

DET KGL. NORSKE VIDENSKABERS SELSKAB, MUSEET

rapport

ZOOLOGISK SERIE 1974-6

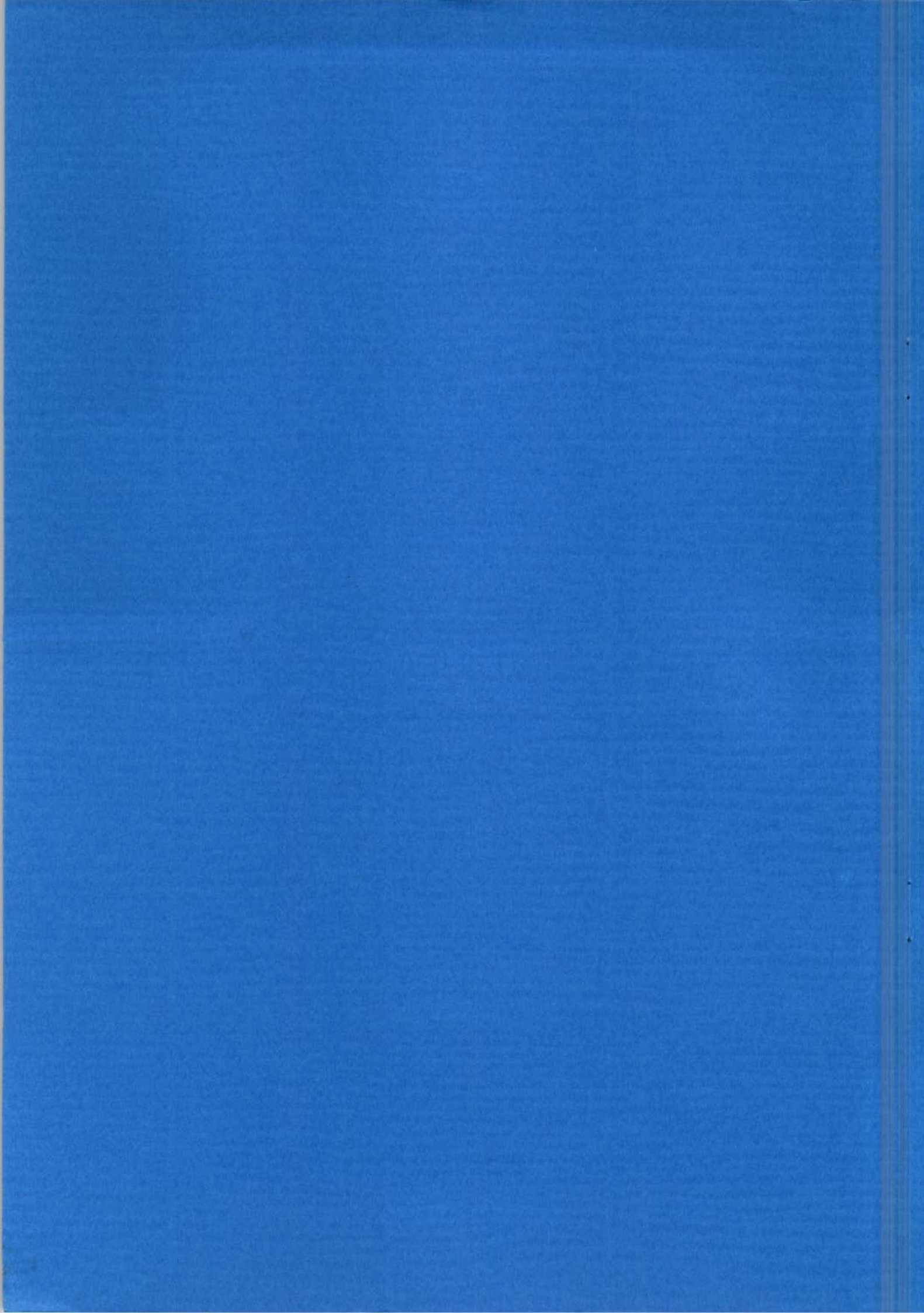
Gjødsling av naturlige innsjøer
- en litteraturoversikt.

Arnfinn Langeland



Universitetet i Trondheim

198



REFERAT

Wangeland, Arnfinn. 1974. Gjødsling av naturlige innsjøer - en litteratur-oversikt. K. norske Vidensk. Selsk., Mus. Rapport Zool. Ser. 1974 - 6.

Rapporten gir en oversikt over litteratur som behandler forsøk med gjødsling av naturlige innsjøer. Det er forsøkt å vurdere metodens muligheter for å øke fiskeavkastningen i innsjøer som har fått sitt næringspotensial redusert på grunn av sterke reguleringer av vannstanden. De viktigste krav til gjødsling av fiskevann, er kommentert slik som innsjøens størrelse, form, vanngjennomstrømning, plantevekst, næringsdyr og fisk.

Arnfinn Langeland, Universitetet i Trondheim, Det Kgl. Norske Videnskabers Selskab, Museet, Zoologisk avdeling, N-7000 Trondheim.

Universitetet i Trondheim, Det Kgl. Norske Videnskabers Selskab, Museet, Laboratoriet for ferskvannsekologi og innlandsfiske (rapport nr. 22).

Trondheim, februar 1974.

INNHOOLD

REFERAT	1
1. INNLEDNING.....	3
2. GJØDSLINGSFORSØK.....	4
2.1. Canada	4
2.2. USA	4
2.3. Alaska	6
2.4. Australia	6
2.5. Skottland	6
2.6. Sverige	7
2.7. Norge	7
3. KRAV TIL GJØDSLING AV NATURLIGE INNSJØER.....	8
3.1. Innsjøens størrelse, form og vanngjennomstrømning	8
3.2. Temperaturen	9
3.3. Oksygenbalanse	9
3.4. Gjødselslag	10
3.5. Plantevekst, næringsdyr og fisk.....	11
4. SLUTNING	12
5. LITTERATUR.....	14

1. INNLEDNING

Gjødsling for å øke fiskeavkastning er ikke noen ny ide. Gjødsling av dammer er blitt praktisert i Orienten siden tidlig i historisk tid, dvs. for flere tusen år siden (Tanner 1960). I Sentral-Europa har gjødsling av dammer vært i praktisk bruk i flere århundreder (Nees 1949). Den tidligst kjente beskrivelsen av metoden om gjødsling av dammer for å øke fiskeutbyttet, var ved Fanli, en minister i staten Yu (Chekiang-provins) i Kina omkring 500 år før Kristus (Nees 1949). De positive resultater ved gjødsling av dammer, har bevirket at fiskeribiologer tidlig rettet oppmerksomheten mot mulighetene for en lignende gjødsling av naturlige vannforekomster slik som tjern og innsjøer.

Gjødslingsproblematikken kan betraktes enten fra eutrofieringssynspunkt (næringsanriking) eller fra fiskeribiologisk synspunkt. Denne oversikt betrakter gjødsling primært under den siste synsvinkel hvor hensikten er å vurdere metodens muligheter for å øke fiskeavkastningen i innsjøer som har fått sitt næringspotensial redusert på grunn av sterke reguleringer av vannstanden. For litteratur som behandler emnet ut fra eutrofieringssynspunkt henvises det her til *Eutrophication: causes, consequences, correctives* (1969).

Tilførsel av næringsstoffer vil ha virkninger på alle ledd i næringskjeden i innsjøen. Produksjon av fisk, næringsdyr og plantemateriale i en innsjø er i stor grad avhengig av de næringsstoffer som er tilgjengelig i innsjøen og dens nedslagsfelt. Men innsjøens produksjon av forskjellige komponenter som fisk, krepsdyr, alger o.l. kan variere stort alt etter næringskjedens sammensetning av organismer. Det vanligste utgangspunkt for relasjoner i en innsjø er fra fysisk-kjemiske faktorer til planteproduksjon, videre til zooplankton eller bunndyr og til slutt fisk. Lite oppmerksomhet er blitt viet det motsatte forløp, dvs. fiskefaunaens påvirkning på de lavere ledd i næringskjeden. Milbrinks litteraturoversikt (1971) viser klart hvordan fisken kan modifisere og forandre forholdene i en vannforekomst f. eks. forårsake en forskyvning i balansen fra "eutrofe" (næringsrike) til "oligotrofe" (næringsfattige) forhold, se også Lindstrøm (1973).

Det er umulig å trekke skarpe skillelinjer mellom tilførsel av næringsstoffene i form av løste plantenæringsstoffer eller mer komplekse organiske forbindelser. Plantenærings saltene vil øke produksjonen av plantemateriale, mens tilførsel av dødt organisk stoff gir direkte føde til fisk og dens næringsdyr. Sistnevnte metode er prinsippet for dambruksnæringsmetoden med oppføring av matfisk og egner seg best for små vannforekomster som dammer og lignende. Svakheter med metoden ved å nytte den i innsjøer er bl. a. at føden synker raskt til bunns, at fisken samles på foringsstedet og arbeidet og utgiftene med foringen. En styrke med metoden er at primærleddet i næringskjeden (planteproduksjon) elimineres og det vil bli relativt mer næring igjen til høyere ledd i næringskjeden.

Tilførsel av plantenærings salt forutsetter at innsjøen selv produserer føden, og overfører den til fiskekjøtt.

2. GJØDSLINGSFORSØK

2.1. Canada.

Gjødsling av Cache Lake (228 ha med 22 kg pr. ha ammoniumfosfat, ammoniumnitrat og kaliumklorid) og tre andre mindre innsjøer (40 ha - 20 ha) forårsaket en markert økning av mengden phytoplankton fra 3 uker til 1 måned etter første gjødsling. (Langford 1950). En økning av zooplanktonet ble også registrert fra 3 til 5 uker etter gjødsling. Den sterkeste økningen ble registrert først og fremst av rotatorier (hjuldyr).

Gjødsling av Lake 227, Experimental Lakes Area (ELA) i Northwestern Ontario, Canada (5,0 ha max. dyp 10 m) med 3,4 kg/ha med Na_2HPO_4 og 50,4 kg/ha med NaNO_3 forårsaket en mangedobling av mengden av phytoplankton (Schindler et. al. 1971). Algesammensetningen ble også forandret. Men overraskende nok ble ingen økning av phytoplanktonproduksjon registrert.

Smith (1945, 1955, 1961, 1968 og 1969) beskriver omfattende gjødslingsforsøk i Canada i den hensikt å øke veksthastighet og avkastning av fisk i naturlige innsjøer. Gjødsling av Crecy Lake i New Brunswick (20 ha og max. dyp 3,8 m) i 1946, 1951 og 1959 med 5,1 kg N/ha, 9,5 kg P/ha og 6,5 kg K/ha ved hver gjødsling, forårsaket kraftig økning i vekst og avkastning av naturlig og utsatt bekkerøye (Salvelinus fontinalis) og regnbueørret (Salmo gairdneri). Fangstverdien og vektavkastningen for de to sportsfisker økte til nesten det dobbelte, for det meste pga. at regnbueørret utsatt som ensomrig oppnådde tilstrekkelig størrelse som sportsfisk ved 1-årsalderen. Med predator kontroll kunne avkastningen av fiskekjøtt beregnes å øke fra 0,9 til 5,9 kg/ha de neste 2 år etter første gjødsling. Kraftig algeproduksjon fulgte hver gjødsling, zooplankton og bunnfauna hadde størst forekomst 2-4 år etter gjødslingen. Innsjøen var tilstrekkelig selvregulerende til at den kunstige næringsstofftilførsel hadde bare temporær virkning på den organiske produksjon. Den induserte eutrofiering var reversibel med ingen tydelige indikasjoner av påskyndet eutrofiering av innsjøen over en 18-års periode. Virkningene i en nærliggende innsjø Gibson Lake (24 ha, gjennomsnittsdyp 4,0 m) var tilsvarende, men svakere enn i Crecy Lake ved gjødsling med de halve mengder brukt i Crecy Lake.

Avrenning fra gjødslete jordbruksområder til Ellerslie Brook, Prince Edward Island er antatt å være en viktig faktor i den høye produksjon av bekkerøye i disse elver og bekker og i dammer formet av disse (Smith 1959).

2.2. USA

Weber Lake i Wisconsin, 14,4 ha og max. dyp 14 m, ble gjødslet 1932 - 1936 med forskjellige organiske og uorganiske næringsstoffer (Juday & Schloemer 1938). Tilførselen av soyamel i 1935 forårsaket 40 - 50% økning av zooplanktonmengden, økning i veksthastigheten hos fisk, 16% økning hos Yellow perch og 40% lengdeøkning for 1-årig Mouthed black, som nådde tidligere 2-årsstørrelse nå etter 1 år og tidligere 3-årsstørrelse 25,4 cm nå etter 2 år.

Forsøkene i Great Central Lake, Vancouver Island, British Columbia har vist at virkningene av gjødsling kan bli omfattende også i store innsjøer (McAllister et. al. 1972, Parsons et. al. 1972, Barraclough & Robinson 1972, Le Brasseur 1972). Great Central Lake, 5100 ha max. dyp 280 m og 3,3 mil lang, ble gjødslet med 20 kg/ha (27% N, 14% P₂O₅, 0% K₂O) i den hensikt å doble phytoplanktonmengden hver 7. dag. En kunstig næringsanrikning av innsjøen var matematisk modellert på forhånd og ga grunnlaget for beregning av gjødningsmengdene som ble brukt. Modellen hadde vist at innsjøen under forskjellige betingelser m.h.t. mengder næringsalter, beiteeffekt av zooplankton og doblingstid for phytoplankton, allikevel ville opprettholde sin økologiske stabilitet, dvs. at det produserte plantematerialet ble konsumert av zooplankton etter hvert som det ble produsert. Resultatene fra gjødslingsforsøket bekreftet riktigheten av modellen og at innsjøen beholdte sin stabilitet. Gjødslingen forårsaket en dobling av primærproduksjonen mens mengden av primærprodusenter (alger) forble uforandret. Mengden av zooplankton økte 8 ganger og gjennomsnittsvekten av laksesmolt (underyearling sockey salmon Oncorynchus nerka) økte med 30%.

Omfattende gjødslingsforsøk for å undersøke mulighetene for å øke fiskeproduksjon er blitt gjennomført i flere innsjøer i Michigan i USA (Ball 1950, Ball & Tanner 1951, Tanner 1960, Hooper & Ball 1964). Gjødsling av en varmvannsjø North Twin Lake, Cheboygan County (11 ha og max. dyp 5 m) i 1946 og 1947 med nitrogen (10%), fosforsyre (6%) og kalium (4%) forårsaket en kraftig algeoppblomstring av trådformede alger som skapte problemer og luktulempen for befolkningen. En sannsynlig sterk økning av bunnfaunaen bevirket en signifikant økning i veksthastigheten for alle viktige sportsfisker i innsjøen.

Kraftig oksygenvinn om vinteren fulgte den andre gjødsling med påfølgende fiske-død. Også store mengder døde bunndyr ble observert.

Tilsvarende, men svakere virkninger ble observert i en annen samtidig gjødslet ørretsjø. South Twin Lake (1,9 ha max. dyp 11 m) i Otsego County. Vinteren 1951 var oxygenforholdene normale igjen i South Twin Lake. Skjellanalyser viste at veksthastigheten til fisken hadde økt betraktelig.

I 1941 og 1950 ble 4 andre ørretsjøer, West Lost (1,4 ha max. dyp 14 m) og Hemlock (2,3 ha max. dyp 21 m), Section Four (1,0 ha max. dyp 24 m), Lost (1,4 ha max. dyp 18 m), Otsego County i Michigan gjødslet med forskjellige mengder gjødsel (Tanner 1960). Forskjellige grader av oksygenvinn ble observert om vinteren, men ingen vinterdød hos fisk forekom. I to av innsjøene førte gjødslingen til utmerket fiske med høy produksjon av utsatt ørret (Salmo trutta).

Innsjøene som ble brukt til eksperimentene i Michigan må etter norske forhold betraktes som små, grunne dammer og er derfor ikke sammenlignbare med norske innsjøer som har en helt annen oksygenbalanse. I de tilfeller av fiskedød referert ovenfor var overdosering av gjødsel i de relativt små grunne dammer eller innsjøer årsaken til den høye planteproduksjon med påfølgende bakteriell nedbrytning og oksygenvinn på sein vinteren under isen. Mengden av gjødsel brukt (10% N, 6% fosforsyre, 4% K) varierte fra 100 - 700 kg/ha.

2.3. Alaska.

Bare Lake i Alaska, 49 ha max. dyp 7,5 m, ble gjødslet hvert år i 7 år fra 1950 - 1956 med nitrater og fosfater (Nelson 1959, Nelson & Edmondson 1955), i den hensikt å øke næringsgrunnlaget for laks (Red salmon Oncorhynchus nerka) som gyter i innsjøen. Produksjonen av planteplankton økte til det mangedobbelte umiddelbart etter hver gjødsling, mengden av phytoplankton økte mange ganger og siktedypet ble redusert fra 6 til 2 m. Mengden av zooplankton viste ikke noen signifikant økning fra 1950 - 1952, muligens som et resultat av lang livssyklus og predasjon. Gjødslingen førte til øket vekst hos lakseunger som bruker sjøen som oppvekstområde de første leveår. Gjødslingen medførte økning i størrelsen av laksesmolt som utvandret fra sjøen, dette ble sannsynligvis fulgt av en økt overleving i sjøen.

2.4. Australia.

Et interessant forsøk ble gjort med en høytliggende innsjø 1130 m.o.h. på øya Tasmania (Weatherley og Nicholls 1955). Innsjøens fysiske og kjemiske forhold ligner norske høyfjellssjøer, sommertemperaturen har variert fra 8° - 20° i korte perioder og innholdet av næringssalter ligger på samme nivå. Lake Dobson, 6,8 ha med max. dyp 6 m, ble gjødslet i 1949 hvor gjødningsstoffene ble lagt direkte på bunnen og 1950 - 1951 i de fri vannmasser. Gjødningen besto av ammoniumsulfat, superfosfat, kaliumklorid og kalk, ca. 115 kg/ha. Gjødslingen i 1950 - 1951 ble øyeblikkelig fulgt av en kraftig økning i phytoplankton og zooplankton. Økningen i zooplankton var kraftigst i 1952 og 1954. Gjødslingen på bunnen i 1949 stimulerte veksten av bunnvegetasjon, først og fremst tusenblad (Myriophyllum). Både naturlig og utsatt ørret viste en markert økning (30 - 50%) i veksthastigheten. Økningen var sterkest for de laveste årsklasser. 3-årig ørret etter gjødslingsperioden var nå større enn 4-årig fisk fra perioden før gjødsling. Innsjøen kunne etter gjødsling bære en mye større populasjon av ørret. Forsøket viste at en lavproduktiv innsjø av denne type med tilstrekkelig gjødning, kunne settes i stand til å bære en god fiskebestand. Den sterke spredning og vekst av tusenblad ga grunnlag for en mye rikere bunnfauna sammenlignet med bunnpartier uten tusenblad.

2.5. Skottland.

I gjødslingsforsøkene i Loch Kinardochy (16,6 ha og max. dyp 9,2 m) med 122 kg/ha kalsiumsuperfosfat i 1952, ble spesiell oppmerksomhet viet fjerningen av tilførte fosfater og betydningen av de forskjellige faktorer som utvasking eller fortykning, assimilasjon ved makrovegetasjon, phytoplankton, påvekststalger og bakterier, og absorpsjon ved bunnsedimentene (Brook og Holden 1957). Assimilasjon ved makrovegetasjon og påvekststalger var de viktigste faktorer i fjerningen av fosfat. Mengden av phytoplankton økte med 8 ganger i første året etter gjødsling, og en reduksjon til det halve i det andre året, mens populasjonen i det tredje og fjerde året hadde gått tilbake til normale mengder som før gjødsling. Observasjoner av bunndyr indikerte en signifikant økning i antall dyr etter gjødsling, spesielt i littoralsonen ved Gammarus lacustris. Noe av økningen kunne forklares ved en naturlig svingning i antallet dyr, virkninger på fisk ble ikke undersøkt.

I 1954 og 1955 ble 4 små innsjøer i nord-vest Skottland tilført gjødsel inneholdende nitrogen, fosfor og kalium i mengder fra 22,7 - 69,4 kg/ha (Munro 1961, Morgan 1966). Innsjøene var Lochan an Smuraich 2,4 ha, gjennomsnittsdyp 4,6 m, Loch an Beiste Brice 2,7 ha, gjennomsnittsdyp 3,4 m, Loch Grosvenor 2,5 ha, gjennomsnittsdyp 3,0 m og Loch an Daimh Mhor 8,3 ha og gjennomsnittsdyp 4,0 m). To av innsjøene ble også tilført store mengder CaCO_3 . Innsjøene hadde en naturlig bestand av små, sakte-voksende ørret. Responsen på gjødslingen i Smuraich (NKP + Ca), Beiste Brice (NKP) og Grosvenor (P + Ca), var en umiddelbar økning i veksthastigheten hos ørretpopulasjonene. Økningen i veksthastigheten holdt seg endog i det fjerde og det femte året etter gjødslingen. I kontrast til dette kunne først en forbedret veksthastighet hos ørreten i Daimh Mhor, bli registrert i det tredje og fjerde året etter gjødsling (P). Den beregnede økning i lengdetilvekst overført til vekt, resulterte i sterk vektøkning opp mot 100% spesielt i Smuraich (1956 og 1957) og Daimh Mhor (1957 og 1958) (Munro 1961, fig. 2).

Maksimum vekt av bunndyr, som ble undersøkt i Grosvenor og Smuraich, ble nådd tredje året etter gjødsling, i april 1957 med 16 - 25 ganger verdien for april 1954 (Morgan 1966). Mengden av bunndyr avtok igjen i 1958 og i 1959 og 1954-55-nivået ble nådd i 1960 - 61. Økningen skyldes først og fremst fjæremygglarver (Chironomidae). Faseforskyvningen på 2 - 3 år fra gjødsling til økningen i bunndyr skyldes sannsynligvis først opptak i phytoplanktonet, slammet og makrovegetasjon og bare senere ble tilgjengelig for påveksttalger og alger på bunnen som er viktig næring for bunndyr.

2.6. Sverige.

Ved et gjødslingsforsøk i Torneträskområdet i Nord-Sverige (Kuokkelprosjektet) blir foruten de fysiske-kjemiske forhold, også virkninger på bunnalger, makrovegetasjon, phytoplankton, bunndyr og zooplankton, undersøkt. (Holmgren et. al. 1973). I 1972 ble Hymenjaure gjødslet med Na_2HPO_4 tilsvarende 9,4 kg/ha, mens Stugsjön ble brukt som kontrollsjø. Gjødslingen i juni hadde ikke virkning på phytoplanktonet før etter ca. 10 uker. En høyere produksjon av bentiske alger og primærproduksjon i fri vannmasser i september i Hymenjaure kunne sannsynligvis være forårsaket av gjødslingen. Gjødslingen hadde liten virkning på den totale primærproduksjon i fri vannmasser i 1972. Bare en sterk økning av *Bosmina* av zooplanktonet på sensommeren, kunne ha sammenheng med gjødslingen. Det ble ikke registrert noen virkninger på næringsdyr for fisk.

Tilførsel av store mengder gjødningsstoffer med avløpsvann fra gruveindustrien (nitrogen og fosfor) til Södra Hörken (900 ha, max. dyp 20 m) i Sverige fra 1950 til 1956, har forårsaket kraftig vekst av phytoplankton (Kempe 1963). pH nådde flere ganger 10,0 og O_2 -metning på ca. 200% ble registrert. Videre er det dannet en næringsrik gyttja med en rik bunnfauna, vesentlig muslinger og fjæremygglarver og fiskens tilvekst (mørt og abbor) er økt kraftig.

2.7. Norge.

De eneste gjødslingsforsøk som det er tilgjengelig litteratur på er forsøkene i Vest-Telemark utført av Telemark Landbruksselskap (1961). Det ble arbeidet både med oppdemning av vann, foring av fisk og gjødsling. "Det syntes seg snart at foring ikke var praktisk politikk her tilfjells. Oppdemning kunne ha god verknad der lende og strender passa. Men det var gjødslinga som ga dei store lovnader og var lett og gjennomføre". (Telemark Landbruksselskap 1961). Da gjødslinga i Gottingkvevtjønn 2,0 ha max. dyp 6 m med 100 - 200 kg fullgjødsel B/ha, Stortjønn 5,2 ha max. dyp 7 m med 80 kg fullgjødsel B/ha, Grønlidstjønn 5 ha og

Oftevatn 10,5 ha med 14 kg fullgjødning B/ha tok til, var innsjøene overbefolket med små og dårlig ørret. Det meste av fisken var av så dårlig kvalitet at ingen hadde interesse av å fiske den. Virkningene av gjødningen er bare fulgt opp med analyser av fisken (skjellanalyser, lengde, vekt, kvalitet). Virkningene var størst i Stortjønn med sterk økning i lengde og vekt og alderssammensetningene endret seg i fangstene mot yngre fisk. Fisken nådde etter gjødning fangstbar størrelse på et tidligere stadium enn før.

I Stortjønn ble gjennomsnittsverken av ørreten tredoblet på 5 år og middellengden økte med 7 cm samtidig som det ble spart flere år på å få fisken i fangstbar størrelse. Virkningene var tilsvarende i de andre vatn, men de kvantitative utslag var ikke så sterke. I samband med gjødninga er det også fisket mer i vatna og vektøkningen som er registrert kan ikke bare tilskrives gjødninga, men også et sterkere fiske.

3. KRAV TIL GJØDNING AV NATURLIGE INNSJØER

3.1. Innsjøens størrelse, form og vanngjennomstrømming.

Den klassiske bruk av gjødning har vært i fiskedammer av varierende størrelse. Først i de siste 40 - 50 år er det utført en rekke forsøk for å prøve metodens anvendelighet i naturlige vannforekomster. De fleste gjødningsforsøk er gjort i relativt små innsjøer, mindre enn 10 ha, men det er også gjort forsøk i større innsjøer som for eksempel Great Central Lake i British Columbia, på 5100 ha med max. dyp på 280 m, tidligere referert. Virkningene på de biologiske forhold kan forventes å avta med økende størrelse på innsjøene, iallefall trengs større mengder gjødning. En annen situasjon vil imidlertid inntre i store dype innsjøer med sterk temperaturskiktning om sommeren. Større dypere innsjøer i Norge har om sommeren et etablert sprangskikt som ligger på 10 - 20 m dyp. I de øverste 10 m er vannet varmest, her foregår den vesentlige del av planteproduksjon og disse vannmasser sirkulerer effektivt. Dette må primært være forklaringen på de positive effekter som ble oppnådd i Great Central Lake. Teoretisk kan da disse forhold bidra til å holde de tilførte næringsalter i epilimnion (de øverste varme vannmasser) til bruk i produksjon av plantemateriale.

I tillegg til størrelsen og dybden på forsøksvatnet har vanngjennomstrømmingen stor betydning. Denne faktor bidrar til en utvasking av næringsalterne og er avhengig av forholdet mellom innsjøens volum og vanngjennomløp (teoretisk oppholdstid for vannmassene). Er vannstanden konstant, vil tilrenningen være lik avrenningen eller vanngjennomløpet. Utvasking eller fortynning av næringsalterne kan beregnes ut fra ligningen

$$\ln \left(\frac{c}{C_0} \right) = - \frac{v}{V_1} (t - t_0)$$

hvor c = næringssaltkonsentrasjonen ved tid t .

C_0 = næringssaltkonsentrasjonen ved tid t_0 .

v = tilrenning som m^3 /sek.

V_1 = innsjøens volum

(Brook & Holden 1957).

Vanngjennomløpet må være lite i forhold til innsjøens volum for at gjødsling skal bli vellykket. Fyllingen av kraftverksmagasiner utover vår og tidlig sommer vil skape ideelle forhold og eliminere effekten av fortykning da vanngjennomstrømningen blir lik 0, mens fyllingen pågår. Dette kombinert med en etablering av sprangskikt i juni måned skulle gi gode hydrologiske forhold for at gjødslingsforsøk i større innsjøer kan lykkes.

3.2. Temperaturen.

Da temperaturen er en viktig faktor for produksjonshastigheten og metabolsk aktivitet for planter og dyr, er det nødvendig å ta hensyn til dette ved utførelsen av et gjødningsforsøk. Erfaringer fra norske innsjøer viser at det ikke blir noen særlig fart i produksjonen av planteplankton før temperaturen i overflate-lagene når godt over 10° . Patalas (1970) sammenligner produksjonshastigheten av zooplankton (gram tørrvekt pr. dag) i en innsjø som er oppvarmet 6° over normalt, ved at den er brukt som mottaker av kjølevann fra varmekraftverk, og en annen innsjø som ikke er oppvarmet. Resultatene viste at produksjonen av planteetende zooplankton var 4 ganger større i den oppvarmede sjøen i den varmeste perioden. Likeledes vet en at respirasjon (åndingen) hos dyr er direkte avhengig av temperaturen, dette vil da gjelde både for zooplankton, bunndyr og fisk. Erfaringene fra vårt land viser også at det er om sommeren at røye og ørret vokser mest. Alt dette vil da bevirke at produksjon av plantemateriale og konsumeringen av dette skjer mest effektivt når temperaturen i overflatelagene har nådd et visst nivå. Dette skulle få som følge at en tidligst bør starte gjødslingen når temperaturen har nådd minst 10° i overflatelagene. Dette skjer i løpet av juni måned i de fleste av våre innsjøer.

3.3. Oksygenbalanse.

En høyere planteproduksjon og konsumering av organisk materiale vil påvirke oksygenbalansen i en gjødslet innsjø. Plantene produserer oksygen, mens dyrene forbruker oksygen ved åndingsprosessene. Men pga. forskyvning av disse prosesser i tid, men først og fremst sted (plantene produserer i overflatelagene, epilimnion, mens bakteriell nedbrytning og næringsdyrproduksjon også foregår i de dypere vannlag, hypolimnion). Dette fører til en sterkere belastning på oksygenreserven i dyplagene, spesielt hvis innsjøen er skiktet, mest kritisk vil forholdene være på sen vinteren når innsjøen er islagt. Overgjødsling og dårlig vannutskifting var årsaken til oppbruk av oksygen om vinteren med påfølgende fiskedød i North Twin og South Twin Lakes i Michigan, tidligere referert.

Begge innsjøene som er grunne, har hverken innløp eller utløp, vannstanden er avhengig av grunnvannsnivået og vannutskiftningen og fornyelse av oksygenbeholdningen når innsjøen er islagt må være ubetydelig. Det må vurderes om innsjøen vil tåle en merbelastning på oksygenbudsjettet som en gjødsling vil føre til. Forsøk med bekkerøye (Salvelinus fontinalis) har vist at arten kan leve uten å være aktiv i en oksygenkonsentrasjon på 2,3 mg O₂/l ved 5°C (Macan 1963 p. 184 - 188). Forsøk gjort med nyklekket yngel av samme art, viste at all fisk overlevde minst 5 dager ved 1,9 mg O₂/l ved 9 - 10°C (17% metning) og at letalkonsentrasjonen kunne bli senket ved aklimatisering til 1,05 mg O₂/l ved samme temperatur (Macan 1963). På sen vinteren under isen, vil temperaturen i de øverste vannlag ligge lavere enn de temperaturer som er referert ovenfor og letalgrensene vil ligge under de grenser som er referert ovenfor pga. mindre basalstoffskifte og følgelig lavere O₂-behov. I de øverste vannlag under isen vil det være rikelig med oksygen selv om en betydelig oksygenreduksjon i bunnvannet gjør seg gjeldende. Mulighetene for fiskedød på grunn av O₂-svinn i norske innsjøer av noen størrelse er derfor mikroskopiske.

3.4. Gjødselslag.

Gjødselslag må velges etter de behov som planteproduksjonen krever i de aktuelle innsjøer. Det vanligste er å bruke de samme gjødselslag som brukes i landbruket. Et aktuelt problem i Skandinavia i de senere år er forsuringen av våre vassdrag. Kalking av innsjøer er derfor utført for å skape et levelig miljø for fisk. Slike kalkingsforsøk er ikke behandlet i denne litteraturoversikt. Men kalkgjødsel er ofte brukt sammen med andre gjødselsstoffer. De vanligst tilførte gjødningsstoffer har vært fosfor og nitrogen i forskjellige sammensetninger. Tilførsel av sporelementer som Mo, Co, Zn og Mn har også vist seg å gi økt planteproduksjon (Goldman 1962, Rigler 1964). Kjemiske analyser av vannet må danne grunnlaget for valg av gjødselslag. Gjødsling må primært bare gjennomføres i lav-produktive eller næringsfattige innsjøer med lavt innhold av plantenæringsstoffer. Av brukte gjødselslag kan nevnes superfosfat, fullgjødsel (NKP), urea, ammoniumsulfat, kalsiumkarbonat, kaliumklorid og natriumnitrat. Gjødningsstoffene kan spres ut én gang på forsommeren, men mest effektivt vil være å gjødsle i doser, f. eks. hver uke i en 8 - 10 uker framover. Mengden av gjødsel brukt har variert stort fra 10 - 20 kg/ha til flere hundrede kilo. 20 kg/ha NKP-gjødsel i det 5100 ha store Great Central Lake, tidligere referert, ga gode resultater.

Virkingen av gjødsling på sterkt humuspregete innsjøer er lite kjent. I tillegg til NKP-gjødsling og superfosfat ble 2 av de sureste innsjøene i undersøkelsene i Skottland (Loch Smurich pH = 5,7 og Loch Grosvenor pH = 5,8) også tilført kalkgjødsling (CaCO₃) med positive virkninger. Gjødsling av kalksjøer eks. Hoffman Lake i Michigan (Hooper & Ball 1964) var mislykket på grunn av tap av fosfor til bunn sedimentene. Grunnen til at gjødsling ikke stimulerer planteproduksjon i slike innsjøer antas å være absorpsjon av næringsalter til partikulært kalk i vannet og mangel på løste organiske stoffer. En flokkulering og utfelling finner sted og innholdet av næringsalter reduseres kraftig. En lignende virkning kan tenkes at humuspartikler har i dystrofe innsjøer. Virkingen av gjødsling i sterkt humuspregete innsjøer kan da forventes å bli små. Innsjøene må ikke tilføres for

store mengder gjødning, slik at for sterk algeblomstring opptrer. Vann som brukes som basseng for vannverk må ikke gjødsles.

De fleste undersøkelser har vist at de tilførte planteneringsstoffer som fosfater og nitrater, blir raskt tatt opp og akkumulert i planter og dyr (eks. Einsele 1941, Brook & Holden 1957). Relativt kort tid etter gjødning er det derfor vanskelig å påvise noen økte næringskonsentrasjoner ved kjemiske analyser av vannet i innsjøen og dens utløp.

3.5. Plantevekst, næringsdyr og fisk.

Primært er suksessen av gjødning avhengig av en økt produksjon av plantemateriale og sekundært at denne næringskilde overføres til fisk gjennom dens næringsdyr. Virkningene vil derfor være forskjellig for grunne innsjøer preget av makrovegetasjon langs strendene og dype innsjøer uten særlig makrovegetasjon, men hvor produksjon av plantemateriale hovedsakelig foregår i de fri vannmasser ved phytoplanktonet. De fleste gjødslingsforsøk er gjort med grunne innsjøer, men undersøkelser av makrovegetasjonen er i liten utstrekning blitt utført. I slike innsjøer vil gjødning forventes å påvirke både littoralvegetasjonen (makrovegetasjon og påvekstalger) og phytoplanktonet. I det 7 - 12 m dype og 600 ha store Lustadvatn ved Steinkjer er gjødning blitt utført på tidligere neddemte strender for å stimulere plantevekst i denne sone. I Lustadvatnet er virkningene av gjødslingen på fiskebestanden vanskelig å skille ut fra andre faktorer. Gjødsling av utvaskete strender som etter hvert settes under vann, kan sammenlignes med de positive demningseffekter som finner sted ved reguleringer ved neddemming av nye arealer. I regulerte innsjøer er dette en svært aktuell metode som vil kompensere for det tap av plantemateriale som en stadig heving og senking av vannstanden fører til.

I år med lite nedbør vil enkelte magasiner ikke bli fylt med vann. Da kan denne anledningen benyttes til å stimulere plantevekst ved gjødning på arealer som senere settes under vann. Vitenskapelige gjødslingsforsøk omkring denne problematik er ukjent. En rikere vegetasjon i gruntvannssonen vil gi næringsgrunnlag for en større bunndyrproduksjon.

I større og dypere innsjøer vil gjødning primært stimulere produksjon av phytoplankton. Kraftige vannstandsvingninger i kraftverksmagasiner, vil virke sterkt inn på næringsdyrene i reguleringssonen, mens phytoplanktonet og zooplanktonet vil i de første år øke for senere og reduseres til nivået før regulering (Elgmork 1970, Langeland 1972). Ørreten i det regulerte magasin Holden i Nord-Trøndelag har antagelig endret sine næringsvaner etter regulering forårsaket av endring i næringsdyrmengden. Ørreten ernærer seg nå overveiende av krepsdyrplankton (Jensen 1972, Langeland, under trykking). Gjødsling av større reguleringsmagasiner vil forventes å øke produksjon av phytoplankton med påfølgende økning av zooplankton. De viktigste næringsdyr for ørreten i Holden er Daphnia galeata, Holopedium gibberum og Bythotrephes longimanus (krepssdyrplankton). Næringsstofftilførsler har vist seg å øke mengdene av slike planteetende krepssdyr betydelig. Gjødslingsforsøk i slike Daphnia-innsjøer skulle gi muligheter for positive virkninger på planteproduksjon, zooplankton og fisk. Om vatnet har røye som mer effektivt

kan utnytte zooplankton, vil virkningene på fiskeproduksjon forventes å kunne bli enda sterkere. I Storvatnet i Rissa (Langeland 1973) og Sølsjøen i Engerdal (Langeland og Rognerud 1972) var også Daphnia galeata det dominerende næringsdyr for røya på sensommeren og om høsten, i Dalsvatnet i Trollheimen også hos ørret om høsten (Johnsen 1973). Nevnte undersøkelser og mange andre tyder på at dette krepsdyret kanskje er det viktigste næringsdyret for fisk (sik, røye, ørret o.a.) i større norske innsjøer.

I flere av de refererte forsøk har økningen i veksthastighet ført til at fisken har nådd samme lengde som den tidligere brukte ett eller flere år mer for å nå. Den spesifikke vekstrate uttrykt som prosent pr. år varierer stort for de forskjellige fiskearter. Men for ørret i følge Frost og Brown (1972) ligger disse vekstratene på godt over 100% det første året, omkring 80% det andre året, 30 - 40% i det tredje året og vel 20% i det fjerde året. Hvis en tar utgangspunkt i en sannsynlig vekstøkning på 30% av foregående års lengde, vil dette i vekt utgjøre over det dobbelte i produksjon utregnet slik:

$$l_2 = l_1 + l_1 \cdot 0,3$$

$$v_2 = k(l_1 + l_1 \cdot 0,3)^3$$

Det vil si, vekten etter 30% økning, $v_2 = v_1 \cdot 2,2$, hvor l = fiskens lengde, og v = fiskens vekt og k = en konstant satt lik 1.

Endel regulerte og ikke-regulerte innsjøer har ofte en bestand av mye småfisk som gjør at interessen for å fiske er ubetydelig, dette gjelder spesielt for røye, f. eks. Tunnsjøflyene (regulert) og Langvatn i Ler (uregulert). Gjødslingsforsøkene i Telemark, tidligere referert, har vist at den vektøkning av fisken som fant sted, resulterte i større interesse for fisket i vatna. Da forsøkene startet, var vatna overbefolket med små og dårlig ørret. Fisken var av så dårlig kvalitet at ingen hadde interesse av å fiske i vatna. Gjødsling av slike problemvatn kan være den stimulering som trengs for å bringe fisken opp i en størrelse som gjør den attraktiv å fiske på.

4. SLUTNING

Vi vet for lite om virkningene av gjødsling av fiskevatn enda her i landet, denne kultiveringsmetode er hos oss enda på et tidlig eksperimentstadium. Regulering av innsjøer slik det blir gjort her i landet, kan etter Hutchinsons definisjon (Hutchinson 1969) oppfattes som en oligotrofiering. En utarming av næringsstoffgrunnlaget skjer ved utvasking av reguleringssonen. Næringsstoffene blir enten ført direkte ut av innsjøen ved tappingen av magasinet og overløp, eller at næringsstoffene tas ut av produksjonskretsløpet ved omlagring av sedimentene til de dypere lag hvor de ikke blir tilgjengelig. Dersom en antar at det eksisterende næringsstoffgrunnlag i reguleringsmagasinet utnyttes så effektivt som mulig ved produksjon av planter, næringsdyr og fisk, vil ikke overføring av nye næringsdyr eller nye fiskeslag, eks. rovfisk, kunne øke fiskeproduksjonen, snarere heller redusere den.

De refererte undersøkelser har vist at virkningene etter avsluttet gjødsling avtar raskt etter få år og innsjøen får sin opprinnelige økologiske tilstand. Ingen av forsøkene har vist at gjødslingen har forårsaket en påskyndet næringsanrikning (eutrofiering), selv ikke etter 18 år som vist ved forsøkene i Canada. Innsjøenes økologiske stabilitet er ikke forrykket. Paleolimnologiske undersøkelser (Digerfeldt 1972, Hutchinson 1972) og pollenanalyser har vist at de produktive forhold i innsjøer avtar (oligotrofiering) om tilførselene av næringssalter reduseres. I tidligere tider var antallet av næringsrike innsjøer mye større enn det er i dag. Oligotrofiering er kanskje den naturligste utvikling for mange innsjøer. Undersøkelsene i Trummen i Sverige (Digerfeldt 1972) og undersøkelsene i Lago di Monterosi i Italia (Hutchinson 1969) støtter hypotesen om oligotrofiering av naturlige innsjøer. For små grunne innsjøer med kraftig vekst av makrovegetasjon er utviklingsforløpet sannsynligvis det motsatte.

5. LITTERATUR

- Ball, R. C. 1950. Fertilization of natural lakes in Michigan. Trans. Am. Fish. Soc., 78: 145 - 155.
- Ball, R. C. & Tanner, H. A. 1951. The biological effects of fertilizer on a warm-water lake. Tech. Bull. 223, Michigan State College, Agr. Exp. St.: 1 - 32.
- Barraclough, W. E. & Robinson, D. 1972. The fertilization of Great Central Lake III. Effect on juvenile sockeye salmon. Fish. Bull. 70 (1): 37 - 48.
- Brook, A. J. & Holden, A. V. 1957. Fertilization Experiments in Scottish Fresh-water Lochs. I. Loch Kinardochy. Sci. Invest. Freshwat. Fish. Scot., 17: 1 - 30.
- Digerfeldt, G. 1972. The post-glacial development of Lake Trummen. Folia. Limnol. Scand., 16: 1 - 104.
- Eguchi, Hiroshi, Takashi Kurohagi, Kiyoshi Yashoizumi and Shyoichi Sasaki. 1954. The experimental fertilization on Lake Sikotsu (preliminary report). Scientific reports of the Hokkaido Fish Hatchery (english summary), 9 (1 - 2): 161 - 176.
- Einsele, W. 1941. Die Umsetzung von zugeführtem, anorganischen Phosphat in eutrophen See und ihre Rückwirkungen auf seinen Gesamthaushalt. Zeitschrift für Fischerei 39: 407 - 488.
- Elster, H. J. 1951. Amerikanische Versuche mit radioaktiven Phosphor und die Wirkung einer Phosphat-Düngung in Binnenseen. Der Fish. Wirt., 1: 248 - 251.
- Eriksson, F., Grip, H., Mossberg, P., Nyberg, P. & Ramberg, L. 1973. Klotenprojektet - hydrologisk och limnologisk forskning i skogslandet. Fauna och flora, 2: 56 - 68.
- Eutrophication: Causes, consequences, correctives. 1969. Nat. Acad. Sci. Washington D. C.
- Goldman, C. R. 1962. Primary productivity and micro-nutrient limiting factors in some North American and New Zealand lakes. Communication at XV Internat. Congr. Limnol. Wisconsin.
- Gross, F., Raymont, J. E. G., Nutman, S. R. and Gauld, D. T. 1946. Application of fertilizers to an open sea loch. Nature 158: 187 - 189.
- Hasler, A. D. & Einsele, W. G. 1948. Fertilization for increasing productivity of natural inland waters. Trans. Thirteenth N. Am. Wildlife Conf.: 527 - 555.
- Holden, A. V. 1959. Fertilization Experiments in Scottish Freshwater Lochs II. Sutherland, 1954. 1. Chemical and Botanical Observations. Sci. Invest. Freshwat. Fish. Scot., 24: 1 - 42.
- Holden, A. V. 1961. The removal of dissolved phosphate from lake waters by bottom deposits. Verh. Internat. Verein. Limnol., 14: 247 - 251.
- Holmgren, S., Jansson, M., Ånell, C., Solander, D., Lundgren, A., Persson, G., Nyman, B. and Axelsson, S. 1973. Experiment med gödsling av sjöar i Kuokkelområdet. Kuokkelprojektets rapport nr. 2. Uppsala Universitet, Limnologiska Institutionen.
- Hooper, F. F. & Ball, R. C. 1964. Responses of a Marl Lake to Fertilization. Trans. Am. Fish. Soc. 93: 164 - 173.
- Hutchinson, E. H. 1969. Eutrophication, past and present. I Eutrophication: Causes, consequences, correctives. Nat. Acad. Sci. Washington D. C.: 17 - 26.

- Johnsen, B. O. 1973. Ernæring hos ørret, Salmo trutta L. i Dalsvatn, Sør-Trøndelag. Sammenlikning av variasjonene i fiskens ernæring med variasjonene i plankton- og bunnfauna. Lab. for ferskvannsekologi og innlandsfiske, K. norske Vidensk. Selsk. Mus., rapp. nr. 14: 87 pp.
- Juday, C. & Schloemer, C. L. 1938. Effect of fertilizers on plankton production and on fish growth in a Wisconsin lake. Progr. Fish. Cult., 40: 24 - 27.
- Kempe, O. 1963. Om forsøk med gødsling av sjøar. Svensk Fiskeri Tidsskrift, 5: 74 - 77.
- Langeland, A. 1972. A comparison of the zooplankton communities in seven mountain lakes near Lillehammer, Norway (1896 and 1971). Norw. J. Zool., 20: 213 - 226.
- Langford, R. R. 1950. Fertilization of lakes in Algonquin Park, Ontario. Trans. Am. Fish. Soc. 78: 133 - 144.
- LeBrasseur, R. J. & Kennedy, O. D. 1972. The fertilization of Great Central Lake. II. Zooplankton standing stock. Fish. Bull., 70(1): 25 - 36.
- Lindstrøm, T. 1973. Betning och predation - en summarisk översikt av kanadensisk forskning i pelagiska ekosystem. Information från Sötvattenslaboratoriet Drottningholm, 8: 15 pp.
- Macan, T. T. 1963. Freshwater Ecology. Longmans, London: 338 pp.
- Maciulek, J. A. 1954. Artificial fertilization of lakes and ponds. Special Scient. Rep. Fish and Wildlife Serv., 113: 1 - 41.
- McAllister, C. D., LeBrasseur, R. J. & Parson, T. R. 1972. Stability of enriched aquatic ecosystems. Science, 175: 562 - 564.
- McIntireh, D. C. & Bond, C. E. 1962. Effects of artificial fertilization on plankton and benthos abundance in four experimental pounds. Trans. Am. Fish. Soc., 91 (3): 303 - 312.
- Milbrink, G. 1971. Fiskpredation och eutrofiering - en litteraturöversikt. Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm, 10: 22 pp.
- Morgan, N. C. 1966. Fertilization experiments in Scottish Freshwater Lochs II. Sutherland, 1954. 2. Effects on the bottom fauna. Sci. Invest. Freshwat. Fish. Scot., 36: 1 - 19.
- Munro, W. R. 1961. The effect of mineral fertilizers on the growth of trout in some Scottish lochs. Verh. Internat. Verein. Limnol., 14: 718 - 721.
- Nees, J. C. 1949. Development and status of pond fertilization in Central Europe. Trans. Am. Fish. Soc., 76: 335 - 358.
- Nelson, P. R. 1959. Effects of fertilizing Bare Lake, Alaska, on growth and production of red Salmon (*O. Nerka*). Fish. Bull. 159 vol. 60: 59 - 83.
- Nelson, P. R. & Edmondson, W. T. 1955. Limnological effects of fertilizing Bare Lake, Alaska. Fish. Bull. 102 vol. 56: 415 - 436.
- Parsons, T. R., Stephens, K. & Takahashi, M. 1972. The fertilization of Great Central Lake. I. Effect of primary production. Fish. Bull. 70(1): 13 - 23.
- Patalas, K. 1970. Primary and secondary production in a lake heated by thermal power plant. Proc. Ann. Techn. Meet. Inst. Environm. Sci. Boston, Mass.: 267 - 271.
- The Prog. Fish. Cult. 1948. 10 (3): 157 - 159. Fertilization of our waters.
- Ramberg, L. Andersson, E., Ehlert, K., Eriksson, F., Grip, H., Johansson, J. Å., Mossberg, P., Nyberg, P. & Olafsson, H. 1973. 1. Klotenprojektets undersökningsområde. 2. Effekter på vattenkvaliteten i bäckar vid skogsgödsling med ammoniumnitrat och urea. Klotenprojektet. Effekter av skogsgödsling och kalkuggning på mark och vatten, rapp. nr. 1. Uppsala Universitet, Limnologiska Institutionen.
- Raymond, J. E. G. & Miller, R. S. 1962. Production of marine zooplankton with fertilization in an enclosed body of sea water. Intern. Rev. der Gesam. Hydrobiol. 47 (2).

- Forth Report of the Biological Bureau, Province of Quebec, Game and Fish, Dep. Canada, 1947. Fertilization of our waters.
- Rigler, F. H. 1964. The contribution of zooplankton to the turnover of phosphorus in the epilimnion of small lakes. Canadian Fish. Cult., 32: 3 - 9.
- Schäperclaus, W. 1958. Düngungsversuche in einem markischen See. Archiv für Fischereiwissenschaft, 1 (3 - 4): 136 - 142.
- Schindler, D. W., Armstrong, F. A. J., Holmgren, S. K. & Brunskill, G. J. 1971. Eutrophication of Lake 227, experimental Lakes Area, Northwestern Ontario, by addition of phosphate and nitrate. J. Fish. Res. Bd. Canada, 28: 1763 - 1782.
- Smith, M. W. 1948. Preliminary observations upon the fertilization of Crecy Lake, New Brunswick. Trans. Am. Fish. Soc., 75: 165 - 174.
- Smith, M. W. 1950. Experimental use of fertilizer. Canadian Fish Cult., 6: 1 - 3.
- Smith, M. W. 1955. Fertilization and predator control to improve trout angling in natural lakes. J. Fish. Res. Bd. Canada, 12(2): 210 - 237.
- Smith, M. W. 1959. Phosphorus enrichment of drainage waters from farm lands. J. Fish. Res. Bd. Canada, 16(6): 887 - 895.
- Smith, M. W. 1961. Bottom fauna in a fertilized natural lake and its utilization by trout (*Salvelinus fontinalis*) as food. Verh. Internat. Verein. Limnol. 14: 722 - 726.
- Smith, M. W. 1968. Fertilization and predator control to increase growth rate and yield of trout in a natural lake. J. Fish. Res. Bd. Canada, 25(10): 2011 - 2036.
- Smith, M. W. 1969. Changes in environment and biota of a natural lake after fertilization. J. Fish. Res. Bd. Canada, 26: 3101 - 3132.
- Snekvik, E. 1967. Notat om gjødsling av fiskevann. Trondheim Omland Fiskeadministrasjon Årbok 1967: 32 - 36.
- Stenberg, L. 1965. Några erfarenheter av kalkning och gödsling av fiskevattnen i Värmlands län. Svensk Fiskeri Tidsskrift, 74(7 - 8): 111 - 112.
- Tägtstrøm, B. 1952. Om gödsling av naturliga lekplatser. Svensk Fiskeri Tidsskrift (61)3.
- Tanner, H. A. 1960. Some consequences of adding fertilizer to five Michigan trout lakes. Trans. Am. Fish. Soc., 89(2): 198 - 205.
- Telemark landbruksselskap. 1961. Ferskvassfisket. Kultivering av fiskevatn ved gjødsling og andre tiltak.: 1 - 10.
- Threinen, C. W. 1951. Fertilization of Wisconsin Waters. Wisconsin Conservation Bulletin, 16(11): 1 - 3.
- Weatherley, A. & Nicholls, A. G. 1955. The effects of artificial enrichment of a lake. Aust. J. Mar. Freshw. Res. 6: 443 - 468.
- Winberg, G. G. & Lyaknovich, V. P. 1969. Fertilization of fish ponds. Fish. Res. Board. Can. Transl. Ser. No. 1339.
- Wröbel, S. 1962. Einfluss der Stickstoff-Phosphordüngung auf die chemische Zusammensetzung des Wassers, auf die Primärproduktion des Phytoplanktons und auf den Fischzuwachs in Teichen. Acta Hydrobiol. 4(2): 151 - 204.

