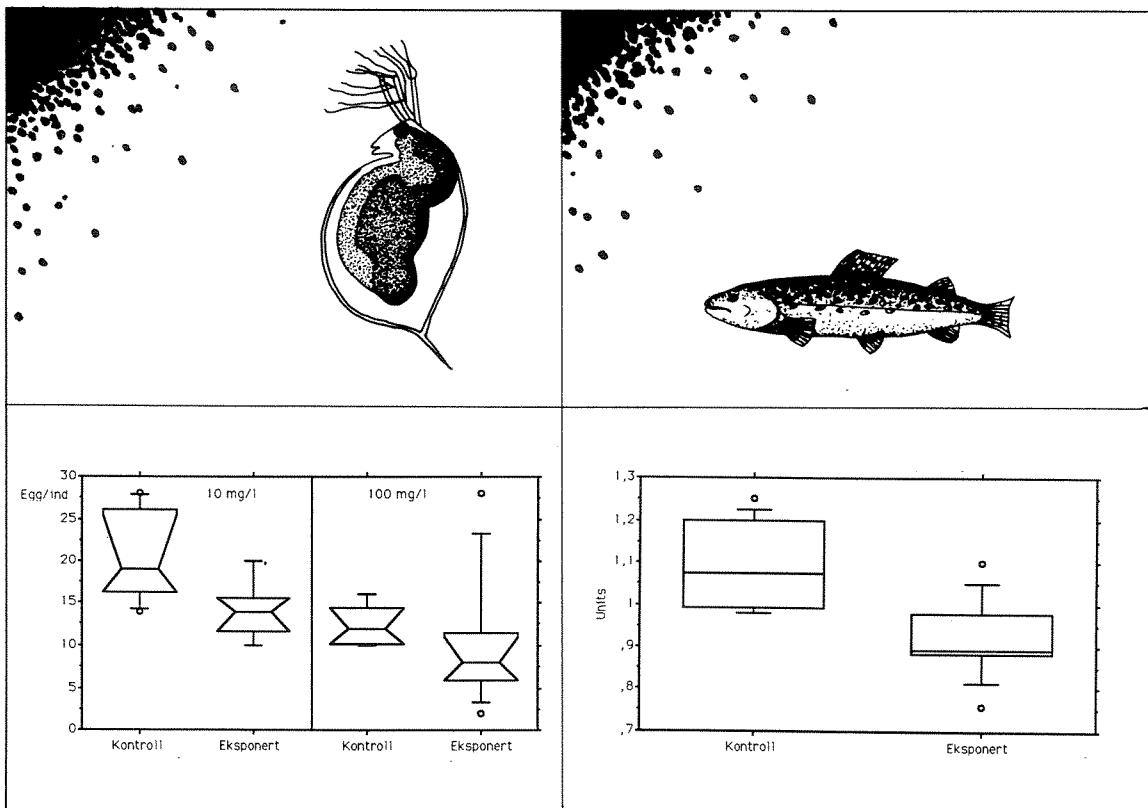


0-89179

# Uorganiske partikler i vann

## Effekter på fisk og dyreplankton



# NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

Prosjektnr.: O-89179	Undernr.:
Løpenr.: 2787	Begr. distrib.:

<b>Hovedkontor</b> Postboks 69, Korsvoll 0808 Oslo 8 Telefon (47 2) 23 52 80 Telefax (47 2) 95 21 89	<b>Sørlandsavdelingen</b> Televeien 1 4890 Grimstad Telefon (47 41) 43 033 Telefax (47 41) 44 513	<b>Østlandsavdelingen</b> Rute 866 2312 Ottestad Telefon (47 65) 76 752 Telefax (47 65) 78 402	<b>Vestlandsavdelingen</b> Breiviken 5 5035 Bergen - Sandviken Telefon (47 5) 95 17 00 Telefax (47 5) 25 78 90	<b>Akvaplan-NIVA A/S</b> Søndre Tollbugate 3 9000 Tromsø Telefon (47 83) 85 280 Telefax (47 83) 80 509
--	---	--	--	--

Rapportens tittel: Uorganiske partikler i vann; effekter på fisk og dyreplankton.	Dato: 10.9. 1992	Trykket: NIVA 1992
	Faggruppe: Vassdrag	
Forfatter(e): Dag Hessen	Geografisk område:	
	Antall sider: 42	Opplag: 50

Oppdragsgiver: NVE/Konsesjonsavgiftsfondet	Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):
---	----------------------------------

Ekstrakt:


Effekter av uorganiske partikler (breslam og borstøv) ble testet i ulike konsentrasjoner på fisk (ørretyngel) og dyreplankton (Daphnia). Dødelighet, kondisjon og mekaniske skader på gjeller og filterapparat ble undersøkt og sammenholdt med litteraturdata. Mens fisk tåler kortvarig eksponering for høye partikkelkonsentrasjoner (>1000 mg/l), ble det påvist skadeeffekter hos dyreplanktonet alt ved 10 mg/l. For fisk synes tilslamming av gytetroper og redusert tilgang på føde (bunndyr og zooplankton) å være de viktigste effekter.

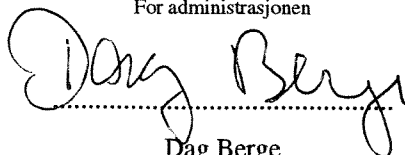
4 emneord, norske

1. Partikler
2. Toleranse
3. Fisk
4. Zooplankton

4 emneord, engelske

1. Particles
2. Tolerance
3. Fish
4. Zooplankton

Prosjektleder  
  
Dag Hessen

For administrasjonen  
  
Dag Berge

ISBN 82-577-2172-7

**NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING**

**O - 89179**

**UORGANISKE PARTIKLER I VANN;  
EFFEKTER PÅ FISK OG DYREPLANKTON**

Prosjektleder: Dag Hessen  
Medarbeider: Sigbjørn Andersen

## FORORD

Uorganiske partikler i bredpåkirkede og erosjonsutsatte vassdrag er et velkjent fenomen i Norge. Mange av disse vassdragene har lav produksjon av fisk og bunndyr, men dette er akseptert som et naturlig fenomen, og det vil i de fleste tilfelle hverken være ønskelig eller praktisk mulig å fjerne dette "problemet". I de senere år er partikkelforensning som følge av ulike typer anleggsvirkosomhet (knuseverk, veifyllinger, tunellsprengning, kraftutbygging) og arealbruk (høstpløying, drenering, fjerning av kantvegetasjon) blitt et økende problemområde med et økende kunnskapsbehov. Det finnes spredt informasjon om effekter av uorganiske partikler i vann, men det er svært lite systematisert kunnskap om effekter av ulike partikkeltyper på ulike akvatiske organismer.

Det er mange variable som må testes for å gi en slik enhetlig oversikt. Denne undersøkelsen griper fatt i endel av dette problemet, og har hatt som siktemål å øke kunnskapen om effekter av to vanlige partikkeltyper, leirslam som en "naturlig" partikkeltype og borstøv/sprengsteinspartikler fra tunnellarbeid. Det er studert korttidseffekter (dager-uker) på ørret og zooplanktonet *Daphnia magna*. Hovedvekten er lagt på elektronmikroskopiske undersøkelser av gjeller og filterapparat for å studere eventuelle mekaniske skadeeffekter. En oversikt over eksisterende kunnskap på området er også gitt i den generelle diskusjonen til slutt.

Dette er som nevnt bare en lite del av et stort problemkompleks, men jeg vil takke Konesjonsavgiftsfondet ved NVE for prosjektstøtte som har gjort det mulig å gjennomføre disse undersøkelsene. Oslomarka Fiskeadministrasjon (OFA) har velvilligst bidratt med fisk til eksperimentene.

## SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

- Effekter av uorganiske partikler (breslam og borstøv/sprengsteinspartikler) ble testet på yngel (2 +) av ørret og krepsdyrplanktonet *Daphnia magna*. Forsøkene med fisk ble gjennomført i to ulike forsøksoppsett: et rennesystem med gjennomstrømmende vann og fluktuerende partikkeltetthet og et karforsøk med tilnærmet konstant partikkelkonsentrasjon. Det ble benyttet konsentrasjoner på 50, 250 og 500 mg tørrstoff per liter av begge partikkeltyper. For *Daphnia* ble forsøkene utført i kolber med nær konstant partikkelkonsentrasjon (10 og 100 mg/l).
- Kondisjonsfaktor (K-) hos fisk ble signifikant redusert ved de høyeste partikkelkonsentrasjonene av både breslam og borstøv så lenge temperaturen var lav. I karforsøket, hvor fisken ikke ble foret, ble K-faktoren redusert ved partikkeleksponering ved 8 °C. Ved 15 °C var K-faktoren lav også hos kontrollgruppa, her ble effekten av partikkelstress overskygget av respirasjonstapet.
- Lysmikroskopiske undersøkelser viste ingen effekter på gjellevev ved eksponering for breslam, og bare små effekter ved den høyeste konsentrasjonen av borstøv. Elektronmikroskopiske undersøkelser bekreftet at det generelt var små effekter av partikkeleksponering. Svulne sekundærlameller ble påvist hos noen fisk både av kontrollgruppa og eksponerte, og kan antakelig forklares med høye ammoniumkonsentrasjoner i vannet.
- *Daphnia* ble bare testet for borstøv. Arten fikk noe redusert overlevelse av juvenile ved 10 mg tørrstoff/l, og nesten total dødelighet av juvenile ved den høyeste partikkelkonsentrasjonen (100 mg/l). Det ble ikke observert økt dødelighet hos adulte ved 100 mg/l, og bare svakt redusert eggproduksjon. Det ble funnet en betydelig økt egenvekt hos partikkeleksponerte individer som følge av inntak av partikler. Effekten var størst (30 %) ved lav fødekonsentrasjon - og høy beitehastighet.
- Elektronmikroskopiske undersøkelser kunne ikke påvise noen mekanisk skade på filterapparatet hos *Daphnia* selv ved eksponering for 250 mg tørrstoff/l.

Ut fra undersøkelsene og litteraturgjennomgang konkluderes det med at fisk (her ørret) kan tåle en betydelig akutt partikkeleksponering (~ 1000 mg/l) uten at økt dødelighet eller gjelleskader inntreffer. Et unntak er eksponering for fiberaktige partikler. Indirekte effekter som endret bunnsubat og oksygensvikt i gytetroper (rogn og yngeldød), samt redusert tetthet av næringsdyr synes primært å bestemme grenseverdiene for partikkeltoleranse på populasjonsnivå. Her vil konsentrasjoner på under 100 mg/l kunne gi effekter. Filtrerende dyreplankton er en sensitiv gruppe, hvor effektene allerede ved 10 mg/l er påvisbare, og ved 50 mg/l er betydelige. Redusert fødeinntak og dødelighet hos juvenile synes her å være de viktigste effekter.

## SUMMARY AND CONCLUSIONS

- The effects of inorganic particles (glacial ooze and particles from tunnel mining) was tested on fry (2+) of brown trout and the crustacean zooplankton *Daphnia magna*. The fish experiments were performed in two different set-ups: a raceway system with flowing water and oscillating particle density and a series with tank experiments with more constant particle concentrations. In these experiments fish was exposed to particle concentrations of 50, 250 and 500 mg dry-weight (DW) per liter. The *Daphnia* assays were performed in beakers with near constant particle concentrations of 10 and 100 mg DW per liter.
- The K-factor (Fultons factor) in fish was significantly reduced at the highest particle concentrations of both clay and tunnel particles when temperature was low. In the tank experiments, where the fish was not feeded, the exposed fish obtained a decreased K-factor relative to the control at 8 °C. At 15 °C, the K-factor decreased in the control group as well, and the effect of particles was overruled by respiratory losses (high temperature, no feeding).
- Examinations in light microscope indicated no effects on gills in the groups exposed to clay particles, and only minor effects on those exposed to the highest concentrations of tunnel particles. Scanning electron microscopy confirmed that only minor effects of particle exposure could be detected. Swollen secondary lamellae was recorded in some individuals both in the exposed and control groups, and could probably be accredited the high concentrations of ammonium in the water.
- *Daphnia* was only tested for the effect of tunnel particles. This species had decreased juvenile survival at 10 mg particles (DW)/l, and almost complete juvenile mortality at 100 mg DW/l. Adult mortality was low and there was only slightly reduced egg-production even at 100 mg DW/l, indicating that juvenile mortality rather than decreased fecundity was the population bottleneck. Individuals feeding in a particle suspension gained increased weight. This effect was most pronounced (30 % increase) at low food concentrations - and subsequently high ingestion rates.
- Examination in Scanning electron microscopy did not reveal any mechanical injuries on the filtering setae of *Daphnia*, even at particle concentrations of 250 mg DW/l.

Based on these studies, as well as a literature survey, it may be concluded that fish (here brown trout) may sustain rather heavy (~ 1000 mg/l) short term (days-weeks) particle exposure without acute death or severe gill damage. An exception is exposure to fibre-like particles. Sub-lethal stress and increased respiratory costs may be induced at far lower levels however. Indirect effects like changes in bottom substratum, oxygen depletion for eggs and fry and decreased availability of food (benthic invertebrates) seem to be the major determinants for particle tolerance at the population level. In this regard,

even concentrations below 100 mg/l may induce detrimental effects. Filter-feeding zooplankton is a sensitive group, where the effects are observable at 10 mg/l and pronounced at 50 mg/l. Decreased ingestion rates and juvenile mortality are the major effects for this group.

## INNLEDNING

Det finnes en lang rekke studier omkring betydningen av organiske partikler (alger, bakterier, detritus) på akvatiske organismer. I en biologisk sammenheng har betydningen av uorganiske partikler vesentlig blitt vurdert ut fra effekter på optiske forhold og lysgjennomtrengelighet i vann, og dermed på primærproduksjon (fotosyntese) hos planktonalger og bunnvegetasjon. De direkte effekter på høyere trofiske nivå (dyreplankton, bunndyr, fisk) er dårligere kjent. Betydelige mengder av suspenderte partikler i form av breslam eller erosjonspartikler er et velkjent fenomen i mange norske vassdrag, og selv om de direkte biologiske effekter i liten grad er studert, er det en generell trend at partikkelpåvirkede elver og innsjøer har en lav produksjon av fisk. Kraftutbygging, veiskjæringer og annet anleggsarbeid har de senere år gjort partikkeltransport til et betydelig problem også i andre vassdrag. I tillegg kommer så en økt erosjons- og sedimenttransport i mange lavereliggende vassdrag, spesielt med marine leireavsetninger, som følge av endrede driftsmetoder i landbruket (bakkeplanering, høstpløying, fjerning av kantvegetasjon langs vassdrag). En generell trend med milde vintre og høy vintervedbør har også de senere år ført til en betydelig økt sedimenttransport, noe som vil manifesteres dersom man får mer permanente klimaendringer.

Mens de estetiske problemer er åpenbare, er de biologiske effekter og problemer mindre kjent. Fordi det dreier seg om partikler med høyst forskjellig størrelse, morfologi og geologisk bakgrunn, kan man ikke uten videre overføre kunnskap fra et vassdrag til et annet. Videre er det snakk om vidt forskjellige organismesamfunn som eksponeres for betydelig spenn i konsentrasjoner og med variabel regularitet. Mens f.eks. enkelte østnorske fiskesamfunn er tilpasset en relativt høy, naturlig bakgrunnskonsentrasjon av partikler, vil lethale effekter kunne oppstå ved langt lavere konsentrasjoner hos laksefisk i en lokaliteter med lave bakgrunnskonsentrasjoner av partikler.

Begrepet partikler brukes upresist om ikke-løste aggregater av variabel størrelse. Begrepet inbefatter som nevnt både organiske og uorganiske (mineralske) forekomster. I denne sammenheng er det de uorganiske som er interessante. Av praktiske årsaker settes gjerne skillet mellom løste og partikulære fraksjoner ved en størrelse på  $0.45 \mu\text{m}$  ( $1 \mu\text{m} = 1/1000 \text{ mm}$ ). Molekylkomplekser i størrelsesorden  $0.01 - 0.45 \mu\text{m}$  i den løste fraksjonen defineres gjerne som kolloider, men dette er tildels en kunstig størrelsesinndeling. Noen klar øvre størrelsgrense er ikke definert. En videre inndeling som er vanlig benyttet er leire ( $0.45 - 2 \mu\text{m}$ ), silt ( $2 - 60 \mu\text{m}$ ) og sand ( $60 - 1000 \mu\text{m}$ ).

Det er tre hovedgrupper av uorganiske partikler som etter norske forhold fortjener spesiell oppmerksomhet:



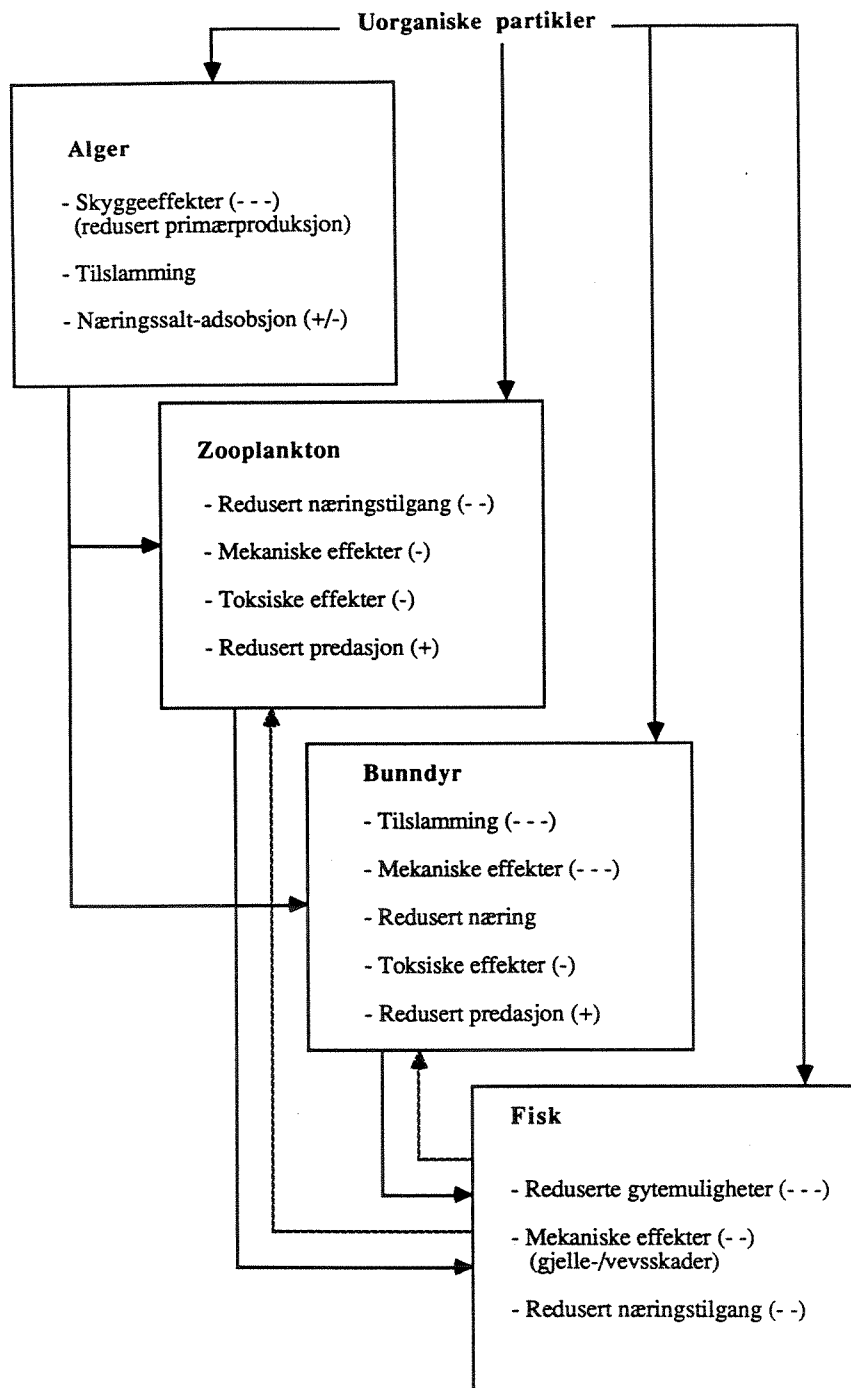
- 1) Breslam
- 2) Erosjonsmateriale fra marine avsetninger
- 3) Nydannede partikler fra fjellskjæringer, sprengningsarbeid, steinknuseverk og andre former for anleggsarbeid.

Mens de to første typene er "naturlige" og eroderte partikler, representerer den tredje typen en tilførsel av partikler til områder som ofte har en lav bakgrunnsbelastning, og de skiller seg fra de eroderte partiklene ved å være spisse og skarpkantede. Dette har betydelige konsekvenser for de rent fysiske effekter på plante- og dyrelivet.

Ved en vurdering av partiklers betydning i et vassdrag må det legges vekt på tre hovedparametre: konsentrasjon, størrelse og morfologi. Konsentrasjonen blir som oftest angitt som vektenhet tørrstoff pr. liter, eventuelt som turbiditet som er et uttrykk for vannets siktbarhet (man måler partiklenes spredning av lys). Mens turbiditet påvirkes av alle partikkelformer, kan tørrstoffet korrigeres for mengden organiske partikler ved å gløde (forbrenne) de organiske forbindelsene. Restmengden er da de uorganiske partiklene. Størrelsesfordeling (diameter eller lengde) kan måles med elektronisk partikkelteller, men mikroskopiske analyser, særlig ved elektronmikroskopi gir kombinert informasjon om størrelse og morfologi. Ved bruk av røntgenmikroanalyse kan også elektronmikroskopi gi informasjon om elementsammensetningen på partikkeloverflaten. Dette har spesiell betydning ved analyse av metallholdige partikler. Andre parametre av betydning er vannføring og strømningsforhold som sammen med egenvekt og størrelse av partiklene avgjør sprednings- og sedimentasjonsmønstre.

I et akvatisk system vil den totale biologiske effekt av en gitt partikkelbelastning bli et samspill mellom en rekke direkte og indirekte mekanismer, som skissert i Figur 1.

Den eksperimentelle delen av dette arbeidet omfatter dyreplankton og fisk, men det er åpenbart at også næringskjedeeffekter via på effektene på produksjonsgrunnlaget (planktonalger, vegetasjon) og bunndyr, i betydelig grad vil påvirke dyreplankton og fisk. En nærmere gjennomgang av dette følger i diskusjonsdelen.



Figur 1. *Generalisert skjema som viser effekter av partikler på ulike biologiske nivå. Piler mellom bokser viser effekter via næringskjedene. Graden av negative (-) eller positive (+) effekter er indikert ved et, to eller tre tegn. Stiplede linjer fra fisk til zooplankton indikerer redusert predasjonstrykk som følge av nedsatt sikt i vannet.*

• *Generalized outline showing effects of particles on various biological levels. Arrows denotes food-chain effects. The relative negative (-) or positive (+) effects are indicated.*

### 1.1. Forsøk med fisk:

Det ble konstruert to eksperimentelle forsøksoppsett for fisk. Det ene basert på pulset tilførsel av partikler og dermed varierende partikkelkonsentrasjon, det andre med stabil partikkelkonsentrasjon. Eksperimentene med pulset tilførsel og variabel partikkelkonsentrasjon ble utført i et rennesystem, og tilsvarer den form for partikkelforurensning man ofte observerer i naturen. Det ble her benyttet to separate rennesystem med resirkulering av vannet (Fig. 2), hvor den ene ble tilsatt partikler mens den andre var

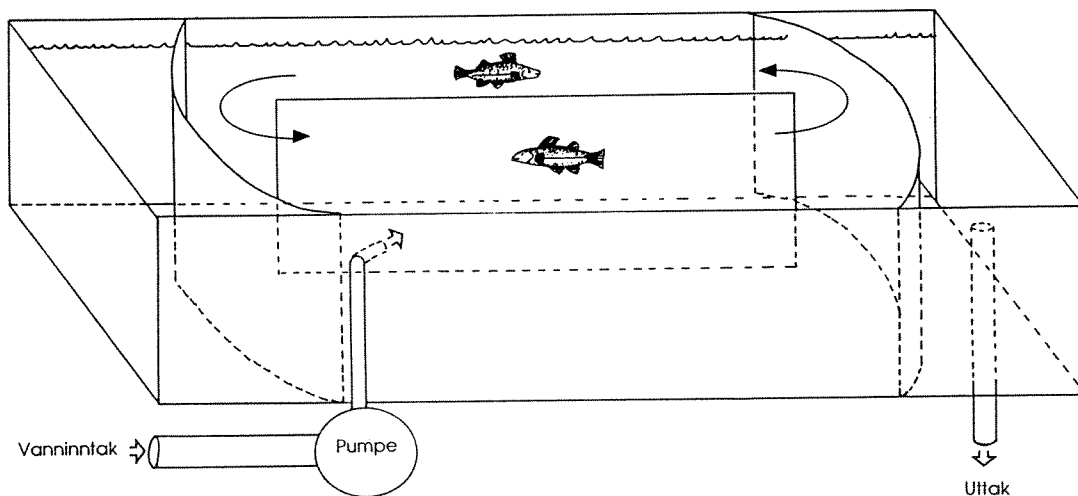


Fig. 2. Rennesystem med kontinuerlig gjennomstrømning.

• *The raceway system with a continuous flow.*

kontroll. Hver av rennene ble tilsatt 20 individer av 2+ ørret med en gjennomsnittsvekt på nær 7.5 g. Forsøket pågikk en uke. Under forsøksperioden ble fisken foret daglig med 12 g tørr-pellets. Vannet ble sirkulert og luftet ved et pumpesystem med en kapasitet på 10 l/min. Forsøkene ble gjennomført ved NIVA's akvarieanlegg, og ubehandlet vann fra Maridalsvann ble benyttet via et eget inntak. Til forsøksrenna ble daglig tilsatt 100 gram partikler (oppslemmet i vann). Dette tilsvarer en initiell partikkelkonsentrasjon på 1000 mg/l. På grunn av umiddelbar sedimentering, var imidlertid høyeste målte konsentrasjon bare i overkant av 500 mg/l. Dette er, etter norske forhold, en meget høy partikkelkonsentrasjon.

Til dette forsøket ble benyttet borstøv (tunellanlegg) fra Vetlefjordutbyggingen (Sogn og Fjordane). Dette fordi det tidligere er utført en undersøkelse omkring effekter av disse partiklene på bunndyr og fisk i Vetlefjordelva (Hessen m. fl. 1989), slik at man her kunne få en direkte sammenlikning av effekter av samme partikkeltype ved omtrent

samme tilførselsmønster og konsentrasjon under felt og forsøksbetingelser. En karakterisering av partiklene (morfologi og størrelsessammensetning) ble foretatt ved Scanning Elektronmikroskopi og elektronisk partikkelteller (Coultercounter). Målinger av partikkelkonsentrasjon ble foretatt med partikkelteller og vanlig tørrstoffanalyse umiddelbart etter tilsetning samt 4 og 24 timer etter tilsetning. Til tross for en betydelig strømhastighet og dominans av små partikler ( $< 10 \mu\text{m}$ ), skjedde en rask sedimentering slik at allerede etter få timer var partikkelkonsentrasjonen sterkt redusert (Jfr. Fig. 3).

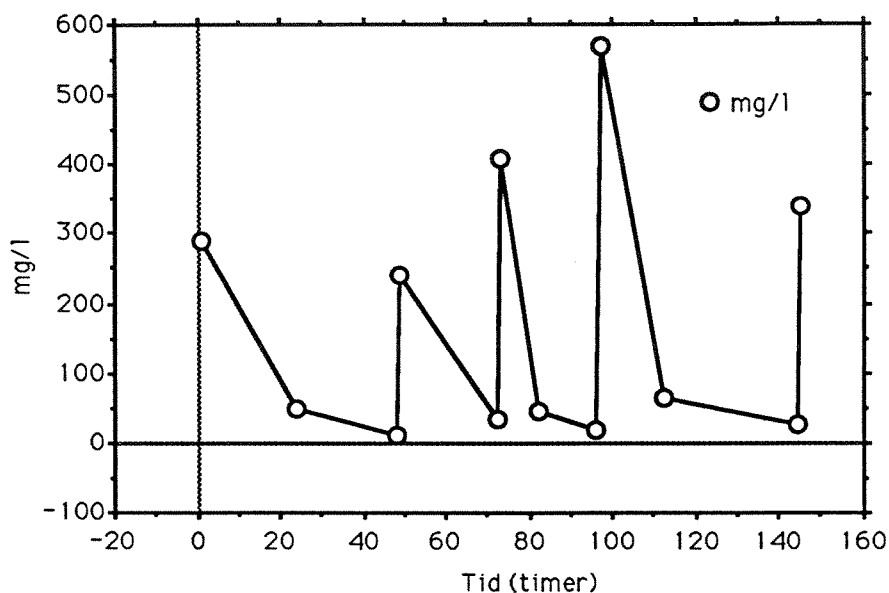
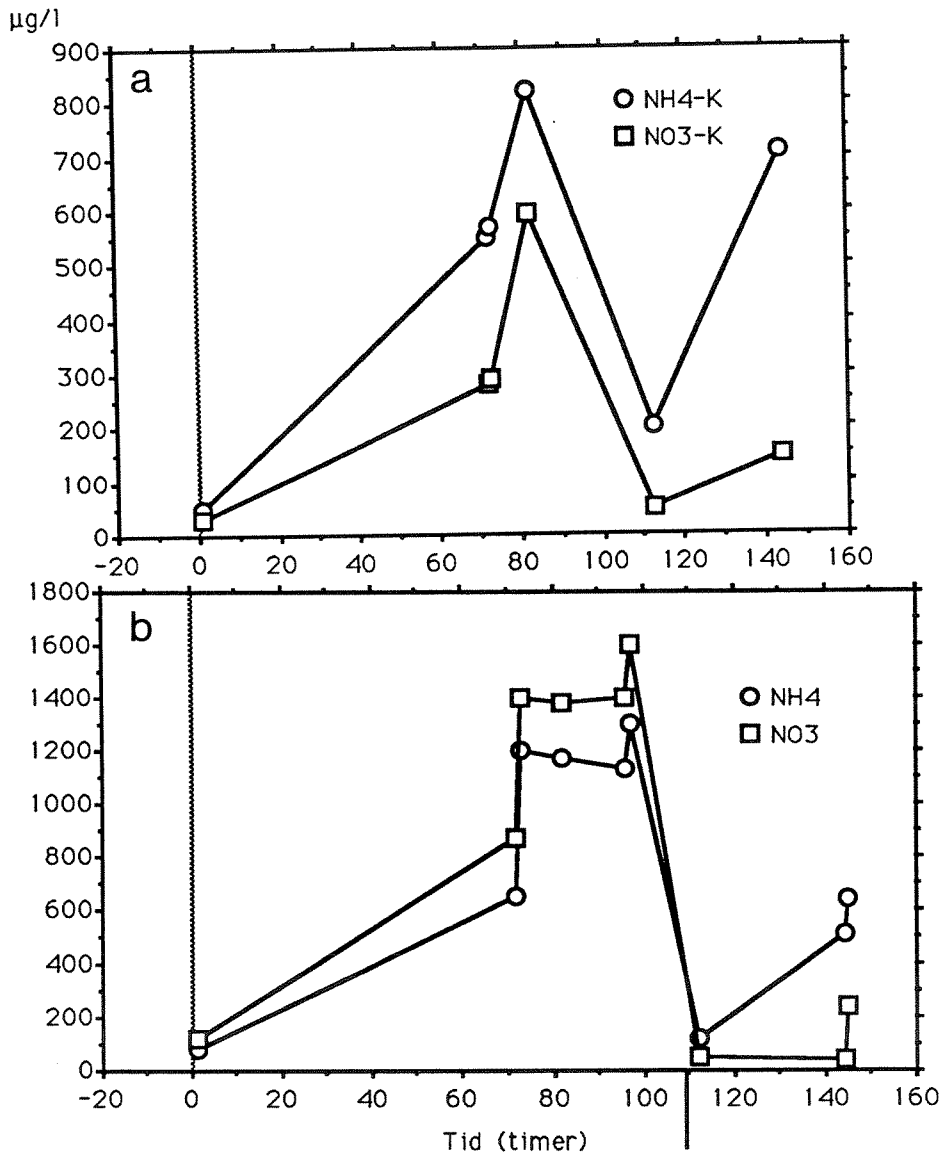


Fig. 3. Eksempel på variasjoner i partikkelkonsentrasjon i renneforsøket. Hver topp representerer ny tilsats av partikler.

• Example on variability in particle concentrations in the raceway experiment. Maxima represents new input of particles.

I tillegg til partikkelkonsentrasjon ble temperatur, pH og ledningsevne målt daglig i begge renner. Tørrstoff gløderest ble undersøkt ved to anledninger for å fastslå andelen av organiske partikler i de to rennene. Som en kontroll på vannkvalitet ble ammonium og nitrat analysert ved dag 4 og dag 7 (ved forsøkets avslutning). Løsningen med full resirkulering av vannet ble valgt fordi en kontinuerlig gjennomstrømning ville krevd en større mengde partikler enn det som var tilgjengelig. Ulempen med en slik løsning er imidlertid opphopning av avfallsprodukter fra fisk og for. Dette problemet kunne for en stor del ha blitt unngått ved å unngå foring, noe som neppe ville medført noe problem ved en ukes forsøk med så lav vanntemperatur (7.6-8.3 °C). Allerede etter fire dager ble det målt ammoniumkonsentrasjon helt opp til 1300  $\mu\text{g/l}$  i forsøksrenna og over 800  $\mu\text{g/l}$  i kontrollrenna (Fig. 4 a,b). Nitratkonsentrasjonene var også svært høye (Jfr. Tabell 1).



4.

*Konsentrasjonsøkning av ammonium og nitrat i kontrollrenna (a) og forsøksrenna (b). Fullstendig vannutskifting etter 96 timer.*

*• Increase in ammonia and nitrate in the raceways (control: upper and exposed: lower). Renewal of water after 96 h.*

Vannet ble skiftet i begge renner 4. dag, slik at disse verdiene var maksimumsverdier. Spesielt ammonium kombinert med høy pH er toksisk for de fleste vannlevende organismer, inkludert fisk. Det ble imidlertid ikke observert noen stressrespons hos fisken under denne perioden, og begge rennene hadde 100% overlevelse. Det er ikke antatt at disse konsentrasjonene hadde noen effekt på gjellemorfologi og histologi, som var den primære parameter i disse undersøkelsene.

Ved forsøkets avslutning ble all fisk i kontrollrenna, samt 16 av fiskene i forsøksrenna målt og veid. Kondisjonsfaktor for alle individene ble beregnet etter Fultons ligning:

$$K = 100 * \text{vekt/lengde}^3$$

De fire gjenværende eksponerte fiskene ble overført til kontrollrenna. Gjelleprøver som beskrevet ovenfor ble tatt av 2 fisk etter to dager, og av de siste to etter 4 dager for å se på korttids "reparering" av eventuelle gjelleskader.

Eksperimentene med konstant partikkelkonsentrasjon ble utført i 10 l kar laget av plexiglass-sylindre med påmontert bunn (diam. 30 cm, dyp 40 cm) (Fig. 5). Partiklene

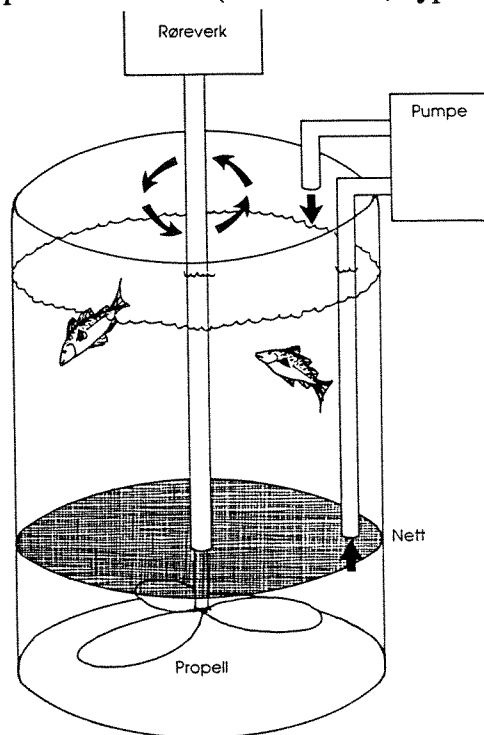


Fig. 5. Forsøksoppsett med kontinuerlig partikkelkonsentrasjon i tanker.

• *Experimental set-up for tank experiments with (semi-)continuous particle concentration.*

ble holdt i suspensjon v.h.a. en lufter og et røreverk ved bunnen, drevet av en overvanns elektrisk motor (Figur 1). Kontakt mellom fisk og røreverk ble unngått ved å plassere en rist ca. 5 cm over bunnen. Også her var et kontrollkar og et kar med eksponert fisk. Til hvert kar ble tilsatt 10 fisk (2+ ørret). Fisken ble eksponert for tre partikkelkonsentrasjoner; 50, 250 og 500  $\mu\text{g/l}$  og det ble benyttet to ulike partikkeltyper; breslam og borstøv (fra Vetlefjordanlegget). Vannet i karene ble skiftet ukentlig, og det ble her ikke foret under forsøksperioden. Også disse forsøkene hadde en ukes varighet. Vannkjemi og partikkelmorfologi/konsentrasjon ble undersøkt som beskrevet ovenfor.

Av all fisk ble tatt gjelleprøver for elektronmikroskopisk analyse. Prøvene ble fiksert i en tokomponentløsning:

1. Buffer (pH 7.2): 4.28 g Natriumcacodylat -  $\text{Na}(\text{CH}_3)_2\text{AsO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  og 0.69 ml 1 N HCl i 100 ml vann.
2. Glutaraldehyd (25 %).

Løsningene blandes i forholdet 100:12 umiddelbart før fiksering.

For scanning elektronmikroskopi (overflateundersøkelser) ble gjelle- prøvene overført til 70% etanol og dehydrert i en alkoholgradient opp til 100% før "kritisk-punkt"-tørking og pådampning av gull (for å få en elektrontett overflate).

Noe av bakgrunnen for dette studiet var som nevnt en tidligere feltstudie av partikkeleffekter i Vetlefjordelva, Sogn og Fjordane (Hessen m.fl. 1989). Som en referanse for labforsøkene har jeg derfor også foretatt en videre analyse av dataene fra Vetlefjordelva.

### 1.2. Forsøk med dyreplankton:

De fleste forsøkene ble gjennomført med krepsdyrplanktonet *Daphnia magna*. Dette er en art som er vanlig benyttet i toksisitetsstudier (se innledning), og holdes kontinuerlig i kultur ved NIVA. Alle forsøk ble utført i 1 l plastsylindre med 100 µm nett i bunnen. Disse ble plassert i 2 l kar med 5 cm klaring til bunnen i disse (Fig.6). Som for ble

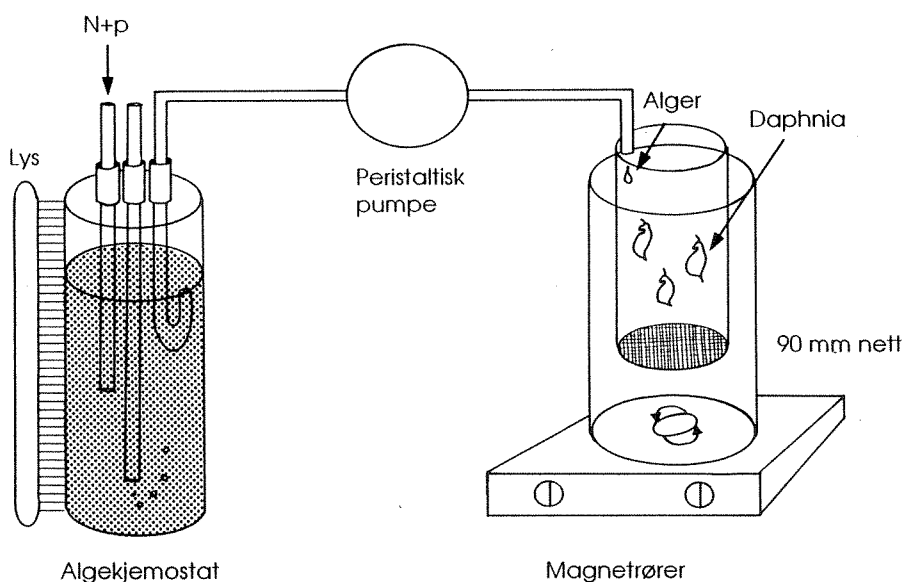


Fig. 6. Forsøksoppsett for dyreplankton.

• *Experimental set-up for the zooplankton beaker experiments.*

benyttet algen *Selenastrum capricornutum* som er velegnet føde, og standardfor i ulike testoppsett. Ulike forsøksoppsett ble utprøvd også for dyreplankton. I et første oppsett ble to kar med dyreplankton (kontroll og eksponert) ved et pumpesystem dosert vann fra fiskekarene, hvor en kjent partikkelkonsentrasjon var suspendert. Alger ble kontinuerlig dosert til begge kar via en peristaltisk pumpe fra en algekultur (gjennomstrømningskjemostat). Det viste seg imidlertid vanskelig å holde en jevn partikkelkonsentrasjon på grunn av sedimentering både i kar og pumpesystem. Et annet problem med et slik testsystem er at luktstoffer fra fisk er påvist å kunne påvirke, og endre adferd hos

dyreplankton. Forsøkene ble derfor utført ved at karene ble plassert på magnetrørere og partikler ble direkte tilsatt som en engangsdosering. Magnetrøreren sørget for å holde partiklene suspendert, men en viss sedimentering av tyngre partikler kunne likevel ikke unngås, slik at de reelle partikkelkonsentrasjoner under forsøkene alltid lå noe lavere enn nominell (tilsatt) partikkelkonsentrasjon.

Vannbevegelsen forårsaket av magnetrøreren hadde ingen synlig negativ effekt på dyrene, men dette ble uansett utlignet ved at også dyrene i kontrollkaret var utsatt for samme type omrøring.

Effekter på reproduksjon og overlevelse ble testet ved partikkelkonsentrasjonene 10, 100 og 500 mg tørrstoff/l (nominelle konsentrasjoner). I testserien med dyreplankton ble bare det finpartikulære borstøvet benyttet. For hver partikkelkonsentrasjon ble 10 voksne individer overført fra stamkulturen til kontrollkaret og partikkelkaret. Hver annen dag ble karene tilsatt 50 ml tett algekultur, noe som sikret en god fødetilgang gjennom hele forsøket med klorofyllkonsentrasjoner rundt 10 µg/l. De tilsatte dyrene var alle eggbærende, men med relativt lavt eggantall (2-6 egg pr. individ). Etter 7-8 dager ble antall dyr talt opp i begge kar, og unge- og eggproduksjon undersøkt.

Som nevnt innledningsvis må det forventes ulik respons hos ulike typer dyreplankton. De fleste cladocerer som *Daphnia*, *Holopedium* og *Diaphanosoma* er ikke selektive beiter, dvs. de filterer passivt de partikler som har en gunstig størrelsesspekter (1 - 30 µm). Den andre hovedgruppen av krepsdyrplankton som kan utgjøre viktig fiskeføde er hoppekrepsene, hvor mange arter av calanoide hoppekreps også ernærer seg ved å filtrere partikler ut av vannet. Disse er imidlertid i mye større grad selektive, dvs. de er i stand til (i noen grad) og diskriminere mellom spiselige og uspiselige eller skadelige partikler. En skulle derfor forvente at disse i mindre grad ble påvirket av suspenderte partikler. Som en direkte test på inntaket av borstøv ble både *Daphnia* og copepoden *Eudiaptomus gracilis* eksponert for 100 mg tørrstoff/l i to serier. For begge artene ble både "velfødde" og sultede dyr testet, da det er kjent at lav næringstilgang eller sult øker filtrerings-hastigheten. Eksponeringstiden i disse forsøkene var bare 15 min, som er tilstrekkelig til at tarmen fylles. I alle forsøksseriene ble 10 individer tilsatt både partikkelkaret og kontrollkaret. Etter 15 min ble dyrene bedøvet ved tilsetning av natriumbikarbonat (som gir CO<sub>2</sub>-overmetning). Dette hindrer tarmtømming hos dyrene. Dyrene ble så umiddelbart målt (totallengde) og overført til forhåndsveide tinnkapsler. Etter tørking i 3 dager ved romtemperatur ble alle kapsler veid opp, og vektforskjeller mellom eksponerte individer og kontrollindivider beregnet. En vektforskjell vil her foruten å indikere inntak av "tunge" partikler, også gi et mål på de ekstrabelastning dyrene får i form av økt egenvekt og dermed økte energikostnader for å holde posisjonen i vannsøylen. En annen faktor er at økt innhold av mørke partikler i tarmen gjør dyrene mer synlige, og dermed mer utsatt for fiskepredasjon (se diskusjon).



Som en tredje test på mulige skadeeffekter fra partikler ble utført elektronmikroskopiske analyser av filterapparatet hos Daphnier eksponert for høy konsentrasjon (~ 500 mg/l) av de skarpkantede partiklene. Dyrene ble her eksponert i to døgn, og fiksert i nøytralisert formalin (10%) før de ble dehydrert i en etanolgradient og behandlet på samme måte som beskrevet for fiskegjellene.

## 2. RESULTATER

### 2.1. Karakterisering av partikler:

Det er en betydelig morfologisk forskjell på leire og borstøv/sprengsteinspartiklene. Mens leirepartiklene er avflatet og avrundede, er sprengsteinspartiklene kantete og tildels spisse. En videre analyse av borstøv/sprengsteinspartikler viser den klare dominans av meget små partikler (Fig. 7). Tallmessig dominerer partikler helt ned mot  $2 \mu\text{m}$  ( $2/1000 \text{ mm}$ ), mens det er få partikler over  $10 \mu\text{m}$ . De største partiklene utgjør imidlertid volummessig det største bidraget.

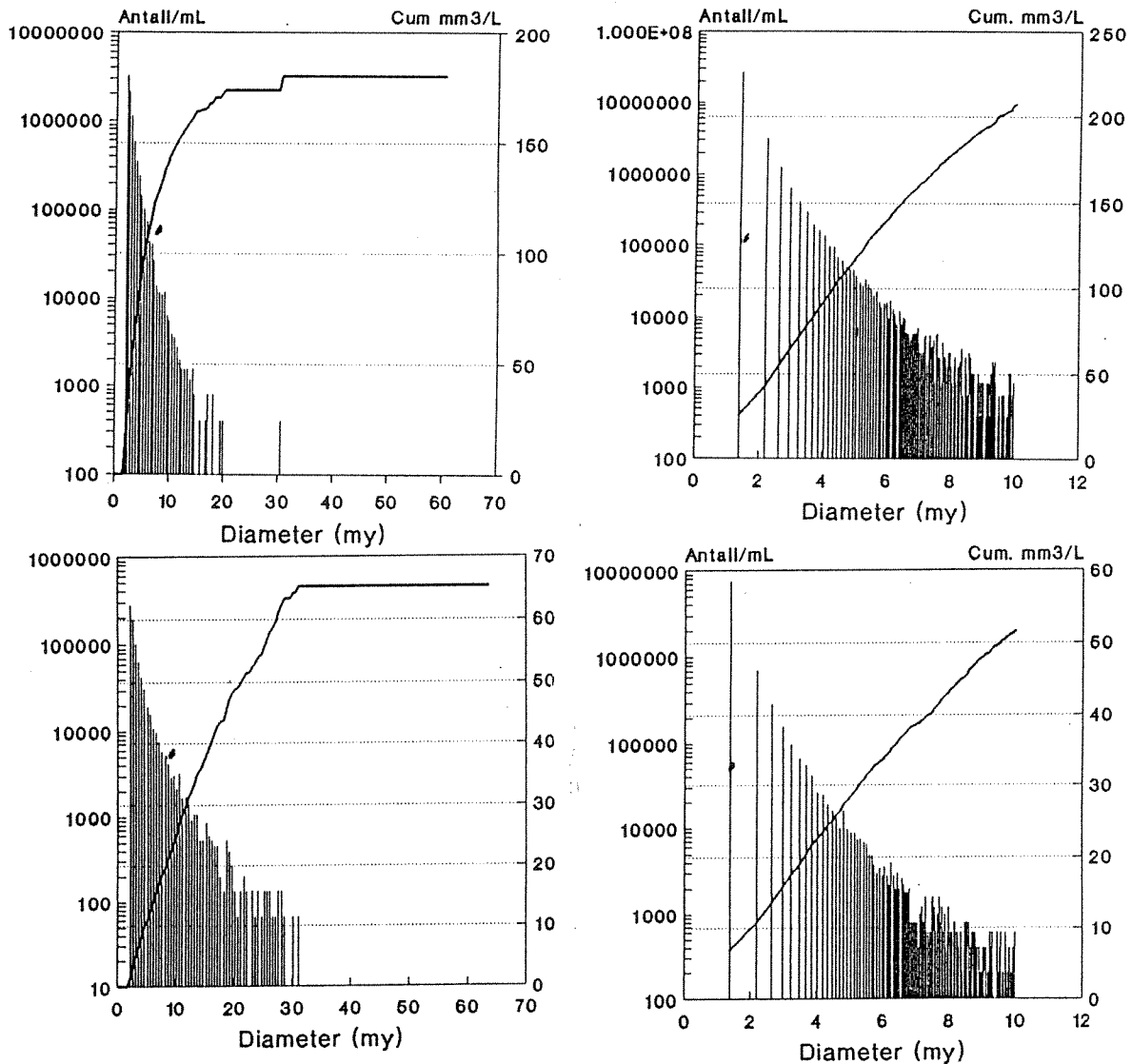


Fig. 7. Kornfordeling i borstøv benyttet i forsøket (fra Vetlefjorden). Analyse fra mars (øverst) og april (nederst). For begge datoene er vist total størrelsesfordeling (tubus  $100 \mu\text{m}$ , venstre) og fordeling av partikler  $< 10 \mu\text{m}$  (tubus  $50 \mu\text{m}$ , høyre).

• Particle size distribution for particles used in the experiments.

## 2.2. Lab-forsøk med fisk:

I renneforsøket med pulset (daglig) dosering av partikler var det som nevnt en svært fluktuerende partikkelkonsentrasjon (Fig. 3). På grunn av akkumuleringseffekter ble det målt en jevnt økende partikkeltetthet. Konsentrasjonene varierte mellom 20 og 568 mg/l. Allerede fire timer etter tilsats var partikkelkonsentrasjonen nede i rundt 10% av utgangskonsentrasjonen. I løpet av denne perioden ble også størrelsessammensetningen endret. En kontroll tredje dag viste at før tilsetning av nye partikler var middelvolumet av de suspenderte partiklene betydelig redusert. Den benyttede tubus på partikkeltelleren målte partikler i intervallet 1.9 - 60.8  $\mu\text{m}$ . Utgangssammensetningen av partikler er vist i Fig. 7. De fleste partiklene var rundt drøyt 2  $\mu\text{m}$  i diameter. Også i kontrollrenna ble det målt en opphopning av partikulært materiale (36 mg/l siste dag). Dette var imidlertid utelukkende organisk materiale, mengden uorganiske partikler lå under deteksjonsgrensa i kontrollrenna, mens over 90 % av partiklene i forsøksrenna var uorganiske (mineralske).

For og ekskresjonsprodukter fra fisken påvirket vannkjemien under forsøket. Som vist i Tabell 1, ble nitrat og ammoniumverdiene svært høye i begge renner, men en delvis vannutskifting den 4. dag ga en betydelig reduksjon. Tilsetning av partikler bidro også til noe høyere nitrogenkonsentrasjoner, men som vist i tabell 1 viste kontrollmålinger før og etter tilsats av partikler at partiklene i seg selv ikke hadde noen dramatisk effekt på vannkvaliteten.

Tabell 1. Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ), pH og ledningsevne (ms/cm) samt konsentrasjon av ammonium og nitrat ( $\mu\text{g/l}$ ) ved start, dag 4 og dag 7 (avslutning) i kontroll og forsøksrenne før og etter tilsetning av partikler. Vannet ble skiftet ut på dag 6.

		<u>Temp.</u>	<u>pH</u>	<u>Ledn.</u>	<u>NH<sub>4</sub></u>	<u>NO<sub>3</sub></u>
Dag 1	Kontroll	7.6	6.40	0.04		
	Forsøk	8.1	6.34	0.04		
Dag 4	Kontroll	7.9	6.95	0.08	820	595
	Forsøk før	8.2	7.06	0.10	1130	1405
	etter	8.2	7.08	0.11	1300	1600
Dag 7	Kontroll	8.2	7.18	0.08	710	230
	Forsøk før	7.9	7.08	0.09	510	205
	etter	7.9	7.12	0.10	640	245

Lengde-vekt forhold for test og kontrollgruppa er vist i Fig. 8. Det var ingen klar forskjell mellom disse gruppene. Gjennomsnittlig kondisjonsfaktor var imidlertid noe

lavere i testgruppa ( $0.89 \pm 0.048$ ) i forhold til kontrollgruppa ( $0.96 \pm 0.16$ ) (Fig. 9). Forskjellen var signifikant på 5%-nivå ( $p < 0.031$ , t-test). Det må imidlertid understrekes at man ikke kan vente store utslag på en såvidt kortvarig test ved så lav vanntemperatur. Forskjellen kan også skyldes økt stress i den eksponerte gruppa som følge av økt ammoniumkonsentrasjon i denne renna. Som en sammenlikning (Fig. 10) kan vises K-faktor for eksponert fisk i Vetlefjordelva og ikke-eksponert kontrollgruppe (fra sidebekker). Her var forskjellen ikke signifikant.

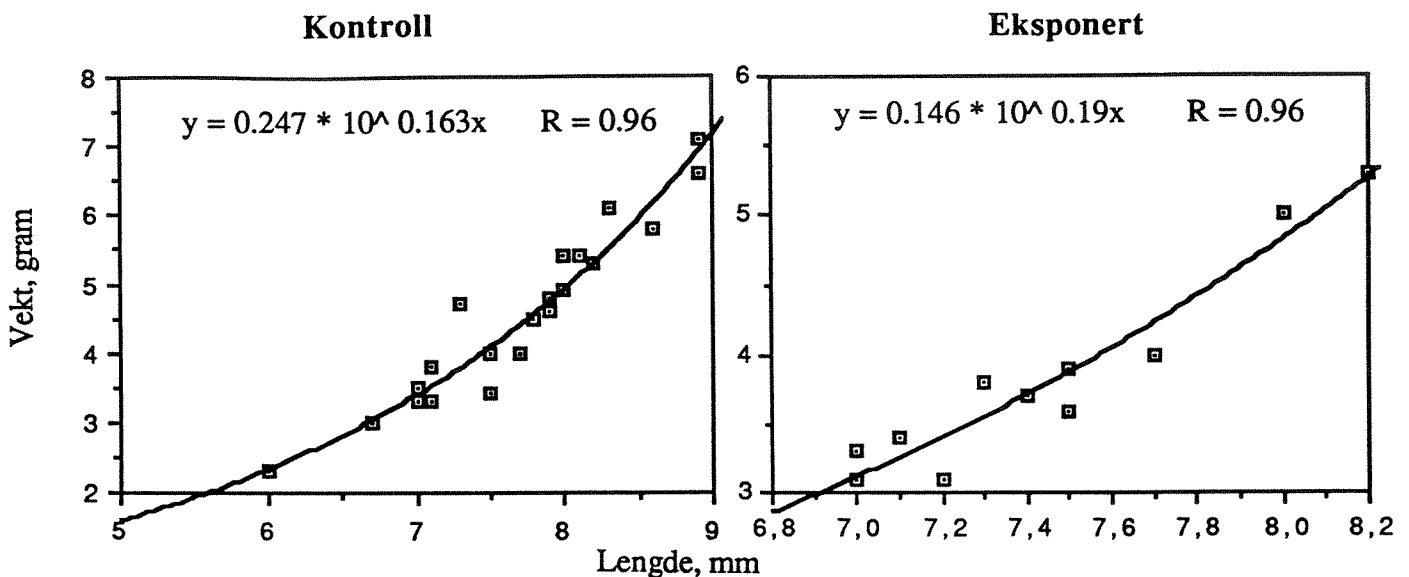


Fig. 8. Lengde-vekt forhold for kontrollfisk og eksponert fisk i renneforsøket ved forsøkets avslutning.

• Length-weight ratio for non-exposed fish (control) and particle exposed fish in the race-way experiments.

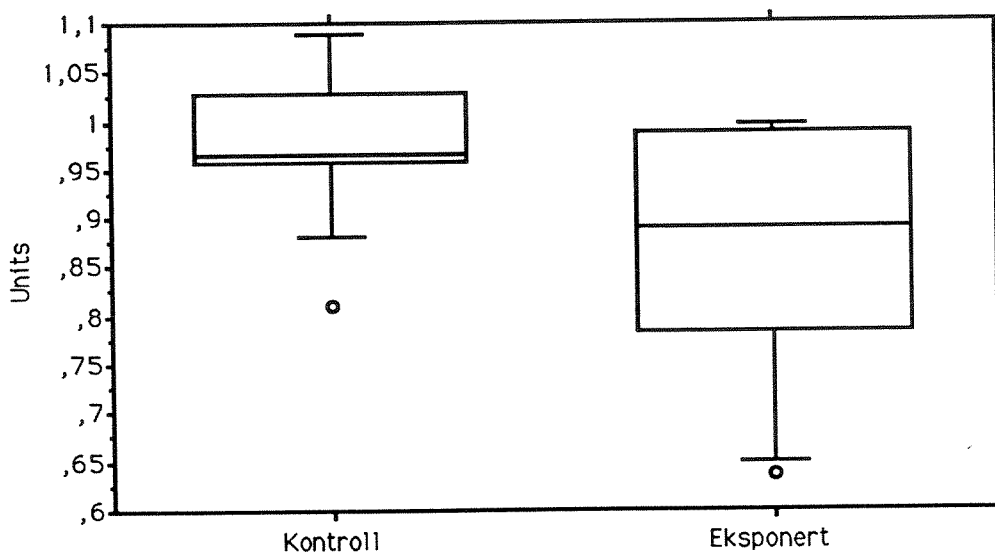


Fig. 9. Kondisjonsfaktor for kontrollfisk og eksponert fisk i renneforsøket ved forsøkets avslutning.

• Fultons index (condition) for non-exposed fish (control) and particle exposed fish in laboratory tank experiments.

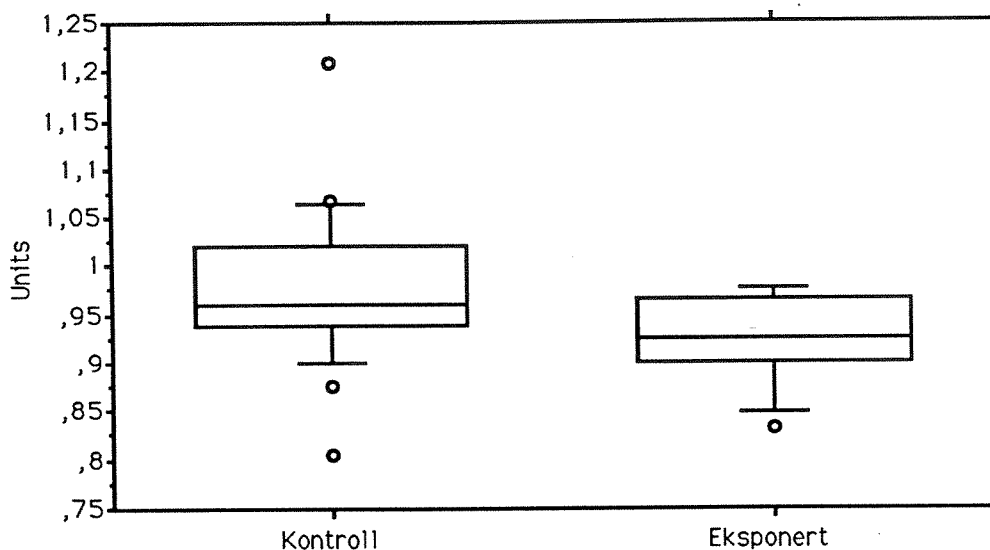


Fig. 10. Kondisjonsfaktor fra ikke-eksponert fisk (kontroll) og partikkel-eksponert fisk fra Vetlefjordelva, 1989.

• *Fultons index (condition) from non-exposed fish (control) and particle exposed fish in River Vetlefjordelva.*

For å unngå problemer med partikkelsedimentering og dårlig vannkvalitet, ble de resterende forsøk utført i 20 l plexiglass sylindre med konstant omrøring som beskrevet tidligere. Her ble vannet skiftet ut hver tredje dag, og foring ble ikke foretatt. Det ble her utført fire forsøksserier, hver med tre nominelle partikkelkonsentrasjoner samt kontroll;

1. Borstøv (10, 100, 500 mg/l), 8 °C
2. Breslam ---- " ----
3. Borstøv ---- " ---- , 16 °C
4. Breslam ---- " ----

Til tross for kontinuerlig omrøring, skjedde det også i disse karene er gradvis sedimentering av de største partiklene, slik at før hver vannutskifting var partikkelinnholdet noe lavere, og størrelsesfordelingen noe endret i forhold til utgangskonsentrasjonene.

Under alle forsøk var overlevelsen høy. Død fisk ble bare unntaksvis observert, og det var ingen forskjeller med hensyn til partikkeltype, konsentrasjon eller temperatur. Unntaket var ved den høyeste konsentrasjonen av borstøv ved 16 °C. Her døde 4 fisk umiddelbart (< 4 timer) etter tilsetning av partiklene, men det var ingen dødelighet under resten av forsøket. Tilsetning av borstøv og sprengstein til vann kan tenkes å gi vannkjemiske bi-effekter (nitrogenholdige sprengstoffrester eller metaller som Al). Som en test på slike mulige effekter ble en konsentrasjonsgradient på 30, 300 og 600 mg

borstøv suspendert i destillert, ionebyttet vann, og analysert for innhold av nitrat, ammonium og total aluminium. Aluminiumsinnholdet var i alle tilfelle under deteksjonsgrensen, mens innholdet av nitrat og ammonium økte lineært med partikkelkonsentrasjonen (Fig. 11). Det kan derfor ikke utelukkes at akutt død ved

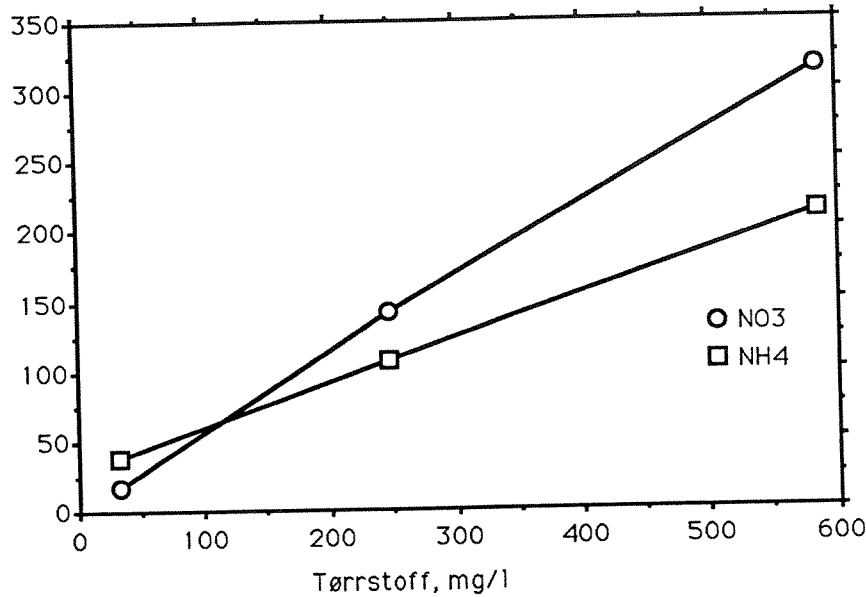


Fig. 11. Konsentrasjon av ammonium og nitrat ( $\mu\text{g/l}$ ) i destillert vann som funksjon av mengde tilsatt borstøv.

•Concentrations of ammonia and nitrate ( $\mu\text{g/l}$ ) in distilled water relative to the amount of particles added.

plutselig og høy partikkeleksponering kan skyldes et "ammoniumsjokk", selv om fisken ved gradvis tilvenning godt tolererer betydelig høyere ammoniumkonsentrasjoner enn det som ble påvist i dette forsøket (jfr. tabell 1).

Kondisjonsfaktor hos fisk ble beregnet i forsøk 1 og 3 ved den høyeste partikkelkonsentrasjonen ved forsøkets avslutning (15 dagers eksponering). Ved 8 °C hadde den eksponerte fisken signifikant lavere ( $p < 0.05$ , t-test) kondisjonsfaktor enn kontrollgruppa (Fig. 12), noe som kunne indikere et tilleggstress ved partikkeleksponering. Ved 16 °C ble det imidlertid ikke påvist noen forskjell i kondisjonsfaktor mellom eksponert fisk og fisk i kontrollkaret (Fig. 13). Her har respirasjonstapet på grunn av høy temperatur vært markert hos begge grupper, og dette synes å dominere over en eventuell direkte effekt av partiklene.

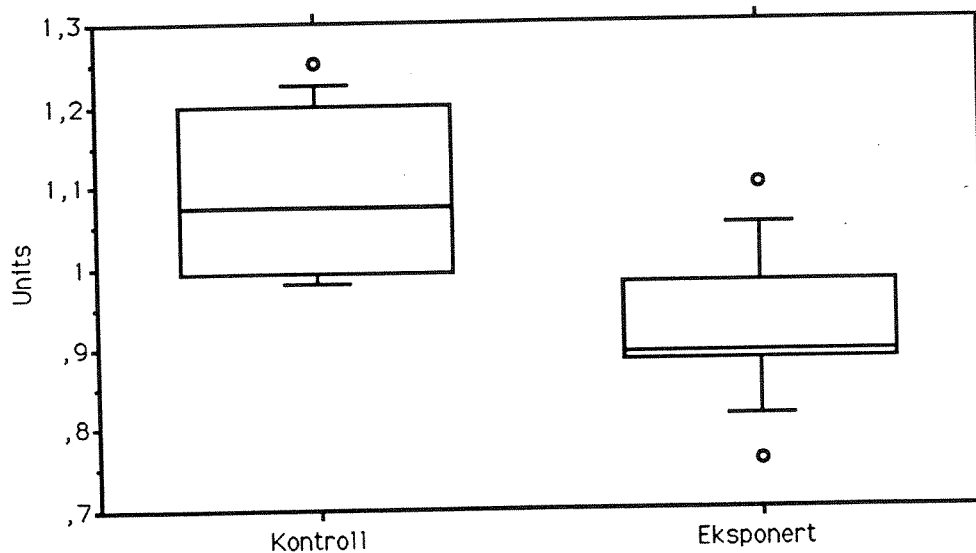


Fig. 12. Kondisjonsfaktor fra karforsøk ved 8 °C hos kontrollfisk og eksponert fisk.  
•Fultons index (condition) from tank experiments at 8 °C in exposed trout relative to control.

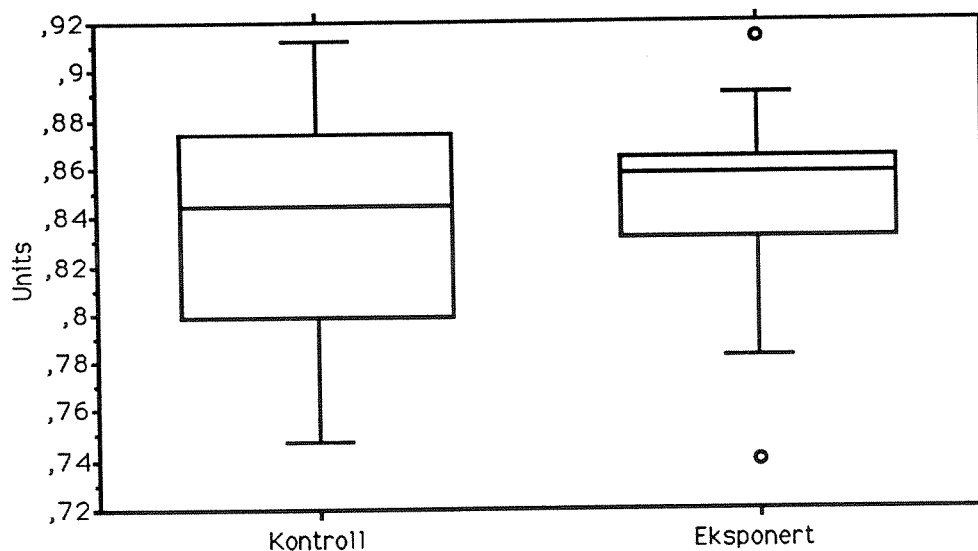


Fig. 13. Kondisjonsfaktor fra karforsøk ved 16 °C hos kontrollfisk og eksponert fisk.  
•Fultons index (condition) from tank experiments at 16 °C in exposed trout relative to control.

Lysmikroskopisk undersøkelse av gjellene ble foretatt på 3-5 fisk fra hver gruppe ved forsøkernes avslutning. Ved eksponering for breslam, ble ikke funnet noen ytre tegn på gjelleskader ved noen konsentrasjon. Ved eksponering for borstøv tydet disse forundersøkelsene på en viss gjelleirritasjon ved den høyeste partikkelkonsentrasjonen, og fisk fra disse forsøkene ble derfor analysert videre ved elektronmikroskopiske undersøkelser som beskrevet ovenfor.

De elektronmikroskopiske undersøkelsene viste ingen klar respons som funksjon av partikkeleksponering. I motsetning til fisken fra Vetlefjordelva (Fig. 14), ble det her ikke i noe tilfelle påvist slimdannelse på gjellene. Selv ved høy partikkeleksponering over lang tid ble det ikke påvist systematiske gjelleendringer. Hos enkelte eksponerte individer ble det likevel funnet tegn til mekanisk slitasje (Fig. 15), selv om denne var begrenset til den ytre gjellebuen. Det var også tendenser til litt svulne sekundærlameller (Fig. 16), men dette ble også påvist hos fisk i kontrollkarene, og kan skyldes fysiologisk stress under forsøksbetingelsene som f.eks. høy ammoniumkonsentrasjon). Generelt synes ikke en slik korttidseksponering eller pulset tilførsel å gi klare skadeeffekter på gjellevev. I et naturlig miljø vil i tillegg fisken ha muligheter til å oppsøke sideelver eller andre mer beskyttede lokaliteter. Det må imidlertid presiseres at manglende korttidseffekter ikke sier noe om eventuelle kroniske effekter som sammenvoksing av sekundærlameller, ved langvarig eksponering.

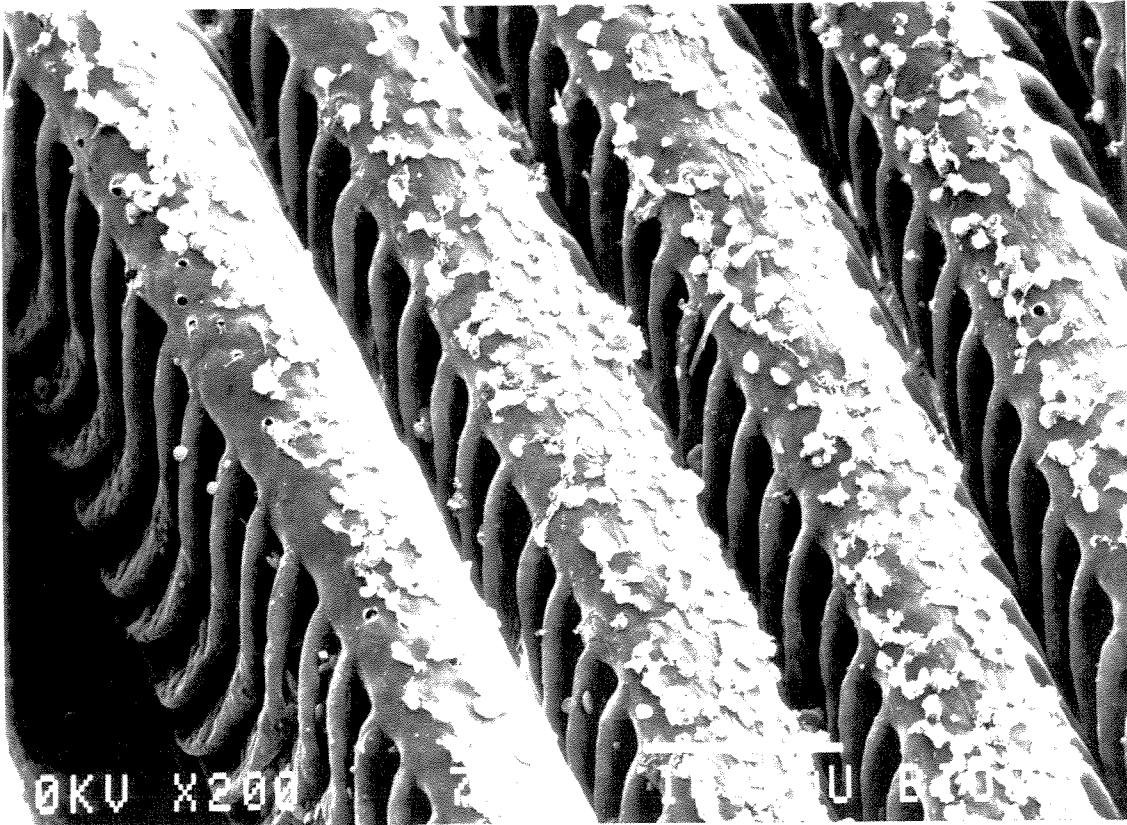


Fig. 14. Gjellelameller og sekundærlameller hos 2 + sjøaure eksponert for slam i Vetlefjordelva.

•Gill lamella and secondary lamella in 2 + trout exposed to particles in river Vetlefjordelva.





Fig. 15. *Mekaniske skader av gjellelameller hos fisk eksponert for partikler (fra karforsøk).*

•*Mechanical injuries of gills in trout exposed to particles in tank experiments.*



Fig. 16. *Svulne sekundærlameller fra eksponert fisk og kontrollfisk fra karforsøk.*

•*Swollen lamella in fish exposed to particles (upper) and control.*

### 2.3. Observasjoner fra Vetlefjordelva:

Et generelt problem med laboratorieforsøk er at de utføres under "kunstige" betingelser, hvor rene artifakter kan være vanskelig å skille fra reelle effekter av de parametre man vil undersøke. Som nevnt er det imidlertid utført undersøkelser i Vetlefjordelva i Sogn og Fjordane, hvor forholdene var sammenliknbare med forsøks-betingelsene: pulset og periodevis høy tilførsel av borstøv og sprengsteins-partikler. De observasjoner som ble gjort i Vetlefjordelva synes å bekrefte en relativt stor toleranse for korttidseksposering. Det ble bare ved en anledning observert tre døende småfisk, men fisken syntes i stor grad å skifte tilholdssted i elva alt etter partikkelkonsponering og fødetilgang. Generelt ble det for disse undersøkelsene konkludert at partikler i liten grad var en direkte letal faktor, men at de kunne være en stressfaktor. De klareste effekter ble i denne undersøkelsen påvist i bunndyrsamfunnet, og redusert fødetilgang såvel økt dødelighet hos rogn ble antatt å være viktigere enn de direkte effekter.

### 2.4. Lab-forsøk med dyreplankton:

De tre partikkelkonsentrasjonene (10, 50 og 100 mg/l) hadde alle markerte effekter på *Daphnia*. Effektene ved 50 mg falt alltid ut mellom de for 10 og 100 mg, og presentasjonen er her derfor vesentlig basert på disse ytterpunktene. Allerede 10 mg suspenderte partikler hadde klare effekter på overlevelse og oppvekst. Det ble ikke observert noen dødelighet blandt de 10 opprinnelig tilsatte individene, mens bare 11 av avkommet var i live etter 8 dager mot 88 i kontrollen. Næringstilgang samt fordelingen av antall egg i de tilsatte individene var lik i begge kar, så forskjellen kan bare tilskrives økt dødelighet av juvenile eksponert for partikler. Alderfordelingen (vist som størrelsesfordeling i Fig. 17) var imidlertid lik i begge grupper, noe som antyder at *Daphnia* kan opprettholde en populasjon ved partikkelkonsentrasjoner på 10 mg/l (denne partikkeltypen), men med betydelig redusert tetthet og produksjon. Ved 50 mg overlevde 6 av de juvenile etter 8 dager, alle nyklekte, mens ved 100 mg/l ble det bare funnet 3 overlevende juvenile, og alle disse var nyklekte (jfr. størrelsesfordeling Fig. 18). Det bør her bemerkes at selv om dyrene tilsynelatende kan opprettholde en populasjon under laboratoriebetingelser ved konsentrasjoner på 10 mg tørrstoff/l, så er dette under optimale betingelser med gunstig næringstilgang og fravær av predatorer og konkurrenter. I en naturlig populasjon må det forventes en betydelig lavere terskelverdi (igjen: for denne type partikler).

De voksne individene ble tilsynelatende lite affisert selv av meget høye partikkelkonsentrasjoner i løpet av eksponeringsperioden. Eggantall hos de voksne ved forsøkets avslutning representerer 2. kull etter forsøkets start, dvs. egg som var blitt produsert i løpet av eksponeringsperioden. Eksponerte dyr produserte færre egg både ved 10 og 100 mg/l (Fig. 19), men forskjellene var ikke store. Dette indikerer at partiklene ikke i vesentlig grad hemmer næringsopptak og assimilasjon hos de voksne.

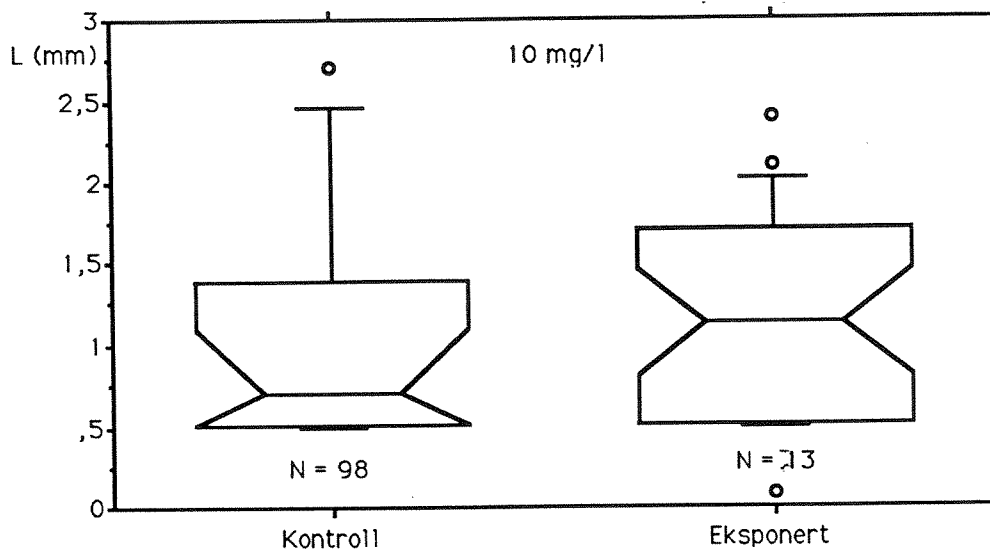


Fig. 17. Størrelsesfordeling i kontrollkar og hos *Daphnia* eksponert for 10 mg tørrstoff/l av borstøv.

•Size distribution of *Daphnia* exposed to 10  $\mu\text{g}$  particles/l (dry-weight) relative to control.

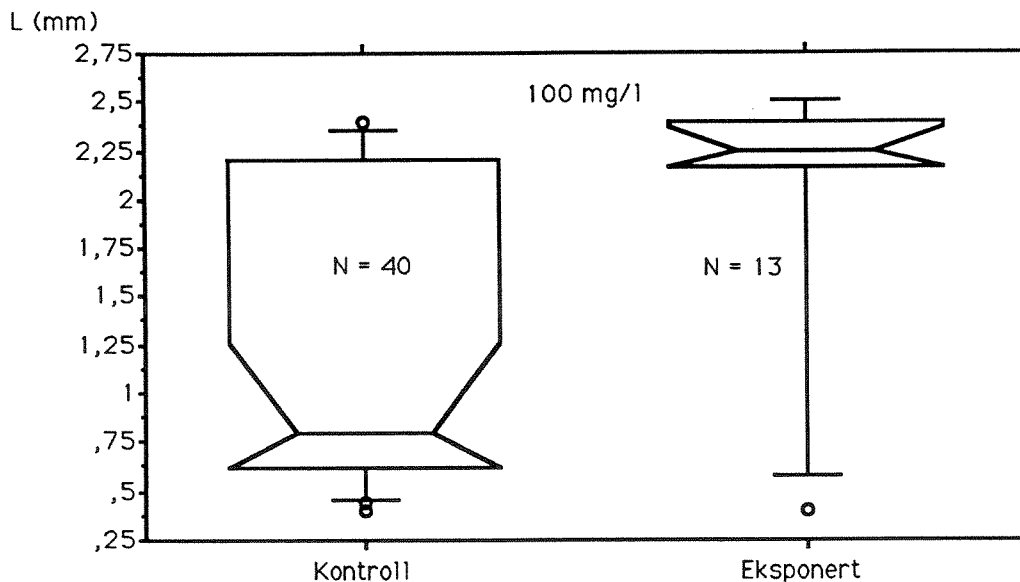


Fig. 18. Størrelsesfordeling i kontrollkar og hos *Daphnia* eksponert for 100 mg tørrstoff/l av borstøv.

•Size distribution of *Daphnia* exposed to 100  $\mu\text{g}$  particles/l (dry-weight) relative to control.

Som nevnt innledningsvis er det en fundamental forskjell på type næringsopptak mellom de ulike hovedgrupper av dyreplankton. De fleste cladocerer (bl.a. *Daphnia*) filtrerer uselektivt alle partikler over et vist størrelsesspekter, mens de fleste arter av hoppekreps mer selektivt velger ut de gunstigste fødeemnene og i stor grad unngår næringsfattige eller skadelige partikler. Ved et uselektivt inntak av slampartikler kan man forvente en økt egenvekt og eventuelt mekaniske skader på selve filterapparatet. Den første effekten ble klart demonstrert ved å eksponere *Daphnia* for partikler i suspensjon (100 mg/l) i 15 min

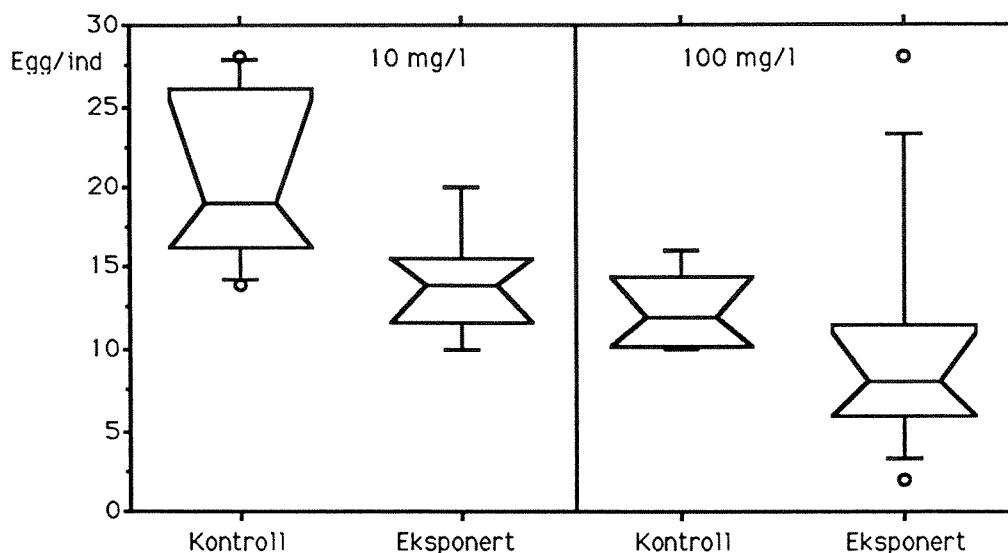


Fig. 19. Eggantall per individ hos kontrolldyr og eksponerte dyr ved partikkelkonsentrasjoner på 10 mg tørrvekt/l (venstre) og 100 mg tørrvekt/l.

• Individual egg number of *Daphnia* exposed to particle concentrations of 10 mg/l (left) and 100 mg/l, relative to controls.

(forventet tid for tarmfylling). I løpet av denne tiden økte de eksponerte dyrene sin vekt med nesten 25 % i forhold til kontrollindividene (fra et snitt på 201 til 249 mg tørrvekt/ind) for dyr av samme størrelse (Fig. 20). Forskjellen mellom de to gruppene var klart signifikant ( $p < 0.05$ , Kolmogorov-Smirnov test). Dyreplankton har en funksjonell beiterespons på fødekonsentrasjonen som svarer til en vanlig metningskurve. I de fleste tilfelle vil fødekonsentrasjonen være lavere enn metningsnivået for naturlige planktonpopulasjoner, og de vil altså ha en høyere filtreringshastighet enn "velfødde" laboratoriedyr. Samtidig vil de veie mindre (være "magrere"). Et mer realistisk bilde av en "naturlig" respons vil derfor være den som er vist til høyre i Fig. 20, hvor sultede dyr er eksponert for partikler. Her skjedde en spesifikk vektøkning på hele 32 % i løpet av 15 min (fra et snitt på 168 til 222 mg/ind). Selv om det er uklart hvor mye en slik vektøkning betyr rent energimessig, er det klart at dyrene krever mer energi for å holde sin horisontale posisjon i vannmassene (unngå synking) ved økt egenvekt. En tilsvarende test for den calanoide hoppekrepsen *Acanthodiatomus* viste ingen vektforskjell mellom eksponerte individer og kontrollindivider, noe som skulle indikere en konkurransefordel hos disse i forhold til cladocerer ved partikkeleksponering.

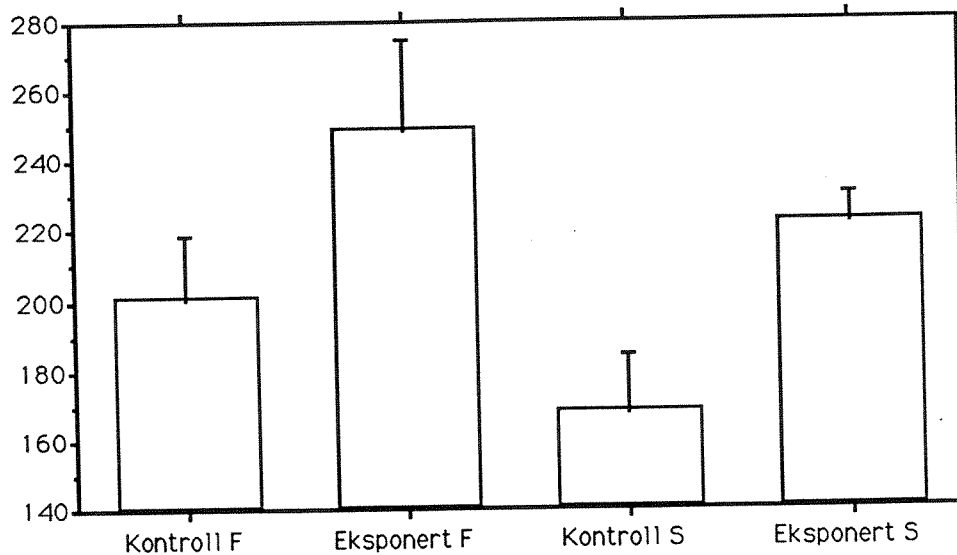


Fig. 20. Vekt per individ for voksne *Daphnia* (lengde 2 mm) eksponert for en partikkelkonsentrasjon på 100 tørrstoff/l i 15 min. Gjennomsnittsvekt med 95 % konfidensintervall. F = fødte dyr, S = sultede dyr.

•Individual weight of adult *Daphnia* (length 2 mm) exposed to 100 µg particles/l (dry-weight) for 15 min. Average with 95 % confidence limits. F = prefed animals, S = prestarved animals.

Elektronmikroskopiske undersøkelser ga heller ikke for zooplanktonet noen indikasjon på direkte mekanisk skade av filterapparatet. Den basale del av filterkammene har relativt tynne hår (Fig. 21). Det satt betydelig mer partikler festet til disse setaene hos dyr som var eksponert for borstøv. Dette vil i seg selv neppe hemme fødeopptaket, og det var ingen tegn til vesentlig mekanisk skade (Fig. 22). Den ytre del av filterapparatet var også uskadd, og det synes derfor som om selv høye konsentrasjoner av relativt kantete partikler ikke gir observerbare direkte skader hos større former for dyreplankton.

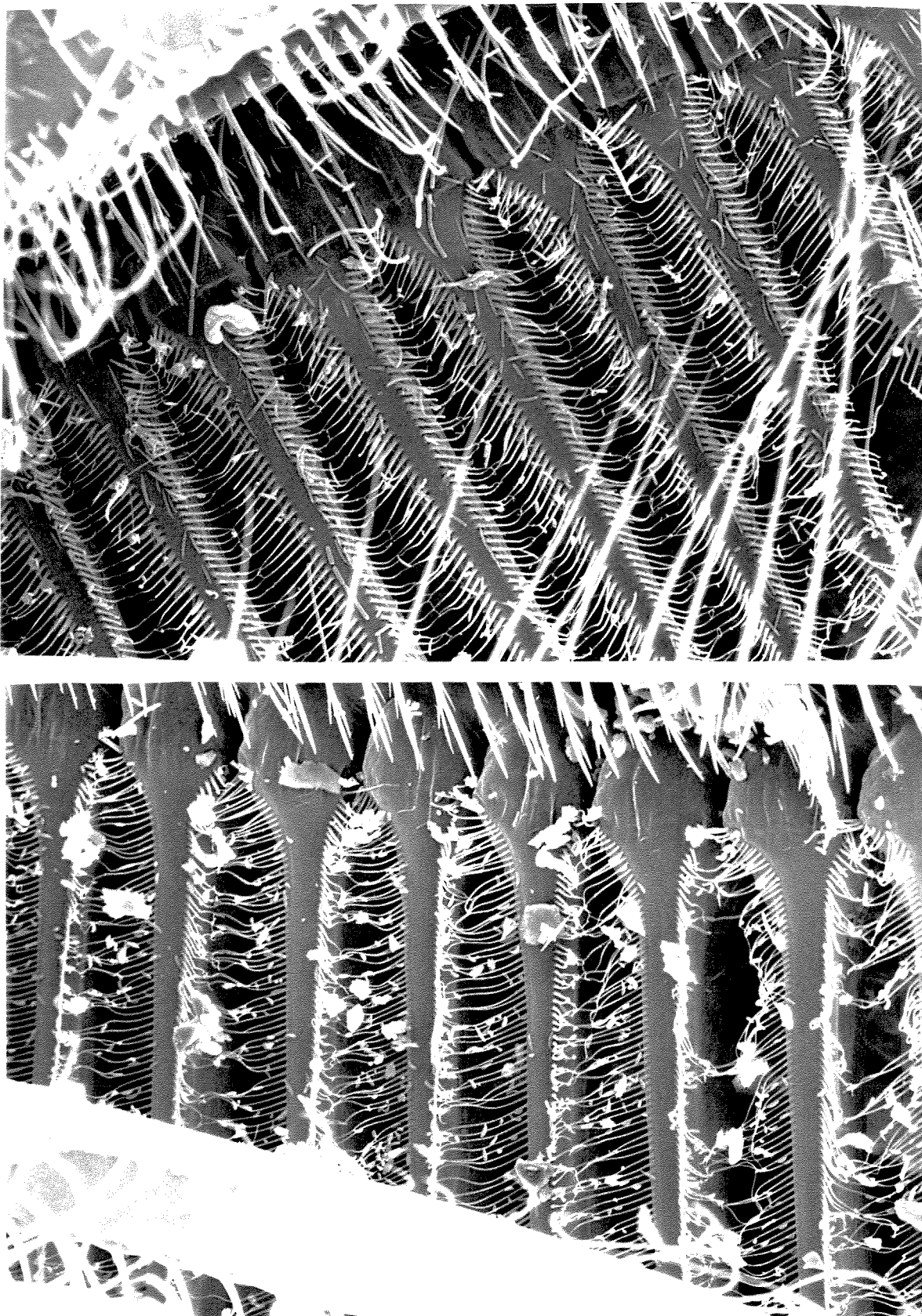


Fig. 21. Indre del av filterkammer hos *Daphnia*. Øverst: kontroll, nederst: eksponert for 500 µg borstøvl over 2 dager. Forstørrelse: 1500 X.

•Scanning photo of filtering combs of *Daphnia*, close to the gnathobase. Upper panel: control, lower panel: exposed to 500 µg particles/l for 2 days. Magnification: 1500 X.

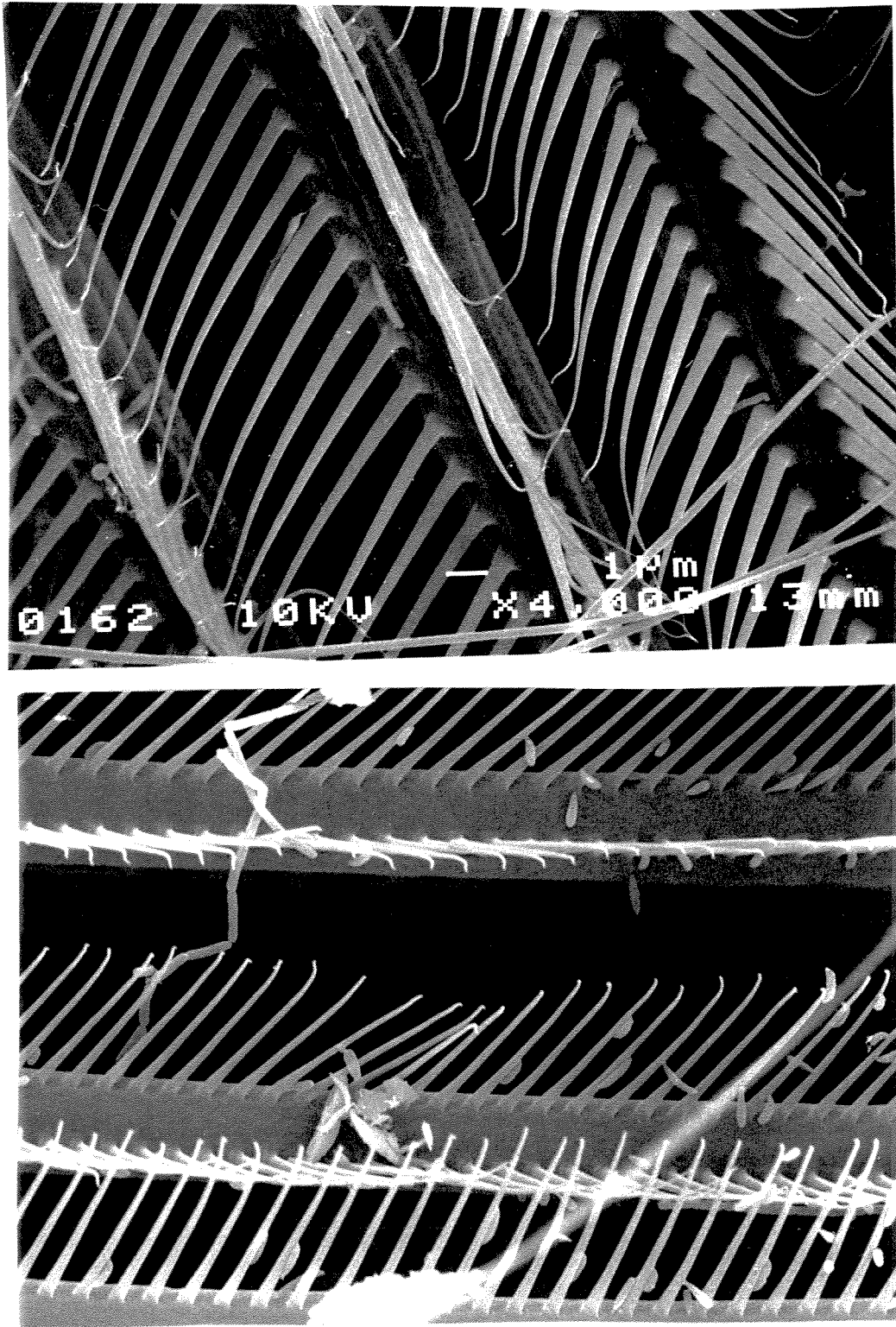


Fig. 22. Ytre del av filterkammer hos *Daphnia*. Øverst: kontroll, nederst: eksponert for 500 µg borstøvl over 2 dager. Forstørrelse: 4000 X

•Scanning photo of filtering combs of *Daphnia*, distant from the gnathobase. Upper panel: control, lower panel: exposed to 500 µg particles/l for 2 days. Magnification: 1500 X.

### 3. GENERELL DISKUSJON

#### 3.1. Partikkeltransport og partikkelnivåer i norske vassdrag.

Det er kjent fra gammelt av at breelver ofte er dårlige fiskeelver, men da de samtidig har en fattig bunnfauna og tilslammet, ustabil bunnsstrat, er det ikke klart om det er primære eller sekundære årsaker (næringsmangel, dårlige gytemuligheter) til fiskens fravær. Med mer moderat partikkelpåvirkning, og i innsjøer med moderat brepåvirkning kan man imidlertid få relativt god avkastning, noe som tyder på at faunaen i noen grad kan tilpasse seg en viss partikkelbelastning. Partikkelkonsentrasjonene kan variere formidabelt i brepåvirkede vassdrag, dette gjelder både mellom og innen vassdragene. Årsvariasjonene kan være spesielt viktig, da selv moderat brepåvirkede elver kan ha flomtopper hvor også partikkelkonsentrasjonen kan øke til det tidobbelte av "bakgrunnskonsentrasjonen". Som eksempel (Fig. 23) er vist den nær fisketomme

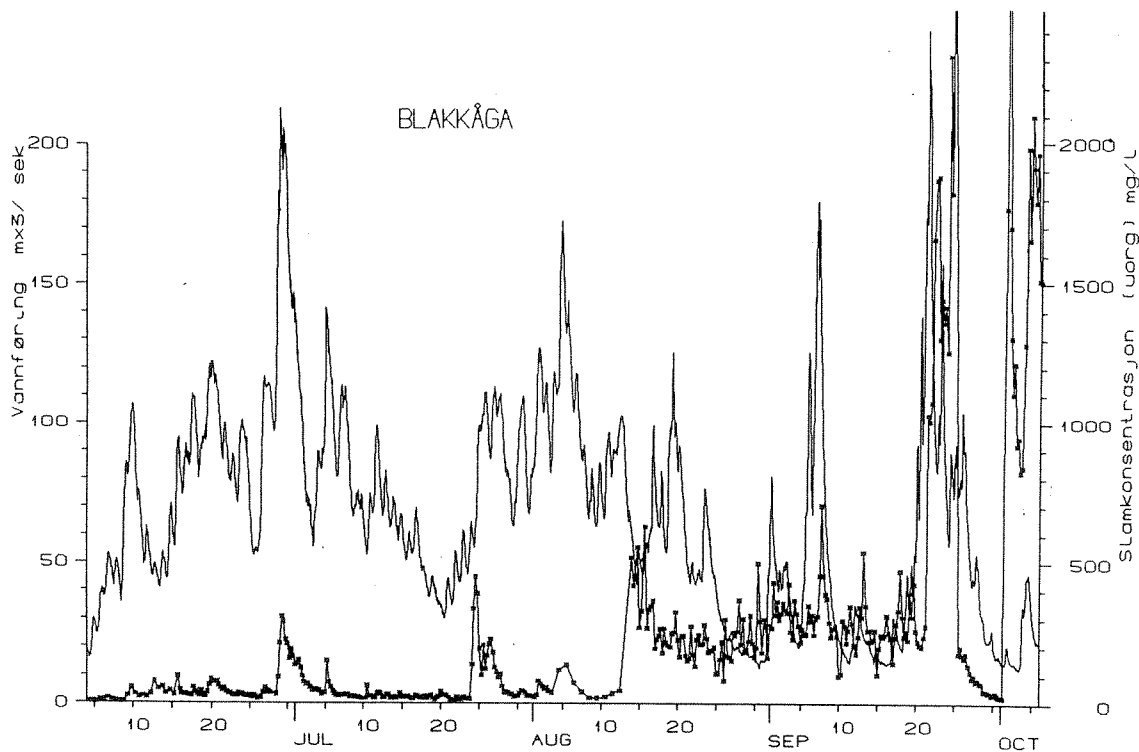


Fig. 23. Vannføring og slamtransport (punkter) i Blakkåga 1989 (Etter Bogen 1991).  
• Discharge and conc. of suspended solids in river Blakkåga, 1989.

Blakkåga som drenerer fra Svartisen, hvor middelkonsentrasjonen av partikler ligger på 127 mg/l i perioden juli-oktober, men hvor det i flomtopper kan bli godt over 1000 mg/l (Bogen 1991). Når man skal prøve å fastslå grenseverdier er det derfor vanskelig å vite om det er gjennomsnittsverdier eller maksimumsverdier man bør forholde seg til. Den nærliggende Beiarelva, som også drenerer Svartisen, har til sammenlikning normalt et partikkelinnhold på rundt 10 mg/l, og overstiger selv i flomtopper sjelden 100 mg/l (Hessen m. fl. 1991). Denne elva har en god fiskebestand (laks og sjøaure). En rekke lavlandselver i områder med marine avsetninger har også høye partikkelkonsentrasjoner,



ofte betydelig høyere enn dem man finner i breelver, men kan likevel ha en betydelig fiskebestand. I Leirelva på Romerike er det målt partikkelkonsentrasjoner på over 9000 mg tørrstoff/l, og verdier på over 200 mg/l er vanlige. Her er likevel en betydelig fiskebestand (abbor, gjedde, gjørs, karpfisk). I tillegg til disse naturlige partikkelpåvirkningene, finnes det en lang rekke mer eller mindre temporære former for partikkelkonsponering. Et spesielt problem i Norge har vært reguleringsarbeider, hvor utrasninger av erosjonsmateriale, breslam og tunellmasse har gitt godt dokumenterte skadeeffekter (se eksempler nedenfor). Veiskjæringer og utfyllinger representerer også et betydelig problem.

### 3.2.Effekter på fisk:

Generelt finnes det kun en sparsom litteratur som beskriver effekter av uorganiske partikler på fisk. Alabaster og Lloyd (1982) indikerer at fisk kan tåle korttidseksponering (~ 1 døgn) av ekstreme partikkelkonsentrasjoner (5-250 gram/l for ulike sedimenttyper). Ved slike ekstreme konsentrasjoner er det også påvist gjelleskader. Dette er imidlertid helt urealistiske konsentrasjoner ut fra norske forhold, og den vil også være mer aktuelt å teste en noe mer langsiktig effekt av eksponering. Den europeiske innlandsfiskekommisjonen (EIFAC) foreslår følgende generelle grenseverdier for effekter på ferskvannsfiske ved eksponering for suspenderte partikler (Alabaster og Lloyd 1982):

- < 25 mg/l: Ingen skadelige effekter
- 25-80 mg/l: Noe redusert avkastning
- 80-400 mg/l: Betydelige reduksjoner i avkastning
- > 400 mg/l: Meget dårlig fiske.

Det må imidlertid presiseres at dette er grenseverdier angitt for effekter på avkastning av fiske, og at de derfor ikke er direkte overførbare når det gjelder direkte skadeeffekter. Det er også et stort spørsmål hvor operative de egentlig er. Som vist nedenfor er det flere faktorer som i betydelig grad påvirker disse grenseverdiene.

En like viktig variabel som konsentrasjon er partikkeltype. Herbert og Richards (1963) fant at regnbueørret overlevde 40 uker i 200 mg/l med partikler fra et kullvaskeri, mens samme konsentrasjon av granfiber ga bare 20 % overlevelse. Fiberholdige partikler synes å være spesielt skadelige, noe som i stor grad skyldes deres evne til å penetrere gjellevevet. For effekter av uorganiske partikler kan den lokale geologi være avgjørende. Jacobsen m. fl. (1987) fant at flisete og fiberliknende mineralpartikler selv i konsentrasjoner på noen få mg/l ga høy dødelighet i et settefiskanlegg. Generelt vil eroderte og avrundede partikler som breslam og leire være mindre skadelig enn nydannede og kantete partikler (sprengstein, borstøv). Effekten av partikkelstørrelse er mindre kjent. Ellis (1944) angir at jo større, hardere og mer kantete partiklene er, desto større er muligheten for mekaniske gjelleskader.

En tredje viktig variabel er fiskesamfunnet selv. Partikkeltoleransen hos fisk er svært artsavhengig, og er generelt lavest hos laksefisk (Fig. 24).

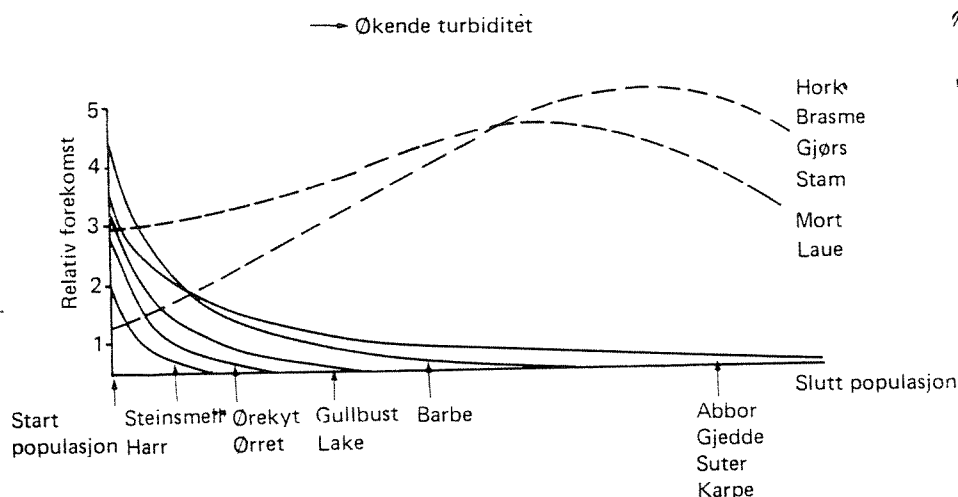


Fig. 24. Relativ toleranse for suspendert sediment hos ulike fiskearter (Etter CTGREF 1978 og Grande 1986).

• Relativ tolerance for suspended sediments in various fish species.

#### Effekter på reproduksjon:

Mens større fisk (> 2+) synes å ha relativt høy toleranse mht. direkte skadeeffekter av partikkeleksponering, synes det som om reproduksjonen er en mer sensitiv parameter. Det finnes flere eksempler på at dødeligheten av egg og yngel øker når gyteplassen overdekkes av finfordelt materiale (Alabaster og Lloyd 1982, NCASI 1984). I et tilfelle hvor partikkelmengden lå mellom 1000 og 2500 mg/l døde alle egg i løpet av 20 dager, mot bare 6 % på en lokalitet med rent vann (Campell 1954). Det er imidlertid klart at betydelig lavere konsentrasjoner enn dette kan gi effekter på overlevelse av rogn og yngel. Ved undersøkelsene i Vetlfjordelva, hvor partikkelkonsentrasjonen i undersøkelsesperioden stort sett lå under 100 mg/l (men med et maksimum på 680 mg/l) var det klare tegn på redusert forekomst av årsyngel (Fig. 25).

NCASI (1984) viste at også partikkelstørrelse var viktig, og at økt andel av finkornet materiale ga økt dødelighet av ørretegg. Årsaken er primært at tilslamming av gytegroper hindrer oksygentilgangen.

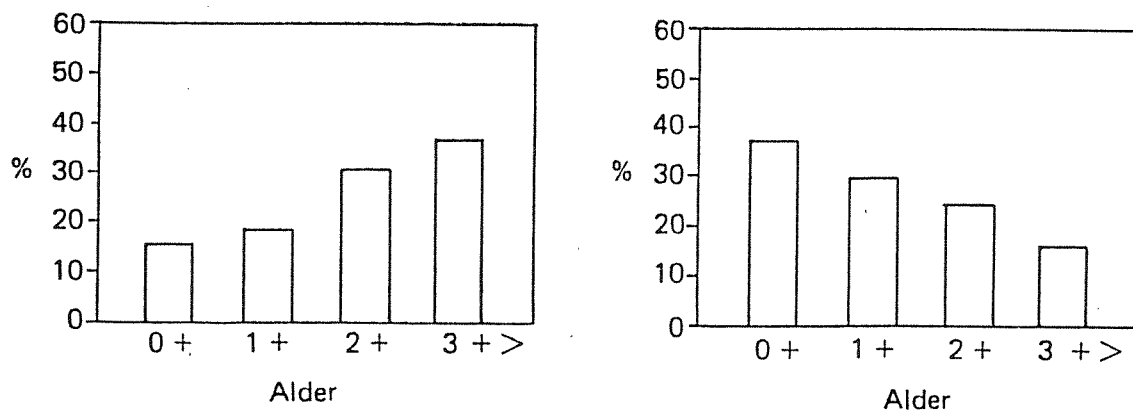


Fig. 25. Prosentvis aldersfordeling av partikkelekspontert fisk i Vetlefjordelva (venstre) og sideelver (høyre). Kontrollgruppene fra sideelvene viser en forventet aldersfordeling med tallmessig dominans av de yngste årsklasser.

• Age distribution of fish from a particle-polluted river (left) and adjacent unpolluted rivers (right).

#### Effekter på fødegrunnlag:

Redusert produksjon av næringsdyr kan i mange tilfelle være den viktigste årsaken til redusert avkastning av fisk. Dette gjelder både bunndyr og zooplankton. Her diskuteres primært effekter på bunndyr, mens effekter på zooplankton gjennomgås mer detaljert nedenfor.

Filtrerende organismer som knottlarver og nettspinnende vårfluelarver er i prinsippet utsatt for de samme mekaniske skadeeffekter som filtrerende arter av zooplankton, men generelt er det sedimenteringseffekter som er av størst betydning for bunndyr. Flere tidlige undersøkelser av amerikanske elver viste reduksjoner på 40-85% av både antall og biomasse av bunndyr i områder påvirket av silt fra erosjon eller gruvearbeid, sammenliknet med upåvirkede partier (Taft og Shapalov 1935, Smith 1940). I en mindre elv førte sterk sedimentasjon av silt til en reduksjon av bunndyrtettheten på 75 % (Tebo 1955). Herbert m. fl. (1961) fant at bunndyrbiomassen i klare elver i gjennomsnitt var ni ganger høyere enn i elver med partikkelkonsentrasjoner på 1000-6000 mg/l. Selv ved betydelig lavere konsentrasjoner er det påvist klare effekter. Gammon (1970) undersøkte bunndyrmengde ovenfor og nedenfor et kalksteinsbrudd, hvor turbiditeten var henholdsvis 13-52 mg/l oppstrøms og 21- 250 mg/l nedstrøms. Spesielt tettheten av nettspinnende vårfluer ble drastisk redusert nedenfor, og han fant også en markert økning (90%) i drift av insekter nedstrøms i perioder med høy partikkeltetthet. En rekke liknende eksempler er sitert i Alabaster og Lloyd (1980), hvor alle konkluderer med tildels dramatiske biomassereduksjoner av bunndyr. I Vosso ble det påvist endringer i bunndyrsamfunnet ved partikkelkonsentrasjoner på < 6 mg/l (Bjerknes & Aanes 1990).

I en review av Sorensen m. fl. (1977) er vist en rekke eksempler på ulike virkningsmekanismer. De fleste undersøkelsene viser fra en moderat nedgang til total utryddelse av bunndyrsamfunnet, avhengig av partikkeltype og konsentrasjon. Økt drift av bunndyr er en vanlig observasjon, selv ved moderat partikkeleksponering. I innsjøer vil ofte tilslamming av bunnarealene kunne gi betydelige effekter. Eksempler på dette er gitt i kap. 4.4. Tilslamming og erodering av vannvegetasjon og begroingsalger, kombinert med redusert vekst av disse pga. økt turbiditet, er viktige indirekte faktorer som påvirker bunndyrfaunaen. Forekomsten av bunndyr er tett koblet til forekomsten av vannvegetasjon, spesielt moser (Hessen m. fl. 1992), og en reduksjon av disse vil redusere både skjulmuligheter og næringsgrunnlag for bunndyrene.

Av de meget få data som finnes m.h.t. gjenetablering av et bunndyrsamfunn etter en episode med tilslamming, er det vist at samfunnet kan være gjenetablert i løpet av en 6-8 års periode, men her må forventes store lokale variasjoner.

### 3.3. Effekter på dyreplankton.

Det finnes flere ulike grupper av dyreplankton. Grovt kan man skille mellom fire hovedgrupper:

- 1) Encellet zooplankton (ciliater, flagellater)
- 2) Hjuldyr
- 3) Hoppekreps (copepoder)
- 4) Vannlopper (cladocerer)

De to siste gruppene er krepsdyr, og det er særlig disse gruppene som utgjør føde for pelagisk fisk. Spesielt gruppen cladocerer er viktige i planktonsamfunn. De er oftest biomassemessig dominerende og de er spesielt attraktive som fiskeføde. Mange av artene innen denne gruppen (som f.eks. *Daphnia*) er også ikke-selektive filtrerere, dvs. de vil beite enhver partikkel som er innen et gitt størrelse-spekter. For de fleste arter ligger dette mellom 1 - 30  $\mu\text{m}$ .

For zooplankton er det demonstrert flere direkte virkningsmekanismer. Redusert fødeinntak er påvist av bl.a. Arruda m. fl. (1983), McCable & O'Brien (1983), Hart (1988) og Kirk (1991). Arruda m. fl. (1983) fant redusert fødeinntak hos *Daphnia* allerede fra konsentrasjoner på 5 mg/l (leirpartikler), og en halvering av fødeinntaket ved ca. 50 mg/l. Kirk (1991) fant klar reduksjon av fødeinntaket hos *Daphnia* ved 50 mg/l (leirpartikler > 1  $\mu\text{m}$ ), og ved konsentrasjoner på 200 mg var fødeinntaket redusert med 87 %. Partikler < 1  $\mu\text{m}$  hadde derimot ingen negativ effekt. Det er også vist redusert assimilasjon av føde med økende partikkeltetthet. Arruda m. fl. (1983) fant ca. 30 % redusert assimilasjon av føde hos *Daphnia* ved en partikkelkonsentrasjon på 10 mg/l mens en mer enn 90 % reduksjon ved 2450 mg/l. Dette kan muligens forklares ved redusert effekt av fordøyelsesenzymer i en tarm tettpakket av uorganiske partikler.

Endelig er det også påvist økt respirasjon hos cladocerer ved partikkeleksponering (Zurek 1982). Også i denne undersøkelsen ble det påvist vektøkning hos individer eksponert for partikler, og dermed økte energikostnader hos dyrene for å motvirke synking.

Alt dette påvirker energibalansen hos cladocerene, og gjør disse spesielt utsatte. Det påvirker også konkurranseforholdet innad i planktonsamfunnet, og det er vanlig å observere en overgang fra cladocerer til hoppekreps og hjuldyr i partikkelpåvirkede systemer

Kirk & Gilbert (1990) fant at fire testede arter av cladocerer (*Bosmina longirostris*, *Ceriodaphnia dubia*, *Daphnia ambigua* og *Daphnia pulex*), alle ble sterkt negativt påvirket av suspenderte leirpartikler ved konsentrasjoner over 50 mg/l, mens fire arter av hjuldyr ikke viste noen negativ respons. Det ble også funnet at fødebehovet for å opprettholde populasjonsvekst hos *Daphnia* ble mer enn doblet ved en partikkelkonsentrasjon på 50 mg/l. Scholtz m. fl. (1988) viste at også konkurranse mellom ulike arter av *Daphnia* ble påvirket av uorganiske partikler i vannet, og at dette i stor grad kunne tilskrives endret predasjonsforhold hos fisk ved redusert sikt i vannet.

I en litteraturgjennomgang fant van Donk (1991) at filtrerende cladocerer blir veksthemmet ved partikkelkonsentrasjoner over 10 - 50 mg/l, mens de selektivt beitende hoppekrepsene og hjuldyrene ikke ble påvirket.

For filtrerende zooplankton vil selv en moderat partikkeløkning og lyssvekkelse kunne gi dramatiske indirekte effekter, ved at veksten av planteplankton begrenses (Grobbelaar 1985). Det er også påvist at suspenderte partikler kan danne aggregater med alger, gjøre de mindre tilgjengelige for beiting og øke sedimentasjonshastigheten. På den annen side vil en lyssvekning kunne gi redusert predasjon fra fisk.

#### 3.4. Eksempler på effekter:

Fra Norge finnes flere gode eksempler på effekter av partikkeleksponering på fisk og dyreplankton. Den beste dokumentasjon er gitt av Aass (1979, 1985) gjennom langtidsundersøkelser av Ustedalsfjorden. Ved senkingen av Ustevann i forbindelse med regulering ble det betydelige utrasninger av breslam. Dette førte til en dramatisk nedgang av ørret og røye i den nedenforliggende Ustedalsfjorden. Totalutbyttet gikk ned i 10 % av utgangsnivået, mens røyefangsten sank helt ned til 1 %. Død fisk ble registrert. Det finnes ikke her gode data på tørrstofftransport, men den har vært ekstrem. Ved utløpet av Ustevann ble det målt turbiditet på opp i 267 (som mg SiO<sub>2</sub>). Helt nede ved Nesbyen ble det registrert siktedyp på bare 10 cm. Bunndyrmengden og fiskens kondisjonsfaktor sank drastisk. På det verste var bunndyrmengden nede i 20 % av førnivå. Linsekreps, fjærmyggglarver og muslinger ble hardest rammet, og effektene var størst på dypt vann. Selv helt nede i Strandafjorden ble det registrert klare effekter på fisk og bunndyr.

Fortsatt 20 år etter tilslammingen var fangstene i Ustedalsfjorden redusert i forhold til førnivået.

Borgstrøm (1970) viste klart negative effekter av regulering med påfølgende tilslamming av Mårvann. Den dramatiske reduksjon i ørretfangsten ble for en stor grad tilbakeført til nedslamming av bunnområder og reduksjon av næringsdyr (spesielt skjoldkrepser). Det ble også observert utvandring av fisk til områder med klarere vann. Borgstrøm m. fl. (1986) viste også at krepserplanktonet *Holopedium gibberum* omtrent forsvant etter tilslamming av Ringedalsmagasinet, noe som fikk negative effekter for ørreten i vannet. Flere andre observasjoner som indikerer negativ effekt av tilslamming er gitt av Grande (1986). Et eksempel fra Mondsee i Østerrike (som vil ha mye til felles med en norsk lokalitet) er gitt i en review av EIFAC (1965). Her ble den totale årsproduksjonen av *Daphnia* redusert fra 400 000 kg/år til 80 000 kg/år på grunn av høy turbiditet forårsaket av veiarbeid. Reduksjonen i planktonproduksjon hadde en klar effekt på produksjonen av sik i vannet.

I motsetning til disse observasjonene fant ikke Andersen (1979) påvisbare skader på laks og ørret ved tilslamming av Målselv-vassdraget. Her ble imidlertid ikke påvist partikkelkonsentrasjoner på over 12 mg tørrstoff/l.

I Vetlefjordelva i Sogn og Fjordane som er nevnt tidligere i denne rapporten, ble det registrert partikkelkonsentrasjoner på opptil 700 mg/l som følge av tipping av tunnelmasse i selve elveløpet (Hessen m. fl. 1989). Selve bunnssubstratet i elva ble klart påvirket av tilslammingen, og det ble registrert en klar endring i bunndyrfaunaen med nedgang av grupper som steinfluer og døgnfluer som normalt utgjør viktig fiskeføde, mens fjærmygglarver viste økende tendens. Det ble ikke påvist akutt dødelighet hos fisk, men det ble påvist moderat slimutsondring på gjellene, kondisjonsfaktoren gikk ned og det var en betydelig rekrutteringssvikt året etter tilslammingen.

En naturlig klarvannsfaua vil også ha betydelig lavere terskel enn en fauna tilpasset en viss bakgrunnseksposering av partikler. I Vosso ble det registrert økt partikkelinnhold som følge av vegfyllingsarbeid og flomsikringsarbeid i Vangsvatnet (1.8-37.9 mg tørrstoff/l). Selv disse relativt beskjedne konsentrasjonene hadde likevel en klar effekt på bunndyrfaunaen (Bjerknes m. fl. 1991).

Visse partikkeltyper er klart mer skadelige enn andre. I Huddingvassdraget i Røyrvik ble et tidligere godt ørretvann tilnærmet livløst etter deponering av gruveslam (Iversen og Grande 1985). Effekten ble her tilskrevet partikler til tross for partikkelkonsentrasjoner på bare 1-13 mg/l. Dette var imidlertid svært skarpe partikler av finmalt svovelkis og knust stein. Jacobsen m.fl. (1987) satte fiskedød i et oppdrettsanlegg i forbindelse med partikler fra tunnelarbeid oppstrøms. Her var partikkelkonsentrasjoner på bare noen få (< 5) mg/l, men dette var nåleformede, fiberliknende partikler fra bløte bergarter som var i stand til å penetrere gjellevevet.

Generelt er det hevet over tvil at partikkelpåvirkning nesten alltid har en negativ effekt på faunaen i elver og innsjøer. Redusert lysgjennomtrengelighet vil senke primærproduksjonen og dermed gi effekter hele veien opp gjennom næringskjedene. På samme måten vil effekter på dyreplankton og bunndyr også gi klare næringskjedeeffekter slik at selv fisk som ikke direkte skades av partiklene nesten alltid påvirkes negativt ved akkumulerte næringskjedeeffekter. Det er gjort lite systematisk arbeid på dette området, og effekter av viktige variable som partikkelmorfologi, kornfordeling, temperatur og eksponeringstid er svært lite kjent. Det samme kan sies om ulike stadier og ulike arter både innen dyreplankton, bunndyr og fisk. På bakgrunn av denne og tidligere undersøkelser kan likevel gis endel generelle konklusjoner (se konklusjonsdelen).

Sett på bakgrunn av det problem partikler utgjør i norske elver og vassdrag, sammen med det faktum at erosjonsproblemer og partikkeltransport synes å være et økende problem verden over knyttet til avskoging, intensivt jordbruk, store reguleringsprosjekter og klimaendringer, er dette et område som fortjener økt oppmerksomhet.

**LITTERATUR**

- Alabaster, J.S. & Lloyd, R. 1982. Water quality criteria for freshwater fish. Butterworths, London.
- Andersen, C. 1979. Reguleringer og utvaskinger i Målselvvassdraget. s. 116-136 i Gunnerød, T. og Mellqvist, P. 1979: Vassdragsregulerings biologiske virkninger i magasiner og lakseelver. Symp. 1978. NVE-DVF. 294 s.
- Arruda, J.A., Marzolf, G.R. & Faulk, R.T. 1983. The role of suspended sediments in the nutrition of zooplankton in turbid reservoirs. *Ecology* 64: 1225-1235.
- Bjerknes, V. og Aanes, K.J. 1990. Anleggsarbeid på RV 13 ved Bulken i Voss kommune. Effekter på vannkvalitet og bunndyr. NIVA-rapport 2428.
- Bjerknes, V., Aanes, K.J. og Bækken, T. 1991. Flomsikring av Vangsvatn. Miljøvirkninger av anleggsarbeid. NIVA-rapport 2676.
- Bogen, J. 1991. Sedimenttransport - Blakkåga, Svartisen 1988, 1989 og 1990. NVE HM-notat 10/91.
- Borgstrøm, R. 1973. The effect of increased water level fluctuations upon the brown trout population of Mårvann, a Norwegian Reservoir. *Norw. J. Zool.* 21: 101-112.
- EIFAC 1965. Working party on water quality criteria for European freshwater fish. Report on finely divided solids and inland fisheries. (EIFAC Technical Paper no. 1). *Air and water Pollution* 9: 151-168.
- Ellis, M.M. 1944. Water purity standards for freshwater fishes. *Spec. Sci. Rep. US Fish Wildlife Serv.* 2.
- Gammon, J.R. 1970. The effects of inorganic sediments on stream biota. U.S. Environmental Protection Agency. Water Pollution Control Research Series 18050 DW C 12/70. Gov. Printing Office, Washington.
- Grande, M. 1986. Virkning av partikler på fisk. Norsk Limnologforening. Seminar på Dombås. s. 71-91. ISBN 82-990973-9-8.
- Grande, M. og Iversen, E.R. 1985. Grong Gruber A/S. Kontrollundersøkelse i vassdrag 1984. NIVA-rapport O-69120.
- Grobbelaar, J.U. 1985. Phytoplankton productivity in turbid waters. *J. Plankton Research* 7: 653-663.



- Herbert, D.W.M., Alabaster, J.S., Dart, M.C. and Lloyd, R. 1961. The effect of china-clay wastes on trout streams. *Int. J. Air Wat. Poll.* 5: 46-55.
- Herbert, D.W.M. and Richards, J.M. 1963. The growth and survival of fish in some suspension of solids of industrial origin. *Int. J. Air Wat. Poll.* 7: 297-302.
- Hessen, D.O., Bjerknes, V., Bækken, T. og Aanes, K.J. 1989. Økt slamføring i Vetlefjordelva som følge av anleggsarbeid. Effekter på fisk og bunndyr. NIVA-rapport 2226.
- Hessen, D.O., Mjelde, M. og Lindstrøm, E-A. 1991. Vassdragsovervåking i forbindelse med Stor-Glomfjordreguleringen. Undersøkelser av vannkjemi og vegetasjon. Årsrapport for 1991. NIVA-notat O-90123.
- Hessen, D.O., Brandrud, T.E., Bækken, T. og Kjellberg, G. 1992. Etterundersøkelser ved Osa kraftverk, Strandfossen kraftverk og Braskereidfoss kraftverk, Hedmark. NIVA-rapport 2703.
- Jacobsen, P., Grande, M., Aanes, K.J., Kristiansen, H. og S. Andersen. 1987. Vurdering av årsaker til fiskedød ved G.P. Jægtvik A/S, Langstein. NIVA-rapport O-87114.
- Kirk, K.L. 1991. Suspended clay reduces *Daphnia* feeding rate: behavioural mechanisms. *Freshwater biology* 25: 357-365.
- Kirk, K.L. & Gilbert, J.J. 1990. Suspended clay and the population dynamics of planktonic rotifers and cladocerans. *Ecology* 71: 1741-1755.
- McCabe, G.D. & O'Brien, W.J. 1983. The effects of suspended silt of feeding and reproduction of *Daphnia pulex*. *The American Midland Naturalist* 110: 324-337.
- NCASI (National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement) 1984. The effects of fine sediments on salmonid spawning gravel and juvenile rearing habitat. NCASI Techn. Bull. 428, New York.
- Scholtz, S., Seaman, M.T., & Pieterse, A.J.H. 1988. Effects of turbidity on the life history parameters of two species of *Daphnia*. *Freshwater Biology* 20: 177-184.
- Sorenson, D.L., McCarthy, M.M., Middlebrooks, E.J. & Porchella, D.B. 1977. Suspended and dissolved solids effects on freshwater biota; a review. U.S. Environmental Protection agency, Corvallis. EPA-600/3-77-042.

- Smith, O.R. 1940. Placer mining silt and its relation to salmon and trout on the Pacific Coast. *Trans. Am. Fish. Soc.* 69: 225-230.
- Taft, A.C. and Shapalov, L. 1935. A biological survey of streams and lakes in the Klamath and Shasta national forests of California, Washington D.C., U.S. Bureau of Fish. Cited in Alabaster and Lloyd 1980.
- Tebo, L.B. Jr. 1955. Effects of siltation, resulting from improper logging, on the bottom fauna of a small trout stream in the Southern Appalachians. *Progr. Fish. Cult.* 17: 64-70.
- Van Donk, E. 1991. Interactions between suspended solids and zooplankton; a literature study. Landbouwniversiteit Wageningen.
- Zurek, R. 1982. Effects of suspended materials on zooplankton. II. Laboratory investigations of *Daphnia hyalina* Leydig. *Acta Hydrobiologia* 24: 233-251.
- Aass, P. 1979. Tilslumming i Hallingdalselva 1966-67. Fisket i Ustedalsfjord og Strandafjord. s. 93-115 i Gunnerød, T. og Mellqvist, P. 1979: Vassdragsregulerings biologiske virkninger i magasiner og lakseelver. Symp. 1978. NVE-DVF. 294 s.
- Aass, P. 1985. Langvarige fiskeribiologiske forskningsprogrammer i ferskvann. *Fauna* 39: 10-17.

---

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Postboks 69 Korsvoll, 0808 Oslo  
ISBN 82-577-2172-7