

# Sedimentenes egenskaper og rolle ved sanering/restaurering av Årungen

Av Odd K. Skogheim

Odd K. Skogheim er cand.real. fra Universitet i Oslo 1975.  
Forsker ved Fiskeforskningen/DVF.

*Innlegg holdt på seminar i Norsk Vannforening 25. august 1981.*

## 1. INNSJØENS EUTROFIERING OG TILSTAND

I løpet av en 50-års periode har Årungen utvikla seg fra en oligo-mesotrof tilstand til en hypertrof tilstand. Den hypertrofe tilstanden har vart i ca. 20 år (Skogheim og Erlandsen 1981). Det er fosfor som er hovedelementet i denne utviklingen og når det gjelder sanering/restaurering må hovedvekta legges på dette næringsemnet. I denne artikkelen skal særlig behandles omsetning av fosfor i sedimentene og den rolle sedimentene kan spille ved en sanering/restaurering av innsjøen.

I den hypertrofe perioden har den eksterne belastningen av fosfor vært av størrelsesorden 10–12 gP/m<sup>2</sup> år. Dette har resultert i en ekstremt høyprimærproduksjon og fytoplanktonbiomasse (Figur 1). Innsjøen er 13,2 m dyp og den blir utpreget termisk sjiktet i den islagte perioden og om sommeren (Figur 1). Den store produksjonen av organisk materiale resulterer i oksygendefisit og anaerobe forhold i hypolimnion i stagnasjonsperiodene (Figur 1). Den eksterne belastningen av fosfor ble fra 1978 redusert med ca. 50%. (Rosland og Grøte-

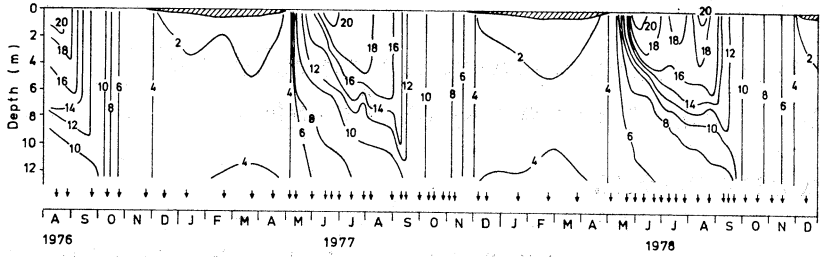
rud 1981). Dette har imidlertid ikke resultert i målbare endringer i innsjøens trofigrad. Dette er illustrert med variasjonene i siktedyp og fosforfraksjoner i perioden 1976–1980 (Figur 2).

Det samme har skjedd med Årungen som med så mange innsjøer som har vært eutrofiert gjennom en noe lengre periode: Sedimentene har akkumulert organisk materiale og næringssalter og ved en sanering av nedbørfeltet motvirker sedimentene en rask forbedring av vannkvaliteten som en kunne forvente ut fra en enkel hydraulisk fortynningsmodell for eksempel fosfor. I tillegg til den interne gjødslinga av innsjøen må det understrekes at den eksterne belastningen av fosfor fortsatt er ekstremt høy; ca. 6 ganger større enn den antatte naturlige belastning. Ved dagens belastning bør innsjøen fortsatt være eutrofiert ut fra enkle empiriske eutrofiseringsmodeller (Vollenweider 1976).

For mange innsjøer er det vist at sedimentene kan virke som en buffer mot forandring av trofigrad ved reduksjon av den eksterne belastningen (Bengtsson 1978, Emery et al. 1974, Imboden og Emerson 1977).

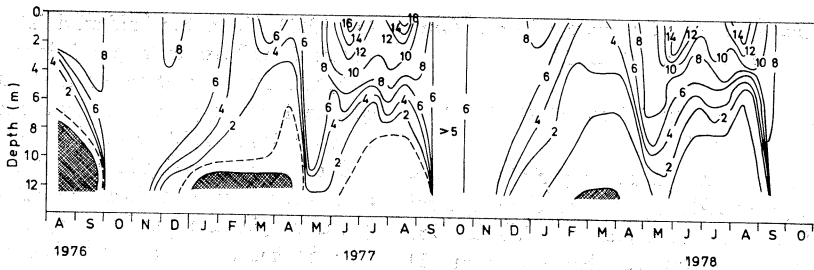
Det er ennå ikke mulig å gi en kvantitativ prognose for sedimentenes framtidige betydning for utviklinga av Årun-

**A. TEMPERATURE (°C)**



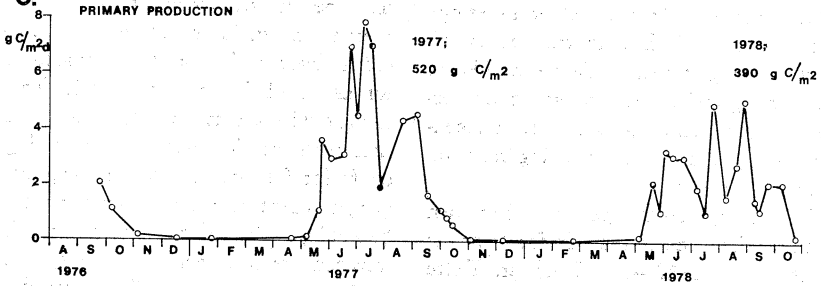
Ice - cover  
 | | | Observation

**B. DISSOLVED OXYGEN ( mg O<sub>2</sub>/l )**

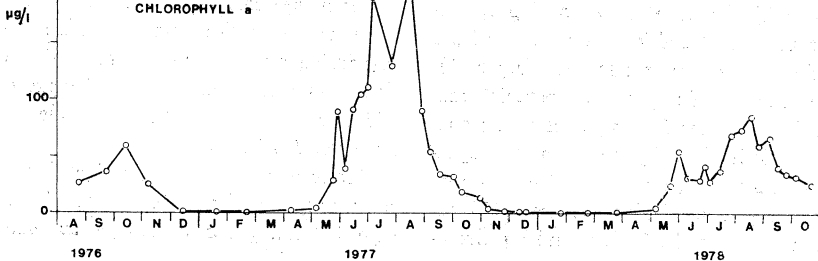


H<sub>2</sub>S ( - - - 0.2 mg O<sub>2</sub>/l )

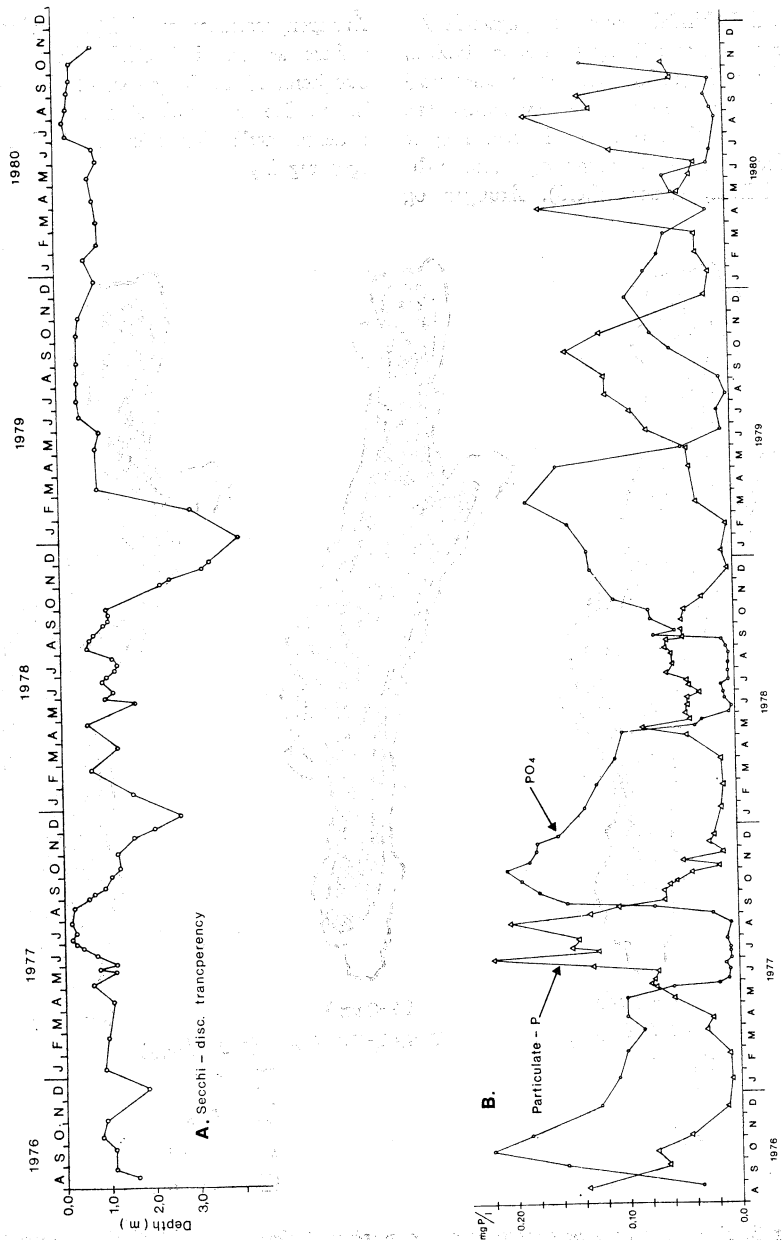
**C. PRIMARY PRODUCTION**



**D. CHLOROPHYLL a**



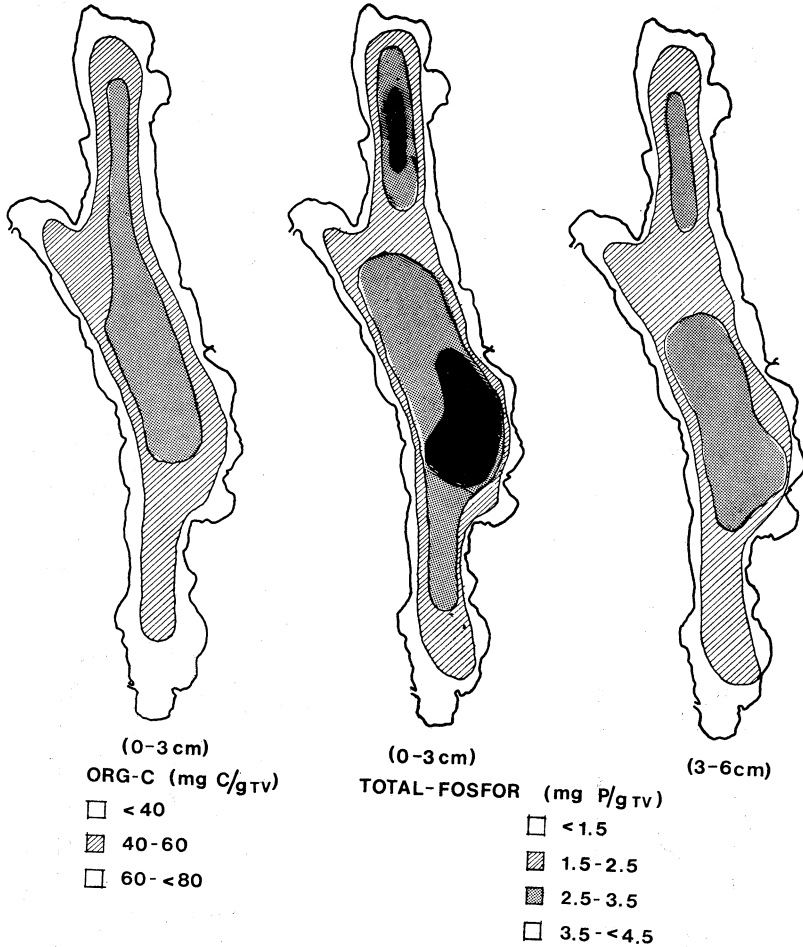
Figur 1. Data for Arungen i perioden 1976—1978 A: Isopletdiagram for temperatur. B: Isopletdiagram for oksygenkonsentrasjon. C: Primærproduksjon. D: Klorofyll a (middelverdi for sjiktet 0—2 m).



Figur 2. Data for Årungen i perioden 1976—1980. A: Tidsvariasjon i siktedyp  
 B: Tidsvariasjon i fosforkonsentrasjoner for sjiktet 0—2 m.

gen. I forbindelse med det pågående Årungenprosjektet (Borgstrøm et al. 1980 a) og som hovedfagsoppgaver i limnologi utføres omfattende studier av sedimentet. Bl.a. er årstidsvariasjonen i utveksling av fosfor mellom sediment og vann målt (S. Nilsen, under arbeid). Årungen og

Årungenprosjektet er tidligere behandlet i flere artikler i VANN (Andersen og Skogheim 1980, Borgstrøm et al. 1980 a, b, c). De synspunkter som framlegges i denne artikkelen står for forfatterens egen regning.



Figur 3. Fordeling og konsentrasjon av organisk materiale og total-fosfor i sedimentene i Årungen.

## 2. SEDIMENTENES EGENSKAPER

I Figur 3 ses fordelingen av organisk materiale og total-fosfor i sedimentoverflata. Disse komponentene er stort sett fordelt som funksjon av dypet i innsjøen. Konsentrasjonen av organisk materiale er relativt låg (<15%), men den er likevel stor nok til at det er permanent anaerobe forhold like under sedimentoverflata (under 1—2 cm dyp) på større dyp enn ca. 8 m i innsjøen. På Figur 3 ses en betydelig akkumulering av fosfor i sedimentene i de sentrale dypere deler av innsjøen. Den «naturlige» konsentrasjonen av fosfor er <1.5 mg P/g TV.

For å illustrere sedimentenes betydning som fosfor-kilde i en periode med stabil termisk sjiktning i vannmassene er de forskjellige kildene beregnet i prosent av det som medgår til primærproduksjonen (Tabell 1).

Tabell 1.

*Fosfor-kilder til epilimnion i juli 1978 (termoklin 8 m dyp) i forhold til fosforforbruket ved primærproduksjonen (37 mg P/m<sup>2</sup> · d):*

Fra hypolimnion (eddy diffusion) —	4%
Ekstern tilførsel —	9%
Epilimniske sedimenter —	36%
Mineralisering i epilimnion —	51%

— Fosfortilførselen fra hypolimnion ved diffusjon og erosjon av termoklinen er ubetydelig i denne perioden på grunn av den stabile termiske sjiktningen. Ved fullsirkulasjonen etter endt stagnasjonsperiode er imidlertid fosfortilførselen fra hypolimnion større.

— Den eksterne tilførselen er ubetydelig i denne perioden.

— Frigjøring av fosfor fra de epilimniske sedimentene som følge av høy pH er betydelig.

— Som vist for en rekke innsjøer er imidlertid mineraliseringen i epilimnion en betydelig bidragsyter i perioder med utpreget termisk sjiktning. (f. eks. Bloesch 1974).

Det er tre hovedtyper av fosforutveksling mellom sediment og vann som skal behandles nærmere her:

Frigjøring ved høy pH

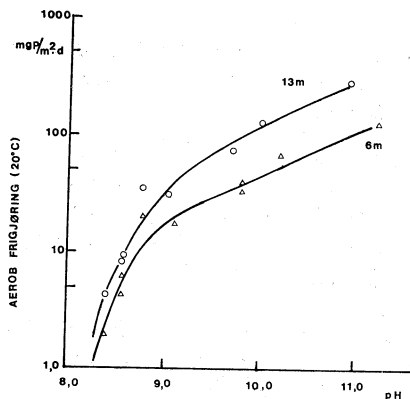
Frigjøring under anaerobe forhold

Opptak under aerobe forhold.

I tillegg vil resuspensjon av sediment frigjøring som følge av bioturbasjon (fysisk forstyrning av sediment ved intens bunndyraktivitet) og gassbobling periodevis kunne spille en rolle. Det må understrekes at betydningen av de forskjellige hovedtypene varierer sterkt gjennom året. Sedimentets bidrag til den interne fosforomsetning kan være svært stort til tross for at sedimentet på årsbasis ofte ikke virker som fosforkilde (se f.eks. Ahlgren 1973, Gächter 1976).

### Frigjøring av fosfor ved høy pH

I Figur 4 er vist at det foregår en stor frigjøring av fosfor ved høy pH. Prosessen begynner ved en terskelverdi på pH ca. 8.4. Denne prosessen er vist å gjelde for en rekke forskjellige typer innsjøer (Erlandsen et al. 1979). I perioder om sommeren med intens fotosyntese er dette en mulig årsak til betydelig intern gjødsling av det trofogene sjiktet.



Figur 4.

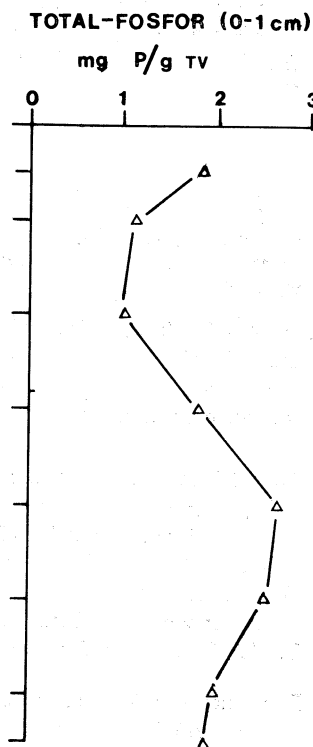
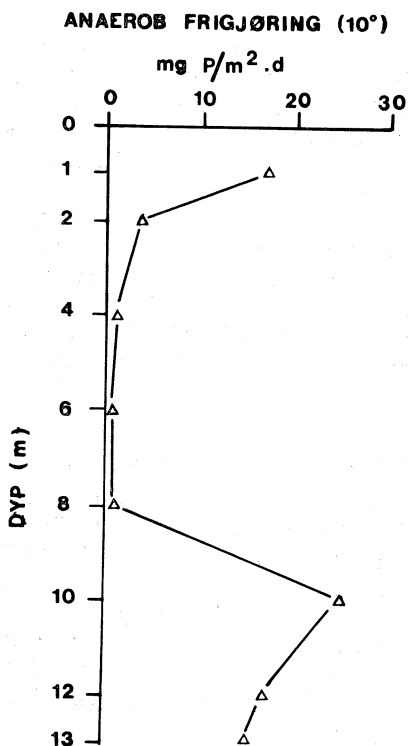
Aerob frigjøring av fosfat fra sedimentene i Årungen som funksjon av pH (Erlandsen et. al. 1979).

### Anaerob frigjøring av fosfor

I figur 5 er vist dybdefordeling av anaerob frigjøring av fosfor og fosforkonsentrasjon i overflatesedimentet for sedimentkjerner tatt i januar 1979. Det er sedimentene i littoralsonen og under 8 m dyp som avgir størst mengder fosfor. Også sedimentene på mindre dyp enn 8 m har denne egenskapen, men frigjøringen starter først når redokspotensialet blir lågere enn ca. + 200 mV. Dette inntreffer først

Figur 5.

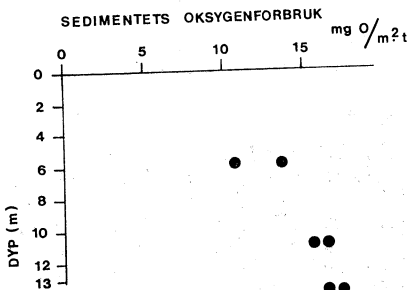
Vertikal fordeling av anaerob frigjøring av fosfat (ved 10°C) og konsentrasjonen av total-fosfor i overflatesedimentet i Årungen.



når alt nitrat er forbrukt. Forsøk med tilsetning av glukose har vist en økt frigjøring under anaerobe forhold som følge av lavere redokspotensial (Skogheim & Erlandsen, upubl.).

Det fosfor som frigjøres under anaerobe forhold i hypolimnion blir akkumulert der og deretter tilført de epilimniske vannmassene ved diffusjon, erosjon av sprangsjiktet og ved fullsirkulasjon.

I Figur 6 er vist sedimentets oksygenforbruk i tre dyp i innsjøen. Dette oksygenforbruket er så stort at det er anaerobe forhold like under sedimentoverflata (under 1—2 cm dyp). I vannmassene utvikles raskt et oksygenvinn og etter få uker er det anaerobe forhold når innsjøen er termisk sjikta.

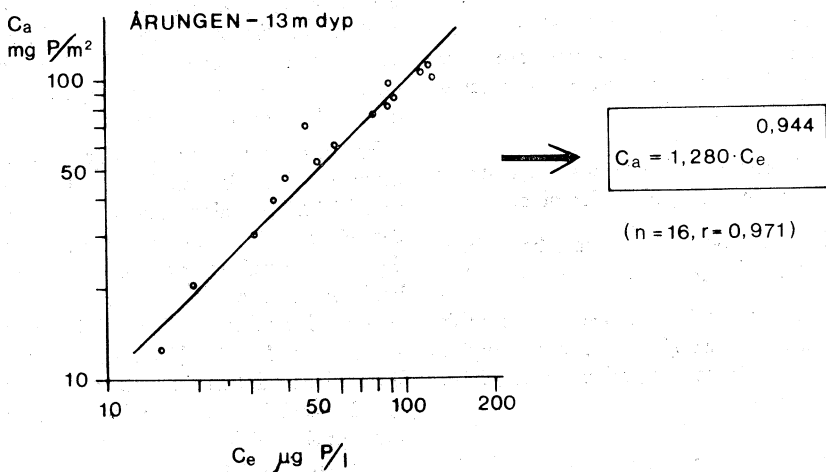


Figur 6.

Sedimentets oksygenforbruk i tre forskjellige dyp i Årungen (Prøvetaking 780710, inkuberingsstemperatur = 10°C).

### Aerob fosfor-utveksling

I Figur 7 er vist adsorpsjonen av fosfor ( $C_a$ ) ved forskjellige likevektskonsentrasjoner ( $C_e$ ). Sammenhengen kan beskrives ved en Freundlich adsorpsjonsisoterm av typen



Figur 7. Aerob optak av fosfat ( $C_a$ ) og den tilsvarende likevektskonsentrasjon av fosfat ( $C_e$ ).

$$C_a = K \cdot C_e^{1/n}$$

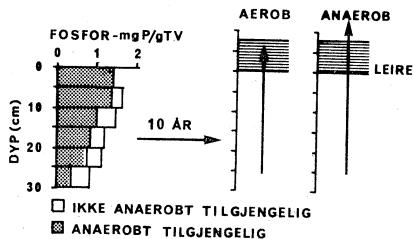
hvor K og n er konstanter. Når  $n \sim 1$  er denne funksjonen identisk med den lineære delen av Langmuiradsorpsjonen som ofte benyttes for å beskrive adsorpsjonen til leiremateriale. Denne adsorpsjonsegenskapen ved sedimentet skyldes i stor grad det uorganiske materialet, hvorav ca. 50% utgjøres av leire. Adsorpsjonen er en rask prosess og er dessuten reversibel. Dette betyr at sedimentpartikler raskt kan avgi og ta opp fosfor. Årungen tilføres store mengder leire som i stor grad sedimenterer i innsjøen. Sedimentasjonen av leire i den hypertrofe perioden var i gjennomsnitt  $550 \text{ g/m}^2 \cdot \text{år}$  på største dyp i innsjøen. Sedimentasjonen (netto) av fosfor var tilsvarende  $5 \text{ gP/m}^2 \cdot \text{år}$ . Under aerobe forhold, pH under ca. 8.4 og ved de aktuelle fosforkonsentrasjoner i Årungen synes sedimentet normalt å ta opp fosfor.

### 3. SEDIMENTETS ROLLE VED SANERING/RESTAURERING

Hvis sedimentet skal kunne bety mindre som en «buffer» mot forbedring av innsjøens vannkvalitet må det satses på tiltak som

1. reduserer mulighetene for frigjøring av fosfat ved høy pH i epilimnion.
2. hindrer utvikling av anaerobe forhold (her; redokspotensial  $< +200 \text{ mV}$ ).
3. reduserer sedimentasjonen av organisk materiale, men gjerne opprettholder den nåværende sedimentasjon av uorganisk materiale.

Punkt 2 og 3 er illustrert på Figur 8. På grunnlag av laboratorieforsøk (Skogheim, Kjensmo & Abry, unpubl.) er fram-



Figur 8.

Vertikal fordeling av totalfosfor (saltyrekestraberbart) og andel av anaerob tilgjengelig og ikke-tilgjengelig fosfor (Skogheim, Kjensmo og Abry, unpubl.). Figuren viser sedimentasjonen av uorganisk materiale i løpet av en 10-årsperiode og fosfats skjebne under aerobe og anaerobe forhold.

stilt den tilgjengelige mengden av fosfor under permanent anaerobe forhold. Hvis sedimentasjonen av uorganisk materiale fortsetter som nå mens mengda av organisk materiale avtar og vannet og sedimentoverflata er aerob, vil fosfor som er frigjort i sedimentet i stor grad kunne adsorberes i sedimentoverflata. I løpet av en 10-årsperiode er sedimentet på største dyp «vokst» med ca. 8 cm.

Hvordan hindre høy pH, stor sedimentasjon av organisk materiale og anaerobe forhold i hypolimnion? For det første må den eksterne belastningen ytterligere reduseres, dels ved tradisjonelle tiltak i nedbørfeltet, men også med mer utradisjonelle tiltak direkte i bekkene (f.eks. Borgstrøm et al. 1980 b). Dette bør forsøkes kombinert med tiltak direkte i innsjøen, for eksempel kontrollert utfisking (Borgstrøm et al. 1980 b, c).

Sjøl om disse tiltakene vil medføre at fosfor ikke frigjøres fra de epilimniske sedimentene, vil hypolimnion fortsatt i



mange år bli anaerob i stagnasjonsperiodene og dermed bety en intern gjødsling. En metode som sørger for en aerob hypolimnion og samtidig binder fosfor i sedimentene er oksydasjon av sedimentene med nitrat (denitrifikasjon) (Ripl 1976). Lufting av hypolimnion er en annen me-

tode som bør vurderes. Fjerning av sedimentene anses som urealistiske. Derimot bør en vurdere mulighetene for drenering av oksygenfritt og næringsrikt vann fra hypolimnion (Gächter 1976). Dirigert uttak av vanningsvann til jordbruket bør også vurderes.

#### REFERANSER

- Ahlgren, I. 1973. Limnologiska studier av sjön Norrviken III: Avlastningens effekter. *Scripta Limnologica Upsaliensis*, No. 333.
- Andersen, T. & Skogheim, O. K. 1980. Matematisk modell for Årungen. VANN nr. 1 b 1980, 63—65.
- Bengtsson, L. 1978. Effects of sewage diversion in Lake Södra Bergundasjön. I. Nitrogen and phosphorus budgets. *Vatten* 4, 2—9.
- Bloesch, J. 1974. Sedimentation und Phosphorhaushalt in Vierwaldstättersee (Horwer Bucht) und im Rotsee. *Schweiz. Z. Hydrol.* 36, 71—186.
- Borgström, R., Eie, J. A., Grøterud, O. & Skogheim, O. K. 1980 a. Eutrofiering- og forurensningsforskning i Årungen. VANN nr. 1 b 1980, 50—57.
- Borgström, R., Eie, J. A., Grøterud, O. & Skogheim, O. K. 1980 b. Klanlegging av sanerings- og restaureringstiltak for Årungen. VANN nr. 1 b 1980, 58—62.
- Borgström, R., Eie, J. A., Andersen, T. & Skogheim, O. K. 1980 c. Kontrollert utfisking — en metode til å bedre vannkvaliteten i Årungen. VANN nr. 4, 1980, 349—354.
- Emery, R. M. et al. 1974. Delayed recovery of a mesotrophic lake after nutrient diversion. *J. Water Poll. Contr. Fed.*, 45; 913—925.
- Erlandsen, A. H., Grøterud, O. & Skogheim, O. K. 1979. Intern tilførsel av fosfor i innsjøer ved høy pH. Rapport Inst. for hydroteknikk, NLH.
- Gächter, R. 1976. Die Tiefwasserableitung, ein Weg zur Sanierung von Seen. *Schweiz. Z. Hydrol.*, 38: 1—27.
- Imboden, D. M. & Gächter, R. 1978. A dynamic lake model for trophic state predictions. *Ecol. Modelling*, 4; 77—98.
- Ripl, W. 1976. Biochemical oxidation of Polluted lake sediment with Nitrate — A New Lake Restoration Method. *Ambio*, 5; 132—135.
- Rosland, F. & Grøterud, O. 1981. Vannbalanse og stofftransport, spesielt m.h.t. fosfor i Årungen nedbørfelt. Et forprosjekt. Manus. Ås-NLH, september 1981.
- Skogheim, O. K. & Erlandsen, A. 1981. The eutrophication of Lake Årungen as interpreted by paleolimnological records in sediment cores. Manus.
- Vollenweider, R. A. 1976. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 33; 53—83.