




**De ulike  
FORURENSNINGERS  
virkninger  
i  
FERSKVANNRESIPIENTER**

# NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.:	Undernr.:
O-892302	
Løpenr.:	Begr. distrib.:
2982	

<b>Hovedkontor</b>	<b>Sørlandsavdelingen</b>	<b>Østlandsavdelingen</b>	<b>Vestlandsavdelingen</b>	<b>Akvaplan-NIVA A/S</b>
Postboks 173, Kjelsås	Televeien 1	Rute 866	Thormøhlensgt 55	Søndre Tollbugate 3
0411 Oslo	4890 Grimstad	2312 Ottestad	5008 Bergen	9000 Tromsø
Telefon (47) 22 18 51 00	Telefon (47) 37 04 30 33	Telefon (47) 62 57 64 00	Telefon (47) 55 32 56 40	Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 22 18 52 00	Telefax (47) 37 04 45 13	Telefax (47) 62 57 66 53	Telefax (47) 55 32 88 33	Telefax (47) 77 68 05 09

<b>Rapportens tittel:</b> De ulike forurensningers virkninger i ferskvannsresipienter	<b>Dato:</b> januar	<b>Trykket:</b> NIVA 1994
	<b>Faggruppe:</b> Vassdrag	
<b>Forfatter(e):</b> Dag Berge og Stein W. Johansen	<b>Geografisk område:</b> Norge	
	<b>Antall sider:</b> 25	<b>Opplag:</b> 50

<b>Oppdragsgiver:</b> NTNF's program "Berdre Bruk av Vannressursene"	<b>Oppdragsg. ref.:</b>
---	-------------------------

## Ekstrakt:

Rapporten gir en enkel gjennomgang av hvordan de viktigste forurensningstypene virker inn på elver og innsjøer. Forurensninger med virkninger er delt inn i: Eutrofiering - næringssaltforurensning, Organisk stoff - saprobiering, Forsuring, Miljøgifter, Partikkelforurensning, og Bakteriefurensning. I tillegg har vi valgt å ta med effekter av vassdragsreguleringer, da dette er en av de vanligste økosystemforstyrrelser i norske vassdrag, og som har mange effekter som likner forurensninger. Resipientene har vi delt inn i hurtigstrømmende og sakteflytende elver, og dype innsjøer.

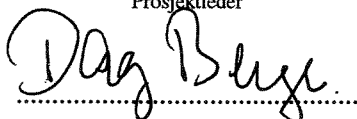
4 emneord, norske

1. Forurensningstyper
2. Effekter
3. ferskvannsresipienter
- 4.

4 emneord, engelske

1. Pollution Types
2. Effects
3. Freshwater recipients
- 4.

Prosjektleder



Dag Berge

For administrasjonen



Merete Johansen

ISBN 82-577-2420-3

**PUBLIKASJONSDATA**

---

Publikasjonenes tittel: *De ulike forurensningers virkninger i ferskvannsresipienter*

Publikasjonsnr.: *BBV - rapport*

Forfatter(e): *Dag Berge og Stein W. Johansen*

ISBN:

ISSN:

Tilgjengelighet: Åpen   
Lukket  inntil:  
Lukket

Dato: *30/12-93*

Pris:

Antall sider: *25*

Publikasjonsreferat: *Rapporten gir en enkel gjennomgang av hvordan de viktigste forurensningstypene virker inn på elver og innsjøer. Forurensninger med virkninger er delt inn i: Eutrofi-ering - næringssaltforurensning, Organisk stoff - saprobiering, Forsuring, Miljøgifter, Partikkelforurensning, og Bakterieforurensning. I tillegg har vi valgt å ta med effekter av vassdragsreguleringer, da dette er en av de vanligste økosystemforstyrrelser i norske vassdrag, og som har mange effekter som likner forurensninger. Resipientene har vi delt inn i hurtigstrømmende og sakteflytende elver, og grunne og dype innsjøer.*

Engelsk referat: Ja

Engelske emneord: *Types of pollution, effects, freshwater recipients.*

Norske emneord: *Forurensningstyper, effekter, ferskvannsresipienter*

Andre utgaver:

Målgrupper: *Forvaltning, FOU-institusjoner*

Publikasjonen distribueres fra: *BBV - sekretariatet, NIVA*

Sign.:

**PROSJEKTDATA:**

---

Prosjektittel: *De ulike forurensningers virkninger i ferskvannsresipienter*

NTNF nr: *Mk. 32.24332*

Prosjektleder: *Hans Olav Ibrekk*

Internt prosjektnr: *O-892302*

Oppdragsgiver: *NTNFs FoU-program "Bedre Bruk av Vannressursene"*

Oppdragsgivers kontaktperson: *Hans Olav Ibrekk*

Andre publikasjoner (se rettleddning):

**NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING**  
**Oslo**

O-892302

**De ulike**  
**FORURENSNINGERS**  
**virkninger**  
**i**  
**FERSKVANNRESIPIENTER**

OSLO 5/1-93

SAKSBEHANDLER: Dag Berge  
MEDARBEIDER: Stein W. Johansen

## INNHALDSFORTEGNELSE

INNLEDNING.....	4
DE ULIKE RESIPIENTTYPER .....	5
Litt om innsjøers temperatursjiktning.....	5
Vannføring og temperatur i elver.....	6
Karakertrekk hos de ulike resipienter .....	8
Hurtigstrømmende elver .....	8
Saktestrømmende elver.....	9
Grunne innsjøer .....	9
Dype innsjøer .....	9
TYPER AV FORURENSNINGER .....	11
Naturtilstanden i de ulike resipienter.....	11
Ulike typer forurensninger.....	11
Eutrofiering-næringsaltbelastning.....	11
Organisk stoff-saprobiering.....	11
Forsuring.....	12
Miljøgifter .....	12
Partikkelforurensning.....	13
Bakterieforurensning .....	13
Vassdragsreguleringer .....	14
VIRKNINGER I DE ULIKE RESIPIENTTYPER .....	15
Generalisert virkningsbilde og Bærekraftig utvikling.....	15
Eutrofiering - Næringsaltbelastning .....	15
Organisk Stoff - Saprobiering.....	18
Forsuring .....	20
Miljøgifter .....	21
Partikkelforurensning .....	22
Bakterieforurensning .....	23
Vassdragsreguleringer.....	24

## INNLEDNING

Miljøvern og kunnskap om virkning av forurensninger har hittil i stor grad vært et tema for fagfolk. Fagekspertisen har hovedsaklig vært tilknyttet sentrale forskningsmiljøer. For å få et effektivt miljøvern har det lenge vært myndighetenes intensjon å få forståelsen av miljøvernets nødvendighet så langt ut i samfunnslivet som mulig. Enhver aktivitet skal inkludere miljøvern betraktninger, enten det dreier seg om offentlig forvaltning eller privat virksomhet. For at dette skal være mulig er det nødvendig med enkel tilgang på motiverende informasjon.

Som en begynnelse på å fremskaffe slik informasjon har NIVA fått i oppdrag fra NTNF's program "Bedre Bruk av Vannressursene" å lage en enkel og illustrativ populærrapport om hvordan de ulike forurensningene forårsaker skadevirkninger i ferskvannsresipienter.

Rapporten er først og fremst tilegnet

miljøforvaltningen i kommunene, hos fylkesmennene, fylkeskommunene, fylkeslandbrukskontorene, miljøvernansvarlige i industri og næringsliv, men også ulike lag og foreninger som er opptatt av miljøvern. Til rapporten vil det også bli laget et "overhead"-program som vil kunne bestilles separat av de som har behov for å drive orienterende (kurs) virksomhet.

Forurensninger kan ha forskjellige virkninger avhengig av hva slags resipient som er mottaker, f.eks. om det er en elv eller en innsjø. Vi gir derfor innledningsvis en kort beskrivelse av de ulike resipienttyper. Deretter gis en beskrivelse av de ulike forurensningstypene slik de deles inn hos Statens forurensningstilsyn (SFT).

Til slutt gir vi også en enkel beskrivelse av vassdragsreguleringer. Selv om dette ikke er en forurensning i betydningen utslipp av stoffer, er det en betydelig økosystemforstyrrelse i norske elver og innsjøer hvorav mange virkninger er likeartet med forurensningers virkninger.

## DE ULIKE RESIPIENTTYPER

Blant folk fleste deles ferskvannsforkomster inn på følgende måte:

- Elver
- Bekker
- Innsjøer
- Tjern
- Dammer

Med unntak av at de fleste har en klar oppfatning av skillet mellom rennende vann og stillestående vann, er resten av denne inndelingen svært subjektiv. Hvor går f. eks. grensen mellom en elv og en bekk. Det er skrevet tykke bøker om hvordan man skal inndele vannforekomster i kategorier (elvetypologi og innsjøtypologi). Bare når det gjelder innsjøer refererer Hutchinson (1957) til mer enn 50 forskjellige typer.

For vårt formål, nemlig å beskrive effektene av forurensning, finner vi det tilstrekkelig å dele opp i følgende resipienttyper:

- *Dype innsjøer* med permanent temperatursjiktning om sommeren.
- *Grunne innsjøer* uten permanent temperatursjiktning om sommeren.
- *Hurtigstrømmende elver*
- *Saktestrømmende elver*

### Litt om innsjøers temperatursjiktning

For å forstå grunnlaget for å skille innsjøene i to hovedtyper, er det nødvendig med en liten orientering om hvordan temperaturen i perioder avstenger overflatevannet fra dypvannet.

Om sommeren varmer sola opp overflatevannet i innsjøen. Varmt vann er

lettere enn kaldt vann, og dette legger seg øverst. Vinden blander dette et stykke nedover i innsjøen, men sjelden dypere enn 10-12m. Innsjøen blir delt i tre sjikt, overflatelaget (epilimnion), sprangsjiktet (termoklinområdet) og dypvannet (hypolimnion), se figur 1.

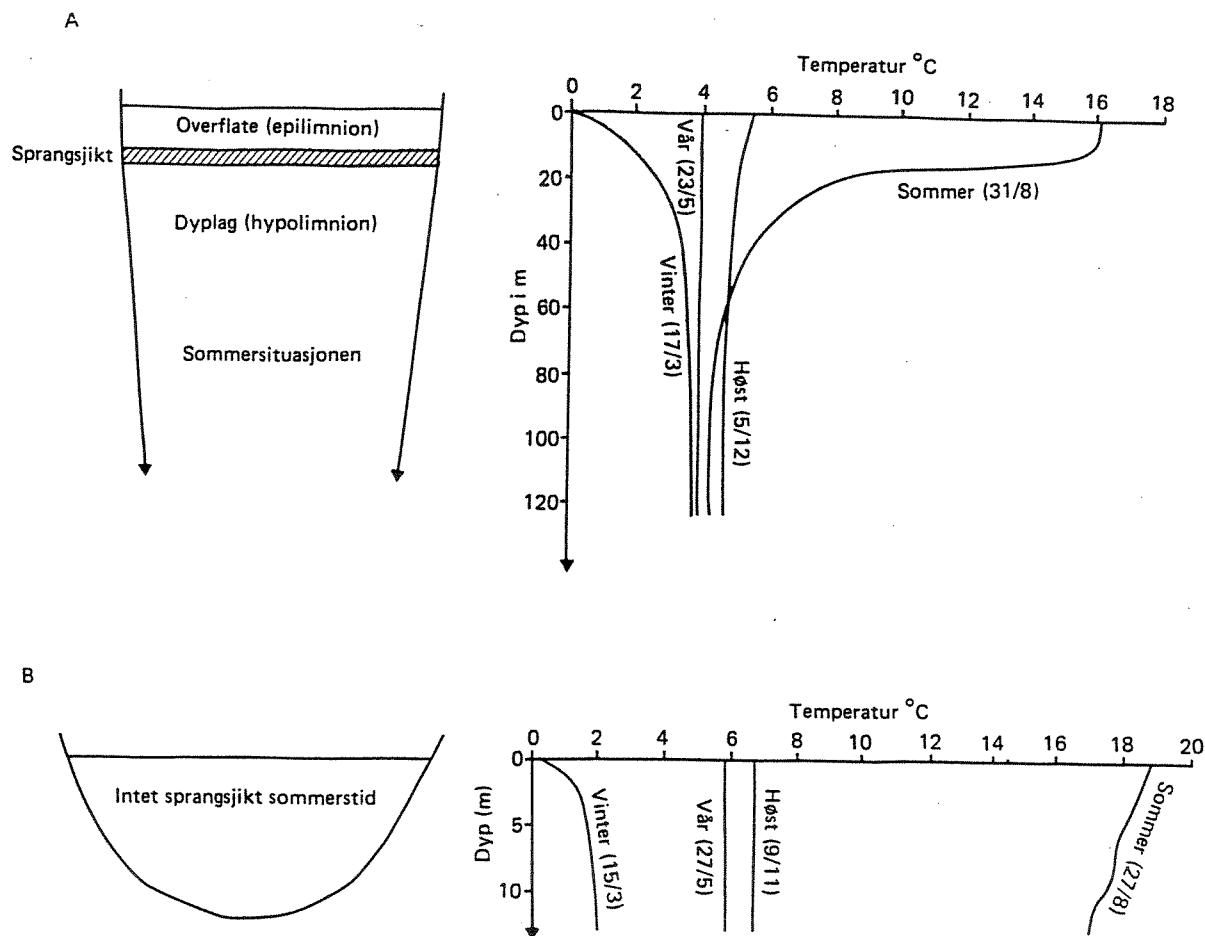
Dypvannet er nå bl.a. avstengt fra tilførsel av oksygen. Planteplanktonproduksjonen foregår i epilimnion, mens organisk dødt materiale (bl.a. fra algeproduksjon, humus og detritus fra innkomne elver) regner ned i hypolimnion hvor materialet etter hvert råtner og forbruker oksygen.

Utover høsten avkjøles overflatevannet. Når dette er blitt like kaldt som dypvannet, greier vinden og blande vannmassene, og dypvannet blir igjen tilført oksygen. Høstsirkulasjonen har inntrådt. Denne vedvarer til alt vann er avkjølt til 4 grader.

Vann er tyngst ved 4 grader. Når overflatevannet avkjøles lenger ned enn til 4 grader, blir det igjen lettere og blir liggende oppå dypvannet. Blir det nå en kald stille periode uten vindblanding, fryser vannet i overflaten og den islagte perioden begynner. Denne kalles vinterstagnasjon.

Om vinteren er igjen dypvannet avstengt fra oksygentilførsel, selv om man har invers temperatursjiktning. Innkommende bekker har temperatur nær 0 og dette vannet fordeles inn like under isen. Bunnvannet har alltid rundt 4 grader.

Om våren smelter isen og sola begynner igjen å varme opp overflatevannet. Når dette når 4 grader, sirkulerer innsjøen igjen. Vårsirkulasjonen har inntrådt. På grunn av ofte rask soloppvarming på forsommeren varer vårsirkulasjonen gjerne mye kortere enn høstsirkulasjonen. I enkelte år hender det at vårsirkulasjonen skjer ufullstendig i vindbeskyttede innsjøer.



Figur 1. Temperatursituasjonen i dype, sjiktede (A) og grunne, ikke sjiktede innsjøer (B), vinter, vår, sommer og høst.

I grunne innsjøer derimot greier vinden å blande inn oksygen i dypvannet flere ganger i løpet av sommeren. De helt grunne innsjøene (2-3m dype) sirkulerer mer eller mindre hver dag. Ofte kan solgangsbrisen om ettermiddagen være nok. Resultatet er at det sjelden er oksygenproblemer her om sommeren. Om vinteren derimot, kan dette være mer fremtredende pga. mindre vannvolum og dermed mindre oksygenreserver til å bryte ned organisk materiale.

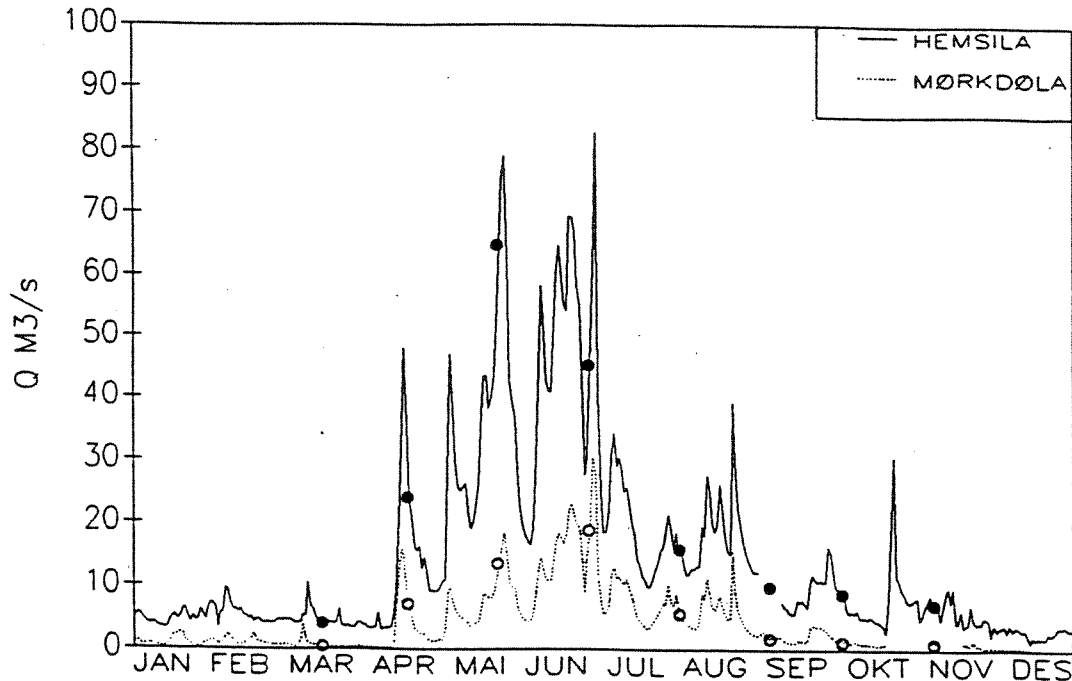
### Vannføring og temperatur i elver

Liksom temperatursjiktning er en helt avgjørende faktor for innsjøer som resipient, vil det for elver og bekker være vannføringen til enhver tid som er hovedbestemmende faktor for forurensningsvirkning. Prosessen er fortynning. Temperaturen vil også her spille en rolle ved å bidra til høyere biologisk aktivitet i sommerhalvåret, mer begroing, etc., men vil være av underordnet betydning i for-



hold til vannføringen. I figur 2 er fremstilt et eksempel på naturlig årsvariasjon i vannføring i en liten og en middels stor

elv. I figur 3 er fremstilt eksempel på vannføring i en regulert lakseelv med tilhørende årsvariasjon i temperatur.



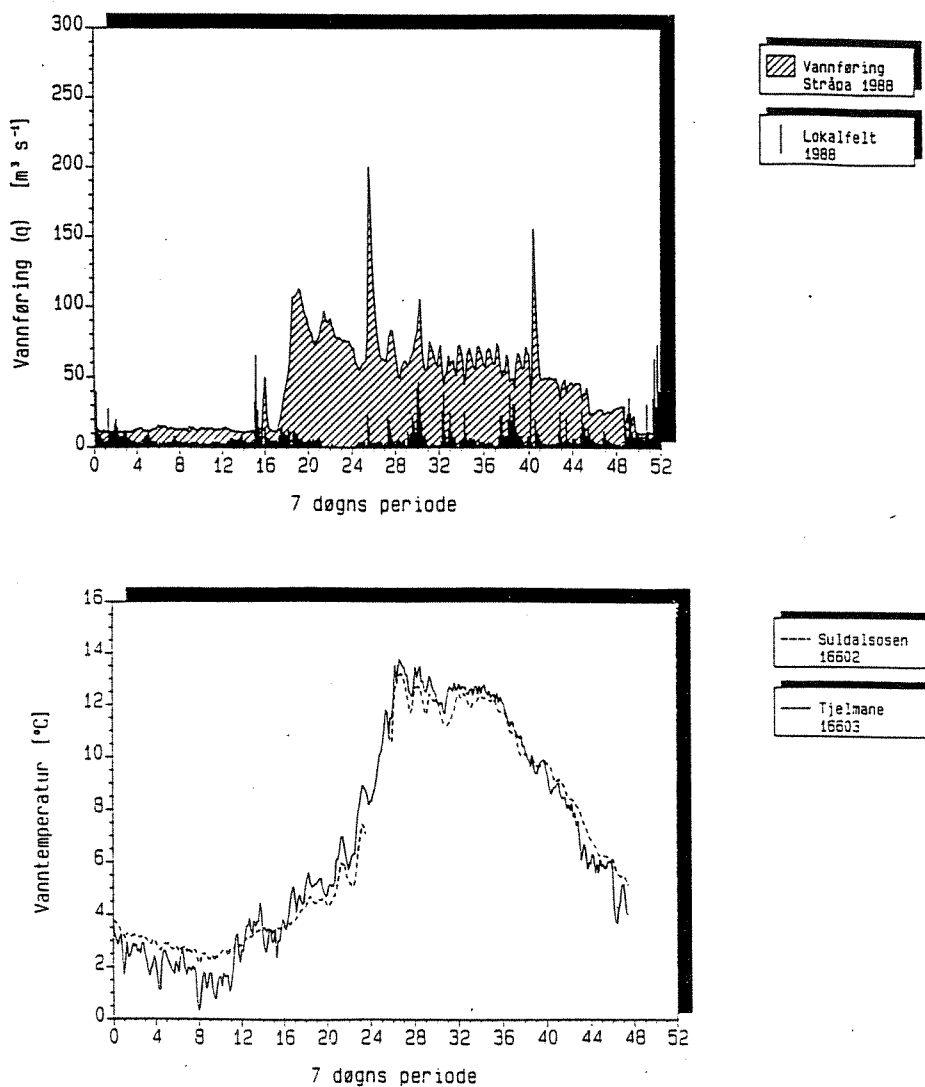
Figur 2. Eksempel på årsvariasjon i vannføring i en liten elv og en middels stor elv.

Som det fremgår av figur 2 vil en upåvirket (ikke regulert) elv ha tydelig sesongmessige svingninger i vannføring med en typisk lav vannføring på vinteren etterfulgt av en flomvannføring om våren i forbindelse med snøsmelting. Etter dette vil tilsig i form av nedbør og grunnvann bestemme vannføringen inntil senhøsten da nedbøren blir liggende igjen som snø og en får en ny periode med lav vannføring.

I en regulert elv kan man i større grad forutsi vannføringen til enhver tid da den ofte er bestemt av et manøvrerings-

reglement. I forhold til en naturlig elv vil vannføringen i en regulert elv mer bære preg av utjevning mellom vinter- og sommervannføring og demping eller fravær av naturlige flommer.

Temperaturen i elver vil stort sett ha en karakteristisk årsprofil som figur 3 viser. Forskjellen mellom maks. og min. temperatur vil være større eller mindre enn i innsjøer alt etter størrelse og beliggenhet av elva. Små bekker og elver følger i større grad vekslingen i lufttemperatur i forhold til større elver.



Figur 3. Eksempel på årsvariasjon i vannføring i en regulert elv, Suldalslågen, og tilsvarende årsvariasjon i temperatur.

### Karaktertrekk hos de ulike resipienter

#### Hurtigstrømmende elver

Foss- og strykepartier er dominerende elementer, men kortere stilleflytende partier og kulper kan forekomme. Strømhastigheten er overveiende større enn 0.5 m/s.

Bunnsstratet består av fast fjell, blokker, og/eller grov grus. Kornstørrelsen er overveiende over 0.6 mm.

Strømmen er turbulent og det er god

oksygenutveksling med atmosfæren. Oksygenmetning er nær 100% til alle årstider.

Fullstendig isdekke forekommer kun under korte perioder om vinteren.

Planteproduksjonen domineres av moser og fastsittende alger.

Egen planteplanktonproduksjon forekommer ikke, men levende og døde organismer (fragmenter) føres med strømmen (driv).

Dyrelivet er representert ved former som

er bundet til fast underlag. Fiskefaunaen består av strømssterke arter som laks, ørret og harr.

### Saktestrømmende elver

Elvestrekninger med dominans av sakteflytende partier uten vesentlig turbulens. Dominerende strømhastighet mindre enn 0.5 m/s.

Bunnssubstratet består av fin sand/leire og organisk materiale. Kornstørrelsen er mindre enn 0.6 mm.

De dypeste partier kan være sjiktet om sommeren med høyere temperatur i overflatelagene enn i dypet.

I dyplaget av de sjiktede partier kan det være et visst oksygenforbruk i stagnasjonsperiodene. I overflatelagene er oksygenmetningen nær 100% til alle årstider.

Elvepartiet er som regel islagt om vinteren.

Planteproduksjonen domineres av høyere vegetasjon, samt algebegroing langs strendene. En viss produksjon av plankton er mulig. Spesielt vil planktonformer som tilføres fra overforliggende innsjøer i noen grad videreutvikles.

Dyrellivet er i vesentlig grad representert av former som er bundet til fast underlag (bunndyr), men dyreplankton forekommer og kan utvikles.

Der hvor strømsvake fiskearter forekommer, vil f.eks. arter som gjedde og mort dominere.

### Grunne innsjøer

Ikke-sjiktede innsjøer er så grunne at det ikke dannes permanent temperatursprangsjikt om sommeren. Innsjøens beliggenhet, vindpåvirkning og vanngjennomstrømning

er viktige momenter med hensyn til dannelse av temperatursprangsjikt. Vanligvis er største dyp mindre enn 10-15m.

For at en grunn vannforekomst skal kunne karakteriseres som innsjø (og ikke sakteflytende elv) må vannet ha en viss oppholdstid slik at planktonorganismer kan utvikles. Bassengets utforming og vanngjennomstrømning er her avgjørende. Ved midlere oppholdstider mindre enn 4-5 døgn, begynner gjennomstrømningen å redusere algeveksten, dvs. lokaliteten blir "elv".

Oksygenforholdene i den isfrie periode er gode i alle dyp, men i varme stille perioder kan det være et visst oksygenavtak i dypet.

I innsjøer med stort innhold av organisk stoff (f.eks. humussjøer) avtar oksygenet om vinteren i bunn- og dyplagene.

Ofte forekommer store bestander av makrovegetasjon i de grunneste områdene.

Der hvor fiskearter som abbor, gjedde og ulike arter av karpefisker finnes, vil disse dominere fiskefaunaen. I produktive lavlandssjøer er det ofte stor bestand av småfallen fisk, f.eks. små abbor, mort, osv. ("tusenbrødre").

### Dype innsjøer

Disse innsjøene har stabil temperatursjiktning om sommeren. Innsjøene er vanligvis dypere enn 10-15m. Dypet hvor sprangsjiktet etableres varierer fra 3-4m til 12-15m avhengig av innsjøens størrelse og vindpåvirkning.

I det stagnerte (innelukkede) dypvannet avtar oksygeninnholdet både sommer og vinter. Omfanget av dette avtak beror på produksjonsforholdene, tilførsel av organisk stoff og forholdet mellom overflateareal og innsjøens volum, eller rettere sagt dypvannets (hypolimnion) volum.

Planteproduksjonen er dominert av planteplankton. Høyere vegetasjon, som domineres av kortskuddplanter (Isoetider), har adskillig mindre betydning enn i de grunne innsjøene. Algebegroing på steiner i strandsonen kan også få betydelig omfang i slike innsjøer i en begynnende eutrofi-

eringsfase når innholdet av næringssalter øker.

Dominerende fiskearter er vanligvis aure, røye, og/eller sik, men en rekke andre arter forekommer avhengig av innvandringszone og utsettinger.

## **TYPER AV FORURENSNINGER**

### **Naturtilstanden i de ulike resipienter**

I forbindelse med SFT's rapport "Vannkvalitetskriterier for ferskvann" var det nødvendig å definere vannets naturtilstand i et vassdrag for å kunne klassifisere forurensningsvirkninger. Både naturtilstanden og forurensningsvirkningene varierer fra vannforekomst til vannforekomst, avhengig av hvilken type økosystem det gjelder (elv, innsjø). Naturtilstanden varierer også regionalt i Norge i samsvar med utforming av naturen (berggrunn, løsavsetninger, vegetasjonsdekke) og klima. Med naturtilstand forstås vanligvis en tilstand upåvirket av mennesker og menneskelig aktiviteter. I dag er det mer naturlig å anvende begrepet "forventet naturtilstand" som i forhold til en bestemt forurensningstype vil være den kvalitet vannet ville ha uten påvirkning av vedkommende forurensningstype.

### **Ulike typer forurensninger**

Det er naturlig å dele forurensninger inn i ulike typer med bakgrunn i ulik virkning generelt i resipienter. Etter tilførseltype er det vanlig å dele forurensningene inn i følgende kategorier:

- Næringsaltbelastning - eutrofiering
- Organisk stoff-saprobiering
- Forsuring
- Miljøgifter
- Partikler - tilslamming
- Bakterier

(•Vassdragsreguleringer)

Vi har valgt å ta med vassdragsreguleringer som en type forurensning selv om det her ikke dreier seg om tilførsel av fremmedelementer til en resipient, men snarere en manipulering av hele resipienten i form av kunstig økning/reduksjon i vannstand og vannføring. Slike endringer

har vist seg å kunne fremkalle mange økosystemforstyrrelser som ellers direkte fremkalles av de andre forurensningstyper nevnt ovenfor. I det følgende skal kort forklares hva en mener med de ulike forurensningstyper før en går nærmere inn på den generelle virkningen av de enkelte faktorer i de ulike resipienter.

### **Eutrofiering-næringsaltbelastning**

Begrepet eutrofiering anvendes for å beskrive næringstilgang og biologiske produksjonsforhold i vann.

I ferskvann er det nærmest alltid tilgangen på fosfor (P) som er avgjørende for eutrofiutviklingen, mens nitrogen (N) og andre stoffer har en mer underordnet betydning.

Innsjøens reaksjon på en gitt forurensningsbelastning er avhengig av dens utforming, de hydrologiske forhold og selvrensningsevne (f.eks. type og mengde dyreplankton og fisk).

Næringsrike eller eutrofe vannforekomster kan ha naturlige årsaker, betinget av berggrunn og løsavsetninger i nedbørfeltet, men vanligvis er det utslipp av avløpsvann (kloakkvann, visse industriavløp) samt avrenning og utslipp fra jordbruksvirksomhet som skaper de store problemer.

Økt tilførsel av næringsalter medfører økt vekst av planteplankton, fastsittende alger og høyere vannvegetasjon.

### **Organisk stoff-saprobiering**

Organisk stoff forekommer enten oppløst i vannet eller som partikulært materiale. I begge tilfeller vil vannet vanligvis bli preget rent visuelt i form av misfarging og nedsatt sikt.

De løste organiske stoffene kan deles inn

to hovedgrupper:

- "ikke-humusstoffer" som vanligvis har en høy omsetningshastighet i vann.
- "humusstoffer" som tilføres fra skog og myrområder og som gir vannet brun farge.

Organisk stoff i vann har tre hovedkilder:

- tilførsel av humusstoffer fra skog og myrområder.
- tilførsler som skyldes menneskelige aktiviteter (kloakkvann, visse industriutslipp f.eks. fra treforedlingsbedrifter, næringsmiddelindustri o.l. og tilførsler fra jordbruksaktiviteter f.eks. silosaft (ofte ikke- humusstoffer).
- produksjon av organisk stoff i selve vannforekomsten i form av plankton-organismer, alge- og soppvekst samt høyere vannplanter.

### Forsuring

Forsuring av vann er et av de mest alvorlige forurensningsproblemer i nyere tid.

Årsaken til forsuringen er stort forbruk av fossilt brensel (kull, olje), spesielt i de mest industrialiserte strøk i Europa. Avgassene fra slike anlegg, som bl.a. inneholder svoveloksyder og nitrogenoksyder, tilføres luftmassene. Forurensningene kan på denne måten transporteres til fjerne områder hvor de faller ned via nedbør og som tørravsetninger.

Det er særlig Sørlandet, de sørligste deler av Vestlandet og Østlandet samt deler av Øst-Finnmark som er utsatt for denne type forurensningstilførsler. Her består berggrunnen i vesentlig grad av gneisgranittiske grunnfjellsbergarter. Dette er harde bergarter som i liten grad bidrar til

vannets innhold av kalsiumbikarbonater og andre ioner (oppløste salter). Avrenningsvannet er saltfattig eller dårlig bufret og er derfor ytterst forsuringfølsomt.

Sulfationet er den drivende kraft i forsuringprosessen. De tilførte sulfationer går gjennom nedbørfeltet og konsentrasjonen i avrenningsvannet øker. Dette medfører at like store mengder kationer (hydrogen, aluminium, kalsium og magnesium) tilføres fra nedbørfeltet. Hydrogen- og aluminiumionene reduserer alkaliteten og gjør dermed avrenningsvannet surt.

Forurenset nedbør inneholder mye nitrat og ammonium. Hvis den tilførte nitratmengde overstiger den mengde som omsettes biologisk, vil overskuddet virke forsurende på samme måte som sulfat. I jorda oksyderes ammonium til nitrat under frigivelse av hydroniumioner som også gir surt avrenningsvann.

### Miljøgifter

Miljøgifter er stoffer som har en eller oftest flere av følgende egenskaper:

- Akutt giftige i meget lave konsentrasjoner.
- Tungt nedbrytbare i naturen.
- Kan oppkonsentreres i organismer og næringskjeder og dermed medføre helsemessig risiko ved konsum (f.eks. kvikksølv i fisk). Enkelte stoffer som f.eks. PAH kan påvirke arvestoffer eller virke kreftfremkallende.

De vanligste miljøgifter kan deles inn i 4 grupper:

- metaller: kobber, sink, kvikksølv, kadmium, bly, nikkel, krom m.fl.
- klorerte hydrokarboner: polyklorerte bifenyler (PCB), heksaklorbenzen

(HCB), oktaklorstyren (OCS) m.fl.

- polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH).
- andre: fenol, ammoniakk, klor, ulike plantevernmidler m.fl.

Metallforurensninger finnes først og fremst i avløpsvann fra gruveområder f.eks. Øvre Gaula, Orkla, Øvre Glomma, Namsen m.fl. Videre kan denne type forurensninger forekomme i visse industriutslipp. Enkelte metaller f.eks. kvikksølv, ble tidligere anvendt i konserveringsmidler (beising av såkorn, beskyttelse av trevirke) og som en følge av dette tilført vassdrag.

Klorerte hydrokarboner er blitt anvendt (og anvendes) i landbruket for bekjempelse av insekter og andre skadeorganismer (f.eks. lindan, toxafen osv.). Videre er slike stoffer byggestenene i f.eks. vinylklorid, en rekke løsnings- og avfettingsmidler, og andre moderne syntetiske stoffer.

PAH oppstår ved raffinering av olje og oljeprodukter, finnes i prosessgasser i smelteverksindustrien (gassvaskeanlegg) og i eksos fra forbrenningsmotorer. Undersøkelser som hittil er utført viser at konsentrasjonene av slike stoffer i ferskvann er lave i de fleste innlandsvassdrag.

Fra tid til annen kan høye konsentrasjoner av andre giftstoffer som f.eks. ammoniakk og fenoler skape betydelige toksiske problemer. Plantevernmidler kommer også inn under denne type forurensning.

### **Partikkelforensning**

Tilslamming eller økt konsentrasjon av partikulært materiale i et vassdrag oppstår som følge av direkte utslipp av kommunalt og industrielt avløpsvann, ved tilførsel av erosjonsmateriale fra landbruksområder f.eks. ved bakkeplanering og fra pløyde

jorder, samt anleggsvirksomhet i eller langs vassdrag (vei, forbygning, knusing, sprenging, tunnelbygging, grustak, damanlegg etc.). Stor produksjon av plante- og dyreplankton medfører også at vannets innhold av partikler øker. Organiske og uorganiske partikler har egenskaper med hensyn til biologisk omsetning. F.eks vil nedbrytning av organiske partikler innvirke på vannets oksygeninnhold.

De fleste partikler kan ikke bevege seg aktivt. De føres med strømmen og etter hvert avsetter de seg i innsjøer og rolige elvepartier. Ved endring av strøm- og bølgeaktivitet vil de hvirvles opp fra elvebunnen og grunne innsjøområder (resuspensjon).

### **Bakterieforurensning**

De fleste typer sykdomsfremkallende eller patogene mikroorganismer (mikrober) tilføres vannforekomster med avføring fra syke mennesker eller friske smittebærere. Enkelte slike mikrober kan også være til stede i avføringen fra husdyr, ville dyr og fugler. Konvensjonelle kloakk-rensaanlegg er ikke tilstrekkelig garanti mot spredning av patogene mikrober.

Tarmmikrobene vil som nevnt alltid være tilført vannet utenfra, de vil ikke kunne formere seg der. De kan ha kortere eller lengere overlevelsestid ved forskjellige vannkvaliteter. Antallet av slike mikrober som gjenfinnes ved analyse vil for en stor del være avhengig av tilførselsmengde, fysisk spredning og sedimentering. Spredningshastigheten er selvfølgelig langt større i en hurtigstrømmende elv enn i en sakteflytende eller innsjø.

Vannforekomster som brukes som resipient for kloakkvann kan ha høyt innhold av tarmbakterier.

I de senere år er mikrobiologisk belastning fra oppdrettsnæringen blitt et høyaktuelt

miljøproblem. Det dreier seg i denne sammenheng om avløp fra oppdrettsanlegg og klekkerier med fisk som er infisert med smittsomme sykdommer. Problemer med overforbruk av antibiotika kommer også inn her.

### **Vassdragsreguleringer**

Vassdragsreguleringer omfatter alle inngrep i naturen som har som konsekvens endret vannstand og eller endret vannføring i forhold til det opprinnelige fra naturens side.

Mange naturlige innsjøer i dag er påvirket av regulering ved at vannet blir brukt som magasin for kraftproduksjon. Følgen av dette er en unaturlig heving og senking av vannstanden i takt med kraftproduksjonen

på de enkelte kraftverk. I svært mange reguleringer er det bygget kunstige innsjøer, såkalte oppdemningsmagasiner, hvor variasjoner i vannstand kan være meget stor (opptil 140 meter).

Ved bygging av elvekraftverk er det ofte bygget elvemagasiner som påvirker vannføring og vannstand i stor grad både oppstrøms og nedstrøms kraftverket. Et vanlig fenomen ved kraftutbygginger er endring i vannføring i elver som står i direkte kontakt med utbyggingen. Det kan være utjevnet vannføring over året, perioder med tørrleggelse, store daglige svingninger i vannføring og streng kontroll av vannføringen som følge av et pålagt manøvreringsreglement. Fosser og strykpartier blir borte. Tilbake blir tørrlagte elvestrekninger (eventuelt med sterkt redusert minstevannføring) og langstrakte innsjøer.



## VIRKNINGER I DE ULIKE RESIPIENTTYPER

### Generalisert virkningsbilde og Bærekraftig utvikling

*Bærekraftig utvikling* og *tålegrenser* er uttrykk som nylig har etablert seg i miljøforvaltningsterminologien. Disse begrepene passer godt inn i arbeidet med å begrense vannforurensning.

Menneskelig aktivitet skaper ofte forurensning. Noe forurensning tåler også de fleste resipienter. En av våre oppgaver innenfor det vi kan kalle "bærekraftig vannressursforvaltning" må være å holde forurensningsbelastningen innenfor grensene for hva resipienten tåler, "resipientkapasiteten" eller "tålegrensene". Resipienten er da sikret en "bærekraftig utvikling".

For en stor grad kan et forurensningsforløp generaliseres som vist i fig.4. Naturtilstanden betegnes av origo. Ved økende forurensningsbelastning vil man til å begynne med få kun en svak respons i forurensningssituasjonen. Noe omsettes, noe nøytraliseres, noe begravnes i sedimentet. Man er innenfor resipientens tålegrenser.

Øker forurensningsbelastningen utover dette, kommer man inn i en fase som ofte kalles betenkelig. Innen denne fasen har man "en snikende forverring" på gang. Selv om vannforekomsten ser ut til å greie belastningen bra de første årene, utarmes motstandskraften. Etter hvert kommer det selvforsterkende effekter med i forurensningsbildet. Et eksempel på dette er ved eutrofiering hvor det i årenes løp akkumuleres organisk materiale og næringssalter i sedimentet. Når det organiske sedimentet forbraker så mye oksygen at sedimentoverflata blir anaerob, starter frigivelse av fosfor fra sedimentet, som genererer ny produksjon av organisk materiale. En ond

sirkel er startet og den negative utviklingen akselereres.

Det neste nivået kalles kritisk forurensningsbelastning. Hvis en slik belastning får virke over noen år, kan det oppstå nærmest en irreversibel forurenset tilstand. Dvs. selv om man sanerer de eksterne forurensningstilførslene gjennom tiltak, blir ikke vannforekomsten bra p.g.a. intern belastning fra forurensete sediment etc. Dvs. gamle synder mobiliseres.

Sentralt i en bærekraftig vannressursforvaltning må være å holde forurensningsbelastningen innenfor resipientkapasiteten. Resipientkapasiteten vil variere sterkt fra resipient til resipient, slik at det går ikke an å sette noe statisk konsentrasjonsnivå for denne. Resipientkapasiteten må beregnes ved dose-respons modeller. Slike modeller av nokså generell gyldighet har vi for virkningstypene eutrofiering og forsuring. For de andre virkningstypene mangler generelt gyldige dose-responsmodeller. Å fremskaffe slike vil være til stor hjelp for å kunne drive en bærekraftig vannressursforvaltning.

### Eutrofiering - Næringssaltbelastning

Generelt vil en ekstra tilførsel av næringsalter gi grunnlag for økt primærproduksjon i en ferskvannsresipient. Økt primærproduksjon vil i praksis si økt vekst og ofte mengde av planteplankton, fastsittende alger, moser og høyere vannvegetasjon. I de ulike resipienter vil forholdet mellom disse primærproducentene og konsekvensene av de respektive økninger variere.

I store dype innsjøer vil virkningen av økt næringstilførsel først og fremst gi opphav til en større algeproduksjon i de fri vannmasser, men kan også i enkelte tilfeller være årsak til utvikling av fastsittende algebegroing i strandsonen med grønske på steiner og glatte sleipe belegg. Stor algeproduksjon vil ofte medføre

endringer i lukt og smak på vannet slik at flere brukerinteresser blir sterkt redusert. Vannet vil bli mindre klart som følge av større mengde alger og lysforholdene for den øvrige vannvegetasjon og bunnfauna i strandsonen blir dårligere. Algene som etter hvert utvikles (store kiselalger og blågrønnalger) er mindre egnet som mat for det påfølgende ledd i næringskjeden,

dyreplankton og div. bunndyr. Algene synker til bunns og råtner istedet for å inngå som mat i neste ledd i næringskjeden. Nedråtning av algemateriale i dypvannet krever oksygen. I middels dype innsjøer, der hvor man har en vel definert, men liten hypolimnion med små oksygenreserver, vil kunne få oksygenproblemer om vinteren og ettersommeren.

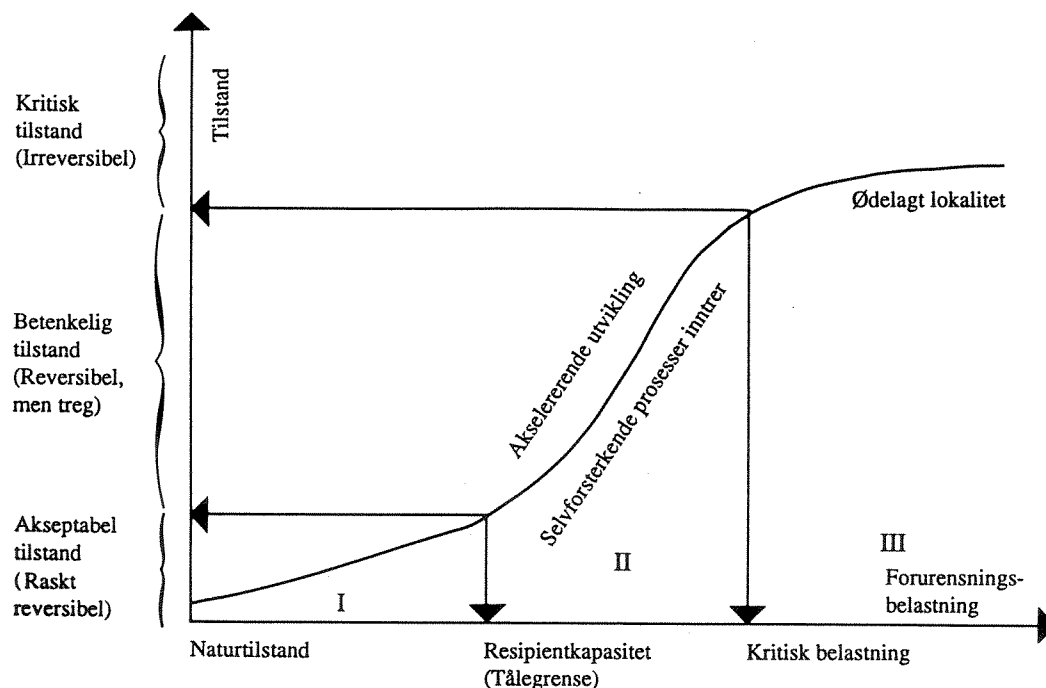


Fig.4. Generalisert forurensningsforløp. Naturtilstanden betegnes av origo.

Algeoppblomstringen i Mjøsa på 70-tallet er fortsatt i dag det klassiske eksempel på konsekvensene av økt næringstilførsel til en stor innsjø. Den negative utviklingen kulminerte i 1976 med store mengder av illeluktende variant av blågrønnalgen *Oscillatoria bernetii*. Mjøsaksjonen, som omfattet bygging av renseanlegg for alle byer og tettsteder, samt sanering av punktkilder i landbruk i hele Mjøsregionen, resulterte i at den negative

utviklingen snudde, og at forholdene nå er rimelig bra i Mjøsa.

Grunne innsjøer vil ofte kunne ha større konsentrasjoner av næringsstoffer til stede fra naturens side uten at problemer med dårlig vannkvalitet oppstår. Ytterligere tilførsler vil imidlertid raskt kunne få innsjøen i ubalanse med stor algeproduksjon og akselerert eutrofiering. I ekstreme tilfeller kan sikten i vannet bli så

dårlig at en får total utskygging av annen vannvegetasjon.

Ved større algeproduksjon utover det normale for innsjøen vil algesamfunnet ofte forandres ved å gå fra et samfunn med mange arter til et samfunn dominert av få arter. Blågrønnalger tar fort overhånd. Problemer med oppblomstring av giftige blågrønnalger er ikke en uvanlig følge av stor næringssaltbelastning til grunne innsjøer. I Norge er det flere tilfeller av at storfe har dødd av å ha drukket blågrønnalgeforgiftet vann. I ekstreme tilfeller vil en kunne få innsjøer som er grønne av alger i den isfrie perioden, og totalt oksygensvinn med fiskedød under isen om vinteren. Et typisk eksempel på dette er Østensjøvannet ved Oslo.

I grunne innsjøer vil en raskere kunne få endringer i artssammensetning av bunndyr og fisk som følge av endringer i planteplanktonsamfunn, vannkvalitet og lysforhold som en sterk eutrofiering innebærer. Fiskefaunaen endres gjerne til fullstendig dominans av karpefisk. Disse beiter ned dyreplanktonet som ellers hadde holdt en del av algeproduksjonen i sjakk ved beiting, slik at det blir mer alger også av denne grunn.

Både i grunne og middels dype innsjøer vil oksygensvinnet i dypvannet under vinterstagnasjonen, og delvis under sommerstagnasjonen kunne frembringe reduserende forhold i sedimentoverflaten. Sedimentets bindingskapasitet til fosfor avtar, og fosfor lekker ut i de ovenforliggende fri vannmasser. Man får igang en intern gjødsling. I grunne sjøer, hvor en stor del av de algeproduserende overflatelagene er i direkte kontakt med sedimentoverflata, får man også igang intern gjødsling ved at algeproduksjonen fører til at vannmassene får høy pH-verdi. Sedimentet mister da sin adsorptive kapasitet til fosfationer, og disse lekker ut til vannmassene og stimulerer algeproduksjonen. Ved kontroll av eutrofiering i grunne sjøer er det viktig å

holde de eksterne fosforbelastning under det nivået hvor slike interne gjødslingsmekanismer kan bli slått på. Dette nivået, med noe sikkerhetsmargin, er det vi i figur 4 kaller resipientkapasitet.

En moderat eutrofiering av grunne innsjøer fører ofte til en kraftig akselerasjon vegetasjonsetablering langs strendene. Sumpvegetasjonen kan raskere bidra til gjengroing fra land under slike forhold.

I rennende vann vil det være fastsittende alger og moser som først og fremst vil bidra til økt primærproduksjon som følge av økt næringstilførsel, spesielt i hurtigstrømmende elver, mens planteplankton og høyere vannvegetasjon vil ha mindre betydning i denne sammenheng. De sistnevnte vekstformer kan imidlertid få betydning i mer sakteflytende elver.

Tilførsel av næringssalter til en elv vil i første rekke fremme veksten av fastsittende alger. Det skal bare små konsentrasjonsøkninger til for å endre algesamfunnet betydelig både mht. mengde og artssammensetning. Grunnen til at det blir stor respons på selv ørsmå konsentrasjonsøkninger er at de fastsittende algene får stadig tilført nytt vann med ubrukte fosfationer. Selv om konsentrasjonen i vannet er lav, får algene tak i mange fosfationer pr. tidsenhet.

Endringen mht. sammensetning er gjerne i retning av mer næringskrevende arter og ofte mer generende vekstformer som til eksempel heldekkende grønnalgetepper på elvebunnen. I slike tilfeller kan ulemper som lokalt oksygensvinn, reduserte gyte, klekke, og oppvekstforhold for ørret og lakseyngel, samt utarming av bunndyrsamfunnet, utvikles. På den annen side kan en mindre økning av planteproduksjon i en elv i noen tilfeller også ha positive effekter ved at produksjonen av næringsdyr for fisk øker tilsvarende.

I sakteflytende elver vil flere arter av

høyere vannvegetasjon kunne få gunstigere vekstvilkår ved økt næringstilførsel og det er fare for en viss tilgroing med uønsket vegetasjon både i elva og langs bredden.

Den viktigste følgen av økt næringstilførsel er økt produksjon av organisk materiale. Dette er felles for alle resipienter. Det organiske materialet som er i overskudd, dvs. det som ikke nyttegjøres videre oppover i næringskjeden som mat, må brytes ned under forbruk av oksygen. Konsekvenser av denne prosessen blir omtalt i kapitlet organisk stoff - saprobiering.

### **Organisk Stoff - Saprobiering**

En følge av økt eutrofiering i en elv eller innsjø er større intern produksjon av organisk materiale. Dette kan til en viss grad nyttegjøres videre i næringskjeden, mens overskuddet vil kunne medføre problemer ved at det krever oksygen for å brytes ned. I tillegg til egenprodusert organisk materiale, vil resipientene tilføres eksternt produsert organisk materiale enten ved naturlig avrenning fra nedbørfeltet eller ved direkte utslipp fra menneskelig aktivitet.

Måten det organiske materialet omsettes på varierer fra resipient til resipient. Organisk materiale som produseres/tilføres resipienten utover det normale vil stort sett virke som en belastning på økosystemene.

Dype innsjøer har som regel en stor resipientkapasitet med hensyn på å kunne ta imot ekstra tilførsler av organisk materiale på grunn av de store oksygenreserver i dypvannet. For eksempel vil det være nærmest umulig å utarme oksygeninnholdet i den 450 m dype Mjøsa med dagens aktivitet i nedbørfeltet. En dyp innsjø vil derfor kunne tåle organisk belastning av en viss størrelse uten at problemer vil oppstå. Dette gjelder såvel økt intern produksjon som følge av en eutrofiering og eksternt utslippstilførsel.

Det organiske materialet vil enten brytes ned i vannfasen eller innkorporeres i bunn-sedimentet hvor det lagres og brytes ned over en lengere periode. På sikt vil imidlertid også større innsjøer reagere på økt organisk belastning alt avhengig av type organisk materiale som blir tilført.

Internprodusert organisk materiale som følge av økt primærproduksjon vil være plantemateriale som inneholder en rekke komponenter, også næringsstoffene fosfor og nitrogen. Dette gjelder også enkelte typer av eksternt tilført organisk materiale. Når plantematerialet brytes ned vil de enkelte stoffer igjen bli tilgjengelig for ny produksjon. En stadig økning av internprodusert plantemateriale vil derfor stadig øke mengden organisk materiale som skal brytes ned. Dette går bra så lenge oksygenreservene er store og en del av det organiske materialet går til sedimentet og lagres der. Den dagen det er mer organisk materiale til nedbryting enn det er oksygen tilgjengelig, vil oksygenvinn over sedimentoverflaten sørge for at en får utlekking av næringsstoffer som ligger lagret der og en får en innsjø som kommer i fullstendig ubalanse mhp. planteproduksjon. Man får intern gjødsling som nevnt under kapitlet om eutrofiering.

Eksterne tilførsler av organisk materiale til innsjøer dreier seg ofte om utslipp av spesielle typer av organisk avfall. Det kan for eksempel være fiberutslipp fra treforedlingsindustri eller annet tungt nedbrytbart materiale. Slike utslipp virker ødeleggende på selve innsjøbunnen ved at det stadig akkumuleres organisk materiale som ikke brytes ned. Dette gir opphav til en i verste fall livløs innsjøbunn eller en innsjøbunn med organismer som trives i oksygenfattige miljøer. De anaerobe nedbrytningsprosesser vil fullstendig ta overhånd og vil som regel gi opphav til betydelig gassbobling og luktproblemer som følge av råtnende organisk materiale.

Grunne innsjøer vil være mer utsatt for

negative effekter av økt tilførsel av organisk stoff fordi oksygenreservene i utgangspunktet er betydelig mindre, generelt og spesielt i stagnasjonsperiodene, og da særlig under isen på ettervinteren. Stor belastning kan føre til totalt oksygenvinn med påfølgende fiskedød og akselerert eutrofiering. Lengere perioder med oksygenvinn vil også føre til at andre dyre- og plantesamfunn får store problemer med å opprettholde en naturlig bestand slik at arter som er mer tolerante overfor perioder med lite oksygen eller totalt fravær av oksygen vil overta og næringskjedene endres. I grunne innsjøer vil en som regel merke organiske utslipp i større grad ved en mer synlig oppblomstring av sopp og bakteriebelegg og sjenerende lukt av råtnende organisk materiale.

I mange vannforekomster er fiskeproduksjonen begrenset pga. liten tilgang på mat. I de tilfeller hvor en får en økt produksjon av organisk materiale i en innsjø kan dette i noen grad få positive følger for de nedenforliggende vassdragsavsnitt i og med at en kan få et økende driv av dyreplankton ut av innsjøen som er mat for fisken i utløpselva. Likeså vil en økt tilførsel av eksternprodusert organisk materiale kunne bidra til økt bunndyrproduksjon og tilsvarende økt fiskeproduksjon i samme type vassdrag. Imidlertid er denne balansen vanskelig å bestemme, og organisk belastning ender som regel som et forurensningsproblem selv om det i små mengder kan være positivt.

I elver vil virkningen av organisk belastning i prinsippet ha flere av de samme effekter som i innsjøer. En vesens forskjell er likevel den kontinuerlige utskifting av vann som alltid vil sørge for at elve-resipienten har en viss evne til selvrensing. I en hurtigstrømmende elv vil den mest markerte virkning være like nedstrøms et utslippspunkt. Avhengig av type utslipp og størrelsen av utslippet i form av mengde organisk materiale i forhold til vann-

føringen i elva vil lengden av elvestrekningen som blir berørt variere.

Ved konsentrerte utslipp kan en få lokalt oksygenvinn nær utslippspunktet, spesielt dersom det organiske materialet i noen grad sedimenterer og blir liggende. Her vil en da få et markert skifte i flora og bunnfauna fra oksygenkrevende arter til spesialister på oksygenfattige forhold. Fisk vil naturlig søke vekk fra slike områder. Et naturlig plantesamfunn bestående av moser og alger vil raskt kunne skiftes ut med store, ofte illeluktende tepper av sopp og bakterier som lever av å bryte ned organisk stoff. Sopp slekten fusarium lager ofte vond lukt nedstrøms utslipp av lett nedbrytbart organisk materiale, f.eks. fra cellulosefabrikker.

Med økende avstand nedstrøms utslippsstedet vil det forurensede preget gradvis forsvinne som følge av selvrensing og fortykning, dersom det ikke skjer tilførsel av nye utslipp.

Tilførsel av organisk stoff vil ha større negative konsekvenser i en saktestrømmende elv i forhold til i en hurtigstrømmende. Dette skyldes i vesentlig grad mindre fortykning og lengere oppholdstid av forurensningen på stedet. I tillegg vil elvebunnen ofte ha et mer finkornet substrat og i mange tilfeller fungere som en innsjøbunn. Belastningen m.h.p. oksygenforbruk blir større lokalt og en vil i større grad kunne få en råttne oksygenfattig elvebunn med gassbobling og luktproblemer. Spesielt utsatt kan være elvestrekninger med dype kulper hvor organisk materiale sedimenterer.

Kombinasjonen med liten vannføring og høy temperatur i vannet om sommeren vil i slike tilfeller kunne skape vanskelige oksygenforhold, spesielt for fisk. I småelver i jordbruksstrøk var det tidligere svært vanlig at det ble innrapportert tilfeller av fiskedød som følge av utslipp av silosaft. Dette forholdet har bedret seg betydelig

som følge av pålagt oppsamling av silosaften i moderne siloer, men det skjer fortsatt uhellspregede silosaftutslipp. Særlig i varme somre med liten vannføring var problemet stort. Silosaften består av svært lettoksyderbart organisk materiale som raskt bruker opp oksygenet i vannet.

### Forsuring

En forsuring betyr i denne sammenheng en endring av opprinnelig vannkvalitet i retning av redusert syrenøytraliserende kapasitet og lavere pH. Vannkjemien omkring forsuring er av kompleks natur og ikke alltid like entydig. Generelt kan en likevel si at endringen består i første rekke av en økning av sulfat-ioner, nitrat-ioner og hydrogen-ioner samt en reduksjon av bikarbonat-ioner. En økning av aluminium i vannet er også en vesentlig faktor. Dette er felles for alle typer resipienter og vil i hovedsak ha de samme virkninger over alt.

Utslaget i form av lav pH blir først markant etter at forsuringen har pågått så lenge at vannets bufferkapasitet er brukt opp/nesten brukt opp. Vannets bufferkapasitet er hovedsakelig bestemt av bikarbonatinnholdet, som igjen er bestemt av nedbørfeltets geologi. Kalkrike områder med mektige løsavsetninger vil være meget motstandsdyktig mot forsuring, mens grunnfjellsområder med skrint jordsmonn vil være følsomme.

I store dype innsjøer vil en forsuring i første rekke endre sammensetningen av det biologiske liv i innsjøen. Planteplanktonsamfunnet endres og reduseres, mens en ofte får en økt algevekst i form av fastsittende begroing i strandsonen trolig som følge av at det er blitt mindre beitedyr pga. for surt vann. Sleipe steiner i strandsonen og "grønske" i fiskegarn er synlige tegn på dette. Naturlige næringsdyr for fisk vil kunne forsvinne slik at også fiskebestanden reduseres sterkt og kan dø ut. Den viktigste faktoren som fører til fiskedød er imidlertid den økte utvaskingen av

aluminium fra nedbørfeltet som følge av sur nedbør. Under perioder med rask skiftning av pH (f.eks. en sur regnværsperiode), vil aluminium kunne forekomme på sterkt giftige tilstandformer. En effekt av redusert planktonbiomasse er klarere vann og stort siktedyp, noe som estetisk virker gunstig, men som samtidig ofte betyr en "livløs" innsjø uten fisk.

Ofte blir store dype innsjøer brukt som drikkevannskilde. I denne sammenheng vil surt vann medføre flere uheldige forhold. Man får økt utvasking av aluminium fra nedbørfeltet, samt økt korrosjon og tæring på ledningssystemer og sanitærinstallasjoner.

Effekter av forsuring i grunne innsjøer vil være de samme som i dype innsjøer da det er endringer i den kjemiske sammensetning av vannet som er utslagsgivende. Grunne innsjøer vil som regel bli tidligere påvirket enn dype innsjøer pga. mindre oppholdstid og ofte mindre nedslagsfelt. Innsjøer høyt oppe i nedbørefeltet er mest utsatt.

Ved en forsuring vil nedbrytning av organisk materiale gå langsommere, bl.a. fordi sopp vil ha større betydning i denne prosessen i forhold til bakterier. Resultatet kan bli en gradvis økning av organisk materiale i sedimentet. Dette vil ha større konsekvenser i grunne innsjøer i forhold til dype innsjøer. Generelt vil det være større fare for negative konsekvenser av tilførsel av organisk materiale til forsuredde resipienter i forhold til ikke forsuredde.

Effekter av forsuring i en elv er først og fremst relatert til fisk og dens evne til å overleve. Generelt vil det være slik at rogn og yngel av gytefisk er mer utsatt enn voksen fisk. Her vil det være liten forskjell på saktestrømmende og hurtigstrømmende elver. Hurtigstrømmende elver er helt nødvendig for naturlig reproduksjon og oppvekst av laks og ørret. I elver som er

kraftig forsuret vil det være umulig for fisk å leve.

I elver som er svakt påvirket av forsuring eller ligger i forsuringfølsomme områder, er fisken i konstant fare for å dø ut ved at episoder med sterk forsuring kan oppstå. Et eksempel på dette er såkalte surstøt i et vassdrag i forbindelse med snøsmelting om våren eller lokalt kraftig regnskyll av sur nedbør om høsten. I slike områder vil reproduksjonen ofte være vanskelig å få til selv om voksen fisk kan overleve. I tillegg til at det sure vannet rammer fisken direkte, kan også næringsgrunnlaget for fisken bli borte ved at viktige dyregrupper faller ut. Det er også tegn som tyder på at det også blir store endringer i algesamfunnet som følge av en forsuring av elva.

Fiskedød som følge av forsuring synes helt klart å være knyttet til økt innhold av giftige former for aluminium i det sure vannet. Humusvatn, dvs. brunfarget myr- vatn, er mer motstandsdyktig mot forsuringsskader enn klare vatn, hovedsakelig som følge av at humus binder de giftige aluminiumsforbindelsene.

### Miljøgifter

I dype innsjøer hvor oppholdstiden for vannet ofte er flere år vil tilførsel av miljøgifter i tillegg til å kunne ha en akutt gifteffekt lokalt nær utslippsstedet, i stor grad ha mulighet til å akkumuleres i både innsjøsedimenter og i de biologiske næringskjeder. Innsjøsedimentene vil delvis konservere de tungt nedbrybare miljøgiftene, men de kan i ulik grad, avhengig av situasjonen, mobiliseres til næringskjedene. F.eks. vil økt deponering av organisk materiale (eksempelvis gjennom en eutrofiering) på en kvikksølvforurenset innsjøbunn kunne føre til økt mobilisering av kvikksølv til næringskjedene. Økt forsuring vil kunne mobilisere flere andre tungmetaller.

Konsekvensene av akkumulering i de

biologiske næringskjeder vil være at bl.a. fisk vil inneholde for store konsentrasjoner av ulike miljøgifter til at det er forsvarlig å nytte den som matkilde både for mennesker og dyr. I sin ytterste konsekvens kan bestander av enkelte plante- og dyregrupper gradvis utarmes, bl.a. på grunn av manglende reproduksjonsevne som følge av for stor intern giftbelastning.

Ulike miljøgifter kan virke ulikt på forskjellige arter av samme dyre- og plantegruppe. En snakker da om arts- spesifikke giftstoffer. De fleste plantevern- midlene er slike selektive stoffer. Følgen av dette kan være at enkelte arter rammes ensidig, mens andre overlever. Diversiteten blir mindre. Det kan på den måten skapes endrede konkurranseforhold og ubalanse i økosystemet ved at f.eks. nyttige arter blir borte, mens unyttige blomstrer opp.

Miljøgifter vil ha de samme virkninger i grunne som dype innsjøer. På grunn av mindre oppholdstid vil graden av akkumulering i sedimentene ofte være mindre, dvs. at om utslippene stanses, vil forholdene raskere bedres bl.a. som følge av omplassering av sediment. Samtidig vil eventuelle akutte giftvirkninger slå kraftigere ut enn i dype innsjøer.

Utslipp av akutt-toksiske miljøgifter til en elv vil i stor grad påvirke elva sterkest lokalt nær kilden hvor hele plante- og dyresamfunn kan bli offer for akutt forgiftning med døden til følge. Resultatet blir livløse partier i elva. Alt etter konsentrasjon på utslipp og vannføring i elva vil normalt fortynningen gradvis redusere skadeeffektene jo lenger nedstrøms utslippspunktet en kommer. Flere av våre gruveforurensete elver er eksempler på dette. En viss form for akkumulering av miljøgifter i næringskjeden er også til stede i en hurtigstrømmende elv selv om vannutskiftingen er stor. Størst effekt i form av akkumulert gift blir i tilfeller med

vedvarende konstante utslipp.

I en hurtigstrømmende elv vil eventuelle skader etter en episode med et konsentrert utslipp av miljøgifter lettere og ofte raskere kunne "repareres" i forhold til en tilsvarende episode i andre resipienter. Årsaken til dette er den betydelige vannutskiftingen som raskt kan både renske bort forurensningen og lette nykolonisering ved effektiv transport.

Tilførsel av ulike miljøgifter i en saktestrømmende elv vil få større negative konsekvenser i forhold til en hurtigstrømmende. Miljøgiftene vil i større grad kunne oppholde seg lengere og mer konsentrert i vannmassen og på den måten ramme dyre og planteliv akutt i sterkere grad. Det er også større sansynlighet for at miljøgifter blir akkumulert i elvebunnen i slike elver, noe som på sikt vil kunne utarme/kontaminere både plante og dyrelivet der.

Mens store engangutslipp forholdsvis raskt renskes ut av systemet i en hurtigrennende elv, vil det i en saktestrømmende elv kunne akkumuleres giftige forbindelser i sedimentet som over lengere tid vil kunne lekke ut mindre konsentrasjoner. Dette medfører muligheten for en gradvis akkumulering av miljøgifter i organismesamfunnene og en mer langsom negativ utvikling for de enkelte arter.

### **Partikkelforurensing**

I store og dype innsjøer, som fungerer som sedimentasjonsfeller, vil tilførsel av partikler oftest påvirke vannkvaliteten i form av endret farge og grumsethet lokalt nær kilden. Senere vil partiklene sedimentere og bli liggende på bunnen av innsjøen. Store tilførsler medfører en dannelse av ny innsjøbunn og et stadig grunnere innsjøbasseng.

Alt etter kvaliteten på partiklene vil det biologiske livet i innsjøen bli påvirket.

Erosjonsmateriale fra jordbruksarealer består av slepne avrundede partikler, men nyknust fjell gir skarpe partikler. Det er flere tilfeller av fiskedød som følge av avrenning fra sprengningsarbeider, knusing, tunnelboring, etc. den senere tid. Det ser ut til at bløte bergarter som grønnstein og kleberstein gir langt mer farlige partikler enn harde bergarter som f.eks. granitt og gneiss.

Man snakker om direkte og indirekte partikkelskader.

Ved de direkte skadene skjer det skader på gjellene ved at nålformede og skarpe partikler penetrerer gjelleepitelet. Dette svulmer, utsondrer slim, og resultatet blir at fiske blir stresset av åndenød, og får økt dødlighet. I forbindelse med utsprengingen av fjellhallene for forhåndslagring av NATO-utstyr i Nord-Trøndelag skjedde det betydelig fiskedød av denne grunn.

De indirekte skadene kommer først og fremst som følge av tilslamming av bunnområder. Bunnslammet blir da lite egnet som tilholdssted for bunndyr, særlig de som lever som "meitemarken", dvs. av å spise slam og fordøye det organiske materialet som er der. ved tilslamming med uorganiske partikler blir næringsverdien i slammet nærmest lik null. I forbindelse med bergverksdrift med nedknusing av fjell, ble Huddingsvatn i Nord-Trøndelag nærmest tomt for både fisk og bunndyr av denne grunn. Det samme skjedde i Ustedalsfjorden og Strandafjorden i Hallingdal under anleggsarbeidene i forbindelse med Ustereguleringen i Hallingdal.

Tilslamming av gyteområder i både elv og innsjø kan være årsak til at fiskebestaden går ned ved eb tilslamming. Ørret, laks og røye gyter mest hyppig i relativt "grov singel", hvor fri vannbevegelse mellom steinene er helt nødvendig for å skaffe oksygen til larvene den første tiden etter klekking. Tilslamming med finpartikler



ned i mellom steinene kan være svært alvorlig.

Partikler kan ha bunnet til seg stoffer i form av næringsalter og også miljøgifter som har sine effekter i tillegg til selve partiklene. Tungmetallholdige gruve-partikler er eksempel på slike. Næringsrike erosjonspartikler fra intensivt drevne jordbruksområder vil kunne gi eutrofierings-effekter.

Partikler vil endre lysforholdene i vannmassen ofte med utskyggingseffekter som følge der planktonsamfunnet raskt kan endres.

Partikkelforurensning vil i store trekk ha de samme virkninger i grunne som dype innsjøer. En viktig forskjell er at materiale som sedimenterer i en grunn innsjø lettere kan bli gjenstand for resuspensjon, dvs. at materialet kommer ut i vannmassene igjen som følge av vindindusert strøm og bølgebevegelser. I slike innsjøer vil en tidligere episode med partikkelforurensning stadig kunne komme tilbake.

Partikkelforurensning vil som regel være et forbigående fenomen i en hurtigstrømmende elv dersom det ikke dreier seg om et vedvarende utslipp. På samme måte som en naturlig flom vil elva bli grumsete til å begynne med før den igjen klarer opp da det finpartikulære materialet enten har sedimentert eller er blitt transportert ut av elva.

I elver med en forholdsvis ren bunn, dvs. en bunn med stein og grus vil partikler i form av finmateriale i liten grad kunne sedimentere og dermed forandre på elvebunnen. I elver hvor det er til stede en del vegetasjon som vannmoser og alger vil disse elementene kunne virke som filtere for finpartikulært materiale som dermed kan holde tilbake og delvis akkumulere sediment. Dette kan over tid føre til større mer eller mindre stabile endringer av elve-

bunnen som kan påvirke gyteforhold for fisk og habitat for enkelte bunndyrgrupper.

Problemene omkring sedimentasjon og nedslamming vil være mer utbredt i saktestrømmende elver enn i hurtigstrømmende elver. I sin ytterste konsekvens vil elva kunne forandre løp pga. store mengder materiale som sedimenterer og gradvis endrer elveprofilen.

### **Bakterieforurensning**

Virkningen av bakterieforurensning, eller mikrobiologisk belastning i resipienten er først og fremst knyttet til spredning av sykdomsfremkallende mikroorganismer både for dyr og mennesker, og går direkte på egnetheten av resipienten til ulike bruksformål.

I en dyp innsjø vil ofte problemer knyttet til mikrobiologisk forurensning være størst i overflatelagene nær utslippsstedet, da spredningen er begrenset ut fra strømforholdene og sjiktningsforhold i innsjøen. Flere typer av sykdomsfremkallende mikrober vil dessuten ha begrenset levetid under de rådende forhold i en ferskvannsresipient, noe som reduserer muligheten for stor og effektiv spredning. Dypvannet i store innsjøer er derfor ganske godt beskyttet mot bakteriologisk forurensning, og er av den grunn mye nyttet som råvannskilde for drikkevann. Under sirkulasjonsperiodene vår og høst finner man imidlertid ofte tarmbakterier i råvannet selv fra store dyp.

Innsjøer som har oppdrettsanlegg vil kunne være en stor smittekilde til hele vassdraget både oppstrøms og nedstrøms dersom sykdomssmittet fisk rømmer fra anlegget. Dette kan ramme vassdragets naturlige fiskebestand i stor grad.

Mikrobiologisk forurensning vil ha de samme effekter i grunne som dype innsjøer. Faren for spredning kan være noe

større da gjennomstrømning og oppholdstid for vannet ofte er mindre enn i dype innsjøer. På den annen side brukes grunne innsjøer sjelden som drikkevannskilde.

Mikrobiologisk forurensning vil ha størst virkning i en hurtigstrømmende elv hva spredning angår. Her vil også de tyngste partiklene som cyster og egg av invollsparasitter kunne spres relativt langt. Det er ved drikkevannsuttak fra elv at man har de største bakterieproblemer. Eksempler på dette er tidligere Ringerike vannverk som tok vann direkte fra Begna, samt Notodden vannverk som tar vann direkte fra en utbuktning i Tinnelva.

Det finnes eksempler i Norge på at bakterier som er tilført elva ved kloakkslipp er blitt funnet igjen på frukt, bær og grønnsaker hvor elvevannet nedstrøms er brukt direkte til jordvanning. Lierelva ved Drammen er et eksempel på dette.

Virkingen av mikrobiologisk forurensning vil være den samme i sakteflytende som for hurtigstrømmende elver med unntak av noe redusert spredningshastighet og utbredelse.

### Vassdragsreguleringer

Ved moderate innsjøreguleringer, dvs. at vannstanden bare i liten grad er påvirket, vil det være svært små effekter av en innsjøregulering. Med økende endring i vannstanden ut over det normale vil de negative effektene gradvis bli større. Det er i første rekke forhold for livet i strandsonen som endres. Strandsonen blir sterkt utsatt for tørrlegging og erosjon, noe som medfører en stadig utvasking av finmateriale til dypere områder i innsjøen. Dette gjør at vannvegetasjon og bunndyr-samfunn vanskeligere kan klare seg og vil i sin ytterste konsekvens forsvinne helt.

En direkte effekt av dette vil være redusert

ørretbestand som på denne måten får sine beiteområder ødelagt. Det aller meste av "ørretmaten" (bunndyr) produseres i innsjøens strandsone ned til 5-6 meters dyp. Blir vannstandsvariasjonene større enn dette, blir det alltid dramatisk fall i ørretproduksjonen etter en regulering.

Stadig erosjon i strandsonen vil i mange tilfeller også gi en redusert vannkvalitet mhp. økt partikkelinnhold og konsekvenser av dette.

Mye av de samme effekter vil oppstå i grunne som dype innsjøer. Grunne innsjøer vil ofte ha større gruntvannsområder enn dype innsjøer. Følgelig vil effekten av periodevis tørrlegging være større i slike sjøer som igjen får store konsekvenser for livet i strandsonen. I tilfeller hvor grunne innsjøer brukes som deler av tilførselsnett til andre magasiner eller som resipient for turbinvann fra kraftstasjoner kan en få betydelig endringer i vannets oppholdstid i sjøen som igjen vil påvirke både vannkvalitet, dyreliv og biologiske næringskjeder.

Det finnes mange eksempler på innsjøer som har fått redusert resipientkapasitet som følge av overføringer av høyere-liggende deler av nedbørfeltet ("rentvannsdelen", eller fortynningsvann) til andre nedbørfelt i forbindelse med reguleringer. Sundkilen i Kviteseid kommune i Telemark er et eksempel på dette.

Vassdragsreguleringer påvirker elvene ved endringer i vannføring utover det som er en naturlig variasjon forårsaket av årstider, vær og vind. Elver som er resipienter for turbinvann fra kraftverker vil i mange tilfeller ha stor vannføring om vinteren i stedet for en normal minstevannføring. Dette har stor betydning for både plante- og dyreliv i elva som får stabile gode forhold og mindre årstidsvariasjon enn normalt. Motsatt kan de samme elvene være utsatt for en sterk reduksjon i normal vår- og sommervannføring da kraftverket

står stille som følge av lite behov for sommerkraft. Vannet som normalt skulle ha rent i denne perioden brukes da i stedet til å fylle opp reguleringsmagasinene.

Mindre vann i elva medfører at virkninger av forurensende tilførsler som bl.a. næringssalter, organisk stoff og miljøgifter blir større i denne perioden. Et eksempel er perioder med lav vannføring sommerstid da fisken blir henvist til kulpene i elva. Organiske utslipp f.eks. fra landbruksaktiviteter (f.eks. silosaft) kombinert med høy temperatur og liten vannføring vil da lett føre til oksygensvikt i kulpene med fiskedød til følge.

Typisk for en regulert elv er en utjevnet stor vannføring i vinterhalvåret og en lav stabil minstevannføring i sommerhalvåret. Erfaring viser at manglende utspyling og opprensning av elvebunnen som de naturlige store flommer i en uregulert elv sørger for, kan medføre en økning i begroing på elvebunnen i en regulert elv. Krysiveksplosjonen i Otra er et eksempel på dette problemet.

Reduksjon i vannføringen i en elv, enten i

sommerhalvåret eller permanent hele året, reduserer det fiskeproduserende arealet. Som kompensasjon bygges det terskel-dammer som øker arealet av vannspeilet. Da det imidlertid er arealet av strykpartier som er viktigst med tanke på bunndyrproduksjon ("fiskematproduksjon"), kan disse tiltakene ikke kompensere for nedsatt fiskeproduksjon.

Det er også vanlig med elvestrekninger som er helt, eller periodevis tørrlagte etter en regulering. Nedre del av Hemsila i Hallingdal er et eksempel på dette. I slike systemer kan ikke fisk leve. I innsjøer hvor dette hender med gytebekker, vil rekrutteringen svikte. Denne kompenseres for ved utsettinger som ofte er en del av konsesjonsbetingelsene.

Vassdragsreguleriger vil virke på samme måte i hurtigstrømmende og saktestrømmende elver. Problemer omkring erosjon i strandkanten kan være mer fremtredende ved store og hyppige endringer i vannføring. Eksempel her er kraftverk med elvemagasiner som kjøres med periodiske døgnvariasjoner.

---

**NIVA** 

**Norsk institutt for vannforskning**

Postboks 173 Kjelsås, 0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00 Fax: 22 18 52 00

ISBN 82-577-2420-3