

Vassdragsreguleringer og biologisk produksjon i innsjøer

Kan bærekraftig fiskeoppdrett være
et avbøtende tiltak?



Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

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

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

NIVA Midt-Norge

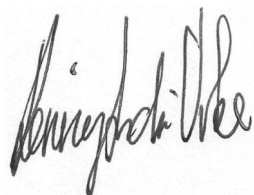
Pirsenteret, Havnegata 9
Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Vassdragsreguleringer og biologisk produksjon i innsjøer – Kan bærekraftig fiskeoppdrett være et avbøtende tiltak?	Løpenr. (for bestilling) 6066-2010	Dato 17.11.2010
	Prosjektnr. Undernr. O-27428.7	Sider Pris 17
Forfatter(e) Dag Berge	Fagområde Vannressursforvaltning, Akvakultur	Distribusjon Fri
	Geografisk område Nordland	Trykket CopyCat AS

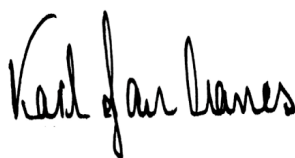
Oppdragsgiver(e) Hattfjelldal kommune Landbruks- og Matdepartementet Partnerskap Indre Helgeland	Oppdragsreferanse Hattroye
--	--------------------------------------

Sammendrag Det er over tid observert redusert fiskeavkastning i Røsvatn og man ønsker å starte røyeoppdrett i sjøen, både for å kompensere for dårligere fiske, men også for å få i gang ny næringsvirksomhet i Hattfjelldal kommune. Denne studien indikerer at den naturlige fiskeproduksjonen i innsjøen trolig er halvert som følge av vassdragsreguleringene. Innsjøen kan tåle et merdbasert røyeoppdrett på ca 3000 tonn per år og fortsatt holde seg innenfor innsjøens resipientkapasitet beregnet etter Klifs veileder. Gjødslingseffekten et slikt oppdrett vil ha på den akvatiske næringskjeden, vil bringe den naturlige produksjonen av villfisk opp mot gammelt nivå før reguleringen.
--

Fire norske emneord 1. Vannkraft regulering 2. Påvirkning 3. Akvakultur 4. Gjødslings effekter	Fire engelske emneord 1. Hydropower regulation 2. Impact 3. Aquaculture 4. Fertilization
---	---



Henning Andre Urke
Prosjektleder



Karl Jan Aanes
Forskningsleder



Bjørn A. Faafeng
Seniorrådgiver

Norsk institutt for vannforskning
Oslo

O-27482.7

Vassdragsreguleringer og biologisk produksjon i innsjøer

Kan bærekraftig fiskeoppdrett være et avbøtende tiltak?

Gaustadalleen, Oslo, 17.11.2010

Saksbehandler: Henning Urke

Medarbeider: Dag Berge

Forord

Rapporten inngår som en delutredning i HattRøye prosjektet der man gjennomfører grunnundersøkelser med tanke på etablering av røyeoppdrett i Røssvatn i Hattfjelldal kommune i Nordland fylke.

Rapporten ble presentert og diskutert på et prosjektseminar på Sæterstad gård i Hattfjelldal den 26-27. oktober 2010.

Prosjektet er finansiert av Landbruks- og Matdepartementet, Hattfjelldal kommune og Partnerskap Indre Helgeland.

Rapporten er skrevet av seniorforsker Dag Berge, NIVA.

Trondheim, 17.11.2010

Henning Andre Urke

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Innledning	7
2. Næringssalter	7
3. Strandsonen (Littoralsonen)	9
4. Hvor stor merdbasert røyeproduksjon tåler Røssvatn	13
5. I hvilken grad vil merdoppdrettet øke produksjon av villfisk?	14
6. Litteratur	16

Sammendrag

Rapporten gir en kort innføring i de viktigste årsakene, og mekanismene, til at vannkraftregulering vanligvis resulterer i redusert biologisk produksjon i innsjøer. Utredningen er gjort i forbindelse med at man observerer redusert fiskeavkastning i Røssvatn, Nordland Fylke, og at man vurderer å starte opp røyeoppdrett både for å kompensere for dårligere fiske og for å skape ny næringsvirksomhet i bygda.

Når man regulerer et vassdrag demmer man vanligvis opp en del av vassdragets innsjøer for å ha magasinert vann til el-produksjon i perioder med liten avrenning. Vassdraget får da større volum, og tilbakeholdelsen av fosfor øker. Dette gjør vassdraget generelt mer oligotroft. Denne effekten har hatt liten effekt i Røssvatn da oppholdstiden uansett er lang, og da endrer fosforretensjonen seg lite i forhold til mindre endringer i oppholdstid. Viktigere årsak for den observerte reduksjonen i fiskeavkastningen i Røssvatn er de relativt store vannstandsvariasjonene (13 m) som reguleringene har medført. I en naturlig innsjø er vannstandsvariasjonene normalt bare 1-2 m. Vannstandsvariasjonene ødelegger littoralsonen, som er den del av bunnen som mottar nok sollys til at høyere planter og begroingsalger kan leve der. Med plantene tilstede inneholder denne sonen også et rikt bunndyrliv som ofte utgjør fra 50-80 % av føden for fisken i en innsjø. Etablerte sammenhenger mellom reguleringshøyde og fiskeavkastning, anslår at den naturlige fiskeproduksjonen i Røssvatn trolig er halvert som følge av reguleringen.

Forsøk med gjødsling av regulerte innsjøer har gitt betydelig bedret fiskeavkastning, og i USA og Canada brukes gjødsling på regulær basis for å øke fiskeproduksjonen av laksefisk i mange innsjøer og elver. Fiskeoppdrett virker gjødslande på resipienten på samme måte som bruk av kunstgjødsel. Beregninger av resipientkapasitet viser at Røssvatn kan tåle en merdbasert røyeproduksjon på ca 3000 tonn per år og likevel holde seg innenfor innsjøens resipientkapasitet beregnet etter SFTs (nå Klif) veiledere. Et røyeoppdrett på dette nivået vil kunne bringe produksjonen av villfisk i Røssvatn opp mot gammelt nivå som følge av den gjødslingeffekten det vil ha på næringskjede i innsjøen.

Summary

Title: Hydropower regulations and biological production in lakes – Can fish farming constitute an abatement measure?

Year: 2010

Author: Dag Berge

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-5801-1

The report gives a short outline of the main causes, and mechanisms, behind the reductions of the biological production observed in lakes after hydropower regulation. The study is done in connection with the observed reductions in fish yield in Lake Røssvatn, Nordland County, where they now consider to start with fish farming both as a compensation for loss of fish catch, and as a mean of creating new business activity in the region.

Hydropower regulation of a water course normally implies that the lakes are dammed to store water for el-production in periods with low runoff. The watercourse will then get a larger volume, which results in increased retention of phosphorus. This effect is, however, small in Lake Røssvatn where the water residence time is long anyhow, and under such circumstances the phosphorus retention does not change much with small relative changes in water residence time. A major cause for the reduction in the fish yield in Lake Røssvatn is the large water level fluctuation (13 m) the regulation has accomplished. In a natural lake the water level fluctuation is normally only about 1-2 m. The high water level fluctuation destroys the littoral zone, which is the part of the bottom that receives sufficient sunlight to support the growth of higher plants and periphyton. And with the plants present this zone will also contain a rich life of bottom animals which often constitute 50-80 % of fish food production in a lake. Established correlations between water level fluctuations and fish yields in hydropower reservoirs estimate a 50 % reduction of the fish production in Lake Røssvatn due to the regulation.

Experience from fertilization experiments in regulated lakes is a significantly increased fish production, and in Alaska and Canada fertilisation is now used on regularly basis as a measure to increase the production of salmonid fish in both lakes and rivers. Cage based fish farming gives a fertilisation effect to the lake in the same way as addition of chemical fertiliser. Model calculations indicate that Røssvatn can tolerate a cage based production of char of approximately 3000 tonnes per year and still be within the recipient capacity calculated according to the guidelines of the Norwegian Climate and Pollution Directorate. A fish farm production of this size will enhance the wild fish production up to the pre-regulation level due to fertilization effects on the aquatic food web.

1. Innledning

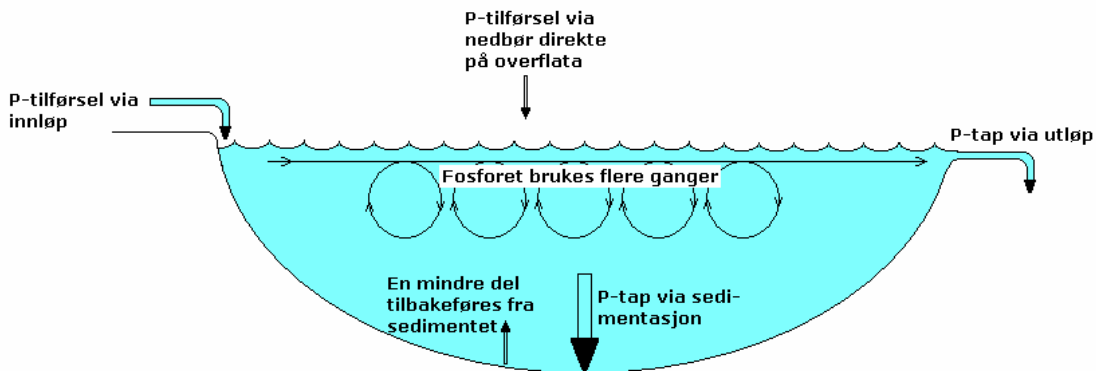
Nesten uten unntak resulterer vannkraftreguleringer i at de berørte elver og innsjøer får redusert fiskeproduksjon, eller redusert fiskeavkastning som er det som de lokale fiskerne observerer. Fisken blir ofte også av dårlig kondisjon sammenliknet med hva den var før regulering. Reguleringer har oftest negative effekter på all biologisk produksjon i vassdraget, men dette merker ikke folk noe til da de stort sett ikke utnytter annet enn fiskeproduksjon i vassdraget. Fisken står øverst i næringskjeden i vann og den merker reguleringseffektene ved at det blir mindre mat og mindre egnede leveområder etter regulering. Menneskene merker at det blir mindre fisk og færre fisk. Enkelte ganger kan det bli overbefolkede bestander av små røye, av dårlig kvalitet.

I Norge har man ikke brukt fiskeoppdrett som noe tiltak for å kompensere for redusert fiskeproduksjon, noe som imidlertid er vanlig å gjøre ved vannkraftreguleringer i utviklingsland. I slike land er gjerne innlandsfisk en viktig proteinkilde i det daglige kostholdet til folk, mens i Norge spiser vi svært lite ferskvannsfisk, og denne utgjør for den jevne nordmann en ubetydelig del av våre proteinkilder. På den annen side har vi erfaring fra at fiskeoppdrett i innsjøer gir en gjødslingseffekt, og resulterer i mer alger, som for eksempel i Espelandsvatn i Sogn og Fjordane (kfr. Berge 2000). Gjennom de mangeårige overvåkinger av de mer forurensede innsjøer i sentrale strøk, og gjennom gjødsling av fiskevatn, har vi også lang erfaring med at mer alger gir mer fisk. Det gjelder bare å ikke overbelaste innsjøen slik at arssammensetningen endres i retning av ”ugressalger” som ikke egner seg som mat i neste ledd i næringskjeden. Da oppstår det problemer. Man må holde seg innenfor det som kalles innsjøens ”resipientkapasitet” for fosfor. Til å beregne denne har vi gjennomprøvde empiriske modeller som gjør at det er ikke vanskelig å holde fiskeoppdrettet i Røssvatn på et forvarlig nivå.

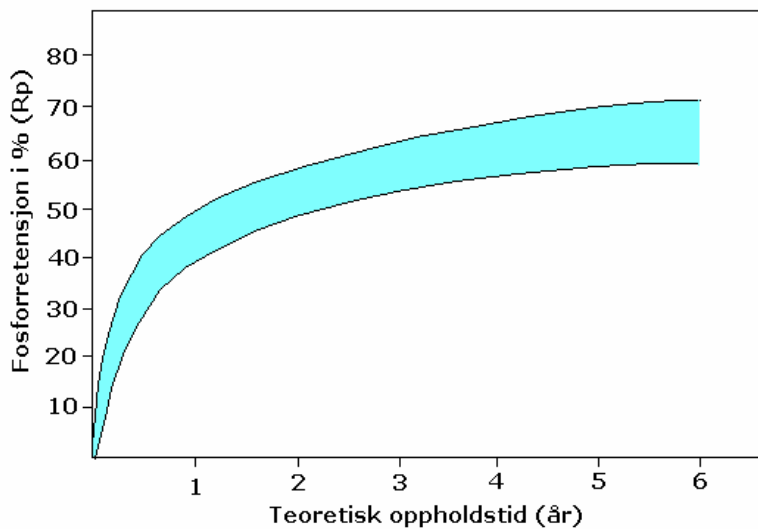
Vi vil først se litt på mekanismene bak den reguleringsbetingede nedgangen i biologisk produksjon i innsjøer og i slutten av notatet komme inn Røssvatn mer spesielt, samt å se på hvor stort fiskeoppdrett man kan ha, og hva man kan oppnå av miljøforbedringer i Røssvatn ved å drive et størrelsestilpasset røyeoppdrett.

2. Næringsalter

Det er tilgangen på fosfor som regulerer produksjonen i innsjøer og i elver. Fosforet tilføres innsjøen fra nedslagsfeltet, eller som nedfall på overflaten, eller som utlipp fra menneskelig aktivitet direkte til vannet. Nitrogen og andre næringsalter er selvfølgelig også viktig, men de er stort sett alltid til stede i overskudd, slik at det hjelper ikke å gjødsle en innsjø alene med nitrogen. Fosforet tas meget fort opp av algene, slik at fritt fosfat finner man nesten ikke i en innsjø overflatelag. Fosforet er så ettertraktet at det gjerne brukes flere ganger, dvs. at hvis en alge dør og råtner i de frie vannmasser, vil andre alger ta opp det fosforet som lekker ut nokså umiddelbart. En liten del av algene tas opp som mat av neste ledd i næringskjeden, mens mye av algene synker til bunns når de dør (sedimenterer) og noen renner ut av innsjøen. Men fritt fosfat kan også adsorberes til erosjonspartikler og sedimentere sammen med disse. Fig 1 viser et skjematisk og forenklet bilde av fosfor omsetningen i en innsjø. Grovt sett kan man si at innsjøen virker som et sedimentasjonsbasseng for fosfor. Jo lenger oppholdstid vannet har i innsjøen, jo mer fosfor synker til bunns. Det er laget gode empiriske sammenhenger mellom vannets oppholdstid og innsjøens tilbakeholdelse av fosfor (kalles fosforretensjon), se figur 2.



Figur 1. Fosforomsetning i innsjøer. Fosforet brukes flere ganger. Noe tapes via utløp og noe tapes til sedimentet. En mindre del kan frigjøres fra sedimentet igjen under spesielle forhold.



Figur 2. Sammenheng mellom fosforretensjon og oppholdstid i innsjøer (etter Holtan og medarb. 1990).

Når man regulerer et vassdrag demmer man opp vassdragets innsjøer for å få magasinert vann til perioder med liten avrenning, samt for å øke fallhøyden for turbinene. Man øker vassdragets volum (V), mens nedbørfeltets avrenning (Q) er den samme. Vannets oppholdstid (T_w) i vassdraget blir lenger. $T_w = V/Q$. Av figuren over ser man at dette medfører økt tilbakeholdelse av fosfor. Dvs. en større andel av fosforet frarøves de frie vannmasser og havner i sedimentet. Innsjøens biologiske primærproduktivitet avtar som følge av økt fosforretensjon. Når planteproduksjonen avtar, avtar også produktiviteten på de etterfølgende ledd i næringskjeden.

Røssvatn ble ved reguleringen i 1957 demt opp 9 m fra en 374 moh til HRV (høyeste regulerte vannstand) på 383 moh. Den kan i dag tappes ned til LRV (laveste regulerte vannstand) på 370 moh dvs. 3 m lavere enn normal vannstanden før regulering. Forskjellen på HRV og LRV gir et magasinivolum på $2309 \times 106 \text{ m}^3$. Innsjøens volum ble da økt med litt mindre enn dette magasinivolumet. Dette bidrar til å øke oppholdstiden og fosforretensjonen. Nå er det overført nye felter til Røssvatn, hvorav Bleikvannsfeltet er det største. Dette bidrar til å redusere oppholdstiden i Røssvatn og fosforretensjonen. Bleikvatn er imidlertid også demt opp og regulert 33 m (hrv-lrv). Så her er også

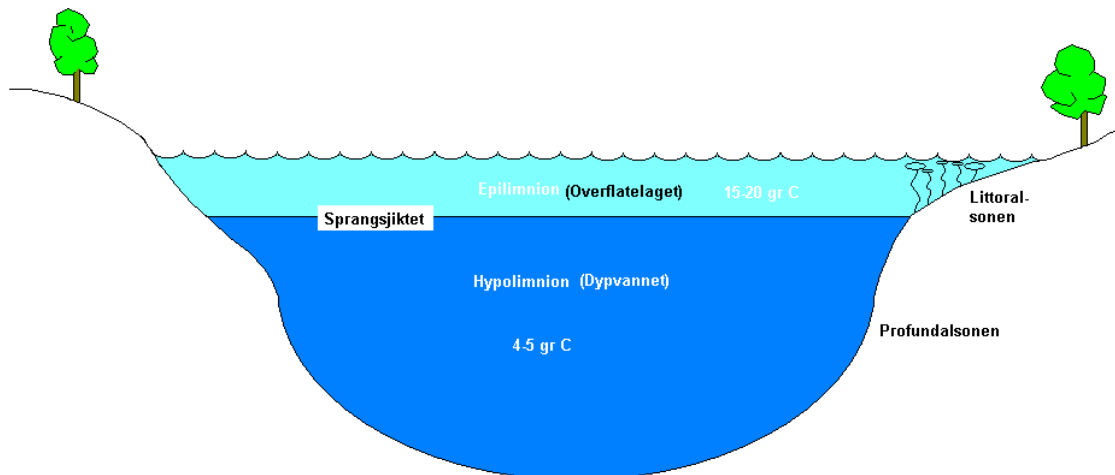
fosforretensjonen øket. Vannet herfra er med på å fortynne vannet i Røssvatn mht fosfor. Med såpass sparsomt med data som finnes, er det vanskelig å anslå med noen gode regnestykker hvor mye fosforkonsentrasjonen i Røssvatn er redusert som følge av reguleringene med noen rimelig grad av sikkerhet. Trolig er det ikke så mye siden oppholdstiden i Røssvatn ligger i det området hvor kurven i figur 2 flater ut. Hvis man for eksempel antar at middelverdiene man observerte ved undersøkelsene i 1988 og 1995 på 1,8 µgP/l er dagens konsentrasjon i innsjøen, så var den naturlige konsentrasjonen av total fosfor i Røssvatn før regulering maksimalt 2 µg P/l.

3. Strandsonen (Littoralsonen)

Men det er ikke bare økt fosforretensjon som reduserer innsjøens produktivitet ved regulering. Enda viktigere er ødeleggelsen av strandsonen, eller littoralsonen som er et litt utvidet strandsonebegrep. Littoralsonen er den delen av strandsonen som får lys nok til å underholde livet til rotfaste planter og fastsittende alger, se figur 3. I en innsjø som Røssvatn er dette bunnen i dybdesonen 0-10 m, hvor sonen fra 1-6 m er aller viktigst. Om sommeren er denne sonen omgitt av overflatevann varmet opp av sola. Strandsonen er innsjøenes viktigste sone mht biologisk produksjon.

Under littoralsonen ligger den mørke, kalde og ensformige profundalsonen (dypområdene, se figur 3). Her er det kaldt vann hele året, det er mørkt, ingen planter, og bunnen er ensformig bestående av bløtt slam, ofte så bløtt at mange organismer ikke kan leve på det.

De frie vannmasser som normalt faller sammen med littoralsonen, kalles for epilimnion (overflatelagene) og denne blir varmet opp av sola til anslagsvis 12-14 grader i Røssvatn midtsommers, figur 3. De frie vannmasser som fyller opp profundalsonen kalles for hypolimnion (dypvannet). Dette har fire grader eller lavere hele året.

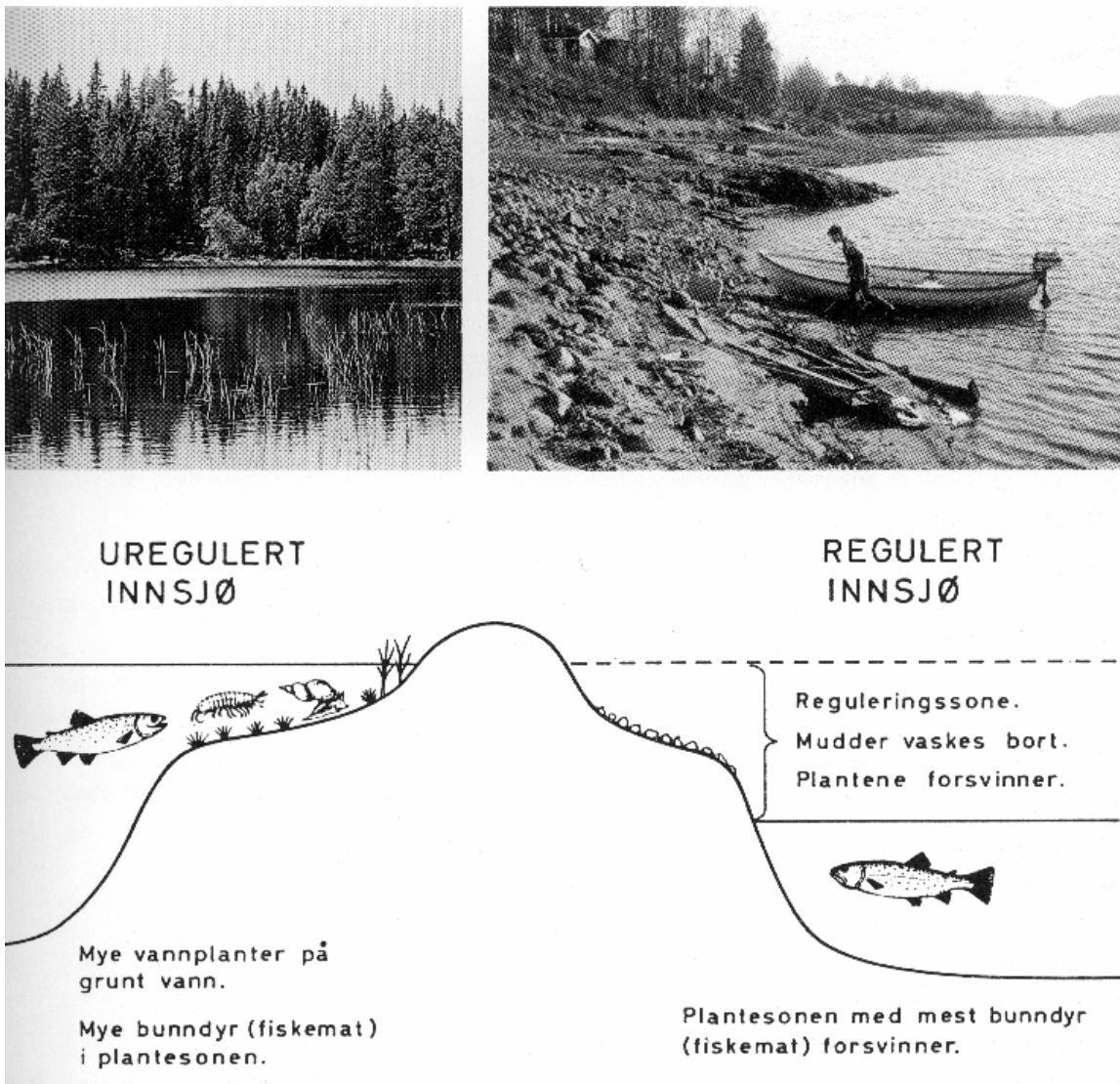


Figur 3. De ulike bunnområder og vannsjikt i innsjøer.

I en normal littoralsonen er det høyere planter, fastsittende alger, nedfalte blader og annet organisk materiale fra kantskogen, et variert habitat, mange slags viktige bunndyr som krepsdyr og insektslarver, snegler, muslinger, osv. Normalt produseres fra 60-80 % av fiske maten her. Fiskematdyrene i littoralsonen er store og trege og fisken trenger ikke bruke mye energi for å få tak i dem. Når denne sonen blir ødelagt av regulering, må fisken ut på den mørke og kalde profundalsonen

å lete etter de få dyrene som er der, eller den må ut i de frie vannmasser og lete etter dyreplankton. Her er det mye mindre mat, byttedyrene er mindre, og planktondyrene er raske og vanskelige å fange. Fisken må bruke mye mer energi på å skaffe seg mat og veksten og kondisjonen på fisken blir dårligere.

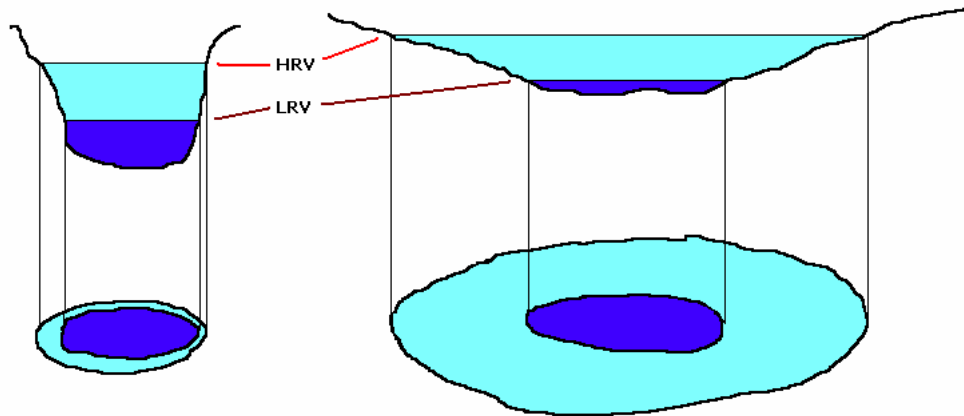
Reguleringen fører til gjentakende tørrlegging av denne sonen, noe som dreper alle vannlevende organismer som ikke kan svømme. Plantene med sine sedimentbindende røtter dør. Bølgeslagserosjon i perioder med synkende og stigende vannstand vasker og transporterer bort organisk materiale og finslam fra mer eller mindre hele denne sonen. Etter hvert blir strandsonen omgjort til en uorganisk ørken bestående av sand og stein som tørrlegges et par ganger om året. Figur 4 viser hvordan professor Jan Økland ved Universitetet i Oslo beskriver dette i sin lærebok: Vann og vassdrag I (Økland 1995), og figur 5 viser littoralsonen i Røssvatn etter 60 år med regulering.



Figur 4. Hvordan det går med littoralsonen (strandsonen) i en regulert innsjø (etter Økland 1995: Vann og vassdrag 1)

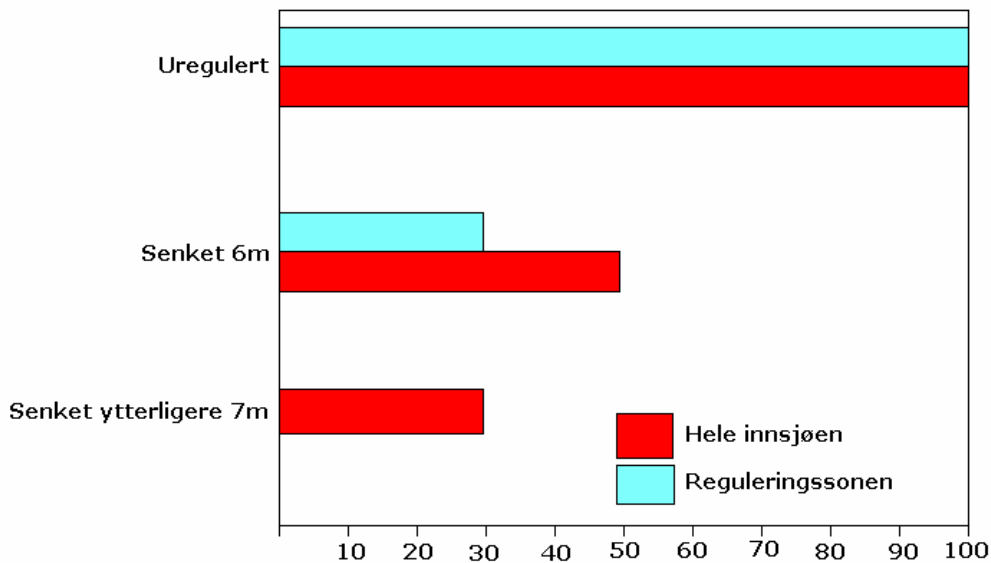
Hvor stor negativ effekt regulerings høyden har på fiskeproduksjonen er til en viss grad avhengig av innsjøens bassengform. Er det en svært brådyb innsjø har den en liten littoralsonen fra naturen av, og skadene blir mindre enn om innsjøen er av langgrunn karakter og har en stor littoralsonen, se figur 5.

Bassengformen til Røssvatn er mer av typen til høyre i figuren, og vil få klart nedsatt fiskeproduksjon som følge av reguleringen, se figur 7.



Figur 5. Magasinets morfometri er, i tillegg til reguleringshøyden, avgjørende for hvor stor reguleringssonen blir. Et brådypt vann får liten reguleringszone, mens et langgrunt vann får stor reguleringszone.

I figur 6 er det vist hvordan det gikk med bunndyrmengden i en svensk innsjø som ble brukt som reguleringsmagasin, i første omgang regulert 6 m, senere gjennom utvidet regulering med ytterligere 7m (Blåsjøen i Nord-Sverige, etter Grimås 1961), dvs 13 m reguleringshøyde. Ved den første reguleringen forsvant 50 % av bunndyrene i hele sjøen, og 70 % av de littorale bunndyrene. Ved utvidelse til 13 m reguleringszone forsvant alle de littorale bunndyrene og innsjøens totale bunndyrmengde ble redusert med 70 %. Det er klart at når så mye fiskemat forsvinner, blir det trange kår for fisken. Røssvatn har 12 m reguleringszone (hrv-lrv), og littoralsonen er i stor grad omdannet til en steinørken, se figur 7. I Norge er det ikke gjort noen slike totalundersøkelser av bunndyrmengde før og etter regulering i innsjøer.

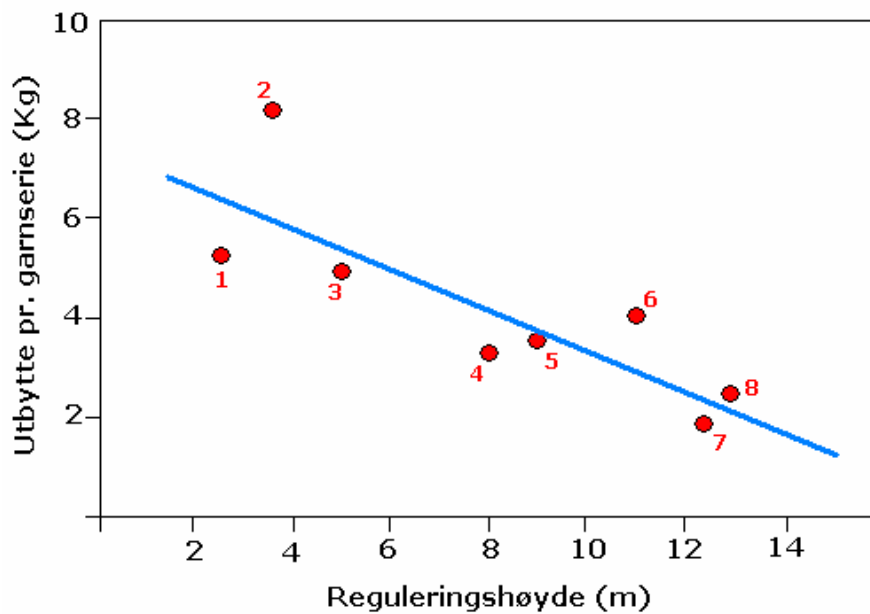


Figur 6. Reguleringens konsekvenser for bunndyrmengden (%) i Blåsjøen i Nord-Sverige (etter Grimås 1961)



Figur 7. Reguleringen har omdannet littoralsonen i Røssvatn til en uorganisk ørken av sand og stein med sterkt nedsatt biologisk produksjon, bl.a av viktig fiskemat som littorale bunndyr (foto: Torstein Kristensen).

I figur 8 er det vist en sammenheng mellom fiskeavkastning og reguleringshøyde (vannstandsvariasjoner) i regulerte innsjøer i Hallingdalsfjellene (Garnås og Gunnerød 1981). En ser at for disse magasinene er ørretavkastningen i magasiner med 12-14 m reguleringshøyde ca 1/3 av hva den er i magasiner med bare 2-3 m reguleringshøyde.



Figur 8. Fiskeavkastning (Utbytte i kg pr. prøvegarnserie) i reguleringsmagasiner i Hallingdal med ulike reguleringshøyder (etter Garnås og Gunnerød 1981).

Vannstandsvariasjonen i Røssvatn er 13 m og hvis en sammenlikner med kurven over, ville altså ørret produksjonen gått ned til en tredjedel. Nå er reguleringenes utslag på ørret vanligvis større enn på røye siden ørreten har mindre evne til å kunne livnære seg av plankton enn røya. Men man har i alle fall ikke tatt for hardt i ved å anta at reguleringen av Røssvatn har halvert den naturlige fiskeproduksjonen i innsjøen. Dette stemmer rimelig godt overens med intervju med lokale fiskere fra området som mente at avkastningen var minst halvert sammenliknet med før regulering.

4. Hvor stor merdbasert røyeproduksjon tåler Røssvatn

Ved produksjon i merder blir fôret dosert rett i vannfasen, og nærmest alt fôret tas opp av fisken, slik at det er ekskresjon fra fisken som gir det meste av fosforbelastningen. Det som akkumuleres i fiskekjøttet tas ut ved slaktning, slik at dette trekkes i fra forurensningsbudsjettet.

Fôr som anvendes til røyeoppdrett inneholder i henhold til Skotvold og Tjomsland (2002) ca 1,1 % fosfor. Det vil si ca 0,011 kg P/kg fôr. Røye inneholder ca 2,7 % fosfor på tørrvektbasis, dvs. 2,7 g P pr kg tørrvekt. Fisk inneholder i gjennomsnitt 80 % vann. Det vil si at fisken inneholder 0,54 g P per kg fersk vekt fisk.

Hvis vi regner fôrfaktor på 1 (Arnason 2009), dvs. det produseres 1 kg røye (ferskvekt) per kg fôr (tørrvekt). Gjøres alt om til tørrvektbasis, som egentlig må gjøres for at det skal bli teknisk og vitenskapelig sammenliknbart, er altså fôrfaktoren bare 20 %, dvs. det produseres 200 g røye av ett kg fôr, og har altså 80 % tap (vesentlig respirasjonstap). Allikevel er dette dobbelt så høy effektivitet som det som er vanlig i naturen der man gjerne observerer 90 % tap ved overgang til neste trofiske nivå. Men man regner ikke fiskeproduksjon i tørrvekt, slik man i praktisk sammenheng sier at fôrfaktoren er 1.

1 t røye krever 1 tonn fôr som tilvarer en tilførsel på 11 kg fosfor minus det man fjerner med fisken som er 0,54 kg. Dvs. hvert tonn røye medfører en netto tilførsel av fosfor på 10,46 kg P.

Røssvatn ble undersøkt i 1988 og i 1995 i regi av prosjektet Regional Eutrofi (Faafeng 1999). Gjennomsnittlig konsentrasjon av total fosfor ble funnet å være 1,8 µg P/l. I henhold til SFTs veileder for å estimere innsjøers tåleevne for fosfor (SFT 1997 – veileder 95:01 Sammenhenger mellom utslipp og virkning) vil da innsjøen tåle en tilleggsbelastning med fosfor på 28362 kgP pr år. Regner man en fosfortilførsel på 10,46 kg per produsert tonn røye får man da en produksjonskapasitet på 2700 tonn røye pr år. SFT veilederen baserer seg på RBJ-modellen (Rognerud, Berge og Johannessen 1979) for store dype sjøer som Røssvatn og øvre akseptable fosforkonsentrasjon er for disse i henhold til modellen 7 µg P/l.

Forrige beregning (Urke og medarb. 2009) kom fram til at innsjøen kunne tåle 3000 tonn per år og holde seg innen SFTs beste vannkvalitetsklasse, som nettopp benytter 7 µgP/l som grenseverdi. Den vesentligste forskjellen på de to beregningene er at sistnevnte beregning er basert på en teoretisk beregnet fosforkonsentrasjon i Røssvatn på 1,5 µg P/l, mens den foreliggende er basert på observerte konsentrasjoner. Det er godt med sikringsmonn i disse beregningene, og innsjøen vil kunne tåle en produksjon på 3000 tonn per år uten å få noen økologiske problemer.

SFTs vannkvalitetskriterier (SFT veileder 97:04) karakteriserer vannkvaliteten per se og tar ikke hensyn til at ulike innsjøtyper tåler ulike konsentrasjoner. Vanddirektivet, som nå innføres i Norge, tar imidlertid høyde for at ulike innsjøtyper tåler ulike konsentrasjoner før problemer oppstår. Her heter det at ingen innsjøer skal ha dårligere enn klasse 2 – ”god økologisk status”. Røssvatn vil tilhøre

innsjøtypen LN5, ”store, klarvannsinnsjøer i skogsområder”. Her er nedre grense for god økologisk status satt nettopp til 7 µg P/l, altså samme grense som anvendt i vår beregning (Se klassifiseringsveilederen (www.vannportalen.no)). Nå er Røssvatn regulert med kunstige vannstandsvariasjoner større enn 3 m, og det vil da kunne godtas et mindre strengt miljømål enn god økologisk status for de biologiske kvalitetselementene som er påvirket av regulering (fisk, bunndyr og fastsittende planter). For virkningstypen eutrofiering (gjødslingseffekter), som bl.a. omfatter fosfor, vil imidlertid grenseverdien fortsatt være 7 µg P/l.

3000 tonn røye per år vil derfor være en øvre grense for hva man kan akseptere uten at produksjonen skal skape økologiske eller bruksmessige problemer for Røssvatn, også etter at Vanndirektivet i nær framtid blir basis for vannforvaltningen i området. Man kan imidlertid få en del lokale effekter, som begroddede steiner langs strendene nær anleggene, akkumulering av sediment under merdene, etc. Det første av dette, som imidlertid kun er et visuelt problem, må man leve med, mens det andre kan man unngå ved å flytte litt på merdene år om annet.

5. I hvilken grad vil merdoppdrettet øke produksjon av villfisk?

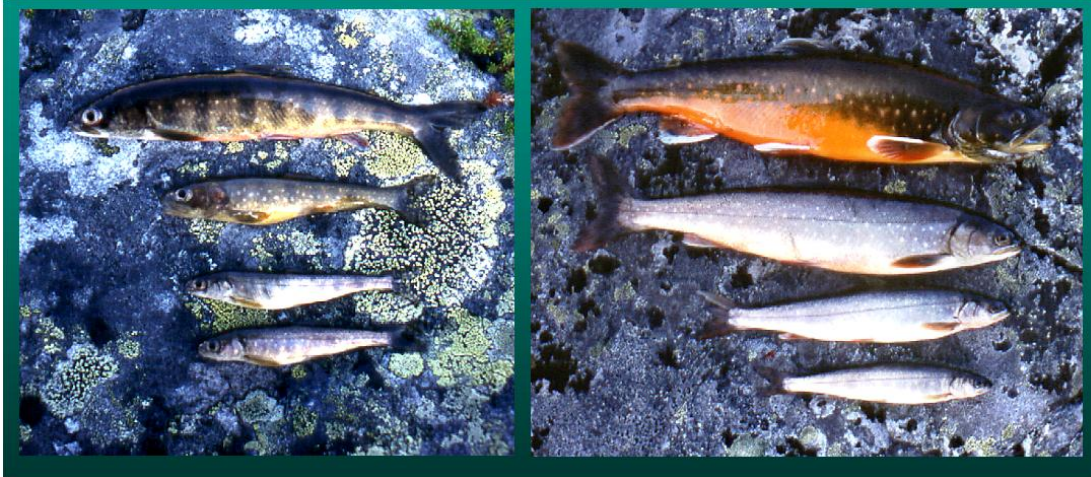
Ved fiskeoppdrett vil man føre næringsalter og organisk stoff ut i innsjøen, og dette vil virke gjødselende på innsjøen. Dette vil kunne øke produktiviteten på alle trofiske nivåer i innsjøen, også av fisk.

På vestkysten av Canada (British Columbia) og i Alaska (USA) har regelmessig gjødsling med fosfor og nitrogen vært i bruk i lang tid (ca 50 år) for å stimulere produksjon av laks, ørret og røye i lokaliteter hvor naturlig produktivitet er nedsatt av forskjellige grunner som overfiske og regulering (Stokner and MacIsaac 1998, Ashley 1998). Det begynte med at man brukte overskudd av hvete, og strødde det i elva eller strandsonen. Etter hvert fant man ut at man fikk samme effekten ved bruk av små mengder kunstgjødsel, noe som var mye lettere å dosere automatisk. Dette gjøres nå i stor stil, både for å øke verdien av fisket og for miljøoppretting der menneskelig aktivitet har gitt nedsatt fiskeproduksjon. Mange av prosjektene er svært lønnsomme økonomisk med Benefit : Cost ratio på opp til 11:1 for sockeye salmon (anadrom laksetype) og 5:1 for Kokanee (en plankton spisende innlandslaks med levesett omtrent som røye). Man har gjødslet innsjøene opp fra ultra næringsfattige til næringsfattig nivå, dvs fosforkonsentrasjoner opp fra 1-4 µg/l, tilsvarende algemende opp fra 0,6-2 µg kl-a/l. Innsjøene har da fortsatt karakter av klarvannssjøer, og vanlige folk ser ikke forskjell på tilstanden før og etter gjødsling.

I Skandinavia har man i det alt vesentlig bare drevet gjødsling av fiskevatn på forsøksbasis med varighet av prosjektene 3-6 år (Milbrink 1998). Alle disse prosjektene har gitt betydelig økning av fiskebestanden. I Norge er Limnocult prosjektet til Akvaplan NIVA og NIVA (Dahl-Hansen og medarb. 1998) kanskje det mest kjente. Her ble to vann i Skittenfjordvassdraget på Norkyn halvøya i Finnmark, som hadde bestander av dvergroye, gjødslet opp fra ultra-oligotroft nivå til oligotroft nivå, dvs omtrent som de Kanadiske sjøene. Man fikk økt biomasse på alle trofiske nivåer, og fisken ble større og mye bedre kvalitet enn tidligere. Kondisjonsfaktoren på røya gikk opp fra under 1 til 1,4. Populasjonen ble endret fra før å bare inneholde bitte små røyer med ”skiftenøkkelfasjon” til å inneholde røyer av et stort spekter av størrelseskategorier, se figur 9.

I alle disse forsøkene er det dokumentert at effekten er at næringsaltene stimulerer algvekst, som igjen stimulerer produksjon av dyreplankton og bunndyr som til slutt stimulerer produksjon av fisk. Som nevnt tidligere medførte fiskeoppdrettet i Espelandsvannet i Sogn og Fjordane at algemenden økte fra

2 μg kla/l før til over 5 μg kla/l som årsmiddel etter ti år med oppdrett (Berge 2000) og det oppstod algeproblemer i innsjøen. Fosforkonsentrasjonen var opp i over 20 $\mu\text{gP/l}$, og Fylkesmannen krevde at fiskeoppdrettet ble redusert til å være innenfor innsjøens resipientkapasitet. Dette fant ikke oppdretteren regningssvarende og oppdrettet ble nedlagt/flyttet. Det ble ikke foretatt noen vitenskapelige undersøkelser av hvordan oppdrettet hadde påvirket villfiskbestanden, men lokale fiskere sa at fisket etter villfisk var blitt mye bedre, og fisken var av bedre kvalitet enn tidligere.



Figur 9. Typiske røyer i Skittenfjorvatn før og etter 3 år med gjødsling. Foto Geir Dahl Hansen, Akvaplan NIVA.

Fiskeoppdrett i Røssvatn vil være positivt for villfisken i vannet og vil kunne rette opp mye av den tapte produksjonen som reguleringen har medført. Hvis man utnytter kapasiteten i vannet fullt ut, dvs 3000 tonn røy per år, vil man tydelig merke et bedret fiske etter villfisk i Røssvatn, både når det gjelder mengde fisk og fiskens kondisjon, samt at man vil få et større størrelsesspekter på fisken. Det kan godt hende at fisket til og med blir bedre enn det var før reguleringen. Vi har ikke grunnlag til å gjøre noe eksakte beregninger av dette, da det er kun ett vatn hvor det er drevet så omfattende merdbasert fiskeoppdrett i Norge at man har sett tydelig eutrofierende effekter. Hvis man derimot setter i gang et lite oppdrett på bare 300 tonn per år i Røssvatn, vil man neppe merke noen bedring på fisket etter villfisk. Til det blir næringsalt tilsatsen for liten.

Det meste av bedringen av villfiskproduksjonen vil være som følge av fiskeoppdrettets gjødslingseffekt på vannmassene. Dvs villfisken vil fortsatt leve av naturlige næringsdyr med opprinnelse i den akvatiske næringskjede. Røya er ganske stedbunden, slik at det er bare lokal fisk rundt merdene som vil kunne nyttegjøre seg eventuelt fôrspill som direkte føde, mens hele sjøen vil nyte godt av fiskeoppdrettets utslipp av næringsalter.

6. Litteratur

- Arnason, J 2009: Oppdrettsfisk som matråvare., fordrag på konferansen om bærekraftig fiskeoppdrett 8. mai 2009, www.matis.is/.../Jon-Arnason-Baerekraftig-fiskeoppdrett-8-mai-2009.pdf
- Ashley, K.I. 1998: Review of provincial lake fertilization experiments in British Columbia, Canada., Restoration of fisheries by enrichment of aquatic ecosystems., International workshop at Uppsala University, March 30-April 1, 1998., Uppsala Universitet, Repro Ekonomikum, Uppsala 1999, 220 pp.
- Berge, D., 2000: Vurdering av miljøtilstanden i Espelandsvatn i Hyllestad kommune i Sogn og Fjordane., NIVA-rapport lnr 4181-2000., 26 sider.
- Dahl-Hansen, G.A. og medarbeidere 1998: LIMNOCULT 1998 Fase-II: Effekter etter to år med næringssaltanrikning av et næringsfattig røyevassdrag, Akvaplan-niva rapport 5341401.
- Faafeng, B. og T. J. Oredalen 1999. Landsomfattende trofiundersøkelse av norske innsjøer. Oppsummering av første fase av undersøkelsen 1988-1988. NIVA-rapport lnr 4120-1999, 82 sider.
- Garnås, E. og Gunnerød, T.B. 1981: Fiskeribiologiske undersøkelser i regulerte vann i Hallingdal (Stolsmagasinet, Strandavatn, Rødungen, Varaldsetvatn og Bergsjø). Rapport fra DVF Reguleringsundersøkelsene 1981 (8): 1-104.
- Grimås, U. 1962: The effect of increased water level fluctuation upon the bottom fauna in Lake Blåsjön, northern Sweden. Report Inst. Freshwater Res. Drottningholm (44): 14-41.
- Holtan, H., D. Berge and J. Molvær 1990. Retention of nutrients in lakes and rivers with comments on retention in fjords. Paper prepared for The Convention for the Prevention of Marine Pollution from Land-based Sources. Ad Hoc Working Group on Methods of Calculation of Nutrient Inputs. NIVA 25-27 Sept. 1990. 13. pp.
- Milbrink, G 1998: The Scandinavian experience of nutrient enrichment of aquatic environments., International workshop at Uppsala University, March 30-April 1, 1998., Uppsala Universitet, Repro Ekonomikum, Uppsala 1999, 220 pp.
- SFT-veileder 97:04., Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann, SFT-rapport TA-1468/1997, 31 sider.
- SFT-veiledning 95:01. Miljømål for vannforekomstene – sammenhenger mellom utslipp og virkning., SFT-rapport TA-1138/1995, 50 sider.
- Skotvold, T. og Tjomsland, T. 2002: Modellering av utslipp fra røyeoppdrett i Røssåga vassdraget., Akvaplan NIVA – rapport APN-523.2375., 30 sider
- Stokner, J.G. and MacIsaac, E. A. 1998: Lake fertilization for sockeye salmon enhancement in British Columbia, Canada. ., International workshop at Uppsala University, March 30-April 1, 1998., Uppsala Universitet, Repro Ekonomikum, Uppsala 1999, 220 pp.

Urke, H., Tjomsland, T. og J. Molvær 2009. Merdbasert matfiskproduksjon av røye i Røssvatnk-
Vurderinger i forhold til næringssalter, regelverk, rømming av fisk, og fiskehelse., NIVA-
rapport 5739-2009, 20 sider.

Vanndirektivet 2009. Klassifiseringsveileder. www.vannportalen.no

Økland, J. og K. Økland, 1996. Vann og vassdrag 2. Økologi., Vett & Viten AS, ISBN 82-412-0160-
5., 309 sider.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

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



Norsk institutt for vannforskning

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