

Aktuelle vitenskapelige og praktiske oppgaver i norsk ferskvannsforskning

Universitetslektor Johannes Kjensmo

Universitetslektor Johannes Kjensmo er ansatt ved Universitetet i Oslo, Limnologisk institutt, hvor han for tiden er fungerende instituttbestyrer.

Prøveforelesning over oppgitt emne for den filosofiske doktorgrad ved Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet, holdt den 20. oktober 1967.

Hva er aktuelle vitenskapelige oppgaver i norsk ferskvannsforskning?

Når det gjelder grunnforskning, er naturligvis all forskning som bringer tilskudd til vår viten om ferskvannslokaliteter og deres livssamfunn aktuell, enten denne forskning pågår i Norge eller ikke.

I det følgende omtales derfor aktuelle vitenskapelige oppgaver som de oppgaver som bør tillegges spesiell vekt i fremtidig ferskvannsforskning i Norge. Nå er ferskvannsforskning i ordets videste betydning svært mangeartet, og de oppgaver som synes mest aktuelle for enkelte grunnforskere kan synes mindre betydningsfulle for andre. De synspunkter som legges frem i det følgende, må derfor bli preget av en viss subjektivitet. Jeg vil her referere hva Hutchinson (1963) skrev som innledning til kapitlet «The prospect before us» i boken *Limnology in North America*: «To consider the future of any science is a difficult and invidious task. All that the enthusiastic practioner can

do is to express certain hopes, and these will necessarily be subjective and somewhat one-sided.»

På grunn av den geografiske beliggenhet, landets topografi og geologiske sammensetning, gir Norge mange interessante forutsetninger for ferskvannsforskning. Dette kommer også tydelig til syne i de regionalundersøkelser over innsjøer som foreligger. Termisk for eksempel, finner vi i det sydlige Norge innsjøer som er like på grensen til å karakteriseres som subtropiske i Yoshimura's inndeling (et faktum som viser svakheten ved denne betegnelse), og vi finner virkelige subpolare innsjøer i høyfjellet. Landets topografi forårsaker dessuten store regionale variasjoner i innsjøenes og elvenes hydrologi. De varierende klimaforhold må i det hele tatt poengteres.

De varierende geologiske forhold setter et tydelig preg på ferskvannsføremkomstene. Fig. 1 viser spesifikk ledningsevne (målt som χ_{18}) i en del innsjøer i Syd-Norge. Innsjøer og elver får naturligvis tilført salter fra nedbør, og denne mengde varierer bl. a. med lokalitetenes avstand fra kysten. Dette fremgår tydelig fra kjemiske analyser av nedbør fra for-

skjellige stasjoner i Norge. Men oversikten i fig. 1 viser at den geokjemiske sammensetning har avgjørende betydning for vannets saltinnhold. Innsjøene som ligger i de karbonatrike kambro-silur bergartene på Hadeland (merket M, J og SKI i fig. 1) har et meget høyt saltinnhold i forhold til innsjøene i grunnfjellområdet lenger vest (SOK) og lenger øst (SKA, NU, ET og VS). Sparagmitten i Rondane (RO) og basalgneisen i det sydvest-norske grunnfjellsområdet (HO, STR, LO osv.) gir meget lite tilskudd til vannets elektrolyttinnhold. Innsjøer i det omvandlede kambro-silur området i Trøndelag (merket LV, HAM, HOK og MOV) får derimot tilført relativt mye elektrolytter fra disse karbonatholdige bergartene.

En detaljert oversikt fra Oslofeltet bekrefter dette syn, fig. 2. Innsjøene som ligger i de syenittiske permiske dyperuptiv-bergartene nord for Oslo (HL, K, BJ, ST osv.) har meget lavt elektrolyttinnhold sammenlignet med innsjøene som ligger i kambrosilur-områdene vest for Oslofjorden (P, S, V osv.) og på Ringerike og Hadeland (SE, GUG, BT og ØYS, VA og EL). Blankvatn (BL) som ligger innenfor området med permiske eruptivbergarter, skiller seg klart ut med et høyt elektrolyttinnhold i forhold til de omgivende innsjøer. Grunnen til dette er at Blankvatn får drenering fra et lite område som består av ordovicisk kalksten. En regionalundersøkelse over elektrolyttinnholdet i vann i bekker i Oslofeltet viste samme korrelasjon mellom totalt saltinnhold og geologi.

Nå bygger denne oversikten på elektrisk ledningsevne, og den sier ikke noe om hvilke ioner som er ansvarlige for denne. En undersøkelse av ionesammensetningen i våre ferskvannsförekomster er derfor i høy grad aktuell, og dette av forskjellige grunner. Sammen med innholdet av forskjellige minimumsalter er innholdet av de dominerende ioner og deres innbyrdes forhold av fundamental betydning for de enkelte ferskvannslokaliteters livssamfunn. Bikarbonatvann dominerer sikkert også blant norske lokaliteter, men mange av våre sure, elektrolyttfattige vann vil utvilsomt vise å ha for eksempel sulfat som dominerende anion. Videre er de enkelte kjemiske elementers biogeokjemiske kretsløp av stor interesse for bl. a. eutrofieringsprosessene i våre ferskvann. Vannets ionesammensetning er dessuten av betydning for moderne hydrologisk forskning. Dette forhold er aktualisert i Norge i den senere tid, og vannets ionebalanse inngår som et ledd i utforskningen av de to norske representative områder i den Internationale Hydrologiske Dekades program.

Systematiske regionalundersøkelser av forskjellige slag er sterkt ønsket av mange ferskvannsforskere. De store naturlige motsetningsforhold i vårt land gjør slike ønsker fullt forståelige. Spesielt når det gjelder utbredelsen og innvandringsstudier av forskjellige organismer, er regionalundersøkelser i dag høyaktuelle. Den økende samferdsel i vårt land muliggjør en kunstig spredning av ferskvannsorganismer, og dette er et for-

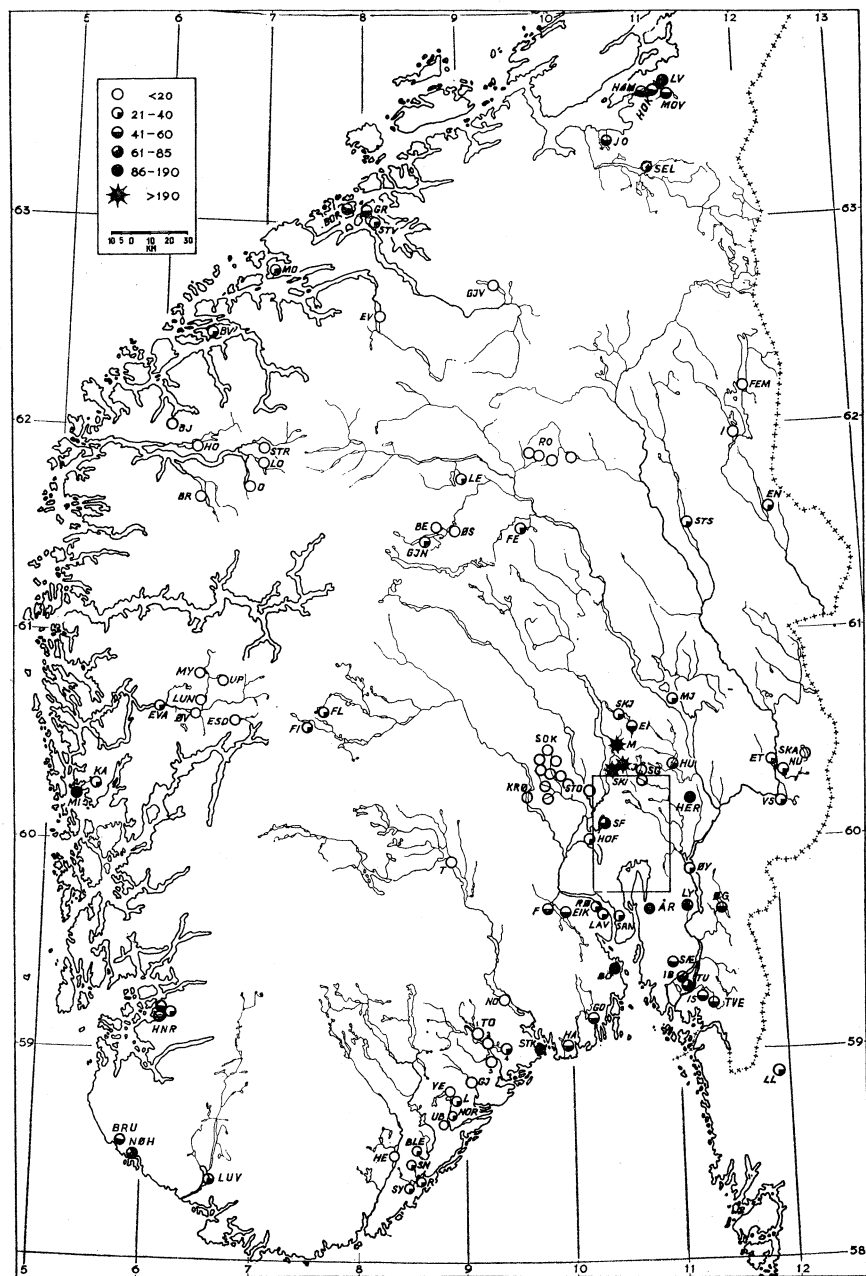


Fig. 1. Elektrolyttinnhold ($\chi_{18} \times 10^6$) i innsjøer i Syd-Norge.

hold som kan ødelegge mulighetene for studier av en naturlig spredning. På den annen side kan mange organismer forsvinne fra ferskvannslokaliteter grunnet de forandringer i lokalitetenes miljø som frembringes av menneskelig aktivitet. Dette forhold er meget aktuelt i forbindelse med den utstrakte regulering av våre vassdrag.

Den oppgave som kanskje fremfor noen annen fremstår som den mest aktuelle for norsk ferskvannsforskning i dag, er en inngående studie av de forskjellige lokaliteters produktjonsforhold. Denne oppgave har betydning for alle grener av det kompleks som ferskvannsforskningen er sammensatt av. Denne påstand kan best illustreres ved en betraktning av en innsjøs næringskretsløp.

Fig. 3 viser et prinsippskjema for det biologiske kretsløp i en innsjø. De enkelte produktjonsnivåer er også ført opp på skjemaet. Første produktjonsnivå representeres av primærprodusentene, dvs. fytoplankton og fastsittende litoralvegetasjon, som gjennom fotosyntese binder solenergi i sitt organiske materiale. Fastvoksende alger og autotrofe bakterier tilhører også dette nivå. Dette organiske materiale kan så konsumeres av plantespisende dyr i det frie vann (zooplankton), og av plantespisende dyr i litoral- og profundalsonen. Man kaller gjerne disse dyr primærkonsumenter, og de danner annet nærings- eller trofinivå. Tredje trofinivå utgjøres av rovdypene, både planktoniske og bentoniske. Det fjerde nivå utgjøres av svømmende rovdyr, dvs. fisk.

Som en ser har bakteriene fått en sentral plass i systemet. Disse inntar et meget viktig ledd i kjeden, idet bakteriene til sist overfører det organiske materiale til mineralske bestanddeler. Bakteriene er dermed ansvarlige også for den interne tilbakeførsel av de oppløste næringsalter, et faktum som er av største betydning for en fortsatt primærproduksjon, idet den interne tilbakeførsel av næringsalter i upåvirkede innsjøer som regel dominerer over tilførselen utenfra.

For hvert produktjonsnivå i kjeden tapes en del av den energi som representeres av primærprodusentene. Totalmengden av levende organismer avtar derfor fra nivå til nivå, og denne massen danner en pyramide med primærprodusentene som basis og fisken som topp. Men det er dog ikke noen bestemt mengde fisk som svarer til en bestemt mengde primærprodusert materiale. Hvis så hadde vært tilfelle, ville det ha forenklet fiskeribiologenes problemer betraktelig.

I det store flertall av våre innsjøer og elver eksisterer et visst likevektsystem i denne næringskjede. Men livssamfunnene er forskjellige etter som miljøforholdene veksler fra en lokalitet til en annen. Hver enkelt lokalitet vil også undergå forandring med tiden, og det vanlige mønster er at en uproduktiv innsjø blir mer og mer produktiv etter hvert som innsjøen samler opp det alloktone tilskudd av næringsalter. Denne oppsamling foregår ved at primærprodusentene beslaglegger de tilførte næ-

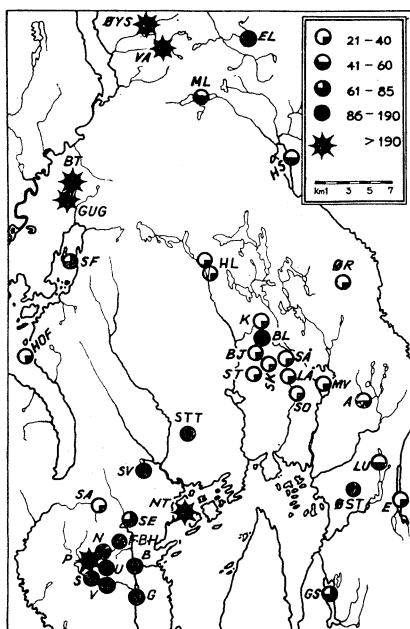


Fig. 2. Elektrolyttinnholdet ($\times 10^6$) i innsjøer i Oslofeltet.

ringsalter og dermed bringer dem inn i det interne kretsløp.

Å utforske de enkelte ferskvannslokaliteter fra et produksjonsmessig synspunkt representerer ikke noe nytt syn i Norge, og det er da også blitt samlet et verdifullt materiale på ulike områder. Men når det gjelder kvantitative produksjonsbestemmelser, er kjennskapet til våre innsjøer meget sparsomt, og når det gjelder elvene våre kjenner vi praktisk talt ingen ting. De plankton-produksjonsmålinger som er foretatt i norske innsjøer bygger stort sett på «standing crop», dvs. en har benyttet seg av planktonets momentane bestand. Fra et limnologisk synspunkt er det av

stor betydning å kunne bestemme de enkelte lokaliteters primærproduksjon. Det er primærprodusentene som danner basis i næringspyramiden, og det er primærproduksjonen som gir oss det beste grunnlag for å fastsette en ferskvannslokalitets utviklings-trinn. Vi er imidlertid ikke bare interessert i produksjonens størrelse, men vi ønsker også å vite hvilke organismer som er ansvarlig for den, og hvilke faktorer som bestemmer dens størrelse. Nå er det ingen liketil sak å bestemme litoralsjonens produksjon. Men planktonalgens produksjon kan bestemmes på forskjellig vis. Den momentane bestand eller «standing crop» er allerede nevnt. Denne forteller altså størrelsen av den biomasse som var bundet i plantonet i det øyeblikk prøvene ble tatt. Men ønsker vi å vite noe om den biomasse som virkelig produseres, må selvsagt produksjonen måles gjennom et tidsrom. Det er brukt forskjellige metoder for slike målinger, og alle har sine svakheter. Den mest anvendte metode i internasjonal limnologi er i dag den såkalte C^{14} -metoden hvor man tilsetter en kjent mengde av C^{14} -isotopen og bruker denne som en tracer for å måle den mengde organisk karbon som dannes. En undersøkelse av produksjonen i våre så vidt forskjellige ferskvannslokaliteter, både med hensyn til deres hydrologiske forskjelligheter, geologiske forskjelligheter, morfometriske forskjelligheter, geografisk beliggenhet osv., vil utvilsomt gi verdifulle bidrag til norsk såvel som til internasjonal vitenskap. Undersøkelser av produksjonsforholdene i våre høyt fjellsvann, og kanskje spe-

sielt innsjøer som Gjende og Juvvatn som er sterkt preget av breslam og derfor har spesielle optiske egenskaper, synes å være fascinerende oppgaver.

De kompliserte forhold som er sammenfattet i begrepet eutrofieringsprosess, byr på rike oppgaver. Vi kan gjennom studier av næringsaltene og deres kretsløp og innsjøens produksjon fastlegge en innsjøes status i dag, og slike studier gir samtidig en viss opplysning om de mengder organisk materiale som omsettes i en innsjø hvor det eksisterer et likevektsforhold i økosystemet. Har vi så noen muligheter for å fastlegge hvor lang tid det tar for innsjøen å nå et visst stadium, og i tilfelle, hvilke faktorer som er ansvarlige for en eutrofiering for eksempel? Her kommer studier av innsjøenes sedimenter sterkt inn i bildet. Vertikale variasjoner i såvel kjemiske faktorer som i fragmenter fra organismer i sedimentene gir muligheter for studier av utviklingen hos hver enkelt lokalitet. Et eksempel fra en liten norsk innsjø illustrerer noe av dette.

Svinsjøen (fig. 4) ligger 180 m over havet, dvs. den ligger under den høyeste postglasiale marine grense i Osloområdet. Dens overflateareal er 0,1 km², og maksimaldypet er 33 m. Innsjøer er meromiktisk, og den har et høyt innhold av jern og mangan i monimolimnion.

For om mulig å bestemme tidspunktet for begynnelsen av den permanente stagnasjonen og årsaken til denne, ble det startet en paleolimnologisk undersøkelse av Svinsjøen.

Et 420 cm langt sedimentprofil ble

tatt fra sjøens største dyp ved hjelp av Mackereth's core sampler. Tre forskjellige typer sedimenter ble funnet i profilet. Nederst, fra 322—420 cm, inneholdt profilet blåaktig marin leire, og over denne, fra 215—322 cm, inneholdt det et brunt leiraktig sediment. De øverste 215 cm besto av et sediment som var relativt rikt på organisk materiale (fig. 5).

En C¹⁴-datering viser at Svinsjøens basseng ble hevet over havnivå for 9950 ± 170 år siden (regnet fra år 1950). Her kan innskytes at slike bestemmelse fra en serie riktig valgte innsjøbassenger danner et ypperlig grunnlag for en studie av landhevingen og dens hastighet i vårt land. Foreløpig foreligger resultater over stratifikasjonen i forskjellige kjemiske elementer i profilet fra Svinsjøen. I denne forbindelse kan nevnes at i et begrenset lag i søylen forekom konkresjoner av vivianit, en fosforjern-forbindelse, eller med andre ord et enkelt eksempel på ferskvannslokalitetenes betydning i det biogeokjemiske kretsløp.

Enkelte kjemiske elementers stratifikasjon er godt egnet til studier av innsjøhistorie. I det foreliggende tilfelle er vektforholdet jern : mangan nyttet, fig. 6.

De øverste 200 cm av profilet, dvs. den del som inneholder mest organisk materiale, viser noen interessante forhold. Mellom 200 cm og 50 cm inntar mangan en meget dominerende stilling, noe som viser at tilførselen av mangan har vært stor i forhold til tilførselen av jern. Fra et geokjemisk synspunkt vil en mekanisk erosjonstransport fra nedslagsfeltet gi et

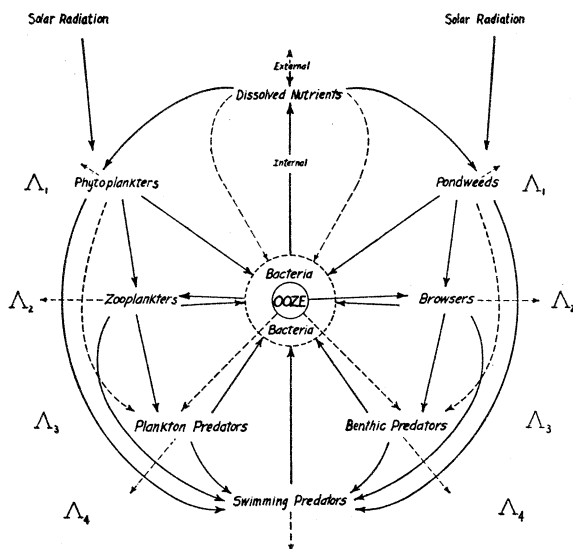


Fig. 3. Prinsippskjema for det biologiske kretsløp i en innsjø. (Lindeman, R. L., 1942: The trophic-dynamic aspect of ecology. Ecology 23.)

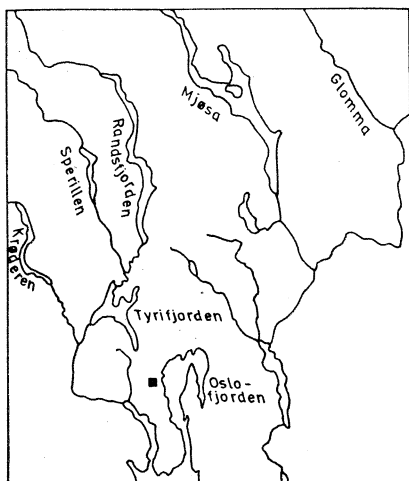


Fig. 4. Det innfeldte sorte felt viser beliggenheten av Svinnsjøen.

jern : mangan-forhold mer i overensstemmelse med leirsedimentene. Mangans dominerende posisjon tyder på tilførsel av redusert mangan, men ikke av redusert jern. Dette kan utmerket godt foregå særlig ved sublakustrin tilførsel, idet mangan reduseres ved et høyere redoks potensial enn jern. Det er vist at en slik selektiv transport har vært karakteristisk for en rekke vann i Lake District i England. Men mangans posisjon i det nevnte skikt i Svinnsjøens sedimenter viser at det har eksistert oksygen i innsjøens dypvann på den tid skiktet ble sedimentert. Med et reduserende miljø i dypvannet ville mangan ikke sedimenteres i en slik grad, og jern ville innta en mye mer dominerende posisjon i forholdet. Ved

45 cm dyp skjer det et omslag i jern : mangan-forholdet. Dette kan tyde på at tilførselen av jern er øket, noe som også er tilfelle. Men samtidig viser innholdet av mangan i sedimentene et avtak. Denne øverste del av sedimentene har også et høyt sulfid-innhold. Dette er typisk for sedimentene i meromiktiske innsjøer med høyt innhold av jern og mangan. I slike innsjøer vil manganinnholdet i sedimentene avta idet redusert mangan ved turbulent diffusjon bringes ut i dypvannet. Jern derimot vil felles fra vannet som sulfid og anrikes i sedimentene. Stigningen i jern og avtaket i mangan tyder altså på oksygenfritt dypvann i Svinsjøen på det tidspunkt jern : mangan-forholdet øker, eller det antyder at på denne tid klarte ikke lenger heterotrofe organismer å omsette det primærproduserte organiske materiale i denne innsjøen.

Det finnes forskjellige faktorer som kan brukes for å verifisere eller å avkrefte riktigheten av et slikt syn. Fragmenter av forskjellige organismer som er resistente mot nedbrytning, er viktige i paleolimnologisk forskning. Diatomeer er velkjente som resistente mikrofossiler. Videre er fragmenter av krepsdyrgruppen Cladocera mye brukt. Chironomidae-fragmenter er av stor interesse, da disse insekter er gode indikatororganismer for innsjøers trofinivå. Hvorvidt slike fragmenter er resistente nok til å bli brukt, er ennå lite kjent. En må imidlertid være oppmerksom på at mengden, eller det antall av de enkelte typer fragmenter en finner i et nivå i et enkelt sediment-profil, kan gi misvisende opplysning

ger om produksjonsforholdene. Ved å studere fordelingen av sedimenterte organismer i sedimentoverflaten av innsjøer, er en i det senere blitt klar over at for eksempel diatomeer er sedimentert i avgrensede soner i mange innsjøer. Det er for øvrig også et kjent faktum at planktonalgene i det frie vann heller ikke er jevnt fordelt i horisontal retning i innsjøene. Paleolimnologiske studier krever derfor flere profiler fra ulike områder av bunnen, og brukt på riktig måte vil de utvilsomt gi viktige bidrag til forståelsen av innsjøenes utvikling.

Menneskenes inngripen i naturen skaper en rekke problemer av både vitenskapelig og praktisk art for våre ferskvannsforskere. Den menneskelige inngripen i ferskvannslokalitetene kan være bevisst og planlagt, men den kan også være mer ubevisst som en følge av nødvendig aktivitet på land. Fra et fiskeproduksjonsmessig synspunkt er det stadig aktuelt å forbedre avkastningen eller produksjonen av fullverdig fisk. Man vil altså øke toppen av produksjonspyramiden i økosystemet. Man kan tenke seg at dette kan gjøres ved ekstra tilførsel av næringsalter, dvs. ved å øke primærproduksjonen. Men grunnlaget for en slik behandling må være et inngående kjennskap til hele det innviklede system som den metabolske syklus utgjør i den enkelte lokalitet. Jeg skal senere komme nærmere tilbake til dette.

Reguleringene av våre vassdrag og den virkning de har på ferskvannslokalitetene som berøres av dem, er et meget aktuelt problem. De store kunstige vannstandsvariasjoner som

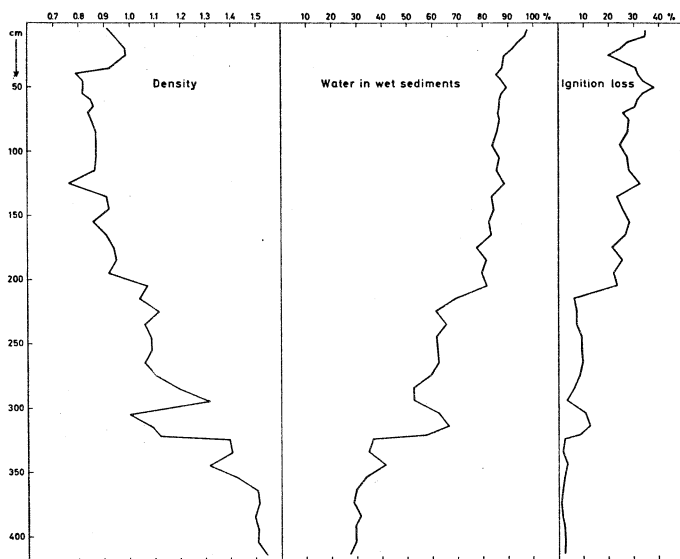


Fig. 5. Spesifikk vekt og vanninnhold av vått sediment, og glødetap ved 600° C av tørt sediment.

de oppdemte innsjøer utsettes for, gir drastiske forandringer i det opprinnelige likevektssystem som den enkelte innsjø representerer før reguleringen. En oppdemning av en innsjø fører til en radikal forandring i dens fysisk-kjemiske forhold, og dermed også i dens biologiske syklus. En rekke organismesamfunn forsvinner plutselig ved en oppdemning. Særlig gjelder dette de samfunn som lever i litoralsonen. Om sommeren øker vannstanden langt over den tidligere høyeste vannstand, og om vinteren tappes magasinene ned ofte til langt under tidligere laveste vannstandsnivå. Litoralvegetasjonen og den fauna som er knyttet til denne, blir ødelagt. Tappes magasinene ned under tidligere vannstand, vil dette

forårsake en øket erosjon, og transport av jord og slam vil redusere de benthoniske livssamfunn også under laveste vannstand.

Disse forhold har stor betydning for vannenes fiskeproduksjon, da det i mange vann nettopp er det livssamfunn som forsvinner og reduseres, som har dannet grunnlaget for den tidligere produksjon. Spesielt er ørretens viktigste næringsdyr, som for eksempel *Gammarus lacustris*, meget følsomme for vannstandsvariasjoner.

Hvordan reagerer planktonet på reguleringen? En regulering kan enten bestå i å senke vannstanden i et basseng, eller i å øke den. I begge tilfelle fører dette til en økt planktonproduksjon. En senkning av vannstanden medfører en erosjon i de

blottlagte områder av den tidligere innsjøbunnen og en medfølgende tilførsel av næringsalter som var magasinert i denne. Dette medfører en øket produksjon av fytoplankton og dermed også en øket produksjon av zooplankton. En heving av vannstanden virker på samme måte idet vannet får tilført næringsalter fra det neddemte området. Denne såkalte demningseffekt forsvinner etter hvert når tilførselen av næringsalter igjen avtar. Hvorvidt planktonproduksjonen på lang sikt vil avta ved en regulering er ennå usikkert.

Det er altså de organismer som lever av plankton som er gunstigst stillet i et regulert vann. Bunnfaunaen blir fattig både kvantitativt og kvalitativt sett. Det ser ut til at oligochetene og chironomidene greier miljøforandringene best, men artstallet av chironomidene blir sterkt redusert ved en regulering.

Ferskvannsforskere i Norge har her den oppgave å bote på skadevirkningene som oppstår. Fra fiskerihold arbeides det med å innføre fiskearter som kan nyttiggjøre seg planktonproduksjonen, og som altså ikke har bunndyr som hovednæring. Man kan si at dette arbeid utføres etter to forskjellige næringskjede-prinsipper. Den ene kjede følger prinsippet fytoplankton—zooplankton—fisk. Den andre kjeden tar også med det neste trinn i næringskjeden, nemlig rovfisken. Da skal altså den planktonspisende fisk danne næringsgrunnlaget for rovfisken. Hele dette system krever naturligvis et inngående kjennskap til fisken en vil introdusere, og inngående kjennskap til dens miljø-

krav og til det miljø som er aktuelt å forbedre i de enkelte tilfelle. En annen mulighet som det arbeides med i Sverige for tiden, er å skape et nytt næringsgrunnlag for fisken ved å sette ut kaldtvannsformer av krepsdyr. Det er spesielt *Mysis relicta* det gjøres forsøk med.

Men reguleringene innvirker også på elvene. Alt etter hensikt og art av regulering vil vannføringen i hvert enkelt tilfelle være forskjellig. En redusert vannføring vil naturligvis få betydelig skadevirkning idet områder som tidligere utgjorde viktige ledd i elvens økosystem, forsvinner ved tørrlegning. Her skal imidlertid som eksempel bare nevnes et vesentlig forhold som byr på viktige praktiske problemer. I et regulert vassdrag finnes ofte dammer og sperringer for fiskens vandringer. Videre uteblir den naturlige vårflom som benyttes av laks og sjørret for å komme opp til sine gyteplasser. Dette fører til en hard kommersiell beskatning av slike verdifulle fiskearter som går ute i fjordene og venter på å komme opp i elvene. Å finne praktiske løsninger for å motvirke slike skadevirkninger er derfor meget aktuelt, og ferskvannsforskeren bør komme sterkt inn i bildet allerede ved planleggingen av reguleringene i slike vassdrag.

Nå er fiskeavkastningen og dens reduksjon bare en detalj i den gjennomgripende forandring som skjer ved en regulering. Vi vet også at reguleringen medfører en reduksjon av både floraen og faunaen. Men for fullt ut å forstå hele det kompleks som reguleringen medfører for øko-

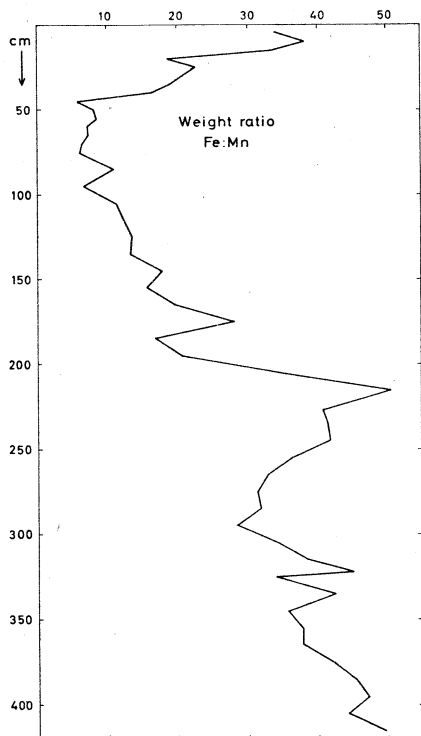


Fig. 6. Vektforholdet jern : mangan i Svinsjøens sedimenter.

sytemet i videste forstand, er det ønskelig med inngående studier.

Av rent praktiske oppgaver i norsk ferskvannsforskning kan nevnes undersøkelser av kvalitetsmessig drikkevann og behandlingen av dette. Videre krever industrien kvalitetsmessig bruksvann i sin produksjon. Papirindustrien for eksempel satser på høy kvalitet, og den kan i mange tilfelle ikke lenger bruke vannet fra den elv hvor fabrikken opprinnelig ble anlagt uten at vannet først blir rensset. En vurdering av en vannkildes kvalitet bygger på en rekke faktorer

som vannets oppholdstid i nedbørfeltet og de prosesser det her er underkastet, limnologiske undersøkelser av selve vannkilden og da naturligvis vannets oppholdstid i denne og den selvrensning det undergår osv. Humusinnholdet i vannet er en meget viktig faktor, idet humus skaper mange spesielle problemer ikke minst i vannverkenes distribusjonsnett. Tatt i betraktning den rikdom av humuspåvirkede innsjøer og elver vi har i vårt land, er det klart at disse stoffene må tillegges spesiell oppmerksomhet. Det pågår for tiden en utstrakt grunnforskning for å klargjøre humusstoffenes struktur og egenskaper, og denne forskning vil forhåpentligvis gi resultater som kan lette de praktiske problemer de frembyr i dag.

Det stadig økende forbruk av vann forårsaker stadig økende problemer med forurensninger av våre ferskvannsforekomster. Det vann som brukes til forskjellige formål, skal ledes bort etter bruk. I tillegg kommer så økende forurensning som skyldes de forandringer som har skjedd og som stadig pågår i for eksempel jordbruket.

Som resipienter for avfallsvann og mange avfallsprodukter nyttes innsjøer og elver, og dette medfører forskjellige typer forurensning.

En av hovedtypene av forurensningsvirkningene er eutrofieringen. Den er en følge av tilførsel av viktige næringsalter gjennom såvel organiske som uorganiske forurensninger. Klokkevann fra husholdninger for eksempel, inneholder organisk materiale og i tillegg viktige næringsalter som

fosfater og nitrogenforbindelser. Førres organiske stoffer ut i en resipient, vil en biologisk nedbrytning av disse straks ta fatt, og heterotrofe organismer vil etter en tid overføre dem til mineralske bestanddeler. Det er denne prosess man betegner med begrepet vannets selvrensende evne. Men denne prosess krever oksygen, og dette oksygen taes fra det omgivende vann. Men de næringsalter som følger utslippet, vil samtidig fremme primærproduksjonen i resipienten. Det skjer altså en nydannelse av organisk materiale samtidig med nedbrytningen av det som følger utslippet. Ved dekomponering av det tilførte materialet frigjøres så ytterligere mengder næringsalter som kan nyttes av primærproduzentene. På denne måte kan en i løpet av kort tid fremskynde en eutrofiering som under naturlige forhold ville være en meget langsom prosess.

I fig. 7 illustreres eutrofieringen av en innsjø rent hypotetisk. Den helt opptrukne kurve viser det naturlige eutrofieringsforløp, mens de stiplede kurver viser eutrofiering som følge av kunstig tilførsel av næringsalter. Den kunstige tilførsel kan bestå i gjødsling for bevisst å høyne produksjonen, og den kan være en følge av for eksempel kloakktilførsel. Fig. 7 illustrerer godt hvordan man kan forkorte en ferskvannslokalitets naturlige beståen.

Når det gjelder eutrofieringsprosessen må en skille klart mellom innsjøer og elver som resipienter. I innsjøer foregår assimilasjons- og destruksjonsprosessen i vertikal retning, men i elver foregår prosessene

mer i lengderetningen. Innsjøer har også en stor evne til å lagre næringssaltene, spesielt i sedimentene. Innsjøer samler også det organiske materiale som ikke er helt nedbrutt i sine sedimenter, og her foregår derfor en stadig oksygenkrevende dekomponering.

Når en innsjø når det stadium at det ikke lenger er likevekt mellom primærproduksjon og dekomponering, virker den mer til sjenanse enn til glede. Det vil oppstå anaerobe tilstander i dypvannet, og bunnfaunaen forsvinner. Verdifulle fiskearter forsvinner, og store algeforekomster nedsetter vannets bruksverdi. Igjengroing med høyere vegetasjon er også et av de problemer som melder seg i vann hvor likevekten i økosystemet er forstyrret.

En kraftig organisk forurensning vil medføre en saprobiering. Denne oppstår ved at det organiske stoff medfører vekst av bakterier, sopp og protozoer i resipienten. Ved organisk forurensning kan slike organismer danne utstrakte begroinger i vassdragene.

I tillegg kommer en rekke andre forurensningsformer bl.a. fra forskjellige industrier. Og de forskjellige former reiser egne problemer. Utslipp av kjemiske stoffer kan ødelegge alt liv i resipienten. Enkelte industrivirksomheter forårsaker spesielle belastninger på vassdrag idet de tilfører store mengder partikler. Dette gjelder for eksempel grubeindustri og treforedlingsindustri. Spesielt representerer sulfitcellulosefabrikkene en hard belastning i så måte.

Med den strukturendring som på-

går i vårt samfunn med urbanisering, utvikling av vekstsentra osv. er det klart at kravene til en fornuftig behandling av våre ferskvannsforekomster blir stadig mer påkrevet. Ferskvannsforskerne stilles her overfor en rekke oppgaver av både vitenskapelig og praktisk natur. En bekjempelse av forurensningsproblemene er uhyre viktig, og det kreves løsning av en rekke problemer av praktisk og teknisk natur. Å kreve at vann skal føres tilbake i samme tilstand som det hadde før bruk, er umulig. Men det gjelder å føre vannet tilbake slik at det gjør minst skadevirkning, dvs. å finne frem til de best mulige rensesåter.

Eutrofieringsproblemet er meget viktig i denne sammenheng. Kunne man her, foruten å fjerne eller sørge for en fullstendig nedbrytning av det organiske materiale, også fjerne de oppløste næringsalter, ville problemet være løst. Så lenge dette ikke lar seg gjøre, må en nytte resipientens selvrensende evne, men denne må ikke overskrides. Med resipientens selvrensende evne menes i denne forbindelse resipientens evne til å bryte ned det organiske materiale som produseres grunnet øket tilførsel av næringsalter eller, med andre ord, man må ikke belaste resipienten så mye at økosystemet bringes ut av likevekt. Dette kan by på meget vanskelige proble-

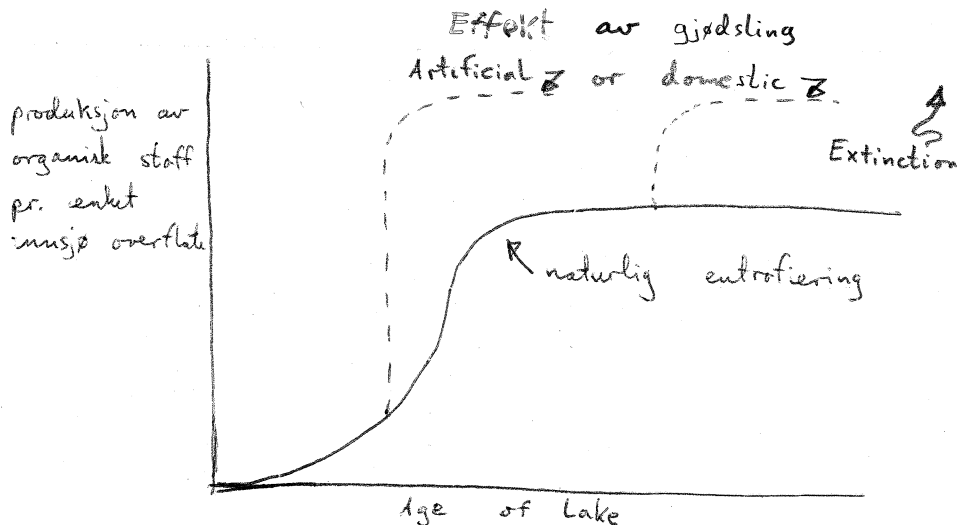


Fig. 7. Hypotetisk fremstilling av eutrofieringsforløpet av en innsjø. De stipede kurver viser den raske økningen av produktivitet som er karakteristisk for innsjøer som utsettes for tilførsel av næringsalter ved kloakkutslipp eller ved kunstig gjødsling. (Hasler, A. D., 1947: Eutrophication of lakes by domestic drainage. Ecology 28.)

mer, og spesielt når det gjelder innsjøer.

Grunnet innsjøenes evne til å lagre næringsalter, må hver enkelt sjø som potensiell resipient underkastes grundige undersøkelser både med hensyn til hydrografi, hydrologi, sirkulasjonsforhold og biologiske omsetningsforhold. De særegne klimaforhold i vårt land spiller en stor rolle for vurderingen. Mange av våre innsjøer viser et mye lavere oksygeninnhold i dypet om vinteren enn om sommeren. Dette er et resultat av lang vinterstagnasjon med liten turbulens i dypvannet. Den svake turbulens skyldes isdekkets beskyttende virkning. I slike innsjøer kan endog en svak eutrofiering medføre fullstendig oksygensvinn i dypvannet. Dette kan i sin tur medføre mobilerings av fosfat som tidligere var lagret i sedimentene. En oksydert slamoverflate virker nemlig som en barriere for fosfat-tilførsel til dypvannet fra sedimentene, forutsatt at det er oksydert jern til stede i slamoverflaten. Synker redoks-potensialet tilstrekkelig til at jern reduseres, får fosfatene fri passasje ut i vannet. Dette kan medføre en plutselig eutrofiering. En slik rasant eutrofiering har vært observert i nordtyske innsjøer i de senere år. Sulfatreduksjon i dypvannet under stagnasjonsperiodene vil fremskynde en slik eutrofiering. Hvis det foregår reduksjon av jern slik at det frigjøres fosfat fra sedimentene, vil både fosfat og toverdige jern anrikes i innsjøens dypvann. Dannes det samtidig hydrogen-sulfid i dypet, vil jernet kunne felles som sulfid. Under sirkulasjonsperi-

odene bringes derfor fosfatene til den trofogene sone i innsjøen. Hvis det ikke foregår noen sulfatreduksjon i dypet under stagnasjonsperiodene, vil derimot det fosfat som er frigitt fra sedimentene, igjen kunne felles fra dypvannet og sedimenteres som ferrifosfat når fullsirkulasjoner skaper et oksyderende miljø i dypvannet. enstemmig gjenvalgt.

Sedimentene og deres sammensetning bør altså i høy grad komme med i betraktning når det gjelder vurderingen av en innsjø som potensiell resipient. Disse synsmåter er naturligvis også viktige når det gjelder ønsket om bevisst å øke en innsjøproduksjon for fiskeavkastning gjennom gjødsling. En må alltid være oppmerksom på at det er en meget vanskelig oppgave å stoppe en innsjøes eutrofiering, hvis det da i det hele tatt lar seg gjøre uten å fjerne dens sedimenter.

Når det gjelder kloakkvann inneholder dette forskjellige sykdomsbringende bakterier, virus og egg av innvollormer som kan bringes til våre vassdrag. Det synes opplagt at det om mulig må være en viktig oppgave å hindre disse i å nå resipienten.

Den utstrakte bruk av biocider og deres bivirkninger er et meget aktuelt problem som opptar mange mennesker i dag. Hvordan disse eventuelt opptas og anrikes i mikroorganismer, og stoffenes videre vandring gjennom næringskjeden, synes å være et meget aktuelt problem også for ferskvannsforskningen i Norge. Det samme syn må i vår tid også sies å være uhyre viktig når det gjelder radioaktive elementer.