



2016-03-14

# **Oligotrofiering av reglerade sjöar - en litteratursammanställning**

*Tina Hedlund  
Aquanord AB*

## Innehåll

Bakgrund till rapporten .....	2
Orsaker till oligotrofiering .....	2
Överdämning.....	2
Volymökning och ökad retention .....	2
Regleringsamplitud.....	2
Förändrat utflöde .....	3
Sammanfattningen samt biologisk effekt .....	3
Genomförda undersökningar .....	3
Referenser .....	5

## Bakgrund till rapporten

Vattenkraftsreglering i form av dämning av sjöar och älvsträckor medför förändrade näringshalter i vattnet och beror på en kombination av ett flertal faktorer. Detta har emellertid under det senaste året delvis varit omtvistat varför detta är ett försök att sammanställa litteratur i ämnet. Rapporten kommer därför att även kunna kompletteras allt eftersom när mer litteratur i ämnet påträffas.

## Orsaker till oligotrofiering

### Överdämning

I de regleringsmagasin där dämning över den naturliga vattennivån genomförs frigörs näringsämnen från de överdämda områdena genom erosion. Detta ger en gödslingseffekt av vattnet under de första åren efter överdämningen och en tillfälligt ökad biologiskproduktion (Runnström 1955, 1964, Andersson 1964, 1978, Grimås 1962, Nilsson 1964, Rohde 1964, Grimås & Nilsson 1965, Fürst et al. 1978, 1984, Svärdsson och Nilsson 1985, Jensen 1988, Naturvårdsverket 1996, Degerman et al. 1998, Stockner et al. 2000, Milbrink et al. 2003, Vrede et al. 2006, Rydin et al. 2008, Milbrink et al. 2011). Denna initiala ökning upphör dock efter att jord m.m. i de strandnära områdena har spolats bort och erosionen därefter har avtagit då endast material i form av sten, block, grus och eventuell sand finns kvar.

### Volymökning och ökad retention

Höjningen av vattennivån medför även att vattenvolymen i magasinet ökat jämfört med innan dämningen och följaktligen ökar även omsättningstiden om ingen förändring av tillrinningen sker. Fosforretentionen, d.v.s. den andel av fosfor i sjön som sjunker till botten, sedimenterar och inte återvänder till den biologiska produktionen är beroende av omsättningstiden (Alanära 1988). Den längre omsättningstiden i magasinet medför dels en ökad inbindning av fosfor till järnhydroxider, vilket sedimenterar på botten och fastläggs, men även en generellt ökad sedimentering vilket medför att den inbundna fosfor dessutom fastläggs under ett lager av magnesiumoxider i sedimentet som förhindrar ett återflöde av fosfor till vattenmassan (Siergieiev 2014, Siergieiev et al. 2014a, Siergieiev et al. 2014b). Fosforretentionen ökar därmed i magasinerna vid reglerade förhållanden (Vrede et al. 2006, Siergieiev 2014, Siergieiev et al. 2014a, Siergieiev et al. 2014b) och denna ökning uppgick till 25 % av den lösta fosfor vid försök i Stora Lulevattnet (Siergieiev et al. 2014b), vilket var utöver en ökad sedimentation av partikulär fosfor. Den sedimenterade fosfor kommer inte heller att återgå till produktionen i ekosystemet så länge bottenstratum är syresatt, fosfor är fortsatt kemiskt bundet till järnhydroxider och dessa även skyddas av ett lager av sedimenterade av magnesiumoxider (Siergieiev et al. 2014b).

### Regleringsamplitud

Den i många magasin stora regleringsamplituden (avståndet mellan dämning- och sänkningsgränsen) medför att stora strandnära områden årligen torrläggs i årsregleringsmagasinen. Eftersom elbehovet är stort under vintern samtidigt som tillrinningen är mycket låg, genom att nederbörden faller och lagras som snö, sjunker vattennivån i årsregleringsmagasinen allt eftersom från och med hösten (Andersson 1978, Naturvårdsverket 1986). Den lägsta vattennivån inträffar vanligen strax före eller i samband med vårfloden i maj eller juni. Detta medför att strandlinjen successivt flyttas längre ut under vintern och att stora områden torrläggs och/eller bottenfryser och till följd av detta även utsätts för en kraftig erosion (Runnström 1955, 1964, Grimås 1962, 1964, Nilsson 1964, Rodhe 1964, Fürst 1968, Andersson 1978, Fürst et al. 1983, 1984, 1986, Svärdsson och Nilsson 1985, Hill & Forsberg 1986, Degerman et al. 1998, Vrede et al. 2006, Persson et al. 2008, Rydin et al. 2008, Milbrink et al. 2011, Markesten et al. 2012).

I en oreglerad sjö finns den största delen av produktionen i dessa strandnära områden (Fürst et al. 1984, Markesten et al. 2012). Primärproduktionen (högre växter, plankton och fastsittande alger) är beroende av solljus. Därför är området från stranden och ut till ett djup av cirka fem till tio meter det mest produktiva i sjön då det både finns gott om solljus och tillgång till näringsämnen som frigjorts från nedbrytning av dött organiskt material i bottenskiktet. Dessa strandnära områden värms även upp snabbare än de mer centrala delarna av sjön, vilket i sig gynnar produktionen. I oreglerade sjöar

finns det i de strandnära områdena makrofyter som sitter fast i bottensubstratet, en stor mängd bottenlevande insekter, zooplankton som utnyttjar produktionen i området och som även kan söka skydd bland makrofyterna samt fisk som äter bottenfauna, zooplankton och makrofyter.

I regleringsmagasin slås makrofyterna ut genom torrläggning och/eller den rotryckning som sker då isen lyfts i infrusna områden när magasinet vattenfylls under våren (Grimås 1962). Då basen för primärproduktionen därmed årligen förstörs i de strandnära områdena försämras förutsättningarna även kraftigt för andra organismer. Bottenfauna lever både på och i bottensubstratet och är till viss del relativt rörliga men minskar trots detta mycket kraftigt både i täthet och i mångfald i strandnära områden i regleringsmagasin (Grimås 1962). Endast ett fåtal tåliga arter klarar av de extrema förutsättningarna (Grimås 1962, Nilsson 1964, Jensen 1988). Dessa är dock vanligen små och nedgräva i bottensubstratet, varför de är svårtillgängliga som föda för nästa steg i näringskedjan. De vanligtvis produktiva strandnära områdena blir därmed årligen mycket hårt påverkade, vilket även medför att produktionen minskar i magasinet som helhet (Runnström 1955, 1964, Grimås 1962, Fürst 1968, Andersson 1978, Fürst et al. 1983, 1984, 1986, Svärdsson och Nilsson 1985, Degerman et al. 1998, Milbrink et al. 2003, Vrede et al. 2006, Persson et al. 2008, Milbrink et al. 2011, Markestén et al. 2012). Med en minskad produktion i ekosystemet minskar dels även mängden biomassa som kan utnyttja de näringsämnen som tillförs till eller frigörs inom magasinet via nedbrytning av biomassa, men även mängden biomassa som senare kan brytas ned och återigen frigöra näringsämnen.

### **Förändrat utflöde**

För att kunna utnyttja en större andel av sjövolymen för elproduktion har man i samband med vattenkraftsregleringen oftast även sänkt utloppet i sjön och vattenflödet till kraftverket sker oftast via bottenappning, allt för att maximera flödet även vid låga vattennivåer. Som tidigare nämnt sker dessutom de största utflödena av vatten ur magasinet under vintern då behovet av elproduktion är störst (Naturvårdsverket 1986, Siergieiev 2014). Under sensommaren, hösten och delvis under vintern sker nedbrytning av de organismer som dött under eller efter sommarens produktiva period och näringsämnena frigörs. Eftersom primärproduktionen är mycket låg under vintern, på grund av låga temperaturer och brist på solljus, kan endast mycket lite av den tillgängliga näringen utnyttjas under vintern. Det näringsberikade bottenvattnet flödar därmed ut från magasinet under vintern (Rydin et al. 2008, Siergieiev et al. 2014a) istället för att omblandas med det övriga vattnet i sjön under våren och även transporteras nedströms med vårfloeden. Den förändrade tidpunkten för transporten av näringsämnen medför att dessa inte längre kan tas tillvara av ekosystemet i eller nedan sjön (Degerman et al. 1998, Milbrink et al. 2011, Siergieiev et al. 2014a). När primärproduktionen återupptas följande vår efter våromblandningen har magasinet därmed dränerats på näringsämnen och uppvisar ännu lägre näringshalter i vattnet än tidigare (Naturvårdsverket 1996).

### **Sammantagen samt biologisk effekt**

Dessa olika faktorer medför sammantaget att halten av näringsämnen kan öka för en kortare period i samband med överdämning av nya områden vid vattenkraftsreglering och att den biologiska produktionen därför tillfälligt kan öka (Andersson 1964, Fürst et al. 1984, Jensen 1988, Stockner et al. 2000, Persson et al. 2008, Rydin et al. 2008, Milbrink et al. 2011). Den långvariga effekten av vattenkraftsreglering blir emellertid en oligotrofiering av vattnet jämfört med de oregerade förhållandena och en väsentligt lägre produktion (Runnström 1955, 1964, Grimås 1962, Andersson 1964, Sundborg 1977, Fürst et al. 1984, Svärdsson och Nilsson 1985, Naturvårdsverket 1986, 1996, Ney 1996, Degerman et al. 1998, Stockner et al. 2000, Milbrink et al. 2003, Vrede et al. 2006, Persson et al. 2008, Rydin et al. 2008, Milbrink et al. 2011, Siergieiev 2014, Siergieiev et al. 2014a, 2014b).

### **Genomförda undersökningar**

Det finns få vattenkemiska provtagningsresultat gällande näringsämnen i reglerade kraftverksmagasin i Sverige från perioden före vattenkraftsregleringen att jämföra nuvarande halter mot. Detta beror sannolikt på en kombination av en bristande insikt i vattenkraftens omfattande effekt på det totala ekosystemet i magasinen vid den aktuella tidpunkten och att dessa områden ofta är och har varit glest befolkade och med ett lågt etableringstryck från övriga industriella verksamheter med en mer känd

näringspåverkan. Av den senare orsaken har inte heller vattenkemiska provtagningar genomförts i någon större skala ens efter att vattenkraftsregleringen genomförts. En av mycket få vattenkemiska undersökningar som utförts i samband med regleringar genomfördes 1963-1964 i Indalsälven, Ångermanälven och Umeälven (Grimås och Nilsson 1965). I Umeälven undersöktes magasinerna Grundfors och Rusfors, vilka båda nyligen hade anlagts (1958 respektive 1962). Fram till och med 1963 hade dock endast reglering skett vintertid med från 1964 reglerades magasinerna under hela året. Resultaten visade fosforhalter på hela 5,1 respektive 3,2 mg/l under juli månad samt kvävehalter på 26 mg/l respektive 101-112 mg/l under juli och augusti i de båda magasinerna (Grimås och Nilsson 1965). Det finns emellertid även andra resultat som visar på minskningar av fosforhalten över tid i regleringsmagasinen. Bland annat har en sedimentkärna i Mjölkvattnet daterats och analyserats med avseende på fosfordeposition (Milbrink 2003). Denna visade den förändrade fosfordepositionen på botten utifrån den minskande fosforhalten i vattnet. I en jämförande undersökning av den reglerade Luleälven och den oreglerade Kalixälven uppvisade Kalixälven högre halter av fosfor i vattnet på grund av en ökad sedimentering och fastläggning av fosfor i de större magasinerna i Luleälvens övre delar (Siergieiev 2014, Siergieiev et al. 2014a) och i en sedimentundersökning i Stora Lulevattnet visade på en minskning av transportererna med 25 % av den lösta fosfor i älven utöver den ökade sedimentationen av partikulärt material, inklusive fosfor (Siergieiev et al. 2014b).

Däremot genomfördes ett stort antal olika typer av fiskundersökningar innan vattenkraftsregleringen för att kunna följa eventuella förändringar i fiskbestånden. De effekter man framförallt ansåg kunde inverka på fiskbestånden var riskerna med torrläggning av lekbottnar, grumlingseffekter av muddringsarbeten och skapandet av vandringshinder längs älvarna. Den på lång sikt största effekten av regleringen i magasinerna visade sig dock vara oligotrofieringen vilket har medfört att fiskbestånden uppvisar både färre individer och en sämre tillväxt, d.v.s. en lägre produktion (Fürst 1968, Andersson 1978, Fürst et al. 1984, Svärdsson och Nilsson 1985, Degerman et al. 1998, Vrede et al. 2006, Milbrink et al. 2011). Om endast reproduktionen hade påverkats genom regleringen hade detta medfört färre individer men vilka hade uppvisat en god tillväxt på grund av lägre konkurrens om födan. Forskning visar även att det finns ett starkt samband mellan produktion och fosforhalt i sjöar (Ney 1996) vilket stämmer väl överens med den minskade produktionen i regleringsmagasinen genom oligotrofiering. I samband med fallstudier har man även kunnat se ett tydligt samband mellan minskade fosforhalter och en minskad fiskproduktion (Ney 1996, Persson et al. 2008) vilket återigen stöder att den minskade fiskproduktionen beror på minskade fosforhalter. Det är emellertid svårt att säkerställa den exakta initiala fosforhalten i de sjöar som har reglerats och något som försvårar bedömningen ytterligare är de övriga storskaliga förändringar i bland annat klimat och markanvändning som kan medföra förändringar i de vattenkemiska värdena (Stockner et al. 2000).

Vid försök med gödning av ett antal regleringsmagasiner i framförallt Nordamerika men även i Skandinavien, har man även sett den motsatta effekten med ökande produktion vid ökande halter av näringsämnen (Holmgren 1984, Svärdsson och Nilsson 1985, Milbrink et al. 2003, Vrede et al. 2006, Persson et al. 2008, Rydin et al. 2008). Näringstillstater kan däremot aldrig ensamt återställa ekosystemet till det ursprungliga i ett regleringsmagasin eftersom många andra effekter av regleringen kvarstår, med bland annat utslagna litoralzoner, omvända flöden och vandringshinder (Milbrink et al. 2003, Vrede et al. 2006, Rydin et al. 2008). Fisken växer dock mycket snabbare efter ett näringstillskott och får även en bättre kondition (Milbrink et al. 2003, Rydin et al. 2008) och den totala produktionen ökar.

## Referenser

- Alanärä, A. 1988. Fosforbelastning i sötvatten. Underlag för bedömning av produktionsvolym för fiskodling. Sveriges Lantbruksuniversitet. Kompendium nr 2. 42 s.
- Andersson, K. A. 1964. Fiskar och fiske i Norden. Band 2. Fiskar och fiske i sjöar och floder. 3:e uppl. Natur och Kultur. 769 s.
- Andersson, T. 1978. Förändringar av fiske och fiskbestånd i Umeälven under senare decennier med särskild hänsyn till vattenkraftsutbyggnaden. Del 1 sjöarna. Information från Sötvattenslaboratoriet Drottningholm. Nr 2. 75s samt 64 bilagor.
- Degerman, E., Nyberg, P., Näslund, I. och Jonasson, D. 1998. Ekologisk fiskevård. Sveriges Sportfiske- och Fiskevårdsförbund. 335 s.
- Fürst, M. 1968. Försök med överföring av nya näringsdjur till reglerade sjöar III. Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm. Nr 2. 38 s.
- Fürst, M., Boström, U. och Hammar, J. 1978. Effekter av nya näringsdjur i Blåsjön. Information från Sötvattenslaboratoriet Drottningholm. Nr 15. 94 s.
- Fürst, M., Hammar, J., Boström, U., Hill, C. och Kinsten, B. 1983. Effekter av inplantering av *Mysis relicta* i reglerade sjöar. FÅK informerar. Nr 15. 21 s.
- Fürst, M., Hammar, J., Hill, C., Boström, U. och Kinsten, B. 1984. Effekter av introduktion av *Mysis relicta* i reglerade sjöar i Sverige. Information från Sötvattenslaboratoriet Drottningholm. Nr 1. 84 s.
- Fürst, M., Hammar, J. och Hill, C. 1986. Inplantering av nya näringsdjur i reglerade sjöar. Slutrapport från FÅK, del II. 78 s.
- Grimås, U. 1962. The effect of increased water level fluctuation upon the bottom fauna in Lake Blåsjön, northern Sweden. Institute of Freshwater research Drottningholm. Report 44:14-41. 28 s.
- Grimås, U. 1964. Studies on the bottom fauna of impounded lakes in southern Norway. Rep. Inst. Freshw. Res. Drottningholm. 45:94-104.
- Grimås, U. och Nilsson, N.-A. 1965. Faunan och dess betingelser i norrländska älvmagasin. Information från Sötvattenslaboratoriet Drottningholm. Nr 2. 24 s.
- Hill, C. och Forsberg, G. 1986. Födoval hos fiskar i sjöar där taggmärslan *Pallasea quadrispinosa* introducerats. Information från Sötvattenslaboratoriet Drottningholm. Nr 10. 35s.
- Holmgren, S. K. 1984. Experimental lake fertilization in the Kuokkel area, northern Sweden. Phytoplankton biomass and algal composition in natural and fertilized subarctic lakes. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie. 69:6 781-817.
- Jensen, J. W. 1988. Crustacean plankton and fish during the first decade of a subalpine, man-made reservoir. Nordic Journal of Freshwater Research. 64:5-53.
- Markestén, H., Fölster, J., Vrede, T., Djodjic, F. 2012. Näringspåverkan av fiskodling i regleringsmagasin. Rapport 2012:20. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för vatten och miljö. Uppsala. 36 s.
- Milbrink, G., Vrede, T., Rydin, E., Persson, J., Holmgren, S., Jansson, M., Blomqvist, P. och Tranvik, L. 2003. Restaurering av regleringsmagasin – optimering av fisk- och planktonproduktion genom balanserad näringsanrikning. Slutrapport för perioden 2000-2003. 14 s.
- Milbrink, G., Vrede, T., Tranvik, L. och Rydin, E. 2011. Large-scale and long term decrease in fish growth following the construction of hydroelectric reservoirs. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 68: 2167-2173.
- Naturvårdsverket. 1986. Vattenkraften och naturen, vattenkraftsutbyggnadens effekter på natur och miljö. Naturvårdsverket, Solna. 39 s.
- Naturvårdsverket. 1996. Naringstillförsel för att återställa biologisk mångfald i regleringsmagasin. Temafakta. Naturvårdsverket, Solna. 5 s.
- Ney, J. J. 1996. Oligotrophication and its discontents: Effects of reduced nutrient loading on reservoir fisheries. American Fisheries Society Symposium 16:285-295.
- Nilsson, N.-A. 1964. Effects of impoundment on the feeding habits of brown trout and char in Lake Ransaren (Swedish Lapland). Verh. Internat. Verein. Limnol. 15:444-452.
- Persson, J., Vrede, T. och Holmgren, S. 2008. Responses in zooplankton populations to food quality and quantity changes after whole lake nutrient enrichment of an oligotrophic sub-alpine reservoir. Aquat. Sci. 70. 142-155.
- Rodhe, W. 1964. Effects of impoundment on water chemistry and plankton in Lake Ransaren (Swedish Lapland). Verh. Internat. Verein. Limnol. 15:437-443.

- Runnström, S. 1955. Changes in fish production in impounded lakes. Verh. Internat. Verein. Limnol. 12:176-182.
- Runnström, S. 1964. Effects of impoundment on the growth of *Salmo trutta* and *Salvelinus alpinus* in Lake Ransaren (Swedish Lapland). Verh. Internat. Verein. Limnol. 15:453-461.
- Rydin, E., Vrede, T., Persson, J., Holmgren, S., Jansson, M., Tranvik, L. Och Milbrink, G. 2008. Compensatory nutrient enrichment in an oligotrophicated mountain reservoir – effects and fate of added nutrients. Aquatic Sciences. 70: 323-336.
- Siergieiev, D. 2014. Hydrogeochemical effects of hydropower regulation on river-aquifer continuum in boreal rivers. Doctoral thesis. Luleå tekniska universitet. 173s.
- Siergieiev, D., Widerlund, A., Lundberg, A., Collomp, M., Almqvist, L. och Ölander, B. 2014a. Impact of hydropower regulation in river water composition in northern Sweden. Aquatic geochemistry 20(1), 59-80.
- Siergieiev, D., Widerlund, A., Alakangas, L., Ingri, J., Lundberg, A. och Ölander, B. 2014b. Evolution of sediment composition in a reservoir in the hydropower regulated Lule river. Submitted to River research and application.
- Stockner, J. G., Rydin, E. och Hyenstrand, P. 2000. Cultural oligotrophication: Causes and consequences for fisheries resources. Fisheries. 25:5 7-14.
- Sundborg, Å. 1977. Älv, kraft, miljö. Vattenkraftsutbyggnadens effekter. Borgströms tryckeri. Motala. 150 s.
- Svärdsson, G. och Nilsson, N-A. 1985. Fiskebiologi. LTs förlag, Stockholm. 310 s.
- Vrede, T., Rydin, E. och Milbrink, G. 2006. Restoration of fish stocks in oligotrophicated regulated reservoirs. Dams under debate. Formas. 85-92.