

Radiologisk datering av nyere sedimenter — Eksempel fra Vansjø

av J. H. Augustson, T. Hauger, E. Kvåle, O. K. Skogheim

J. H. Augustson er cand. real fra Universitetet i Oslo med hovedfag i kjemi. Forsker ved Forsvarets forskningsinstitutt, Avd. for fysikk.

T. Hauger er siv. ing. fra NTH. Overingeniør ved Plan- og utbygningsavdelingen i Østfold Fylkeskommune.

E. Kvåle er cand. real fra Universitetet i Oslo med hovedfag i kjemi. Univ.lektor ved Kjemisk Institutt, Avd. for kjerne-kjemi ved Universitetet i Oslo.

O. K. Skogheim er cand. real fra Universitetet i Oslo med hovedfag i limnologi. Forsk. stip. (NAVF) ved Avd. for Limnologi ved Universitetet i Oslo.

1. INNLEDNING

Innsjøsedimenter dannes som resultat av naturlige og antropogene prosesser i innsjøers nedbørsfelt, i innsjøen og i sedimentet. Følgelig gjenspeiler og karakteriserer sedimentet disse prosesser, og i en viss utstrekning forandring i intensiteten av disse. Sedimentstudier gjennomføres ut fra mange synsvinkler, men oftest innen felter som biogeokjemiske sykluser, paleolimnologi eller i tilknytning til hydrodynamiske studier. Sedimentstudier har ofte et «anvendt» aspekt, idet de gir beskjed om antropogene effekter på innsjøer. Sedimenter er vist å representere et enestående materiale for studier av forandring i miljøet, og har derfor stor relevans til miljøkontroll (f.eks. Håkanson 1977).

Horisontale og vertikale variasjoner i fysiske, kjemiske og biologiske parametre i sedimenter er ofte vanskelig eller helt

umulige å tolke uten å kjenne størrelsesorden av eller helst variasjonene i sedimentasjonshastigheten. Denne helt fundamentale parameteren er bare sjelden med i sedimentundersøkelser. Dette skyldes i første rekke mangel på lett tilgjengelige og gode metoder. Bare i sjeldne tilfeller er det funnet gode tidsmarkører i sedimenter: diatoméer, tungmetallforurensning, biocider, pollen, skred etc. Det er imidlertid i de seinere år blitt tatt i bruk radiologiske metoder for datering (Koide et al 1972, Pennington et al 1973).

Her skal behandles to uavhengige metoder for bestemmelse av sedimentasjonshastigheten i nyere sedimenter:

— 0—20 år. ^{137}Cs stammer fra kjernevåpensprengninger, og har forekommet i varierende konsentrasjon i atmosfæren hovedsakelig siden 1954.

— 20—150 år. ^{210}Pb produseres naturlig i atmosfæren ved nedbryting av ter-
rigent ^{222}Rn .

Disse to metodene er blitt brukt på
sedimenter fra innsjøen Vansjø i Østfold
i forbindelse med et forskningsprosjekt
hvor ca. 50 kjemiske parametre er blitt
analysert.

2. LOKALITETEN

Vansjø ligger i den sør-vestlige del av
Østfold fylke. Innsjøen er demmet opp
av «Raet», — en sammenhengende mo-
renerygg som strekker seg fra Moss og
syd-østover mot Halden. Vansjø er en
relativt grunn innsjø, og karakteriseres
ved en meget uregelmessig form med
mange bukter og fjorder. De viktigste
tilløpselvene er Hobøelva, Veidalselva,
Trollhetta og Svindalselva, hvorav Ho-
bøelva er den største. Morfometriske
data fremgår av tabell 2.1.

Nedbørsfeltet ligger innen det syd-øst-
norske grunnfjellsområde, og berggrunnen
er hovedsakelig bygd opp av gneis og
granittbergarter. Det meste av nedbørs-
feltet ligger under den marine grense,
og jordbunnen består hovedsakelig av
marin leire og morene.

Vansjø er i dag sterkt belastet med hus-
holdningskloakk og forurensede tilsig fra
dyrket mark og gårdsbruk. Den indu-
strielle forurensningen er imidlertid liten.
Mer enn 75% av forurensningene tilføres
via Hobøelva.

Konsentrasjonen av næringssalter er
mer enn fordoblet i løpet av de siste
15 år, og Vansjø har i samme periode
gjennomgått en rask eutrofiering. I dag
skaper den høye primærproduksjon i inn-
sjøen betydelig ulemper for de fleste
brukergrupper.

3. METODER

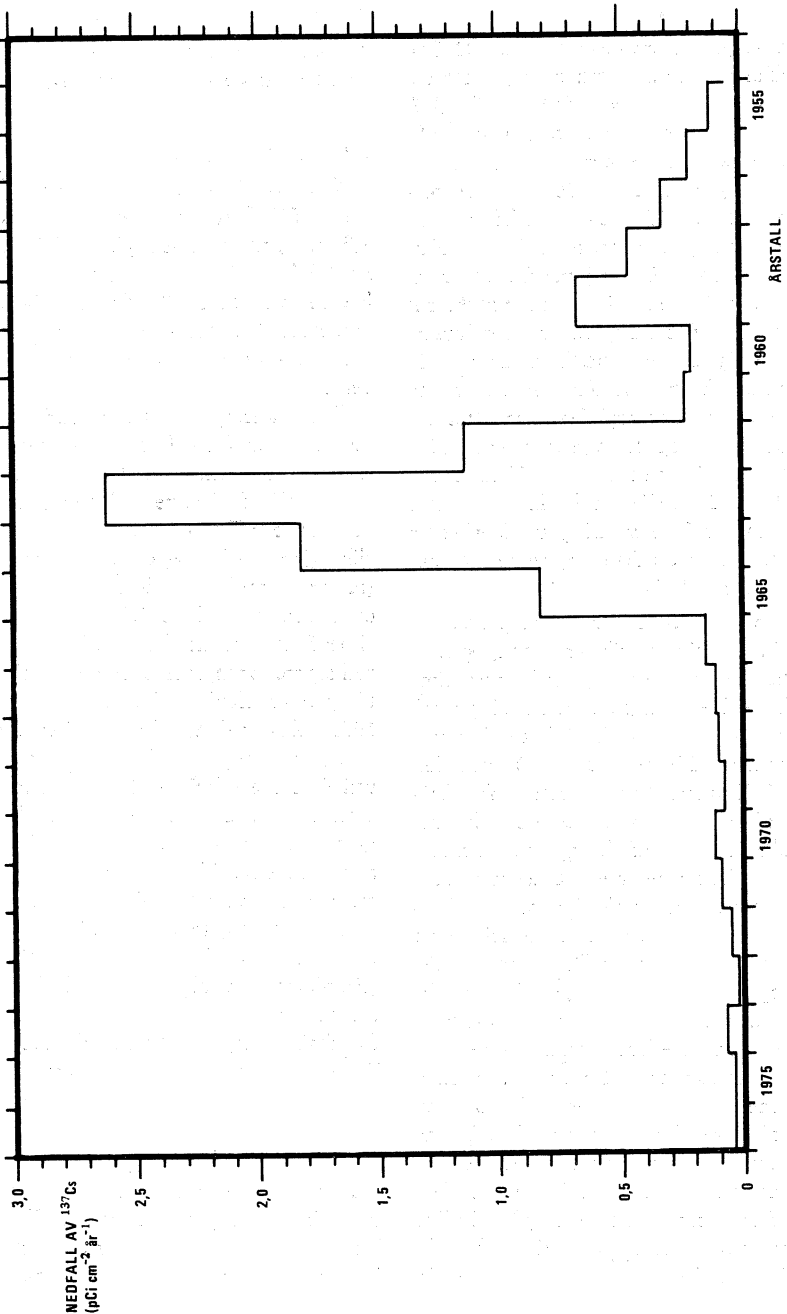
3.1 Prøvetaking

I september 1977 ble 15 sediment-
kjerner tatt fra forskjellige lokaliteter i
Vansjø. På 34,5 m dyp i Storfjorden
(hovedbassenget) ble det tatt to parallelle
kjerner, hvorav en er brukt til kjemiske
analyser og til dateringsanalyser. Sedi-
mentkjernene ble tatt i acrylrør med
indre diameter 44 mm ved hjelp av en
sedimenthenter som er beskrevet av
Skogheim (upublisert). Sedimentkjernene
ble etter 1 døgns lagring (mørkt, 4°C)
delt i generelt 1 cm tykke, horisontale
sjikt. Sedimentet for datering ble tørket
i 1 døgn ved 110°C før analyse på ^{137}Cs
og senere ^{210}Pb .

3.2 Dateringsmetoder

3.2.1 Bakgrunn

^{137}Cs -dateringsmetoden utnytter de be-
tydelige mengder med radioaktivt nedfall
som kom etter kjernevåpenprøvene i at-
mosfæren i perioden 1954 til 1966. Som
kjent dannes etter kjernespalting (fisjon)
av uran og plutonium en rekke radio-
aktive isotoper (nuklider), og en del av
disse har lengre halveringstider. Blant de
best studerte og mest radiotoksiske er
 ^{137}Cs ($t_{1/2} = 30$ år). På grunn av sin γ -
utsendelse er nukliden lett å detektere
selv når denne forekommer i så analytisk
besværlig matrikser som eksempelvis or-
ganisk vev, næringsmidler og jordsmonn.
Etter at avtalen av 1963 mot våpenprøver
i atmosfæren ble effektiv, har mengdene
av nedfallet inklusive ^{137}Cs avtatt i
Norge og i andre land. På figur 3.1 er vist
en kurve over beregnet årlig nedfall av
 ^{137}Cs over Rygge i perioden 1957—76
basert på målinger av Hvinden (1966—
1978). Nedfallsforløpet er beregnet slik



Figur 3.1 Beregnet nedfall av ^{137}Cs på Rygge i årene 1955—76

som angitt av Augustson et al, (1978). Nedfallsdata er dessuten korrigert for desintegrasjon av ^{137}Cs i forhold til 1977, d.v.s. at resultatet fremstår som om målingene hadde være foretatt i 1977.

En legger merke til de markerte nedfallsmaksima i 1959 og 1963. Tilsvarende forløp er registrert andre steder i landet. Tar man en sedimentkjerne fra en innsjø og sjikter denne lagvis og måler innholdet av ^{137}Cs i hvert sjikt, kan måleresultatene sammenlignes med nedfallsmålinger tilsvarende figur 3.1. En vil da kunne fastlegge sedimenttykden for årstallet 1963, og av og til også for året 1959. Metoden gir dermed to tidsreferansepunkter. Et tredje punkt kan fastlegges hvis en tar i betraktning at signifikante mengder av ^{137}Cs ikke opptrådte i atmosfæren før i 1954.

^{210}Pb -metoden er mer komplisert og arbeidsintensiv enn ^{137}Cs -metoden, og slike bestemmelser utføres så vidt vites ikke i Norge. Metoden gir best dateringsresultater fra 20—150 år tilbake i tiden. Nukliden ^{210}Pb ($t_{1/2}$ 22,3 år) som finnes i litosfæren transporteres fra bakken til atmosfæren for senere å komme tilbake som nedfall, og sedimenterer bl.a. i innsjøene med tilnærmet konstant rate. Det totale innhold av ^{210}Pb i innsjøsedimentene er imidlertid også bestemt av et visst ^{210}Pb -bidrag fra desintegrasjon av ^{226}Ra i sedimentene fra den naturlige radioaktive ^{238}U -serien. Differansen mellom totalinnholdet av ^{210}Pb i sedimenter og bidraget fra desintegrasjonen av ^{226}Ra er et mål for den atmosfæriske deponisjon av ^{210}Pb . Denne ^{210}Pb -fraksjonen vil avta nedover i en sedimentkjerne i henhold til halveringstiden. Ved å måle totalinnholdet av ^{210}Pb i ulike sedimentlag, samtidig som bidraget av ^{210}Pb fra ^{226}Ra bestemmes, kan en ved hjelp

av den kjente halveringstid for ^{210}Pb bestemme når de ulike sedimentlag oppsto.

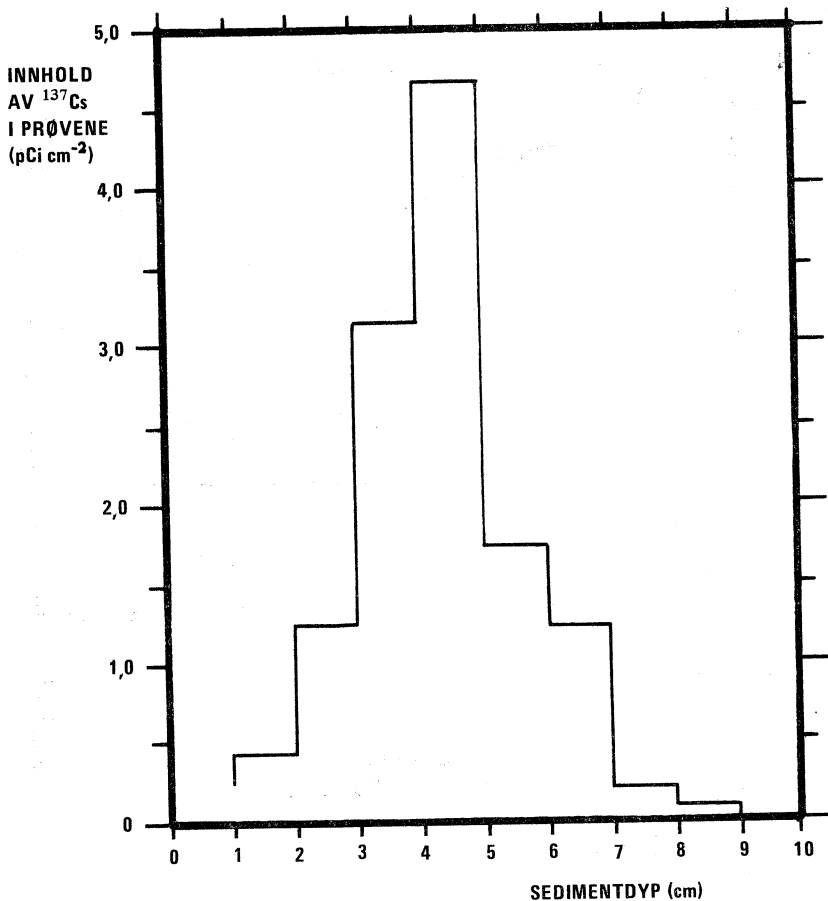
3.2.2 Eksperimentelt

Nukliden ^{137}Cs emitterer γ -kvanter med energi 662 KeV som detekteres i 0,5—1,0 cm tykke sedimentsjikt ved hjelp av lavaktivitets γ -spektrometrisystemer. Det ble benyttet en $3''\times 3''$ Na (Tl) I-scintillasjonsdetektor sammen med en 400 kanalers manglekanalanalysator til γ -målingene.

^{210}Pb -dateringene i foreliggende arbeid ble utført av J. D. Eakins og medarbeidere ved det engelske kjerneforsknings-senter AERE, Harwell. Bestemmelse av det totale ^{210}Pb -innhold i et sediment-sjikt gjøres ved å separere ^{210}Po -nukliden (datter av ^{210}Pb) ved destillasjon, og deretter å måle α -radioaktiviteten fra denne. Etter å ha bestemt det kjemiske utbyttet ved separasjonen, kan en regne seg tilbake til ^{210}Pb -innholdet (Pennington et al 1976). Den del av ^{210}Pb -aktiviteten som skyldes desintegrasjon fra ^{226}Ra bestemmes ved å separere ^{226}Ra ved medfelling med bariumsulfat, og deretter måle dennes α -aktivitet etter at radiokjemisk likevekt med datternuklidene er inntrådt etter ca. 3 ukers ventetid. Etter bestemmelse av kjemisk utbytte ved separasjonen kan en regne seg frem til ^{210}Pb -innholdet (Pennington et al op cit). Differansen mellom totalinnholdet av ^{210}Pb og bidraget fra desintegrasjon av ^{226}Ra gir som tidligere nevnt den ønskede nettoverdi.

4. RESULTATER

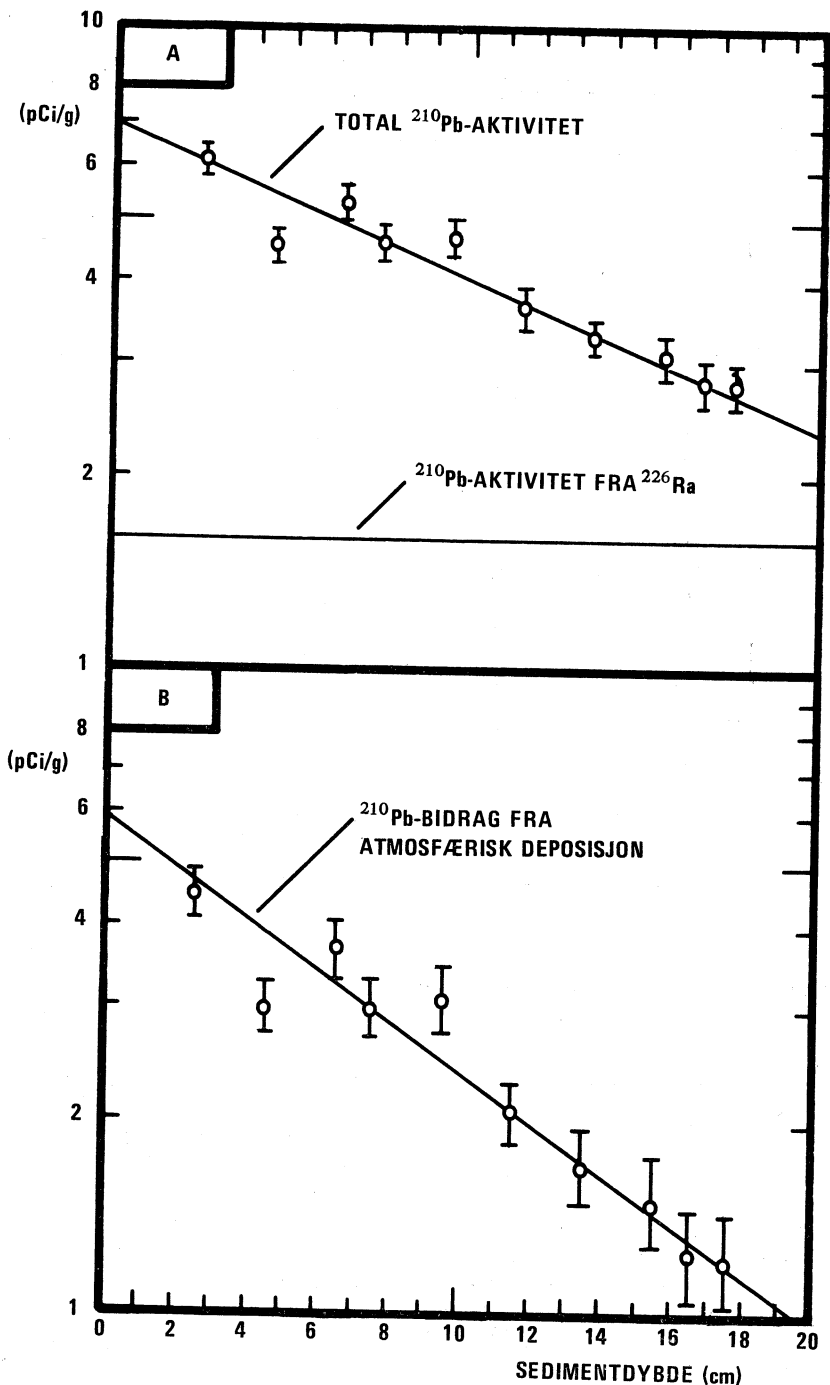
På figur 4.1 er vist ^{137}Cs -aktiviteten i 1 cm sjikt i sedimentkjernen fra Vansjø. En vil ved sammenligning med nedfallskurven på figur 3.1 kunne fastlegge års-



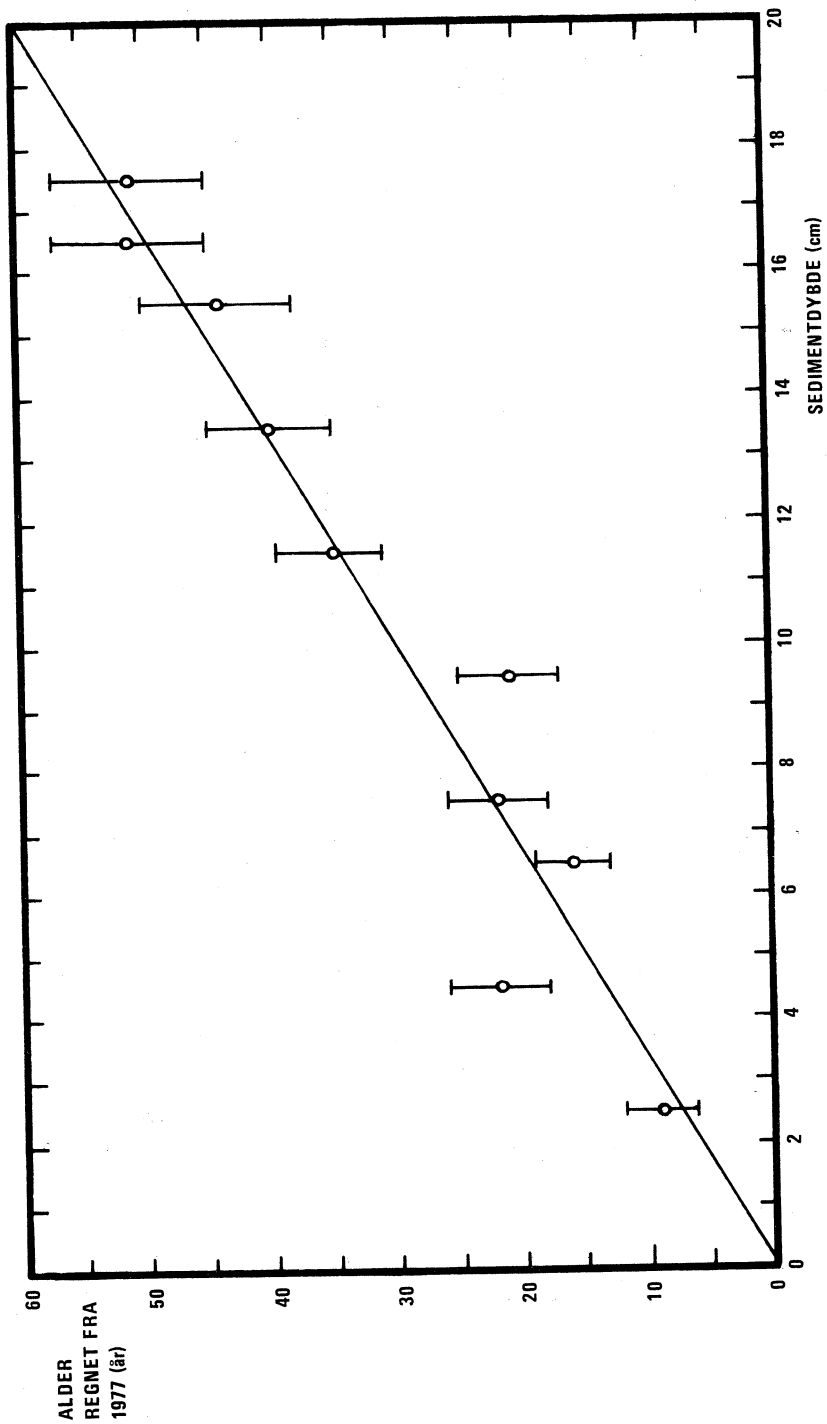
Figur 4.1 Innhold av ¹³⁷Cs i ulike sedimentlag

tallet 1963. En sedimentdybde på ca. 4,5 cm skal da svare til året 1963 ± 2. En ser videre at sjiktet 6—7 cm på figur 4.1 danner en liten «skulder» på histogrammet, og ved en 0,5 cm sjikting på kjernen i stedet for 1 cm ville 1959-toppen (konf. figur 3.1) her ha trådt tydeligere frem. Ca. 6,5 cm sedimentdybde svarer derfor til årstallet 1959 ± 2. An-

tar en at signifikante mengder ¹³⁷Cs først forekom i 1954, skulle ca. 8,5 cm sedimentdyp svare til året 1954 ± 3. Under forutsetning av at den årlige sedimentasjon er konstant etter 1954 og fremover, gir de tre tidsangivelsene sammen med at 0 cm svarer til 0 år en sedimentasjons-hastighet på 0,34 ± 0,04 cm/år.



Figur 4.2 A: Total ^{210}Pb -aktivitet og ^{210}Pb -aktivitet fra ^{226}Ra i ulike sedimentdyp
 B: ^{210}Pb -bidraget i ulike sedimentdyp forårsaket av atmosfærisk deposisjon.



Figur 4.3 Tid-dyp relasjon for ^{210}Pb -datering av sedimentkjerne fra Vansjø.

På figur 4.2 er vist totalinnholdet av ^{210}Pb og dessuten ^{210}Pb -bidraget fra ^{226}Ra som funksjon av sedimentdybden i samme kjerne. På figur 4.3 er vist den resulterende tid-dyp relasjonen for ^{210}Pb -dateringene. En lineær regresjon på dette materialet gjennom orgio gir en sedimentasjons hastighet på $0,34 \pm 0,02$ cm/år.

5. DISKUSJON

De to dateringsmetoder gir resultater med god innbyrdes overensstemmelse. ^{137}Cs -metoden og ^{210}Pb -metoden utfyller hverandre, og gir dessuten god overlapping 15—20 år tilbake i tiden.

^{137}Cs -metoden hviler på en del vesentlige forutsetninger. Elementet cesium er sterkt assosiert til sedimentet slik at minimal vertikal migrering av ^{137}Cs forekommer i kjernen (Pennington et al 1973). Videre bør ikke sedimentlagene ha vært utsatt for bioturbasjon (bunndyraktivitet). Resuspensjon av sedimentet kan også bidra til å redusere mulighetene for å få en vertikal fordeling av ^{137}Cs i kjernen som svarer til nedfallsforløpet (figur 3.1). Foreliggende kjerne ble tatt opp fra et av innsjøens dypeste partier, hvor bioturbasjon og resuspensjon av sedimentet er av mindre betydning.

Ved vurdering av vertikal fordeling av ^{137}Cs i sedimentet må også tas hensyn til ulik grad av konsolidering av sediment-sjiktene. Konsolideringsgraden kan f.eks. uttrykkes ved vanninnholdet. Fra 0—3 cm sedimentdybde sank vanninnholdet i foreliggende kjerne til et nivå som ble bevart dypere ned i sedimentet, og får dermed ikke konsekvenser for dateringsresultatene.

I hvilken grad nedfall av ^{137}Cs er synkronisert med sedimentert ^{137}Cs er uklart. ^{137}Cs holdes imidlertid effektivt tilbake i

jordsmonnet gjennom assosiasjon til humus og mineralisk materiale. Filtreringsforsøk med ^{137}Cs gjennom råhumus samt sedimentasjonsforsøk med leiresuspensjoner viser at $>99\%$ av ^{137}Cs holdes tilbake av nevnte jordbunnsmaterialer (Lillegraven og Garder 1967). Overflateavrenning og nedfall direkte på innsjøen må derfor antas å representere den vesentligste tilførsel av ^{137}Cs til innsjøen. Sammenholdes disse relative hurtige tilførsler med en teoretisk oppholdstid for Vansjø på 280 dager (tabell 2.1), synes nedfall av ^{137}Cs og sedimentert ^{137}Cs å være synkroner innenfor 1—2 år. Dette ligger imidlertid klart innenfor måleusikkerheten.

Summeres innholdet av ^{137}Cs i de målte sjikt (figur 4.1) over hele sedimentvolumet, finner en totalt ca. 13 pCi/cm² i kjernen. En summasjon av årlig nedfall av ^{137}Cs i perioden 1955—76 (figur 3.1) gir et totalt nedfall på ca. 10 pCi/cm². På bakgrunn av måleusikkerhetene, og ikke minst de komplekse prosesser som definerer ^{137}Cs -innholdet i sedimentene, synes overensstemmelsen mellom nedfall og gjenfunnet ^{137}Cs å være god.

For å oppnå gode dateringer bør sedimentasjons hastigheten i innsjøen verken være for høy eller for lav, idet høy sedimentasjons hastighet (> 15 mm/år) gir for lav spesifikk aktivitet av ^{137}Cs i prøvene. For lav hastighet (< 1 mm/år) er også ugunstig på grunn av praktiske vanskeligheter med å inndele en kjerne i tynnere sjikt enn ca. 0,5 cm.

^{137}Cs -metoden egner seg godt for rutinebestemmelser, da den er relativt enkel å utføre, men krever til gjengjeld kostbart måleutstyr.

For ^{210}Pb -metoden danner 3 faktorer begrensninger i anvendelsen:

— halveringstiden for ^{210}Pb er relativt kort (22,3 år), noe som fører til at

metoden blir usikker på materiale eldre enn 120 år.

- for høy sedimentasjonshastighet gir for lavt spesifikt innhold av ^{210}Pb i sedimentet
- for høyt ^{210}Pb -bidrag fra radiumrike mineraler i sedimentet gjør at det ønskede bidraget fra atmosfærisk deponisjon forsvinner i sammenligning.

Resultatene fra ^{210}Pb -dateringene på kjernen fra Vansjø synes å imøtekomme kravene. Bidraget av ^{137}Pb fra ^{226}Ra utgjør riktignok en ikke ubetydelig del av det kravene. Bidraget av ^{137}Pb fra ^{226}Ra utgjør gjengjeld ligger sedimentasjonshastigheten i et gunstig område, slik at presise dateringer er mulig. Tid-dyp relasjonen (figur 4.3) gir forøvrig lite avvik fra et lineært forløp, idet korrelasjonskoeffisienten er beregnet til 0,97.

Tabell 2.1 *Morfometriske data for Vansjø*

Nedbørsfeltets areal	690 km ²
Innsjøens overflateareal	35,8 »
Innsjøens volum	263,9 mill m ³
Midlere dyp	7,4 m
Største dyp	41 »
Teoretisk oppholdstid	280 døgn

LITTERATUR

- Håkansson, L., (1977): Sediments as indicators of contamination. SNV PM839-NLU Rapport 92. Statens Naturvårdsverk.
- Koide, M., Sontar, A. og Goldberg, E. D., (1972): Marine geochronology with ^{210}Pb , Earth and Planetary Science Letters 14: 422—446.
- Pennington, W., Cambray, R. S. og Fisher, E. M., (1973): Nature, Vol 242, pp324—326.
- Hvinden, T., (1966): Radioactive fallout in Norway 1965, Intern rapport F-475, Forsvarets forskningsinstitutt.
- Hvinden, T., (1978): (Under utgivelse).
- Augustson, J. H., Lillegraven, A. L. og Brattebø, H., (1978): Datering av innsjø-sedimenter ved ^{137}Cs -målinger, Intern rapport F-661, Forsvarets forskningsinstitutt.
- Pennington, W., Cambray, R. S., Eaking, J. D. og Harkness, D. D., (1976): Freshwater Biology 6, pp 317—331.
- Lillegraven, A. og Garder, K., (1967): Vannrensing med jordbunnsmaterialer og enkle metoder. Intern rapport F-486, Forsvarets forskningsinstitutt.