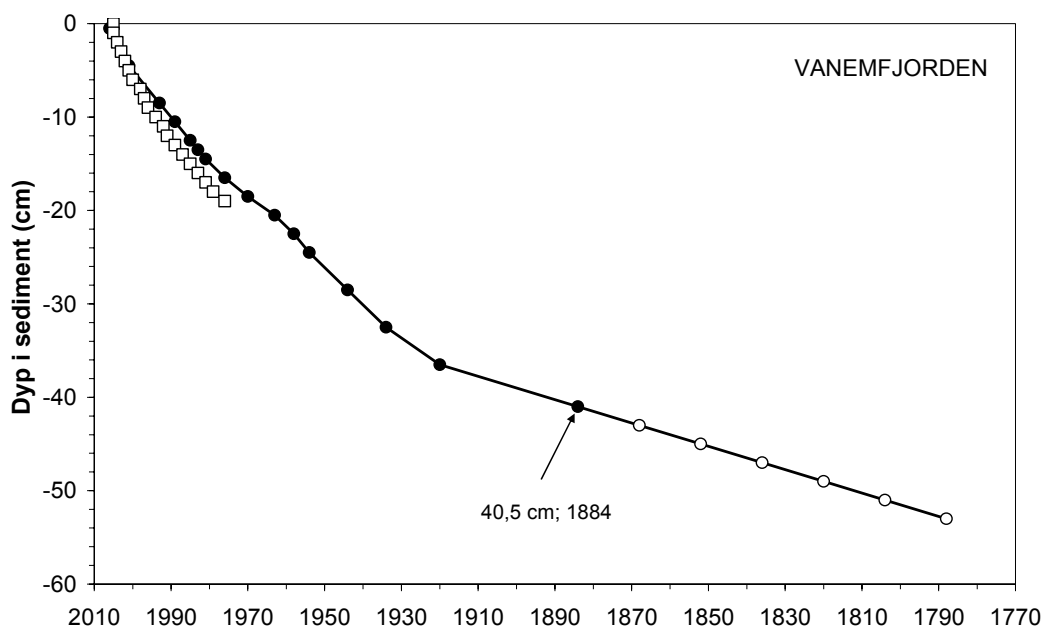
Dateringer for Storefjorden plottet mot dyp i sediment er vist i **Figur 2**. Det eldste daterte snittet fra 2006-kjernen anslås til å være fra 1898. Det var meget godt samsvar med datering på 2005- kjernene. Kjernen fra 2006 var lengre enn den daterte delen. For lagene dypere enn eldste datering er alder anslått ved å ekstrapolere ut fra estimert sedimentasjonsrate. Usikkerheten knyttet til dette er imidlertid stor, spesielt i Storefjorden som har hatt store variasjoner i sedimentasjonsrate (se nedenfor). I vår sammenheng er dette imidlertid ikke av kritisk betydning. Hovedsaken er at vi er sikre på at disse lagene er fra før 1900, og derfor nærmere en referansetilstand.



Figur 2. Datering av sedimentkjerner fra Storefjorden. Den korte kjernen fra 2005 er vist med åpne firkanter, mens den lange 2006-kjernen er vist med fylte sirkler. Det eldste daterte sjiktet for 2006-kjernen er angitt. Åpne sirkler viser alder basert på ekstrapolert sedimentasjonsrate fra eldste daterte sjikt.

3.2.1 Vanemfjorden

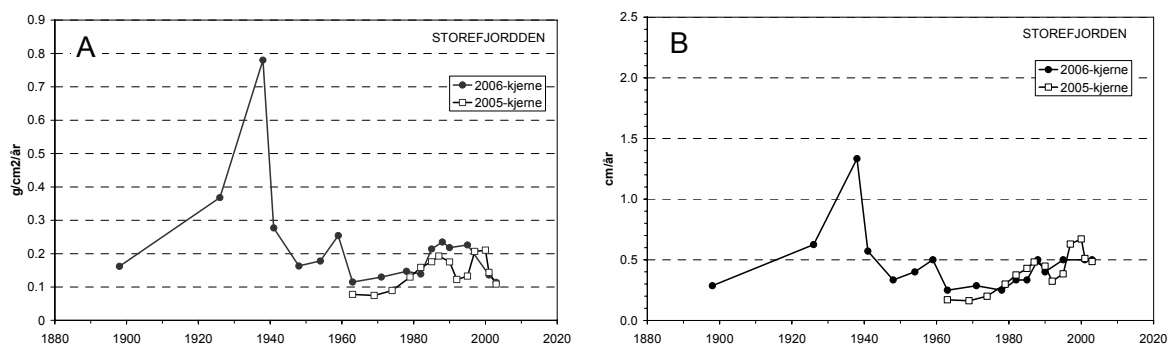
Tilsvarende plott for dateringene i Vanemfjorden er vist i **Figur 3**. Eldste daterte snitt i 2006-kjernen ble estimert til å være fra 1884. Her fikk vi et mindre avvik mellom de to kjernene, men dette ligger innenfor grensene for usikkerhet knyttet til estimatene (jfr. Vedlegg 1). Siden kjernen fra 2006 viste tydelige topper i ^{137}Cs (i motsetning til 2005-kjernen) fester vi større lit til 2006-dateringene. Også kjernen fra Vanemfjorden var lengre enn dateringene rekker, og alderen på dypere lag måtte estimeres ved å ekstrapolere sedimentasjonsraten fra de eldste daterte sjiktene.



Figur 3. Datering av sedimentkjerner fra Vanemfjorden. Den korte kjernen fra 2005 er vist med åpne firkanter, mens den lange 2006-kjernen er vist med fylte sirkler. Det eldste daterte sjiktet for 2006-kjernen er angitt. Åpne sirkler viser alder basert på ekstrapolert sedimentasjonsrate fra eldste daterte sjikt.

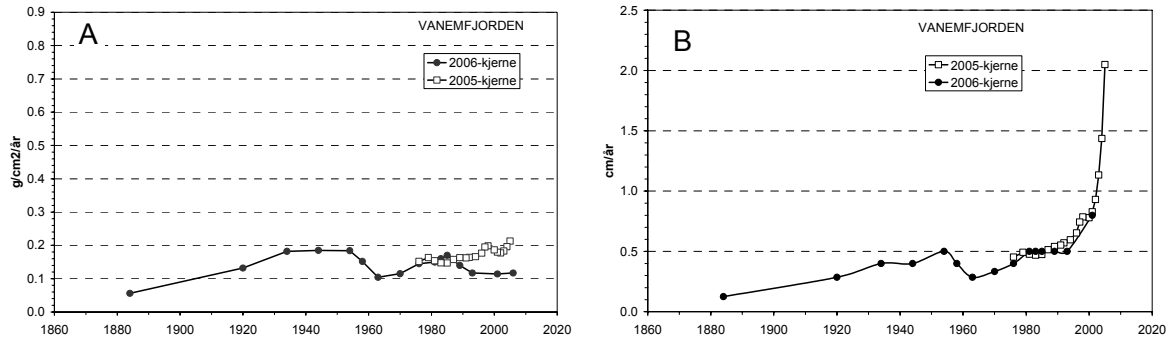
3.3 Sedimentasjonsrater

Det var store fluktasjoner i sedimentasjonsrate i Storefjorden, både i yngre sediment og tilbake til 1930-tallet (**Figur 4**). De to kjernene fra 2005 og 2006 viste godt samsvar for perioden 1960-2005. For denne perioden ser vi en økende trend, men med betydelige fluktasjoner. For perioden 1995-2000 synes høye verdier for sedimentasjon å kunne assosieres med episoder av flom og høy partikkeltransport (stor vannføring i april og mai 1996, samt flom-episodene i 1999 og 2000 [Stålnacke m.fl. 2005]). En økende trend i denne perioden er tydeligere målt som volum enn som vekt, noe som kan indikere at andelen organisk materiale har vært større i senere år. For de tidligere toppene og det høye nivået mellom 1920 og 1940 er bildet motsatt, og disse avsetningene ser ut til være mest uorganisk materiale.



Figur 4. Sedimentasjonsrater i Storefjorden. Bare daterte sedimentsjikt er plottet. **A:** sedimentasjon i gram pr år, og **B:** sedimentasjon i cm pr år. Målinger fra begge kjerner (2005 og 2006) er vist.

Vi kjenner ikke til historiske data som kan forklare de høye sedimentasjonsratene før 1940. Det dypeste området ligger i en fordypning med nokså bratte sider. Det kan tenkes at 'undersjøiske' ras er årsaken til disse svingningene. Jordras langs tilførselselvne kan også tenkes å ha forårsaket høy sedimentasjon. Hovedkonklusjonen er at store fluktuasjoner i sedimentasjonsrate synes å karakterisere Storefjorden generelt, og at en moderat økning i sedimentasjon i nyere tid faller sammen med økende organisk innhold.

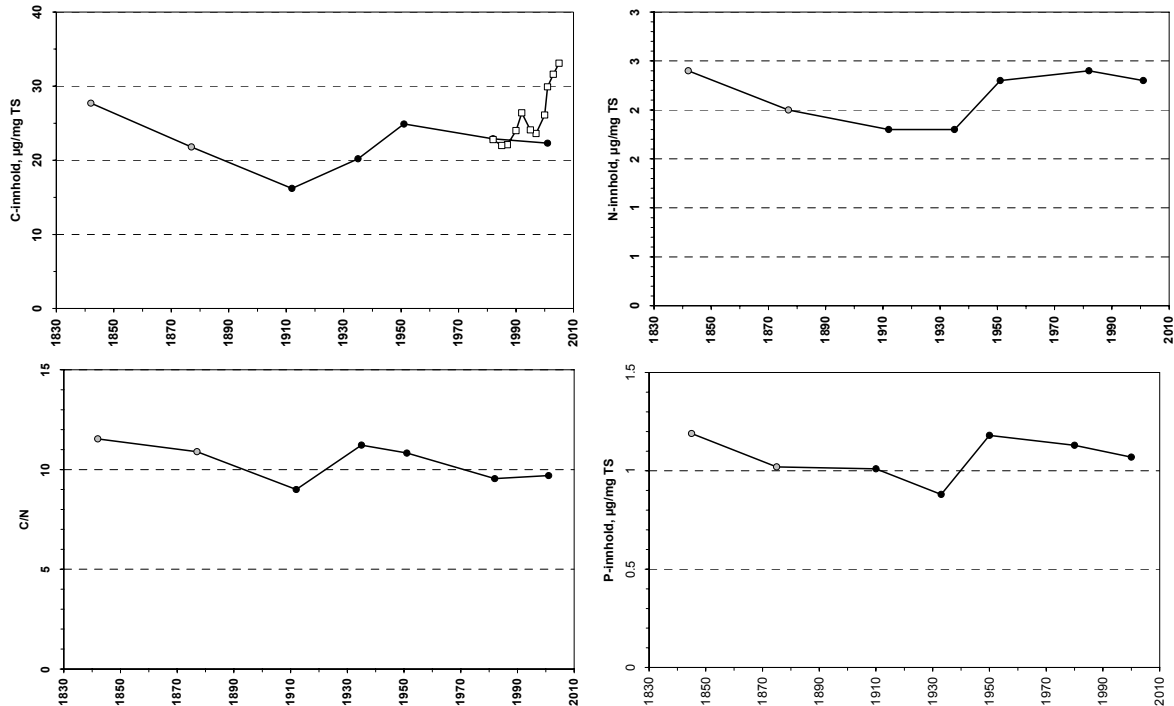


Figur 5. Sedimentasjonsrater i Vanemfjorden. Bare daterte sedimentsjikt er plottet. **A:** sedimentasjon i gram pr år, og **B:** sedimentasjon i cm pr år. Målinger fra begge kjerner (2005 og 2006) er vist.

I Vanemfjorden fant vi langt mindre fluktuasjoner i sedimentasjonsrate målt i vekt (**Figur 5**). Derimot viste sedimentasjon målt som volum en nærmest eksponensiell økning i de siste årene. Denne økningen ser ut til å ha startet etter 1995, og har skutt fart særlig etter 2000. Kontrasten mellom sedimentasjonsrate målt som vekt eller som volum henger sammen med et markert økende innhold av organisk materiale, og pigmentanalysene tyder på at dette materialet er lite nedbrutt (Lyche Solheim m.fl. 2006).

3.4 Kjemiske parametre

Kjemiske målinger på sedimentene fra 2006 omfattet organisk karbon, totalt nitrogen og totalt fosfor. Data fra Storefjorden er vist i **Figur 6**. Profilene fra 2006-kjernen viste ikke dramatiske endringer over tid. Karbon lå generelt lavt (16-28 µg/mg), med den laveste målingen i 2006-kjernen rundt 1910. Kjernen fra 2005 ga høyere oppløsning i den yngste delen, med en klart stigende tendens mot toppen av kjernen. Dette kan i hvertfall delvis forklares med ufullstendig nedbrutt organisk materiale. Både nitrogen og fosfor lå lavest rundt 1930, med et generelt litt høyere nivå 1950-2005. Nitrogenmålinger fra 2005-kjernen er ikke tatt med, da nitrogenverdiene som ble rapportert må ansees som urealistisk lave. Vi har derfor også ekskludert C/N-verdiene fra denne kjernen.

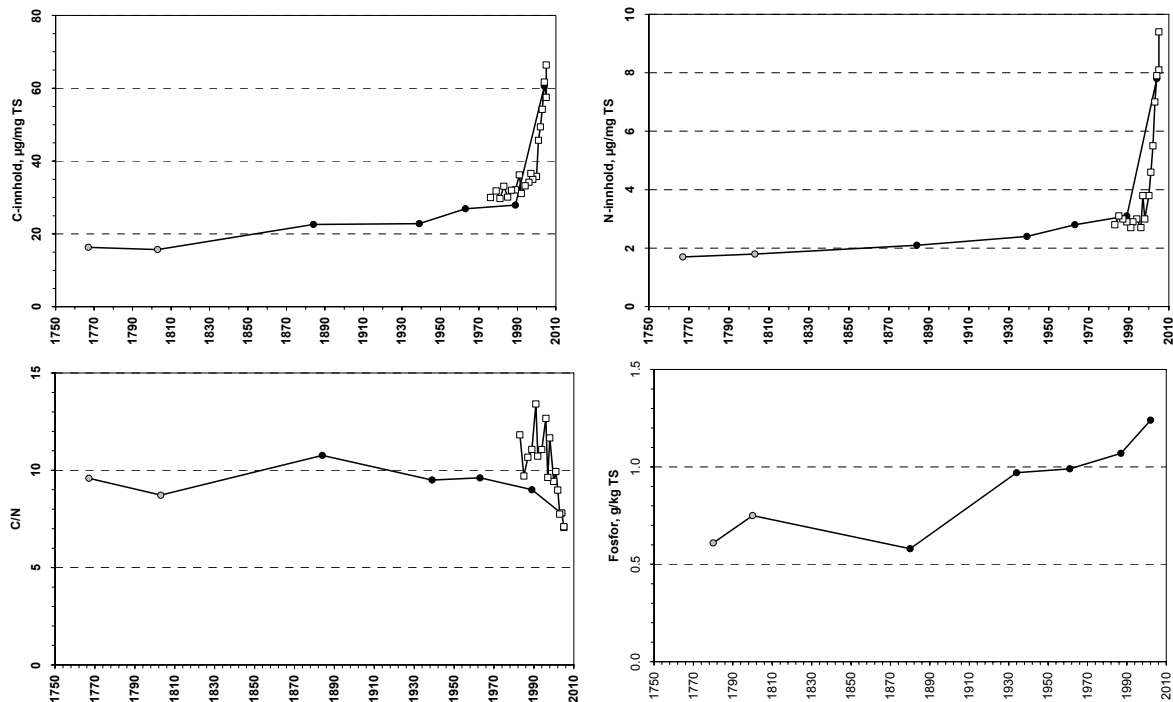


Figur 6. Profiler av karbon, nitrogen, fosfor og C/N forhold i sedimentkjerner fra Storefjorden. Kjerner fra 2006 er vist med fylte sirkler, fra 2005 som åpne firkanter. For sedimenter eldre enn eldste datering er alder estimert ved ekstrapolering av sedimentasjonsrate (vist som grå punkter).

Totalt sett er det bare mindre fluktasjoner å spore for kjemisk innhold i Storefjordens sediment, og bortsett fra økt C-innhold etter år 2000 var det ingen markerte forskjeller mellom eldre og yngre sedimenter.

For Vanemfjorden var resultatene mer entydige (**Figur 7**). Her fant vi det laveste nivået av både C, N og P i de eldste avsetningene. For C og N fikk vi bekreftet en markert økning fra rundt 1995, og også fosfor lå noe høyere i det yngste sedimentet. C/N- forholdet ser ut til å ha ligget forholdsvis konstant mellom 9 og 11 fram til 1990, og viser deretter en markert nedgang. De absolutte N-verdiene fra 2005-kjernen, og dermed også C/N forholdet, må tas med en viss reservasjon (jfr. kommentar ovenfor om tilsvarende verdier fra Storefjorden 2005), men er tatt med på figuren for å vise at trenden var tydelig i den øverste delen av 2005-kjernen.

Profiler av fosfor er tidligere målt i sediment fra dypområdene i begge bassenger (26-28 cm lange profiler; Andersen m.fl. 2006). Fosforinnholdet lå på samme nivå som i våre kjerner, og bekrefter at fosforinnholdet er generelt lavt i Vansjøs sedimenter. Profilene fra 2005 viste avtakende fosforinnhold mot toppen av kjernene i begge basseng. Dette mønsteret ses ikke igjen i 2006-kjernene, men den vertikale oppløsningen var da også langt grovere. Andersen m.fl. (2006) påviste også betydelig horisontal variasjon i fosforinnhold i overflatesedimentet i Vanemfjorden. Det er derfor vanskelig å feste stor lit til absoluttverdien målt i resert sediment i 2006-kjernene. For Vanemfjorden er det likevel slående at målingene fra sediment datert før 1930 lå betydelig lavere enn de yngre målingene. For Storefjorden derimot er det ikke mulig å se noen trend i fosforinnholdet. Storefjordens sediment har i alle målingene hatt et noe høyere fosforinnhold enn Vanemfjordens. Fosformengdene i de eldste avsetningene var lavere i Vanemfjorden (0,6-0,75 µg/mg) enn i Storefjorden (1,0-1,2 µg/mg). Dette er omtrent det samme nivå og innbyrdes forskjell som Andersen m.fl. (2006) fant i resente sedimenter.



Figur 7. Profiler av karbon, nitrogen, fosfor og C/N forhold i sedimentkjerner fra Vanemfjorden. Kjerner fra 2006 er vist med fylte sirkler, fra 2005 som åpne firkanter. For sedimenter eldre enn eldste datering er alder estimert ved ekstrapolering av sedimentasjonsrate (vist som grå punkter).

3.5 Algepigmenter

Analyser av algepigmenter i 2006-kjernene omfattet klorofyll a og dets nedbrytningsprodukt phaeophytin. Summen av disse komponentene gir et estimat av total algebiomasse (i det følgende kalt $\Sigma KlfA$).

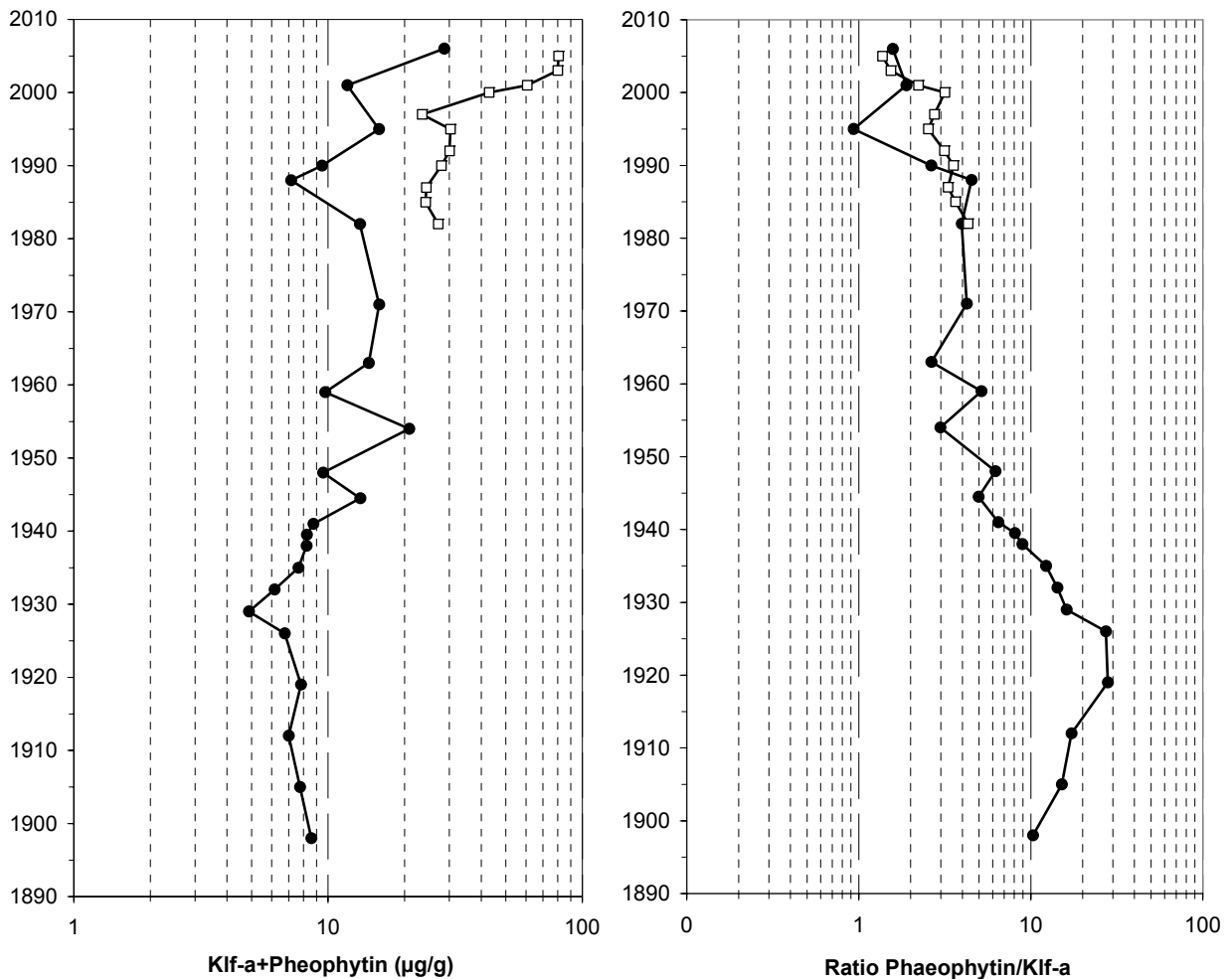
Figur 8 viser målinger fra Storefjorden. For 2006-kjernen går målingene tilbake til eldste daterte sjikt, dvs. 1898. Kurven for klorofyll viser betydelig fluktuasjon også lengre bakover i tid, f. eks. mellom 1930 og 1960. Det er sannsynlig at mye av disse fluktuasjonene snarere skyldes variasjoner i mengden sedimentert uorganisk materiale (se ovenfor). 2006-kjernen viser imidlertid også en økning i det yngste sjiktet i forhold til tidligere. Denne trenden syntes mye tydeligere i kjernen fra 2005, som også er vist på figuren. Nivået på målingene i 2005-kjernen lå systematisk høyere (trolig som følge av ulik tørking), men i denne sammenheng er det de relative forandringene innen hver kjerne som er interessante.

Forholdet mellom phaeophytin og klorofyll a (**Figur 8**) forventes å minke raskt i den yngste delen av kjernen, og deretter langsommere men noenlunde jevnt med alder (klorofyll a brytes ned, mens phaeophytin er stabilt). 2005-kjernen fra Storefjorden viste lavere ratio i de yngste avsetningene som forventet, mens oppløsningen i 2006-kjernen var for grov til å fange opp dette. I 2006-kjernen fra Storefjorden ser vi en noenlunde jevnt økende ratio til før 1930, men i eldre sedimenter ser vi en motsatt trend. Vi har ingen god forklaring på dette mønsteret, annet enn at det faller sammen med uvanlig høye sedimentasjonsrater (se Figur 4). Det ser derfor ut som konservering av algepigmenter i Storefjordens sediment har vært variabel.

I Storefjorden synes algebiomassen å ha fluktuert betydelig. Disse fluktuasjonene må antas å skyldes store variasjoner i sedimentasjonsrate og mengden uorganisk materiale tilført bassenget, og dermed

også i konservering av pigmentene. Grovt sett ser algemengden ut til å ha ligget relativt lavt i perioden 1900-1940. Etter 1940 ser nivået ut til å ha økt noe, og har så fluktuert rundt dette nivået fram til slutten av 1990-tallet. Fra og med år 2000 ser nivået ut til å ha steget igjen.

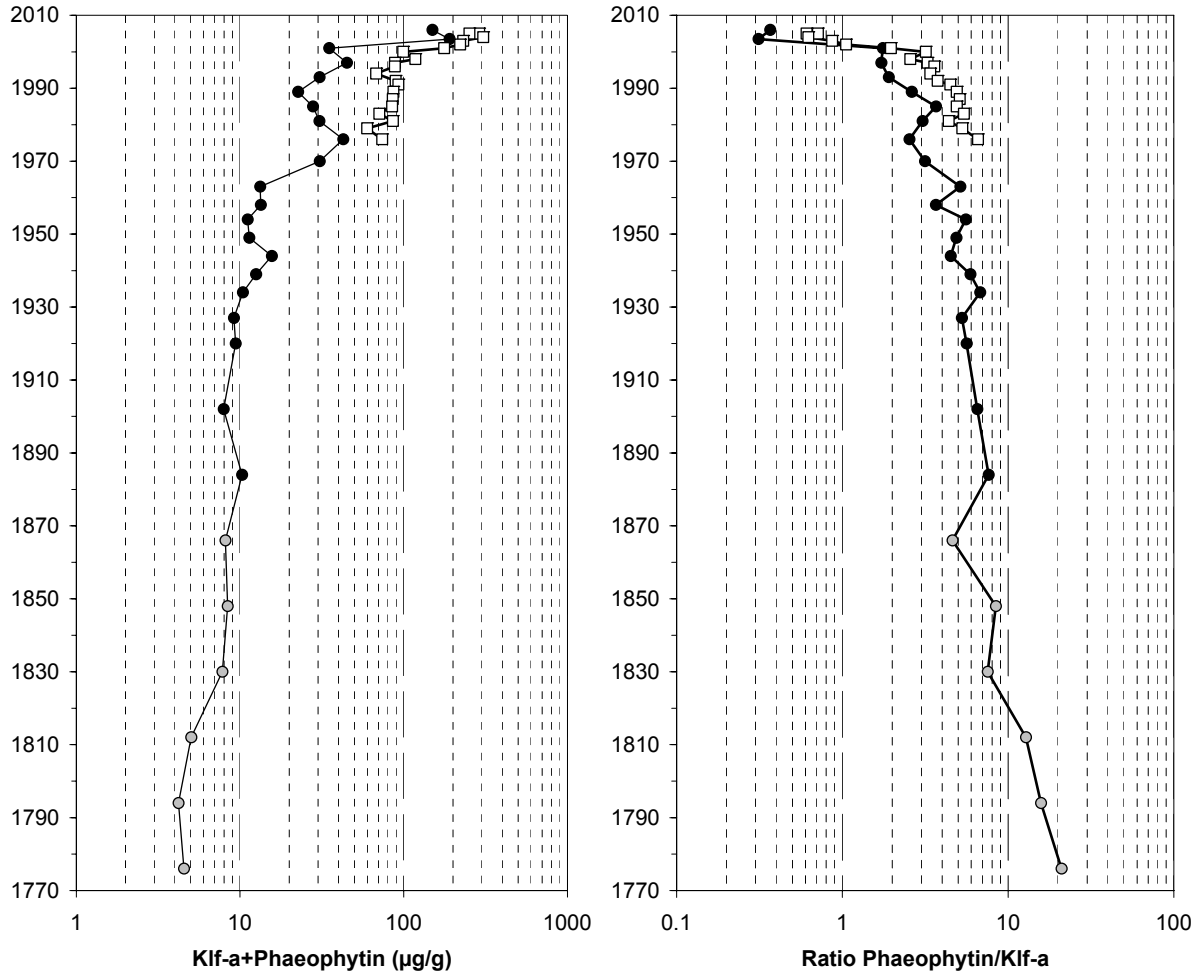
Det er vanskelig å tolke kurven i den eldste delen, fordi forholdet mellom klorofyll A og nedbrytningsproduktet phaeophytin endrer seg ganske markert i denne delen av sedimentkjernen, og årsaken til dette er uklar. Hvis konserveringsbetingelsene har vært bedre i denne perioden (lavere ratio Phaeophytin/Klf A kan tyde på dette), kan vi ha et falskt bilde av relativt høyere nivå enn det faktisk har vært. Tolkingsproblemet er åpenbart knyttet til de store svingningene i sedimentasjonsrate, som diskutert ovenfor.



Figur 8. Algepigmenter i sedimentkjerner fra Storefjorden, plottet mot estimert alder av sedimentene. Venstre panel viser variasjon i total algebiomasse (klorofyll a + phaeophytin), mens høyre panel viser forholdet (ratio) mellom phaeophytin og klorofyll a. Fylte sirkler viser kjerner hentet i 2006, mens åpne firkanter viser data fra 2005-kjernen. Merk at x-aksene er logaritmiske.

For Vanemfjorden er bildet klarere. Forholdet Phaeophytin/Klorofyll A viser en jevn økning nedover i i kjernen fra ca år 2000 av, mens de yngre avsetningene viser markert lavere ratio i samsvar med forventning (**Figur 9**). Kjernene fra 2005 og 2006 viser parallell variasjon, selv om det også i dette tilfelle var systematisk forskjell i nivået (trolig pga. ulik tørking). I tre sjikt som trolig er eldre enn

1830 lå algebiomassen svært lavt. Fra ca 1830 til 1930 ser algemengden ut til å ha vært litt høyere og nokså stabil, og etter 1930 igjen på et noe høyere nivå fram til litt etter 1965. Da inntrer en kraftig økning, og en ny voldsom økning kommer ca år 2000.



Figur 9. Algepigmenter i sedimentkjerner fra Vanemfjorden, plottet mot estimert alder av sedimentene. Venstre panel viser variasjon i total algebiomasse (klorofyll a + phaeophytin), mens høyre panel viser forholdet (ratio) mellom phaeophytin og klorofyll a. Fylte sirkler viser kjerne hentet i 2006, mens åpne firkanter viser data fra 2005-kjernen. For sedimenter eldre enn eldste datering er alder estimert ved ekstrapolering av sedimentasjonsrate (vist som grå punkter). Merk at x-aksene er logaritmiske.

3.6 Kiselalger

Fra sedimentkjernene tatt opp i 2006 ble bare ett av eldste sedimentsjikt fra hvert basseng analysert, som supplement til analysene gjort på 2005-kjernene. En oppdatert liste over taxa påvist i alle prøver er vist i Vedlegg 4. De analyserte sjikt var eldre enn ^{210}Pb -dateringene rekker, og alderen måtte estimeres ved å ekstrapolere sedimentasjonsratene. Dette gav en alder på ca 1870 for Storefjorden og ca 1750 for Vanemfjorden. I disse sjiktene ble det påvist flere arter som ikke var funnet i de yngre sjiktene, men det var likevel nokså små forskjeller i artssammensetningen totalt sett. De "nye" artene har imidlertid ikke særlig lave fosforo-optima i datasettet som er brukt til kalibrering, og de gir dermed lite utslag i rekonstruert fosforkonsentrasjon (DI-TP). For Storefjorden ble DI-TP estimert for 1870 ca 16 $\mu\text{g/L}$, dvs. det samme som for 1980-sjiktet analysert i 2005-kjernen. For Vanemfjorden fikk vi et

DI-TP estimat på ca 18 µg/L for 1750-sjiktet. Dette er bare litt lavere enn estimert tidligere for 1978 (21 µg/L).

Erlandsen (1978) analyserte også kiselalger i sediment fra Storefjorden. Disse ble antatt å dekke perioden 1900 - 1977. Før 1965 dominerte *Melosira italica* subsp. *subarctica* (nå *Aulacoseira subarctica*), *Cyclotella compta* (nå *C. radiosa*), *C. stelligera* og *C. cf. krammeri*, som indikerer mesotrofe eller oligo/mesotrofe forhold. Disse artene forekom også i alle våre prøver fra Storefjorden, de fleste med sterkest dominans i sjiktet fra 1870. For perioden etter 1965 fant Erlandsen et avtak i oligotrofe arter som *Melosira distans* var *alpigena* (nå *Aulacoseira alpigena*) og en klar økning av mer meso-eutrofe arter, herunder *Asterionella formosa*, *Synedra cf. radians* og *Cyclotella pseudostelligera*. Fosforoptimum for artene som dominerte før 1965 er over 20 µg/L i referansedatabasen (H. Bennion, pers. medd.) Selv om endringene i dominans er i samsvar med Erlandsens (1978) beskrivelse av situasjonen før 1965, gir disse artene ubetydelig utslag i forhold til estimert fosforkonsentrasjon.

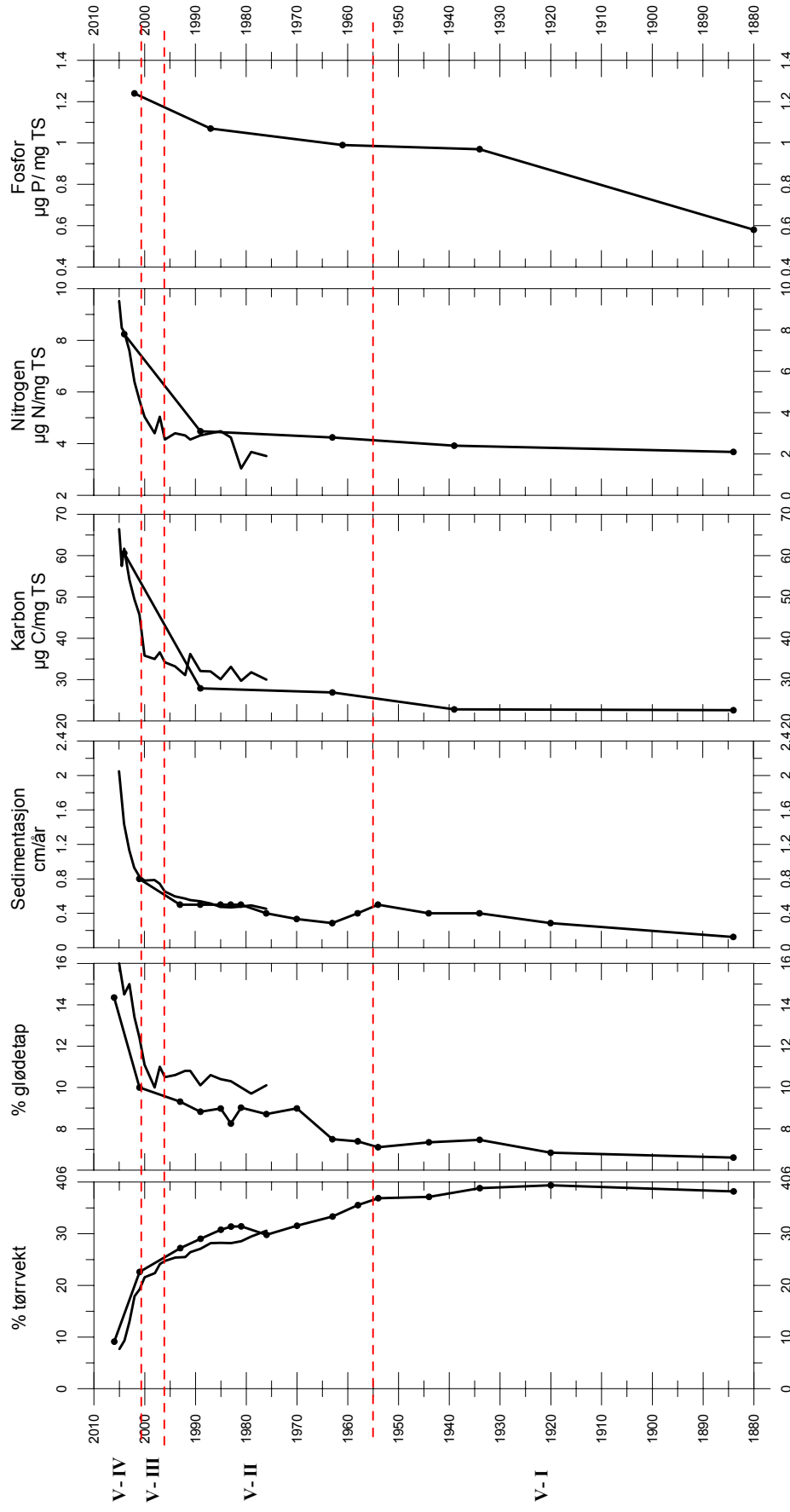
4. Sammenstilling av data fra 2005-2006

Den viktigste informasjonen fra sedimentundersøkelsene 2005-2006 er data sammenstilt i oversiktsfigurer for Vanemfjorden og Storefjorden på de følgende sidene. **Figur 10** og **Figur 11** viser hhv. fysisk/kjemiske og biologiske parametre i Vanemfjorden, mens **Figur 12** og **Figur 13** viser de samme parametre for Storefjorden. Basert på skjønn er det antydnet soner eller perioder i de to bassengenes utvikling. Siden kiselalger bare er analysert i få sjikt, og dessuten viser nokså beskjedne endringer, er variasjon i algepigmenter sammen med fysisk/kjemiske data hovedgrunnlaget for inndelingen i soner. I Vanemfjorden har vi definert fire soner for perioden 1880-2005, mens tre soner synes å være dekkende for Storefjorden i samme tidsrom.

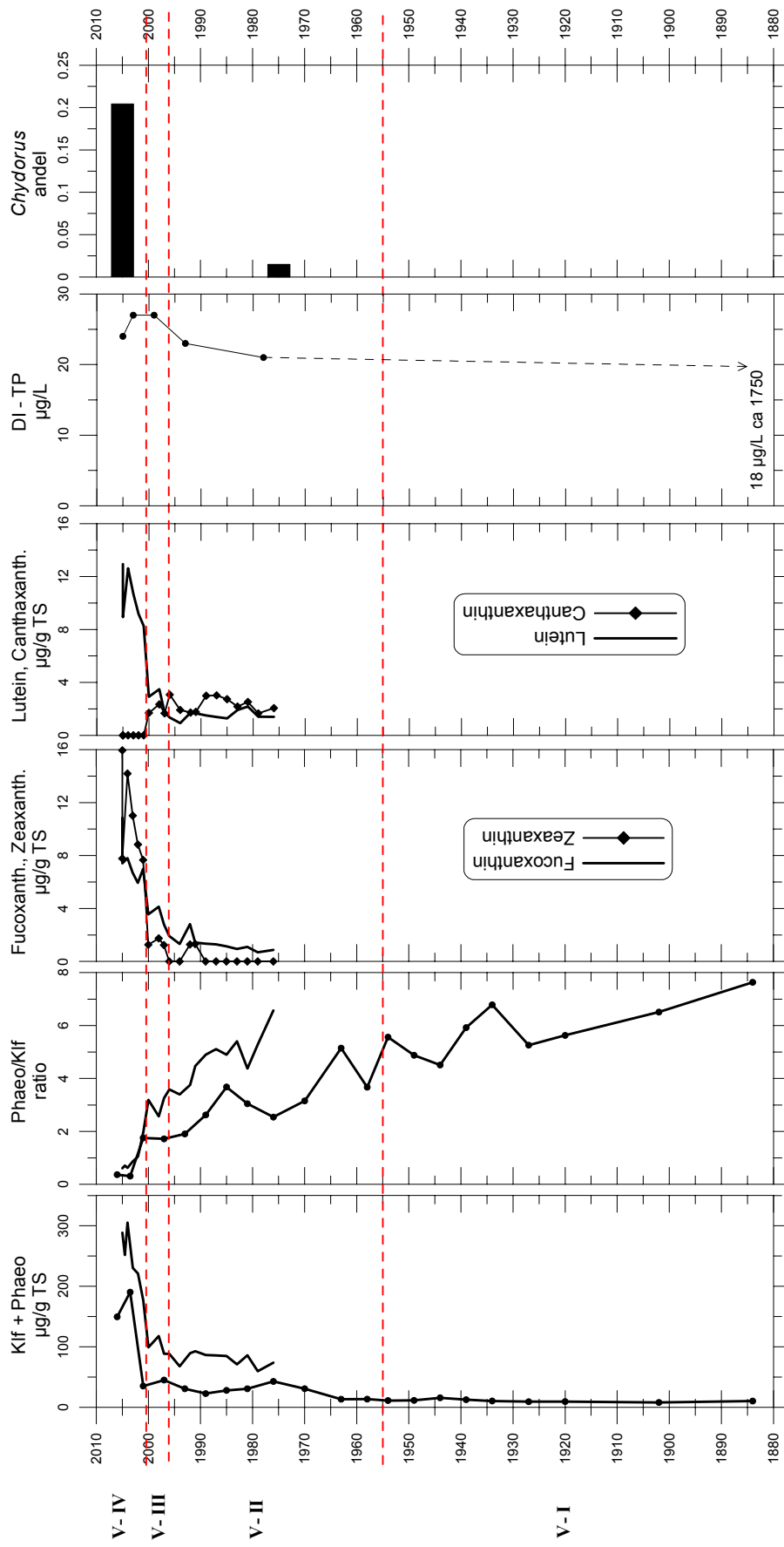
I Vanemfjorden går den første perioden (V-I) fram til ca 1955. Gjennom denne perioden var mengden klorofyll a nesten konstant, mens sedimentasjonsrate og glødetap (organisk innhold) økte svakt. Innholdet av karbon og nitrogen har også vært konstante, så langt dette kan vurderes på målinger i bare to sjikt. Neste periode (V-II) går fra ca 1955 til ca 1997, og starter med en reduksjon i sedimentasjonsrate før 1965. Etter dette øker både sedimentasjonsrate og glødetap tydelig. Karbon og nitrogen ligger på et litt høyere nivå enn i perioden før. Klorofyll A øker fra 1963 til 1976, men ikke etter dette. Andre algepigmenter viser bare mindre fluktuasjoner. DI-TP viser en svak økning (også her basert på bare to punkt). Av vannlopper ble det registrert ”normal” mengde *Chydorus* (1,5%), og andelen av benthiske vannlopper lå på 21%.

Periode V-III (1997-2001) markerer starten på raske endringer. Her får vi en markert økning i sedimentasjonsrate, glødetap og nitrogen. De biologiske parametrene viser en liten økning i Σ klfA, fucoxanthin, zeaxanthin og lutein. Kiselalgesamfunnet er også endret mot mer eutrofe arter, og DI-TP estimeres høyere enn tidligere. I periode V-IV fortsetter disse trendene mer dramatisk, med kraftig økning i sedimentasjon, glødetap karbon og nitrogen. Også fosforinnholdet synes å øke. Algepigmentene øker markert, med unntak av canthaxanthin som synker til null. Vannloppene domineres i større grad av benthiske arter med 33%, først og fremst fordi *Chydorus* har økt sin andel til hele 20%. Disse endringene kjenner vi igjen fra overvåkingsdata, som har vist en voldsom økologisk forverring i Vanemfjorden i denne perioden. Siden endringene i fosformengden i seg selv ikke har vært så dramatisk, synes økologiske endringer å ha bidratt sterkt til den synlige eutrofieringen.

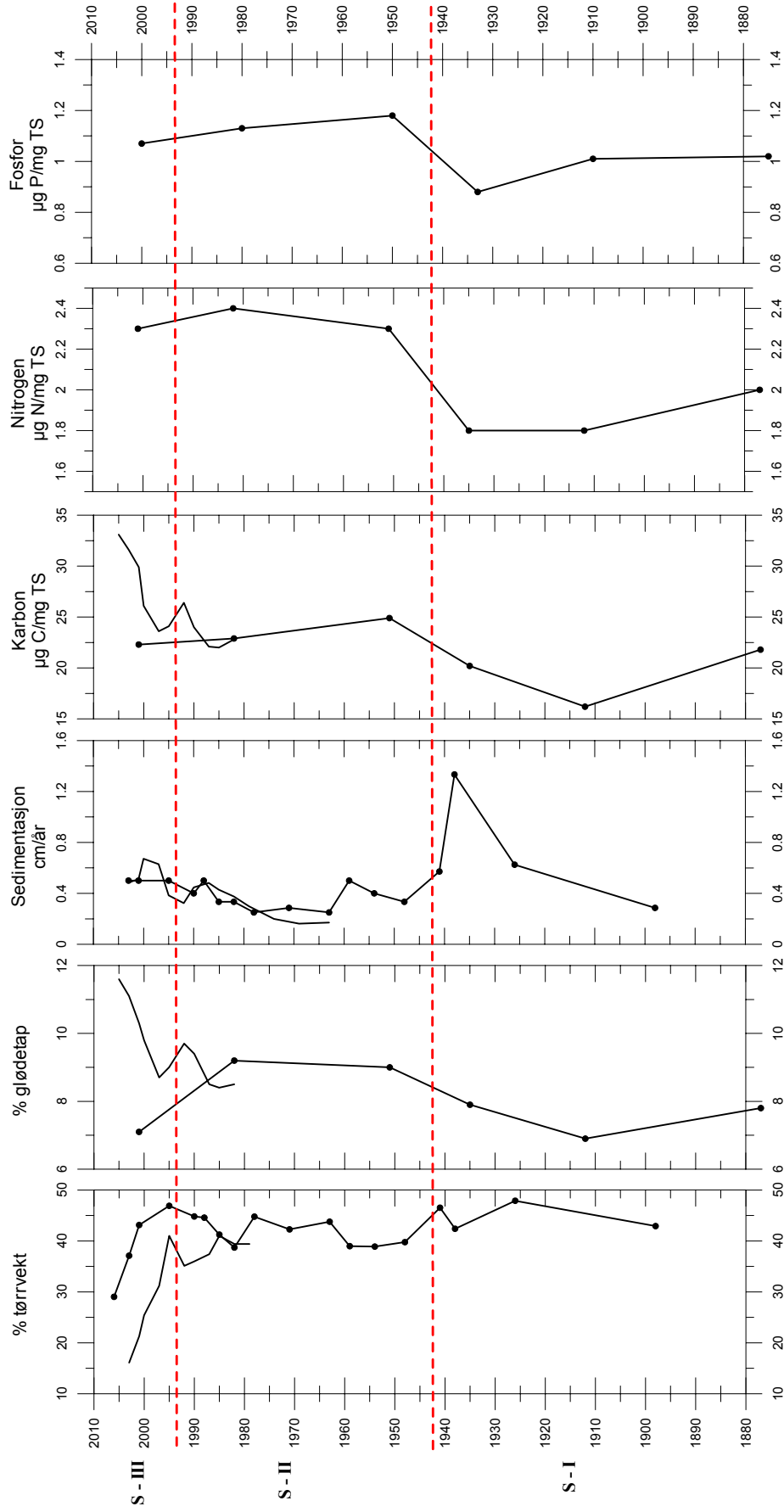
Storefjorden er et litt vanskeligere kapittel pga. store fluktuasjonene i sedimentasjonsrate og flere andre parametre. Den første perioden (S-I) fra 1880 til ca 1942 viser svære variasjoner i fysiske parametre, og disse er trolig den egentlige forklaringen på tilsynelatende endringer i karbon, nitrogen og fosfor. Nivået av Σ klfA holder seg imidlertid stabilt lavt gjennom perioden, på tross av merkelig variasjon i forholdet klorofyllA/phaeophytin. I neste periode (S-II) er sedimentasjonsraten mer stabil. Glødetap, karbon, nitrogen og fosfor ligger alle på et litt høyere nivå enn tidligere. Det samme gjelder Σ klfA, men det er ingen økning å spore gjennom perioden. Kiselalgesamfunnet viser bare små endringer i forhold til 1870, og DI-TP (bare ett punkt i S-II) viser ingen endring. Mellom 1990 og 1995 ser det ut til å inntre en ny endring (periode S-III) med økning i glødetap, karbon og Σ klfA. For nitrogen og fosfor (begge bare ett punkt i perioden) ser vi ingen økning. Derimot viser kiselalgene tegn til eutrofiering, og DI-TP estimatene øker fra 16 $\mu\text{g/L}$ i S-II til 19 $\mu\text{g/L}$ i S-III. Blant vannlopper er andelen av benthiske arter lavere (5,7%) enn tidligere (19,5%). *Chydorus* er blitt kraftig redusert. Årsaken til dette er usikker, men kan henge sammen med endringer i fisketetthet.



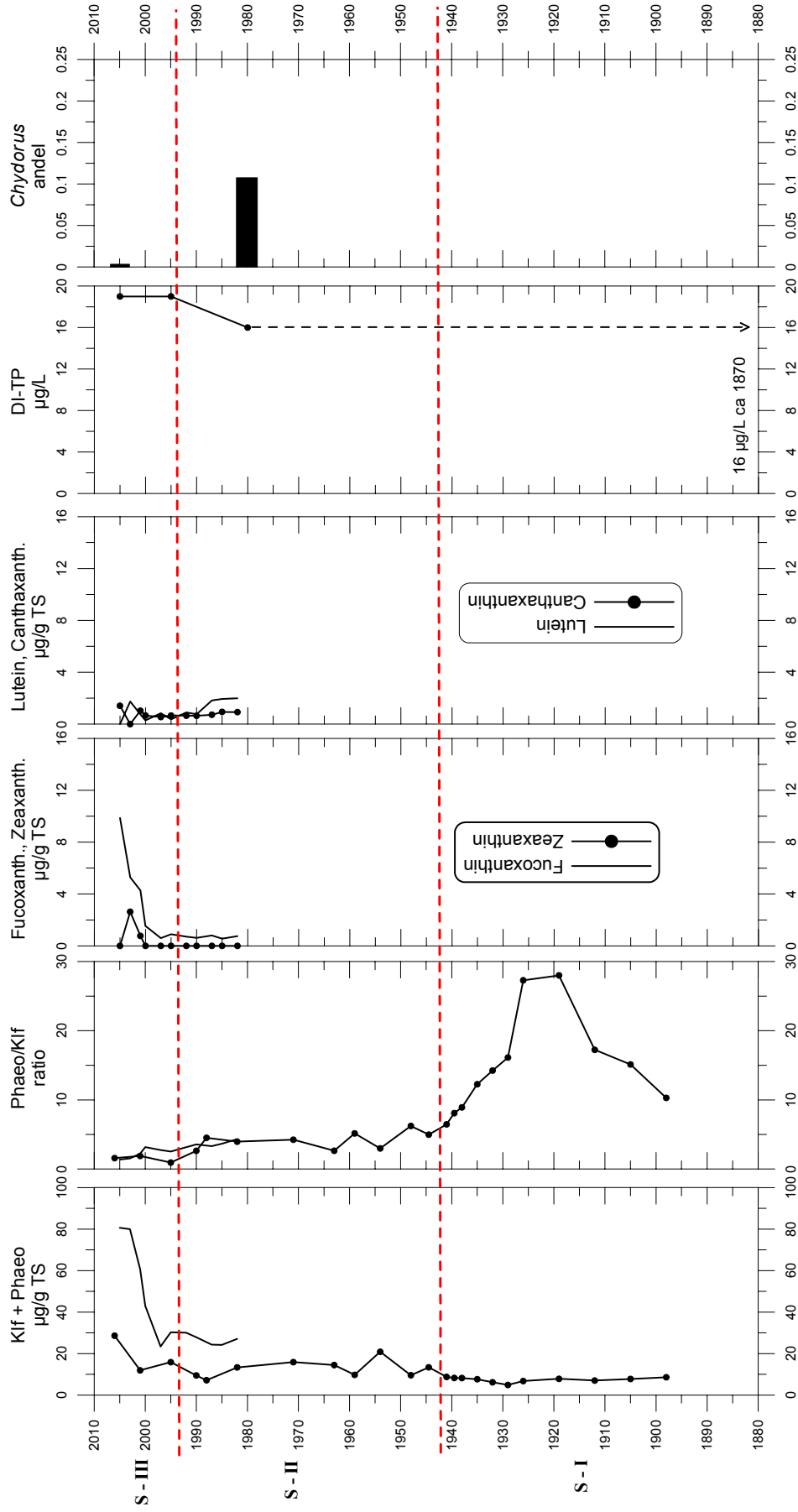
Figur 10. Sammenstilling av fysiske og kjemiske data fra sedimentprofiler i Vanemfjorden. Data er plottet så langt bakover i tid som dateringene rekker. Data fra 2006-kjernen er vist som kurver med punkter, mens 2005-kjernen er vist som linjer. Den sistnevnte undersøkelsen rekker kortere bakover i tid, men har høyere oppløsning i perioden 1975-2005.



Figur 11. Sammenstilling av biologiske data fra sedimentprofiler i Vanemfjorden. Data er plottet så langt bakover i tid som dateringene rekker. Data fra 2006-kjernene er vist som kurver med punkter, mens data fra 2005-kjernene er vist som linjer. Den sistnevnte undersøkelsen rekker kortere bakover i tid, men har høyere oppløsning i perioden 1975-2005.



Figur 12. Sammenstilling av fysiske og kjemiske data fra sedimentprofiler i Storefjorden. Data er plottet så langt bakover i tid som dateringene rekker. Data fra 2006-kjernen er vist som kurver med punkter, mens 2005-kjernen er vist som linjer. Den sistnevnte undersøkelsen rekker kortere bakover i tid, men har høyere oppløsning i perioden 1980-2005.



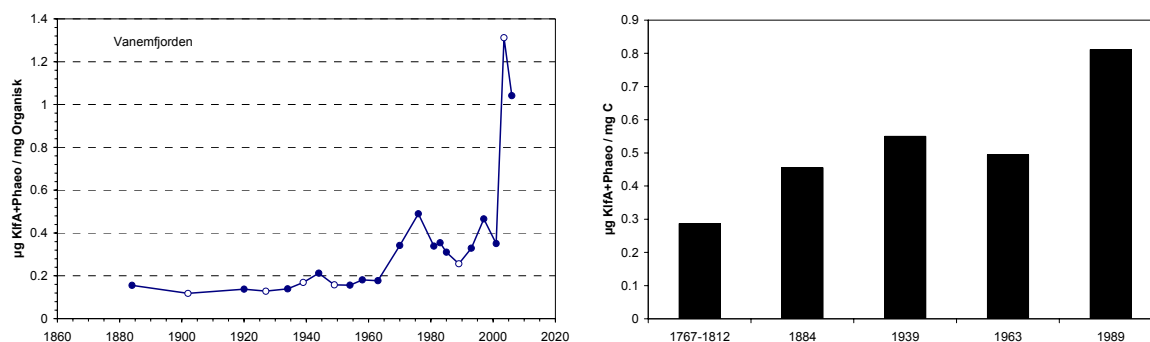
Figur 13. Sammenstilling av biologiske data fra sedimentprofiler i Storefjorden. Data er plottet så langt bakover i tid som dateringene rekker. Data fra 2006-kjernen er vist som kurver med punkter, mens 2005-kjernen er vist som linjer. Den sistnevnte undersøkelsen rekker kortere bakover i tid, men har høyere oppløsning i perioden 1980-2005.

5. Diskusjon

Variasjon og usikkerheter knyttet til data fra 2006-kjernene er diskutert under omtalen av resultatene foran. I dette kapitlet diskuteres andre momenter som ansees viktige for vurdering av historikk og sannsynlig naturtilstand, basert på foreliggende så vel som tidligere resultater fra Vansjø.

5.1 Klorofyll i forhold til organisk materiale

Mengden algepigmenter er ovenfor rapportert som μg pr g tørt sediment. Leavitt og Hodgson (2001) anbefaler imidlertid å bruke pigment pr enhet organisk materiale (eller organisk karbon) som en bedre indikator for å rekonstruere algebiomasse. Våre 2006-data er nokså ufullstendige for begge disse parametrene. For å kunne sammenligne med kurven basert på tørrvekt har vi interpolert manglende verdier for organisk stoff målt i 2006-kjernen fra Vanemfjorden (**Figur 14**). Denne kurven viser nesten identisk forløp som den basert på tørrstoff (jfr. **Figur 9**).

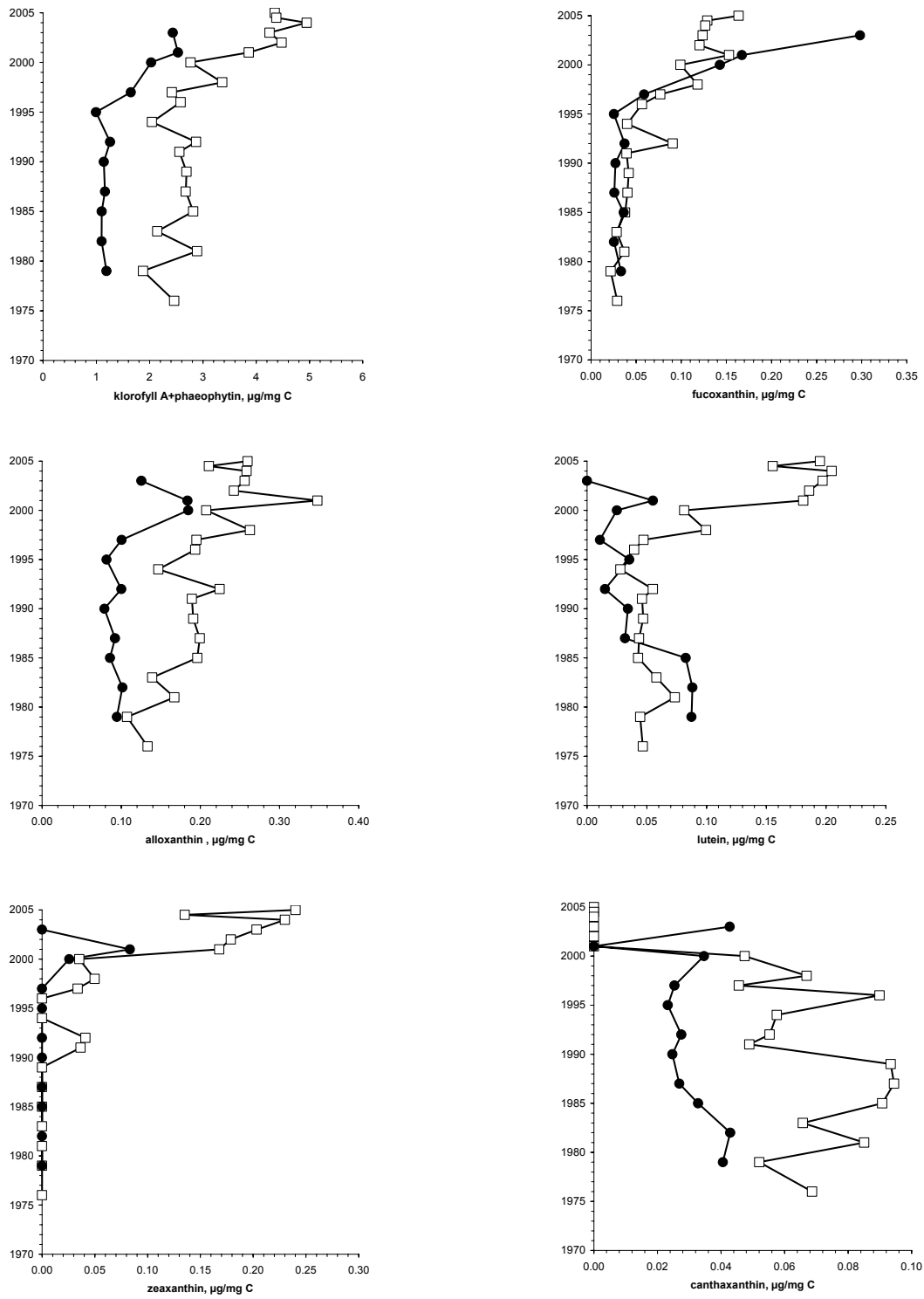


Figur 14. Vanemfjorden. Summen av klorofyll A + phaeophytin uttrykt som μg pr mg organisk stoff (til venstre), og som μg pr mg karbon (til høyre). Åpne sirkler på kurven viser punkter anslått ved interpolasjon av organisk stoff (åpne sirkler før år 2000). Punktet for 2003 er basert på organisk stoff (glødetap) målt i 2005-kjernen, de andre fra 2006-kjernen. I histogrammet er søylen fra den eldste perioden beregnet som middel av tre verdier for pigment dividert på middel av to verdier for karbon. Disse var ikke fra samme sjikt, men begge parametre varierte svært lite innen perioden.

De eldste delene av 2006-kjernen fra Vanemfjorden er ganske sikkert eldre enn 1850, og denne delen viste lavere ΣKlfA enn ved slutten av 1800-tallet og senere (**Figur 9**). Dette er derfor av interesse å se om dette også gjelder dersom konsentrasjonen uttrykkes pr organisk stoff. I dette tilfellet mangler vi data for glødetap, men histogrammet i **Figur 14** viser pigmentverdier basert på karbon-innholdet. Data for de eldste delene av kjernen er i figuren sammensatt av to verdier for pigment og tre for karbon. Disse var ikke fra samme sjikt, men begge parametre synes å være homogent lave (og ganske like) i denne delen av kjernen. Også basert på denne enheten synes algemengden å ha ligget lavere enn på slutten av 1800-tallet. Denne delen av kjernen tyder altså på at vi må lengre tilbake i tid enn de fleste parametrene er målt for å estimere naturtilstanden.

5.2 Andre algepigmenter

En rekke andre algepigmenter ble målt i sedimentkjernene fra 2005 (se Lyche Solheim m. fl. 2006). Disse resultatene ble rapportert som pigment pr enhet tørrstoff. Som påpekt ovenfor, ansees organisk stoff (eller karbon) som en bedre basis enn tørrstoff for å uttrykke pigmentmengde. For 2005-kjernene har vi fullstendige data for karbon, og har derfor omregnet tidligere rapporterte data til μg pigment pr mg karbon. Disse resultatene er vist i **Figur 15**.



Figur 15. Algepigmenter i sedimentkjerner hentet 2005 i Vansjø (åpne firkanter: Vanemfjorden, fylte sirkler: Storefjorden). Pigmentmengder som mengde pr karboninnhold i sedimentene.

I hovedsak viser kurvene de samme trender som målt pr tørrstoff, men noen utslag blir litt modifisert. F. eks. blir økningen i ΣklfA i Vanemfjorden etter 2000 noe mindre markert med denne enheten, mens en økning mellom 1995 og 2000 blir tydeligere. Fucoxanthin (som finnes i kiselalger og gullalger) viser en markert økning etter 1995 i begge bassenger. Dette pigmentet er imidlertid ikke stabilt, slik at økningen ikke har vært så stor som figuren gir inntrykk av. Den klare trenden mellom 1995 og 2000 synes likevel å være reell. Alloxanthin (spesifikt for cryptophyceae) synes å ha ligget jevnt lavt i Storefjorden til 1997, med en økning etter dette. I Vanemfjorden synes nivået å ha vært nokså likt Storefjorden før 1980, men har siden økt betraktelig og vært høyere enn i Storefjorden. Pigmentet lutein finnes i grønnalger og euglenophyceer. Fram til 1985 lå lutein høyere i Storefjorden enn i Vanemfjorden, men har vist en synkende tendens i Storefjorden. I Vanemfjorden har nivået ligget noenlunde stabilt 1976-1997, men har siden økt markert, og ligget høyt siden 2001.

Zeaxanthin finnes primært i blågrønnalger, og er karakteristisk for de mest eutrofe slektene, inklusive *Microcystis*. Det samme gjelder canthaxanthin, men dette er knyttet til arter innen undergruppen Nostocales med en rekke mindre eutrofe arter. Utviklingen av disse to pigmentene har vært svært forskjellig i de to bassengene. Zeaxanthin er ikke påvist før 1990, men forekommer i lave konsentrasjoner i Vanemfjorden på 1990-tallet, og har økt voldsomt etter år 2000. Dette faller sammen med oppblomstringen av *Microcystis* som registrert i overvåkingsprogrammet. I Storefjorden fantes zeaxanthin i mindre mengder bare i to sjikt (2000-2001). Canthaxanthin synes å ha ligget betydelig høyere i Vanemfjorden enn i Storefjorden hele tiden fram til år 2000. Deretter forsvinner det fra Vanemfjorden. I Storefjorden har vi hatt en økende tendens etter 1997, men mengden var like stor før 1985.

5.3 Fosformengder i sediment

Andersen et al. (2006) utførte en omfattende kartlegging av sedimentets fosforinnhold i hele Vansjø. Undersøkelsene viste forbausende lave fosforkonsentrasjoner, og betydelig variasjon innen bassengene. Fosforinnholdet øker med mengden organisk stoff, og avtar med vanninnholdet. Videre øker fosforinnholdet med dyp i bassenget. Det var overraskende nok ingen signifikant effekt av dyp i sediment: Selv om fosforinnholdet avtok mot sedimentoverlaten i begge bassenger, henger dette sammen med vanninnhold og organisk stoff. Når effektene av disse forholdene tas i betraktning var det likevel markert forskjell mellom bassengene, og fosfor innholdet i sediment lå i gjennomsnitt 0,2 mg/g TS høyere i Storefjorden enn i Vanemfjorden. I tillegg synes en større andel av totalfosfor i Vanemfjordens sediment å være utilgjengelig for plantevekst (Andersen m.fl. 2006).

Fosformålingene utført på 2006-kjernene presentert gjenspeiler ikke resultatene fra Andersen m.fl. (2006), og vi fant ikke tegn til avtakende fosformengde mot toppen av kjernene. Dette kunne skyldes av ulik målemetode (ICP-AES på salpetersyre-oppløst sediment i 2006-kjernene mens Andersen m.fl. [2006] benyttet våtoksidasjon med kaliumperoksidsulfat), men fosfornivåene er ganske sammenlignbare. 2006-kjernene ble imidlertid analysert i så få sjikt at en detaljert rekonstruksjon ikke er mulig, og vi kan bare sammenligne grovt mellom eldre og yngre sediment. Basert på 2006-kjernene synes det i Vanemfjorden å ha skjedd en endring til høyere fosfornivå litt før 1930, mens i Storefjorden finner vi ikke tegn til endring i fosfornivået.

5.4 Referansetilstand basert på MEI-modellen

Naturlig innhold av totalt fosfor basert på morfoedafisk indeks (MEI) er rapportert tidligere. Metoden er beskrevet av Cardoso m.fl. (2007), og er basert på empirisk regresjonsanalyse ut fra ulike datasett over innsjøer i antatt upåvirket tilstand. Modellene predikerer naturlig middelinhold av fosfor og klorofyll basert på høyde over havet, middeldyp og alkalitet. Det er gitt separate ligninger for klarvanns- og humussjøer, og det hele er kalibrert ut fra referansesjøer i ulike geografiske regioner. I vår tidligere rapport (Lyche Solheim m.fl. 2006) var beregninger delvis basert på et referansegrunnlag

fra den sentral-baltiske region, som gir høyere estimater for naturlig fosfor enn referansesjøer fra den nordiske regionen. Oppdaterte estimater basert på den nordiske regionen er vist i **Tabell 1**.

Tabell 1. Antatt naturlig konsentrasjon av totalt fosfor i Vansjø basert på MEI-modellen (Cardoso m.fl. 2007). Fargetallene over og under 30 mg Pt/L tilsvarer humussjøer og klarvannsjøer i modellene. I tabellen er også vist hvordan estimatet endrer seg ved litt lavere alkalitet enn dagens. Dagens alkalitet og humusinnhold er markert uthevet.

Basseng	Middeldyp m	Hoh. m	Farge mg Pt/L	Alkalitet mekvl/L	Naturlig TP µg/L	Nedre -øvre estimat µg/L
Storefjorden	9,20	25	<30	0,22	7,0	6,4 – 7,7
			<30	0,18	6,6	5,9 - 7,3
			>30	0,22	12,7	11,3 – 14,3
			>30	0,18	12,1	10,9 – 13,5
Vanemfjorden	3,70	25	<30	0,30	9,4	9,2 - 9,5
			<30	0,25	9,0	8,7 – 9,2
			>30	0,30	17,1	14,1 - 20,6
			>30	0,25	16,3	13,7 – 19,5

I Vansjø har humusinnholdet ligget ganske nær grensen mellom klarvanns- og humussjøer, nemlig 30 mg Pt/L. Dette gir et ganske betydelig utslag i fosforinnhold, siden humussjøer naturlig har betydelig mer fosfor fra nedbørfeltet. Det synes klart at Vansjø i dag må klassifiseres som humøs med fargetall mellom 35 og 43 mg Pt/L (Bjørndalen m.fl. 2006), men dette behøver ikke alltid å ha vært like høyt. Foruten å avhenge av nedbørfeltets karakter, vil humusinnholdet generelt øke med økende temperatur og nedbørmengde. Begge deler har økt de siste 40 år i vår region. I alle tilfelle vil Vansjø ligge i den minst humøse delen blant de humøse innsjøene, slik at naturlig fosfor må forventes å ligge i den nedre delen av spekteret.

Et annet aspekt er at fosforinnholdet også henger sammen med alkalitet. Med betydelig jordbruksaktivitet og partikkelavrenning i nedbørfeltet er det grunn til å anta at dagens alkalitet er høyere enn den naturlige, og den kan ha vært forhøyet i lang tid. Effektene av en liten reduksjon i alkalitet (17-19%) er også vist i **Tabell 1**. Denne effekten gir riktignok ikke så stort utslag som forskjellen mellom klarvanns – og humussjøer, men vil også kunne bidra til et lavere estimat.

Samlet sett synes de empiriske modellene å tyde på at naturlig total-fosfor kan ha ligget i underkant av 11 og 14 µg/L for hhv. Storefjorden og Vanemfjorden. Imidlertid må det igjen pekes på at modellenes utsagnskraft er lav, siden regresjonskoeffisientene er lave (rundt 50%). De er likevel tatt med i vurderingen her som uavhengige anslag til hjelp i vurdering av de paleolimnologiske resultatene.

5.5 Naturtilstand for fosfor i Vansjø

En fiksert ”naturtilstand” for fosfor finnes naturligvis ikke, siden naturen alltid vil variere. Vegetasjon og jordsmonn gjennomgår naturlige suksesjonsprosesser, og klimatiske variasjoner har effekter på avrenningens mengde og innhold av næringssalter og organisk materiale. I tillegg er det svært lenge siden Vansjøs nedbørfelt har vært upåvirket av mennesker. En pragmatisk tilnærming internasjonalt har vært å anse 1850 som et tidsskille, fordi nedbørfeltene i mindre grad har vært påvirket av intensivt jordbruk og industrialisering før dette. I mange tilfelle er det imidlertid klare tegn til at jordbruk og hogst eller svedjeb bruk har påvirket innsjøer lenge før dette.

Prognosene for klimaendringer indikerer stigende temperatur og økt årsnedbør i vår region. Dette vil nødvendigvis medføre endringer i avrenningens innhold av humus og næringssalter. Dette betyr at en innsjø upåvirket av menneskelig aktivitet i sitt lokale nedbørfelt får en annen naturtilstand enn den har

hatt før. Det kan også bety at naturtilstand basert på estimater av forholdene for 200 år siden kan bli vanskeligere eller umulige å oppnå selv med svært omfattende tiltak.

For Vansjø gir de paleolimnologiske resultatene usikre konklusjoner for ”naturtilstand”, dvs. for de eldste sedimentene som er analysert.

I Vanemfjorden har DI-TP estimatene vist seg å ligge på altfor lavt nivå for dagens tilstand, og signalet bakover i tid gir relativt små endringer. Selv om det kan dokumenteres endringer i artssammensetning og dominans blant kiselalgene gir dette altså små utslag i DI-TP. Vi kan derfor ikke feste noe lit til DI-TP-estimatet på 18 µg/L for den eldste delen av 2006-kjernen. Mengden klorofyll a+phaeophytin indikerer forholdsvis stabile og lave algemengder før 1970. Det er likevel interessant at total algemengde synes å ha vært lavere i den delen av kjernen som antas å være eldre enn 1830. Dette kan henge sammen med intensivering av jordbruket på 1800-tallet. En lignende observasjon har vi fra Mjøsa, der vi må tilbake før 1800 før algepigmentene ligger stabilt lavt (Rohrlack, Løvik & Hobæk, upubliserte data). Vi kan heller ikke se bort fra at klimatiske effekter har gjort seg gjeldende, siden ”den lille istid” hos oss kulminerte rundt 1750 og gjorde seg gjeldende også tidlig på 1800-tallet. Det er sannsynlig at de eldste lagene i 2006-kjernen fra Vanemfjorden rekker tilbake til denne perioden.

Basert på empiriske data fra upåvirkede innsjøer (MEI-modellen) lander vi rundt 14 µg/L TP for Vanemfjorden. Dersom humusinnholdet og alkaliteten har vært lavere, kan det tenkes at fosforinnholdet også har vært lavere. Dette er ikke et usannsynlig scenario for den eldste delen av 2006-kjernen, som diskutert ovenfor.

For Storefjorden synes DI-TP estimatene å være noenlunde fornuftige, fordi det er samsvar mellom det nivået vi observerer i dag og det som transfer-funksjonen estimerer. Ut fra dette skal TP ha ligget rundt 16 µg/L helt tilbake til ca 1870. Dette estimatet virker imidlertid høyt, siden algepigmentene tyder på at produktiviteten har vært lavere før 1940. Mengden algepigmenter viser ingen trend i målingene fra perioden 1894-1940, men dette signalet er vanskelig å vurdere siden konserveringen av pigmenter synes å ha endret seg rundt 1925. MEI-modellen indikerer ned mot 11 µg TP/L som naturtilstand. Som for Vanemfjorden kan nivået ha vært lavere i et kaldere klima, men sedimentkjernen fra Storefjorden rakk ikke langt nok til å gi noen indikasjoner på dette.

De paleolimnologiske resultatene gir totalt sett grunnlag for å antyde noe lavere fosforinnhold som naturtilstand enn vi har vurdert tidligere, men estimatene er fortsatt ganske usikre. Det er imidlertid vanskelig å tenke seg fosforkonsentrasjoner lavere enn 10 µg/L for Vansjø basert på disse resultatene, og gjennom det aller meste av tiden som sedimentkjernene rekker har nivået ligget høyere.

6. Konklusjoner

A: Utviklingen i Vansjø

- Utviklingen i Vansjøes to hovedbasseng har vært ganske forskjellig. I Storefjorden har vi hatt store endringer i sedimentasjonsrate og deponisjon av uorganisk materiale, mens sedimentasjonsforholdene i Vanemfjorden har vært mer stabile.
- Trofinivået uttrykt ved mengden klorofyll a og dets stabile nedbrytningsprodukt i sedimentene viser økt produksjon utover 1900-tallet i Vanemfjorden, med markerte økninger rundt 1970 og rundt 2000, den siste svært markert. Pigmentinnhold i sedimentkjernene tyder på at Vanemfjorden har vært mindre produktiv før ca 1850 enn senere.
- I Storefjorden var fluktuasjonen i algepigment lang større (trolig pga. ujevn sedimentasjonsrate), og signalet derfor mer usikkert. Produksjonen synes å ha vært høyere i annen halvdel av 1900-tallet enn i første. Etter 1995 har produksjonen også økt ytterligere, men ikke så dramatisk som i Vanemfjorden.
- Produktiviteten i de to bassengene må antas å ha vært forskjellig fra naturens side. Dette skyldes bassengenes ulike dybdeforhold, og at Vanemfjorden får tilrenning fra et eget nedbørfelt i tillegg til avrenning fra Storefjorden. Vanemfjorden vil fra naturens side ha høyere fosforinnhold og produksjon enn Storefjorden.
- Fosforinnholdet i sediment i Vansjø er en dårlig indikator for trofinivå. Vanemfjorden (som i dag er klart mest eutrof) har lavere fosforinnhold i sedimentene enn Storefjorden, og denne forskjellen synes å ha vært stabil nokså langt bakover i tid. Resultater av andre undersøkelser tyder også på at intern gjødsling fra sedimentene neppe kan være en vesentlig kilde for fosfortilførsler til vannmassene.
- Relativt små endringer i sammensetning og dominans av kiselalger tyder på at innholdet av næringssalter ikke har endret seg så dramatisk som den akselererende eutrofieringen skulle tilsi. Hvis dette er riktig, må det bety at andre økologiske endringer kan ha fremskyndet en favorisering av uønskete algearter. Dette kan henge sammen med endringer i fiskebestandene både direkte gjennom resuspensjon av sedimentert materiale og indirekte gjennom næringsnettet.
- De paleolimnologiske grunnlaget for å anslå naturtilstand i Vansjø gir stor usikkerhet. Mest sannsynlig har fosforinnholdet ligget rundt 11 µg/l i Storefjorden og rundt 14 µg/L i Vanemfjorden tilbake til midten av 1800-tallet, men muligens noe lavere før dette.

B: Metodiske betraktninger

- De palaeolimnologiske data fra Vanemfjorden og Storefjorden er satt sammen av målinger og analyser fra flere ulike kjerner. For mange av parametrene er også analyseseriene ufullstendige, dvs. de er ikke gjennomført på en kontinuerlig serie av sjikt fra kjernene. Det blir derfor vanskelig å vurdere variasjonen for de enkelte parametrene – er forskjellen mellom sjikt langt fra hverandre reell, eller representerer den bare generell fluktuasjon i parameteren? Trolig hadde vi fått et klarere bilde ved å konsentrere innsatsen rundt få og lange kjerner, og prioritere mest mulig kontinuerlige analyseserier fra disse kjernene.
- Analyser av kiselalger gav ikke den oppløsning vi hadde forventet. For Storefjorden synes treningssettet for tilbakeregning av totalt fosfor å være adekvat, mens for den grunnere Vanemfjorden blir estimatene for fosfor basert på kiselalger åpenbart gale. Dette forholdet

illustrerer betydningen av relevante kalibreringsdata for ulike innsjøtyper, og at med dagens erfaringsgrunnlag må også slike rekonstruksjoner vurderes kritisk.

- Det er usikkert hva de store fluktusjonene i beregnet sedimentasjonsrate i Storefjorden egentlig betyr. Hvis de høye sedimentasjonsratene skyldes jordras i nedbørfeltet er fluktusjonene i sedimentasjonsrate et reelt fenomen. Det kan imidlertid også tenkes at utglidninger eller ras av sediment under vann har gitt et falskt bilde av sedimentasjonsraten. I så fall ville prøvetaking i et område med mindre skråning og mer stabile sedimenter ha vært bedre enn det dypeste punkt i bassenget.

7. Henvisninger

- Andersen, T., Brabrand, Å., Færøvig, P.J., Kaasa, B., Molversmyr, Å., Skjelbred, B., Aasberg, T. 2006. Vurdering av mulig interngjødsling i Vestre Vansjø. NIVA-rapport 5144-2006. 31 s.
- 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.
- 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.
- Bjørndalen, K., Andersen, T., Bechmann, M., Borgvang, S.A., Brabrand, A., Delstra, J., Gunnarsdottir, H., Hobæk, A., Saloranta, T. Skarbøvik, E. & Lyche Solheim, A. 2006. Utredninger Vansjø 2005 – Sammen drag og anbefalinger. NIVA-rapport 5146-2006. 41 s.
- Cardoso, A.C., A. Solimini, G. Premazzi, L. Carvalho, A. Lyche & S. Rekolainen. 2007. Phosphorus reference concentrations in European lakes. *Hydrobiologia* 584: 3–12.
- Erlandsen, A. 1978. Vansjø, en diatomé-analyse fra Storefjorden. Rapport til Samarbeidsutvalget for Vansjø-Hobøl-vassdraget.
- 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.
- Leavitt, P. R. & D. Hodgson. 2001. Sedimentary pigments. 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. 295-325.
- Stålnacke, P., Lyche-Solheim, A. & Bechmann, M. 2005. Utvikling av vannkvaliteten i Vansjø og Hobøelva. En foreløpig analyse av tidsserier. NIVA rapport 4937-2005. 30 s.
- Jeffrey, S. W., Mantoura, R. F. C. & Wright, S. W. 1997. Phytoplankton pigments in oceanography: guidelines to modern methods (UNESCO Publishing).
- 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.
- Lyche Solheim, A., Rohrlack, T., Grung, M., Hobæk, A., Bennion, H., Burgess, A., Yang, H. 2006. Undersøkelser av naturtilstanden og eutrofieringsutviklingen i Vansjø. NIVA-rapport 5145-2006. 42 s.

Vedlegg A. Dateringsrapporter 2006

Sediment kjerne med kode V-1-1 er fra Storefjorden
Sediment kjerne med kode VAN1 er fra Vanemsfjorden

Gamma Dating Center Copenhagen

Copenhagen, 8 March 2007

**Thorbjørn J. Andersen
Institute of Geography
University of Copenhagen
Oester Voldgade 10
1350 Copenhagen K
e-mail tja@geogr.ku.dk
phone +45 35 32 25 03
fax +45 35 32 25 01**

Dating of core V-1-1

Dating of core V-1-1

Methods

The samples have been analysed for the activity of ^{210}Pb , ^{226}Ra and ^{137}Cs via gamma-spectrometry at the Gamma Dating Center, Institute of Geography, University of Copenhagen. The measurements were carried out on a Canberra low-background Ge-well-detector. ^{210}Pb was measured via its gamma-peak at 46,5 keV, ^{226}Ra via the granddaughter ^{214}Pb (peaks at 295 and 352 keV) and ^{137}Cs via its peak at 661 keV.

Results

The core showed a surface content of unsupported ^{210}Pb of about 130 Bq kg^{-1} which decreased non-monotonically downcore. The calculated flux of unsupported ^{210}Pb is $157 \text{ Bq m}^{-2} \text{ y}^{-1}$. This is about twice the estimated local atmospheric supply and shows that the site is subject to intense sediment focussing.

The content of ^{137}Cs showed pronounced peaks at 9.5 cm and 16 cm. These peaks are very nice markers as the lower one is related to the peak in the nuclear weapons testing in the atmosphere in 1963 and the upper one related to the Chernobyl-accident in 1986.

CRS-modelling (Appleby, 2001) has been applied on the profile using a modified method where the level 16 cm is ascribed to 1963 (based on the ^{137}Cs -profile) and the inventory below 40 cm depth is calculated on the basis of the plot shown in fig 2. The result is given in table 2.

Based on the ^{210}Pb -dating the upper ^{137}Cs -peak is dated to $1985 \pm 8 \text{ yr}$ which is in excellent agreement with the Chernobyl-origin. The dating is therefore accurate, at least for upper 16cm of the core, and the error-margins indicated in table 2 are overestimated for this part of the core.

8 March 2007

Thorbjørn J Andersen

Reference:

Appleby, P.G. (2001): Chronostratigraphic techniques in recent sediments. In: Last, W.M & Smol, J.P. (eds) Tracking environmental change using lake sediments. Volume 1: Basin analysis, coring and chronological techniques. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands.

Table 1. Core V-1-1

Depth cm	Pb-210tot Bq kg-1	error Pb-210 tot Bq kg-1	Pb-210 supupp 210Pb Bq kg-1	error pb-210 sup Bq kg-1	Pb-210 unsup Bq kg-1	error pb-210 unsup Bq kg-1	Cs-137 Bq kg-1	error Cs-137 Bq kg-1
0.5	264	28	114	4	150	29	95	8
1.5	235	20	105	4	130	21	84	5
2.5	138	11	67	3	70	12	57	3
5.5	113	11	76	2	38	11	81	4
7.5	128	11	69	0	59	11	151	5
8.5	103	10	84	2	18	10	294	10
9.5	134	12	74	0	60	12	541	17
10.5	130	13	80	4	50	13	177	7
11.5	119	11	78	3	41	11	76	4
13.5	123	11	71	4	52	12	66	3
15.5	110	10	75	3	35	10	144	5
17.5	106	9	69	1	37	9	110	4
19.5	122	12	82	13	40	18	32	3
21.5	103	10	73	0	29	10	8	2
25.5	83	9	74	2	10	9	1	0
29.5	79	8	73	3	5	9	1	0
37.0	89	7	71	3	18	8	1	0
45.0	89	9	77	5	11	10	1	0

Table 2, Core V-1-1

Depth cm	Age y	error age y	Date y	acc rate (kg m-2 y-1)	error rate (kg m-2 y-1)
0			2006		
1.5	3	5	2003	1.14	0.25
2.5	5	5	2001	1.36	0.31
5.5	11	6	1995	2.26	0.80
7.5	16	7	1990	2.18	0.64
8.5	18	7	1988	2.35	1.31
9.5	21	8	1985	2.14	0.69
10.5	24	8	1982	1.39	0.53
11.5	28	9	1978	1.47	0.60
13.5	35	12	1971	1.30	0.60
15.5	43	15	1963	1.15	0.67
17.5	4	16	1959	2.54	0.87
19.5	9	17	1954	1.78	0.79
21.5	15	18	1948	1.63	0.75
25.5	22	20	1941	2.77	3.12
29.5	25	21	1938	7.80	17.60
37.0	37	26	1926	3.68	2.55
45.0	65	46	1898	1.62	2.03

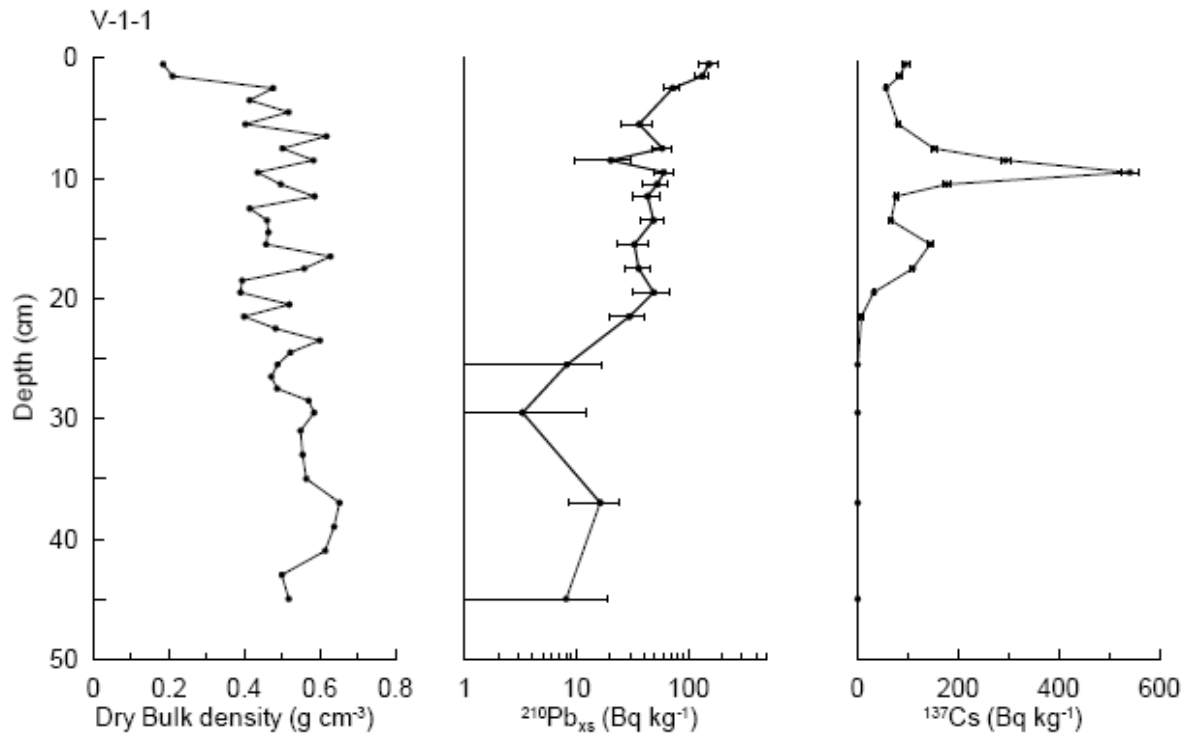


Fig 1

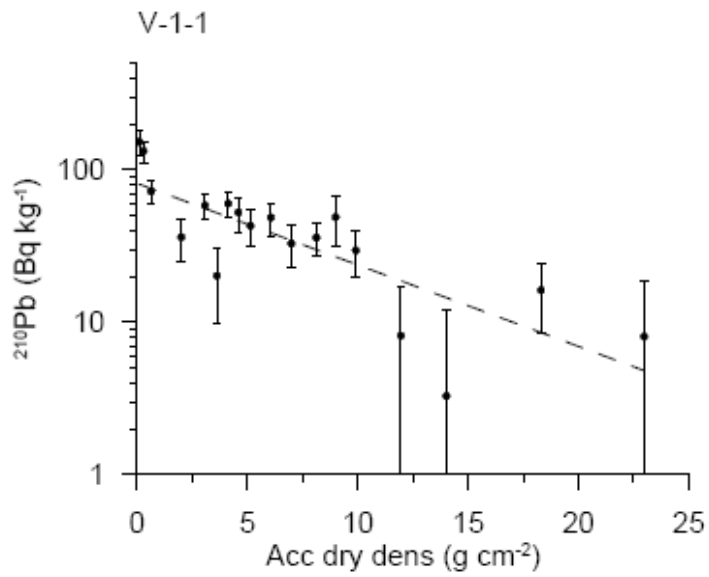


Fig 2

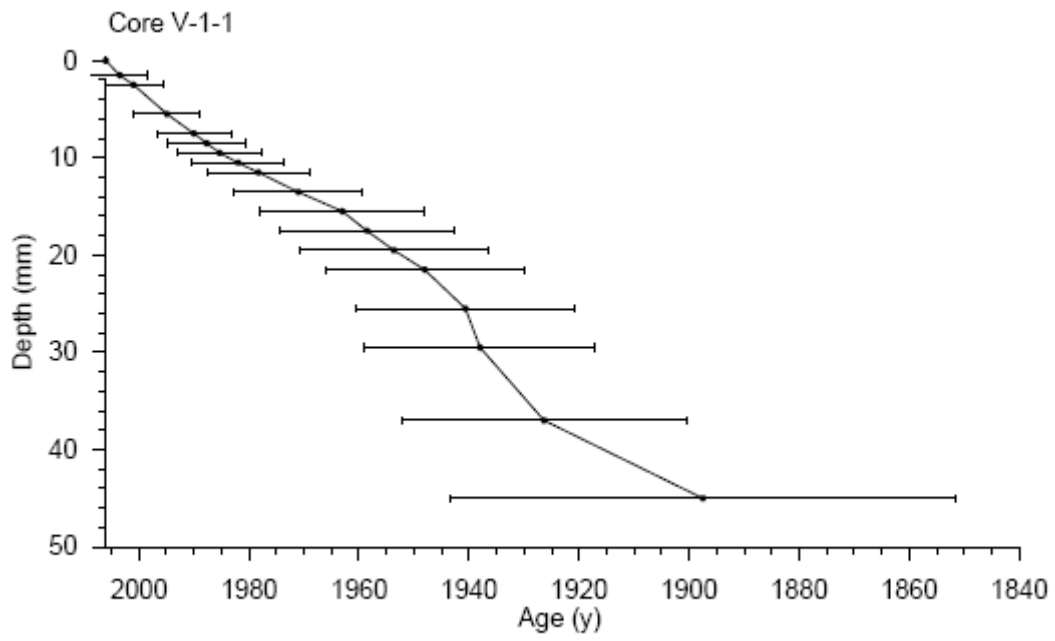


Fig 3

Gamma Dating Center Copenhagen

Copenhagen, 8 March 2007

**Thorbjørn J. Andersen
Institute of Geography
University of Copenhagen
Oester Voldgade 10
1350 Copenhagen K
e-mail tja@geogr.ku.dk
phone +45 35 32 25 03
fax +45 35 32 25 01**

Dating of core VAN1

Dating of core VAN1

Methods

The samples have been analysed for the activity of ^{210}Pb , ^{226}Ra and ^{137}Cs via gamma-spectrometry at the Gamma Dating Center, Institute of Geography, University of Copenhagen. The measurements were carried out on a Canberra low-background Ge-well-detector. ^{210}Pb was measured via its gamma-peak at 46,5 keV, ^{226}Ra via the granddaughter ^{214}Pb (peaks at 295 and 352 keV) and ^{137}Cs via its peak at 661 keV.

Results

The core showed a surface content of unsupported ^{210}Pb of about 240 Bq kg^{-1} which decreased exponentially downcore. The calculated flux of unsupported ^{210}Pb is about $240 \text{ Bq m}^{-2} \text{ y}^{-1}$. This is about three times the estimated local atmospheric supply and shows that the site is subject to intense sediment focussing.

The content of ^{137}Cs showed pronounced peaks at 13.5 cm and 20.5 cm. These peaks are very nice markers as the lower one is related to the peak in the nuclear weapons testing in the atmosphere in 1963 and the upper one related to the Chernobyl-accident in 1986.

CRS-modelling (Appleby, 2001) has been applied on the profile using a modified method where the level 20.5 cm is ascribed to 1963 (based on the ^{137}Cs -profile) and the inventory below 40 cm depth is calculated on the basis of the plot shown in fig 2. The result is given in table 2.

Based on the ^{210}Pb -dating the upper ^{137}Cs -peak is dated to $1983 \pm 4 \text{ yr}$ which is in excellent agreement with the Chernobyl-origin. The dating is therefore accurate and the error-margins indicated in table 2 are overestimated, especially for the upper 20 cm of the core.

8 March 2007

Thorbjørn J Andersen

Reference:

Appleby, P.G. (2001): Chronostratigraphic techniques in recent sediments. In: Last, W.M & Smol, J.P. (eds) Tracking environmental change using lake sediments. Volume 1: Basin analysis, coring and chronological techniques. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands.

Table 1. Core VAN1

Depth	Pb-210tot	error Pb-210 tot	Pb-210 supupp 210Pb	error pb-210 sup	Pb-210 unsup	error pb-210 unsup	Cs-137	error Cs-137
cm	Bq kg-1	Bq kg-1	Bq kg-1	Bq kg-1	Bq kg-1	Bq kg-1	Bq kg-1	Bq kg-1
0.5	304	33	99	0	205	33	126	10
4.5	285	25	106	8	179	26	134	7
8.5	218	18	90	2	128	18	174	7
10.5	161	14	71	1	90	14	207	7
12.5	153	14	87	2	66	14	329	11
13.5	149	13	68	5	81	14	371	12
14.5	140	12	73	1	66	12	140	5
16.5	149	13	78	3	70	14	105	4
18.5	159	15	84	2	75	15	131	6
20.5	131	12	72	0	59	12	139	5
22.5	122	12	86	2	36	12	91	4
24.5	105	10	74	0	31	10	26	2
28.5	93	10	70	1	23	10	2	3
32.5	87	10	73	4	14	11	2	2
36.5	86	9	64	1	22	9	1	0
40.5	94	10	74	5	20	11	1	0
44.5	72	9	75	6	0	11	1	0
48.5	69	8	72	3	0	9	3	2
52.5	0	0	0	0	0	0	0	0
53.5	0	0	0	0	0	0	0	0

Table 2, Core VAN1

Depth	Age	error age	Date	acc rate	error rate
cm	y	y	y	(kg m-2 y-1)	(kg m-2 y-1)
0.0			2006		
0.5	0	2	2006	1.17	0.20
4.5	5	3	2001	1.14	0.17
8.5	13	3	1993	1.17	0.20
10.5	17	3	1989	1.40	0.27
12.5	21	4	1985	1.70	0.41
13.5	23	4	1983	1.60	0.33
14.5	25	4	1981	1.50	0.33
16.5	30	5	1976	1.45	0.35
18.5	36	6	1970	1.15	0.30
20.5	43	7	1963	1.04	0.31
22.5	48	8	1958	1.52	0.55
24.5	51	8	1954	1.84	0.61
28.5	62	10	1944	1.85	0.84
32.5	72	12	1934	1.82	1.07
36.5	86	14	1920	1.32	0.62
40.5	122	33	1884	0.56	0.55

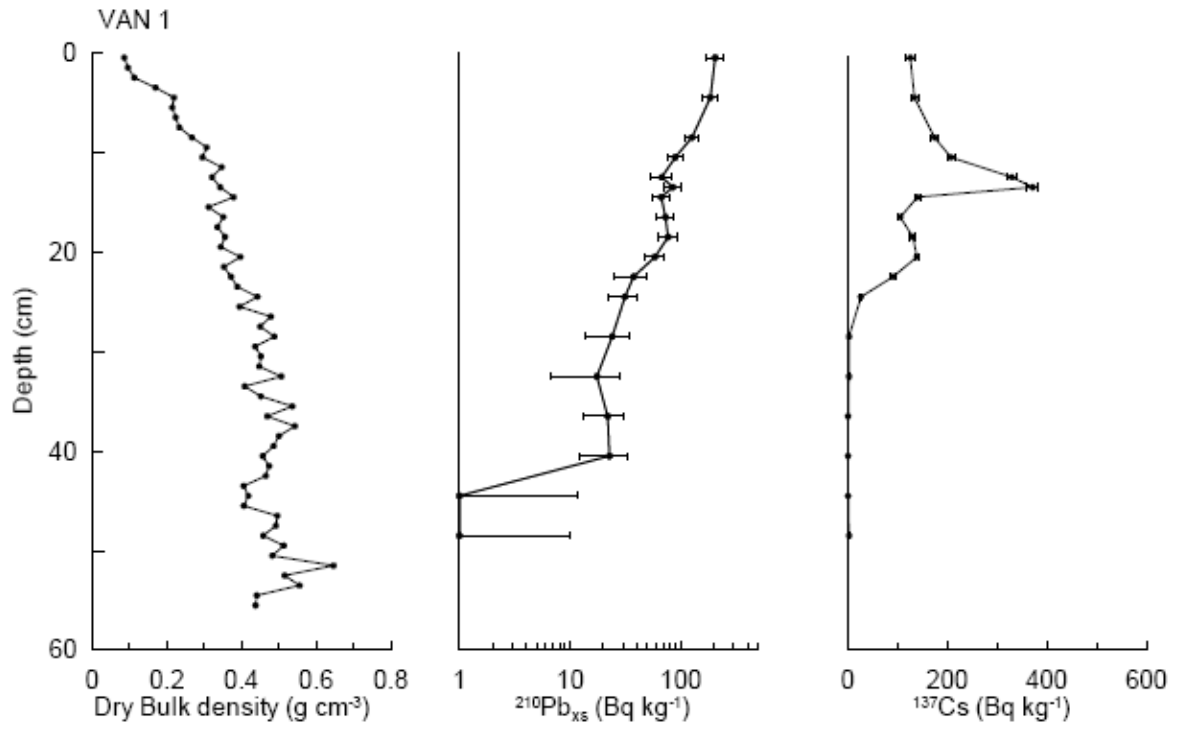


Fig 1

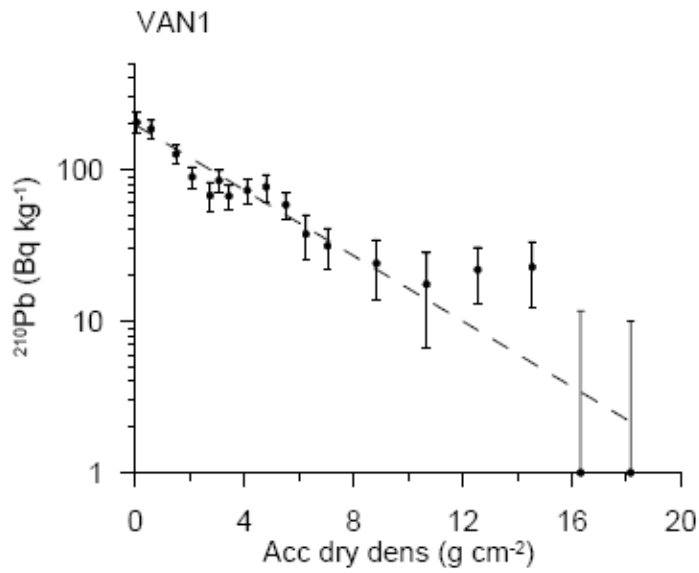


Fig 2

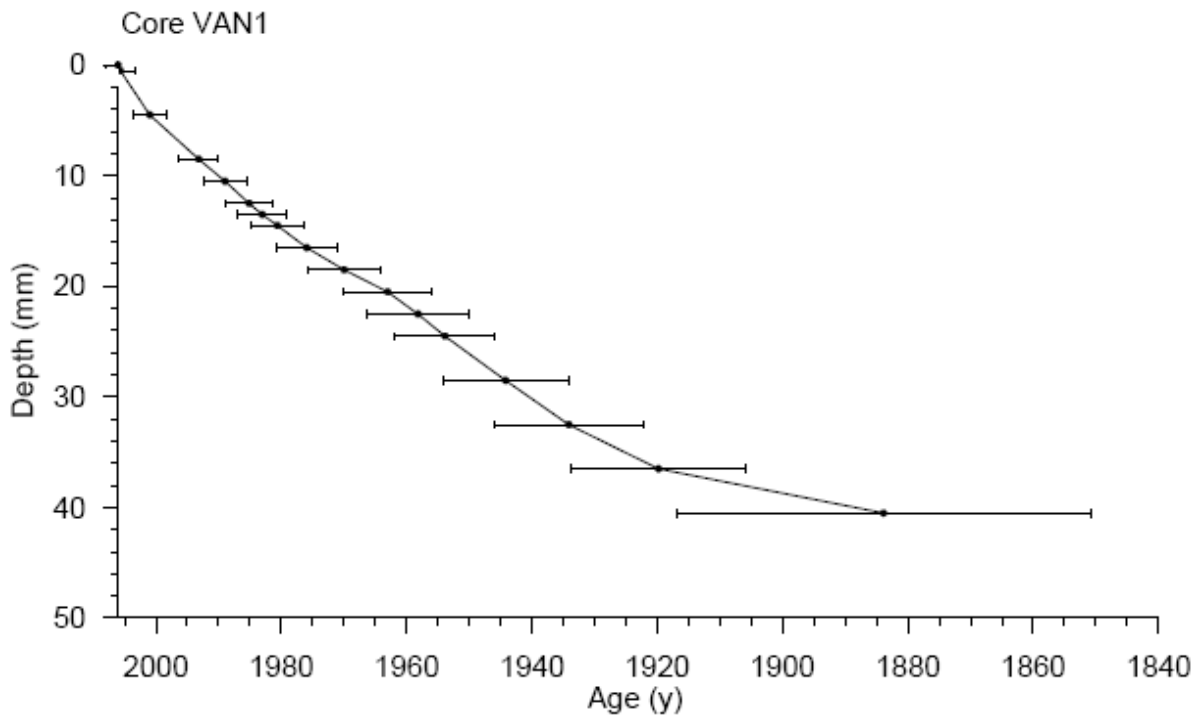


Fig 3

Vedlegg B. Fysiske og kjemiske sedimentdata

Fysiske og kjemiske data fra sedimentkjerne fra Storefjorden 2006

Sjikt [cm]	Våtvekt g	Tørrstoff (TTS) g/kg	Gløderest (TGR) g/kg	Karbon µg/mg TS	Nitrogen µg/mg TS	Fosfor µg/mg TS
0-1	12.83	290.34	892.45			
1-2	11.55	371.14	922.06			
2-3	21.27	431.41	928.98	22.3	2.3	
3-4	23.41	338.75	920.35			1.07
4-5	24.51	402.88	934.44			
5-6	16.84	469.10	921.64			
6-7	28.65	408.49	931.39			
7-8	21.53	448.13	933.03			
8-9	24.97	445.87	929.76			
9-10	20.40	412.57	924.90			
10-11	24.51	387.16	907.66	22.9	2.4	
11-12	24.98	447.88	922.12			1.13
12-13	20.77	384.92	916.06			
13-14	21.00	422.84	917.71			
14-15	21.40	417.35	917.82			
15-16	20.21	437.90	930.25			
16-17	27.59	432.16	919.65			
17-18	27.23	389.81	916.58			
18-19	20.98	362.83	914.27			
19-20	19.44	388.97	921.28			
20-21	23.07	431.49	910.43	24.9	2.3	
21-22	19.47	397.72	917.43			1.18
22-23	23.75	389.05	919.41			
23-24	27.31	417.64	920.06			
24-25	22.86	437.84	922.74			
25-26	20.27	465.38	932.10			
26-27	20.77	438.29	929.31			
27-28	23.23	401.94	929.51			
28-29	26.37	411.68	923.81			
29-30	26.26	424.03	936.21			
30-32	45.49	449.67	921.11	20.2	1.8	
32-34	47.40	435.03	931.38			0.88
34-36	45.22	464.94	936.59			
36-38	50.54	479.09	931.91			
38-40	49.31	480.55	935.19			
40-42	46.18	495.04	930.58	16.2	1.8	
42-44	42.45	439.08	932.89			1.01
44-46	44.94	429.25	923.08			
46-48	41.66	424.46	931.28			
48-50	42.65	451.93	917.09			
50-52	44.14	439.60	921.92	21.8	2.0	
52-54	32.89	485.51	919.99			1.02
54-56	47.77	405.57	917.53			
56-58	39.05	395.66	907.97			
58-60	42.53	397.00	905.69			1.19
60-62	40.89	384.90	906.01	27.7	2.4	

Fysiske og kjemiske data fra sedimentkjerne fra Vanemsfjorden 2006

Sjikt [cm]	Våtvekt g	Tørrstoff (TTS) g/kg	Gløderest (TGR) g/kg	Karbon µg/mg TS	Nitrogen µg/mg TS	Fosfor µg/mg TS
0-1	18.39	91.16	856.49			
1-2	16.98	110.67	817.46			
2-3	17.68	124.69	861.67	60.6	7.8	
3-4	17.30	192.37	875.00			1.24
4-5	18.83	226.08	900.06			
5-6	17.80	235.64	900.31			
6-7	17.83	244.91	900.86			
7-8	16.28	281.99	903.01			
8-9	19.06	272.15	906.89			
9-10	20.75	285.40	910.55			
10-11	19.71	290.23	911.76	27.9	3.1	
11-12	21.90	305.10	907.37			1.07
12-13	20.18	307.73	910.21			
13-14	21.09	313.82	917.50			
14-15	23.13	314.26	909.80			
15-16	19.77	305.54	916.88			
16-17	22.64	297.89	912.90			
17-18	21.73	297.27	904.35			
18-19	21.72	315.45	910.17			
19-20	19.81	336.73	922.37			
20-21	22.85	333.29	925.07	26.9	2.8	
21-22	19.75	346.41	917.73			0.99
22-23	20.23	355.29	926.08			
23-24	20.86	359.90	926.93			
24-25	23.01	368.84	928.94			
25-26	20.19	378.67	932.70			
26-27	24.08	380.08	929.87			
27-28	23.06	374.25	926.97			
28-29	25.08	371.32	926.55			
29-30	22.33	375.78	925.22			
30-31	23.36	370.94	931.57	22.8	2.4	
31-32	22.72	378.31	926.99			0.97
32-33	24.92	388.17	925.35			
33-34	20.67	381.58	930.62			
34-35	22.16	391.87	931.52			
35-36	26.04	392.26	936.46			
36-37	22.86	393.72	931.61			
37-38	26.11	396.26	931.89			
38-39	23.95	399.80	931.78			
39-40	23.52	395.82	930.55			
40-41	22.95	381.92	933.94	22.6	2.1	
41-42	23.46	387.00	941.95			0.58
42-43	23.15	385.21	947.61			
43-44	20.34	385.71	938.12			
44-45	20.79	388.44	924.57			
45-46	20.01	393.08	928.54			
46-47	23.48	404.85	928.01			
47-48	22.22	425.88	933.86			
48-49	20.43	433.25	938.05			
49-50	22.27	442.85	944.31	15.7	1.8	
50-51	20.99	443.4	945.22			
51-52	27.91	439.73	942.08			0.75
52-53	21.83	454.41	943.06			0.61
53-54	23.36	455.62	943.64	16.3	1.7	
54-55	19.14	447.47	950.39			
55-56	18.37	463.93	945.34			

Vedlegg C. Analysedata algepigmenter

Storefjorden 2006

Sjikt cm	Klorofyll a µg/g	Pheophytin a µg/g	Sum klorofyll og pheophytin µg/g
0-1	11.1	17.5	28.6
2-3	4.1	7.8	11.9
4-5	8.2	7.6	15.9
6-7	2.6	6.9	9.5
8-9	1.3	5.9	7.2
10-11	2.7	10.6	13.3
12-13	3.0	12.8	15.9
14-15	4.0	10.5	14.5
16-17	1.6	8.2	9.7
18-19	5.2	15.6	20.9
20-21	1.3	8.2	9.6
22-23	2.2	11.1	13.4
24-25	1.2	7.6	8.8
26-27	0.9	7.3	8.2
28-29	0.8	7.4	8.2
30-32	0.6	7.1	7.6
34-36	0.4	5.8	6.2
38-40	0.3	4.6	4.9
42-44	0.2	6.5	6.8
46-48	0.3	7.6	7.8
50-52	0.4	6.6	7.0
54-56	0.5	7.3	7.8
58-60	0.8	7.8	8.6

Vanemfjorden 2006

Sjikt cm	Klorofyll a µg/g	Pheophytin a µg/g	Sum klorofyll og pheophytin µg/g
0-1	109.4	40.1	149.5
2-3	145.1	45.2	190.2
4-5	12.7	22.3	35.1
6-7	16.5	28.4	45.0
8-9	10.5	20.1	30.6
10-11	6.2	16.4	22.6
12-13	6.0	21.9	27.9
14-15	7.6	23.0	30.6
16-17	12.1	30.6	42.7
18-19	7.4	23.3	30.7
20-21	2.2	11.1	13.3
22-23	2.9	10.5	13.4
24-25	1.7	9.4	11.1
26-27	1.9	9.5	11.4
28-29	2.8	12.8	15.6
30-31	1.8	10.7	12.5
32-33	1.3	9.1	10.4
34-35	1.5	7.7	9.2
36-37	1.4	8.0	9.4
38-39	1.1	6.9	7.9
40-41	1.2	9.1	10.3
42-43	1.5	6.7	8.1
44-45	0.9	7.5	8.4
46-47	0.9	6.9	7.8
48-49	0.4	4.7	5.0
50-51	0.3	4.0	4.2
52-53	0.2	4.3	4.5

Vedlegg D. Kiselalger i sediment (2005 og 2006)

Storefjorden 2005 og 2006	DiatCode		
<i>Achnanthes clevei</i>	AC006A	<i>Fragilaria parasitica var subconstricta</i>	FR045E
<i>Achnanthes impexa</i>	AC153A	<i>Fragilaria pinnata</i>	FR001A
<i>Achnanthes lanceolata</i>	AC001A	<i>Fragilaria pseudoconstruens</i>	FR056A
<i>Achnanthes linearis</i>	AC002A	<i>Fragilaria vaucheriae</i>	FR007A
<i>Achnanthes marginulata</i>	AC022A	<i>Frustulia rhomboides</i>	FU002A
<i>Achnanthes minutissima</i>	AC013A	<i>Gomphonema gracile</i>	GO004A
<i>Achnanthes oestrupii</i>	AC007A	<i>Gomphonema parvulum</i>	GO013A
<i>Achnanthes pusilla</i>	AC035A	<i>Navicula arvensis</i>	NA038A
<i>Achnanthes subatomoides</i>	AC136A	<i>Navicula bahusiensis</i>	NA233A
<i>Achnanthes ventralis</i>	AC161A	<i>Navicula cocconeiformis</i>	NA032A
<i>Amphora libyca</i>	AM011A	<i>Navicula cryptocephala</i>	NA007A
<i>Amphora ovalis</i>	AM011A	<i>Navicula gregaria</i>	NA023A
<i>Amphora veneta</i>	AM004A	<i>Navicula joubardii</i>	NA462A
<i>Asterionella formosa</i>	AS001A	<i>Navicula lanceolata</i>	NA009A
<i>Aulacoseira ambigua</i>	AU002A	<i>Navicula lapidosa</i>	NA152A
<i>Aulacoseira granulata</i>	AU003D	<i>Navicula minima</i>	NA042A
<i>Aulacoseira granulata var angustissima</i>	AU003B	<i>Navicula pseudoscutiformis</i>	NA013A
<i>Aulacoseira islandica</i>	AU009A	<i>Navicula pupula</i>	NA014A
<i>Aulacoseira subarctica</i>	AU020A	<i>Navicula radiosa</i>	NA003A
<i>Brachysira vitrea</i>	BR001A	<i>Navicula rhyncocephala</i>	NA008A
<i>Caloneis bacillum</i>	CA002A	<i>Navicula sp.</i>	NA9999
<i>Cocconeis neothumensis</i>	CO067A	<i>Navicula submuralis</i>	NA166A
<i>Cyclostephanos dubius</i>	CC001A	<i>Navicula subrotundata</i>	NA114A
<i>Cyclotella krammeri</i>	CY054A	<i>Nitzschia acicularis</i>	NI042A
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	CY003A	<i>Nitzschia angustata</i>	NI020A
<i>Cyclotella pseudostelligera</i>	CY002A	<i>Nitzschia clausii</i>	NI080A
<i>Cyclotella radiosa</i>	CY019A	<i>Nitzschia dissipata</i>	NI015A
<i>Cyclotella stelligera</i>	CY004A	<i>Nitzschia fonticola</i>	NI002A
<i>Cymbella gracilis</i>	CM018A	<i>Nitzschia palea</i>	NI009A
<i>Cymbella minutum</i>	CM031A	<i>Nitzschia sp.</i>	NI9999
<i>Cymbella naviculiformis</i>	CM009A	<i>Nitzschia vermicularis</i>	NI049A
<i>Diatoma mesodon</i>	DT021A	<i>Pinnularia borealis var rectangularis</i>	PI012A
<i>Diatoma tenuis</i>	DT004A	<i>Pinnularia subcapitata</i>	PI022A
<i>Diploneis parma</i>	DP065A	<i>Pinnularia viridis</i>	PI007A
<i>Eunotia bilunaris</i>	EU070A	<i>Pinnularia sp.</i>	PI9999
<i>Eunotia exigua</i>	EU009A	<i>Stauroneis anceps</i>	SA001A
<i>Eunotia incisa</i>	EU047A	<i>Stephanodiscus medius</i>	ST014A
<i>Eunotia implicata</i>	EU107A	<i>Surirella brebissonii</i>	SU073A
<i>Eunotia meisteri</i>	EU020A	<i>Surirella angusta</i>	SU001A
<i>Eunotia minor</i>	EU110A	<i>Surirella minuta</i>	SU016A
<i>Eunotia sp</i>	EU9999	<i>Synedra acus var angustissima</i>	SY003C
<i>Fragilaria construens var venter</i>	FR002C	<i>Synedra tenera/nana</i>	FR060A
<i>Fragilaria crotonensis</i>	FR008A	<i>Synedra rumpens</i>	FR009G
<i>Fragilaria elliptica</i>	FR018A	<i>Synedra ulna</i>	SY001A
<i>Fragilaria exigua</i>	FR064A	<i>Tabellaria flocculosa (long)</i>	TA9998
		<i>Tabellaria flocculosa (short)</i>	TA9997

Vanemfjorden 2005 og 2006	DiatCode		
<i>Achnanthes clevei</i>	AC006A	<i>Fragilaria parasitica var subconstricta</i>	FR045E
<i>Achnanthes flexella</i>	AC025A	<i>Fragilaria pinnata</i>	FR001A
<i>Achnanthes helvetica</i>	AC134A	<i>Fragilaria pseudoconstruens</i>	FR056A
<i>Achnanthes impexa</i>	AC153A	<i>Fragilaria vaucheriae</i>	FR007A
<i>Achnanthes lanceolata</i>	AC001A	<i>Frustulia rhomboides</i>	FU002A
<i>Achnanthes linearis</i>	AC002A	<i>Gomphonema accuminatum</i>	GO006A
<i>Achnanthes marginulata</i>	AC022A	<i>Gomphonema gracile</i>	GO004A
<i>Achnanthes minutissima</i>	AC013A	<i>Gomphonema parvulum</i>	GO013A
<i>Achnanthes oestrupii</i>	AC007A	<i>Gyrosigma accuminatum</i>	GY005A
<i>Achnanthes pusilla</i>	AC035A	<i>Navicula arvensis</i>	NA038A
<i>Achnanthes subatomoides</i>	AC136A	<i>Navicula cocconeiformis</i>	NA032A
<i>Achnanthes suchlandtii</i>	AC034A	<i>Navicula cryptocephala</i>	NA007A
<i>Achnanthes ventralis</i>	AC161A	<i>Navicula cryptotenella</i>	NA751A
<i>Amphora libyca</i>	AM011A	<i>Navicula gregaria</i>	NA023A
<i>Amphora veneta</i>	AM004A	<i>Navicula joubardii</i>	NA462A
<i>Asterionella formosa</i>	AS001A	<i>Navicula cf. medioconvexa</i>	NA142A
<i>Aulacoseira ambigua</i>	AU002A	<i>Navicula minima</i>	NA042A
<i>Aulacoseira granulata</i>	AU003D	<i>Navicula pupula</i>	NA014A
<i>Aulacoseira granulata var angustissima</i>	AU003B	<i>Navicula radiosa</i>	NA003A
<i>Aulacoseira subarctica</i>	AU020A	<i>Navicula rhyncocephala</i>	NA008A
<i>Brachysira vitrea</i>	BR001A	<i>Navicula seminulum</i>	NA005A
<i>Cyclostephanos dubius</i>	CC001A	<i>Navicula subcostulata</i>	NA053A
<i>Cyclotella krammeri</i>	CY054A	<i>Navicula subtilissima</i>	NA033A
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	CY003A	<i>Navicula sp.</i>	NA9999
<i>Cyclotella pseudostelligera</i>	CY002A	<i>Navicula submuralis</i>	NA166A
<i>Cyclotella radiosa</i>	CY019A	<i>Navicula tenelloides</i>	NA675A
<i>Cyclotella stelligera</i>	CY004A	<i>Nitzschia acicularis</i>	NI042A
<i>Cymbella cesatii</i>	CM015A	<i>Nitzschia agnita</i>	NI063A
<i>Cymbella cymbiformis</i>	CM007A	<i>Nitzschia commutata</i>	NI011A
<i>Cymbella gracilis</i>	CM018A	<i>Nitzschia dissipata</i>	NI015A
<i>Cymbella minuta</i>	CM031A	<i>Nitzschia hungarica</i>	NI007A
<i>Cymbella sp</i>	CM9999	<i>Nitzschia gracilis</i>	NI017A
<i>Diatoma tenuis</i>	DT004A	<i>Nitzschia palea</i>	NI009A
<i>Diploneis elliptica</i>	DP009A	<i>Nitzschia sublinearis</i>	NI024A
<i>Diploneis marginestriata</i>	DP012A	<i>Nitzschia sp.</i>	NI9999
<i>Eunotia bilunaris</i>	EU070A	<i>Pinnularia intermedia</i>	PI047A
<i>Eunotia implicata</i>	EU107A	<i>Pinnularia nodosa</i>	PI042A
<i>Eunotia incisa</i>	EU047A	<i>Pinnularia subcapitata</i>	PI022A
<i>Eunotia pectinalis var undulata</i>	EU002D	<i>Pinnularia sp.</i>	PI9999
<i>Eunotia sp</i>	EU9999	<i>Surirella angusta</i>	SU001A
<i>Fragilaria brevistriata</i>	FR006A	<i>Surirella minuta</i>	SU016A
<i>Fragilaria capucina var mesolepta</i>	FR009B	<i>Synedra acus var angustissima</i>	SY003C
<i>Fragilaria construens fo exigua</i>	FR002D	<i>Synedra pulchella</i>	SY008A
<i>Fragilaria construens var binodis</i>	FR002B	<i>Synedra tenera/nana</i>	FR060A
<i>Fragilaria construens var venter</i>	FR002C	<i>Synedra rumpens</i>	FR009G
<i>Fragilaria crotonensis</i>	FR008A	<i>Synedra ulna</i>	SY001A
<i>Fragilaria elliptica</i>	FR018A	<i>Tabellaria flocculosa (long)</i>	TA9998
<i>Fragilaria exigua</i>	FR064A	<i>Tabellaria flocculosa (short)</i>	TA9997

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no