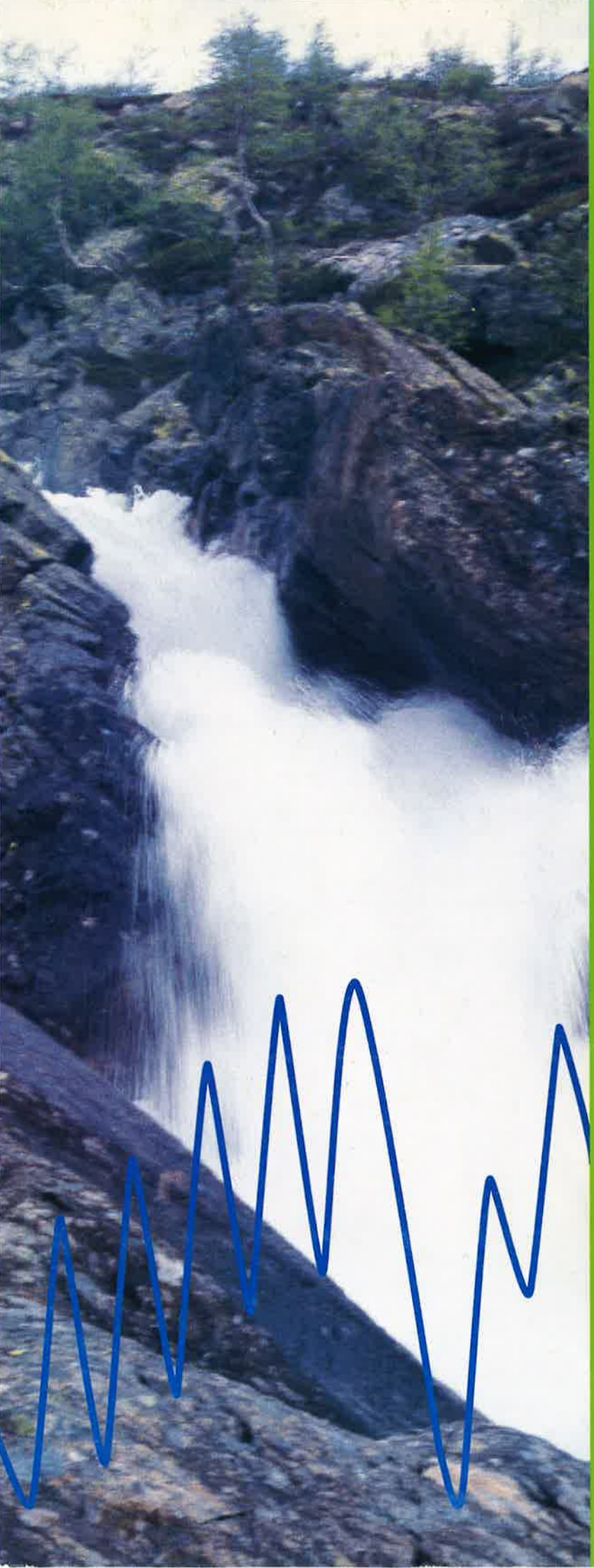


Rapport nr. 18

Virkninger av effektregulering på biologiske forhold i vannkraftmagasin og avbøtende tiltak

Effekt-regulering – Miljø-virkninger og konflikt-reduserende tiltak

Effektregulering – Miljøvirkninger og konfliktreduserende tiltak

FoU-prosjektet Effektregulering – miljøvirkninger og konfliktreduserende tiltak er et prosjekt under Norges Forskningsråds Effekt-program. Prosjektet startet i 1996 og planlegges sluttført i år 2000.

Økt kraftutveksling med utlandet aktualiserer økte effektinstallasjoner og endret kjørestrategi i eksisterende og i nye kraftverk. Prosjektet fokuserer på miljøvirkninger av økt døgnregulering som synes å bli den mest aktuelle formen for effektregulering i Norge.
Særtrekk ved effektregulering er raskere endringer i de fysiske forholdene i vassdraget enn de vi er vant med ved dagens kraftverksdrift. Slike endringer vil påvirke vassdragsmiljøet på en ny måte og vil i mange tilfeller kreve nye tillatelser fra myndighetene.
Vi har så langt lite systematisert kunnskap om miljøvirkninger knyttet til døgnregulering og annen effektregulering av kraftverk.

Hovedmålsettingene for prosjektet er derfor å:

- oppgradere kunnskapen om miljøvirkninger av effektregulering
- utvikle avbøtende tiltak som kan redusere eller eliminere negative virkninger

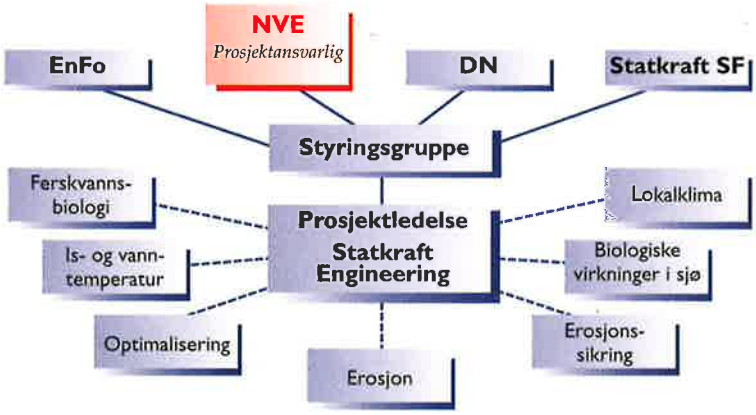
Gjennom økte kunnskaper vil utbyggere og forvaltning få et bedre grunnlag for å vurdere miljøkonsekvenser ved effektregulering og for å vurdere effektiviteten av avbøtende tiltak.

Prosjektet vurderer miljøvirkninger av effektregulering i innlandsvassdrag med vekt på virkninger i små og mellomstore innsjøer/magasin. Som eksempelvassdrag er valgt deler av Tokke-reguleringen. To delprosjekter tar i tillegg for seg mulige virkninger av økt effektregulering på biologiske forhold i fjorder.

Norges vassdrags- og energiverk (NVE) er prosjektansvarlig. Det er i tillegg etablert en styringsgruppe for prosjektet som består av representanter for Direktoratet for naturforvaltning (DN), Energiforsyningens fellesorganisasjon (EnFO), Statkraft SF og NVE. Daglig prosjektledelse utføres av Statkraft Engineering as.

Prosjektet er inndelt i seks delprosjekter knyttet til innlandsvassdrag og to delprosjekter knyttet til fjord. Delprosjektene knyttet til innlandsvassdrag dekker fagområdene: is- og vanntemperatur, erosjon, erosjonssikring, lokalklima, biologi og optimalisering med hensyn på teknikk, miljø og økonomi. Fjordprosjektene omfatter problemstillinger knyttet til effektregulering og virkning på fisk og algevekst.

Utførende institusjoner er: Universitetet i Bergen, Det norske meteorologiske institutt, Norsk institutt for vannforskning (NIVA), NVE, Statkraft Engineering og Universitetet i Oslo.



Ytterligere informasjon om prosjektet og publikasjoner i serien Rapport fra Effektregulering – Miljøvirkninger og konfliktreduserende tiltak får du ved å kontakte:

Prosjektleder Elise Førde
Statkraft Grøner as
Postboks 400
1327 Lysaker

Tlf : 67128000
Fax: 67128212

e-mail: elf@statkraftgroner.no
http://www.statkraftgroner.no/project/effekt/

 Forsidefoto: Vegard Pettersen

EFFEKTREGULERING – MILJØVIRKNINGER OG KONFLIKTREDUSERENDE TILTAK

Delprosjekt 1.6 Biologi

TITTEL: Virkninger av effektregulering på biologiske forhold i vannkraftmagasin og avbøtende tiltak. **TITLE:** Short-term regulation in reservoirs – biological impacts and mitigation measures.	**RAPPORT NR. 18**
DELPROSJEKTANSVARLIG: Eilif Brodtkorb	**INSTITUSJON:** Statkraft Grøner as
FORFATTER: Eilif Brodtkorb	**INSTITUSJON:** Statkraft Grøner as

SAMMENDRAG:
Denne rapporten omhandler virkninger av effektregulering i magasiner på biologiske forhold, herunder vannvegetasjon, plankton, bunndyr og fisk. Vurdering av virkningene er basert på resultatene av to fullskala effektreguleringsforsøk i Vinjevatn (Telemark) høsten 1997 og 1998, samt et påbegynt forsøk vinteren 1999. I tillegg er det gjort en del teoretiske betraktninger rundt biologiske virkninger av effektregulering. Det er lagt vekt på at resultatene/vurderingene skal kunne ha overføringsverdi til andre typer vann og vassdrag hvor det planlegges effektregulering.

ABSTRACT:
This report describes potential environmental impacts in regulation reservoirs following short-term regulation. We have focused on the effects on aquatic vegetation, plankton, zoobenthos and fish. The assessments of potential environmental impacts are based on full scale peaking operations of lake Vinjevatn (southern Norway) during autum 1997 and 1998, and a started experiment during winter 1999. Theoretical considerations conserning environmental impacts have also been carried out. Making the results applicable for other sites where hydro power peaking operations are planned has been focused.

EMNEORD: Effektregulering, innsjø, Vinjevatn, biologiske konsekvenser og konfliktreduserende tiltak.

Lysaker, februar 2001

Elise Førde
Elise Førde
Prosjektleder

ISBN 82-91904-19-7
ISSN 0809-5825

Forord

Denne rapporten omhandler virkninger av effektregulering i magasiner på biologiske forhold, herunder vannvegetasjon, plankton, bunndyr og fisk. Vurdering av virkningene er basert på resultatene av to fullskala effektreguleringsforsøk i Vinjevatn (Telemark) høsten 1997 og 1998, samt et påbegynt forsøk vinteren 1999. Resultatene fra disse feltundersøkelsene er rapportert tidligere i denne rapportserien. I tillegg til feltundersøkelser er det gjort teoretiske betraktninger rundt biologiske virkninger av effektregulering basert på foreliggende litteratur. Det er lagt vekt på at resultatene/vurderingene skal kunne ha overføringsverdi til andre typer vann og vassdrag hvor det planlegges effektregulering.

En rekke personer har vært involvert i planlegging, gjennomføring og rapportering i forbindelse med feltarbeidet i Vinjevatn. Stein W. Johansen og Bjørn Rørslett (begge NIVA) har hatt ansvaret for vegetasjonsundersøkelsene. Gunnar Barstad (UiO) har hatt ansvaret for bunndyrundersøkelsene og Per Færøvig (UiO) ansvaret for planktonundersøkelsene. De fortjener alle en stor takk for godt utført arbeid. Leif Lillehammer (Statkraft Grøner) takkes for innsatsen i prosjektets 3 første år.

I tillegg ønsker jeg å takke driftspersonellet ved Vinje kraftstasjon for all praktisk hjelp under forsøkene, samt andre som har vært involvert i prosjektet på en eller annen måte.

Følgende personer har lest igjennom og gitt kommentarer/innspill til denne sluttrapporten og fortjener en takk: Håvard Østhagen (NVE), Kjell Saksgård (Statkraft SF), Lars Størseth (DN), Arne Erlandsen (Enfo), Jan Petter Magnell (Statkraft Grøner), Elise Førde (Statkraft Grøner), Jim Bogen (NVE) og Ånund Kvambekk (NVE).

Lysaker 19.02.01

Eilif Brodtkorb

Eilif Brodtkorb

Delprosjektleder Biologi

Sammendrag

Hovedmålsettingen til prosjektet "Effektregulering – miljøvirkninger og konfliktreduserende tiltak" har vært å oppdatere kunnskapen om miljøvirkninger av effektreguleringer, og å finne fram til avbøtende tiltak som kan redusere eller eliminere negative virkninger. Prosjektet har arbeidet ut fra følgende definisjon:

Effektregulering er kortsiktige produksjonsreguleringer der formålet er å dekke opp variasjoner i kraftbehov.

Denne rapporten omhandler virkninger av effektregulering på biologiske forhold i magasiner, herunder vannvegetasjon, plankton, bunndyr og fisk. Vurdering av virkningene er basert på resultatene av fullskala effektreguleringsforsøk i Vinjevatn (Telemark) høsten 1997 og 1998, samt et påbegynt forsøk vinteren 1999. I tillegg er det gjort en del teoretiske betraktninger rundt biologiske virkninger av effektregulering. Det er lagt vekt på at resultatene/ vurderingene skal kunne ha overføringsverdi til andre typer vann og vassdrag hvor det planlegges effektregulering. Rapportens målsetting har vært å:

- Undersøke om effektregulering medfører vesentlige endringer i abiotiske faktorer sammenliknet med sesongmessig regulering.
- Beskrive hvordan eventuelle endringer i abiotiske faktorer kan påvirke biotiske faktorer.
- Vurdere hvilke faktorer som synes viktige for virkningene av effektregulering på biologiske forhold, gi retningslinjer om hvilke typer vassdrag/magasin som er egnet for effektregulering, og foreslå konfliktløsende tiltak og kjørestrategier.

Sammenliknet med sesongmessig regulering vil en effektregulering kunne gi økt variasjon i vanntemperatur sommer og vinter, samt større blandsoner nær inn- og utløp (gjelder først og fremst grunne magasin med gjennomstrømning). En må forvente større variasjon i vanngjennomstrømningen og kortere oppholdstid i perioder. Temperaturendringer, samt raske vannstandsvariasjoner og tidvis økt gjennomstrømning vil kunne endre isforholdene fra dag til dag. Erosjon, turbiditet og tilslamming vil ofte øke. Vannstanden vil endres raskere og hyppigere og det blir færre "rolige" perioder. Endringer i vanndekket areal vil skje raskere og hyppigere. Littoralsonen blir et mer ustabilt område.

Eventuelle endringer i vanntemperaturen vil generelt ha liten betydning for de biologiske forholdene, da endringene normalt skjer i et begrenset område (overflatelag, inn- og utløp). Mulige virkninger på vannvegetasjon er fysiologisk stress da metabolismen blir berørt direkte. Det forventes ingen vesentlige negative virkninger for plankton, bunndyr og fisk som følge av evt. endringer i vanntemperaturen.

Større variasjon i vanngjennomstrømning samt kortere oppholdstid for vannet i perioder vil normalt ikke påvirke vannvegetasjon, bunndyr eller fisk negativt. Planktonsamfunnene vil derimot påvirkes negativt gjennom økt utspyling og dårligere produksjonsbetingelser. På sikt vil økt utspyling gi dårligere næringsforhold for planktonspisende fisk.

Økt oppsprekking av is i strandsonen og mer ustabile isforhold vil generelt ha mindre betydning for de biologiske forholdene. Økt lystilgang som følge av redusert/oppsprukket isdekke kan gi økt plantevekst og planteplankton produksjon, men det er generelt vanskelig å generalisere virkningene av en lysøkning. Dette fordi behovet for lys er forskjellig hos ulike arter og fordi en rekke andre faktorer også påvirker vekst og produksjon. Bunndyr kan påvirkes negativt ved at frost trenger lenger ned i bunnen enn normalt, noe som fører til økt dødelighet hos bunndyr som normalt graver seg ned i substratet når vannet forsvinner.

Økt erosjon, turbiditet og tilslamming vil hovedsakelig virke negativt på de biologiske forholdene i et magasin. Grunnvannserosjon og bølgeindusert erosjon som følge av effektregulering kan føre til løsrivelse av hele planter og effekter som vasking av planter, blottlegging av røtter og overlagring av planter med finmateriale. Tørrleggingsfrekvensen, klimaforhold og årstid vil avgjøre hvor omfattende erosjonen vil bli og eventuelt hvor lenge et plantedekke vil kunne vedvare. Økt partikkelkonsentrasjon og dermed redusert siktedyp har i mange tilfeller ført til en kortvarig nedgang i planteplanktonproduksjonen. Produksjonen når imidlertid raskt sitt opprinnelig nivå ved økende siktedyp og lystilgang. Økt erosjon kan påvirke bunndyrfaunaen direkte gjennom ytterligere forringelse av naturlige habitater i strandsonen, eller gjennom tilslamming av habitatene i og under denne.

Raskere endringer i vannstand og vanndekket areal vil stort sett være negativt for de biologiske forholdene i strandsonen. Tørkeskader og frostskader vil kunne forekomme på vannvegetasjonene avhengig av omfanget på endringene og tid på året. Hurtige reduksjoner i vannstanden gjør mer skade enn langsomme da bunndyrene ikke klarer å følge etter og dermed strander. Stranding av fisk knyttet til strandsonen må forventes ved raske vannstandsreduksjoner. Raskere endringer i vannstand vil isolert sett ha liten betydning for planktonproduksjonen, da plankton lever fritt i vannmassene og følger passivt strømmer og bevegelser i vannet. De direkte virkningene av raske vannstandsendringer vil generelt være små i de frie vannmasser.

De direkte konsekvensene av endrede abiotiske forhold på fiskebestander som følge av en effektregulering vil normalt være beskjedne. Med unntak av stranding vil virkningen av en effektregulering for fisk vil i hovedsak være avhengig av hva som skjer med næringsdyrene, i første rekke zooplankton, bunndyr og byttefisk.

Ved planer om effektregulering vil det være viktig å innhente informasjon om ulike forhold ved dagens regulering, informasjon om de biologiske forholdene i systemet, og informasjon om planlagt effektregulering. Dette fordi slik informasjonen vil gi en muligheter til å forutsi konsekvenser av planlagt regulering.

Det optimale vassdrag/magasin for effektregulering sett i forhold til biologiske konsekvenser bør ha så stort volum som mulig. Større volum gir vanligvis mindre endringer i vannstanden ved en effektregulering. Magasin med stor reguleringshøyde og gjennomsnittsdybde er velegnet fordi de ofte har bratt strandsone og begrenset med grunne områder. Vannets oppholdstid bør i utgangspunktet være lang og gjennomstrømningen liten, da en effektkjøring i perioder kan føre til større variasjon i oppholdstid og økt vann-gjennomstrømning. En varierende tappestrategi over året kan imidlertid være en fordel hvis økosystemet er tilpasset "ustabile" forhold. Magasinet bør ha utløp i sjø, da dette normalt gir mindre skadevirkninger enn ved utløp i elv. I visse tilfeller, f. eks. ved stor minstevannføring og forsiktig effektregulering, kan imidlertid utløp i elv være egnet. Grovt bunnsubstrat er en fordel fordi det begrenser erosjonsprosessene. Magasinet bør ikke være koblet til andre magasin. Koblinger kan medføre virkninger i flere magasin enn det som berøres direkte.

En rekke tiltak kan redusere negative virkninger av en effektregulering. Generelt bør kjørestrategien legges opp slik at vannstandsendringene blir minst mulig. Det vil også være en fordel om pendling i vannstand skjer innenfor den reguleringshøyden som normalt brukes og ikke nødvendigvis hele høyden mellom LRV og HRV. Det er også viktig å forsøke å tilpasse reguleringen slik at en minimaliserer vannstandsendringene i perioder hvor økosystemet er sårbart. Ved oppstart av en effektregulering er det vesentlig at de første vannstandsendringene skjer langsomt, spesielt ved nedkjøring, slik at faunaen i strandsonen rekker å følge endringene. Effektregulering mellom høyder som gir store endringer i vanndekket areal bør begrenses for å redusere faren for at invertebrater og fisk strander.

Abstract

The main objectiv of the project "Short-term regulations- Environmental impacts and mitigation measures" has been to upgrade the knowledge of environmental impacts of short-term regulations, and seek mitigation measures. The following definition of short-term regualtion has been used:

Short-term regulation is brief changes in power production in order to cover the variation in power demand over a day.

This report deals with biological impacts of short-term regulation in reservoirs . We have studied the effects of hydropower peaking on different biological factors in Lake Vinjevatn, southern Norway. Aquatic vegetation, plankton, zoobenthos and fish has been examined. We have focused on the following questions:

- What are the main differences in abiotic factors between short-term regulation and seasonal regulation?
- What's the effect of these differences on biotic factors? (Results from field studies and litterature reviews)
- What's important to evaluate when planning short-term regulation?, what kind of basins/reservoirs are suitable for short-term regulation, and how can we reduce/prevent negative effects?

Short-term regulations might increase water temperature variation in summer and winter season compared with seasonal "long-term" regulation. Larger mixing zones might occur near the inlet and outlet of the reservoir or lake. Periodically, increased variation in hydraulic flushing rate and shorter water retention time is expected. Ice conditions might be more unstable due to the above mentioned factors. Short-term regulation will often lead to increased erosion, turbidity and siltation. Water level fluctuations will appear faster and more often. This leads to a more unstable and "stressed" littoral zone.

Generally, potential changes in water temperature due to short term regulation will have minor effects on the ecosystem. No negative effects are expected to be found concerning plankton, zoobenthos and fish due to small and rapid changes in temperature.

Periodically increased variation in hydraulic flushing rate and shorter water retention time will not normally effect aquatic vegetation, zoobenthos or fish. Plankton communities however, might be negatively affected if the flushing rate is high and water retention time is low. Less plankton production or biomass will eventually lead to reduced fish production.

Unstable ice conditions with broken ice near the shores will seldom have severe impacts on the ecosystem. Zoobenthos in the littoral zone, which bury themselves in the ground when water drops, might be negatively affected if lack of ice cover exposes zoobenthos to frost.

Increased erosion, turbidity and siltation will generally have negative effects on a reservoir or lake ecosystem. Ground water erosion and wave induced erosion due to short-term regulation might lead to detachment of whole plants, cleaning of plants, exposure of roots, and siltation. Increased turbidity and thereby reduced water transparency has lead to brief decreases in phyto- plankton biomass. Production increases quickly when transmission of light recovers. Increased erosion might negatively affect zoobenthos directly through further deterioration of natural habitats in the littoral zone, or through siltation of habitats in or below this zone.

Biological impacts of more rapid and frequent changes in water level and water surface area in the littoral zone are mainly negative. Aquatic vegetation might be exposed to frost and drought, depending on the magnitude of the water level changes and time of the year. Littoral benthic invertebrates are more easily stranded when water level changes rapidly. Stranding of fish closely associated with the littoral and shore zone is expected.

The direct consequences of changes in abiotic factors following short-term regulation in reservoir are assumed to be modest for fish communities. However, if short-term regulation leads to a decline in available prey (zooplankton, benthic invertebrates and smaller fish), this will affect fish populations negatively.

To evaluate the potential impacts of short-term regulations it is important to gather background information concerning today's regulation, today's biological condition and tomorrows short-term regulation.

A suitable lake or reservoir for short-term regulation as regards biological impacts should have a volume as big as possible. Bigger volume usually cause less changes in water level. Lakes or reservoirs with large regulation height and mean depth are suitable because they often have steep shoreline slopes and few shallow shore zones. This reduces the impact of water level fluctuations on the littoral zone. Basically water retention time should be long and hydraulic flushing rates low due to the increased variation following short-term regulation. However, some variation in hydraulic flushing rates might be favourable if the ecosystem is adjusted to it. The outlet of the power station should preferably be in the sea, cause this normally has less negative impacts than outlet in rivers.
Bottom substrate should be course to reduce the effect of erosion. The lake or reservoir should not be linked to other lakes or reservoirs. Linkage might lead to impacts throughout the whole system.

Several mitigation measures for reducing environmental impacts exists. The most important is to minimise water level fluctuations. Water fluctuations should take place within the regulation height normally used, and not necessarily between the whole max and min regulation height. It's also important to minimise water level fluctuation during vulnerable periods for the ecosystem (spring and autumn). Draw downs should be slow to prevent stranding of benthic invertebrates and juvenile fish.
Short-term regulation at heights that reveals large areas of dry land should be avoided to reduce the risk of stranding.

Innhold

Forord
Sammendrag
Abstract

1. Innledning ... 9

2. Beskrivelse av Vinjevatn ... 11
2.1 VANNVEGETASJON ... 12
2.2 PLANKTON ... 13
2.3 BUNNDYR ... 13
2.4 FISK ... 14

3. Endringer i abiotiske faktorer ved effektregulering kontra sesongmessig regulering ... 15
3.1 VANNSTANDSFLUKTUASJONER ... 15
3.2 VANNTEMPERATUR, VANNGJENNOMSTRØMNING OG ISFORHOLD ... 16
3.3 EROSJON OG SEDIMENTASJON ... 19
3.4 ENDRINGER I VANNDEKKET AREAL OG VANNVOLUM ... 21
3.5 OPPSUMMERING ... 22

4. Hva betyr endringer i abiotiske faktorer for biotiske faktorer ? ... 24
4.1 VANNVEGETASJON ... 25
4.1.1 Oppsummering av forsøkene i Vinjevatn ... 25
4.1.2 Andre mulige virkninger av effektregulering på vannvegetasjon ... 26
4.2 PLANKTON ... 28
4.2.1 Oppsummering av forsøkene i Vinjevatn ... 28
4.2.2 Andre mulige virkninger av effektregulering på plankton ... 29
4.3 BUNNDYR ... 31
4.3.1 Oppsummering av forsøkene i Vinjevatn ... 31
4.3.2 Andre mulige virkninger av effektregulering på bunndyr ... 31
4.4 FISK ... 32
4.4.1 Oppsummering av forsøkene i Vinjevatn ... 32
4.4.2 Andre mulige virkninger av effektregulering på fisk ... 35

5. Hva er viktig å kartlegge/klargjøre ved planer om effektregulering med tanke på biologiske forhold ? ... 38
5.1 DAGENS REGULERING ... 38
5.2 BIOLOGISKE FORHOLD ... 39
5.3 PLANLAGT EFFEKTREGULERING ... 41

6. Hvilke typer vassdrag/magasin er miljømessig egnet for effektregulering, og hvilke typer bør en unngå? ... 42

7. Konfliktløsende tiltak og kjørestrategier ... 44

8. Litteratur ... 45

Figurliste

Figur 1. Vinjevatn og andre deler av Tokkeverkene i Telemark (Fra Førde et al 1997) 11
Figur 2. Teoretisk tverrsnitt av et magasin som viser hvordan vannstandspendling kan påvirke bølgebasis. 21
Figur 3. Vanndekt areal i Vinjevatn ved ulike vannstander 22
Figur 4. Vannstanden i Vinjevatn under effektreguleringen i 1997. Tidspunkt for bunndyrundersøkelsene er vist. 25
Figur 5. Vannstanden i Vinjevatn under effektreguleringen i 1998. 26
Figur 6. Vinjevatn 1998. Klorofyll a (µg/l) på 3 meters dyp ved stasjon 2 (nedenfor utløp av Vinje kraftstasjon), 3 (midtre del av vannet) og 4 (utløp av Vinjevatn) før, under og etter effektreguleringsperioden. 29
Figur 7. Typiske områder der stingsild strandet. Pilene markerer fordypninger med vann der det ble observert store mengder levende stingsild. 34

Tabelliste:

Tabell 1. Magasin i Norge med reguleringshøyder på 100 m eller mer. 15
Tabell 2. Reguleringshøyden i 698 magasiner med vannkraftverk på 1MW eller mer i Norge. (Samlet areal= magasinvolum dividert på reguleringshøyden) 15
Tabell 3. Potensielle endringer i abiotiske faktorer som følge av effektregulering i allerede sesongmessig regulert magasin. 23
Tabell 4. Totalt areal undersøkt på hver stasjon 33
Tabell 5 Klassifisering av vassdrag/magasin i forhold til effektregulering og biologiske forhold. + indikerer egnet og - er lite egnet 42

1. Innledning

Hovedmålsettingen til prosjektet "Effektregulering – miljøvirkninger og konfliktreduserende tiltak" er å oppgradere kunnskapen om miljøvirkninger av effektreguleringer. Effektregulering kan føre til raskere fluktuasjoner i vannføring og vannstand enn vi er vant med i norske vassdrag. Dette kan medføre raske endringer i vassdragenes fysiske forhold. Effektregulering er motivert ut fra et ønske om å produsere elektrisitet ved høy etterspørsel og høy pris. Prosjektet har arbeidet ut fra følgende definisjon:

Effektregulering er kortvarige lastendringer der formålet er å utnytte kraftprisens variasjon over døgnet.

Virkninger av tradisjonell vassdragsregulering (heretter kalt sesongmessig regulering) på økosystemer i innsjøer er velkjent og godt dokumentert (f.eks. Aass & Borgstrøm 1987). Når det gjelder virkninger av effektregulering, i dette prosjektet tolket som døgnregulering, er kunnskapene adskillig mer begrensete. I 1998 ble det i regi av Effektprosjektet gjennomført en litteraturstudie hvis formål var å fremskaffe oversikt over eksisterende kunnskap om miljøvirkninger av effektregulering. I den grad det var mulig ble det innhentet erfaringer fra eksisterende effektverk, og fra forskningsprosjekter som har vurdert avgrensede effekter av denne formen for energiproduksjon. Resultatene fra dette arbeidet er oppsummert i rapport nr 3 i denne rapportserien (Pettersen 1998). Basert på resultatene fra denne rapporten synes det å være utført få studier som omfatter biologiske konsekvenser av effektregulering i innsjøer/magasiner. Behovet for økt kunnskap på dette området er derfor tilstede. Forskning på konsekvenser av effektregulering har hovedsakelig vært knyttet til elvestrekninger. En grei oversikt over disse konsekvensene er gitt av Cushman (1985) og Hunter (1992).

Miljøkonsekvensene av effektregulering faller inn under samme kategorier eller typer konsekvenser som de som opptrer ved ordinær utbygging og drift av vannkraftverk. Vanligvis vil miljøvirkningene av en primærutbygging av vannkraft være adskillig tydeligere eller mer målbare enn ved overgang til effektregulering av et allerede eksisterende vannkraftverk. Små endringer forårsaket av effektregulering i vassdrag som allerede er påvirket av menneskelige inngrep kan imidlertid få store økologiske og bruksmessige konsekvenser dersom sårbare økosystemer blir berørt. Hvorvidt effektregulering i allerede eksisterende magasiner vil gi andre og/eller forsterke eksisterende virkninger på ferskvannsøkosystemet enn sesongmessig regulering, vil trolig avhenge av om viktige abiotiske (fysiske) faktorer endres ved overgang fra vanlig regulering til effektregulering. Hvilke endringer en kan forvente vil være avhengig av hva slags type reguleringssystem en tenker å effektregulere, og hvordan reguleringen gjøres. Effektregulering slik den ble gjennomført i Vinjevatn antas å være blant de mer ekstreme former for effektregulering.

Basert på resultater fra storskala effektregulering av Vinjevatn høsten 1997, 1998 og vinteren 1999 samt erfaringsdata fra tradisjonell regulering av innsjøer og reservoarer, er virkningene av disse to reguleringsformene på følgende abiotiske faktorer blitt sammenliknet:

- vanntemperatur
- vanngjennomstrømning/oppholdstid
- isforhold

- erosjon og sedimentasjonsforhold
- arealendringer/volumendringer

I de tilfellene hvor effektregulering synes å påvirke abiotiske faktorer på en annen måte enn ved sesongmessig regulering, er mulige konsekvenser av dette for en rekke biotiske komponenter i økosystemet i Vinjevatn vurdert på grunnlag av undersøkelsene og eksisterende kunnskap. Det er lagt vekt på at resultatene/vurderingene skal kunne ha overføringsverdi til andre typer vann og vassdrag hvor det planlegges effektregulering. Det er valgt å se nærmere på følgende biotiske komponenter:

- vannvegetasjon
- plankton
- bunndyr
- fisk

Dersom en overgang fra sesongmessig til effektregulering kun fører til mindre endringer i viktige abiotiske faktorer, vil vi ikke forvente å finne andre effekter på økosystemet enn dem som følger av sesongmessig regulering. Disse er i så tilfelle beskrevet.

I tillegg til å foreta sammenlikninger og vurderinger som nevnt ovenfor, diskuteres følgende:

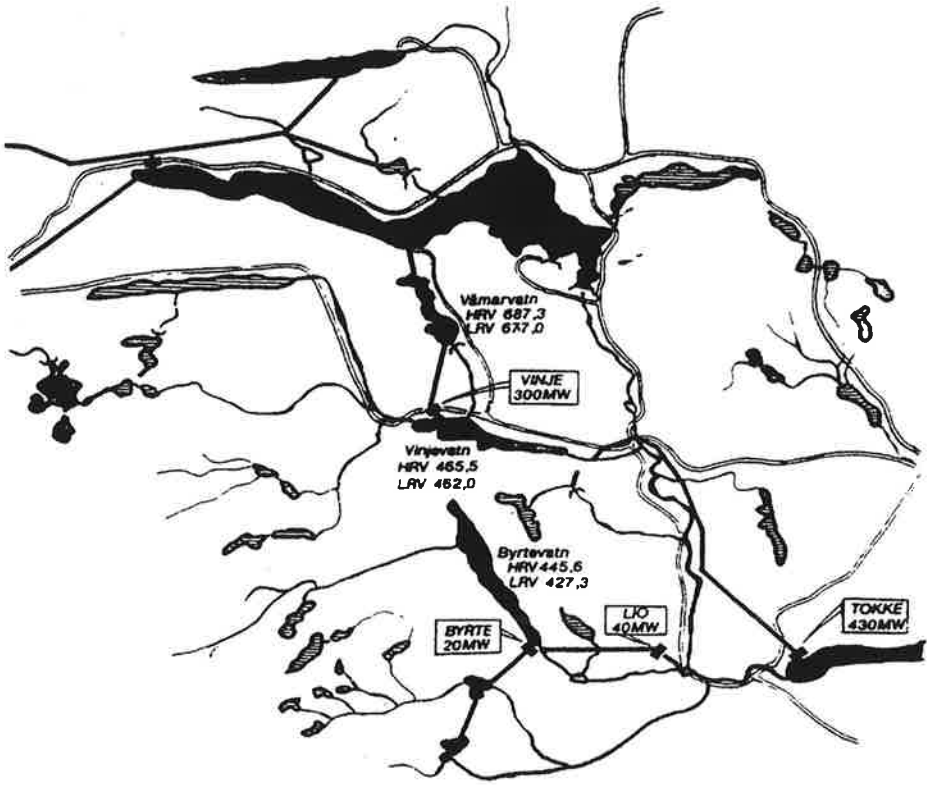
- Hva er viktig å kartlegge/klargjøre ved planer om effektregulering med tanke på biologiske forhold.
- Hvilke typer vassdrag/magasin er miljømessig egnet for effektregulering, og hvilke typer bør en unngå.
- Konfliktløsende tiltak og kjørestrategier

Basert på det ovennevnte kan målsettingen for dette arbeidet formuleres slik:

- Undersøke om effektregulering medfører vesentlige endringer i abiotiske faktorer sammenliknet med sesongmessig regulering.
- Beskrive hvordan eventuelle endringer i abiotiske faktorer kan påvirke biotiske faktorer.
- Vurdere hvilke faktorer som synes viktige for virkningene av effektregulering på biologiske forhold, gi retningslinjer om hvilke typer vassdrag/magasin som er egnet for effektregulering, og foreslå konfliktløsende tiltak og kjørestrategier.

2. Beskrivelse av Vinjevatn

Vinjevatn ligger i Vinje kommune i Telemark, 465,5 m o.h. (høyeste regulerte vannstand, HRV) (Figur 1). Store deler av vannet er grunt, spesielt gjelder dette i området ut for innløpselva Smørkleppåi, hvor det er bygget opp et delta. Karakteristisk for disse grunne områdene er de store engene med stivt brasmegress som i hovedsak starter 2 m under HRV. Gjennomsnittsdybden i vannet er 7,2 m og normalt siktedyp er mellom 10 og 12 m. Etter reguleringen i 1961 har vannet et areal på 3,15 km^2 ved HRV. Nedbørsfeltet er på hele 1735 km^2 etter at vannet fra Totak via Våmarvatn kommer ut i Vinjevatn gjennom Vinje kraftstasjon. Vinjevatn er inntaksmagasin for Tokke kraftverk samtidig som Vinje kraftverk har utløp i vannet. Reguleringshøyden i Vinjevatn er 3,5 m, men vannet er sjelden tappet helt ned til laveste regulerte vannstand, LRV (462,0 m o.h.). Vinjevatn er et forholdsvis lite reguleringsmagasin og blir i stor grad benyttet til korttidsreguleringer i Vinje og Tokke kraftstasjoner. Dette medfører raske vannstandsvariasjoner innenfor døgnet. Et viktig trekk ved vannstanden i Vinjevatn er at det ikke har vært noen klar årstidsvariasjon. Alle vannstander er omtrent like sannsynlige uansett årstid.



Figur 1. Vinjevatn og andre deler av Tokkeverkene i Telemark (Fra Førde et al. 1997)

I det følgende gis en relativt grov beskrivelse av de viktigste biotiske komponentene i Vinjevatn, herunder vannvegetasjon, plankton, bunndyr og fisk. Beskrivelsen er i hovedsak basert på resultater fra undersøkelsene i forbindelse med forsøkskjøring i 1997 og 1998. Fiskesamfunnet er beskrevet på grunnlag av foreliggende rapporter (Carm 1988; Solhøi 1997). For en grundigere beskrivelse av de enkelte undersøkelsene henvises det til rapport nr 2, 8 og 11 i rapportserien for effektprosjektet (Førde et al. 1997; Færøvig et al. 1999; Johansen &

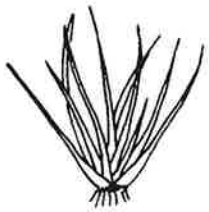
Rørslett 1999). I denne rapporten vil en gå nærmere inn på de ulike artene og deres krav til livsmiljøet der dette kan ha betydning for konsekvensene av effektregulering.

2.1 Vannvegetasjon

Vinjevatn har i dag et normalt utviklet vegetasjonssamfunn med totalt 12 registrerte arter av vannvegetasjon. Soneringen viser at de øvre 1,5 m av reguleringssonen er regelmessig i bruk, mens de nedre 2 m er lite påvirket av reguleringen. Stivt brasmegras er den dominerende planten dypere enn kote 463,5 og danner store, sammenhengende, tette bestander. Andre viktige planter er mykt brasmegras, tjønngras, botnegras, evjesoleie og sylblad.

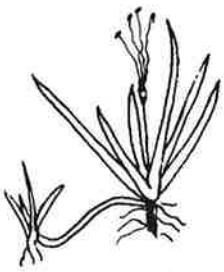
En kort beskrivelse, samt tegning av de viktigste artene følger:

Stivt brasmegras (*Isoëtes lacustris*):
Typisk rosettplante (isoetide) med spesielt tilpasset karbonmetabolisme (jfr. Rørslett & Brettum 1989). Det stive brasmegraset trives best på finkornet substrat, men forekommer også på temmelig steinet bunn. Synes å tåle noe innfrysing om vinteren dersom substratet ikke beveges (ved isskuring e.l.). Trives best i forholdsvis klart vann. Flere undersøkelser viser at artens vertikale nisje er begrenset nedover av lysfaktoren, jfr. Rørslett (1987) og Rørslett & Brettum (1989).



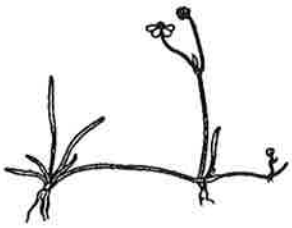
Mykt brasmegras (*Isoëtes setacea*):
Typisk rosettplante. Likner mye på Isoetes lacustris, men er vanligvis noe spinklere, mykere og ikke så tettvoksende. Vokser også grunnere i littoralsonen.

Tjønngras (*Littorella uniflora*):
Rosettplante. Likner på brasmegras og botnegras, men har mer runde og spisse blader. Trives på sand og finsubstrat på grunne partier. Rosettene har utløpere og kan danne tette bestander.



Botnegras (*Lobelia dortmanna*):
Rosettplante. Basisbladene har to vide luftkanaler. I næringsfattig klarvann. Bladrosett er vintergrønn. Blomster på lange stengler over vannflaten. Planten kan danne sammenhengende tepper.

Evjesoleie (*Ranunculus reptans*):
Rosettplante. Trives best på finsubstrat der det ikke er for sterk erosjon. Danner krypende stengler med dannelse av nye rosetter i et "teppe" som utgjør en klon.



Sylblad (*Subularia aquatica*) :
Forholdsvis vanlig på fint substrat sammen med evjesoleie. Ettårig rosettplante. Generelt på leirete strender og grunt vann. Planten kan danne sammenhengende tepper.

2.2 Plankton

Vinjevatn er en næringsfattig innsjø med en tot-P konsentrasjon som varierte fra 1 til 15 µg/l. Klorofyllinnholdet, som er et mål på planteplanktonbiomassen, varierte fra 0,7 til 1,2 µg klf.a/l. Det var gjennomgående lite materiale i planteplanktonprøvene, noe som stemmer godt overens med det lave klorofyll a innholdet. Gruppen Gullalger (Chrysophyceae) var dominerende i materialet som ble samlet inn. Dette er i god overensstemmelse med resultater fra tidligere undersøkelse i Totak (Brettum 1990). Denne undersøkelsen konkluderte med at dominans av Gullalger og "µ-alger" sammen med lavt totalvolum av planteplankton er typisk for næringsfattige innsjøer.

Dyreplanktonsamfunnet var i hele undersøkelsesperioden (27. august til 9. september 1998) dominert av vannloppen *Bosmina longispina*. Denne utgjorde ca 70 - 80% av alle voksne individer. Tilsvarende artsdominans ble funnet i Grungevatn (Smørkleppåi begynner i Grungevatn) og Tveitevatn (Kulsvehagen og Sivertsen 1987) hvor *Bosmina longispina* utgjorde 60 - 90% av totalt antall krepsdyr. Med unntak av *Bosmina longispina* var det lite dyreplankton i Vinjevatn sammenlignet med maksimalverdier i andre sammenlignbare innsjøer i Kjelavassdraget i Vinje kommune (Kulsvehagen og Sivertsen 1987). Kun sporadiske forekomster av arter som *Daphnia cristata* og *Hetrocope saliens* (bare observert i håvtrekk) kan tyde på at disse er viktige næringsemner for planktonspisende fisk og derfor utsatt for et stort predasjonstrykk.

Det må bemerkes at undersøkelsen ikke gir et fullstendig bilde av situasjonen for verken plante- eller dyreplankton i Vinjevatn, da prøver kun er innsamlet på høsten. Det er imidlertid rimelig å anta at en slik innsamling beskriver artsmangfoldet på en brukbar måte, selv om biomasseforholdet mellom de ulike artene kan endres gjennom sesongen.

2.3 Bunndyr

Bunndyrfaunaen i Vinjevatn august/september 97 og 98 var dominert av noen få grupper, henholdsvis fåbørstemark, fjærmygg og rundmarker. Både fåbørstemark og fjærmygg er grupper som, generelt sett, kan knyttes til mudderbunn, og som dermed indikerer at uttørking forekommer forholdsvis sjelden på de undersøkte dyp ved eksisterende manøvrering. De er også typiske grupper i regulerte vann (Halvorsen 1993). Tettheten av disse gruppene var generelt lave. Erfaring tilsier imidlertid at både antall dyregrupper og antall dyr innen hver gruppe nok ville vært høyere dersom prøvetakingen hadde foregått tidligere på året. En rekke arter har en livssyklus som omfatter et stadie i luft, og klekking skjer ofte i perioden fra vår til høst.

2.4 Fisk

Det er fire fiskearter i Vinjevatn; ørret, røye, ørekyt og trepigget stingsild. Ørekyt og trepigget stingsild har etablert store bestander og er sterke næringskonkurrenter til både ørret og røye. Ørekyt og stingsild kan imidlertid være viktige næringskilder for større ørret. År om annet blir det tatt ørret på over fem kilo i vannet, og dette er ørret som hovedsakelig lever av småfisk.

Ørretbestanden i Vinjevatn har generelt dårlig vekst og kondisjon (Carm 1988, Solhøi 1997). Ørreten kommer dårlig ut av konkurransen om næring med de andre artene, i første rekke ørekyt og stingsild. Gytemulighetene for ørret i Vinjevatn har blitt karakterisert som gode, spesielt i Smørkleppåi (innløpselva).

Generelt finner en ofte en fordeling mellom små og store ørreter i innsjøer. De yngste og minste er ofte knyttet til de grunnere deler av innsjøen. Større fisk bruker også dette området, men utnytter i hovedsak de frie vannmasser. Med de store stingsild og ørekytbestandene som finnes i Vinjevatn vil imidlertid de yngste ørretene møte stor konkurranse om næring og habitat i littoralsonen.

3. Endringer i abiotiske faktorer ved effektregulering kontra sesongmessig regulering

3.1 Vannstandsfluktuasjoner

3.1.1 Sesongmessig regulering

Ved sesongmessig regulering er det vanlig at den største tappingen skjer om vinteren da kraftbehovet er størst. Magasinfyllingen foregår vanligvis i sommerhalvåret. Vannstanden i de fleste magasiner svinger derfor i en årssyklus hvor bunnen nås i april-mai og med magasinet på topp en gang i sommerhalvåret avhengig av reguleringsprosent og konsesjonsvilkår. Den totale vannstandsendring er ofte stor , men endringene skjer vanligvis sakte. Enkelte magasin har reguleringshøyder større enn 100 m (Tabell 1). Vannstanden i disse magasinene blir imidlertid svært sjelden senket til LRV. De er såkalte flerårsmagasiner og de nederste meterene skal kun utnyttes i spesielt tørre år eller i år med stort kraftbehov.

Tabell 1. Magasin i Norge med reguleringshøyder på 100 m eller mer.

Magasin	Regulering	Reg. høyde (m)
Vatnedalsvatn	Otra	140
Storglomvatn	Svartisen	125
Blåsjø	Ulla-Førre	125
Svartevatn	Sira-Kvina	119
Juklavatn	Mauranger	110
Blådalsvatn	Blåfalli	100
Fossvatnet	Kobbelv	100

En oversikt fra Energiavdelingen ved NVE (ER-notat nr 9/95) over 698 reguleringsmagasiner viser at hovedtyngden av disse har reguleringshøyder under 20 meter (Tabell 2). Bare halvparten av det samlede areal har reguleringshøyder på mer enn fem meter.

Tabell 2. Reguleringshøyden i 698 magasiner med vannkraftverk på 1MW eller mer i Norge. (Samlet areal= magasinvolum dividert på reguleringshøyden)

Reg.høyde (m)	Antall	Samlet areal (km^2)
0-2	40	484
2,1-5	121	1576
5,1-10	132	566
10,1-20	170	818
20,1-50	192	604
50,1-	43	152
Totalt	698	4200

3.1.2 Effektregulering

Ved effektregulering tappes magasinet ned når strømforbruket (og dermed produksjonen) er høyt, mens magasinet fylles når strømforbruket er lavt. Ved døgnregulering innebærer dette at inntaksmagasinet senkes om dagen og fylles om natten. Et evt utløpsmagasin vil få motsatt syklus. Særtrekk ved effektregulering over døgnet i små magasiner er raskere endringer i vannstand enn det vi er vant med ved sesongmessig regulering. I tillegg kommer endringene hyppig. Virkningene av en effektregulering på vannstanden i et magasin vil imidlertid være avhengig av magasinets topografi, størrelse og det eksisterende reguleringsregime. I større magasiner med god lagringskapasitet vil en effektregulering normalt føre til små vannstandsendringer utover det som følger av sesongmessig regulering. Vannstanden følger en årssyklus lik den beskrevet for sesongmessig regulering, men man kan få en liten vannstandspendling i tillegg. I mindre magasiner kan effektregulering gi langt større vannstandsendringer.

3.1.3 Forskjeller mellom sesongmessig regulering og effektregulering.

De vesentligste forskjellene mellom sesongmessig regulering og effektregulering (her: døgnregulering) er knyttet til tidsaspektet. Vannstandsendringene skjer mye hyppigere og raskere, og kommer oftest i tillegg til endringene forårsaket av sesongmessig regulering. Ved en effektregulering blir det færre rolige perioder i strandsonen.

3.2 Vanntemperatur, vanngjennomstrømning og isforhold

3.2.1 Sesongmessig regulering

Endringen i vannstanden som følge av sesongmessig regulering fører til at vanntemperaturen endres sammenliknet med naturlige forhold. Økt vannvolum vil kunne forsinke oppvarmingen om våren. I tillegg vil tapping fra magasinet påvirke temperatursjiktningen og varmebudsjettet. Tapping skjer normalt relativt dypt. Utover vinteren senkes magasinet og tappingen foregår dermed nærmere overflaten. Temperaturen på driftsvannet avtar derfor utover vinteren. Om sommeren øker vanntemperaturen etter hvert på grunn av vindens omrøring av vannmassene.

De fleste uregulerte innsjøer i Norge er det vi kaller tempererte innsjøer. Typisk for slike sjøer er tydelige temperatursjiktninger om vinteren og sommeren. Om vinteren vil "varmt" vann ligge langs bunnen og kaldere (< 4 °C) vann over dette. Om sommeren vil det kaldeste vannet ligge langs bunnen. Vår og høst når hele vannmassen har samme temperatur får vi fullsirkulasjon i innsjøen (vår- og høstsirkulasjon).

Sammenliknet med uregulerte innsjøer vil tapping av vann ut over naturlig avrenning føre til økt gjennomstrømning. Når vannføringen øker vil det hovedsakelig føre til økt tykkelse på det transporterende laget, og bare i mindre grad endre hastigheten. På grunne partier, og særlig over terskler, er det ikke mulig å øke tykkelsen på transportlaget da det allerede er transport i hele tverrsnittet. Strømhastigheten øker mest i grunne områder, og mindre på dype partier. Sesongmessig regulering vil kun føre til endringer i perioder med vannstandsendring, dvs. hovedsakelig om vinteren. Større gjennomstrømning om vinteren fører til et tykkere øvre lag i innsjøen med homogen temperatur.

Endring av isforholdene på innsjøer som blir regulert til kraftformål er av de konsekvenser som er mest synlige. Selve tappingen påvirker lite, men økte overflatearealer gir mer vindfang

og senere islegging. Normalt blir det imidlertid små endringer i islegging og isløsningstidspunktet (pers. med. Ånund Kvambekk). Avhengig av reguleringshøyde vil de vanligste virkninger av reguleringer på isen være (Tvede 1993):

- Oppsprekking i reguleringssonen
- Råk ved tunnelåpninger
- Overvann langs iskanten
- Endret tidspunkt for islegging og isløsning

3.2.2 Effektregulering

Som en følge av effektregulering kan temperaturen i vannmassene endres gjennom døgnet. Om det blir endringer, og hvor store eventuelle endringer kan bli, vil variere fra vann til vann. I et enkelt system med kun et inntaksmagasin vil en ikke forvente vesentlige endringer i vanntemperaturen som følge av en effektregulering. Dersom magasinet er en del av et større reguleringssystem, slik som Vinjevatn, vil imidlertid flere faktorer kunne påvirke vanntemperaturen ved en effektregulering. Faktorer som tilførsel av kraftverksvann fra ovenforliggende magasin samt det naturlige tilsig til vannet fra elver og bekker er viktig. I perioder med større temperaturforskjeller mellom disse kildene kan det bli vesentlige døgnvariasjoner i vanntemperatur ved effektregulering, slik dette er vist for Vinjevatn.

Temperaturendringer, samt raske vannstandsvariasjoner og tidvis økt gjennomstrømning, vil kunne endre isforholdene fra dag til dag.

Basert på in situ resultatene fra forsøkene i Vinjevatn kan de viktigste virkningene av effektregulering på vanntemperatur, vanngjennomstrømning og isforhold oppsummeres slik (Kvambekk 2000):

I inntaksmagasinet (Våmarvatn) ble det ikke funnet temperaturvariasjoner som skyldtes effektkjøringen. Generelt blir temperaturforholdene i et inntaksmagasin med effektregulering svært like de en finner i en uregulert innsjø av samme størrelse. Værforholdene vil avgjøre temperaturfordelingen i innsjøen.

Utløpsmagasinet (Vinjevatn) er et typisk gjennomstrømningsmagasin og er spesielt da det har en innløpselv (Smørkleppåi) oppstrøms kraftverket med en betydelig vannføring, også om vinteren. De største variasjonene i vanntemperaturen på grunn av effektregulering skyldtes samspillet mellom innløpselva og kraftverksvannet.

Ved store temperaturforskjeller mellom innløpselva og kraftverksvannet blir det tetthetsforskjeller, og innløpselva vil "dykke" de ganger den er tyngst. Under forsøket i september dykket Smørkleppåi og vi fikk døgnlige temperatursvingninger på inntil 1 °C i alle dyp fra 5-30 m, med de største svingninger nær bunnen. Normalt er det svært stabile temperaturer i dypet i uregulerte vann eller vann med jevn kjøring. Fra effektlignende regulering til andre årstider fant vi at det av samme grunn kunne oppstå døgnvariasjoner på anslagsvis 3 °C om sommeren og 2 °C om vinteren, men da i de øverste 2 m da vannet i innløpselva vanligvis er lettest på disse årstidene. Tidlig på høsten er det en overgangsperiode hvor vannmassene fra innløpselva og kraftverket vanligvis er like tunge, og temperaturvariasjonene blir svært små.

Målingene viste også to andre temperaturvirkninger som oppstår ved effektregulering. Disse virkningene avhenger av inntaksdypet og er nok størst når inntaket ligger like under

termoklinen (skillet mellom varmt overflatevann og kaldere bunnvann). Etter en stans startes kraftverket forsiktig. I starten trekkes vann hovedsakelig fra samme dyp som inntaket. Når vannføringen øker dras det med mer overflatevann og temperaturen stiger. De første 1-2 timer etter oppstarten ble det derfor funnet inntil 2 °C kaldere vann enn det en ville fått med halvparten så stor, jevn kjøring. Den andre effekten var at driftsvannets temperatur var inntil 2 °C høyere ved full last enn ved halv last. Årsaken er at det dras med mer varmt overflatevann ved høy last. Denne effekten vil avhenge av været og neppe være så stor ved effektkjøring over lengre perioder da varmt overflatevann "forbrukes". Temperaturfallet etter oppstart får kun lokal effekt nær kraftverket fordi varigheten av temperaturfallet er kort, mens den økede temperaturen ved full last vil merkes overalt hvor kraftverksvannet brer seg.

Vanntemperaturen i et magasin som effektreguleres vil avhenge av magasintype. Kvambekk (2000) har delt magasinene i tre grupper:

- Dypt magasin uten nevneverdig gjennomstrømning
- Dypt magasin med gjennomstrømning
- Grunt magasin med gjennomstrømning som gir stor blanding

I et dypt magasin uten nevneverdig gjennomstrømning vil det dannes et varmt overflatelag om sommeren. Nær kraftverksutløpet vil vannmassene blandes, og blandingssonen vil bli litt større ved effektkjøring enn ved jevn kjøring. Ellers ventes det små endringer.

I et dypt magasin med gjennomstrømning vil strømhastigheten variere ved effektkjøring. Også her vil blandingssonen nær kraftverksutløpet bli litt større, men vanntemperaturen ellers i sjøen vil nok bli svært nær de en finner ved jevn kjøring.

I et grunt magasin med gjennomstrømning vil vannmassene blandes over terskler. Ved effektkjøring får en enda bedre blanding over tersklene, men dersom det er gjennomblanding allerede ved jevn kjøring blir det ingen endring med effektkjøring. Om natten, når kraftverket står, er det betydelig svakere strøm og temperaturen kan endre seg noen tideler i de øverste vannlagene (vanligvis kaldere). Når overflatelaget er kaldere enn 4 °C vil avkjølt vann bli lettere og en kan få flere graders temperaturfall i et tynt overflatelag. Under rette forhold (kaldt og vindstille) kan en få islegging. I dypet blir det derimot små endringer av en natts avkjøling.

3.2.3 Forskjeller mellom sesongmessig regulering og effektregulering

De viktigste forskjellene mellom sesongmessig regulering og effektregulering med hensyn på vanntemperatur, vanngjennomstrømning og isforhold synes å være følgende (Kvambekk 2000):

Det er små forskjeller i temperaturforholdene i et inntaksmagasin som forsyner et effektregulert kraftverk og et kraftverk med jevn kjøring. Svært nær kraftverksinntaket blir det imidlertid noe mer sammenblandete vannmasser når en trekker mer vann (effektregulering). Dersom det er grunne terskler i magasinet kan en få mer blandete vannmasser nedstrøms terskelen ved effektregulering.

Ved effektregulering øker sonen med gjennomblanding noe. Samtidig får vannmassene ro om natten når kraftverket står, så en får avkjøling (unntaksvis oppvarming) av den øverste meteren også nærmest kraftverksutslippet. Nær kraftverket må vi altså vente noe større døgnvariasjoner i overflatelaget, i størrelsesorden 1 °C om sommeren og ned mot frysepunktet om vinteren.

En effektregulering vil gi større variasjon i vanngjennomstrømningen over tid sammenliknet med sesongmessig regulering og uregulert tilstand. Effektregulering som døgnregulering innebærer økt vanngjennomstrømning i perioder av døgnet og redusert gjennomstrømning i andre perioder av døgnet. Sammenliknet med sesongmessig regulering dobles ofte vannføringen om dagen. Om natten reduseres vannføringen til et minimum. I snitt over året skal imidlertid samme vannmengde kjøres ut av magasinet enten det effektreguleres eller ikke.

Dersom inntaksmagasinet er lite kan en få vesentlig variasjon i vannstanden ved effektkjøring, både opp og ned. Ved jevn kjøring er det jevnt avtagende vannstand utover vinteren bortsett fra under eventuelle vinterflommer. Det vil derfor bli mer oppsprukket is og mer overvann ved land ved effektkjøring. Ved store magasiner blir isforholdene i inntaksmagasinet derimot ganske lik de ved jevn kjøring. En effektregulering fører som oftest også til en varierende vannstand i utløpsmagasinet/innsjøen. Dette gir økt oppsprekking av is i strandsonen samt overvann sammenliknet med sesongmessig regulering. Over terskler får vi øket strømhastighet når kraftverket går, så isen blir mer usikker i slike områder. I store magasiner vil isforholdene bli omtrent som ved sesongmessig regulering.

3.3 Erosjon og sedimentasjon

3.3.1 Sesongmessig regulering

Generelle erosjonseffekter av sesongmessig regulering av sjøer er i første rekke knyttet til området mellom øvre og nedre reguleringsgrense (Rye 1993). I dette området vil bunnen bli tørrlagt og utsatt for frost og frostsprengning. Rennende vann, bølgeslag, vind og is vil over tid vaske vekk alt finere materiale. Sluttresultatet blir at reguleringssonen og strandsonen omformes til et ensartet miljø, dominert av grus, stein og bart fjell.

Ved senking av vann vil det generelt være en viss risiko for at løsmasser langs strendene blir ustabile og raser ut. Dette skyldes hovedsakelig at det ytre vanntrykket mot løsmassene forsvinner. Porevannstrykket i løsmassene blir da større enn det utvendige trykk og massene kan rase ut. Jo mer grovkornet jordartene er jo mindre er sjansen for utrasning fordi permeabiliteten er stor nok til at grunnvannssenkningen kan følge senkingen av vannet. I områder med silt og leire som løsmasser vil det ofte skje utrasninger. Dersom utrasinger og erosjon skjer i slike områder, vil det kunne medføre tilslamming av vann og innsjøer. På grunn av lav synkningshastighet vil slike partikler kunne holde seg svevende i vannmassene over lengre tid, særlig i åpent vann med bølger og strøm. Elver og bekker som løper inn i og ut av vannet vil få en økt eroderende effekt på grunn av senket erosjonsbasis (Rye 1993).

Utrasning og erosjon vil ikke bare påvirke reguleringssonen, men også områdene under denne. Plantedekke, samt de næringsrike, organiske bunnavleiringene, kan bli dekket av sedimenter som raser ut (Andersen & Fremstad 1986).

Etter å ha vært utsatt for eroderende krefter over en viss tid vil det normalt oppstå en form for likevekt mellom de eroderende kreftene og tilgjengelig substrat. Etter at en slik likevekt er etablert vil det berørte område forbli relativt uforandret med tanke på substrat og topografi.

3.3.2 Effektregulering

Virkningene av effektregulering i et allerede regulert vann vil være avhengig av flere faktorer knyttet til eksisterende, samt nytt manøvreringsregime. Faktorer som reguleringshøyde, samt hyppighet og hastighet på vannstandsendringene vil være avgjørende for virkningene. I tillegg vil reguleringens alder ha betydning for virkningene. I et vann hvor erosjonsprosesser har pågått over lengre tid og en form for likevekt er nådd, vil en effektregulering bety mindre enn i et vann som nylig er regulert eller ikke regulert tidligere.

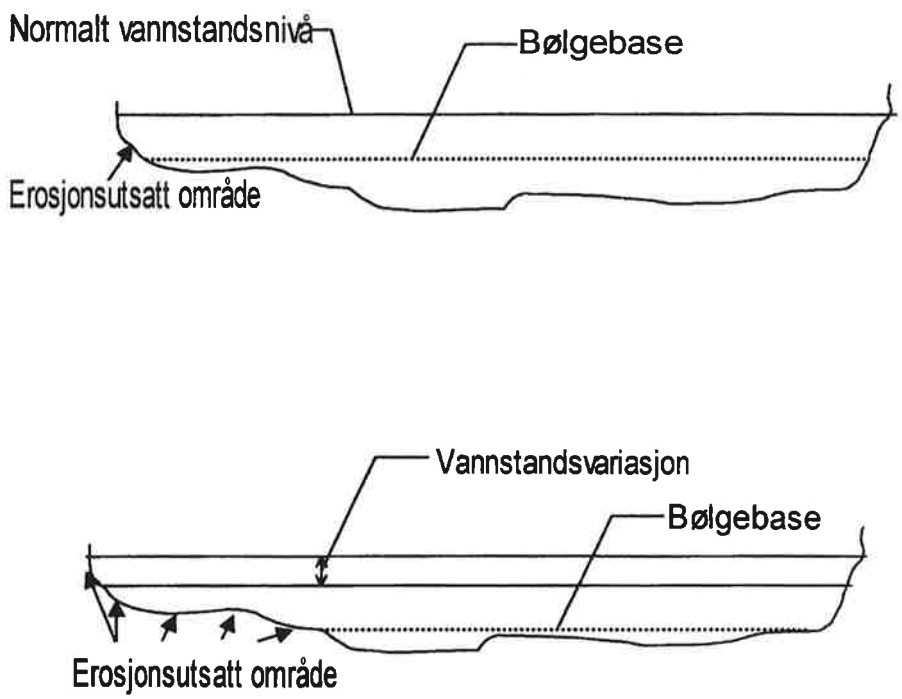
Ved større og raskere vannstandsvariasjoner enn normalt i et magasin vil det bli økt erosjon på særlig erosjonsutsatte områder. Organisk materiale og finmateriale vil etter hvert vaskes ut av bunnsedimentene i nivå som ligger over bølgebasis, dvs. den dybden bølgeenergien kan påvirke bunnsedimentene. Basert på resultatene fra Vinjevatn synes grunnvannserosjon samt bølgeerosjon som følge av vind å være viktigste former for erosjon. Dette vil imidlertid variere fra lokalitet til lokalitet. Økt erosjon øker turbiditeten i vannet og dermed også potensiell nedslamming i magasinet, evt også nedstrøms.

3.3.3 Forskjeller mellom sesongmessig regulering og effektregulering

Hyppige vannstandsendringer under en effektregulering innebærer at bølgebasis og brenningssonen forflyttes opp og nedover stranden oftere enn ved en sesongmessig regulering (Figur 2). Brenningsonen og bølgebasis blir i perioder liggende lavere og bølgebevegelsen kan påvirke dypere områder (Bogen et al. 2000).

Vannstanden i et magasin senkes normalt raskt under en effektregulering sammenliknet med sesongmessig regulering. Dette fører til at porevannstrykket ikke lenger kompenseres av et mottrykk. I bratte skråninger reduserer overtrykket skjærfastheten i skråningen og forårsaker små utglidninger ytterst i skråningen. I områder med slake skråninger vil overtrykket redusere friksjonen mellom kornene. Dette kan føre til at partiklene eroderes lettere av bølgeskyllet under en effektregulering med rask vannstandssenkning enn under en sesongmessig regulering (Bogen et al. 2000). Under en sesongmessig regulering skjer vannstandsendringene sakte slik at vanntrykket utjevnes. Raske nedtappinger inntreffer sjeldnere ved denne reguleringsformen.

Materialførende elver og bekker bygger ofte opp små deltaer ved utløp i magasin. Vannstanden i magasinet har stor betydning for hvor materialet pålagres. Ved en effektregulering varierer vannstanden hyppig og slike deltaområder kan bli ustabile, med stadige endringer i erosjon og sedimentasjon. Dette får igjen betydning for dyr og planter som er tilknyttet slike deltaområder. Leveområder som har vært stabile en stund vil plutselig kunne eroderes eller overlagres med sedimenter, og må koloniseres på nytt.



Figur 2. Teoretisk tverrsnitt av et magasin som viser hvordan vannstandspendling kan påvirke bølgebasis.

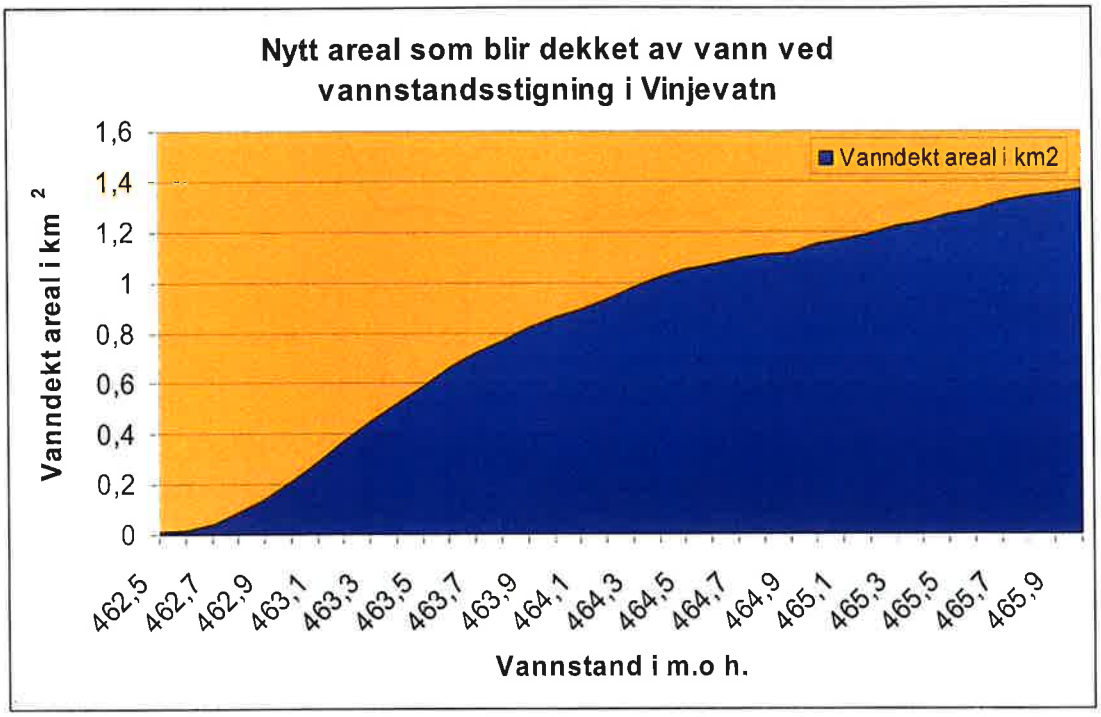
3.4 Endringer i vanndekket areal og vannvolum

3.4.1 Sesongmessig regulering

I forbindelse med regulering av innsjøer vil vanndekket areal normalt endres kraftig over året. De største reduksjonene i areal finner vanligvis sted i løpet av vinteren, hvor magasinet tappes ned mot LRV. Om våren kan vanndekket strandsoneareal øke sammenlignet med uregulert tilstand dersom reguleringen også innbefatter en heving av vannet. Arealendringene er i stor grad avhengig av reguleringshøyde og magasinets topografi, og skjer over en relativt lang periode.

3.4.2 Effektregulering

Effektregulering vil også føre til endringer i vanndekket areal. Arealendringene vil være størst i perioder hvor behovet for effekt er størst. Endringene i vanndekket areal vil, som for sesongmessig regulering, være avhengig av magasinets størrelse og topografi. De største endringene vil en vanligvis få i mindre og grunne magasiner. Arealendringene er normalt relativt kortvarige, men forekommer ofte. Endringer i vanndekt areal som følge av vannstandsendringer i Vinjevatn er vist i Figur 3



Figur 3. Økning i vanndekt areal i Vinjevatn ved ulike vannstander.

3.4.3 Forskjeller mellom sesongmessig regulering og effektregulering

En viktig forskjell mellom sesongmessig regulering og effektregulering i forhold til endringer i vanndekket areal er knyttet til tidsaspektet. Ved effektregulering skjer endringene mye raskere enn ved sesongmessig regulering. Vanndekket strandsoneareal vil normalt variere hyppig og endringene kan komme i perioder hvor magasinet med sesongmessig regulering normalt ligger relativt stabilt, f.eks. om sommeren. Normalt vil de kortvarige arealendringene ved en effektregulering komme i tillegg til de mer langvarige ved sesongmessig regulering.

3.5 Oppsummering

Det er vanskelig å generalisere virkninger av en effektregulering på abiotiske faktorer i allerede sesongmessig regulerte vann og uregulerte vann. Virkningene vil være avhengige av en rekke faktorer nevnt i de foregående kapitler. Som tidligere nevnt finnes det få undersøkelser som kan dokumentere virkningene av effektregulering i magasiner sett i forhold til abiotiske faktorer, men ut fra undersøkelsene i Vinjevatn og annen litteratur kan vi skissere en del mulige virkninger (Tabell 3).

Tabell 3. Potensielle endringer i abiotiske faktorer som følge av effektregulering i allerede sesongmessig regulert magasin samt uregulert innsjø.

Abiotiske faktorer	Potensielle endringer
Vanntemperatur	Større variasjon sommer og vinter, større blandsoner nær innløp/utløp.
Vanngjennomstrømning	Større variasjon i vanngjennomstrømningen. Økt gjennomstrømning i perioder, kortere oppholdstid, uregelmessig oppholdstid.
Isforhold	Økt oppsprekking av is i strandsonen. Mer overvann. Avhenger av magasin str. og gjennomstrømningsforhold. Ustabile isforhold.
Erosjon	Økt erosjon (grunnvannserosjon, bølge- og vinderosjon). Økt turbiditet. Ustabile deltaområder.
Sedimentasjon	Økning av sedimenter i suspensjon, økt tilslamming under regulert område. Ustabile deltaområder.
Vannstandsendringer	Raskere og hyppigere endringer i vannstand. Færre "rolige" perioder.
Areal/volum endringer	Raskere og hyppigere endringer i vanndekket areal. Ustabil littoralsone.

4. Hva betyr endringer i abiotiske faktorer for biotiske faktorer ?

Mulige konsekvenser av evt endringer i abiotiske faktorer for biotiske faktorer er diskutert i de påfølgende avsnitt. Utgangspunktet for diskusjonen er resultatene fra undersøkelsene i Vinjevatn. Resultatene fra undersøkelsene i Vinjevatn gir indikasjoner på effektene av effektregulering i en type magasin. Som tidligere nevnt foreligger det begrenset med litteratur om konsekvenser av effektregulering på biologiske forhold i innsjøer. Enkelte vurderinger vil derfor være rent teoretiske.

En del av stoffet som presenteres er basert på erfaringer fra regulering av elvemagasin (Hildebrand et al. 1980, Thornton et al. 1990). En rekke fysiske faktorer ved regulering av elvemagasin kan sammenlignes med det en finner ved effektregulering av innsjømagasin. Det er derfor rimelig å anta at mange av reguleringsvirkningene på biologiske faktorer også er like.

Nedenfor er en del likheter mellom regulering av elvemagasin og effektregulering skissert.

- *Vannstandsfluktuasjoner.*
  Skjer ofte raskt og relativt hyppig. Varierende størrelse på fluktuasjonene.

- *Vanntemperatur/sjiktninger*
  Raske endringer i vanntemperatur er vanlig som følge av uregelmessig regulering. Sjelden lagdeling (stratifisering) ved "innløp" og "utløp". Midlertidig lagdeling kan forekomme i de frie vannmasser.

- *Oppholdstid/gjennomstrømning*
  Kort og variabel oppholdstid (dager til uker). Utkjøring/-trekking av vann skjer uregelmessig. Avhenger av strømbehov.
- *Vanndekket areal/ littoralsonen*
  Kan variere over relativt kort tidsrom. Tilgang til littoralsonen begrenset av vannstandsfluktuasjonene. Ustabilt miljø i littoralsonen.

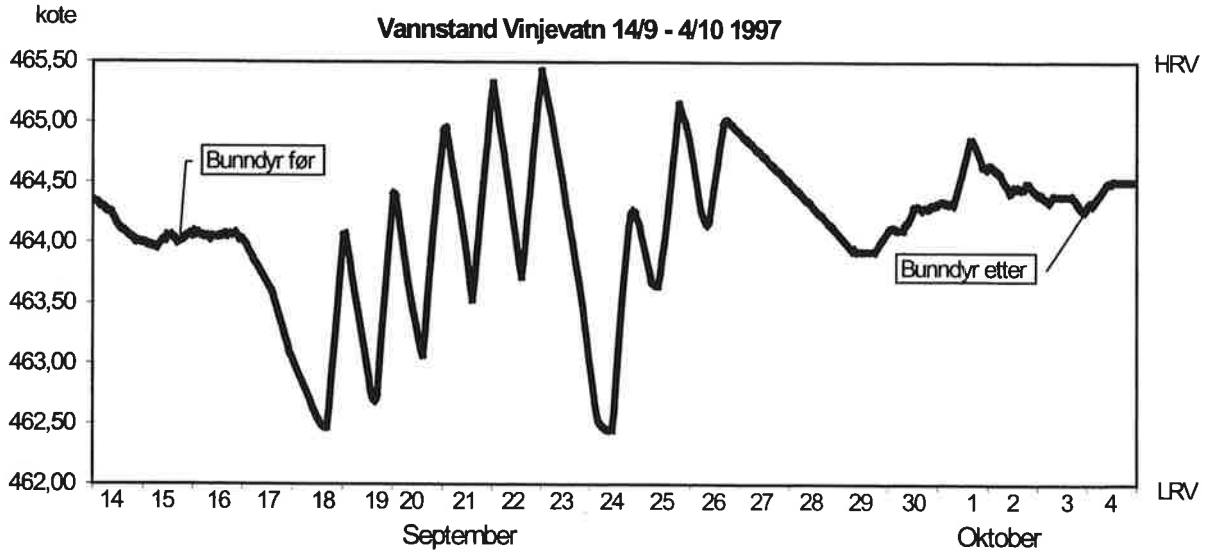
- *Sedimenttilførsel*
  Kan være betydelig. Avhenger av reguleringstype/magasin.

Virkningene av effektregulering som omtales i de kommende kapitler vil ikke nødvendigvis gjelde for enhver form for effektregulering. Det er mer en gjennomgang av mulige "worste case" scenarier. Hvilke konsekvenser som er aktuelle vil variere fra system til system og med ulike kjørestrategier. Dette innebærer at konsekvensvurderinger må gjøres for hvert enkelt tilfelle.

4.1 Vannvegetasjon

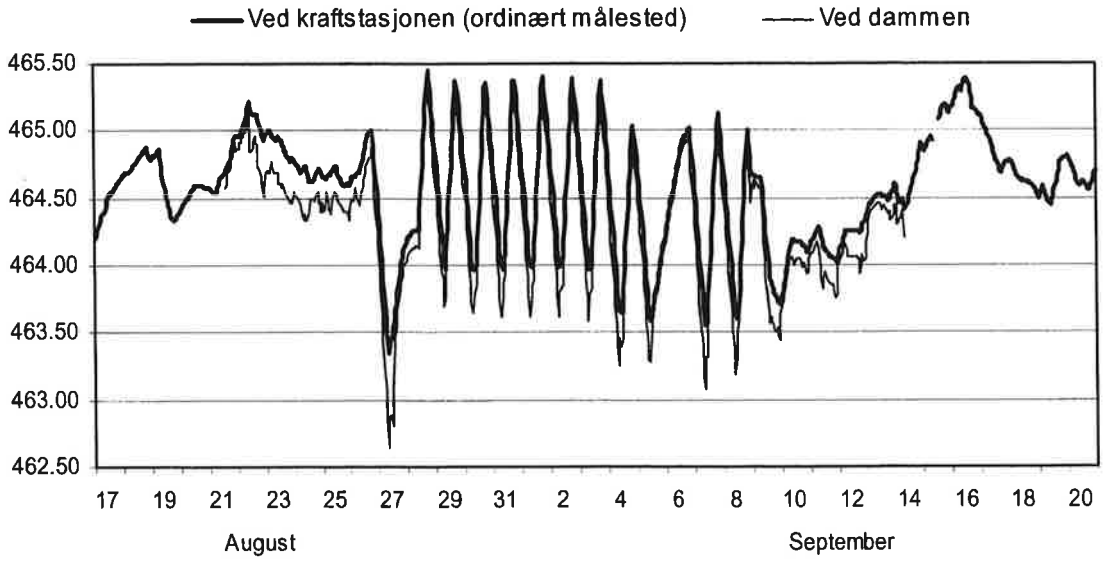
4.1.1 Oppsummering av forsøkene i Vinjevatn

Forsøket i Vinjevatn i 1997 ble gjennomført med pendlinger mellom kote 462,5 og 465,5 (Figur 4). Det medførte ingen store skader på plantedekket i form av erosjonssår eller døde planter i de tette brasmegrasbestandene mellom kote 462,5 og 463,5 (Johansen & Rørslett 1999). På plantene ble det påvist en del tørkeskade på bladspissene. Dette gjaldt først og fremst stivt brasmegras i de øvre soner der denne var til stede. Viktige prosesser som foregikk under forsøket var grunnvannserosjon og bølgeerosjon pga. sterk vind. Grunnvannserosjon førte til utrasninger og løsrivelse av hele planter som kom ut i driv. Bølgeerosjon førte til dannelser av spylesømmer i reguleringssonen med forflytning av finmateriale og pålagring av materiale på planter. Begge erosjonsprosesser gav opphav til stor partikkeltransport ut i de fri vannmasser som førte til meget turbid vann. Optiske målinger viste klar reduksjon i lysgjennomgangen nedover i dypet, som indirekte vil kunne påvirke veksten negativt i plantesamfunnene.



Figur 4. Vannstanden i Vinjevatn under effektreguleringen i 1997. Tidspunkt for bunndyrundersøkelsene er vist.

Forsøket i 1998, med pendlinger mellom kote 463,5 og 465,5 (Figur 5), gav ingen skader på plantedekket. En viktig forklaring til dette resultat var at magasinet ikke ble kjørt lavere enn kote 463,5 der de store sammenhengende brasmegrasbestandene begynner. Det ble ikke påvist ferske spylesømmer under dette forsøket, men derimot endringer i substratet som kan tilskrives erosjonsprosesser under vinterperioden eller andre episoder i tiden mellom forsøkene. De optiske målingene viste at det ikke var noen vesentlig øket partikkeltransport gjennom magasinet i den studerte perioden.



Figur 5. Vannstanden i Vinjevatn under effektreguleringen i 1998.

Begge forsøkene var eksempler på kjøremønstere som gjorde små skader på plantesamfunnet i den gjeldende perioden om høsten. Det ble imidlertid observert tegn til skader på plantene og erosjon i vegetasjonssonen som gjør at en må forvente større negative effekter ved stadig gjentagelse av et tilsvarende manøvreringsmønster. Effektregulering om vinteren i perioder med streng kulde vil kunne gi vesentlig større og mer langvarige skader.

Som en hovedkonklusjon på vegetasjon og effektregulering, vil en måtte forvente større negative effekter i forhold til vegetasjon ved effektregulering i forhold til en vanlig manøvrering i et reguleringsmagasin dersom samme reguleringshøyde brukes i begge tilfeller.

4.1.2 Andre mulige virkninger av effektregulering på vannvegetasjon

Virkningene av regulering på vannvegetasjonen i innsjøer kan generelt inndeles i fire hovedtyper (Brandrud 1993)

1. Bortfall av det meste/all vegetasjon.
2. Bortfall av vegetasjonen i reguleringssonen, intakt dypvannsvegetasjon.
3. Bortfall av vegetasjonen på brattere/middels skrånende strender, intakt vegetasjon på langgrunne deltaflater etc.
4. Økt vegetasjon i (1). gruntområder (stabilisert vannstand) eller i (2). reguleringssonen (sommer – nedtappping)

Det er dokumentert at sammenhengende vegetasjonsdekker forsvinner ved reguleringshøyder over 4-5 meter (hovedtype 1) (eks. Rørslett 1985, 1989). Grenseverdien kan variere noe fra magasin til magasin avhengig av nedtappingsperiode/isstress og turbiditet i vannet. Effektregulering i magasiner som er regulert over denne tålegrensen vil derfor ha liten betydning for vegetasjon da denne i de fleste tilfeller allerede er borte.

Ved mindre reguleringshøyder på 2-3 m vil det vanligvis være lite vegetasjon igjen på de grunne områdene, men normalt en sone med intakt dypvannsvegetasjon. I de tilfeller det finnes vegetasjon i reguleringssonen og/eller under denne, vil en effektregulering kunne

påvirke denne ulikt en sesongmessig regulering. Effektregulering i uregulerte vann vil redusere vegetasjonen i reguleringssonen raskere enn sesongmessig regulering. Avhengig av kjøremønster kan vannvegetasjon opprettholdes under reguleringssonen. Vinjevatn er et godt eksempel på dette.

En mulig virkning av effektregulering kan være mindre grad av islegging. Isolert sett kan dette føre til økt begroing da lystilgangen øker over året. I flere regulerte elver har begroing av trådformede alger og moser økt i isfrie områder rett nedstrøms utløp av kraftverk som får vann fra reguleringsmagasin. Et typisk eksempel på dette finnes bla fra Altaelva (Reinertsen 1998). En av flere årsaker til dette er antatt å være fravær av isdekke og dermed god lystilgang (Reinertsen & Kronborg 1998). Økt lystilgang behøver nødvendigvis ikke føre til økt begroing da ulike arter lever under forskjellige lysregimer og med forskjellig lysbehov. Gessner (1955) har gruppert vannvegetasjon i 3 hovedtyper avhengig av lystilpasning:

1. Skyggetilpassede planter. Fysiologisk aktive kun ved lave lysintensiteter.
2. Lystilpassede planter. Krever høy lysintensitet for å optimalisere metabolismen.
3. Bredt tilpassede planter. A) Lys eller skyggetilpasning avhengig av utviklingsområde. B) Generelt tolerante overfor høy lysintensitet, men utvikles best ved lav lysintensitet. C) Skyggetilpassede planter som har optimal fotosynteseaktivitet ved middels lysintensitet i littoralen.

Som det fremgår av denne grupperingen viser plantene en ekstrem evne til å tilpasse seg det svært variable lysmiljøet i vann. Det er således vanskelig å generalisere virkningene av en eventuell økning i lystilgang for vannvegetasjon. Enkelte arter vil selekteres på bekostning av andre.

Temperaturendringer som følge av en effektregulering vil virke som en stressfaktor på plantene siden det direkte berører metabolismen. Årstid vil være en viktig faktor ved siden av selve temperaturgradienten. Jo større temperaturendringer, jo større stress for plantene. I et system med hurtige og store temperatursvingninger, vil det generelt kunne skje en utarming av det eksisterende plantesamfunn. Det er imidlertid vanskelig å vurdere denne faktoren isolert da utskifting av vannmasser kan medføre endringer i vannkvalitet som CO_2-balanse og ionestyrke.

Økt variasjon i vanngjennomstrømning vil i mange tilfeller være en konsekvens av en effektregulering. Hvorvidt dette vil påvirke vannvegetasjonen vil avhenge av om vannstanden er relativt stabil eller ikke. Økt gjennomstrømningsvariasjon alene vil normalt ikke gi økt begroing, men i kombinasjon med stabilisert vannstand kan begroingen øke (Rørslett 1985). Slik tilgroing er som regel knyttet til typiske gjennomstrømningssjøer. En effektregulering som medfører store vannstandssvingninger i tillegg til økt variasjon i gjennomstrømning vil sannsynligvis redusere en evt. vannvegetasjon ytterligere.

Grunnvannserosjon og bølgeindusert erosjon som følge av effektregulering kan føre til løsrivelse av hele planter og effekter som vasking av planter, blottlegging av røtter og overlagring av planter med finmateriale (Johansen & Rørslett 1999). Virkningen av grunnvannserosjon vil være avhengig av grunnvannstanden i magasinene. Høy grunnvannstand medfører potensielt stor erosjonsfare ved en effektkjøring. Erosjonseffekten som følge av vind-indusert bølgeerosjon er derimot en effekt som må kunne forventes i alle typer magasiner. Bølgeerosjon som forårsaker løsriving av planter vil kunne forekomme i alle typer reguleringssoner. Det er således tørrleggingsfrekvensen, klimaforhold og årstid som vil avgjøre hvor omfattende erosjonen vil bli og eventuelt hvor lenge et plantedekke vil kunne vedvare.

Erosjon kan også påvirke plantesamfunnene indirekte gjennom overlagring av planter med materiale fra littoralsonen. Ved overlagring av finstoff (silt) hindres gassutvekslingen, og plantene kan dø på sikt (Brookes 1986). Planter som har stor evne til å tilpasse rotdybden i forhold til mengde silt klarer seg best (Brookes 1986). Enkelte arter kan tåle delvis overlagring i perioder, men generelt vil slike prosesser virke stressende og utarmende på plantesamfunnet over tid (Johansen & Rørslett 1999). Økt partikkelinnhold i vannmassene på grunn av erosjon reduserer lysgjennomgangen og dermed fotosynteseaktiviteten hos enkelte planter. Dette kan føre til mindre produksjon, men behøver ikke å gjøre det (jf. avsnitt over). Økt erosjon kan gi økt tilførsel av næringsstoffer og således være gunstig for planteproduksjonen.

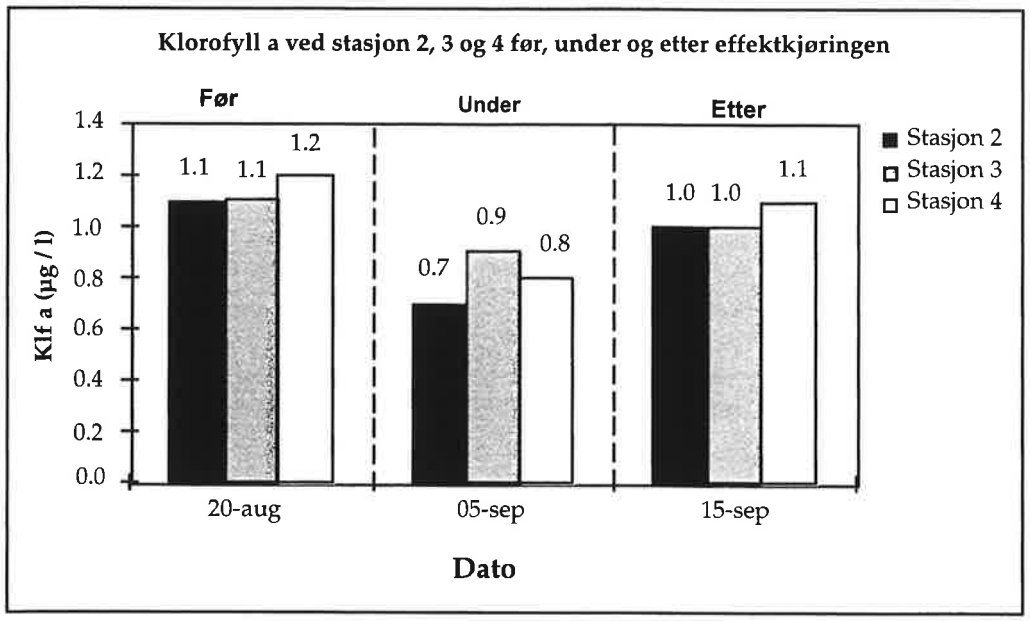
Virkningene av en effektregulering på et plantesamfunn vil være avhengig av hvilke arter som inngår. Mange arter formerer seg vegetativt, feks. gjennom rotskudd (Schultorp 1967), og i tempererte strøk er mange arter avhengig av slike strukturer for å overleve vinteren. En senket og/eller varierende vannstand i perioder etter at vekstsesongen er avsluttet behøver således ikke forhindre spiring/reetablering påfølgende vår da røttene ligger forholdsvis dypt og "upåvirket".

4.2 Plankton

4.2.1 Oppsummering av forsøkene i Vinjevatn

I forbindelse med effektregulering i Vinjevatn høsten 1998 ble tetthet og sammensetning av plante- og dyreplankton før, under og etter effektregulering undersøkt.

Mengden planteplankton (målt som klorofyll a) avtok i effektreguleringsperioden i 1998 (Figur 6). Dette skyldes hovedsakelig en utspylingseffekt på grunn av de store tilførslene av vann fra Vinje kraftstasjon. En utspylingseffekt reduserer ytterligere primærprodusentenes oppholdstid i innsjøen. Planteplanktonet har en relativt lav maksimal vekstrate og raske vannstandsendringer og økt gjennomstrømning i perioder vil derfor føre til et betydelig biomassetap. Økt turbulens og partikkelinnhold som følge av kjøringen kan også føre til redusert primærproduksjon. En redusert biomasse av planteplankton vil ha konsekvenser for næringskjeden i Vinjevatn. Som det fremgår av Figur 6 synes imidlertid mengden klorofyll å nærme seg sitt opprinnelige nivå etter at prøvekjøringsperioden var avsluttet. Vannstanden i denne perioden var svakt stigende og gjennomstrømningen kraftig redusert. Dette synes å ha gitt brukbare produksjonsforhold for planteplanktonet.



Figur 6. Vinjevatn 1998. Klorofyll a (µg/l) på 3 meters dyp ved stasjon 2 (nedenfor utløp av Vinje kraftstasjon), 3 (midtre del av vannet) og 4 (utløp av Vinjevatn) før, under og etter effektreguleringsperioden.

Dyreplanktonbiomassen ble også redusert under prøvekjøringsperioden, også dette et resultat av en utspylingseffekt. Utviklingen var imidlertid noe annerledes enn for planteplanktonet. Dyreplanktonet syntes ikke å komme tilbake til sitt opprinnelige tetthetsnivå etter avsluttet prøvekjøring. Tettheten var lavere enn under prøvekjøringen. Dette skyldes trolig at tettheten av dyreplankton ble ytterligere redusert i de fem prøvekjøringsdagene som gjenstod etter at prøver var tatt. Perioden fra forsøksslutt til siste prøvetaking var for kort til at dyreplanktonet kunne nå det opprinnelige tetthetsnivå. På litt lengre sikt, med normal regulering av Vinjevatnet, vil vi imidlertid forvente at dyreplanktonbiomassen når sitt opprinnelig tetthetsnivå.

Tettheten av dyreplankton var størst i utløpet av innsjøen ved stigende vannstand. Dette kan tyde på at utstrømming av dyreplankton fra Vinjevatn er størst ved stigende vannstand.

Tatt i betraktning naturlige variasjoner og et begrenset prøvemateriale, er det allikevel rimelig å anta at hyppige vannstandsendringer gir reduserte vekstbetingelser for plante- og dyreplankton i Vinjevatn. Effekten av dette vil sannsynligvis kunne forplante seg videre oppover i næringskjeden og påvirke fiskeproduksjon.

4.2.2 Andre mulige virkninger av effektregulering på plankton

Vannets oppholdstid i magasinet er av betydning for både planteplankton- og dyreplankton biomasse og produksjonspotensiale (Soballe & Kimmel 1987). Økt variasjon i gjennomstrømning som følge av effektregulering vil normalt føre til redusert produksjon av både plante- og dyreplankton slik dette er vist for Vinjevatn. Hvis planktonets generasjonstid er lengre en vannets oppholdstid vil "utspyling" kunne begrense den totale planktonproduksjon og biomasse. Dersom oppholdstiden for vannmassene er kortere enn en uke vil dette normalt begrense planktonproduksjonen (Uhlmann 1968). I Vltava Cascade reservoiret i tidligere Tjekkoslovakia, hvor gjennomsnittlig oppholdstid på vannet var en og en halv dag, var biomassene av plante- og dyreplankton negativt korrelert med vannets

gjennomstrømningshastighet (Straskraba & Javornicky 1973). En utspylingseffekt vil en først og fremst kunne få i de mindre reguleringsmagasin.

Dyreplankton kan vise svært store tetthetsforskjeller både vertikalt og horisontalt i en innsjø. *Bosmina* kan ha vesentlig større tetthet nær littoralen og bunnen enn midt ute i vannet, mens arter som *Daphnia* og *Eudiaptomus* derimot søker midten av innsjøen (Larsson 1978, 1984). I en innsjø med relativt stor vanngjennomstrømning vil artsfordelingen av dyreplankton kunne påvirkes av dette. Redusert sjiktning som følge av økt gjennomstrømning letter omrøring vertikalt i en innsjø, med det resultat at artsfordelingen forandres. Forandringer i artsfordelingen vil føre til endrete intra- og interspesifikke konkurranseforhold samt endret predasjonspress fra fisk.

Produksjonen av planteplankton i en innsjø behøver nødvendigvis ikke å reduseres selv med økt gjennomstrømning. Dersom vannets oppholdstid ikke er kortere enn planktonets generasjonstid, kan produksjonen i en del tilfeller øke. En årsak til dette er at økt gjennomstrømning ofte medfører økt tilførsel av næringsstoffer. I en innsjø i Florida ble årlig produksjon av planteplankton doblet selv om vanngjennomstrømningen økte og vannets oppholdstid ble redusert fra 44 til 22 dager (Turner et al. 1983). Gitt at næringstilgangen for dyreplankton er begrenset, vil økt planteplanktonproduksjon medføre økt produksjon av dyreplankton så fremt vannets oppholdstid ikke er begrensende.

Raskere endringer i vannstand vil isolert sett ha liten betydning for planktonproduksjonen, da plankton lever fritt i vannmassene og følger passivt strømmer og bevegelser i vannet. En vil derfor ikke forvente ytterligere endringer enn dem som følger av sesongmessig regulering. Ved en sesongmessig regulering er det vanlig at planktonproduksjonen øker (Halvorsen 1993), hovedsakelig som følge av redusert vanngjennomstrømning, økt tilførsel av næringssalter og endrete temperaturforhold. Produksjonsøkningen skjer i hovedsak i perioden vår til høst.

Dersom effektregulering medfører redusert islegging vil det normalt føre til økt lystilgang i vanmassene. Lys er en av flere faktorer som kontrollerer produksjonen av planteplankton, og en økning i denne begrensende faktoren kan gi økt produksjon inntil andre faktorer blir begrensende (eks. næring eller temperatur)(Wetzel 1983).

Økt partikkelkonsentrasjon i vannmassene som følge av erosjon kan gi redusert siktedyp. I forbindelse med sesongmessige reguleringer har dette i mange tilfeller ført til en kortvarig nedgang i planteplanktonproduksjonen (Duthie & Ostrofsky 1975, Duthie 1979). Produksjonen når imidlertid raskt sitt opprinnelig nivå ved økende siktedyp og lystilgang. Tilsvarende virkninger må en forvente dersom en effektregulering fører til økt erosjon sammenlignet med førtilstanden. Svekkes siktedypet over lang tid kan det få negative konsekvenser for planteplanktonproduksjon og dyreplanktonproduksjonen. Dette skyldes redusert vekst hos planteplankton på grunn av lyssvekkelse og dermed mindre mat for dyreplankton. Partikkelkonsentrasjoner (leire) over 200 mg/l er vist å kunne redusere fødeinntak hos vannlopper med 90% (Kirk 1991). Svekket lys kan på den annen side redusere predasjon fra fisk.

Utrasninger og erosjon fra områder over HRV vil kunne gi økt tilførsel av næringssalter. Denne næringssalttilførselen vil på kort sikt gi økt primærproduksjon og produksjon av plankton (Rodhe 1964) dersom erosjonen ikke medfører vesentlig økt tilgrumsing.

Et viktig aspekt i forbindelse med planktonproduksjon er årstidvariasjon. Normalt er produksjon av plankton størst i perioden fra vår til høst, hvor lys- og næringstilgang er gunstig. Om vinteren er planktonproduksjonen generelt lav, og en rekke arter dyreplankton

(bl.a. vannloppen *Bosmina longispina*) danner hvilekapsler med egg som klekkes om våren. Kapslene tåler harde påkjenninger som f.eks. tørrlegging og frost. Enkelte arter er til og med avhengig av tørke eller frost for at eggene skal klekkes. I Øvre Heimdalsvatn forsvinner vannloppen *Bosmina longispina* og gelekrepsen *Holopedium gibberum* fra vannmassene om vinteren (Økland 1983). En effektregulering om vinteren vil således påvirke planktonsamfunnet mindre enn effektregulering om sommeren.

I det ovennevnte har mulige virkninger av endringer i det fysiske og kjemiske miljø for planktonproduksjon blitt diskutert. Produksjonen kontrolleres imidlertid ikke bare av abiotiske faktorer, men også biotiske faktorer som for eksempel næringskjedeinteraksjoner (predasjon, konkurranse etc) (f.eks Shapiro 1980, Carpenter et al 1985, 1987). Både abiotiske og biotiske faktorer har således betydning for planktonproduksjonen, men deres relative betydning vil variere i tid og rom, samt mellom ulike økosystemer (O' Neill et al. 1986, Bartell et al 1988).

Virkningene av en effektregulering på planktonsamfunnene vil i hovedsak være en korttidseffekt i den forstand at nye artsammensetninger oppstår raskt, tilpasset de nye livsvilkårene. Oppblomstring/formering skjer raskt hos plankton når forholdene ligger til rette for det. Eventuelle langtidseffekter vil forventes blant organismer lenger opp i næringskjeden som er avhengig av plankton (eks. bunndyr og fisk).

4.3 Bunndyr

4.3.1 Oppsummering av forsøkene i Vinjevatn

Virkningene av effektregulering på bunndyrfaunaen ble undersøkt høsten 1997 og 1998. Det ble tatt prøver på en rekke ulike stasjoner før og etter prøvekjøringsperioden hvert år.

Effektregulering av Vinjevatn førte til stedvis kraftige reduksjoner i bunndyrtettheter i påvirket sone. Reduksjonene skyldtes hovedsakelig utvasking til dypere vannlag. Tørrleggingene under effektkjøringene var av så kort varighet at bunnsubstratet ikke tørket ut. Mudderboende bunndyr som fåbørstemark og fjærmygg overlevde disse periodene. De fysiske forhold ved stasjonene ser ut til å være av stor betydning for bunndyrfaunaens evne til å tåle hurtige vannstandsendringer, hvilket medfører at ikke alle områder vil rammes like hardt av en slik manøvrering. Bunndyr på relativt flate områder klarte seg best.

Hvordan en effektkjøring over tid vil virke på bunndyrfaunaen vil avhenge av kjøremønsteret. Varighet, tidspunkt på året og hyppigheten av tørrleggingsperiodene er viktige faktorer. Dersom en effektregulering påvirker vannvegetasjonen over tid vil dette forsterke de negative virkningene på bunndyrfaunaen betraktelig.

4.3.2 Andre mulige virkninger av effektregulering på bunndyr

I magasin med sesongmessig regulering, som har pågått over en tid, er normalt bunndyrfaunaen i littoralsonen svært utarmet. Erosjon, forvitring og utvasking omdanner normalt den produktive strandsonen til en "lavproduktiv steinørken". Artssamfunnene er enkle og artsfattige og egenproduksjonen svært lav (Halvorsen 1993). Faunaen domineres ofte av fjærmygg, fåbørstemark, rundmark og ertemusling (Grimås 1965, Hunt & Jones 1972). Under LRV finner en ofte de største tetthetene av bunndyr (Fillion 1967, Hruska 1973).

En økt variasjon i vanngjennomstrømning antas ikke å ha negativ betydning for det eksisterende bunndyrsamfunnet. Vannhastighetene blir normalt ikke så store at det medfører problemer for bunndyr. Sannsynligvis kan økt variasjon i gjennomstrømning gi økt tilførsel av organisk materiale, og dermed være positivt for bunndyrfaunaen.

Raskere endringer i vanndekket areal enn normalt kan imidlertid redusere/endre bunnfaunaen ytterligere. Det er vist at hurtige endringer i vannstanden gjør mer skade enn langsomme da bunndyrene ikke klarer å følge etter (Hynes & Yaday 1985). Ofte er det de større artene som følger med vannstanden under nedtapping (Kaster & Jacobi 1978). Slike vandringer under nedtapping vil føre til økt dødelighet som følge av predasjon (Aggus 1979). En rekke bunndyrarter tåler imidlertid tørrlegging og innfrysing, hvilket kan bety at raskere vannstandsendringer isolert sett ikke nødvendigvis fører til reduserte bunndyrtettheter.

Økt erosjon kan påvirke bunndyrfaunaen direkte gjennom ytterligere forringelse av naturlige habitater i strandsonen, eller gjennom tilslamming av habitatene i og under denne. Økt tilslamming favoriserer fjærmygg og fåbørstemark, mens steinfluer, døgnfluer og vårfluer avtar i utbredelse med økt tilslamming (Rivier & Seguier 1985). Responsen kan imidlertid variere fra art til art. Gravende arter kan dra nytte av økt sedimentinnhold, mens andre forsvinner pga. gjentetting av hulrom i substratet. Det meste av bunndyrproduksjonen, uavhengig av om det effektreguleres eller ikke, vil foregå på beskyttede områder/strender hvor det er bevart rester av bløtbunn og vegetasjon. Produksjonen under LRV vil ikke bli særlig påvirket.

Redusert isdekke eller økt oppsprekking av is i områdene nær land som følge av en effektregulering kan føre til at frost trenger lengre ned i substratet. Dette vil kunne medføre økt dødelighet hos bunndyr som fjærmygg og fåbørstemark, som normalt graver seg ned i substratet når vannet forsvinner (Paterson & Fernando 1969).

Virkningene av en effektregulering på bunndyrsamfunnet vil kunne ses relativt raskt. En vil forvente endringer i artsamfunnene, med en hovedvekt av arter som ved en vanlig regulering. Virkningene på bunndyrfaunaen vil være langvarige.

4.4 Fisk

4.4.1 Oppsummering av forsøkene i Vinjevatn

Hovedhensikten med undersøkelsene i 1997 var å se om fisk strandet under effektreguleringen og evt. hvilke arter som var mest utsatt. Totalt 7 stasjoner ble undersøkt fire ganger i løpet av de to ukene effektreguleringen pågikk (Tabell 4). Stasjonene ble valgt for å dekke mest mulig av karakteristiske littoralområder i Vinjevann. Det viste seg imidlertid at stasjonene ble veldig like etter hvert som vannet sank. Flate områder med stivt brasmegrass var dominerende på alle stasjonene ved lav vannstand.

Tidspunktene for undersøkelsene ble valgt med tanke på å få med de antatt viktigste nedkjøringene, hhv. den første nedkjøringen etter en stabil periode og den raskeste nedkjøringen. Leting etter strandet fisk foregikk da vannet var halvveis ned mot LRV og ved LRV. Første nedkjøring var på det laveste om ettermiddagen, mens den andre nedkjøringen var på det laveste om morgenen. Ved å ha ulikt tidspunkt for laveste vannstand fikk vi undersøkt stranding på dagtid kontra natt. Maksimal senkingshastighet på vannet under forsøket var 10 cm/t hvilket er en relativt rask senkning. I uberørte vann og vassdrag vil

vannstandsvariasjoner større enn 2-3 cm/t vanligvis bare skje i forbindelse med kraftige og kortvarige flommer. Totalt 6 personer deltok under feltarbeidet.

Tabell 4. Totalt areal undersøkt på hver stasjon

Stasjonsnummer	Undersøkt areal (m2)
1	1000
2	1875
3	400
4	2500
5	800
6	4000
7	500

Etter første nedsenking til LRV ble det funnet 73 stk død, strandet tre-pigget stingsild. Etter andre nedsenkning ble det ikke observert død fisk. Dette må anses å være lite tatt i betraktning de store arealene som ble undersøkt på hver stasjon. Stranding synes hovedsakelig å skje i områder med små fordypninger i bunnen hvor fisken fanges når vannet synker (Figur 7). Etter begge nedsenkninger ble det observert store mengder levende stingsild i fordypninger hvor det fortsatt var vann. Disse er veldig utsatt for ulike predatorer, men kan overleve dersom vannstanden stiger raskt igjen.

På de stasjonene hvor bunnen var jevnt skrånende og relativt plan ble det ikke observert strandet fisk. Derimot ble det observert stingsild i vannkanten som flyttet seg med vannet etter hvert som det trakk seg tilbake. Det ble ikke observert strandet ørret eller røye på noen av de utvalgte stasjonene.

Det ble imidlertid observert to døde ørreter (0+ og 1+) i området ved brua sør/øst i vannet. Også disse lå i halvtørre fordypninger i strandsonen. I tillegg ble det observert at en mink forsvant med to litt større ørreter (ca. 15 cm).

Resultatene fra de ulike stasjonene tyder på at stranding av stingsild var den viktigste effekten av effektregulering i Vinjevann i forhold til fisk. Stranding av laksefiskene ørret og røye var tilsynelatende ikke noe stort problem. Større fisk som strander vil imidlertid være mer utsatt for predasjon enn små, slik at omfanget av strandet ørret og røye kan ha vært noe større enn observasjonene skulle tilsi. Dersom stranding av ørret og røye var omfattende ville vi ha funnet flere døde fisker eller observert predatorer i aksjon.

Effektregulering i Vinjevatn ble lagt opp med tanke på å få så raske vannstandsendringer som mulig. Normalt vil ikke en effektkjøring føre til så raske endringer i vannstanden i magasiner. Da en slik ekstrem effektregulering ikke førte til omfattende stranding, er sannsynligvis strandingsproblematikken begrenset i slike magasiner. Ved undersøkelser i elv har en funnet at en vannstandssenkning på 2,5 cm/t er tilstrekkelig for å hindre stranding (Olson 1990). En slik verdi vil imidlertid variere fra system til system og være avhengig av flere faktorer. Verdien indikerer imidlertid at senkingshastigheten i Vinjevann under forsøket var relativt rask og sånn sett burde ført til betydelig stranding.

Figur 7 Typiske områder der stingsild strandet. Pilene markerer fordypninger med vann der det ble observert store mengder levende stingsild.

Strandingspotensialet er imidlertid ikke bare avhengig av vannstandsendringen og hastigheten på denne. Faktorer som substrat, topografi, arter og størrelser, tid på døgnet, vanntemp. og årstid er vist å ha betydning for strandingspotensialet i elv, og har sannsynligvis betydning også for strandingspotensialet i magasiner.

Det har imidlertid ikke vært mulig å finne litteratur som omhandler strandingsproblematikk i magasiner. Det som finnes om temaet er begrenset til stranding i elv. Det er imidlertid rimelig å anta at resultater fra elvesystemene har en viss overføringsverdi til magasiner. I det følgende oppsummeres derfor de viktigste faktorene i forhold til stranding i elv og kommenteres i forhold til stranding i magasiner.

Forekomsten av stranding øker med økende grovhet på substratet (Prewitt & Whitmus 1986, Hesthagen & Hegge 1992, Hunter 1992.). Studier av fiskeadferd på ulike substrater har vist at fisk dannet territorier når bunnen besto av grus og stein. Over sandbunn gikk fisken hovedsakelig i stim (Monk 1989). Dette kan forklare hvorfor fisk strander lettere på grovt substrat enn på sand og mudderbunn. En annen forklaring kan være at fisken på grovt substrat har vanskeligere for å avgjøre hvilken retning den skal svømme når vannet synker. Subtratets grovhet har trolig også betydning for stranding i magasiner. I Vinjevatn er substratet fint, noe som kan være en av flere mulige forklaringer på begrenset stranding.

Elveprofilet har betydning for om fisk strander eller ikke (Prewitt & Whitmus 1986, Olson & Metzgar 1987, Beck & Ass. 1989). En hellingsvinkel på 4% eller mer er oppgitt å redusere antall strandinger betydelig (Bauersfeldt 1978). Dette må en anta også gjelder for strandområder i magasiner. Magasiner med bratte strandsoner vil ha mindre potensial for stranding enn magasiner med slake.

Fisk som oppholder seg på grunne områder nær stranden strander lettere enn fisk som foretrekker habitater lenger fra land. Dette medfører at yngel strander lettere enn stor fisk da disse i større grad enn stor fisk benytter de grunne områdene langs land. I følge litteraturen er fisk mellom 30-50 mm mest utsatt for stranding (Bauersfeldt 1978, Olson & Metzgar 1987,

Woodin 1984, Hunter 1992). I magasiner vil dette bety at de yngre årsklassene av ørret, røye og strandnære fisk som for eksempel ørekyt og stingsild, er mest utsatt. Ørret gyter imidlertid vanligvis på rennende vann, og yngelen oppholder seg hovedsakelig på bekken/elven i de første leveårene. De vil derfor normalt være lite utsatt for stranding. Det foregår imidlertid innsjøgyting, og ungfisk fra slik gyting vil kunne rammes av en effektregulering.

Når det gjelder døgn- og årstidsvariasjoner i strandingsfrekvensen, foreligger det motstridende resultater. Det er således ikke godt å si om effektregulering på dagen gir mer stranding enn effektregulering om natten, eller om effektregulering om vinteren er verre enn effektregulering om sommeren.

4.4.2 Andre mulige virkninger av effektregulering på fisk

De direkte konsekvensene av endrede abiotiske forhold på fiskebestander som følge av en effektregulering vil normalt være beskjedne. Med unntak av stranding vil virkningen av en effektregulering for fisk i hovedsak være avhengig av hva som skjer med næringsdyrene, herunder zooplankton, bunndyr og annen byttefisk. Dersom en overgang til effektregulering fører til en ytterligere svekking av næringsdyrproduksjonen vil dette påvirke fiskebestandene negativt. Hvis effektregulering ikke fører til endret næringsdyrproduksjon vil vi ikke forvente andre endringer enn dem som følger av sesongmessig regulering. Ved sesongmessige reguleringer er det vanlig at fiskebestanden øker noe i årene rett etter en regulering, for siden å avta. Virkningene vil imidlertid også i stor grad være avhengig av hvilke arter som finnes i systemet. I vann hvor ørret er eneste art vil den kunne kompensere for redusert bunndyrproduksjon ved å spise dyreplankton (Gunnerød & Mellquist 1979, Gunnerød 1984, Borgstrøm 1993). Med andre arter tilstede, for eksempel planktonspesialister som røye og sik, vil redusert bunndyrproduksjon ikke kunne kompenseres med å spise dyreplankton, fordi de andre artene er langt mer effektive planktonspisere og til dels okkuperer den pelagiske sonen. Lavlandsmagasiner med liten reguleringshøyde og planktonspisende fisk vil kunne opprettholde en høy produksjon etter en regulering. I magasiner med flere arter tilstede vil en regulering kunne medfører forskyvning i artsdominans på grunn av endrede rekrutteringsforhold. Grundigere beskrivelser av dokumenterte reguleringseffekter på fisk finnes i Gunnerød & Mellquist 1979, Gunnerød 1984, og Borgstrøm 1993.

Endret gjennomstrømningshastighet, samt oppholdstid, vil ha liten direkte effekt på fisk. Den viktigste virkningen av en evt. endret gjennomstrømningshastighet for fisk vil være knyttet til endringer i næringstilgang (zooplanktonreduksjon). Endret strømningsbilde i et magasin kan føre til ansamlinger av fisk i områder med sterk vannstrøm. Røye samles ofte på steder med strøm (Aas 1977), eks Tunnhovdfjorden.

Raskere endringer i vanndekt areal/vannstand enn normalt kan påvirke fiskesamfunnene både negativt og positivt. Virkningene vil være avhengig av hvilke arter som finnes i systemet og i hvor stor grad de bruker littoralsonen. Fiskearter som er sterkt knyttet til littoralsonen vil bli mest berørt og en må forvente reduksjoner i tetthet. Ørekyt, stingsild, abbor og ørret er typiske arter som er knyttet til littoralsonen. Littoralsonen vil bli et meget ustabilt leveområde. Reduksjon i vanndekt areal vil normalt redusere omfanget av littoralsonen. Fiskesamfunnene i littoralsonen blir presset sammen på mindre arealer, og i enkelte tilfeller ut i den pelagiske sonen. Økt inter- og intraspesifikk konkurranse, samt økt predasjon fra større fisk, vil være en konsekvens av dette. For predator-fisk som hovedsakelig lever utenfor littoralsonen vil økt tilgang på byttefisk være positivt. Redusert rekruttering i littoralsonen, både av potensiell byttefisk samt ungfisk av "pelagiale arter", vil over tid indirekte kunne føre til redusert tetthet av fisk også i de frie vannmasser.

For fiskesamfunn i elver er det godt dokumentert at hyppige vannstandsendringer har negative effekter på populasjonsnivå (Kinsolving & Bain 1993). Undersøkelser har vist at den totale diversiteten reduseres som følge av store vannføringsendringer (Bain et al. 1988). Mindre er kjent om hvordan hyppige vannføringsendringer påvirker det enkelte individ.

Raske vannstandsendringer kan påvirke gytesuksessen til enkelte arter. Arter som f.eks. stingsild, ørekyt, abbor og gjedde gyter på grunt vann om våren. Tørrlegging av rogn, økt predasjon, samt tilslamming av rogn som følge av vannstandsendringer, kan redusere gytesuksessen til slike arter betraktelig slik dette er vist i undersøkelser fra USA (Nelson 1978).

Dersom effektregulering fører til økt erosjon, som varer over lengre tid, kan dette ha betydning for fisk. Virkningene vil være avhengig av sedimentmengde. Alabaster & Loyd (1982) har oppsummert en rekke studier om hva fisk tåler av partikkelkonsentrasjon med hensyn til opprettholdelse av en fiskebestand, og satt opp følgende grenseverdier:

< 25 mg/l:	ingen skadelige effekter på ferskvannsfisk
25-80 mg/l	godt til middels godt fiske
80-400 mg/l	betydelig redusert avkastning
> 400mg/l	meget dårlig fiske

Disse verdien sier imidlertid ingen ting om hva fisken tåler av eksponering og er derfor mindre egnet til å kvantifisere skadeeffekter på fisk. Verdiene er imidlertid mye brukt i forbindelse med vurderinger av partikkelvirkninger på fisk, da det er de eneste grenseverdier som foreligger.

Partikler i vann kan påvirke fisk på forskjellige måter, både akutt og mer langsiktig (Alabaster & Loyd 1982):

- Direkte påvirkning av fisk
- Påvirkning av rogn og yngel
- Påvirkning av adferd
- Påvirkning av fiskens næringstilbud

Høye partikkelkonsentrasjoner over lang tid kan ha direkte effekt på fisk gjennom blokkering av gjellefunksjonen (Hessen 1992). Partikkelkonsentrasjoner over 100 mg/l er uvanlig i norske vann og vassdrag og en vil derfor normalt ikke forvente denne type problem ved effektregulering. Høyeste partikkelkonsentrasjon i Vinjevatn under den "tøffeste" reguleringen i 1997 var imidlertid hele 450 mg/l. Denne ble målt i et belte langs strendene i nordenden av vannet. Lenger ut i vannet var konsentrasjonene betraktelig mindre. De høye partikkelkonsentrasjonene langs land skyldes at vannstanden i magasinet var så lav at bølge- og vinderosjon virket på tidligere upåvirket, finpartikulært bunnmateriale. Slike høye partikkelkonsentrasjoner antas å være relativt kortvarige.

De indirekte effektene av økt sedimenttransport er imidlertid mer relevante for norske forhold. Tilslamming kan redusere eller hindre oksygentilførselen til rognkorn i substratet, hvilket fører til økt rogndødelighet og dermed redusert gytesuksess (Rivier & Seguier 1985). Økt sedimentering vil også kunne hindre nyklekket yngel i å grave seg opp etter klekking (Beshta & Jackson 1979). Mengden tilgjengelig føde for fisk kan reduseres lokalt fordi flere planter og bunndyrarter som ikke tåler nedslamming forsvinner. For at disse virkningene skal finne sted må det være relativt høye partikkelkonsentrasjoner i systemet over lengre tid. Kortvarige episoder med høyt partikkelinnhold vil ha mindre betydning for fisk.

Deltaområder er normalt svært viktige for fisk. I deltaområder er næringstilgangen ofte god, det er gode gyteforhold og en finner ofte andre temperaturforhold enn i resten av innsjøen. Ved en effektregulering varierer vannstanden hyppig og slike deltaområder kan bli ustabile, med stadige endringer i erosjon og sedimentasjon. Dette får igjen betydning for fisk, bunndyr og planter som er tilknyttet slike deltaområder. Leveområder som har vært stabile en stund vil plutselig kunne eroderes eller overlagres med sedimenter, og må koloniseres på nytt. Gode gyteområder kan eroderes bort eller overlagres av finere masser.

Som tidligere nevnt kan raske endringer i vannstand føre til stranding av fisk. Normalt ønsker en ikke at fisk strander, men i enkelte tilfeller kan det være ønskelig. Ulike arter har ulikt potensial for stranding. Arter som for eksempel stingsild og ørekyt er knyttet til de grunne områdene av vann og vassdrag gjennom hele livet, og skulle derfor teoretisk sett være mer utsatt for stranding enn ørret, som hovedsakelig benytter disse områdene i de første leveårene. Stingsild og ørekyt konkurrerer med ørretunger om næring og plass, og er derfor ofte uønskede arter i ørretvann. Effektregulering kan derfor være en måte å redusere bestandene av slike uønskede arter på. Faren er imidlertid at man samtidig reduserer ungfiskbestandene av ønskede arter. Dersom arter som stingsild og ørekyt strander lettere enn for eksempel ørret kan man forvente en økt totalproduksjon av ørret fordi kampen om tilgjengelig næring blir redusert.

5. Hva er viktig å kartlegge/klargjøre ved planer om effektregulering med tanke på biologiske forhold ?

Generelt vil virkningene av en effektregulering i stor grad være avhengig av hva slags vassdragssystem som skal benyttes og hva slags kjøremønster det legges opp til. Virkningene av en effektregulering kan derfor variere mye fra vassdrag til vassdrag. Det er imidlertid en rekke generelle faktorer/forhold som er viktige å kartlegge ved planer om effektregulering med tanke på biologiske forhold. Dette for grovt å kunne forutsi konsekvensene av en effektregulering. Informasjon om disse faktorene skaffes ved gjennomgang av eksisterende data samt befaring og forskjellige feltundersøkelser. En kan dele informasjonsinnsamlingen i tre "hovedområder":

1. Informasjon om dagens regulering
2. Informasjon om de biologiske forholdene i systemet
3. Informasjon om planlagt effektregulering

5.1 Dagens regulering

Virkningene av en effektregulering vil være avhengig av hvordan dagens regulering er. Informasjon om dagens regulering som er viktige for vurdering av biologiske virkninger ved en effektregulering er:

- Magasinvolum m^3
- Reguleringshøyde
- Magasintopografi
- Vanlig brukt reg. høyde
- Vanngjennomstrømning/ oppholdstid
- Slukeevne m^3/s
- Produksjonsstrategi over året
- Utløp av kraftstasjon
- Bunnforhold/erosjonsforhold
- Kobling mot andre magasiner

Informasjon om tekniske spesifikasjoner og fysiske forhold ved dagens regulering er oftest lett tilgjengelig og det er sjelden behov for feltundersøkelser. Unntak kan være forhold knyttet til magasinets topografi, vannets oppholdstid samt bunn- og erosjonsforhold.

Det er særlig en faktor som er vesentlig for omfang og virkning av effektregulering sett i forhold til biologi; størrelse og hyppighet på vannstandsendringene. Endringer i vannstand vil blant annet være en funksjon av magasinvolum, magasintopografi og aggregatenes slukeevne. Magasinvolumet henger ofte sammen med reguleringshøyde. Magasinene nevnt i Tabell 1 har volumer som varierer fra 152 til 3500 mill. m^3 og defineres som store. Til sammenlikning er volumet i Vinjevatn 11,2 mill. m^3 ved middelvannstand. Slukeevnen i norske kraftverk er stort sett under 100 m^3/s, men enkelte har slukeevne på opptil 300 m^3/s. I kraftverk med stort fall er slukeevnen, uavhengig av magasinstørrelsen, sjelden over 50 m^3/s.

Generelt vil en kunne anta at en effektregulering i et magasin med stort magasinvolum fører til mindre vannstandsendringer enn effektregulering i et magasin med mindre volum.

Reguleringshøyden i et magasin kan gi verdifull informasjon om reguleringssonen. Høyt regulerte (dype) vann har ofte bratte sider og således smale reguleringssoner. Dette er en fordel ved en eventuell effektregulering da mindre arealer blir tørrlagt. Grunnere magasiner vil ofte eksponere større strandsonearealer ved nedkjøring. Et dybdekart over magasinet, og da spesielt reguleringssonen, vil gi informasjon om magasinets topografi som kan være nyttig ved bestemmelse av en kjørestrategi. Dette vil bli utdypet nærmere i kapittel 7.

Vanligvis vil ikke hele reguleringshøyden bli brukt. Informasjon om de høydene som magasinet normalt pendler mellom sier noe om hvilket område av total reguleringshøyde som er sterkest påvirket. En eventuell effektregulering kan tilpasses slik at den kun kjøres innenfor dette område.

Reguleringens størrelse, målt som slukeevne i kraftstasjonen, påvirker vannets gjennomstrømning og oppholdstid. Dette har betydning for de biologiske forholdene i magasinet. Stor gjennomstrømning og kort oppholdstid på vannet gir ofte dårlige produksjonsforhold for plankton, bunndyr og fisk. Det er derfor viktig å kjenne til hvordan disse forholdene er ved dagens regulering.

Tappestrategi over året bør gjennomgås for å se om magasinet reguleres som vanlig (jfr. kap 3.1.1), eller om det er spesielle forhold som kan ha betydning for biologiske forhold, som f.eks. effektlignende regulering i perioder.

En effektregulering kan føre til økt erosjon i påvirket sone. Økt erosjon vil normalt ha betydning for biologiske forhold. Det er således viktig å få vurdert erosjonspotensialet i et magasin før en evt. effektregulering. Eldre magasin hvor erosjonsprosesser har pågått over tid og substratet har stabilisert seg vil være mindre utsatt ved en effektregulering.

Ved planer om effektregulering vil det også være naturlig å vurdere potensielle konflikter nedstrøms utløpet av kraftstasjonen, da det er her en normalt ser de største virkningene av en effektregulering. Utløp i elv, vann og sjø er vanlig i dag. Av disse er vanligvis utløp i elv mest konfliktfylt med tanke på biologiske forhold. En enkel fremgangsmåte for å kunne forutsi konsekvenser av en effektregulering nedenfor utløp av en kraftstasjon er skissert i Brodtkorb & Lillehammer (1998), og vil ikke bli gjennomgått her da det ligger utenfor prosjektets hovedmål. Ved en vurdering av det enkelte magasins egnethet for effektregulering vil imidlertid en vurdering av virkninger nedstrøms utløp være viktig.

Det vil ofte være koblinger mellom flere reguleringsmagasiner i et vassdrag. Dette innebærer at effektregulering i et magasin kan påvirke tappemønsteret i tilstøtende magasin. Virkninger for biologiske forhold må i så fall vurderes også her. Det er derfor viktig med informasjon om koblinger/avhengigheter mellom ulike magasiner i en regulering.

5.2 Biologiske forhold

De biologiske forholdene i et magasin vil også bety mye for hvilke virkninger som kan forventes i et magasin hvor det skal effektreguleres. Magasiner utsatt for hard, sesongmessig regulering vil ofte ha fattige artsamfunn (lav diversitet) og lav produksjon. Mer beskjedent regulerte magasin, samt uregulerte vann, har normalt høyere artsdiversitet og bedre totalproduksjon. Informasjon om dagens økosystem kan gi indikasjoner på hvor sårbare ulike

lokaliteter er for en regulering. Der foreliggende materiale ikke er tilstrekkelig, vil feltundersøkelser måtte gjennomføres. Viktig informasjon om de biologiske forholdene er:

- Vannvegetasjon
- Planktonsamfunn
- Bunndyrsamfunn
- Fiskesamfunn

Vannvegetasjon
Normalt vil det være svært begrenset med vannvegetasjon i strandsonen i regulerte magasin. Forskjeller mellom magasin vil imidlertid kunne forekomme og avhenger blant annet av kjørestrategi, reguleringshøyde og bunnsubstrat. Vannvegetasjon i littoralområdet indikerer en "snill" regulering. Vannvegetasjonen bidrar til den akvatiske primærproduksjonen, gir nærings- og oppvekstområder for fisk og bunndyr, og har dessuten en betydelig erosjonsdempende virkning i strandsonen. Det er derfor viktig å innhente informasjon om vannvegetasjonen under eksisterende reguleringsforhold. Viktig informasjon er:

- Artssammensetning
- Mengde/tetthet av ulike arter
- Livssyklus
- Krav til livsmiljø
- Spesielle tilpasninger

Planktonsamfunn
Ofte registreres en økning i planktonproduksjonen som følge av sesongmessig regulering, men det er store variasjoner mellom magasin. Det kan derfor være nyttig å få en viss innsikt i artssammensetning og tetthet. Et rikt planktonsamfunn tyder på gode produksjonsforhold, liten predasjon og begrenset gjennomstrømning/utspyling av plankton. Artssammensetning og tetthet av zooplankton kan fortelle en del om magasinets tilstand (ref. kap 4.2).

Bunndyrsamfunn
Normalt skjer det en drastisk reduksjon i bunndyrfaunaen ved en regulering, selv om tettheten av enkelt veltilpassede arter kan bli høy. Som for plankton vil det imidlertid være variasjoner fra magasin til magasin. Bunndyrsamfunnets artssammensetning og tetthet kan si mye om hvor hardt påvirket et magasin er av regulering. Viktig informasjon er:

- Artssammensetning
- Mengde/tetthet av ulike arter
- Livssyklus
- Krav til livsmiljø
- Spesielle tilpasninger

Fiskesamfunn
Informasjon om hvilke fiskearter som finnes i magasinet er vesentlig for å kunne vurdere mulige virkninger av en effektregulering. Det er spesielt viktig å få kartlagt hvilke arter som er tilknyttet strandsonen og når på året de benytter den, da disse blir mest påvirket ved en effektregulering. Virkninger av en effektregulering på artsrike og komplekse fiskesamfunn, hvor mange arter er avhengig av strandsonen, vil være verre enn en effektregulering i magasin med et enkelt fiskesamfunn hvor få arter er avhengig av strandsonen. Ved planer om en effektregulering bør en vite følgende om fiskesamfunnet:

- Artssammensetning
- Mengde/tetthet av ulike arter
- Livssyklus til ulike arter
- Krav til livsmiljø
- Spesielle tilpasninger

5.3 Planlagt effektregulering

Ved effektregulering vil det normalt skje endringer i fysiske forhold i magasinet. De antatt viktigste er:

- Vannstandsendring (m)
- Hyppighet på endringer
- Vannets oppholdstid / gjennomstrømningsforhold
- Kjørestrategi over året

Informasjon om disse faktorene må foreligge for å kunne si noe om virkninger av effektregulering på biologiske forhold. Virkningene av en effektregulering på biologiske forhold vil i stor grad være avhengig av størrelsen på eventuelle vannstandsendringer og hvor hyppig endringene forekommer. Store og hyppige vannstandsendringer, samt kort oppholdstid på vannet i magasinet (< 5 døgn), vil være lite gunstig for de biologiske forholdene. I tillegg vil kjørestrategien over året å bety mye for virkninger på økosystemet. En kraftig effektregulering i perioder på året hvor reproduksjon og klekking hos fisk forekommer (normalt vår og høst) vil være ekstra belastende.

6. Hvilke typer vassdrag/magasin er miljømessig egnet for effektregulering, og hvilke typer bør en unngå?

Basert på informasjonen i kapittel 5 kan en sette opp en klassifiseringstabell (Tabell 5) som gir en grov oversikt over hvilke vassdrag/magasin som egner seg for effektregulering og hvilke som er mindre egnet. En slik klassifiseringstabell vil være spesielt nyttig ved sammenlikning av ulike magasiners miljømessige egnethet for effektregulering. Ved klassifisering av tidligere uregulerte vann kan en også ta utgangspunkt i denne tabellen.

Tabell 5 Klassifisering av vassdrag/magasin i forhold til effektregulering og biologiske forhold. + indikerer egnet og - er lite egnet

	KLASSIFISERING	
FAKTORER	+	-
Dagens regulering		
Magasinvolum mill. m^3	Stort (>150)	Lite (<150)
Reguleringshøyde m	Stor (> 10 m)	Liten eller ingen (<10 m)
Magasintopografi	Stor gjennomsnittsdybde Bratte kanter / få grunne områder	Liten gjennomsnittsdybde Store grunne områder
Vanlig brukt reg. høyde	Stor	Liten eller ingen
Vanngjennomstrømning/ oppholdstid	Liten/Lang	Stor/Kort
Slukeevne m^3/s	Liten (<30 m^3/s)	Stor (>100 m^3/s)
Tappestrategi over året	Varierende	Stabil
Utløp av kraftstasjon	Fjord	Elv
Bunnforhold/erosjonsforhold	Grovt bunnsubstrat, stabile masser	Fint bunnsubstrat, ustabile masser
Kobling mot andre magasiner	Nei	Ja
Større innløpselver	Nei	Ja
Biologiske forhold		
Vannvegetasjon	Lite vegetasjon i littoralsonen	Vegetasjon i littoralsonen
Planktonsamfunn	Enkelt, få arter dominerer	Komplekst, mange arter
Bunndyrsamfunn	Enkelt, få arter dominerer	Komplekst, mange arter
Fiskesamfunn	Enkelt, arter uavhengig av strandsone	Komplekst, arter avhengig av strandsone
Planlagt effektregulering		
Vannstandsendring (m)	Små	Store
Hyppighet på endringer	Sjelden	Ofte
Vannets oppholdstid / gjennomstrømningsforhold	Lang, stabil	Kort, variabel
Kjørestrategi over året	Hvileperioder vår og høst	Ingen hvileperioder

Et egnet vassdrag/magasin for effektregulering sett i forhold til biologiske konsekvenser kan utfra Tabell 5 beskrives som følger:

Magasinet bør ha så stort volum som mulig. Større volum gir vanligvis mindre endringer i vannstanden ved en effektregulering. Magasin med stor reguleringshøyde og gjennomsnittsdybde er velegnet fordi de ofte har bratt strandsone og begrenset med grunne områder. Vannets oppholdstid bør i utgangspunktet være lang og gjennomstrømningen liten, da en effektkjøring i perioder kan føre til større variasjon i oppholdstid og økt vanngjennomstrømning. En varierende tappestrategi over året kan imidlertid være en fordel hvis økosystemet er tilpasset "ustabile" forhold. Magasinet bør ha utløp i fjord, da dette normalt gir mindre skadevirkninger enn ved utløp i elv. I visse tilfeller, f. eks. ved stor minstevannføring og forsiktig effektregulering, kan imidlertid utløp i elv være egnet. Grovt bunnsubstrat er en fordel fordi det begrenser erosjonsprosessene. Magasinet bør ikke være koblet til andre magasin. Koblinger kan medføre virkninger i flere magasin enn det som berøres direkte.

Generelt vil allerede sterkt reguleringspåvirkede magasin være best egnet for en effektregulering med tanke på biologiske forhold. Slike magasin har ofte lite eller ingen vannvegetasjon i strandsonen, utarmede bunndyrsamfunn, samt enkle fiskesamfunn med arter delvis uavhengig av strandsonen. Ytterligere påvirkninger på økosystemet vil derfor ha mindre betydning enn tilsvarende påvirkninger i et "snilt" regulert vann eller et uregulert.

7. Konfliktløsende tiltak og kjørestrategier

Det finnes en rekke tiltak som kan redusere negative virkninger av en effektregulering på biologiske forhold. Disse er i hovedsak knyttet til kjørestrategien. Generelt bør kjørestrategien legges opp slik at vannstandsendringene blir minst mulig. I tillegg vil det være en fordel om pendling i vannstand skjer innenfor den reguleringshøyden som normalt brukes og ikke nødvendigvis hele høyden mellom LRV og HRV. Vinjevatn er et godt eksempel i så måte. Normalt reguleres Vinjevatn mellom kote 464 og 465,5. I vårt effektreguleringsforsøk regulerte vi i 1997 ut over dette (ned til 462,5) men innenfor gjeldende reguleringshøyde. Dette medførte klart målbare, negative effekter for erosjon/suspensjonsforhold, vannvegetasjon og bunndyr. Året etter ble effektreguleringen gjennomført tilnærmet innenfor den normale reguleringshøyden, med det resultat at virkningene ble betraktelig mindre. Det er særlig ved effektregulering av magasin med liten reguleringshøyde at dette bør vektlegges.

Det er også viktig å forsøke å tilpasse reguleringen slik at en minimaliserer vannstandsendringene i perioder hvor økosystemet er sårbart. Spesielt høst og vår er viktige perioder i de fleste akvatiske økosystem. Mange fiskearter gyter i en av disse periodene, enten i magasinet eller i tilløpsbekker. For å sikre tilgangen til gyteområdet, enten det er i bekker eller i magasinets strandsone, er det viktig med relativt høy og stabil vannstand i magasinet. Normalt er det relativt høy vannstand i magasinene i disse periodene slik at dette ikke er noe problem. Hvilke perioder som er viktige vil variere fra magasin til magasin, og vil avhenge av hvilke arter som finnes. Dersom en kan begrense effektregulering til vinterperioden vil dette totalt sett være fordelaktig for biologien sammenliknet med en effektregulering hele året.

Ved oppstart av en effektregulering er det vesentlig at de første vannstandsendringene skjer langsomt, spesielt ved nedkjøring, slik at faunaen i strandsonen rekker å følge endringene. Dette vil også være viktig dersom det blir lengre "hvileperioder" med høy vannstand og det er grunn til å anta at en viss rekolonisering av strandsonen har funnet sted. Ved hyppig effektregulering over tid vil behovet for langsom nedtapping bli noe redusert da faunaen som er igjen i strandsonen er tilpasset raske endringer.

Effektregulering mellom høyder som gir store endringer i vanndekket areal bør begrenses for å redusere faren for at invertebrater og fisk strander. Et dybdekart, eller et flyfoto over magasinet ved lav magasinfylling kan være til god hjelp ved identifisering av slike "problemhøyder". I Figur 3 på side 17 er vanndekket areal i reguleringssonen i Vinjevatn ved ulik vannstand vist. Arealene er beregnet på bakgrunn av vannlinjer definert ved bruk av flyfoto. De største endringene i vanndekket areal skjer mellom kote 463 og 464, hvilket innebærer at det er i dette området en finner de flateste partiene i magasinet. En effektregulering i Vinjevatn bør derfor forgå høyere enn kote 464 for å unngå store arealendringer.

8. Litteratur

Aggus, L. R. 1979. Effects of weather on freshwater fish predator-prey dynamics. Pp. 47-56. In Stroud, R. H., and Clepper, H (eds.), Predator-prey systems in fisheries management. Sport fishing institute, Washington , D.C.

Alabaster, J. S. & Lloyd, R. (eds). 1982. Water quality criteria for freshwater fish. Butterworths, London. 361 pp.

Andersen, K. M. & Fremstad, E. 1986. Vassdragsreguleringer og botanikk. En oversikt over kunnskapsnivået. Rapport nr. 2, Økoforsk.

Bain et al. 1988. Streamflow regulation and fish community structure. Ecology 69 (2), 382-392.

Bartell, S. M., Brenkert, A. L., O'Neill, R. V. & Gardner, R. H. 1988. Temporal variation in regulation of production in a pelagic food web modell. S. 101-118 i S.R Carpenter, red. Complex interactions in lake communities. Springer Verlag, NY.

Bauersfeld, K. 1978. Stranding of juvenile salmon by flow reductions at Mayfield dam on the Cowlitz river. *WDF, Olymipa, Wa, Tech. Rep. 38*: 32 s.

Beck Associates, R. W. 1989. Skagit river salmon and steelhead fry stranding studies. Prepared by R.W. Beck associates for the Seattle City light environmental affairs division, march 1989. Seattle WA, 300 s.

Beschta, R. L. & Jackson, W. L. 1979. The intrusion of fine sediments into a stable gravel bed. J. Fish.Res.Board.Can. 204-210.

Bogen, J. & Bønsnes, T. 2001. Virkninger av effektregulering på erosjon og sedimentasjon i vannkraftmagasiner. Effektregulering- Miljøvirkninger og konfliktreduserende tiltak nr. **16**. s. 1-65.

Borgstrøm, R. 1993. Innlandsfisk. I: *Inngrep i vassdrag; Konsekvenser og tiltak- en kunnskapsoppsummering*. Faugli, P.E., A.H. Erlandsen, & O. Eikenæs (red.). s. 193-221. Norges vassdrags- og energiverk.

Brandrud, T.E. 1993. Vannvegetasjon. I: *Inngrep i vassdrag; Konsekvenser og tiltak- en kunnskapsoppsummering*. Faugli, P.E., A.H. Erlandsen, & O. Eikenæs (red.). s. 177-191. Norges vassdrags- og energiverk.

Brookes, A. 1986. Response of aquatic vegetation to sedimentation downstream from river channelization works in England and Wales. Biological Conservation, 38: 351-367.

Carm, K. 1988. Fiskeribiologiske undersøkelser i Vinjevatn, 1986. nr. 12/88 Fylkesmannens miljøvernavdeling Telemark. s. 1-16.

Carpenter, S. R., Kitchell, J. F. og Hodgson, J. R. 1985. Cascading trophic interactions and lake productivity. Bioscience 35: 634-639.

Carpenter, S. R., Kitchell, J. F. og Hodgson, J. R., Cochran, P. A., Elser, J. J., Elser, M. M., Lodge, D. M., Kretchmer, D., He, X. & von Ende, C. N. 1987. Regulation of lake primary productivity by food web structure. Ecol. 68:1863-1876.

Cushman, R.M. 1985. Review of ecological effects of rapidly varying flows downstream frm hydroelectric facilities. *North American Journal of Fisheries Management*. **5**, 330-339.

Duthie, H. C. 1979. Limnology of subartic canadian lakes and some effects of impoundment. Artic and Alpine Research 11, 145-158.

Duthie, H. C. og Ostrofsky, M. L. 1975. Environmental impact of the Churchill Falls hydroelectric power project: a prelimnary assessment. J. Fish. Res. Board Can. 32, 117-125.

Filion, D. B. 1967. The abundance and distribution of benthic fauna of three mountain reservoirs on the Kananaskis River in Alberta. J. Appl. Ecol. 4: 1-11.

Færøvig, P., G. Barstad, & E.M. Brodtkorb. 1999. Effektregulering-virkninger på bunndyr og plankton i Vinjevatn. Cal Trykk. Effektregulering-Miljøvirkninger og konfliktreduserende tiltak. nr. **8**. s. 1-17.

Førde, E., J.P. Magnell, Å.S. Kvambekk, J. Bogen, E.M. Brodtkorb, S.W. Johansen, P.Ø. Nordli, & S. Pettersen. 1997. Forsøkskjøring i Vinjevatn september 1997. Virkninger på fysiske og biologiske forhold- foreløpige resultater. Cal trykk. Effektregulering-Miljøvirkninger og konfliktreduserende tiltak nr. **2**. s. 1-34.

Gessner, F. 1955. *Hydrobotanik. Die physiologischen grunlagen der pflanzenverbreitung im wasser. I. Energiehaushault*. s .1-517.Deutsher verlag der wissenschaften. Berlin.

Gunnerød, T. B. & Mellquist, P. 1979 (red). Vassdragsreguleringers biologiske virkninger i magasiner og lakselver, 294 s.

Gunnerød, T. B. (red). 1984. Fisk og vassdragsreguleringer. Kraft og miljø, 7. NVE, 96 s.

Halvorsen, G. 1993. Bunndyr og planktonsamfunn i innsjøer. I: *Inngrep i vassdrag;konsekvenser og tiltak. En kunnskapsoppsummering*. Faugli, P.E., A.H. Erlandsen, & O. Eikenæs (red.). s. 192-222. Norges vassdrags og energiverk.

Hesthagen, T. & Hegge, O. 1992. Stranding of pond and hatchery reared juvenile brown trout, Salmo Trutta L. During draw-down of a pond. Aquacult. Fish. Managem. 23, 399-403.

Hildebrand, S.G., R.R. Turner, L.D. Wright, A.T. Szluha, B. Tshantz, & S. Tam. 1980. Analysis of environmental issues related to small scale hydroelectric development.III: Water level fluctuation. *Oak Ridge National Laboratory, ORNL/7453*. 1-132.

Hruska, V. 1973. The changes of benthos in Slapy Reservoir in the years 1960-1961.. In F. Hrbacek and Straskraba, M. (eds.). Hydrological Studies 2. Academic Publ. House, Czechoslovak Acad. Sci. Prague.

Hunter, M.A. 1992. Hydropower flow fluctuations and salmonids: a review of the biological effects, mechanical causes, and options for mitigations. State of Washington. Department of Fisheries. Technical Report nr. **119**. s. 1-46.

Hynes, H. B. N. & Yaday, U. R. 1985. Three decades of post-impoundment data on the littoral fauna of Llun Tegid, North Wales. Arch. Hydrobiol 104, 39-48

Johansen, S.W. & B. Rørslett. 1999. Effektregulering-virkninger på vannvegetasjon av prøvekjøringene i Vinjevatn 1997 og 1998. Cal Trykk. Effekregulering-Miljøvirkninger og konfliktreduserende tiltak nr. **11**. s. 1-44.

Kaster, J. L. & Jacobi, G. Z. 1978. Benthic macroinvertebrates of a fluctuation reservoir. Freshwater. Biol. 8, 283-290.

Kinsolving, A. D. & Bain, M. B. 1993. Fish assemblage recovery along a riverine disturbance gradient. Ecol. Appl. 3 (3), 531- 544.

Kirk, K. L. 1991. Suspended clay reduces Daphnia feeding rate: behavioural mechanisms. Freshwater. Biol. 25: 357-365.

Kulsvehagen, E. og Sivertsen, I. 1987. Konsekvensanalyser i forbindelse med reguleringsvirkninger i Kjelavassdraget 1984-1987. Kjemisk og biologisk vannkvalitet. Sluttrapport. Rapport fra Institutt for naturanalyse (INA). prosj. nr. 343. 189 s.

Kvambekk, Å. 2001. Virkninger av effektregulering på is og vanntemperatur i vannkraftmagasiner. Effektregulering- Miljøvirkninger og konfliktreduserende tiltak nr. **15**. s. 1-42.

Larsson, P. 1978. The life cycle dynamics and production of zooplankton in Øvre Heimdalsvatn. Holarct. Ecol. 1. pp. 162-218.

Larsson, P. 1984. Dyreplankton. I: Vassdragsundersøkelser. (Vennrød, K. red.) s.179-190. Norsk Limnologforening/Universitetetsforlaget, Oslo. ISBN 82-00-06877-3. 283 s.

Monk, C. L. 1989. Factors that influence stranding of juvenile chinook and steelhead trout. Ms.Sci thesis, University of Washington, 81 pp.

O'Neill, R. V., DeAngelis, D. L., Waide, J. B. & Allen, T. F. H. 1986. A hierarchical concept of ecosystems. Princeton Univ. Press, Princeton, J. 253 pp.

Olson, F. W. & Metzgar, R.G. 1987. Downramping to minimize stranding of salmonid fry. In Clowes, B. W. (Ed), Waterpower 87, Proceedings of the international conference on hydropower. American Scociety of Civil Engineers, NY, pp. 691-701.

Olson, F. W. 1990. Downramping regime for power operations to minimize stranding of salmon fry in the Sultan river. *Contract report by CH2M Hill for Snohomish County PUD 1.* 70 s.

Paterson, C. G & Fernando, C. H. 1969. Macroinvertebrate colonization of the marginal zone of a small impoundment in eastern Canada. Can J. Zool. 47(5):1229-1238.

Prewitt, L. A. & Whitmus, C. 1986. A technique for quantifying effects of daily flow fluctuations on stranding of juvenile salmonids. CSU. Conf Services vol II(4), 1-3.

Reinertsen, H. & L. Kronborg. 1998b. Begroing (alger og moser) i Altaelva i 1996. Statkraft Engineering. Altaelva - Rapport nr. **1**. s. 1-9.

Reinertsen, H. 1998a. Begroing i Altaelva (alger og moser) 1997. Statkraft Engineering. Altaelva - Rapport nr. 4. s. 1-10.

Rivier, B. & Seguier, J. 1985. Physical and biological effects of gravel extraction in river beds. I : Alabaster, J. S. (red), Habitat modification and freshwater fisheries.

Rivier, B. & Seguier, J. 1985. Physical and biological effects of gravel extraction in river beds. I: Albaster, J. S. (red), Habitat modification and freshwater fisheries, 131-146.

Rodhe, W. 1964. Effects of impoundment on water chemistry and plankton in Lake Ransaren (Swedish Lappland). Verh. Internat. Verein Limnol. 15

Rye, N. 1993. geofag. I: *Inngrep i vassdrag; Konsekvenser og tiltak- en kunnskapsoppsummering.* Faugli, P.E., A.H. Erlandsen, & O. Eikenæs (red.). s. 125-142. Norges vassdrags- og energiverk.

Rørslett, B. 1985. Vannvegetasjon og vassdragsreguleringer. K. Norske Vidensk. Selskap. Rapp. Bot. Ser. 1985, 2:109-124.

Rørslett, B. 1989. Forekomst av vegetasjon i regulerte vassdrag. Problemidentifisering og omfang. NIVA rapport 0-88003

Rørslett, B. & Brettum, P. 1989. The genus *Isoetes* in Scandinavia: an ecological review and perspectives. Aquatic. Bot. 35: 173-193.

Rørslett, B. 1991. Principal determinants of aquatic macrophyte richness in northern European lakes. Aquatic. Bot. 39: 223-261

Schultorp, C.D. 1967. *The biology of aquatic vascular plants.* s. 1-610. Edward Arnold. London.

Shapiro, J. 1980. The importance of trophic-level interactions to the abundance and species composition of algae in lakes. S 105-115 i Barica and L. Mur, red. Hypertrophic systems. Dr. W. Junk, The Hauge, The Netherlands.

Soballe, D.M. & B.L. Kimmel. 1987. A large-scale comparison oof factors influencing phytoplankton abundance in rivers, lakes, and impoundments. *Ecology.* **68**, 1943-1954.

Solhøi, H. 1997. Fiskeressurser i regulerte vassdrag i Telemark. Fagrapport 1996. nr. 02-1997 Fylkesmannens Miljøvernavdeling Telemark. s. 1-174.

Straskraba, M. & Javornicky, P. 1973. Limnology of two re –regulation reservoirs in Czechoslovakia. I: Hydrobiol. Studies 2. Hrabeck, J. Og Straskraba, M (red). s 244-316. Czech.Acad. Sci.

Thornton, K.W., B.L. Kimmel, & F.E. Payne. 1990. *Reservoir limnology: Ecological perspectives.* pp. 33-246. John Wiley & Sons, Inc. New York.

Turner, R. R., Laws, E. A. & Harris, R. C. 1983. Nutrient retention and transformation in relation to hydraulic flushing rate in a small impoundment. *Freshwater Biol.* 13:113-127.

Tvede, A.M. 1993. Hydrologi. I: *Inngrep i vassdrag; Konsekvenser og tiltak- en kunnskapsoppsummering.* Faugli, P.E., A.H. Erlandsen, & O. Eikenæs (red.). s. 66-96. Norges vassdrags- og energiverk.

Uhlmann, D. 1968. Der Einfluss der Verweilzeit des Wasserauf die Massenentwicklung von Planktonalgen. *Fortschr. Wasserchem.* 8:32-47

Wetzel, R. G. 1983. Limnologgy (second edition). Saunders College Publ. Philadelfia, 767 s.

Woodin, R. M. 1984. Evaluation of salmon fry stranding induced by fluctuating hydroelectric discharge in the Skagit River, 1980-1983. Wash. Dept. Fish. Tech. Rept. No 83, 38 pp.

Økland, J. 1983. Kap. 2.4 Plankton, organismer som driver fritt omkring. I: *Planter og dyr – Økologisk oversikt". Ferskvannets verden* 2. S. 85-111

Aass, P. & R. Borgstrøm. 1987. Vassdragsreguleringer. I: *Fisk i ferskvann- økologi og ressursforvaltning*. Borgstrøm, R. & L.P. Hansen (red.). s. 244-266. Landbruksforlaget.

Aass, P. 1970. The winter migrations of char, Salvelinus alpinus, in the hydroelectric reservoirs Tunhovdfjord and Pålsbufjord, Norway. Report. Inst. Freshw. Res. Drottningholm 50: 5-44.

Rapporter utgitt i serien Rapport fra Effektregulering – Miljøvirkninger og konfliktreduserende tiltak:

1. Analyse av frostrøykobservasjonar vinteren 1996/97 over Bandak og Våmarvatnet i Tokkevassdraget.

2. Forsøkskjøring i Vinjevatn september 1997 – virkninger på fysiske og biologiske forhold – foreløpige resultater.

3. Innsamling og systematisering av erfaringsdata.

4. Effektregulering – turbiditetsøkning og biologiske virkninger i sjø.

5. Effektregulering – virkninger på laksefisk og bunndyr i elv, og bruk av vassdragssimulatorens habitatmodell.

6. Effektkjøring og elveerosjon - analyser og tiltak.

7. Prøvekjøring i Vinjevatn august/september 1998 Virkninger på fysisk og biologiske forhold – foreløpige resultater.

8. Effektregulering – virkninger på bunndyr og plankton i Vinjevatn.

9. Effektregulering – ferskvannsinnblanding i fjorder og algevekst.

10. Frostrøyk ved Våmarvatnet i Tokkevassdraget vintrane 1996/97 – 1998/99.

11. Effektregulering- virkninger på vannvegetasjon av prøvekjøringene i Vinjevatn 1997 og 1998.

12. Effektkjøring og grunnvannserosjon – analyser og tiltak.

13. Miljøkonsekvenser og metoder for verdsetting.

14. Verknader av ope vatn på lufttemperaturen rundt råker i is.

15. Virkninger av effektregulering på vanntemperatur og is i vannkraftmagasiner og innsjøer.

16. Virkninger av effektregulering på erosjon og sedimentasjon i vannkraftmagasiner.

17. Effektregulering, erosjonsprosesser og sikringsmetoder.

18. Virkninger av effektregulering på biologiske forhold i vannkraftmagasin og avbøtende tiltak.

EnFO

NVE

DIREKTORATET FOR NATURFORVALTNING

Statkraft