

## Restaurering av regleringsmagasin – optimering av fisk- och planktonproduktion genom balanserad näringsanrikning

### Projektmedlemmar

*Projektledare:*  
Göran Milbrink, professor  
Avd. för Zoöekologi,  
Inst. För ekologi och evolution  
Uppsala Universitet  
752 36 Uppsala  
018/4712664  
Goran.milbrink@ebc.uu.se

*Projektmedlemmar:*  
Staffan Holmgren, fil.dr.  
Mithögskolan  
831 25 Östersund  
063/165578  
Staffan.Holmgren@telia.com

*Projektmedlemmar:*  
Mats Jansson, professor  
Institutionen för ekologi och  
geovetenskap  
Umeå Universitet  
901 87 Umeå  
060/7866098  
Mats.Jansson@eg.umu.se

*Doktorand:*  
Jonas Persson, fil.mag.  
Avd. för Limnologi, Inst. För  
ekologi och evolution  
Uppsala Universitet  
752 36 Uppsala  
018/4712728  
Jonas.Persson@ebc.uu.se

*Projektmedlemmar:*  
Tobias Vrede, fil.dr.  
Avd. för Limnologi,  
Inst. För ekologi och evolution  
Uppsala Universitet  
752 36 Uppsala  
018/4712725  
Tobias.Vrede@ebc.uu.se

*Projektmedlemmar:*  
Lars Tranvik, professor  
Avd. för Limnologi,  
Inst. För ekologi och evolution  
Uppsala Universitet  
752 36 Uppsala  
018/4712722  
Lars.Tranvik@ebc.uu.se

*Projektmedlemmar:*  
Emil Rydin, fil.dr.  
Avd. för Limnologi,  
Inst. För ekologi och evolution  
Uppsala Universitet  
752 36 Uppsala  
018/4712714  
Emil.Rydin@ebc.uu.se

### Bakgrund och problemställning

Det övergripande målet med projektet har varit att undersöka om det är möjligt samt ekologiskt försvarbart att förbättra fiskproduktionen i regleringsskadade sjöar i fjällregionen genom kompensatorisk näringstillsättning. För att utröna hur näringstillsatser kan restaurera/återföra framför allt rödingpopulationer till konditionsnivåer som rådde före reglering måste hela näringskedjan från näringsämnen till fisk följas i kvalitativa och kvantitativa termer och de ekologiska effekterna av tillsatserna också utredas. Det är självklart viktigt att den tillförda näringen ger upphov till ökad produktion, men det är samtidigt nödvändigt att beakta vart näringen tar vägen. Vi måste säkerställa att näringstillsatserna stimulerar den befintliga sammansättningen av näringsväven och att inte oönskade arter av växt- och djurplankton breder ut sig. Utvecklingen av biodiversiteten bör också noggrant följas. Huvudproblemet är att de reglerade sjöarna utarmas på näring – oligotrofiering (Ney, 1996; Stockner et al., 2000), och att de stora vattenståndsfluktuationerna förstör litoralzonen. Dessa skador leder i längden fram till svaga och långsamväxande fiskpopulationer. Den bärande tanken i projektet är att stimulera produktionen i planktonnäringväven genom en försiktig tillsats av näringsämnen och att därigenom i slutändan stimulera fiskproduktionen så att den når en nivå som motsvarar den som rådde innan regleringen. Kompensatorisk näringstillsats är en möjlighet att kompensera

oligotrofieringen och uppnå naturlig produktivitet i fiskbestånden i redan reglerade system, men åtgärden innebär ingen total restaurering av andra typer av skador som uppkommer i samband med reglering.

Frågeställningar som vi behandlat inom projektet är:

- \* Vilka är orsakerna till näringsutarmningen?
- \* Kan kompensatorisk näringstillsats (fosfor och kväve) bygga upp biologisk produktion i den fria vattenmassan som ersätter den förlorade produktionen i strandzonen?
- \* Vart tar den näring som tillsätts vägen? I vilken utsträckning sker fastlåsning i sedimenten och hur mycket förloras nedströms.
- \* Hur snabbt svarar planktonkonstituenterna på den ökade näringsgivan och hur är successionsordningen?
- \* Bibehålles den kvalitativa sammansättningen av växtplankton på längre sikt?
- \* I vad mån förändras födokvaliteten hos växtplankton med avseende på sammansättningen av grundämnen (C:N:P-stökiometri) och essentiella fettsyror efter näringstillsats? Stimulerar näringstillsatsen organismer av hög födokvalitet som via en kort näringsväv i sin tur stimulerar fiskproduktionen?
- \* Hur förändras bottenfaunans kvantitativa och kvalitativa sammansättning efter näringstillsats?
- \* Stämmer det vi tidigare sett att bottenfaunan kraftfullt svarar men med några års försening?
- \* Leder ökad primärproduktion till att fiskpopulationerna restaureras, och är det möjligt att på så vis förbättra fiskens kondition så att den tål att jämföras med den som rådde före regleringen?
- \* I vad mån stämmer det att rödingen som planktonspecialist (åtminstone i sympatriska situationer med öring) i första hand gynnas av näringstillsättning?
- \* Svarar alla rödingar på samma positiva sätt på riklig tillgång på pelagiskt zooplankton?
- \* I vad mån gynnas också öringen av näringstillsättningen och i vilket tidsperspektiv?
- \* Förändras graden av piscivori i röding- och öringspopulationerna efter en längre tids näringstillsättning något som skulle kunna påverka fiskpopulationernas strukturella sammansättning (top-down-effekter).
- \* Hur är den ekonomiska lönsamheten (inklusive multiplikatoreffekter) vid åtgärder av detta slag?

### **Projektbeskrivning**

Projektet är en fortsättning på vårt föregående treårsprojekt inom ämnesområdet habitatförstärkning som löpte 2000-2002. Kompensatorisk näringstillsats har prövats experimentellt i helsjöskala i sjöarna Stora Mjölkvattnet och Burvattnet (i övre delen av Långsåns avrinningsområde, ett biflöde till Indalsälven i NV Jämtland). Efter förstudier i båda sjöarna under åren 2000-2001 har näringstillsats genomförts i Stora Mjölkvattnet under åren 2002-2005, varvid Burvattnet har fungerat som omanipulerat kontrollsystem. Parallellt med näringstillsatserna har ett omfattande provtagningsprogram för vattenkemi (i utlopp och större inlopp, samt i sjöarna) och biologiska analyser (fr.a. plankton och fisk) genomförts i båda sjöarna. Dessutom har vi genomfört mätningar av sedimentationshastigheter (Rydin et al., ms) och fysikaliska och kemiska analyser av bottensediment i Stora Mjölkvattnet. För att näringstillsatsen ska vara effektiv krävs det att rätt organismer stimuleras så att födokvalitet och näringsvävsstruktur medger ett effektivt flöde av energi från primärproducenter (växtplankton) till fisk. Vi har fortsatt studierna av biota under 2003-2004 med huvudsakligen samma provtagningsupplägg och metoder som under den föregående

projektperioden. Under 2005 har en viss reducering av de personella insatserna varit nödvändig p.g.a. bristande ekonomiska resurser inom projektets ram.

## **Projektets resultat**

### **Näringsutarmning (oligotrofiering) orsakad av reglering**

Målsättningen var att *kvantifiera* och utreda orsakerna till den näringsutarmning som har skett på grund av regleringen av Mjölkvattnet och Burvattnet 1942. Detta utgör grunden för att en näringsstillsats ska kunna dimensioneras och bli kompensatorisk.

Hypotesen var att den kontinuerliga vattenståndsförändringen i sjön påverkar när under året näring från strandzonen når sjön, samt att de minsta näringsrika partiklarna i sjön förloras nedströms i en högre utsträckning. Därigenom förloras möjligheten för en långsam nedbrytning och fosforfrigörelse från dessa partiklar, vilket skulle kunna förklara näringsutarmningen.

Den naturliga vattenståndsförhöjningen i samband med snösmältningen har bidragit med fosfor till det oreglerade Mjölkvattnet vid en tidpunkt som sammanfaller med den biologiska produktionssäsongen. Förnaprover från Mjölkvattnets strandzon sattes under vatten och förvarades mörkt och kallt (4°C) under syrgasfria förhållanden över en månad. 3% av förnans fosforinnehåll lakades ut i form av fosfat. Omräknat till den översvämmade arean, och förnans mäktighet, motsvarar denna frigörelse en ökning på 2 µg fosfatfosfor per liter av Mjölkvattnets översta tredjedel av vattenmassan. Det motsvarar en tredjedel av den årliga fosforimporten från avrinningsområdet till Mjölkvattnet. Det är rimligt att anta att syrgasbrist råder i dessa lager, men det behöver undersökas hur effektiv transporten av mobiliserad fosfat är till vattenmassan. Förutom fosfatfrigörelse från detta gamla organiska material vid vattenståndsförhöjning utgör fjolårets växtlighet i strandzonen en ytterligare möjlig näringskälla.

Vi har inte lyckats kvantifiera en förändring (minskning) av fosforretentionen i Mjölkvattnet under de drygt 60 år som har gått sedan reglering genom att analysera fosfordepositionen i sedimenten. Variationen mellan de analyserade sedimentpropparna (4 st) var för stor. Vi har dock undersökt andra indikatorer för hur näringsstatusen har försämrats, vilket är andra vägar att uppskatta näringsgivan.

Sammantaget har vi under ”näringsutarmning” visat att:

1. Regleringen medför en frånvaro av labila biogena fosforföreningar i sedimenten, men att dessa återfinns i naturliga koncentrationer efter tre års näringsstillsatser (Fig. 2) (Ahlgren et al., ms).
2. Den naturliga vattenståndsförhöjningen i ett oreglerat system i samband med vårfloden har potential att ge ett signifikant fosfortillskott till vattnet under den delen av året då primärproduktionen skall vara maximal.
3. Näringsutarmning bör mätas i termer av mängd fosfor lagrad i biota snarare än det klassiska sättet att mäta näringsstatus i akvatiska system (totalfosforkoncentrationen i vattenmassan) (Rydin et al., ms). Används denna definition är Mjölkvattnets näringsutarmning på grund av regleringen påtaglig; endast hälften av den biotillgängliga fosfor finns kvar i vattenmassan.

## Kompensatorisk näringstillsats

Målet med den kompensatoriska näringstillsatsen är att stimulera den pelagiska primärproduktionen och uppnå effektivast möjliga överföring av energin till fisk. Detta kan uppnås genom att näringen tillsätts vid en tidpunkt då den väl kan tas till vara av plankton, samt att dosen och proportionerna mellan olika näringsämnen är sådan att ätliga växtplankton som inte sedimenterar gynnas och att näringen därmed transporteras effektivt i näringsväven.

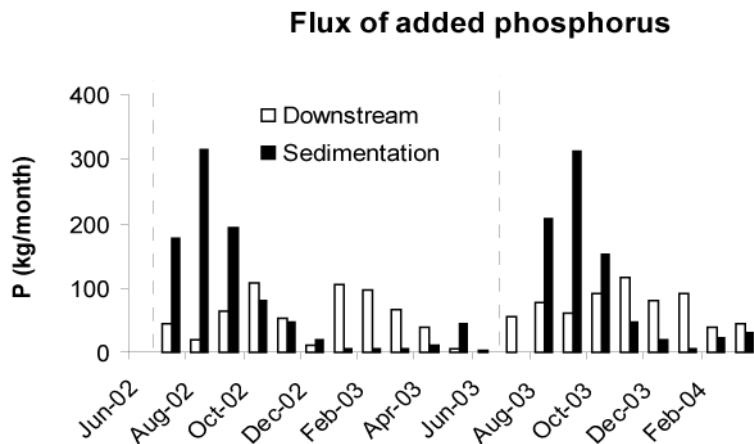
Baserat på resultaten från förundersökningar och ett mesokosmexperiment i Mjölkvattnet 2001 tillsattes fosfor (i genomsnitt cirka 1 ton P i form av  $H_3PO_4$  i vattenlösning) och kväve (mellan 7 och 9 ton N i form av  $Ca(NO_3)_2$  i vattenlösning) till Mjölkvattnet i månadsskiftet juni-juli 2002–2005. Totalfosforhalten ökade från 4 till 7  $\mu g$  P/l, medan den beräknade ökningen i kvävekoncentration (ca 20  $\mu g$  N/l) inte gav någon mätbar förhöjning av totalkvävehalten. Tekniken att från pråm bogserad av båt pumpa ut näringen har fungerat mycket bra. Mesokosmexperimentet visade att fosfor var det primärt begränsande ämnet och att kväve inte hade någon effekt alls. Emellertid blev växtplankton redan vid måttliga fosfordoser begränsade av något annat näringsämne. I en regional studie av näringsbegränsning i nio näringsfattiga Jämtländska sjöar (inkluderande Mjölkvattnet och Burvattnet) har vi visat att järn är en viktig begränsande faktor för växtplankton (Vrede & Tranvik 2006). Betydelsen av järn blir större i kraftigt oligotrofa system med låga halter av löst organiskt material. Det är därför viktigt att i samband med framtida kompensatoriska näringstillsatser kontrollera graden av järnbegränsning i systemet. Om växtplankton är primärt järnbegränsade leder ju tillsats av fosfor inte till någon ytterligare produktion.

Vi har använt näring som innehåller minimalt med tungmetaller. Växtplankton är primärt fosforbegränsade i Mjölkvattnet, men tillsats av nitrat är nödvändigt för att inte riskera att stimulera tillväxten av växtplankton av låg kvalitet, fr.a. cyanobakterier. För att kunna avgöra om förändringar i Mjölkvattnet är en effekt av näringstillsats eller mellanårsvariation har vi fortsatt att studera Burvattnet som omanipulerat referenssystem.

## Vart tar tillsatt näring vägen?

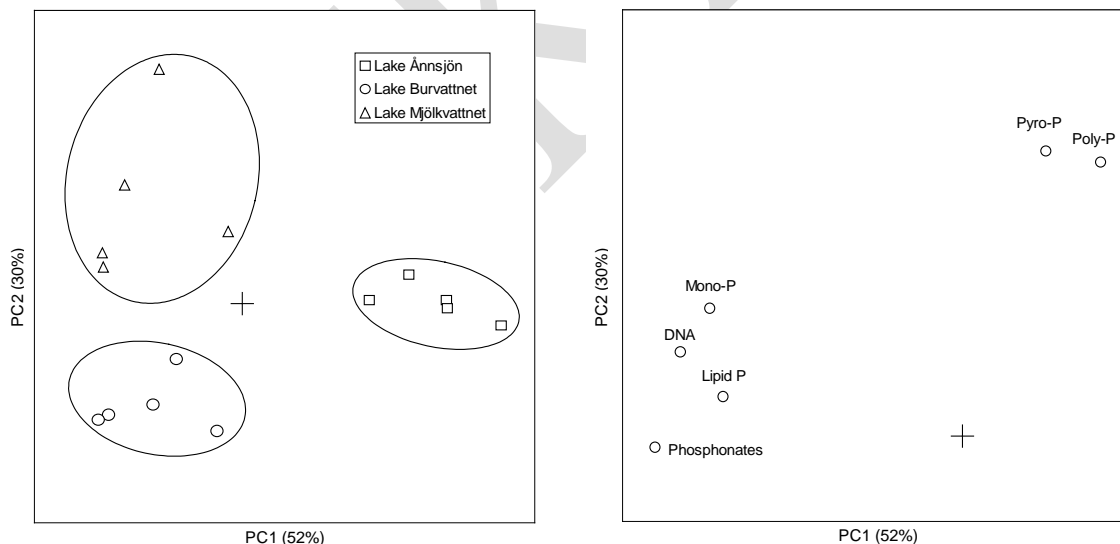
*Hur stor är tillsatsen jämfört med det naturliga flödet av näring? Hur stor andel av näringstillsatsen går förlorad nedströms? Hur mycket sedimenterar? Vad händer med näringen efter sedimentation?*

Under det hydrologiska året 2001/2002 (ingen näringstillsats) beräknades fosforretentionen till 15%. Fosforretentionen ökade till 40% under åren med näringstillsats. Av den tillsatta fosfor sedimenterade mer än 50% i form av växtplankton. Mellan 30 och 50% av den tillsatta fosfor förlorades nedströms (Fig. 1). En mindre andel av det tillsatta kvävet sedimenterade, medan cirka en tredjedel avgick till luften genom denitrifikation (Rydin et al. ms).



Figur 1. Sedimentation samt nedströmstransport av fosfor tillsatt till Mjölkvattnet över två år.

Ytsediment – Då det är en central fråga i vilken utsträckning näringen i ytsedimenten kommer att komma systemet till godo igen, analyserades ytsedimentprover från Mjölkvattnet och Burvattnet med  $^{31}\text{P}$ -NMR (nuclear magnetic resonance). Dessutom analyserades prover från den oreglerade Ånnsjön (Indalsälvens södra gren) för att få ett mått på hur organisk fosfor är bunden i en oligotrof oreglerad sjö. Sammantaget visade denna studie att åren av näringstillsats har återfört sammansättningen av organiska fosforformer i ytsedimenten till naturliga nivåer (Fig. 2) (Ahlgren et al., ms).



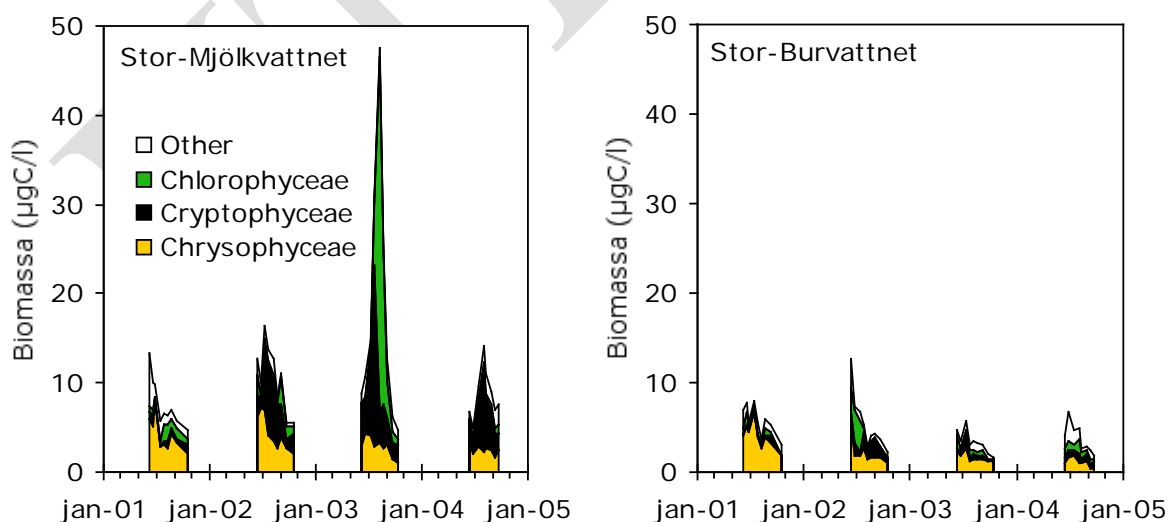
Figur 2. PCA (principal component analysis) av de olika provtagningsstationerna i Ånnsjön, Mjöl- och Burvattnet. Score plotten (till vänster) visar att sjöarna skiljer sig från varandra och loading plotten (till höger) visar sambandet mellan principal components och original variablerna (biogent fosforinnehåll). Sammantaget visar figuren att markörerna för ett biologiskt produktivt system (Pyro-P och Poly-P) i ytsedimenten saknas i Burvattnet och att de håller samma halter i Mjölkvattnet som i den oreglerade Ånnsjön .

## Effekter på biota

### Plankton

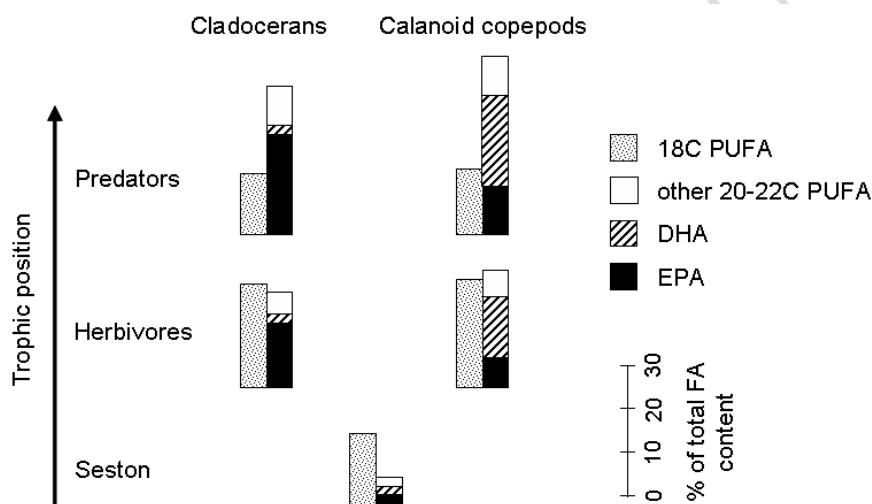
Mätning av produktion och biomassa på olika trofiska nivåer ger information om näringsvävens struktur före och efter näringstillsats. Vi förväntade oss att de kraftiga responser i plankton vi observerade 2002 skulle upprepas vid återkommande näringstillsatser. Vad som däremot föreföll oklart var hur artsammansättning och näringsvävsstruktur därmed eventuellt skulle förändras. Sådana förändringar har betydande effekter på hur effektivt energi transporteras i näringsväven från primärproducenter till fisk. *Vår hypotes var att näringstillsatsen stimulerar organismer av hög födokvalitet som via en kort näringsväv stimulerar fiskproduktionen.* För att testa den hypotesen har vi dels gjort mätningar av biomassa och produktion av planktisk biota (bakterier, växtplankton, djurplankton), dels fortsatt studierna av sambanden mellan födokvalitet (C:N:P-stökiometri och biokemisk sammansättning i växtplankton) och djurplanktonproduktion. Resultaten från dessa studier beräknas vara klara under 2006.

Under projektets första etapp fann vi en tydlig stimulering av samtliga trofiska nivåer, vilket bekräftats under den andra etappen. Såväl abundans som biomassa av växtplankton (Figur 4) ökade i Stora Mjölkvattnet efter näringstillsats. Framför allt gynnades flagellater (Cryptophyceae) – en högvärdig näringskälla för djurplankton. Uppgången var snabb och kraftig, vilket en jämförelse med utvecklingen i Burvattnet visar. Under sommarens lopp 2003 ökade först flagellaterna mycket stort för att sedan också kompletteras med en kraftig topp av grönalger (Chlorophyceae) under eftersommaren. Dessa anses inte vara lika högvärdig föda för djurplankton som flagellaterna, och de indikerar att betningstrycket på växtplankton är tämligen kraftigt. Den procentuella ökningen av grönalger sensommaren 2003 gav upphov till beslutet att halvera näringsgivorna under 2004. Detta fick avsedd effekt så till vida att flagellaterna återigen var det totalt dominerande algslaget under 2004.



Figur 4. Växtplanktonbiomassa i Stora Mjölkvattnet och Burvattnet 2001–2004.

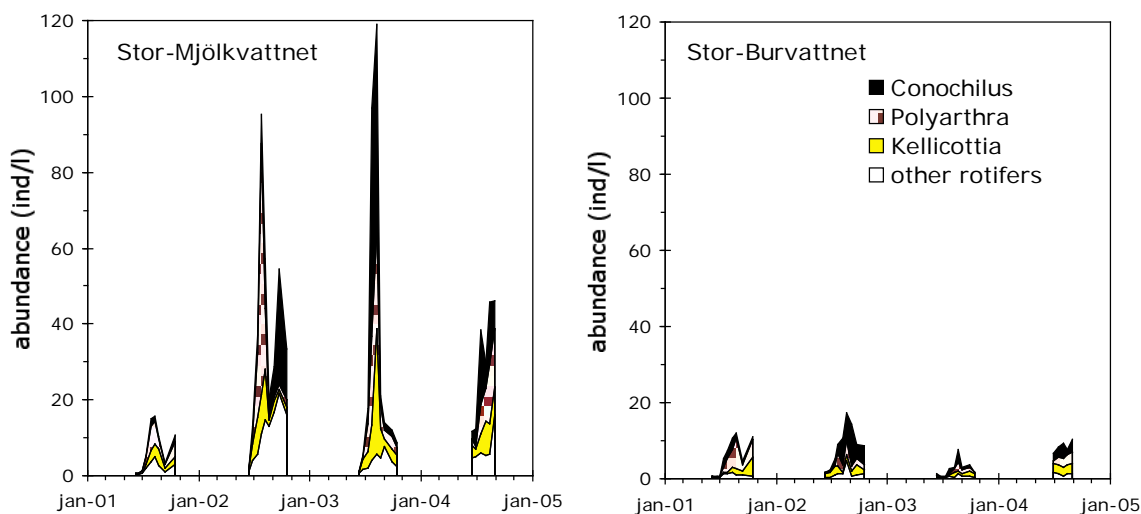
Födokvaliteten var efter näringstillätsats fortsatt mycket hög, eller till och med ökade, med avseende på sammansättning av grundämnen (C:N:P-stökiometri) och essentiella fettsyror, vilket är en god förutsättning för att stimulera djurplanktonproduktion och för att tillåta ett effektivt utnyttjande av växtplankton som födoresurs. I en regional studie (inkluderande Mjölkvattnet och Burvattnet) av fettsyrasammansättning i seston (partiklar i vattnet, huvudsakligen växtplankton) och växtätande och rovlevande djurplankton i 15 jämtländska sjöar har vi visat att födokvaliteten generellt är hög i näringsfattiga sjöar och att essentiella fettsyror anrikas i näringsväven (Fig. 5). Därtill har vi observerat att det föreligger stora skillnader i fettsyrasammansättning mellan olika grupper av djurplankton (Fig. 5). Därmed kan sammansättningen av djurplanktonssamhället potentiellt ha stor betydelse för fiskarnas tillgång på essentiella fettsyror.



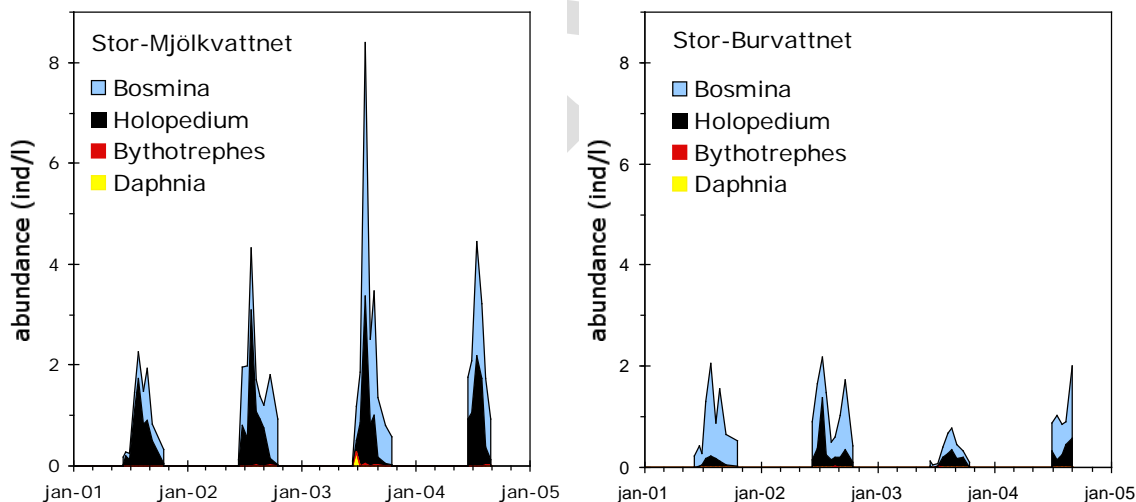
**Figur 5.** Förekomst av essentiella fettsyror (Omega-3 och Omega-6) i planktonnäringsvävar i näringsfattiga sjöar. I växtplankton (seston) förekommer de essentiella fettsyrorerna (som endast kan nyproduceras av växter) mest i form av fettsyror med 18 kolatomer i varje molekyl. I växtätare (herbivores) och i än högre grad rovdjur (predators) anrikas de längre omega-3-fettsyrorerna EPA och DHA. Dessa fettsyror är viktiga för djurens reproduktion, tillväxt och fysiologiska funktion. Studien visar också att tillgången på essentiella fettsyror i dessa sjöar är god och den försämrar inte som en följd av näringstillätsats. Detta betyder också att fisken har en högvärdig föda i termer av djurplankton rika på essentiella fettsyror. (från Persson & Vrede 2006).

Bland djurplankton fyrdubblades abundansen av rotatorier i Mjölkvattnet under 2002 och 2003 som en följd av näringstillätsats (Fig. 6). Rotatorierna svarade oerhört snabbt på uppgången av flagellater. Abundanserna var ungefär halverade 2004 - också i det fallet som en direkt följd av den reducerade näringstillätsatsen det året. Rotatorier utgör en viktig föda för fisklarver samt för evertebratpredatorer såsom *Bythotrephes longimanus*, vilken senare är en viktig föda för större fiskar (se nedan). Abundanserna av hinnkräftorna *Holopedium gibberum* och *Bosmina coregoni* ökade kraftigt 2002 och 2003 (Fig. 7) som en effekt av näringstillätsats, men framför allt ökade fekunditeten hos *H. gibberum* avsevärt. Trots lägre näringsgivor förblev abundanserna av cladocerer på en hög nivå 2004, vilket också återspeglas i fiskmagarnas innehåll. De pelagiska proverna ger inte några säkra data över abundanserna av *B. longimanus*, som genom sin stora mobilitet och vertikala dygnsvandring är svårfångad, eller av den

storvuxna semibentiska cladoceren *Euryercus lamellatus* som kan säjas vara den art som normalt i första hand gynnas av den positiva dämningseffekten (Nilsson, 1963). *E. lamellatus* är som regel ett särskilt begärligt födoobjekt för fisk, vilket också bekräftas av utförda maganalyser (jämför nedan). Sammantaget indikerar planktonproverna en starkt ökad produktion av planktiska kräftdjur som till stor del konsumeras av röding men även av öring. Det är emellertid viktigt att komma ihåg att de ökande abundanser och biomassor vi avläser är nettovärden, när fiskarna tagit sin del.



Figur 6. Rotatorieabundans i Stora Mjölkvattnet och Burvattnet 2001–2004.



Figur 7. Cladocer-abundans i Stora Mjölkvattnet och Burvattnet 2001–2004.

För att få en oberoende uppskattning av i vilken mån näringstillräkningen ökar nettoproduktionen av organiskt material, och med vilken effektivitet näringstillräkningen resulterar i sådant material, har vi kvantifierat kol i biota, sediment och utflöde, samt den mängd atmosfärisk koldioxid som konsumeras via primärproduktionen. Dessa mätningar påbörjades före näringstillräkningen 2002, och de har fortsatt i både Mjölkvattnet och referenssystemet (Burvattnet). En preliminär



analys av resultaten visar att koldioxidhalten i vattnet sjönk kraftigt, vilket indikerar att primärproduktionen ökade kraftigt i Stora Mjölkvattnet efter näringstillsats och att sjön därigenom blev nettoautotrof.

Sammanfattningsvis har vi visat att vi genom näringstillsatsen har lyckats stimulera produktionen av såväl växt- som djurplankton, att födokvaliteten är fortsatt hög, samt att vi under tidsperioden inte har sett några betydande förändringar i planktonsamhällets sammansättning

### *Bottenfauna*

Bottenfaunaprovtagningar utfördes i båda sjöarna i augusti 2001 – c:a 50 bottenhugg med Ekmanhuggare slumpmässigt fördelade inom olika djupzoner i vardera sjön. Dessa provtagningar upprepades i augusti 2005. Vår hypotes var att *bottenfaunan, främst fjädermygglarver och oligochaeter, kommer att öka kraftigt som svar på ökad primärproduktion men först efter 2:a och 3:e årens näringstillsatser* (jmf. Milbrink & Holmgren, 1999).

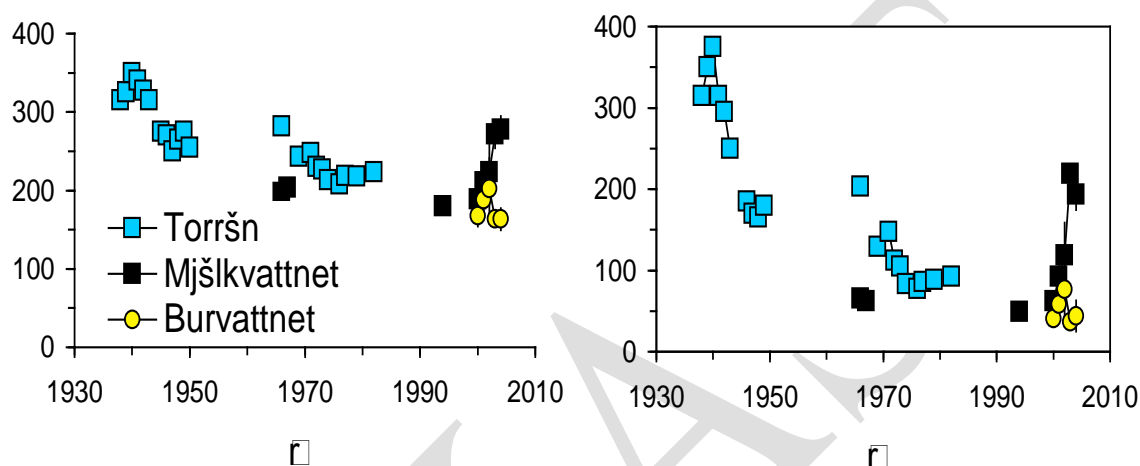
Bottenproverna från 2001 visade mycket låga abundanser av exempelvis fjädermygglarver och oligochaeter på alla djup i båda sjöarna, vilket tyder på ultraoligotrofa förhållanden. Stickprovsanalyser av proverna från 2005 visar något förhöjda abundanser framför allt av fjädermygglarver i Mjölkvattnetproverna. Ökningen av kläckande puppor av fjädermyggor i vattenytan var dessutom mycket påtaglig i augusti 2005. Någon ökning av oligochaeter har ännu inte kunnat noteras. Vår hypotes om bottenfaunans utveckling kan efter det tredje årets näringstillsats för närvarande vare sig bekräftas (en viss uppgång dock vad gäller fjädermygglarver) eller förkastas.

Bottenfaunamaterial insamlat 2001 resp. 2005 för stabila isotop-analyser i avsikt att belysa kvävetransporten i systemet före resp efter näringstillsättning beräknas bli analyserat efter årsskiftet 2005/2006 tillsammans med övrigt biologiskt och sedimentologiskt material som frusits in för ändamålet.

### *Fisk*

Analyser över fiskpopulationernas utveckling i Stora Mjölkvattnet och Burvattnet grundar sig på standardiserade höstprovfisken 15-25 augusti varje år och utförda enligt de riktlinjer som lämnats från Fiskeriverkets Sötvattenslaboratorium i Drottningholm, d.v.s. med bottensatta nät av typ "Norden" utslumpade inom de olika djupzonerna (Appelberg, 2000; CEN, 2005). Pelagiska standardiserade höstprovfisken enligt samma riktlinjer utfördes 2001 resp 2005 i norra Stora Mjölkvattnet. Fisksammansättningen i båda sjöarna domineras kraftigt av röding, d.v.s. till c:a 2/3. Öringen utgör nära 1/3 och därutöver förekommer fåtalig lake. Baserade på tidigare gödningsprojekt, bl.a. i nedströms liggande Övre Lilla Mjölkvattnet 1990-94, med samma fisksamansättning (Milbrink & Holmgren, 1999), ställde vi upp följande hypoteser rörande fiskens utveckling i Stora Mjölkvattnet: 1. *Rödningens tillväxt och fekunditet skulle ytterligare komma att öka från 2002 och framåt, likaså öringens, men med viss eftersläpning.* 2. *Näringsanrikningen skulle få selektiva effekter på rödingen på så sätt att vissa individer och stammar har större potential att svara på resursökningen än andra.*

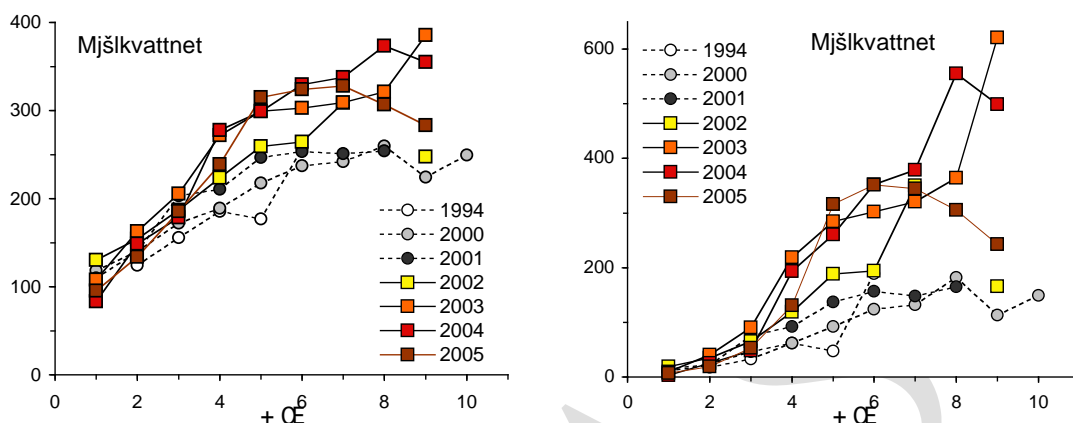
Genom att jämföra konditionsutvecklingen hos röding i tre närliggande medelstora (c:a 1.500 – 10.000 ha) regleringsmagasin i Indalsälven (Stora Mjölkvattnet, Burvattnet resp. Torrön) som alla reglerades ungefär samtidigt, 1938–1942, kan vi visa den generella utvecklingen i fisktillväxt fram till idag (Fig. 8). När en sjö regleras för vattenkraftsändmål uppstår först den s.k. positiva dämningseffekten på fisken, och den effekten kan kvarstå under maximalt några år (Nilsson, 1963). Sedan följer en enda lång nedgångsfas i fiskens kondition och tillväxt, vars slutpunkt det rått delade meningar om.



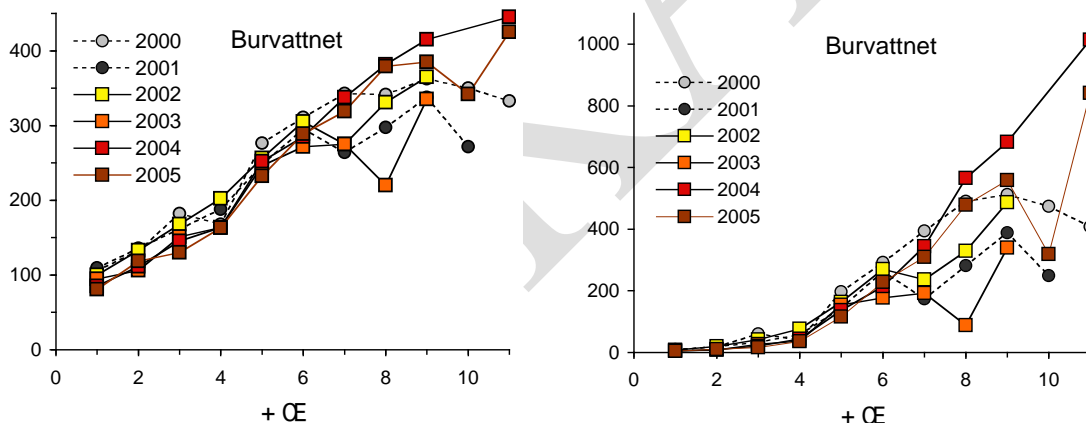
**Figur 8.** Längd- och vikt (medelvärden) för 4+ röding i de tre närliggande regleringsmagasinen Torrön, Stora Mjölkvattnet och Burvattnet från tiden före reglering (1938, 1942 resp 1942) t.o.m. 2005. Näring tillsattes i Stora Mjölkvattnet under åren 2002–2005.

Det har i Sverige funnits en föreställning om att fiskpopulationerna trots regleringen skulle kunna återhämta sig och återgå till det naturliga tillståndet. Alternativt skulle man genom “ommöbleringar” i näringskedjan – införande av nya fiskarter eller fisknäringdjur – kunna optimera systemet med höga medelvikt och bra fiske som slutresultat. Detta har sällan eller aldrig lyckats, eftersom det enligt vår mening främst är näringsbristen som styr utvecklingen. Vad som saknats är dokumentation av en lång kontinuerlig uppföljning av vad som egentligen sker med fisken efter reglering. Oss veterligt har detta aldrig kunnat demonstreras över en så pass lång sammanhängande period som i detta fall, d.v.s. c:a 65 år. Figur 8 visar utvecklingen av femåriga (4+) rödingar i de tre sjöarna med avseende på såväl längd som vikt. Fyråriga (3+) rödingar uppvisar ett mycket likartat mönster. Det är ställt utom allt tvivel att vattenreglering av sjöar leder till näringsutarmning, vilket avspeglar sig i rödingens konditionsutveckling under denna tidsperiod. Vi kan efter fyra år av näringstillsättning i Stora Mjölkvattnet (2002-2005) visa att rödingens medelvikt och medellängd (Fig. 8) starkt förbättrats och närmast sig rödingens tillstånd före regleringen. Övergången till det naturliga tillståndet kan enbart förklaras med tillsättningen av ny näring i kompensatoriskt syfte. Rödingens utveckling har skett helt parallellt i de tre sjöarna. Fiskens kondition i samtliga tre sjöar före reglering var mycket god (Dr Thorolf Lindström och Dr Nils-Arvid Nilsson, Sötvattenslaboratoriet, muntl.inf.). Det är viktigt att påpeka att fiskar fångade från 1966 och framåt alla har tagits vid höstprovfisken med provfiskenät av Nordentyp (Appelberg, 2000), och åldersbestämningarna grundar sig på otolithläsningar. Före 1966 har däremot höstprovfiskena gjorts med bomullsnät

och ålderläsningarna grundar sig på fjälläsningar. Nätselektiviteten jämfört med dagens nylonnät skiljer sig otvetydigt men bör inte på ett avgörande sätt påverka längd- resp. viktmedelvärdena för de olika åldersklasserna. Vi har tillsammans med Sötvattenslaboratoriet i Drottningholm (Dr. Johan Hammar) gjort bedömningen att läsningar av rödingfjällen har varit tillförlitliga, åtminstone upp till ålder 4+. Däröver avtar fjällens läsbarhet.



**Figur 9. Längd- och viktmedelvärden för röding av olika åldrar från Stora Mjölkvattnet. Näring tillsattes åren 2002–2005. I de äldre åldersklasserna (8+ och äldre) baserar sig medelvärdet endast på ett fåtal fiskar.**

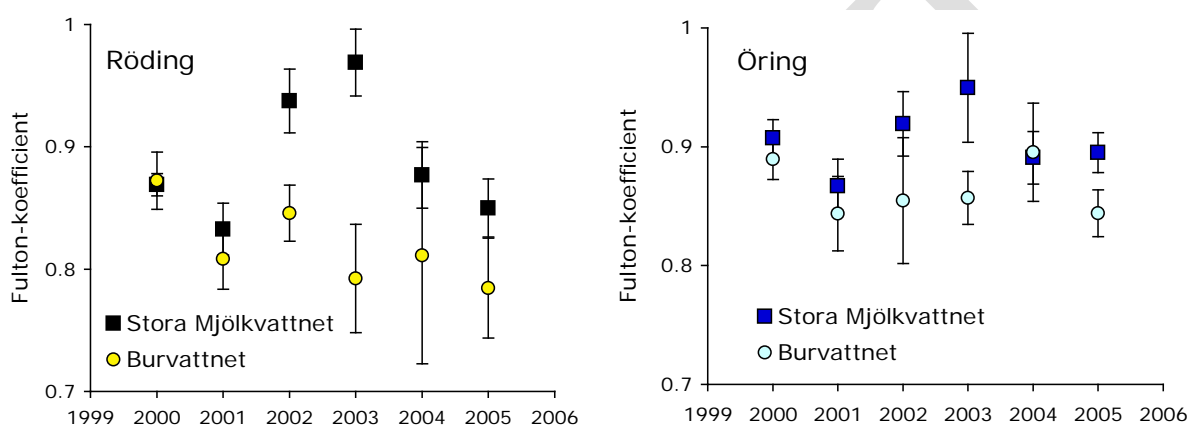


**Figur 10. Längd- och viktmedelvärden för röding av olika åldrar från referenssjön Burvattnet. I de äldre åldersklasserna (8+ och äldre) baserar sig medelvärdet endast på ett fåtal fiskar.**

Figur 9 visar rödingens medellängd resp. medelvikt i successiva åldersklasser i höstprovfiskena utförda 1994 och 2000-2004. Från och med åldern 4+ (nära fem år) ser man en kraftig tillväxtökning hos fiskar fångade 2003-2005. Vid jämförelse mellan 2001 (före näringstillsättning) och 2003 är den genomsnittliga längdökningen c:a 45% och motsvarande viktökning c:a 100%. Ett generellt mönster är också att vi efter näringstillsättning ser samma stora tillväxtökning även hos äldre åldersklasser, t.o.m. en accelererad tillväxt hos äldre fiskar, vilket skulle kunna förklaras med piscivora inslag (Fig. 9). Före tillsättningen skedde i princip ingen ytterligare tillväxt hos röding äldre än 5+ till 6+. Resultatets tillförlitlighet minskar dock för de äldsta åldersklasserna p.g.a. färre fiskar fångade. Figur 10 visar motsvarande resultat för rödingen i Burvattnet. Det föreligger här inga statistiskt säkerställda skillnader i tillväxt mellan

åren vare sig det varit varma eller kalla somrar. Temperaturfaktorns inverkan tycks vara begränsad jämfört med den tydliga effekten av näringstilläts.

Figur 11 visar konditionen hos samtliga rödingar som fångats i höstprovfiskena 1994 - 2005. Hos röding i Stora Mjölkvattnet har konditionen (enl. Fulton; Ricker, 1975) ökat från i medeltal 0,85 år 2001 till 0,98 år 2003 men fallit tillbaka till 0,88 år 2004, med stor säkerhet beroende på att vi det året halverade näringsgivan (jmf. också Fig. 12). I Burvattnet har medelkonditionen förblivit oförändrad eller t.o.m. sjunkit något under samma tidsperiod. Samtidigt med konditionsökningen i Stora Mjölkvattnet har utvecklingen också gått mot allt större medellängd.

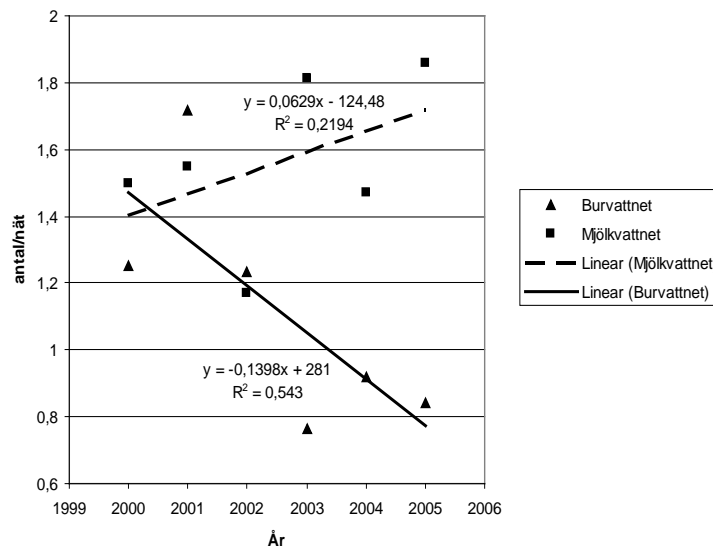


**Figur 11. Kondition (Fulton-koefficient) för röding och öring från Mjölkvattnet och Burvattnet. Näring tillsattes i Mjölkvattnet under åren 2002–2005. Felstaplar visar 95% konfidensintervall för medelvärdet.**

Vi ser liknande generell tillväxtökning i längd och vikt hos öringen i Stora Mjölkvattnet, men utvecklingen går långsammare (Fig. 11). Medelkonditionen var för öringen 2003 uppe i 0,95 medan den i Burvattnet, som i utgångsläget för båda sjöarna, låg kvar på 0,85.

Den relativa konditionsnedgången från 2004 till 2005 i båda vattnen för såväl röding som öring speglar med största säkerhet det faktum att sommaren 2005 var c:a tre veckor försenad, och respektive tillväxttoppar inföll först i början av september, vilket då upprepade provfiske tydligt visade. En konditionsfaktor omkring 0,8 eller strax däröver innebär erfarenhetsmässigt att fisken är i dålig kondition medan motsvarande omkring 1,0 eller högre räknas som välmående. I de pelagiska höstprovfisken som utfördes 2001 och 2005 har rödingens medelkondition ökat från 0,91 till resp. 1,04 och medelvikterna från c:a 125 g till resp. 300 g.

I samband med det pelagiska fisket i Stora Mjölkvattnet 2001 utfördes simultan ekointegrering av fiskbeståndet i samarbete med professor Sture Hansson, Systemekologiska Institutionen, Stockholms Universitet. Fisktätheten visade sig av resultaten att döma vara utomordentligt låg – c:a 5 fiskar/ha (åldersklasser 2+ och uppåt; de yngre åldersklasserna är svårare att identifiera med ekolod). En uppskattning vi gjort 2005 baserad på nätfångsterna i det årets provfiske gav c:a 15 fiskar/ha, vilket också är mycket låg täthet. En kompletterande likadan ekointegrering planerades också samtidigt med det pelagiska fisket 2005 men kommer till stånd först under



**Figur 12. Antal fångade fiskar per nät i höstprovfiskena i Mjölkvattnet och Burvattnet 2000–2005.**

2006 i samband med pelagiskt fiske. Nätfångsterna av fisk (CPUE), vilka rimligtvis speglar beståndstätheten i resp. vatten, har sedan 2001 ökat i Stora Mjölkvattnet medan de minskat i Burvattnet (Fig. 12).

Analyser av maginnehåll hos röding från båda sjöarna 2002–2004 visar att magarna från Stora Mjölkvattnet var helt fyllda av främst *B. longimanus* men också *H. gibberum* och *Eurycercus lamellatus* (se ovan). Samma sak gäller till stor del öringen men med den skillnaden att större öring i betydande grad varit piscivor (i båda sjöarna). Maginnehållet har varit mera varierat i Burvattnet med dels mindre cladocerer såsom *Bosmina* spp. och med en relativt hög andel ytfauna, främst av inflygande insekter. Magfyllnadsgraden var också betydligt lägre hos rödingarna från Burvattnet. Öringen i Burvattnet har ett betydande inslag av piscivori. Det är en gammal sanning att piscivori hos röding kan få tillväxten att accelerera kraftigt. Vi har ännu inte efter att en stor mängd maganalyser utförts fram t.o.m. 2004 fått säkra belägg för att rödingarna i Stora Mjölkvattnet, med undantag för ett mindre antal stora fiskar, blivit mera piscivora.

För att utröna om eventuell uttransport av näring från Stora Mjölkvattnet påverkar fiskens tillväxt positivt i nedströms liggande Övre Lilla Mjölkvattnet utfördes, som nämnts, höstprovfisken där 2004 och 2005. Vid jämförelse med motsvarande provfisken inom det näringsanrikningsprojekt som löpte där 1990–94 fann vi (med utgångspunkt från det s.k. 0-året 1990) att ingen påverkan alls på rödingen kunde urskiljas 2004, däremot en viss tillväxtökning 2005.

För att få ett begrepp om den genetiska bredden och hur lokalbunden rödingen är i Stora Mjölkvattnet, d.v.s. vilka rödingar som har svarat på det pelagiska näringsöverskottet (zooplankton), har vävnadsprover tagits från c:a 250 rödingar för populationsgenetiska (mikrosatelliter) analyser (Fraser & Bernatchez, 2005). Är det en begränsad del av rödingbeståndet som svarat eller gäller det i princip alla rödingarna? Förberedelserna för dessa

analyser startade i december 2005. I materialet ingår också prover av rödingar fångade i det pelagiska höstprovfisket 2005. Vi har än så länge inga svar på den frågan.

### *Ekonomi*

I vårt äskande om tilläggsfinansiering 2003 gjorde vi följande ekonomiska översikt:

- Metoden skulle mycket väl kunna visa sig vara samhällsekonomiskt effektiv, särskilt i beaktande av det ökade sportfiskevärdet. Om rödingbeståndet (kg fisk) ökat i storlek 50 gånger efter 10 år, och fiskuttaget är på 10% (cirka 10 ton röding per år) blir kostnaden för näringstillsatsen omkring 25 kr per kg röding som fiskas upp. Ett starkt rödingbestånd torde också utgöra en bra bas för ett bestånd av storvuxen, fiskätande öring. Den så kallade multiplikatoreffekten, det vill säga vad sportfiskare totalt är beredda att betala för fisken och fiskeupplevelsen, pekar också på utmärkt lönsamhet. Man har räknat fram att fiskens rätta värde är 10-15 gånger det kommersiella kilopriset (se exempelvis Alatalo, 2001). I det perspektivet kan en landad kilosröding vara värd mellan 1.500 och 2.000 kr. Man behöver därmed inte fånga många fiskar av utmärkt kvalitet för att insatta åtgärder skall vara samhällsekonomiskt lönsamma.
- För metodutvecklingen har vi använt oss av dyra näringstillsatser av exceptionell renhet (exempelvis helt fria från kadmium). Vid fortsatt praktisk tillämpning bör alternativa och väsentligt billigare näringsformer kunna användas. Likaså kan man göra avsevärda logistiska vinster genom att tillföra näringen i löst form till större inflöden.
- Minskat behov av kompensationsutsättning medför en besparing. Likaså elimineras behoven av onaturliga s.k. put-and-take-vatten i fjällnära områden.

Sammanfattningsvis kan sägas att rödingen i Stora Mjölkvattnet efter näringstillsättning visat en mycket stark konditionsförbättring. Medellängd och medelvikt hade redan efter två års tillsättning närmast sig nivåer som rådde före regleringen. Tilväxtökningen är mycket påtaglig även i högre åldersklasser. Öringens medelkondition har också förbättrats men inte alls lika påtagligt som hos rödingen. Tidigare erfarenheter av fördröjd respons hos öringen tycks ha bekräftats. Samtidigt har såväl rödingens som öringens kondition legat oförändrat låg i referensvattnet Burvattnet. Antalet fiskar per nät (CPUE) i höstprovfiskena har stadigt ökat i Stora Mjölkvattnet men minskat i motsvarande grad i Burvattnet (Fig. 12). Maganalyser visar att både rödingens och öringens näringsval i Stora Mjölkvattnet varit zooplankton, och att fyllnadsgraden varit mycket hög. I Burvattnet har näringsvalet varit mera varierat med proportionellt större inslag av yffauna hos öringen och generellt lägre magfyllnadsgrad hos alla fiskar.

### ***Projektets mål och måluppfyllelse***

Projektets slutmål är att nå fram till en metod för kompensatorisk näringstillsats som på ett ekologiskt försvarbart sätt kan tillämpas i utvalda starkt regleringsskadade sjöar i norra Skandinavien. Det inses lätt att detta är en mycket vid målsättning. Vi har nått långt men inte riktigt ända fram. Vi har tekniken, manualerna för dimensioneringen av näringstillsatserna och periodiciteten för optimala tillsatser. Tillsatsmetoden stimulerar på ett effektivt sätt produktionen i planktonnäringssvåven och vi har lyckats återställa fisktillväxten till en naturlig nivå utan negativa effekter på vattenkvalitet eller biodiversitet i planktonsamhället. Dock är

mellanårsvariationen i klimatologiska förutsättningar så stora att det föreligger ett behov av erfarenheter från ytterligare några säsongers kontinuerlig näringstillsättning innan vi säkert kan fastslå att sådana negativa effekter kan undvikas helt. Somrarna 2002 och 2003 var exempelvis mycket varma och produktionsbefrämjande i Mjölkvattnetområdet, medan sommaren 2005 var nära en månad försenad med tillväxttoppar i september, d.v.s. klart efter höstprovfiskena i augusti. Vi har också påpekat behovet av att kunna följa långtidseffekterna på fiskpopulationerna över en period som tillåter att bestånden hinner stabilisera sig i ett nytt jämviktsläge, och detta är ännu inte nått såvitt vi kan bedöma.

Vi har översiktligt kunnat räkna på ekonomin i företag av det här slaget och också registrerat acceptansen hos allmänheten för dylika åtgärder, som vi f.ö. har upplevt vara mycket stor. För att forskningsmässigt kunna arbeta med gödningsmedel med största möjliga renhet har kostnaderna för sådana varit relativt stora. I en tillämpad situation kan man tänka sig att använda kommersiella gödningsmedel i jordbruket såsom ammoniumnitrat och superfosfat. Då sjunker kostnaderna med betydligt mer än hälften, vilka med råge torde uppvägas av värdet av laxartad fisk av mycket god kvalitet, av sportfiskevärdet med multiplikatoreffekterna inkluderade samt av turistvärdet. Motsvarande positiva erfarenheter har gjorts främst i British Columbia i Kanada, där man i stället för röding och öring arbetat med den ekologiska ekvivalenten till röding nämligen sockeye salmon (kokanee), med regnbågslax och Dolly Varden-röding. Avgörande förutsättningar för att kunna tillämpa metoden i fler sjöar är dock att:

1. Metoden appliceras på kraftigt reglerade vatten som är oligotrofierade. Således kan metoden inte tillämpas generellt enbart i syfte att höja fiskproduktionen i godtyckligt utvalda sjöar.
2. Näringstillsatsens sammansättning och storlek samt tidpunkt är utvald så att biodiversiteten i planktonnäringssvåven eller vattenkvalitet inte påverkas negativt och att fiskproduktionen stimuleras så att den når en nivå som motsvarar den som råder i oreglerade system.
3. Den ökade näringsbelastningen nedströms inte påverkar nedströms liggande system negativt.

Vi är medvetna om att den sista punkten kan vara kontroversiell bland många inom natur- och miljövårdande organisationer och myndigheter eftersom oligotrofieringsproblematiken är så okänd i förhållande till den vitt spridda kunskapen om eutrofiering. Det är därför viktigt att göra oligotrofieringsproblematiken mera känd och att klargöra att oligotrofiering och eutrofiering sker parallellt, men i olika typer av system. Vår bedömning är att höjningen av näringshalter och planktonbiomassor är så liten i de system som behandlas att de fortfarande är oligotrofa eller till och med ultraoligotrofa efter näringstillsatsen och att vattenkvaliteten därmed inte försämras. Vi har vidare mycket svårt att tänka oss att effekterna nedströms skulle vara kraftigare än i de behandlade systemen, och att sådana effekter därmed skulle vara av avgörande negativ art. Detta beror på att i) en stor andel av näringen stannar kvar i systemet, ii) näringstillsatsen sker högt upp i avrinningsområdet och en stor del av den tillsatta näring som rinner nedströms fångas i närmast nedströms liggande sjöar och regleringsmagasin innan den når mera låglänt liggande sjöar med större befintlig näringsbelastning och som därmed kan ligga i riskzonen för eutrofiering. Dessa sjöar har därtill en betydligt högre vattenföring än regleringsmagasinen i älvarnas övre delar, vilket innebär en utspädning av tillsatt näring.

Näringsbelastningen på potentiellt eutrofieringskänsliga system är därmed försumbar enligt vår mening.

Delmålen har varit i) att öka förståelsen för mekanismerna bakom oligotrofieringen, ii) att kvantifiera hur näring omsätts i systemet och hur mycket av den tillsatta näringen som förloras ur systemet, iii) att studera kvalitativa och kvantitativa effekter av näringstillsats på planktonnäringsvävens struktur och funktion, iv) att kvantifiera effekterna av näringstillsats på bestånden av röding och öring, samt v) att visa att rödingens successiva nedgång i kondition och tillväxt alltsedan regleringen beror på näringsbrist och ingenting annat, och att kompensatorisk näringstillsats kan återställa fiskbeståndens tillväxt. Har projektet levt upp till sina målsättningar? Även om inte alla pusselbitar är klara därför att vissa analyser återstår (framför allt av material som insamlats under 2005) är vi beredda att i huvudsak svara ja på den frågan.

Vi har i) ökat förståelsen bakom oligotrofieringen genom att identifiera möjliga mekanismer, även om vi inte fullt ut lyckats visa vilka processer som är kvantitativt viktiga, ii) kvantifierat var tillsatt näring tar vägen, iii) tagit fram kvalitativa och kvantitativa mått på effekterna av näringstillsats på planktonnäringsvävens struktur och funktion, iv) kvantifierat effekterna av näringstillsatser på fiskpopulationerna, v) visat att fiskens gradvisa konditionsförsämring till en absolut bottenivå i regleringsmagasin i fjällkedjan beror på näringsbrist och inget annat.

### ***Projektets resultat i förhållande till programmets övergripande mål och syfte***

De långsiktiga och övergripande förutsättningarna för programmet är dels att de ingående projekten ska vara åtgärdsinriktade och ge underlag för åtgärder som kan bli aktuella vid implementeringen av de nationella miljökvalitetsmålen och EU:s ramdirektiv för vatten, dels att vattenkraft ska kunna bedrivas effektivt efter anpassning till samma miljökvalitetsmål och ramdirektiv (Programskrift 2004 för Etapp 2).

Det är vår klara uppfattning är att balanserad näringsanrikning som kompenserar de näringsförluster som ett starkt regleringsskadat vatten successivt genomgår, är väl förenlig med ovan nämnda långsiktiga och övergripande förutsättningar. Försiktig och kontrollerad näringstillsättning under vederbörande myndigheters överinseende, samt relevanta kontrollprogram i samband med kompensatorisk näringstillsats säkerställer att den generella miljökvaliteten inte förändras. EU:s ramdirektiv talar om att kunna nyttiggöra en resurs i kraftigt modifierade system, vilket det i högsta grad är fråga om här. Förvandling från ett i biologisk mening i det närmaste impediment till ett produktivt naturvattenliknande tillstånd med naturliga populationer av laxfisk i utmärkt kondition måste i allmänhetens, likväl som i naturvårdande myndigheters ögon te sig mycket positivt. Motsvarande tillämpningar i British Columbia i Kanada och även på andra håll i Nordamerika är praktiska exempel på en föredömlig samsyn mellan miljövårdande, fiskevårdande, skogsvårdande och vattenkraftsföreträdande myndigheter (se den reserapport från British Columbia författad av Milbrink & Holmgren (2001) som bilagts föregående projektrapport). En liknande samsyn vore önskvärd också i Sverige.

Kompensatorisk näringstillsats påverkar heller inte på något sätt ett effektivt utnyttjande av vattenkraften, vilket torde vara av stor betydelse i ekonomiskt hänseende. Man kan fullt ut



utvinna energi samtidigt som man kan erbjuda ett utmärkt fiske. Detta står i överensstämmelse med den andra punkten ovan i programmets långsiktiga och övergripande förutsättning, d.v.s. att ”vattenkraft skall kunna bedrivas effektivt”.

Det är naturligtvis viktigt att de resultat som framkommit ur projektet kan ge generaliserbar information om hur ett vatten kan restaureras så att naturliga arter skall kunna leva i hållbara bestånd. I Programskrift 2004 (för Etapp 2) anges som prioriterat område att ”det gäller att förbättra de rådande förhållandena i vattenförekomsten så att de närmar sig naturliga förhållanden så långt det är möjligt utan att ändringen/regleringen av vattendraget förlorar sitt syfte”. En annan målsättning med en habitatförstärkande åtgärd ska vara att säkerställa och om möjligt även förbättra befintlig ekologisk potential i reglerade vatten. Det är just detta metoden balanserad näringsanrikning handlar om.

En omständighet som är värd att poängtera är att tillämpning av balanserad näringstillsats på intet sätt kolliderar med andra åtgärder som kan företas i habitatförstärkande riktning för att exempelvis förbättra reproduktions- och tillväxtmöjligheter i reglerade vatten, t.ex. tillskapande av lekbottnar.

### ***Nationellt och internationellt samarbete***

#### *Nationellt samarbete*

Balanserad näringsanrikning som metod har i Sverige utvecklats sedan 1970-talet vid dåvarande Fiskeristyrelsens Sötvattenslaboratorium i Drottningholm under professor Gunnar Svärdsons ledning. Fortfarande sker ett intimt samarbete, särskilt beträffande provfiskemetodik och åldersläsningar, mellan projektet och Sötvattenslaboratoriet (Johan Hammar, Olof Filipsson, Gunnar Svärdson fram till dennes död 2004).

Projektet har alltsedan dess start 2000 haft ett mycket fint samarbete, särskilt på det logistiska planet och i ekonomiskt hänseende, med Regleringsföretagen AB och med Jämtkraft AB och dess forskningsstiftelse. Många problem som uppstått under arbetets gång har löst sig tack vare detta samarbete som fungerat utmärkt på alla plan.

E. Rydin har inlett ett samarbete med avdelningen för Analytisk Kemi (Joakim Ahlgren), UU, för analyser av organiska fosforformer, samt med Umeå Universitet (Peter Rosén) för att utveckla analyserna av det organiska materialets sammansättning i sedimentprofiler.

I samarbete med Gunnel Ahlgren, Avdelningen för limnologi, Uppsala universitet, har T. Vrede inlett ett samarbete rörande essentiella fettsyror i planktonnäringsvävar och hur förhållandet mellan olika fettsyror påverkar sekundärproduktionen i planktonnäringsväven.

#### *Internationellt samarbete*

Utvecklingen av metoden balanserad näringsanrikning, som grundar sig på erfarenheter från sent 60-tal i British Columbia i Kanada (Hyatt & Stockner, 1984), kom att ske parallellt i Sverige (Milbrink & Holmgren, 1981) och i Norge (Reinertsen & Langeland, 1982). Ömsesidigt informationsutbyte inom ämnesområdet har fortlöpande ägt rum mellan de sistnämnda och vårt projekt samt med NIVA (Geir Dahl Hansen).

Intensivt samarbete inom ämnesområdet har skett med motsvarande projekt i Nordamerika, främst i British Columbia, Kanada. Största samarbetet under det senaste decenniet har skett med University of British Columbia (UBC), Vancouver och forskargrupper kring prof. John Stockner (tidigare på Fisheries Canada, och dessutom visiting professor i limnologi vid Uppsala Universitet 1998), Dr. Ken Ashley (Fisheries Canada och UBC) och prof. T.G. Northcote (U.B.C.). I samband med "The International Conference: Restoring nutrients to Salmon Ecosystems" i Eugene, Oregon, 2001 fick vi (d.v.s. Göran Milbrink och Staffan Holmgren) genom Fisheries Canada möjlighet att besöka ett flertal av de största (världens största) näringsanrikningsprojekten i British Columbia, däribland Kootenay Lake, Arrow Lakes Reservoir, Ravelstoke Reservoir, etc. (se Reserapport (2001) som bifogats föregående projektrapport). Metodiken vi tillämpat bygger främst på erfarenheter från British Columbia. Samarbete har också fortlöpande skett med prof. David Schindler, University of Alberta, Kanada (tidigare chef för Experimental Lakes-projektet i Ontario) och forskargruppen kring prof. John Hobbie, Woods Hole Laboratories, Boston, med projektområde i Kugaruk River i norra Kanada.

Samarbete har också etablerats med prof. Michael T. Brett vid Univ. of Washington, Seattle, USA, rörande födokvalitet och djurplanktontillväxt. Jonas Persson är sedan mars 2005 (och t.o.m. mars 2006) gästforskare i Bretts forskargrupp, som också inkluderar samarbete med Mike Kainz på UBC, Canada.

T. Vrede har också fortsatt ett sedan tidigare etablerat samarbete med prof. Dag O Hessen, Biologisk Institutt, Universitetet i Oslo, Norge. Vrede tillbringade 2 veckor i Juni 2004 som gästforskare hos prof. Hessen och påbörjade då en fördjupad analys av sambanden mellan halter av löst organiskt material, närsalthalter och växtplanktonsamhällets sammansättning.

## ***Vetenskapliga resultat***

### **Disputationer**

1. Jonas Persson skall disputerar i april 2007 på material som i huvudsak kommer från projektet.
2. Joakim Ahlgren disputerar den 21 april 2006 i analytisk kemi. Ett centralt arbete i den avhandlingen är Ahlgren et al 2005.

### **Artiklar i (eller avsedda för) editorgranskade vetenskapliga tidskrifter**

3. Ahlgren G, & Vrede T. Ratios between omega-3 and omega-6 fatty acids in fish and zooplankton – is there an optimum? Manuscript in prep.
4. Ahlgren J, Reitzel K, Gogoll A, & Rydin E. *Biogenic phosphorus in oligotrophic mountain lake sediments: Does water level regulation affect its composition?* Submitted manuscript.
5. Milbrink, G., Rydin, E. & Vrede, T. *Devastating long-term effects on Arctic char populations in Scandinavia caused by large-scale hydro-power development.* Manuscript in prep.
6. Milbrink, G., Rydin, E., Vrede, T., Holmgren, S., Persson, J. Tranvik, L. & Jansson, M. *Restoration of Arctic char and brown trout populations in the impounded Lake Stora Mjölkvattnet, Sweden, by controlled nutrient enrichment.* Manuscript in prep.

7. Persson J, & Vrede T. (2006) *Fatty acid composition of herbivorous and carnivorous crustacean zooplankton in oligotrophic lakes*. Freshwater Biology, accepted.
8. Rydin E, Vrede T, Persson J, Holmgren S, Tranvik L, Jansson M, & Milbrink G. *Compensatory nutrient enrichment in an oligotrophicated mountain reservoir in Scandinavia – Effects and fate of added nutrients*. Manuscript.
9. Vrede T, & Tranvik L. (2006) *Iron constraints on primary production in oligotrophic lakes*. Ecosystems, accepted.

### **Konferensbidrag**

10. Ahlgren G & Vrede T. Ratios between omega-3 and omega-6 fatty acids in fish and zooplankton – are there differences between herbivores and carnivores? Oral presentation at American Society for Limnology and Oceanography (ASLO) conference, Savannah, USA, June 2004.
11. Milbrink G. Compensatory nutrient enrichment in an oligotrophicated reservoir in northern Scandinavia – fate of added nutrients. Oral presentation at ASLO conference, Santiago de Compostela, Spain, June 2005.
12. Persson, J. & T. Vrede. Fatty acids in crustacean zooplankton. Oral presentation at ASLO conference, Savannah, USA, June 2004.
13. Persson, J., T. Vrede & P. Blomqvist. Fatty acid composition of seston in enriched mesocosms. Poster presentation at ASLO conference, Victoria, Canada, June 2002.
14. Vrede, T, & L. Tranvik. Planktonic primary production in lakes – are the limits set by iron? Oral presentation at inauguration symposium of the Department of Ecology and Evolution, Uppsala University, Sweden, March 2004.
15. Vrede, T., J. Persson, S. Sobek, P. Blomqvist, M. Jansson, & L. Tranvik. Response of plankton to nutrient enrichment. Oral presentation at ASLO conference, Victoria, Canada, June 2002.

### **Övrigt**

*Projektarbetsrapporter i Akvatisk Ekologi för Civilingenjörer, Miljö- och vattenteknikprogrammet, åk 4. Handedare: Emil Rydin*

16. Eklund F, Eriksson G, Karlsson J, & Larsson K. (2003) Näringstillstånd till regleringsmagasin. Hur mycket röding blir det?
17. Evertsson E & Åstrand S. (2004) Näringstillstånd till regleringsmagasin. Hur fort växer rödingen?
18. Blied L, Karlsson M, & Weiss P. (2005) Näringstillstånd till regleringsmagasin. Hur fort växer rödingen?

### **Referenser**

- Alatalo, M. 2001. Sportfisketurism I Västerbottens Läns inland och fjällområden. Gerum Kulturgeografi. Lic.avh. 2001:1, Umeå Universitet.
- Appelberg, M. 2000. Swedish standard methods for sampling fish with multi-mesh gill-nets. Fiskeriverkets Informationssida 11:3-32.
- CEN: Water Quality – sampling of fish with multi-mesh gill-nets. EN 1457:2005.
- Fraser, D.J. & Bernatchez, L. 2005. Allopatric origins of sympatric brook charr populations: colonization history and admixture. Mol. Ecol. 14(5):1497-1509.

- Hyatt, K.D. & Stockner, J.G. 1985. Response to sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) to fertilization in British Columbia lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 42:320-331.
- Milbrink, G. & Holmgren, S. 1981. Addition of artificial fertilizers as a means of reducing negative effects of "oligotrophication" in Lakes after impoundment. *J. Freshw. Res. Drottningholm* 59: 97 – 120.
- Milbrink, G. & Holmgren, S. 1999. Nutrient enrichment of a regulated lake in Sweden to restore salmonid fish populations and biodiversity. In: Stockner & Milbrink (Eds.) *Proc. Int. Workshop "Restoration of Fisheries by Enrichment of Aquatic Ecosystems"*, Uppsala March, 30. - April, 1., 1998, 117-135.
- Nilsson, N.-A. 1963. Interactions between trout and char in Scandinavia. *Trans. Am. Fish. Soc.* 92(3): 276-285.
- Ney, J.J. 1996. Oligotrophication and its discontents: effects of reduced nutrient loading on reservoir fisheries. *American Fisheries Society Symposium* 16: 285-295.
- Reinertsen, A & Langeland, A. 1982. The effect of lake fertilization on the stability and material utilization of a limnetic ecosystem. *Holarctic Ecology* 5: 311-324.
- Ricker, W.I 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.* 191. 382 pp.
- Stockner, J., Rydin, E. & Hyenstrand, P. 2000. Cultural oligotrophication. *Fisheries, American Fisheries Society* 25(5):7-14.