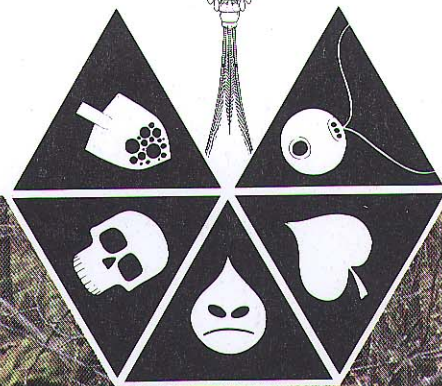
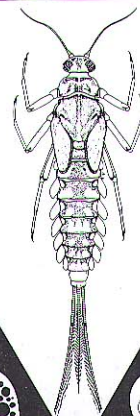




Statens
forurensningstilsyn

O-87119/E-88421

Nr 2A. Forsuring



Bruk av
vassdragets **bunnfauna** i
vannkvalitetsklassifiseringen

Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00

Sørlandsavdelingen

Televeien 1
4890 Grimstad
Telefon (47) 37 04 30 33
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Rute 866
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Thormøhlensgt 55
5008 Bergen
Telefon (47) 55 32 56 40
Telefax (47) 55 32 88 33

Akvaplan-NIVA A/S

Søndre Tollbugate 3
9000 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

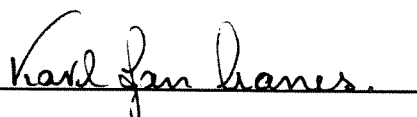
Tittel Bruk av vassdragets bunnfauna i vannkvalitetsklassifisering. Nr. 2A. Forsuring (2. opptrykk).	Løpenr. (for bestilling) 2491	Dato 1990, 1. utg. 1996, 2. utg.
	Prosjektnr. Undernr. O-87119 E-89506 02	Sider Pris 38
Forfatter(e) Bækken, Torleif Aanes, Karl Jan	Fagområde Vassdrag	Distribusjon
	Geografisk område	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Statens forurensningstilsyn (SFT) Norsk institutt for vannforskning (NIVA)	Oppdragsreferanse
---	-------------------

Sammendrag

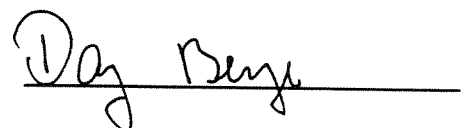
Norske vassdrag forures i økende grad. Smådyr på elvebunnen kan brukes til å klassifisere de biologiske forurensningsskadene. Rapporten beskriver klassifikasjonssystemene til Raddum og til Engblom/Lingdell. Begge baserer seg på tilstedeværelse/fravær av indikatorarter som gis indeksverdier etter deres forurensningstoleranse. Eksperimenter bekrefter hypotesen om at korte forurensningsepisoder kan gi store reduksjoner i bunndyrsamfunn. Standardiserte tester viste enkelte bunndyrarters toleranse overfor surt vann (pH), surt vann med labilt aluminium og surt vann med humus. Generelt var døgnflueartene mest følsomme for surt vann. Deretter kom steinfluene, mens vårfluene var mest tolerante. Aluminium hadde gunstig innvirkning på overlevelsen av døgnfluen *Baetis rhodani* ved lav pH. Humus hadde gunstig innvirkning på overlevelsen til *Baetis rhodani* og marflo, *Gammarus lacustris*, i surt miljø. Med bakgrunn i Raddums og Engblom og Lingdells systemer, andre nordiske arbeider samt egne feltdata og eksperimentelle data, foreslår NIVA et sett indeksverdier som vil være gyldige ved forurensningsundersøkelser i de fleste norske vassdrag. Det gis en klasseinndeling fra 1 til 4, der 1 angir en ikke forurensningsskadet og 4 angir en sterkt forurensningsskadet lokalitet.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bunnfauna 2. Forsuring 3. Klassifisering 4. Vannkvalitet 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Macroinvertebrates 2. Acidification 3. Classification 4. Water quality
---	---



Prosjektleder

ISBN 82-577-1804-1



Forsknings sjef

Bruk av vassdragets bunnfauna i vannkvalitetsklassifisering

Nr. 2A

Forsuring

Oslo, november 1990
Torleif Bækken og Karl Jan Aanes
2. utgave: november 1995

Forord

Statens forurensningstilsyn (SFT) har i samarbeid med Norsk institutt for vannforskning (NIVA) arbeidet fram vannkvalitetskriterier for ferskvann. Håndboken "Vannkvalitetskriterier for ferskvann" bygger på arbeid fra perioden 1980 til 1989 (NIVA 1980, 1983, 1986, SFT 1989).

En videreutvikling av dette arbeidet ble satt i gang i 1987 ved etablering av prosjektet "Bruk av bunndyr i vassdragsovervåkingen". NIVA's oppgave i denne utredningen har vært å gi en oversikt over dagens kunnskapsnivå og behov når en vil nytte vassdragets bunnfauna i det videre arbeidet med å sette opp kriterier for vannkvalitet og klassifisering av vassdragavsnitt. Videre skulle utredningen gi en sammenstilling over kunnskapsnivået når det gjelder virkningen av de ulike forurensningstypene på bunnfaunaen i rennende vanns økosystemer. Vassdragets bunnfauna brukt som et klassifikasjonsverktøy har store muligheter i det videre arbeidet med å beskrive og overvåke vannkvaliteten i vann og oppbygning, å integrere den samlede effekten av miljøpåvirkninger over lang tid.

NIVA har de siste årene bygget opp et større testanlegg spesielt beregnet på økotoksikologiske tester på bunndyrpopulasjoner og samfunn fra bekker og elver (Aanes 1989, Aanes og Bækken 1989a, Bækken og Aanes 1990a). I arbeidet med å bygge opp et klassifikasjonssystem for forurensningskader har dette gjort oss i stand til å simulere forurensningssituasjoner, og å gå nærmere inn på forskjellige vannkjemiske parameteres betydning for pH-toleransen. Dette har vært viktige data i arbeidet med å fastlegge enkeltorganismers toleransegrenser overfor forurensning.

Fra prosjektet "Bruk av bunndyr i vassdragsovervåkingen" foreligger det en rapport fra 1989 som gir generell informasjon omkring bunndyr, forurensninger og klassifisering: Bruk av vassdragets bunnfauna i vannkvalitetsklassifiseringen. Nr. 1 Generell del. (Aanes og Bækken 1989b). I løpet av 1990 ble det utarbeidet to rapporter som omhandler forurensningsvirkninger på bunndyrsamfunnene i rennende vann: Nr.2A: Forurensning (Bækken og Aanes 1990a) og nr. 2B: Effekter av forurensningen på bunndyr i elver og bekker i Sør-Varanger (Bækken og Aanes 1990b).

Vi takker Eva Engblom og Per Erik Lingdell ved Limnodata i Sverige, Torgny Wiederholm ved Statens naturvårdsverk i Sverige, Arne Fjellheim og Gunnar G. Raddum ved Universitetet i Bergen, Per Erik Iversen og Tor Johannessen ved SFT, Dag Berge, Gøsta Kjellberg, Frode Kroglund og Leif Lien ved NIVA for å ha bidradd med nyttige kommentarer til rapporten. Arne Henriksen, NIVA har velvilligst latt oss få tilgang på kjemidata fra en rekke vassdrag hentet inn i forbindelse med sur nedbør overvåkingen i Norge.

På NIVA er Karl Jan Aanes leder for prosjektet "Bruk av bunndyr i vassdragsovervåkingen". Sammenstilling av materiale og utarbeidelse av rapporten ble i 1990 utført av Torleif Bækken, NIVA. Prosjektet har vært finansiert dels med midler fra SFT og dels med NIVA's egne forskningsmidler. SFT's kontaktperson var, ved utarbeidelsen av rapporten i 1990, Per Erik Iversen.

2 utgave

At forsurening er et stort miljøproblem i Norge har gjenspeilet seg i en stor etterspørsel etter denne rapporten. Den har nå en tid vært "utsolgt" hos NIVA og SFT og for å tilfredsstille etterspørselen etter rapporten ble det besluttet og gi den ut igjen i et nytt opplag.

SFT og NIVA samarbeidet om å utvikle et nasjonalt vurderingssystem for å klassifisere forurensningskader i rennende vann's biotoper vha bunnfaunaen. Rapporten gir innblikk i prosessen som ligger bak utarbeidelsen av dette systemet og den er også et godt hjelpemiddel når en skal benytte dette verktøyet for å klassifisere forurensningskader i våre vassdrag.

I den 2. utgaven er det bare gjort mindre endringer, - vesentlig av språklig karakter. Denne rapporten er også oversatt til engelsk. Den engelske utgaven foreligger samtidig med den 2. utgaven av den norske versjonen. SFT's kontaktperson for prosjektet: "Bruk av vassdragets bunnfauna i vannkvalitetsklassifisering" er nå Dag Rosland.

Oslo, oktober 1995

Karl Jan Aanes
prosjektleder

Innhold

Sammendrag	6
1. Innledning	7
2. Bunndyr og forsuring	8
2.1 Bakgrunn	8
2.2 pH-toleranse og forsuringindekser	9
2.3 Erfaringer fra feltstudier på Østlandet og i Øst-Finnmark.	11
3. Eksperimentelle studier av forsuringsskader	18
3.1 Simulering av episodiske pH-fall.....	18
3.1.1 Bakgrunn.	18
3.1.2 Driv av dyr ved kortvarige forsuringsepisoder.	18
3.1.3 Endringer i et bunndyrsamfunn etter kortvarige forsuringsepisoder.....	20
3.2 Toleransetester: Bunndyrs følsomhet overfor surt vann, og surt vann i kombinasjon med aluminium og humus.	23
3.2.1 Bakgrunn.	23
3.2.2 pH-toleranse.	23
3.2.3 pH-Al-toleranse.	26
3.2.4 pH-humus-toleranse.	28
4. Tilpasning og bruk av forsuringindeks basert på bunndyr	31
4.1 Bunndyrenes forsuringstoleranse	31
4.2 Indekstilpasning.....	33
4.3 Bruk av forsuringindeks.....	33
5. Litteratur	36

Sammendrag

1. I Norge er et av de største forurensingsproblemene i vår tid den sure nedbøren. I første rekke har dette rammet Sørlandet der en meget stor del av vassdragene er blitt fisketomme. Ulike bunndyrarter reagerer forskjellig på forsuring og kan brukes til å gi et tidlig varsel om forsuring, og til å klassifisere de biologiske forsuringsskadene.
2. Forsuringsindekser har blitt laget med bakgrunn i bunndyrenes toleranse overfor forsuring. I Norge har Raddum laget en indeks tilpasset fauna og vannkvaliteter på Sør- og Vestlandet. Engblom og Lingdell har laget en tilsvarende indeks for svenske forhold.
3. I forsuringsindeksene blir bunndyrene gruppert etter deres fravær eller tilstedeværelse ved ulike pH-nivåer. Faunaen deles i 4 toleransegrupper som er angitt ved pH-nivåer. Hver gruppe blir tillagt en tallverdi, en "forsuringsindeks". Gruppene karakteriseres surhetstilstanden på en lokalitet under de sureste episodene og gir informasjon om eventuell biologiske forsuringsskader.
4. Data fra Raddum og Engblom og Lingdell, andre nordiske arbeider og nye undersøkelser utført av NIVA fra Buskerud, Akershus, Hedmark og Øst-Finnmark, gir bakgrunn for å vurdere indeksverdiene som tildeles de forskjellige artene i forhold til utbredelse og vannkvalitet. Generelt synes humus å øke toleransen overfor surt vann.
5. Eksperimentelle undersøkelser viste at korte forsuringsperioder kan gi store reduksjoner i bunndyrsamfunnet. Det kunne ikke påvises at den viktige indikatorarten døgnfluen *Baetis rhodani* forsvant under slike episoder, men bestanden ble betydelig redusert. Det er uklart hvor lenge en sur periode må vare og hvor surt vannet må være for å gi påviselige endringer i et bestemt bunndyrsamfunn.
6. Flere arter av bunndyr ble testet for deres følsomhet i forhold til surt vann (pH), surt vann med labilt aluminium og surt vann med humus. Følgende arter var med i en eller flere av testene: Døgnfluene *Baetis rhodani* og *Heptagenia sulphurea*, steinfluene *Protonemura meyeri*, *Brachyptera risi* og *Leuctra hippopus*, vårfluene *Polycentropus flavomaculatus* og *Hydropsyche siltalai*, krepsdyret *Gammarus lacustris*.
7. Døgnfluene var minst tolerante overfor surt vann, dernest kom steinfluene, mens vårfluene var de mest tolerante av de testede artene.
8. Aluminium hadde gunstig innvirkning på overlevelsen av store og små individer av døgnfluen *Baetis rhodani* ved pH 4.5 og 4.7. Det ble ikke registrert dødelighet blant de andre artene.
9. Humus hadde gunstig innvirkning på overlevelsen for *Baetis rhodani* og *marflo* (*Gammarus lacustris*) ved pH 4.5 og 5.0. Eksperimentene støttet hypotesen om at forsurede lokaliteter med mye humus kan opprettholde et mer forsuringfølsomt bunndyrsamfunn enn tilsvarende lokaliteter med lite humus. Effekten av humus er imidlertid avhengig av hvor lenge en forsuringsperiode varer og hvor sur den er.
10. NIVA (Bækken og Aanes 1990) foreslår en plassering av bunndyr i forsuringsklasser, oppgitt som pH-intervaller og indeksverdier, som vil være gyldige ved forsuringsundersøkelser i de fleste norske vassdrag. Indeksverdiene er vist i Tabell 10 side. 40.

1. Innledning

I Norge er et av de største forurensningsproblemene i vår tid den sure nedbøren. I Sør-Norge er den gjennomsnittlige pH-verdien i nedbøren under 4.6. I ekstreme tilfeller er det rapportert om pH-verdier på 3.6. I store deler av landet er nedbørsfeltets evne til å nøytralisere sur nedbør begrenset fordi tilgangen på basekationer (kalsium, magnesium, natrium og kalium) som kan bufre sure tilførsler er liten (Henriksen et al. 1990). Det medfører at vassdragene i økende grad forures. I første rekke har dette rammet Sørlandet der en meget stor del av vassdragene er fisketomme. Men også på Vestlandet og i områder av Østlandet og Øst-Finnmark (Bækken og Aanes 1990b) har forsuringsskadene vist seg. Man ble tidlig klar over at surt vann kunne medføre fiskedød. Senere viste det seg at enkelte arter av bunndyr (smådyr som lever på elvebunnen) forsvant på et tidlig stadium i forsuringen, før forholdene ble kritiske for fisken i vassdraget. De kunne derved på et tidlig tidspunkt gi et varsel om forsuring. Samtidig var dette dyregrupper som også er sentrale næringsorganismer for fisken i vassdraget.

I arbeidet med overvåking og karakterisering av vannkvaliteten i våre vassdrag har det blitt et voksende behov for å samordne de kjemiske og biologiske data til et system for klassifisering av vannkvaliteten.

I dette samarbeidsprosjekt har SFT og NIVA ønsket å vurdere hvordan bunndyr kan brukes til å klassifisere vannkvaliteten (Aanes og Bækken 1989, SFT 1989a). Et slikt system bygger på det faktum at bunndyrene har forskjellige toleranse overfor forurensninger, blant annet surt vann. De mest følsomme dyrene dør ut i en tidlig fase av forsuringen, mens tolerante arter kan leve i til dels meget surt vann. Undersøkelser av bunnfaunaen viser derfor i hvilken grad eventuelle sure episoder har vært til skade for normalfaunaen i vassdraget, og den faunaen som er igjen kan fortelle noe om hvor surt vannet har vært. Med én enkelt bunndyrprøve blir det derfor mulig å angi pH-området i den sureste perioden.

Som bakgrunn for denne rapporten har vi hatt følgende 5 delmål:

1. Gi en beskrivelse av eksisterende systemer som bruker bunndyr til klassifikasjon av forsuring.
2. Vurdere bunndyrenes pH-toleranse slik de er gitt i klassifikasjonssystemene mot andre felldata og eksperimentelle data.
3. Bidra med kunnskap om hvordan episodiske pH-fall må være for å gi påviselige endringer i faunaen.
4. Ved kontrollerte tester gi presis kunnskap om pH-toleranse og om hvordan den påvirkes av andre vannkjemiske parametre.
5. Med bakgrunn i de foran nevnte punkter gi forslag til hvordan bunndyr kan brukes til å klassifisere forsuringen i våre vassdrag.

2. Bunndyr og forsuring

2.1 Bakgrunn

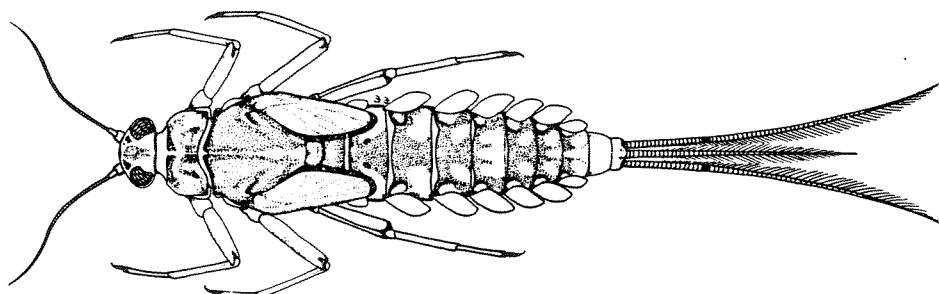
Informasjoner om bunndyrs toleranse overfor surt vann foreligger i stor grad fra feltundersøkelser i vassdrag i Norge, Sverige, Finland og fra endel andre europeiske land (Anttila 1985, Bækken og Aanes 1990b, NIVA 1988, Degerman et al. 1987, Engblom og Lingdell 1983, 1987, Huttunen et al., 1987, Lien et al. 1989, Näslund 1987, Nyman et al. 1986, Otto og Svensson 1983, Raddum 1979, Raddum og Fjellheim 1984, Raddum et al., 1988, Økland, J. 1969, 1980, 1983, Økland, J. og Økland, K. A., 1986, Økland, K. A., 1980). Fordi både vannkjemi og faunasammensetninger varierer geografisk, kan en ikke uten videre bruke data fra utenlandske arbeider for å se på sammenhengen mellom forsuring og bunndyr i Norge. I denne rapporten vil derfor det alt vesentlige av innhentet datagrunnlag komme fra nordiske arbeider.

Siden problemene omkring forsuring av våre vassdrag begynte å bli avdekket er det foretatt en mengde registreringer av vannkjemiske parametre, men også av enkelte vannbiologiske parametre. For Norges vedkommende har undersøkelsene særlig foregått på Sør- og Vestlandet fordi disse områdene har vært mest utsatt for forsuringen. Det viste seg etter hvert at de forskjellige smådyrene på elvebunnen reagerte ulikt på forsuringen; noen arter tålte lite forsuring, mens andre var meget tolerante. Bunndyr ble derfor tatt i bruk for å karakterisere den biologiske tilstanden i vassdragene.

Tradisjonelt har forsuringsskader på faunaen, og faunaenes toleransegrenser overfor surt vann, vært sett i forhold til vannets surhetsgrad (pH). Imidlertid kan andre vannkjemiske parametre slik som kalsium, aluminium, bikarbonat og innholdet av organisk stoff innvirke på pH-toleransen. Ved å bruke vannets syrenøytraliserende evne, vil disse parametrene bli samlet i én parameter; ANC (Acid Neutralization Capacity) (Lien et al. 1989). Dette gir et riktigere bilde av bunndyrenes forsuringstoleranse enn ved bare å bruke pH. Klassifiserer en bunnfaunaen i forhold til ANC, kan det tenkes at en må endre noe på de nåværende bunndyr/pH-klasser, men endringene vil sannsynligvis bli små.

De fleste arbeider omkring bunndyr og forsuring bruker pH til å angi toleransegrensene (se referanser overfor). I denne rapporten vil vi derfor forholde oss til bunndyrgrupper og toleranseverdier sett i forhold til pH. Dessuten ønsker vi å skille ut enkelte faktorer i ANC-begrepet for å teste virkningene av disse på pH-toleransen.

I en uforurett (og ellers uforurenset) elv vil det alltid være et bredt spekter av forsuringstolerante og forsuringfølsomme arter og grupper. Når samfunnet blir utsatt for en forsuring vil de følsomme artene forsvinne først og man får tilbake et artsfattigere, og som oftest individfattigere, bunndyrsamfunn med tolerante arter. Det er alltid de mest forsuringfølsomme artene på en lokalitet som blir bestemmende for hvilken forsuringskategori lokaliteten blir plassert i. Finner man for eksempel døgnfluen *Baetis rhodani* (Figur 1) i en vestlandselv, kan man være ganske trygg på at lokaliteten ikke er forsuringskadd selv om man også finner mange forsuringstolerante arter.



Figur 1. Nymfestadiet av døgnfluen *Baetis rhodani*. Dette er en av de viktigste forsuringssindikatorer i bunndyrsamfunnet (tegnet av Eva Engblom).

2.2 pH-toleranse og forsuringsindekser

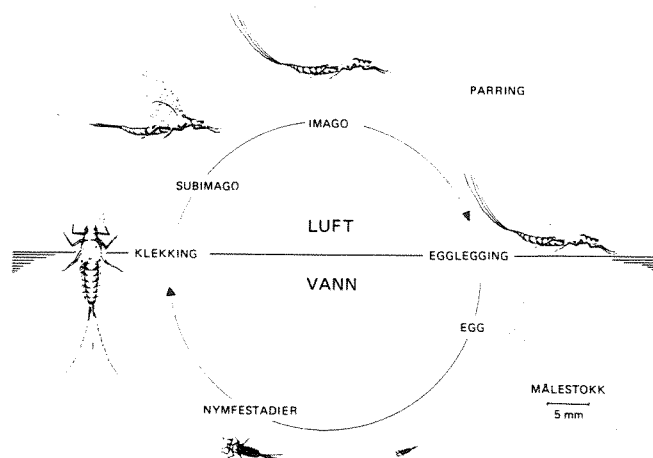
Det har vist seg formålstjenlig å gruppere bunndyrene etter deres pH-toleranse. Dyrene blir knyttet til et bestemt pH-område slik at bunndyrs sammensetningen ved siden av å klassifisere forsuringskader, kan fortelle noe om surhetstilstanden i vassdraget under de sureste periodene. For enkelthets skyld har dyrene innen hver pH-gruppe blitt tillagt en tallverdi, en "forsuringsindeks", istedenfor at man opererer med pH-verdier.

I Norge utviklet Raddum et slik indekssystem for faunaen på Sør og Vestlandet (Fjellheim og Raddum 1984, Raddum et al. 1988). I Sverige ble et tilsvarende system utviklet av Engblom og Lingdell (1987). Indekssystemene til Raddum og Engblom og Lingdell er i prinsippet likt oppbygd. De baserer seg på tilstedeværelse/fravær av bestemte arter eller grupper med kjent toleranse overfor surt vann. Faunaen er gruppert i 4 toleransegrupper som er angitt med pH-nivåer. Gruppene karakteriserer surhetstilstanden og eventuelle forsuringskader på lokalitetene:

- I. Dyr som er følsomme overfor surt vann. Engblom og Lingdell angir toleranseområdet for denne gruppen til $\text{pH} < 5.4$, mens Raddum bruker $\text{pH} < 5.5$. I R. 's system får denne gruppen forsuringsindeks 1, mens E/L. gir den forsuringsindeks 4.
- II. Dyr som er moderat følsomme overfor surt vann. Både Engblom og Lingdell og Raddum angir toleranseområdet for denne gruppen til $\text{pH} > 5.0$. E/L. gir indeksverdi 3 for denne gruppen og R. gir den verdien 0.5 som da henholdsvis dekker områdene $5.0 > \text{pH} > 5.4$ og $5.0 > \text{pH} > 5.5$.
- III. Dyr som er forholdsvis tolerante overfor surt vann. Engblom og Lingdell angir toleranseområdet for denne gruppen til $\text{pH} < 4.5$, mens Raddum bruker $\text{pH} < 4.7$. E/L. gir indeksverdi 2 og R. gir 0.25 som da henholdsvis dekker pH-områdene $4.5 > \text{pH} < 5.0$ og $4.7 > \text{pH} < 5.0$.
- IV. Dyr som er meget tolerante overfor surt vann. Engblom og Lingdell angir toleranseområdet for denne gruppen til $\text{pH} < 4.5$, mens Raddum bruker $\text{pH} < 4.7$. E/L. gir dette forsuringsområdet indeksverdi 1 og R. gir det verdien 0.

I sine tabeller med arter og indeksverdier bruker både Engblom og Lingdell og Raddum 0 for å angi manglende kunnskap om en arts toleranse. I Raddums system fører det til at uinnvidde blander sammen meget tolerante arter og arter man ikke har kunnskap om. Dette har imidlertid ingen praktiske følger for bruken av systemet.

Bruken av et slikt system er avhengig av at de toleransegrensene man opererer med er riktige. For enkelte arter kan toleranseverdiene oppgitt av forskjellige forfattere og fra forskjellige land være tildels svært forskjellige (Tabell 9, side 36). Den mest sannsynlige årsak til dette er at toleransen overfor surt vann også er avhengig av den øvrige vannkvaliteten. Vannkvaliteten kan variere fra land til land, men også mellom ulike økoregioner i samme land. Det siste gjelder i stor grad for Norge der man på Sør og Vestlandet stort sett har ionefattige og humusfattige vassdrag, mens vassdragene på Østlandet og til dels Finnmark og Trøndelag har større innhold av både ioner og humus. Populasjoner som ligger fjernt fra hverandre kan rent genetisk ha ulik toleranse overfor surt vann, men også de forskjellige utviklingsstadier i dyrenes livssyklus vil kunne reagere ulikt på surt vann (Figur 2). Videre kan arter som lever i sentrum av sitt utbredelsesområde reagere annerledes på denne typen miljøstress enn de som lever i utkanten. Forskjellige biologiske forhold slik som predasjonstrykk, konkurranse og næringstilgang kan innvirke på tilstedeværelsen av arter. Størrelsen på datamaterialet (feltdata) og metodiske ulikheter kan også være med på å forklare ulike resultater for ulike økoregioner og forfattere.



Figur 2. Livsløpet til døgnfluen *Baetis rhodani*. Den har ofte to generasjoner; en med nymfer om vinteren og en med nymfer om sommeren. Ulike stadier kan ha ulik følsomhet overfor forsuring.

Raddum begrenser gyldigheten for sine toleranseverdier til Sør og Vestlandet, og angir gyldighetsområdet som kalk og humusfattig vann med elektrolyttisk ledningsevne mindre eller lik 3.0 mS/m. Engblom og Lingdell har ikke satt noen begrensninger i vannkvalitet for bruk av sitt system. Deres dataunderlag dekker det meste av Sverige. I følge Engblom og Lingdells toleranseverdier, har flere arter større toleranse overfor surt vann i svenske enn i sør- og vestnorske vassdrag. Noe av forklaringen på dette kan være at svenske vassdrag inneholder langt mer humus og har et høyere ioneinnhold enn sør og vestnorske vassdrag. På Østlandet og tildels i Trøndelag og Finnmark er det imidlertid mange humuspregede vassdrag der de kjemiske og biologiske forholdene er mer like de svenske enn de sør- og vestnorske. Finske vassdrag er generelt også humusrike og flere arter synes å ha en annen pH toleranse i disse vassdragene enn i de norske.

Ulikheten i vannkvalitet mellom de forskjellige økoregionene kan medføre ulik pH-toleranse hos faunaen og derved ulike indeksverdier og forsuringskategorier. Vi kan illustrere dette ved å se nærmere på pH-toleransen til døgnfluen *Baetis rhodani* i de nordiske land. For norske forhold anses *Baetis rhodani* å være en av de viktigste indikatorartene når det gjelder forsuring. For det første er den utbredt over hele landet, i de aller fleste bekker og elver, fra lavlandet til høyfjellet. For det andre viser norske undersøkelser at den har en lav toleranse overfor surt vann. Man finner den oftest i vann med pH over 6.0, men det er trolig at den overlever perioder med lavere pH. I svenske undersøkelser har man enkeltobservasjoner av *B. rhodani* fra elver med pH ned til 4.6 (Engblom og Lingdell 1983). I andre svenske undersøkelser er *B. rhodani* funnet i elver med pH ned til ca 5.3 (Otto og Svensson 1983). I et område ved nord-vestkysten av Finland med humøse og polyhumøse elver (farge mellom 100 og 500) ble *B. rhodani* registrert i elver med pH ned til 4.0. Også andre, vanlige bunndyrarter ble her funnet ved lavere pH-nivåer enn det som er registrert i norske undersøkelser (Nyman et al. 1986). I andre finske arbeider som inkluderte elver med fargeverdier fra 5 til 550, ble imidlertid *B. rhodani* bare funnet ved høy pH og lavt humusinnhold (Huttunen et al. 1987). Dette til tross for at *B. rhodani* synes å akseptere surt vann og mye humus i andre finske vassdrag. Det kan derfor tenkes at andre kjemiske, fysiske eller biologiske forhold i stor grad er med på å regulere tilstedeværelsen av *B. rhodani* i disse områdene. Generelt ser det likevel ut til at mange arter har en større toleranse overfor surt vann i svenske og finske vassdrag enn i norske.

2.3 Erfaringer fra feltstudier på Østlandet og i Øst-Finnmark.

For å få bedre kunnskap om bunndyrsamfunn på antatt forsurede og ikke forsurede lokaliteter på Østlandet og i Øst-Finnmark samt på lokaliteter med stort innhold av humus, ble endel nye lokaliteter undersøkt.

Buskerud.

I Soknavassdraget i Buskerud ble sju lokaliteter undersøkt (Figur 3). Tre av lokalitetene hadde forholdsvis mye humus (TOC mellom 4.0 og 6.2 mgC/l) og to hadde lite humus (Tabell 1). Ioneinnholdet var lavt på alle lokalitetene. pH lå stort sett mellom 5.2 og 5.5, men med maksimal-og minimalverdier på henholdsvis 6.0 og 4.8. Faunaen var artsfattig og hadde forholdsvis få individer. Arts sammensetningen av døgn-, stein- og vårfluer indikerer markert til sterk forsuring (Tabell 2). Døgnfluene manglet helt. Steinfluefaunaen besto gjennomgående av slektene Amphinemura og Leuctra. I Kolsjøelva, Eidvassbekken og Fjellelva ble Brachyptera risi funnet og Sandvasselva Diura nanseni. Disse artene får forskjellige indeksverdier av Raddum og Engblom og Lingdell noe som gir **forskjellig** plassering av lokalitetene med hensyn på forsuring. Vårfluene besto stort sett av artene Rhyacophila nubila, Plectrocnemia conspersa og Polycentropus flavomaculatus. Dette er arter som er meget tolerante overfor surt vann. De pH-verdiene som ble målt ved prøvetakingen er noe høyere enn det man ville forvente utifra sammensetningen av bunnfaunaen. Særlig gjelder dette for lokalitetene Kolsjøelva, Eidvassbekken og Buvasselva med Raddums toleranseverdier og tilsvarende for Sandvasselva og Buvasselva med Engblom og Lingdells verdier. Det er imidlertid meget sannsynlig at pH-verdiene under snøsmeltingen er langt lavere enn vist i Tabell 1. På to lokaliteter øverst i Aurdals-vassdraget (Vassfaret) var faunaen mer preget av normale, uforsurede forhold. pH-verdiene ved disse lokalitetene var høye; ca.7. Raddums og Engblom og Lingdells indeksverdier brukt på disse lokalitetene antyder begge at faunaen var lite eller upåvirket av forsuring (Figur 3).

Akershus.

I Akershus ble tre lokaliteter undersøkt (Figur 3). To av disse hadde forholdsvis lavt humus-innhold, mens den tredje hadde middels høyt humusinnhold. Alle tre hadde lave pH-verdier (Tabell 1). Faunaen var fattig (Tabell 3). Det var noen flere steinfluearter på stasjonen med høyest pH-verdi. Av døgnfluer ble Leptophlebia vespertina registrert, men bare på den mest humusrike lokaliteten. Denne arten er tolerant overfor forsuring. Faunaen indikerer at alle tre lokalitetene er sterkt forsuringsskadede (Figur 3).

Tabell 1. Vannkjemiske data og forsuringskategorier (R=Raddum, E/L=Engblom og Lingdell) for lokaliteter i Buskerud og Akershus (Figur 3)

Navn	dato	pH	lednings evne mS/m	Ca mg/l	alk uekv/l	labilt Al ug/l	TOC mgC/l	forsurings kategori	
								R	E/L
Buskerud									
Kolsjøelva	79.03.22	5.2	1.6	1.1	-	-	6.2		
	89.09.28	5.4	1.5	1.1	2.5	66	4.8	0	2
Eidvassbekken	79.03.22	5.4	1.7	1.7	-		5.1		
	89.09.28	5.5	1.6	1.1	3.1	36	4.8	0	2
Sandvasselva	79.03.21	5.4	1.4	0.9	-	-	4.3		
	89.09.28	6.0	1.4	1.2	4.2	21	4.0	0.5	1
Buvasselva	82.05.27	5.2	1.7	1.0					
	83.03.20	5.4	2.1		2.9				
	86.09.13	5.3	1.3			110	2.7	0.5	1
Fjellelva	82.05.27	4.8	1.6	0.4	0				
	86.09.12	5.2	1.2	0.6	-	136	1.8	0	1
Akershus									
Elvasselva	87.10.03	5.3	2.0	1.2		93	3.9		
	88.11.01	5.2	1.9	1.0		110	3.1		
	89.11.16	5.3	2.0	1.0	0	90	2.1	0	1
Holvassbekken	87.11.10	5.0	3.2	1.5		95	7.5		
	88.11.05	5.0	2.9	1.4		106	7.7		
	89.11.16	5.3	2.0	1.0		89	5.6	0	1
St.Lysernbekken	87.11.10	5.1	2.8	1.2	179	3.3			
	88.11.05	5.1	2.7	1.2	185	3.0			
	89.11.05	5.2	2.8	1.1	169	2.4			

Tabell 2. Døgnflue-, steinflue- og vårfluearter på forskjellige lokaliteter i Soknavassdraget i Buskerud. 28.09.1989.
Symbolene: -, +, ++, +++ angir henholdsvis ingen, få, middels og mange individer observert i prøven.

Lokalitet	Kolsjø elva	Eidvass bekken	Sandvass elva	Buvass elva	Fjell elva
<u>Døgnfluer</u>	-	-	-	-	-
<u>Steinfluer</u>					
Diura nanseni	-	-	+	-	-
Taeniopteryx nebulosa	++	+	+	-	-
Brachyptera risi	+	+	-	-	+
Amphinemura spp.	+	+++	++	+	++
Nemoura spp.	-	++	-	-	++
Protonemura meyeri	-	-	-	-	+
Leuctra sp.	++	++	+	+	++
<u>Vårfluer</u>					
Rhyacophila nubila	+	+	+	-	-
Oxyethira sp.	-	-	-	+	-
Plectrocnemia conspersa	-	+	+	+	+
Polycentropus flavomaculatus	+	-	+	+	-

Tabell 3. Døgnflue-, steinflue- og vårfluefaunaen ved tre lokaliteter i Akershus. 16.10. og 17.11.1989.
Symbolene: -, +, ++, +++ angir henholdsvis ingen, få, middels og mange individer observert i prøven.

Lokalitet	Elvass elva	Holvass- bekken	St.Lysern- bekken
<u>Døgnfluer</u>			
Leptophlebia vespertina	-	+	-
<u>Steinfluer</u>			
Amphinemura spp.	+	-	-
Nemoura spp.	-	+	+
Leuctra sp.	++	-	-
<u>Vårfluer</u>			
Plectrocnemia conspersa	++	++	++
Polycentropus flavomaculatus	++	-	-
Limnephilidae indet.	-	-	+

Hedmark.

I Hedmark ble seks humusrike lokaliteter undersøkt. Totalt organisk karbon innhold (TOC) varierte fra 6.2 til 13.5 mgC/l. Fem av disse hadde pH-verdier mellom 4.5 og 5.0, mens den sjettede (Ulvåa) hadde en pH-registrering på 6.6 (Tabell 4). De fem sure lokalitetene hadde i stor grad lik fauna-sammensetning (Tabell 5). Størst variasjon stasjonene imellom ble registrert for steinfluene, men slektene Nemoura, Amphinemura, og artene Taeniopteryx nebulosa og Leuctra hippopus ble funnet på de fleste lokalitetene. I Ulvåa var antall arter og individer av steinfluer størst. På de sure lokalitetene besto døgnfluefaunaen av en art; Leptophlebia vespertina. I Ulvåa ble det ikke funnet døgnfluer. Blant vårfluene var det bare mindre variasjoner. Artene Rhvacophila nubila, Plectrocnemia conspersa og Polycentropus flavomaculatus gikk stort sett igjen på alle stasjonene. Med Engblom og Lingdells toleransegrenser indikerer faunasammensetningen at alle stasjonene, unntatt Ulvåa, er sterkt forsuringsskadede. Ulvåa blir karakterisert som markert forsuringsskadd. Med Raddums toleransegrenser indikerer faunasammensetningen ved to av de sure lokalitetene og Ulvåa moderat forsuringsskade, mens de tre andre blir karakterisert som sterkt forsuringsskadede. Når vi sammenlikner indeksverdiene med pH-målingene, ser det ut til at Engblom og Lingdells verdier gir et mer riktig bilde enn Raddums verdier. Den arten som lager forskjellen er steinfluen Isoperla som gir ulike verdier av Engblom og Lingdell og Raddum (Tabell 8). Når det gjelder Ulvåa, synes Raddums indeksverdier å gi det mest riktige bildet. Det må imidlertid understrekes at resultatene baserer seg på et lite materiale tatt én gang i året. Større sikkerhet vil kunne oppnås ved også å ta prøver tidlig om våren.

Øst-Finnmark.

I Øst-Finnmark viste det seg at faunaen i stor grad besto av de samme artene som lengre sør i landet. Flere av vassdragene viste klare tegn på forsuringsskader (Figur 4). De fleste undersøkte lokalitetene hadde imidlertid en normal bunnfauna (Bækken og Aanes 1990b).

Ved én lokalitet i Dalelva har NIVA en målestasjon for kontinuerlig måling av enkelte kjemiske parametere, blant annet pH. Dette ga muligheter til å sammenlikne faunaen med pH i de sureste periodene. Ved bruk av Raddums indeksverdier på bunndyrene i det materialet som ble samlet inn ble det forventede pH-området i de sure periodene ut fra bunnfaunaen angitt til 5.0 - 5.5. Det viste seg, da vi analyserte dataene fra målestasjonen, at pH lå i dette området i ca én måned under snøsmeltingen. Ved bruk av Engblom og Lingdells verdier ble det antydnet et pH-område på 4.5-4.9 i de sure periodene. Målingene viste at pH i en kort periode på ca. to døgn lå mellom 4.7 og 5.0. I dette tilfellet vil det være naturlig å knytte indeksverdiene til ulike episoder. Det blir da spørsmål om hva man ønsker å måle; pH-området i de aller sureste, om enn korte, periodene eller et gjennomsnitt over en lengre sur periode. Hvor lang tid en sur periode må vare og hvor sur den må være for å gi en bestemt effekt på et bestemt bunndyrsamfunn er kunnskap man ikke har i dag, men som vi gjennom dette prosjektet har begynt å studere nærmere i NIVA's laboratorium for økotoksikologi.

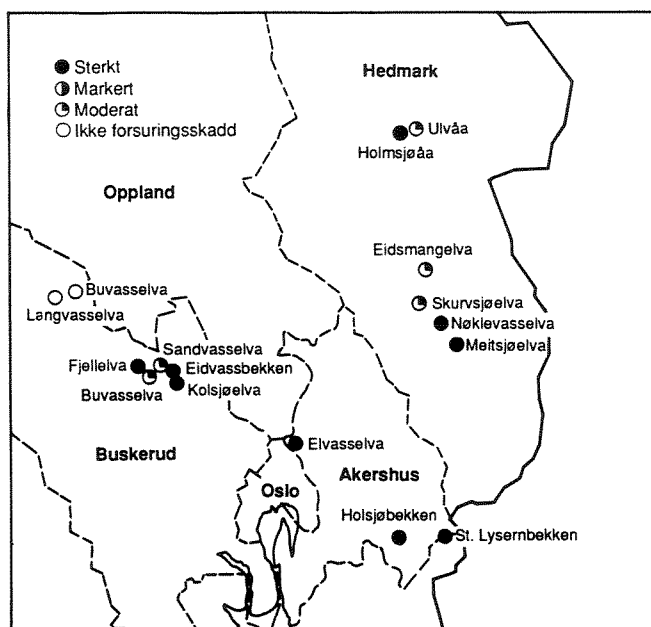
Tabell 4. Vannkjemiske data og forsuringskategorier (R=Raddum, E/L=Engblom og Lingdell) for lokaliteter i Hedmark.

Navn	Dato	pH	lednings- evne mS/m	Ca. mg/l	alk μ ekv/l	labilt Al μ g/l	TOC mgC/l	forsurings- kategori	
								R	E/L
Skurvsjøelva	87.10.10	4.5	2.4	0.7	-	107	11.5		
	88.10.05	4.5	2.7	0.7	-	131	12.1		
	89.10.19	4.7	2.3	0.7	0	133	8.5	0.5	1
Eidsmangelva	87.10.10	5.0	1.8	1.0	-	119	9.2		
	88.10.22	4.9	2.0	1.3	-	93	10.7		
	89.10.19	5.5	1.8	1.4	14	44	7.6	0.5	1
Meitsjøelva	87.10.10	4.7	2.4	1.1	-	64	12.4		
	88.10.22	4.7	2.5	1.2	-	86	13.5		
	89.10.19	5.0	2.2	1.1	0	70	8.8	0	1
Nøklevannselva	87.10.10	4.7	2.0	0.6	-	65	7.0		
	88.10.22	4.6	2.1	0.6	-	69	8.0		
	89.10.19	4.8	2.0	0.6	0	73	5.3	0	1
Holmsjøelva	87.10.09	4.7	1.9	1.0	-	24	8.9		
	88.10.20	4.9	1.6	1.0	-	37	6.2		
	89.10.19	5.2	1.4	0.9	0	22	4.0	0	1
Ulvåa	89.10.19	6.6	2.3	2.6	94	10	6.7	0.5	2

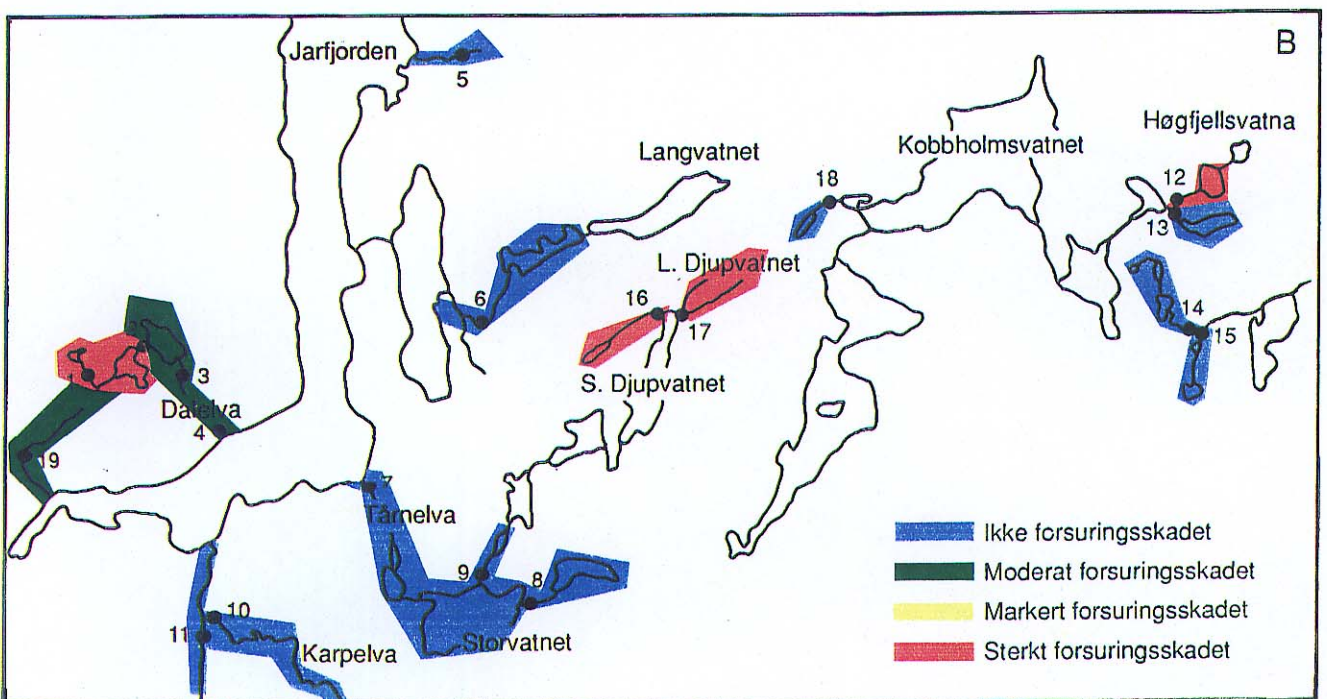
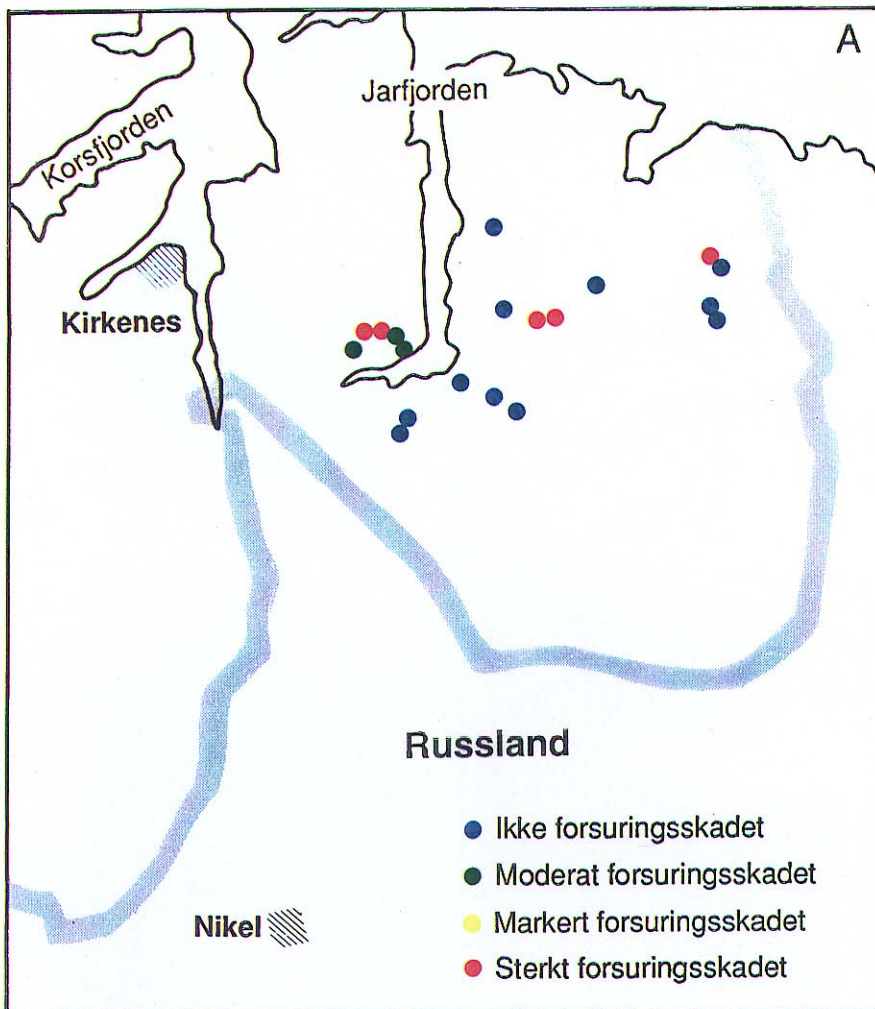
Forsuringsgraden på de foran nevnte lokalitetene kan angis ved indeksverdier i tabellform, men de bør også presenteres som et prikkart. Dette kan skje i svart/hvitt ved å skravere ulike deler av en sirkelflate (Figur 3). Dersom det skal brukes en fargefigur bør prikkfargene følge det samme systemet som benyttes av SFT/NIVA ved forurensingsgradering; fargene blå, grønn, gul og rød angir fire forurensingsgrupper fra henholdsvis ikke påvisbar forurensing til sterk forurensing. Dersom undersøkelsen dekker større eller mindre deler av vassdraget, vil det være informativt å få resultatene presentert som fargede områder av vassdraget (Figur 4A og B).

Tabell 5. Døgnflue-, steinflue- og vårfluefaunaen på seks lokaliteter i Hedmark. 19.10.1989.
Symbolene: -, +, ++, +++, angir henholdsvis ingen, få, middels og mange individer observert i prøven.

Lokalitet	Skurv.	Eidsm.	Meits.	Nøkle.	Holms.	Ulvåa.
Døgnfluer						
<i>Leptophlebia vespertina</i>	++	+	+	+	++	-
Steinfluer						
<i>Diura nanseni</i>	~					+
<i>Isoperla</i> sp.	+	++				
<i>Taeniopteryx nebulosa</i>	-	+	+	+	++	+
<i>Brachyptera risi</i>	~					+++
<i>Amphinemura</i> spp.	+++	-	+++	+	-	+++
<i>Nemoura</i> spp.	+	-	++	+	+	+
<i>Protonemura meyeri</i>	~					++
<i>Leuctra</i> sp.	++	++	+	++	-	+++
Vårfluer						
<i>Rhyacophila nubila</i>	-	-	+	+	+	+
<i>Oxyethira</i> sp.	+	-	-	-	+	
<i>Plectrocnemia conspersa</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Polycentropus flavomaculatus</i>	-	+	++	++	+	+
<i>Limnephilidae</i> indet.	-	-	+	-	-	-



Figur 3. Forsuringssituasjonen på prøvetakingslokaliteter i Buskerud, Akershus og Hedmark angitt som forsuringsskader på bunndyrsamfunnet.



Figur 4. Forsuringssituasjonen i utvalgte vassdrag i Sør-Varanger kommune i Finnmark. **A** gir et oversiktsbilde og **B** viser den delen av vassdraget som med sikkerhet dekkes av undersøkelsen. Resultatene er basert på kunnskap om pH-toleranse hos bunndyr.

3. Eksperimentelle studier av forsuringskader.

3.1 Simulering av episodiske pH-fall

3.1.1 Bakgrunn.

De sure episodene forårsaket direkte av surt regn eller som avrenning av surt vann under snøsmeltingen er i stor grad bestemmende for hvordan faunasammensetningen er i de mer eller mindre forsurede vassdragene. Hvor lenge de ekstreme sur-episodene må vare for å gi synlige reduksjoner i et bestemt bunndyrssamfunn er imidlertid uklart. Det er derfor ikke mulig med dagens kunnskap å bruke faunaen til å angi varigheten til de sureste episodene med en akseptabel grad av presisjon.

For å nærme oss et svar på disse spørsmålene ble det testet to forsuringssituasjoner i NIVA's økotoksikologiske testanlegg (Figur 5) for rennende vanns økologi:

Eksperiment 1. Ett kortvarig surstøt med 10 timers varighet og med pH-fall fra 6.3 til 4.3.

Eksperiment 2. To påfølgende kortvarige surstøt med pH-fall fra 6.3 til 4.3 og en mellomperiode med pH omkring 5.4. Hele denne episoden varte i ett døgn og 10 timer. Denne situasjonen viser et forsuringsmønster som blant annet ble registrert i Dalelven i Sør-Varanger, Finnmark (Bækken og Aanes 1990b).

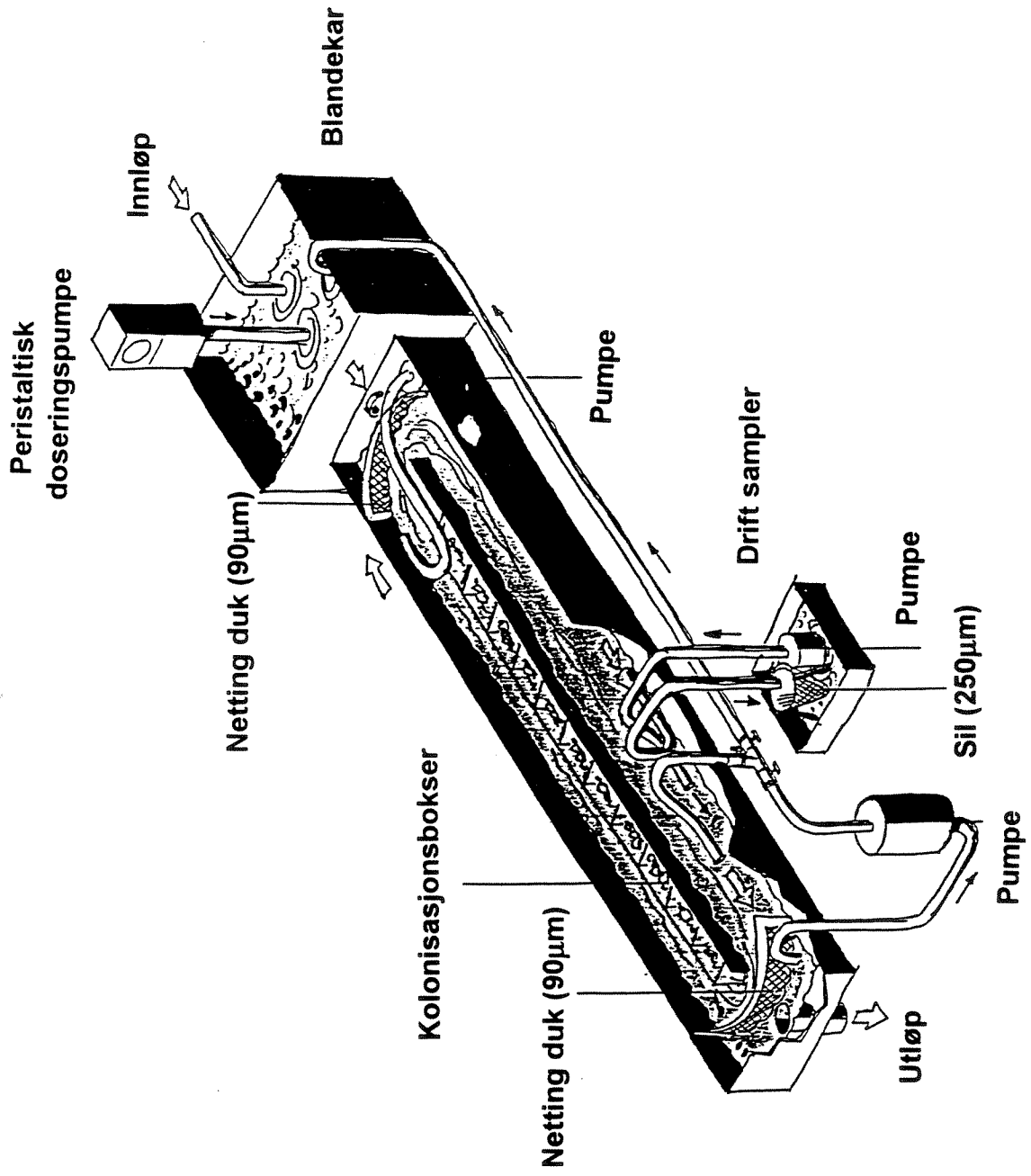
For å gjennomføre testene ble et bunndyrssamfunn representativt for faunaen i en svakt forsuret elv hentet inn til laboratoriet. Dette ble gjort ved at 30 bokser (15 x 11 x 6 cm) med en definert sammensetning av elvesubstrat ble lagt ut i en nærliggende elv for kolonisering av stedets bunnsfauna. Boksene lå ute i 4 uker. 10 tilfeldig utplukkede bokser ble telt opp ved starten av eksperimentet og ga et bilde av bunndyrssamfunnet før forsuringen. De øvrige 20 boksene ble fordelt med 10 bokser i hvert av to kunstige elvesystemer. I tillegg ble det tatt inn 45 individer av døgnfluearten Baetis rhodani i to omganger (30 + 15) i hvert elvesystem. Denne arten var ikke registrert i substratboksene, men var ønskelig å ha med fordi den er en av de viktigste indikatorartene i forsuringssammenheng.

Den ene elven ble forsuret, mens den andre fungerte som referanseelv. Vannet ble forsuret ved kontinuerlig dosering av fortynnet svovelsyre (H_2SO_4).

Mange bunndyrarter lar seg drive med vannstrømmen når miljøet blir ugunstig. Dette er registrert blant annet ved forsuring (Wheatherley et al. 1988). Før og etter de sure episodene ble det registrert driv hver 12 time. Under de sure episodene ble drivet registrert hver 2 time. Ved slutten av eksperimentet ble faunasammensetningen registrert i begge elvesystemene.

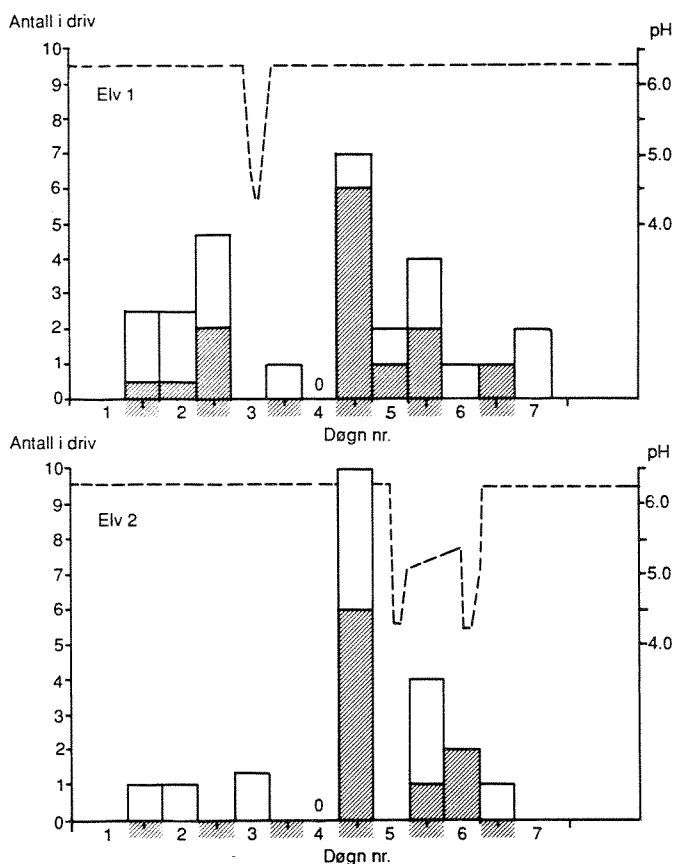
3.1.2 Driv av dyr ved kortvarige forsuringsepisoder.

Ved starten av eksperimentet ble det tilført 30 individer av døgnfluen Baetis rhodani i hver elv. I forsuringssituasjon 1), med ett kortvarig pH-fall, var det totale antall dyr i drivet lavt. I perioden før forsuringen lå det totale drivet mellom 2.5 og 4.7 individer pr. 12 timer i den elva som skulle forsures og mellom 0 og 1 i referanseelva (Figur 6). I denne perioden lå pH omkring 6.3 i begge elvene. Under forsuringen falt pH fra 6.3 til 4.3 i løpet av 2 timer. Drivet var 0 og 1.3 individer pr. 12 timer i henholdsvis forsuret og ikke forsuret elv. Den etterfølgende natten var drivet 1 i forsuret og 0 i referanseelv. Antall Baetis rhodani i drivet var større før forsuringen enn under og etter. Resultatene støtter ikke den generelle påstanden om økt driv av bunndyr ved forsuringer. Materialet var imidlertid lite og gir ikke grunnlag for konklusjoner omkring driv i forhold til forsuring.



Figur 5. Figuren viser en skisse av testrennene brukt under forsøket med episodiske pH-fall.

Før den neste forsuringsepisoden ble det tilsatt ytterligere 15 individer av Baetis rhodani. Under forsuringen ble pH senket fra 6.3 til 4.3 i løpet av 2 timer (Figur 6). I løpet av kvelden økte pH igjen til 5.4 før den igjen ble senket til 4.3 den påfølgende dag. Det største drivet ble også denne gangen funnet før forsuringen med 10 bunndyr i forsuret og 7 i referanseelva. Av disse var det 6 Baetis rhodani i begge elvene. Under forsuringen lå totalantallet mellom 0 og 4 pr. 12 timer i forsuret elv og mellom 2 og 4 i referanseelva. I referanseelva kunne det registreres en døgnvariasjon med størst driv av B.rhodani om natten. Dette er et vanlig mønster, men ble ikke observert i den forsurede elven. I løpet av forsuringperioden økte drivet av B.rhodani i den påvirkede elva. Dette kan antyde en økende tendens til driv med økende lengde på forsuringperiodene. Imidlertid var drivmaterialet for lite til å gi grunnlag for konklusjoner angående driv og forsuring. Opptellingen av bunndyrssamfunnet som ble brukt i forsøkene viste at det var meget individfattig. Antall dyr i driv er delvis en funksjon av mengden potensielle drivere. Den lave tettheten i samfunnet forklarer derfor det lave antallet dyr som ble funnet i drivet.



Figur 6. pH-variasjoner og driv av bunndyr ved to typer forsuringssituasjoner. Søylen angir antall av døgnfluen Baetis rhodani (skravert) i forhold til totalt antall dyr i driv pr. 12 timer. • Driftsampler ødelagt.

3.1.3 Endringer i et bunndyrssamfunn etter kortvarige forsuringsepisoder

Antall individer og sammensetningen av bunndyrssamfunnet før forsuringen viste at det var et individfattig og , med unntak av de ekstra tilførte individene av B.rhodani, typisk for en svakt forsuret elv. Samfunnet var dominert av fjærmygglarver, dernest var det et stort innslag av steinfluer. Det var opprinnelig svært få døgnfluer, i tillegg til 45 tilførte B.rhodani ble det bare registrert 3 Ameletus inopinatus og 2 Heptagenia

sulphurea. Begge de sistnevnte artene blir oftest angitt å være mer tolerante overfor surt vann enn B.rhodani.

Etter forsuringen var antall individer i samfunnet i elv 1 (en kortvarig surstøt-episode) redusert betydelig; fra totalt 527 til 369 individer (Tabell 6 og Tabell 7). Det meste av reduksjonen skyldtes nedgang i antall fjærmygglarver. En vesentlig reduksjon ble også registrert for døgnfluer og knottlarver. For de andre gruppene var det bare små endringer. For døgnfluene var det en reduksjon i antall Baetis rhodani på 31 individer. Sett i forhold til 45 individer ved starten tilsvarer dette en reduksjon på 69 %. Av disse 31 ble 14 funnet i drivet. Ingen av døgnfluenymfene var utviklet til flyvestadiet, slik at de resterende 38% har omkommet i elven i løpet av eksperimentet.

Tabell 6. Sammensetningen av bunndyrsamfunnet før og etter forsuring av to kunstige elver med ulikt forsuringsmønster. Elv 1 har en kortvarig forsuringsepisode tidlig i eksperimentet. Elv 2 har to kortvarige påfølgende forsuringsepisoder seint i eksperimentet. Tallene angir antall dyr i hver elv. For metodebeskrivelse se side 21.

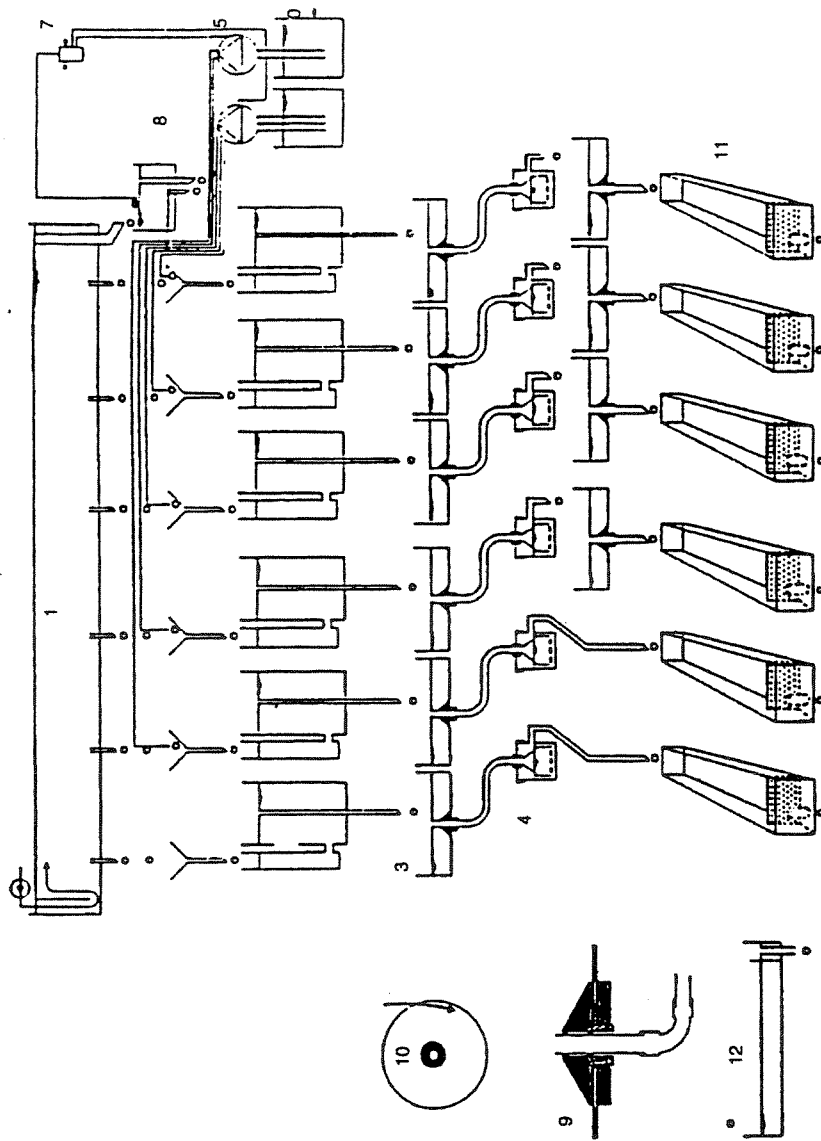
	før forsuring	etter forsuring	
		elv 1	elv 2
Rundmarker	3	1	0
Børstemarkar	7	8	2
Snegler	0	1	0
Vannmidd	3	5	8
Døgnfluer	50	17	29
Steinfluer	92	92	68
Vårfluer	5	4	5
Fjærmygg	300	202	143
Knott	47	26	27
Andre tovinger	20	10	17
Biller	0	3	0
Sum	527	369	299

I elv 2 (to kortvarige, påfølgende surstøt-episoder) ble det også funnet en betydelig reduksjon i det totale antall individer etter forsuringene. Den største reduksjonen skyldtes også her nedgang i antall fjærmygglarver. Men det var også til dels betydelige reduksjoner antall knottlarver, døgnfluer og steinfluer. For de andre gruppene var det mindre endringer. For Baetis rhodani var den totale reduksjonen på 18 individer eller 40%. Av disse ble 10 funnet i drivet. De resterende 18% har omkommet i elven.

Den mest sannsynlige årsaken til det reduserte antallet bunndyr i elvene er det ekstreme miljøet de møter under forsuringen. Samfunnet har i utgangspunktet hatt et stort innslag av forholdsvis forsuringfølsomme fjærmyggarter og knottarter. Disse har sannsynligvis dødd under selve forsuringen eller umiddelbart etter fordi dødligheten i elv 2 ble registrert allerede 18 timer etter forsuringen var stoppet. Det var også i denne elva, med den lengste forsuringperioden, at den største dødligheten ble funnet.

For døgnfluen Baetis rhodani var bildet noe annerledes. Det var langt mindre dødlighet av denne arten i elv 2 enn i elv 1 til tross for at forsuringperioden var lengre i elv 2 enn i elv 1. En mulig forklaring på dette kan være at dødligheten foregår over et langt tidsrom etter selve forsuringen og at den derfor ikke har rukket å bli registrert i elv 2.

Eksperimentet har vist at korte forsuringperioder kan gi store reduksjoner i bunndyrsamfunnet. Det kunne ikke påvises at relativt store individer av den viktige indikatorarten Baetis rhodani forsvinner etter slike forsuringsepisoder, men populasjonen ble betydelig redusert. Vi kan ikke se bort fra at det kan være langtidsvirkninger og virkninger på egg, små nymfer og forskjellige hudskiftestadier også etter korte forsuringsepisoder.



- | | |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Reservoir for test water 2. Mixing vessel for test solutions 3. Test aquaria 4. Sieve and test aquaria 5. Peristaltic pumps with separate channels to each mixing vessel 6. Tank for chemicals to be tested | <ol style="list-style-type: none"> 7. An automatic switch to stop the peristaltic pumps if the water flow changes 8. Tank to control the flow of test water 9. Detail of the outlet from the circular aquaria 10. Test aquaria for lotic macroinvertebrates 11. Test vessel for fish and bigger evertbrates as crayfish and molluscs 12. Details of the test vessel no 11 |
|---|---|

Figur 7. Figuren viser en skisse av NIVA's testsystem for testing av stoffers akutte giftighet på bunndyr fra elver og bekker (Aanes, 19989).

Tabell 7. Døgn-, stein- og vårfluearter før og etter en forsuring av to kunstige elver. Elv 1 : en kortvarig episode. Elv 2 : to påfølgende kortvarige episoder. Antall dyr pr. elv. For metodebeskrivelse se side 21.

	Før forsuring	Etter forsuring	
		Elv 1	Elv 2
Døgnfluer			
<i>Ameletus inopinatus</i>	3	0	
<i>Baetis rhodani</i>	45	14	27
<i>Heptagenia sulphurea</i>	2	3	
Steinfluer			
<i>Isoperla</i> sp.	4	3	6
<i>Siphonoperla burmeisteri</i>	2	3	6
<i>Brachyptera risi</i>	3	0	0
<i>Amphinemura borealis</i>	13	8	6
<i>Amphinemura sulciollis</i>	43	33	26
<i>Protonemura meyeri</i>	1	0	
<i>Leuctra hippopus</i>	3	13	5
<i>Leuctra nigra</i>	2	0	2
<i>Leuctra</i> sp.	26	31	18
Vårfluer			
<i>Rhyacophila nubila</i>	0	0	
<i>Ithytrichia lamellaris</i>	1	0	
<i>Oxyethira</i> sp.	0	1	0
<i>Polycentropus flavomaculatus</i>	1	0	
<i>Hydropsyche siltalai</i>	1	0	0
<i>Lepidostoma hirtum</i>	0	1	0
Limnephilidae indet.	2	1	3

3.2 Toleransetester: Bunn dyrs følsomhet overfor surt vann, og surt vann i kombinasjon med aluminium og humus.

3.2.1 Bakgrunn.

For de aller fleste artene som er tatt med i indekssystemene for forsuring er toleransegrensene satt ut fra felldata. For enkelte lokaliteter finnes det hyppige pH-målinger og målinger av andre vannkjemiske parametre som gjør det mulig å relatere faunaens sammensetning med den kjemiske tilstanden i vannet. I forsuringssammenheng er det særlig viktig at de periodene av året der forsuringen er mest markert, slik som under snøsmeltingen, er dekket. Det er videre nødvendig med et stort vannkjemisk og biologisk materiale. Bestemmelse av bunnfaunaens toleranse overfor surt vann basert på slike metoder vil være rimelig gode for en grov estimering. Slike toleransegrenser kan imidlertid aldri bli mer enn omtrentlige. Dessuten får en vanskelig skilt ut andre vannkjemiske parameteres betydning for pH-toleransen. For å få et mer presist bilde av hver arts toleranse overfor surt vann, og overfor surt vann i kombinasjon med andre vannkjemiske/ fysiske parametre, er det nødvendig med laboratorietester.

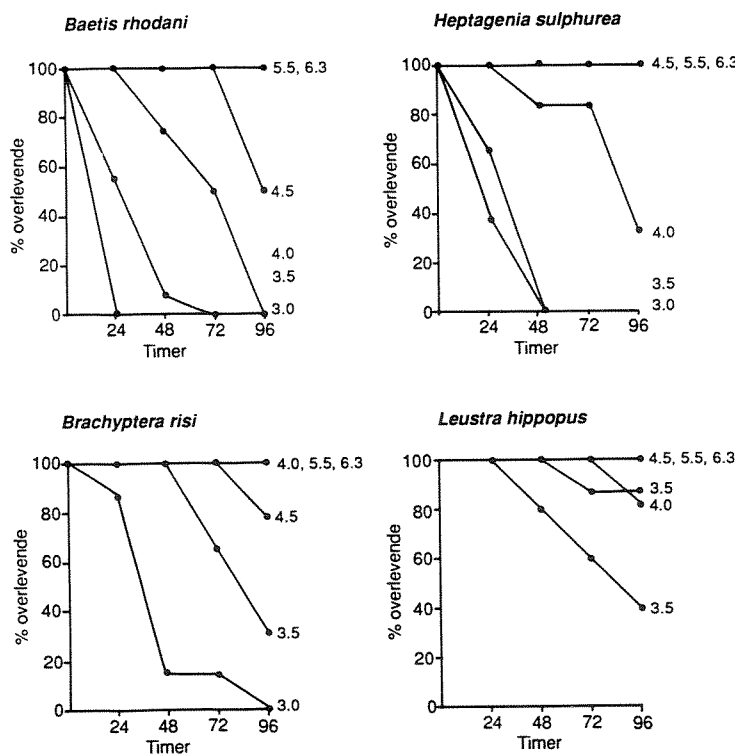
3.2.2 pH-toleranse.

Et utvalg av bunndyrarter ble tatt ut til testing. Det var to døgnfluearter; *Baetis rhodani* og *Heptagenia sulphurea*, tre steinfluearter; *Protonemura meyeri*, *Brachyptera risi* og *Leuctra hippopus* og vårflueartene *Polycentropus flavomaculatus* og *Hydropsyche siltalai*. Artene ble testet i løsninger med pH 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.5 og 6.3 over en periode på 96 timer (4 døgn). Eksperimentene ble utført i akvarier (Figur 7) med

filtrert, naturlig overflatevann. Akvariene hadde kontinuerlig vanngjennomstrømning på 30 l/t. Fortynnet svovelsyre (H_2SO_4) ble kontinuerlig dosert med peristaltiske pumper for å holde en stabil pH.

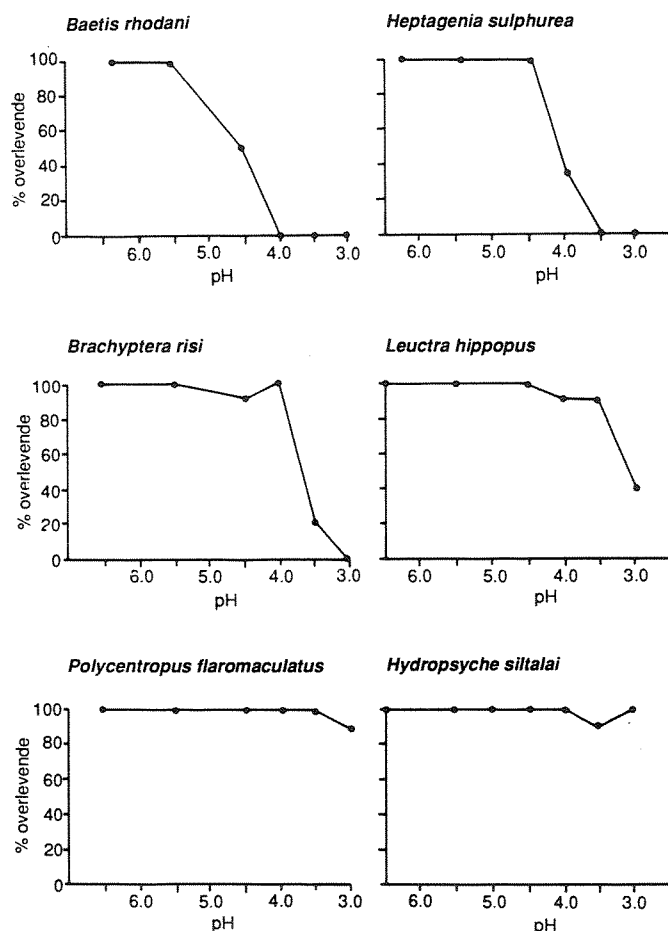
Den største dødligheten ble registrert for Baetis rhodani. Alle individene var døde i løpet av 24 timer i den sureste løsningen (Figur 8 og Figur 9). Også ved pH 3.5 og pH 4.0 var det 100% dødelighet i løpet av forsøksperioden. Mens pH 4.5 gav 50 % dødelighet, overlevde alle ved pH 5.5 og pH 6.3. Disse resultatene ga en 96 timers LC50 verdi på pH 4.5 (Tabell 8). 96 timers LC50-verdi er den konsentrasjonen i forsøksmediet der halvparten av testorganismene dør i løpet av 96 timer og er en vanlig måte å presentere resultatene på i en økotoksikologisk sammenheng (Bækken og Aanes 1990a). Den andre døgnfluen, Heptagenia sulphurea, var mer tolerant. Ved pH 3 og pH 3.5 var det 100 % dødelighet, ved pH 4.0 døde 70 %, mens alle overlevde ved pH 4.5, 5.5 og 6.3. Dette ga en LC50-verdi på pH 4.0.

For steinfluen Protonemura meyeri ble det ikke registrert dødlighet i noen av løsningene. Dette viser at arten er svært tolerant overfor surt vann. Av de andre to steinfluene var Leuctra hippopus den mest tolerante arten (Figur 8 og Figur 9). Det ble funnet 80% dødlighet ved pH 3.0, men liten eller ingen dødlighet ved de andre pH-verdiene. Resultatene ga ikke grunnlag for beregning av LC50-verdier. Brachyptera risi var den mest følsomme av disse steinfluene og hadde 100 % dødlighet ved pH 3.0, 85% ved pH 3.5, 20 % ved pH 4.5, mens alle overlevde ved pH 4.0, 5.5 og 6.3. LC50-verdien for Brachyptera risi ble regnet ut til å være pH 3.5.



Figur 8. Prosent overlevende ved ulike pH-verdier til ulike tidspunkt i løpet av 96 timer for to døgnfluearter: Baetis rhodani og Heptagenia sulphurea og to steinfluearter: Brachyptera risi og Leuctra hippopus.

Begge de testede vårfluene viste seg å være meget tolerante overfor surt vann. For disse var det praktisk talt ikke dødlighet i noen av løsningene (Figur 9).



Figur 9. Prosent overlevende sett i forhold til pH for to døgnfluer: Baetis rhodani og Heptagenia sulphurea, to steinfluer: Leuctra hippopus og Brachyptera risi og for to vårfluer: Polycentropus flavomaculatus og Hydropsyche siltalai.

Tabell 8. 96 timers LC50-verdier for døgnfluene Baetis rhodani og Heptagenia sulphurea, og steinfluen Brachyptera risi i forhold til surt vann (pH).

	pH
<u>Baetis rhodani</u>	4.5
<u>Heptagenia sulphurea</u>	4.0
<u>Brachyptera risi</u>	3.5

LC50-verdiene viser den relative forskjellen i pH-toleranse mellom bunndyrene. Testene viser også hvor surt vann de kan overleve i, i det minste under korte perioder. Forskjellene mellom Baetis rhodani og Heptagenia sulphurea støtter plasseringen disse to har fått i Raddums indeksforslag selv om testen har foregått i noe mer ionerikt vann enn det Raddum anbefaler systemet brukt for. Dette antyder at indeksverdiene også gjelder for mer ionerikt vann enn det som til nå er anbefalt (maksimum 3.0 mS/m). Hos Raddum er Brachyptera risi plassert blant de mest surtolerante artene (pH < 4.7). Engblom og Lingdell plasserer Brachyptera risi i den neste gruppen (4.5 ~ pH < 5.0) (Tabell 9). Resultatene ovenfor støtter forslaget til Engblom og Lingdell. De tre andre artene som ble testet var alle meget tolerante, særlig gjaldt det vårfluene. Både Engblom og Lingdell og Raddum plasserer Leuctra hippopus og Polycentropus flavomaculatus i den mest surtolerante gruppen. Hydropsyche siltalai blir av Engblom og Lingdell

plassert i den mest surtolerant gruppen, mens Raddum plasserer denne arten i den nest mest forsuringfølsomme gruppen (5.0 ~ pH ~ 5.5). Våre resultater støtter Engblom og Lingdells forslag til plassering.

3.2.3 pH-Al-toleranse.

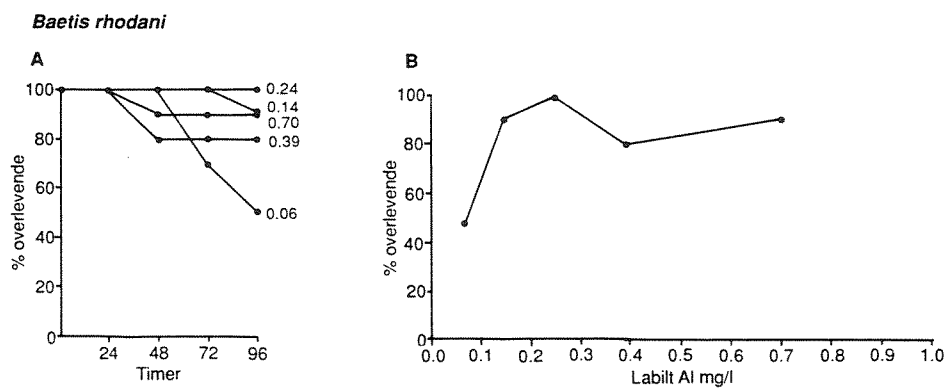
Aluminiuminnholdet i våre vannforekomster, og særlig den labile delen av aluminiumfraksjonene (den giftige), øker med forsuringen. Hos fisk er det vist at aluminium er en viktig dødsårsak ved forsuring (Rosseland et al. 1990). Fordi mengden av aluminium og pH samvarierer, må det gjøres kontrollerte tester for å skille virkningene av den ene fra den andre. Det er gjort lite forskning på virkningen av aluminium på bunndyr. Endel resultater antyder at aluminium er giftig også for bunnfaunaen (Burton og Allan 1986, Herrmann og Andersson 1986, McCahon og Pascoe 1989, Ormerod et al. 1987, Weatherley et al. 1988). Andre resultater synes å vise det motsatte; økt aluminiuminnhold kan medføre økt overlevelse for bunndyr i surt vann (Herrmann 1987, Palawski et al. 1989). For å bidra til en avklaring omkring disse forholdene, ble det foretatt 96-timers tester med pH 4.7 og 4.5 mot en aluminiumgradient. Testene foregikk i NIVA's gjennomstrømsakvarier (30 l/t) med kontinuerlig dosering av aluminiumklorid (AlCl_3) og fortynnet svovel-syre (H_2SO_4). De nominelle verdiene for konsentrasjonen av totalaluminium var henholdsvis 1.1, 0.6, 0.3, 0.2 og 0.1 mgAl/l. En vesentlig del av den totale aluminiumen var labil aluminium (Figur 10 og Figur 11). Temperaturen var ca. 4°C.

Følgende arter ble testet: Døgnfluene Baetis rhodani og Heptagenia sulphurea, steinfluene Isoperla grammatica, Amphinemura sulcicollis, Protonemura meyeri, Brachyptera risi og Leuctra hippopus, samt vårfluen Hydropsyche siltalai.

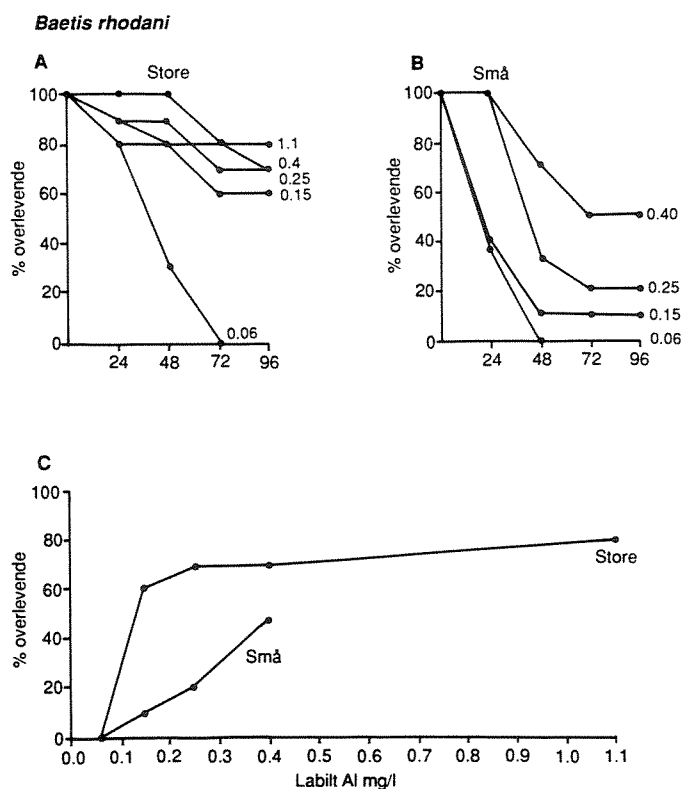
Ved pH 4.7 ble det ikke registrert dødlighet for andre arter enn Baetis rhodani størst dødlighet ble funnet ved den laveste aluminiumkonsentrasjonen. Mens bare 50% overlevde ved denne konsentrasjonen, overlevde mellom 80 og 100% ved de høyere konsentrasjonene (Figur 10).

Ved pH 4.5 ble det, med unntak av en Heptagenia sulphurea, bare registrert dødelighet blant Baetis rhodani. Det ble denne gangen testet to størrelsesgrupper av Baetis rhodani; store og små. Dødligheten var klart størst ved lavest Al-innhold. Her var det 100% dødelighet i begge størrelsesgruppene (Figur 11). I akvariene med Al-dosering økte overlevelsen til mellom 60 og 80 % for de store individene og til mellom 10 og 50 % for de små.

Ved disse pH-Al-eksperimentene endret ikke overlevelssgraden seg nevneverdig for de store individene etter at Al-konsentrasjonen hadde nådd et visst nivå (ca 140 $\mu\text{gLAl/l}$). For de små individene kunne det imidlertid registreres et økende antall overlevende med økende LAl-konsentrasjon. Andre, men usikre resultater kan imidlertid tyde på at de høyeste Al-konsentrasjonene i disse testene øker dødligheten for de små stadiene av Baetis rhodani.



Figur 10. A Prosent overlevende på ulike tidspunkt i løpet av 96 timer for døgnfluen Baetis rhodani ved pH 4.7 og varierende mengder labilt aluminium. B. Prosent overlevende i forhold til mengden labilt aluminium.



Figur 11. Prosent overlevende på ulike tidspunkt i løpet av 96 timer ved pH 4.5 og varierende mengder labilt aluminium av A. store Baetis rhodani og B. små B. rhodani. C. viser overlevelsen for store og små B. rhodani i forhold til labilt aluminium.

3.2.4 pH-humus-toleranse.

Det faktum at man finner ulike pH-toleranser for de samme bunndyrartene hos ulike forfattere har medført spekulasjoner omkring virkningen av humus på pH-toleransen. Generelt peker felldata i retning av at økt humusinnhold øker pH-toleransen til flere bunndyrarter. Hargeby og Petersen (1988) antydte at lave humuskonsentrasjoner kan ha gunstig effekt på organismene i forsurede vassdrag. Få eksperimentelle arbeider eksisterer omkring dette temaet og forholdet er på ingen måte avklart.

For å se om humus kan endre pH-toleransen ble to arter tatt ut til testing i laboratoriet: Døgnfluen Baetis rhodani og krepsdyret Gammarus lacustris. Begge artene regnes som forsuringfølsomme arter under norske forhold. B. rhodani er imidlertid også funnet i svært surt vann i sterkt humuspregede finske lokaliteter.

Testene ble foretatt i to pH-områder;

A: omkring 4.5, med maksimum og minimumsverdier på henholdsvis 5.2 og 4.4.

B: pH omkring 5.0 med maksimum og minimumsverdier på henholdsvis 5.8 og 4.8.

De nominelle verdiene for humuskonsentrasjonene (TOC) i eksperiment A var henholdsvis 3, 5, 7, 10, 15 og 20 mgC/l. Ved eksperiment B var tilsvarende humuskonsentrasjoner (TOC) 3, 5, 10, 15 og 20 mgC/l. Testene ble utført i små akvarier uten vanngjennomstrømming. pH ble jevnlig registrert og justert. Temperaturen varierte mellom 10 og 15°C. Eksperimentene varte 8 døgn.

A:

I pH-området 4.5 ble det registrert lav dødelighet i testen med Baetis rhodani etter 4 dager. Årsaken til dette var at pH i perioden 2. til 4. dag hadde steget til 5.2. Etter justering av pH til 4.4, ble det funnet en betydelig dødelighet den påfølgende dagen (Figur 12). På dette tidspunktet var det en tydelig forskjell i dødelighet mellom dyr plassert i løsninger med mye humus og i løsninger med lite humus. Mens det var 50% dødelighet i løsningen med 20 mgC/l, var det henholdsvis 90 og 100% dødelighet i løsningene med 5 og 3 mgC/l. Etter ytterligere tre døgn var dødeligheten 90 og 100% i alle løsningene. Dødeligheten i kontrollen var bare 10%.

Dette eksperimentet viser at økt mengde humus (TOC) gir økt overlevelse for døgnfluen Baetis rhodani i korte perioder med lav pH (4.5). Ved lengre perioder med lav pH vil ikke høyt humusinnhold redusere dødeligheten vesentlig.

B:

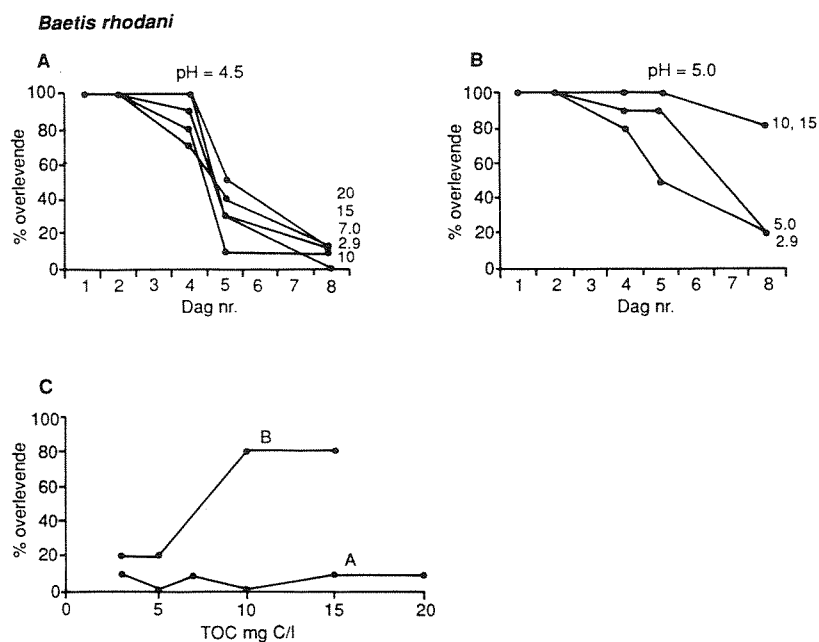
Ved pH omkring 5.0 var dødeligheten for B. rhodani lav de første døgnene. Dette var forventet, særlig etter at pH steg til en maksimumsverdi på 5.8 i perioden 2. til 4. dag. Etter en pH-justering til 4.9 ble det registrert en økt dødelighet ved 3 mgC/l, mens det ikke var endringer for de andre testløsningene. Ved slutten av eksperimentet var dødeligheten 80 % både i løsningene med 3 og 5 mgC/l, mens det i løsningene med 10 og 15 mgC/l bare var 20% dødelighet.

Eksperimentet viser at for pH omkring 5 medfører økt mengde humus (TOC) økt overlevelse for døgnfluen Baetis rhodani. Dette gjelder for lengre perioder enn ved pH 4.5, og i det minste i perioder på 8 dager som var lengden av disse eksperimentene.

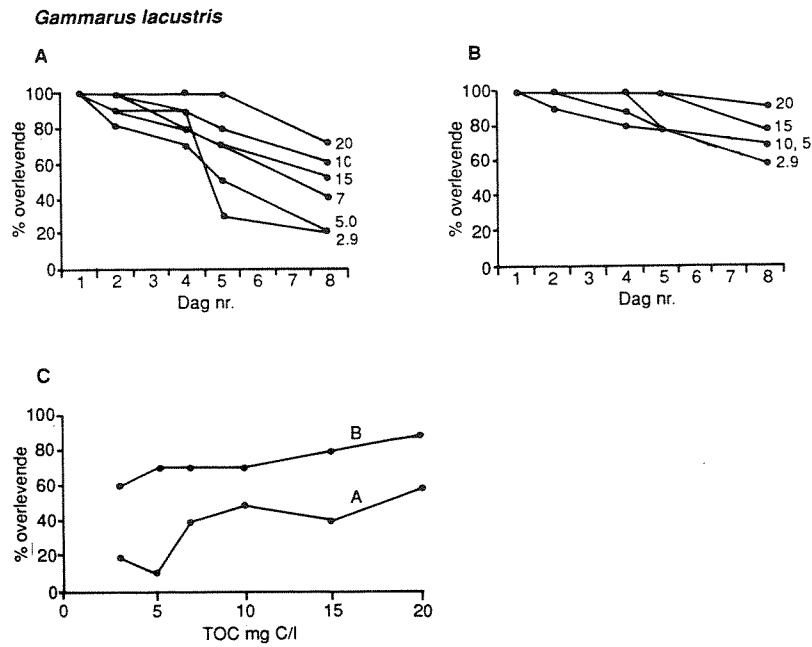
For krepsdyret Gammarus lacustris var dødeligheten etter 8 døgn ved pH 4.5 klart avhengig av humusinnholdet. Dødeligheten ved slutten av eksperimentet var 80% i løsningene med 3 og 5 mgC/l og 30% i løsningen med 20 mgC/l. Ved pH omkring 5.0 var den totale dødeligheten langt mindre. Størst dødelighet ble registrert med 40% i løsningen med minst humusinnhold (3 mgC/l). Dødeligheten ble gradvis mindre med økende innhold av humus. I løsningen med 20 mgC/l var dødeligheten bare 10% etter 8 dager (Figur 13). Begge disse eksperimentene viser tydelig at økt humusinnhold øker pH-toleransen hos Gammarus lacustris.

Det kan konkluderes med at humus reduserer den skadelige effekten lav pH har på bunndyrene Baetis rhodani og Gammarus lacustris. Eksperimentene støtter hypotesen om at forsurede lokaliteter med mye humus kan opprettholde et mer forsuringfølsomt bunndyrsamfunn enn tilsvarende lokaliteter med lite

humus. Det er imidlertid klart at effekten av humus er avhengig av hvor lang tid en forsøringperiode varer og hvor sur den er.



Figur 12. Prosent overlevende i løpet av 8 dager for *Baetis rhodani* ved varierende humusinnhold målt som TOC (Totalt Organisk Carbon). **Figur A.** pH omkring 4.5 og **B.** pH omkring 5.0. **Figur C** viser overlevelsen i forhold til mengden humus ved A pH 4.5, B pH 5.0.



Figur 13. Prosent overlevende på ulike tidspunkt i løpet av 8 dager for *Gammarus lacustris* ved varierende humusinnhold. **Figur A.** pH omkring 4.5 og **B.** pH omkring 5.0. **Figur C.** viser overlevelsen sett i forhold til humusmengden ved A pH 4.5 og B pH 5.0.

4. Tilpasning og bruk av forsuringindeks basert på bunndyr.

4.1 Bunndyrenes forsuringstoleranse.

Selv om mange av bunndyrene får samme plassering i forsuringklassene foreslått av Raddum og Engblom og Lingdell, er det i mange tilfeller forskjeller (Tabell 9). I et indekssystem som tar sikte på å dekke hele Norge kan det være nødvendig å endre på enkelte indeksverdier som i utgangspunktet er beregnet for Sør- og Vestlandet. Indeksverdiene som er basert på svenske forhold kan heller ikke brukes uten videre. Det kan imidlertid være nyttig å se disse settene med indeksverdier mot hverandre og vurdere dem i forhold til andre informasjoner om arters toleranse overfor surt vann.

I denne sammenheng må det presiseres at toleranse overfor ulike typer surt vann, det vil si høyt innhold av H^+ ioner (lav pH) med de medfølgende kjemiske variable, ikke nødvendigvis samsvarer med forsuringstoleransen. Det kommer av at forsuringen ved siden av den direkte kjemiske virkningen på dyrene, også kan virke indirekte via endrede næringsforhold, konkurransevilkår og predasjonsforhold. I det følgende blir endel vanlige bunndyr og viktige indikatorarter omtalt og deres plassering i et indekssystem vurdert.

Snegler finnes stort sett på lokaliteter med høyt innhold av kalsium, og med pH over 6.0. I følge Økland finnes de ikke under pH 5.2 og bare et fåtall arter er funnet mellom pH 5.2 og 6.0 (Økland, J. 1969). Økland refererer da til innsjøer og overflateverdier om sommeren. Vanlig damsnegl, *Lymnaea peregra*, og vanlig skivesnegl, *Gyraulus acronicus*, er de to vanligste snegleartene våre og finnes utbredt over det meste av landet. De finnes fortrinnsvis i innsjøer, men er også vanlige i mange elver. Av 684 innsjøer der *L. peregra* ble registrert, fant Økland bare en innsjø der pH var under 5.5 (Økland, J.1983). *G. acronicus* synes å ha samme pH toleranse som *L. peregra*. Det er derfor sannsynlig at lokaliteter der disse artene er registrert, og generelt hvor det finnes snegler, ikke i merkbar grad er skadet av forsuring.

Krepsdyret marflo, *Gammarus lacustris*, er regnet som en forsuringfølsom art. Den holder stort sett til i innsjøer, men kan også finnes i elver, særlig nedstrøms innsjøer med populasjoner av marflo. I følge Økland, K.A. (1980) finnes ikke denne arten på lokaliteter med lavere pH enn 6.0. Da dette refererer til innsjøer og sommersituasjoner, kan det tenkes at den i perioder kan tolerere lavere pH. Laboratorieforsk (side28) har vist at marflo kan overleve minimum en uke ved pH 5.0 i forholdsvis humusfattig vann (TOC=3.0 mgC/l) og at pH toleransen øker tydelig med økende humusinnhold. På lokaliteter med marflo er det ikke sannsynlig at en har forsuringsskader.

Tabell 9. Utvalgte bunndyrarter med plassering i forsøringsklasser foreslått av Raddum (R) og av Engblom og Lingdell (E/L).

pH-klasser	R L	pH < 4.7 4.5	4.7 ≤ pH < 5.0	5.0 ≤ pH ≤ 5.5 5.0 5.4	pH > 5.5 5.4
Indeksverdier	R E/L	0 1	0.25 2	0.5 3	1 4
<u>Snegler</u>				E/L	R
<i>Lymnaea peregraa</i>					
<u>Krepsdyr</u>					E/LR
<i>Gammarus lacustris</i>					
<u>Døgnfluer</u>		E/L		R	R
<i>Ameletus inopinatus</i>			E/L		E/LR
<i>Baetis rhodani</i>					R
<i>Baetis muticus</i>			E/L		R
<i>Baetis niger</i>			E/L	R	
<i>Heptagenia sulphurea</i>					
<i>Leptophlebia vespertina</i>					R
<i>Ephemerella aurivillii</i>			E/L		
<u>Steinfluer</u>		E/L			R
<i>Diura nanseni</i>		E/L		R	
<i>Isoperla grammatica</i>				E/L	
<i>Brachyptera risi</i>		R			
<i>Amphinemura</i> spp.		E/LR			
<i>Nemoura</i> spp.		E/LR			
<i>Capnia atra</i>				E/L	R
<i>Capnia pygmaea</i>					R
<i>Leuctra hippopus</i>		E/LR			
<u>Vårfluer</u>		E/LR			E/LR
<i>Rhyacophila nubila</i>					
<i>Ithytrichia lamellaris</i>					
<i>Plectrocnemia conspersa</i>		E/LR			
<i>Polycentropus flavomacul.</i>		E/LR			
<i>Hydropsyche siltalai</i>		E/L			R

Generelt regnes døgnfluene å være følsomme overfor forsuring. Det er imidlertid store forskjeller. Den vanligste av døgnfluene, *Baetis rhodani*, blir oftest forbundet med uforsuret vann. Laboratorieforskningene ovenfor (side 23, 26, 28) viste at arten var den mest forsuringfølsomme av de testede artene. Den var under de rådende testbetingelser mer forsuringfølsom enn *Gammarus lacustris*. Selv om *Baetis niger* og *B. rhodani* i noen grad har blitt registrert i surt vann i svenske og finske undersøkelser, må en regne både *B. rhodani* og slekten *Baetis* som gruppe som forsuringfølsomme under norske forhold.

B. rhodani er spesielt viktig fordi den har meget stor utbredelse og finnes i de fleste uforsurede vassdrag i Norge. *Heptagenia sulphurea*, *H. dalecarlica* og *Ameletus inopinatus* blir funnet også i svakt forsurede vassdrag. Toleranseeksperimentene ovenfor (side 23, 26) antydte at *H. sulphurea* bør settes i en mer forsuringstolerant gruppe enn *B. rhodani*. *Heptagenia fuscogrisea* finnes helst på roligflytende partier. Denne arten er relativt tolerant for denne type påvirkning. *Ephemerella aurivillii* synes å opptre på lokaliteter med tilsvarende pH-forhold som *B. rhodani*. *Leptophlebia vespertina* er en av de få døgnflueartene som er meget tolerant overfor forsuring. Vanligvis er arten en innsjøart, men forekommer ofte i sterkt forsurede elver (Tabell 5). *Ephemera*- og *Caenis*-artene er døgnfluer som først og fremst finnes i de sakteflytende delene av elven. Begge disse gruppene er forsuringfølsomme.

Steinfluene er generelt mer forsuringstolerante enn døgnfluene. På moderat forsuringsskadede lokaliteter kan man derfor finne en lang rekke steinfluearter, men ingen eller svært få døgnfluearter. Slektene Amphinemura og Nemoura er meget forsuringstolerante grupper og er ofte å finne på forsurede lokaliteter. Rovformene Diura nanseni og Isoperla grammatica er begge forholdsvis tolerante, men synes å forsvinne på de mest forsurede lokalitetene. Brachyptera risi er også blant de tolerante artene. Ved laboratorieforsøkene ovenfor var den imidlertid ikke av de mest forsuringstolerante. Capnia-artene synes å være av de følsomme steinflueartene og forekommer bare i moderat forsurede elver. Leuctra hippopus finnes ofte sammen med de andre mest forsuringstolerante steinfluene i sterkt forsurede lokaliteter. Toleransetestene ovenfor bekreftet dens store pH-toleranse.

Når det gjelder vårfluene og deres følsomhet overfor forsuring er det mye som ennå er ukjent, men generelt ser det ut til at denne gruppen er forholdsvis tolerant overfor forsuring. Rhyacophila nubila, Plectrocnemia conspersa og Polycentropus flavomaculatus er blant de få bunndyrene som finnes på sterkt forsuringsskadede lokaliteter. pH-toleransen til Polycentropus flavomaculatus og Hydropsyche siltalai ble testet i eksperimentet ovenfor og disse artene viste seg å være svært tolerante. Det synes likevel som om H.siltalai ikke finnes i de mest sure elvene. Agapetus ochripes kan finnes i de samme pH-områdene som H.siltalai. Av forsuringfølsomme arter kan nevnes Glossosoma artene, Ithyrichia lamellaris og Micrasema artene.

Det finnes i tillegg en lang rekke arter av bunndyr som er med i indekssystemene. Deres indeksverdier er mer eller mindre sikre, men de er under stadig oppdatering.

4.2 Indekstilpasning.

Tabell 10 viser NIVA's forslag til indeksverdier som samsvarer med utredningen ovenfor. Det foreslås at inndelingen i pH-nivåer følger Raddums inndeling. Tallverdiene på indeksene endres i forhold til Raddum og Engblom og Lingdell's verdier slik at 1 betegner den uforurede tilstanden og 4 den mest forsurede tilstanden. Dette samsvarer bedre med systemet som brukes i "Vannkvalitetskriterier for ferskvann" (SFT 1989a). Det må imidlertid understrekes at: *Parameterklassene som er brukt for pH-vurderinger i SFTs "Vannkvalitetskriterier for ferskvann", ikke er relevante for å beskrive forsuringssituasjonen for bunnfaunaen.* Klassene 1, 2 og 3 i "Vannkvalitetskriterier for ferskvann" dekker området pH > 5.5, mens klasse 4 dekker området pH < 5.5. Derfor vil klassene 1, 2 og 3 gå inn i bunndyrgruppe 1, mens klasse 4 blir delt i tre bunndyrgrupper : 2, 3 og 4, slik det er vist i tabell 10.

Tabell 10. Forslag til indeksverdier for å karakterisere forsuringsskader på bunndyrsamfunn, sett i forhold til SFT's system for klassifisering av vannkvalitet.

pH-verdier	> 5.5	< 5.5
Parameterklasse (SFT 1989a)	1 2 3	4
Bunndyrindekser (Bækken og Aanes, NIVA 1990c)	1	2 3 4

4.3 Bruk av forsuringindeks.

Med bruk av indeksverdiene i tabell 11 vil en stort sett kunne avgjøre i hvilken grad et vassdrag er forsuret. Fordi toleransen overfor forsuring synes å øke med økende grad av humus, bør en bruke andre indeksverdier i lokaliteter med mye humus enn i de humusfattige. Sammensetningen av faunaen kan variere noe mellom regionene i Norge, men ofte vil en finne arter i bunndyrsamfunnet som gjør det mulig å bruke tabell 11. I Figur 14 er det vist et eksempel på hvordan forskjellige arter blant døgnfluer, steinfluer og vårfluer kan falle bort under en forsuringsspross.

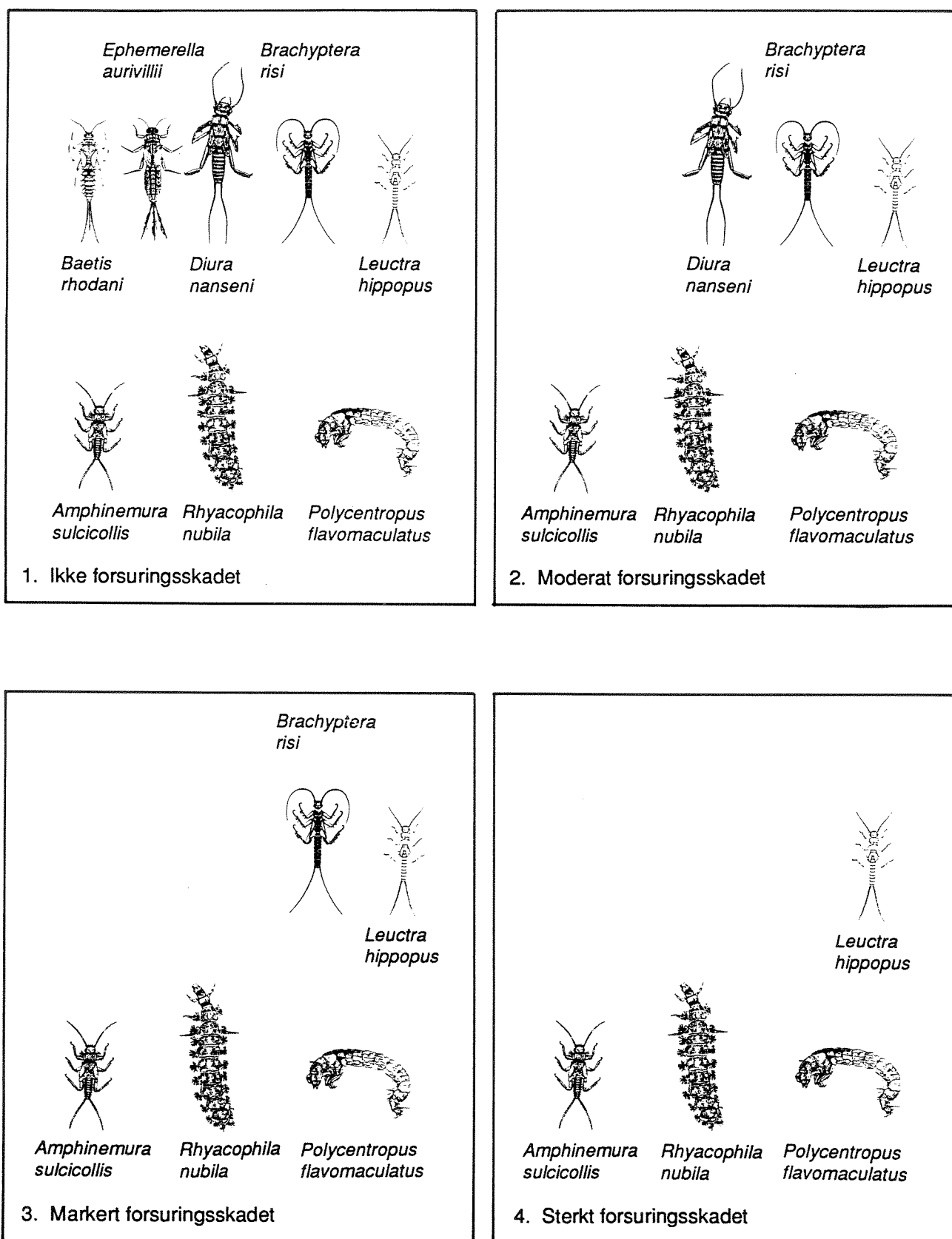
For å påstå at faunasammensetningen i et surt vassdrag representerer en forsuring, må man med rimelig sikkerhet kunne vise til en ikke sur eller mindre sur fortid med sin typiske fauna. Det vil si naturtilstanden. Når en foretar en undersøkelse om virkningen av forurensninger på faunaen, bruker en ofte upåvirkede referenslokaliteter som sammenlikningsgrunnlag. Dette kan by på problemer dersom store områder er

påvirket, slik det kan være med forsurening. Som regel kan førtilstanden estimeres fra tidligere undersøkelser fra samme sted eller samme område. I humusrike områder med lite kalk kan det være naturlig surt vann på grunn av humussyrer. Dersom man står overfor slike vassdrag vil det være en fare for å overvurdere forsureningen ved at en sammenlikner det nåværende (surtolerante) bunndyrsamfunnet med et samfunn som ikke har vært eksponert for surt vann. Ser man imidlertid bort fra et forholdsvis lite antall naturlig sure vassdrag, kan en gå utfra at førsituasjonen er en ikke sur lokalitet der faunaen inneholder de dyregruppene og artene som er typiske for en slik lokalitet/region. Da kan et slikt indekssystem brukes til å klassifisere de biologiske forurensningsskadene i vassdraget og til å estimere forurensningen uttrykt som forventet pH-område i de sureste periodene.

Tabell 11. Forslag til plassering av bunndyr i forurensningsklasser. Fra Bækken og Aanes 1990c.

- angir vanlig plassering, og
- (•) angir alternativ plassering når lokalitetene er har et høyt innhold av humus.

pH - klasser	pH<4.7	4.7≤ pH<5.0	5.0≤ pH<5.5	pH>5.5
Indeks verdier	4	3	2	1
Snegler				
<i>Gyraulus acronicus</i>			(•)	•
<i>Lymnaea peregra</i>			(•)	•
Krepsdyr				
<i>Gammarus lacustris</i>				•
Døgnfluer				
<i>Ameletus inopinatus</i>		(•)	•	
<i>Baetis rhodani</i>			(•)	•
<i>Baetis muticus</i>				•
<i>Baetis niger</i>			(•)	•
<i>Baetis lapponicus</i>				•
<i>Heptagenia sulphurea</i>		(•)	•	
<i>Heptagenia dalecarlica</i>			•	
<i>Leptophlebia vespertina</i>	•			
<i>Ephemerella aurivillii</i>			(•)	•
<i>Ephemera vulgata/danica</i>			(•)	•
<i>Caenis spp.</i>			(•)	•
Steinfluer				
<i>Diura nanseni</i>			•	
<i>Isoperla spp.</i>		•		
<i>Brachyptera risi</i>		•		
<i>Amphinemura spp.</i>	•			
<i>Nemoura spp.</i>	•			
<i>Capnia atra</i>			•	
<i>Capnia pygmaea</i>			•	
<i>Leuctra hippopus</i>	•			
Vårfluer				
<i>Rhyacophila nubila</i>	•			
<i>Glossosoma spp.</i>				•
<i>Agapetus ochripes</i>		•		
<i>Ithytrichia lamellaris</i>			•	
<i>Plectrocnemia conspersa</i>	•			
<i>Polycentopus flavomaculatus</i>	•			
<i>Micrasema spp.</i>				•
<i>Hydropsyche siltalai</i>		•		



Figur 14. Eksempel på noen bunndyrarter som kan finnes ved forskjellige forsuringsklasser. Forsuringsfølsomme arter forsvinner når forsuren tilar.

5. Litteratur

Aanes, K.J. 1989: Biotester/ferskvann/makrovertebrater. -Vann, vol. 24 nr.3, 482-483.

Aanes, K.J. og Bækken, T. 1989a: Bioassays with macroinvertebrates in running water on pesticides commonly used in Norwegian agriculture. Nordisk Plantevernkonferanse, 5-6 des 1989, Marienlyst, Danmark.

Aanes, K.J. og Bækken, T. 1989b: Bruk av vassdragets bunnfauna vannkvalitetsklassifisering. Nr.1. Generell del. - Rapport NIVA O87119/E-88421.

Anttila, M.-E. 1985: Koskikivikoiden pohjaeläimistö kyrönjoen vesistöissä.- Rapport 257, National board of waters, Finland.

Burton, T.M. og Allan, J.W. 1986: Influence of pH, aluminium, and organic matter on stream invertebrates.- Can. J. Fish. Aquat. Sci. 43, 1285-1289.

Bækken, T. og Aanes, K.J. 1990a: Har plantevernmidler uheldige virkninger på dyrelivet i ferskvann? I: Eklo, O.M. (red.) 1990: Plantevernmidler i jord og vann.- Informasjon fra statens fagteneste for landbruket nr.7, 1990.

Bækken, T. og Aanes, K.J. 1990b: Bruk av vassdragets bunnfauna i vannkvalitetsklassifisering. Nr.2B. Effekter av forsuringen på bunndyr i elver og bekker i Sør-Varanger. - Rapport NIVA. 2468.

Bækken, T. og Aanes, K.J. 1990c: Bruk av vassdragets bunnfauna i vannkvalitetsklassifisering. Nr. 2A. Forsuring. Rapport NIVA. 2491.

Degerman, E., Lindgren, G., Lingdell, P.-E. og Nyberg, P. 1987: Kartering av strömfauna och fisk i mindre vattendrag i Norrlands inland och fjälltrakter i relation till försurning. - Inform. nr 2 från søtv.lab. Drottningholm.

Engblom, E. og Lingdell, P.-E. 1983: Bottenfaunans användbarhet som pH indikator.- Rapport SNV 1741.

Engblom, E. og Lingdell, P.-E. 1987: Vilket skydd har de vattenlevande smådjuren i landets naturskyddsområden. En studie av försurnings- og föroreningsförhållanden? - Rapport SNV 3349.

Fjellheim, A. og Raddum, G.G. 1984: Regionale evertebratundersøkelser. - I: Henriksen, A. m.fl.(Red.): Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør.- SFT. Rapport 162/84.

Hargeby, A. og Petersen, R.C.Jr. 1988: Effect of low pH and humus on the survivorship, growth and feeding of *Gammarus pulex* (L.) (Amphipoda). Freshw. biol. 19, 235-247.

Henriksen, A., Lien, L. og Traaen, T.S. 1990: Tålegrenser for overflatevann - Kjemiske kriterier for tilførsler av sterke syrer.- Rapport NIVA, 0-89210.

Herrmann, J. 1987: Aluminium impact on freshwater invertebrates at low pH: A review. I: Landner, L.(red.): Speciation of metals water, sediments and soil systems. - Lecture notes in earth sciences. 11, 157-175

Herrmann, J. og Andersson, K.G. 1986: Aluminium impact on respiration of lotic mayflies at low pH.- Water, Air and Soil Pollution 30, 703-709.

Huttunen, P., Hovi, A. og Hämäläinen, H. 1987: The effects of acidification on macrozoobenthos in running waters. (finsk med engelsk sammendrag) - Rapport 12

Lien, L., Henriksen, A., Raddum, G. og Fjellheim, A. 1989: Tålegrenser for overflatevann - fisk og evertebrater. - Rapport NIVA 0-89185.

- McCahon,C.P. og Pascoe,D. 1989: Short-term experimental acidification of a Welsh stream: Toxicity of different forms of aluminium at low pH to fish and invertebrates.- Arch. Environ. Contam. Toxicol. 18, 233-242.
- Näslund,I. 1987: Bottenfaunaen ur försurningssynvinkel i 5 bäckar Nässjöområdet, Härjedalen.- Rapport.
- NIVA 1980: Vurderingssystem for vannkvalitet og bruksformer for vann. -0-80007. R4/80.
- NIVA 1983: Vurderingssystem for vannkvalitet for innsjøer og elver. -0-8000701. A423.
- NIVA 1986: Vannkvalitetskriterier. Forslag om systemutvikling og valg av delprosjekter.
- NIVA 1988: International co-operative programme on assessment and monitoring of acidification in rivers and lakes.- Draft Data Report, Programme Centre, Norwegian Institute for Water Research.
- Nyman,C., Anttila,M.-E., Lax,H.-G. og Sarvala,J. 1986: The bottom fauna of rapids as a measure of the quality of running waters.(finsk med engelsk sammendrag) - Rapport.
- Ormerod,S.J., Boole,P., McCahon,C.P., Weatherley,N.S., Pascoe,D. og Edwards,R.W. 1987: Short-term experimental acidification of a Welsh stream: comparing the biological effects of hydrogen ions and aluminium.- Freshw. biol. 17, 341-356.
- Otto,C. og Svensson,B. 1983: Properties of acid brown water in streams in South Sweden.- Arch. Hydrobiol. 99, 15-36.
- Palawski,D.U., Hunn,J.B., Chester,D.N. og Wiedmeyer,R.H. 1989: Interactive Effects of Acidity and Aluminium Exposure on the Life Cycle of the Midge *Chironomus riparius* (Diptera).- J.Freshw.Ecol. 5, 155-162.
- Raddum,G. 1979: Virkninger av lav pH på insektlarver. - SNSF Intern rapport IR 45/79.
- Raddum,G. og Fjellheim,A. 1984: Acidification and early warning organisms in freshwater in western Norway. - Verh. Internat. Verein. Limnol. 22, 1973-1980.
- Raddum,G., Fjellheim,A. og Hesthagen,T. 1988: Monitoring of acidity by the use of aquatic organisms.- Verh.Intemat. Verein. Limnol. , 1-7
- Rosseland,B.O., Eldhuset,T.D. og Staurnes,M. 1990: Environmental effects of aluminium.- Environ. Geochemistry and Health 12, 17-27.
- SFT 1989a: Vannkvalitetskriterier for ferskvann. Hovedredaktør Hans Holtan, NIVA.
- SFT 1989b: Enkle undersøkelser av bekker og tjern.- Red. Holtan,H. NIVA, Rapport SFT,TA 647.
- Weatherley,N.S., Ormerod,S.J., Thomas,S.P. og Edwards,R.W. 1988: The response of macroinvertebrates to experimental episodes of low pH with different forms of aluminium, during a natural spate.- Hydrobiol. 169, 225-232.
- Økland,J. 1969: Distribution and ecology of the Fresh-water snails (Gastropoda) of Norway. - Malacologia 9, 143-151.
- Økland,J. 1980: Environments and snails (Gastropoda): Studies of 1000 lakes in Norway.-In: Drabløs,D. og Tollan,A. (eds): Ecological impact of acid precipitation. SNSF-prosjekt, 322-323.
- Økland,J. 1983: Ferskvannets verden 3. Regional økologi og miljøproblemer. Univ. forlaget.
- Økland,J. og Økland,K.A. 1986: The effects of acid deposition on the benthic animals in lakes and streams.- Experientia 42, 471-486.

Økland, K.A. 1980: Mussels and crustaceans: Studies of 1000 lakes in Norway.- In: Drabløs, D. og Tollan, A. (eds): Ecological impact of acid precipitation. SNSF-prosjekt., 324-325.

Design:

Forsidefoto:

Tegning av *Baetis rhodani*:

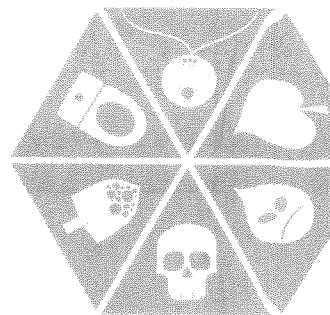
Trykk:

Petter Wang

Karl Jan Aanes

Eva Engblom

Reclamo Ryen, 1989



Vannkvalitetskriterier for ferskvann