



Økologisk betydning av grunnvann for bunndyr og fisk

Åge Brabrand, Naturhistorisk museum-LFI, UiO
Trond Bremnes, Naturhistorisk museum-LFI, UiO
Svein Jakob Saltveit, Naturhistorisk museum-LFI, UiO
Andreas G. Koestler, Geo-Recon
Jim Bogen, NVE

2
2005



RAPPORT MILJØBASERT VANNFØRING

FoU-programmet Miljøbasert vannføring

Programmet Miljøbasert vannføring har som mål å skaffe økt kunnskap om virkninger av sterkt redusert vannføring i vassdrag, slik at forvaltningen får et bedre faglig grunnlag for å fastsette vannføringen ved inngrep i vassdrag. Dette er aktuelt i forbindelse med nye vassdragskonsesjoner, revisjon av vilkår i gamle konsesjoner og som følge av den nye vannressursloven og EUs rammedirektiv for vann. Programmet finansieres av Olje- og energidepartementet og er forankret i Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).

Programmets fase I har en tidsramme på fem år (2001-2005). Programmet er organisert med en styringsgruppe, bestående av representanter fra NVE med lederansvar, energibransjen, naturforvaltningen og interesseorganisasjoner, og et fagutvalg der ulike fagområder er representert. Den daglige ledelse og administrasjon av programmet er knyttet til Vannressursavdelingen i NVE.

Økologisk betydning av grunnvann for bunndyr og fisk

Rapport nr. 2 - 2005

Økologisk betydning av grunnvann for bunndyr og fisk

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfattere: Åge Brabrand, Naturhistorisk museum-LFI, UiO
Trond Bremnes, Naturhistorisk museum-LFI, UiO
Svein Jakob Saltveit, Naturhistorisk museum-LFI, UiO
Andreas G. Koestler, Geo-Recon
Jim Bogen, NVE

Forsidefoto: Åge Brabrand

ISSN: 1502-234X

ISBN: 82-410-0556-3

Sammendrag: Bunndyr og fisk i to typer lokaliteter ble undersøkt, **i) grunnvannsbekker** fra definert kildepunkt og **ii) regulerte elver uten minste-vannføring men med grunnvann**. Bunnfaunaen i grunnvannsbekkene hadde lav biologisk diversitet (Shannon-Wiener H' biodiversitetsindeks) og hadde dominans av kaldstenoterme (og sannsynligvis konkurransesvake) arter som steinfluen *Nemoura cinerea* og fjærmyggene *Eukiefferiella* gr. *gracei*, *Tvetenia* sp., *Corynoneura* sp. og *Diamesa* sp. Grunnvannsbekkene hadde forekomst av årsunger av ørret eller røye i høye tettheter helt opp til kildepunktet. I grunnvannsdominerte elver uten minstevannføring var det signifikant høyere diversitetsindeks for bunndyr i selve kildeområdet sammenliknet med ovenfor der elva var temporær (overflatevann) og nedenfor (permanent elv). Det ble funnet naturlig rekruttering hos ørret der grunnvannsforekomsten ga permanent vannspeil. Der grunnvann dominerte ble den mest kaldstenoterme fiskearten favorisert. Grunnvann er en kald og vannkjemisk stabil vannmengde som gir produksjon av bunndyr og fisk, men som vil favorisere kaldtvannsorter, f. eks. ørret framfor ørekyt. I sterkt regulerte elver må grunnvannsbidrag og sluppet minstevannføring sees i sammenheng med substrattypen for å oppnå ønsket vannføring med god vannkvalitet i elveleiet.

Emneord: Fisk, bunndyr, grunnvann, minstevannføring.

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

Juli 2005

Innhold

SAMMENDRAG	7
1. INNLEDNING	11
2. ELVESTRENG OG GRUNNVANN.....	11
ABIOTISKE FAKTORER.....	13
BIOLOGISK BETYDNING	14
HYPOTESER	14
3. METODIKK.....	16
INTERAKSJON MELLOM ELVEVANN OG GRUNNVANN	16
TEMPERATUR	17
VÆRFORHOLD	17
BUNNDYR.....	17
FISK.....	18
4. RESULTATER	19
SKIBOTN	19
<i>Kildeområder.....</i>	<i>19</i>
<i>Bunndyr.....</i>	<i>21</i>
<i>Fisk.....</i>	<i>23</i>
VINSTRA.....	26
<i>Kildeområder nedenfor Kamfoss</i>	<i>26</i>
<i>Temperatur.....</i>	<i>28</i>
<i>Bunndyr.....</i>	<i>31</i>
<i>Fisk.....</i>	<i>34</i>
RAUMA.....	40
<i>Kildeområder ved Alnes.....</i>	<i>40</i>
<i>Bunndyr.....</i>	<i>42</i>
<i>Fisk.....</i>	<i>44</i>
HEMSIL.....	45
<i>Hemsil nedstrøms Eikradammen</i>	<i>45</i>
<i>Bunndyr.....</i>	<i>47</i>
<i>Fisk.....</i>	<i>50</i>
5. DISKUSJON.....	52
FORHOLD FOR FISK OG BUNNDYR I GRUNNVANNSOMRÅDER	52
SUBSTRATETS SAMMENSETNING	56
6. LITTERATUR.....	58

Forord

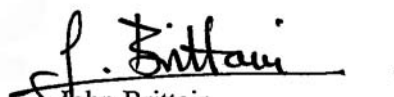
I forbindelse med vassdragsreguleringer og andre inngrep i vassdrag settes det krav til minstevannføring. Fastsettelse av minstevannføring krever kunnskap ikke bare om vanntilførsel fra restfeltet og fra grunnvannet, men også betydningen av disse for vannlevende organismer.

Prosjektet "Økologisk betydning av grunnvann for bunndyr og fisk" har hatt som målsetting å klargjøre betydningen av grunnvann for overlevelse og rekruttering av bunndyr og fisk. Prosjektet har spent over feltet mellom hydrologi og biologi. Gjennom studier i flere vassdrag, både regulerte og uregulerte, har prosjektet vist at grunnvannstilførsel kan være av avgjørende betydning for å opprettholde produksjon av bunndyr og laksefisk. Grunnvannets lavere temperaturer og stabile kjemi kan noen ganger være gunstigere enn overflatevann. Det viser seg at også substratet og sedimenttransporten spiller en stor rolle i hvilken grad grunnvannstilsig har en positiv effekt.

Kunnskapen ervervet gjennom prosjektet vil være nyttig for fastsetting av vannføring ved inngrep i vassdrag. Dette vil gjøre det lettere å ta hensyn til vannlevende organismer på et bedre faglig grunnlag.

Oslo, juli 2005


Haavard Østhagen
leder styringsgruppe


John Brittain
programleder

Sammendrag

Minstevannføring i regulerte vassdrag skal sikre biologisk produksjon og overlevelse av fisk og fiskens næringsdyr. Dette skjer både ved at minstevannføringen opprettholder et visst vanndekket produksjonsareal, og ved at det er sikret vannføring i kritiske perioder. I regulerte elver med redusert vannføring kan grunnvannsnivået og interaksjon mellom grunnvann og elvevann øke den relative betydningen av grunnvann. Regulerte strekninger uten minstevannføring, men med stort grunnvannstilsig, vil få mer konstant vannføring enn der hvor det ikke er grunnvannstilsig. I praksis vil hele spekteret (overflatevann og grunnvann) bidra med vann til elvestrengen.

I prosjektet ”Økologisk betydning av grunnvann for bunndyr og fisk” er både uregulerte grunnvannsdominerte bekker (i Skibotn og Rauma) og regulerte elver uten minstevannføring (Vinstra nedenfor Kamfoss og Hemsil nedenfor Eikradammen) undersøkt. Hensikten har vært å karakterisere biologiske samfunn i grunnvannsdominerte vannforekomster, og om grunnvann kan ha betydning for vannlevende organismer i regulerte elver.

Grunnvannsdominerte bekker og regulerte elver uten minstevannføring med grunnvann som periodevis dominerende vanntype er fundamentalt forskjellig mht. temperatur og etablering av bunndyr gjennom drift fra ovenforliggende områder.

Grunnvannsbekker med et veldefinert frambuddspunkt har stabilt lav temperatur og i Skibotn målt til ca 4-5 °C på årsbasis og med liten døgnvariasjon. I regulerte elver uten minstevannføring var temperaturforholdene mer kompliserte, og avhengig av mengdeforholdet mellom grunnvann og overflatevann som igjen var nedbørvhengig. I slike områder vil temperaturen i tørre perioder være dominert av grunnvann (stabilt lav) og i perioder med nedbør være dominert av overflatevann (avhengig av lufttemperaturen). Det vil derfor være større abiotisk variasjon på slike lokaliteter sammenliknet med grunnvannsdominerte kildebekker og elver dominert av overflatevann. Dette ble spesielt dokumentert i Vinstra elv nedenfor Kamfoss. Forventningen er derfor at de biologiske bunndyrsamfunnene her er dominert av euryterme arter med et samfunn med høy diversitet, mens rene grunnvannsbekker er dominert av kaldstenoterme arter med et enklere samfunn med lav diversitet.

Bunnfaunaen i grunnvannsdominerte bekker i både Skibotn og Rauma hadde signifikant lavere biologisk diversitet (Shannon-Wiener H' biodiversitetsindeks), lavere artsantall og hadde dominans av kaldstenoterme (og sannsynligvis konkurransesvake) arter sammenliknet med tilsvarende bunnsubstrat i hovedelva. I kildebekkene i Skibotn dominerte steinfluen *Nemoura cinerea* og fjærmyggene *Eukiefferiella* gr. *gracei* og *Tvetenia* sp. Kildebekkene i Rauma var også dominert av *Nemoura cinerea*, men av fjærmyggene *Corynoneura* sp. og *Diamesa* sp.

Grunnvannsbekkene hadde forekomst av årsunger av ørret (Rauma) eller røye (Skibotn) i høye tettheter. Selv svært små kildebekker hadde høye tettheter, med forekomst helt opp i frambruddspunktet, forutsatt at gytefisken hadde muligheter til å vandre opp fra hovedelva. Forekomsten av årsunger bekrefter at det i grunnvannsbekker i tilknytning til større vassdrag skjer gyting, og at ungene holder seg her i første og annet leveår.

I de regulerte elvene uten minstevannføring, men med grunnvannstilsig, ble det funnet naturlig rekruttering hos ørret og et artsrikt bunndyrsamfunn med høy diversitetsindeks. Det var påfallende at selve rekrutteringen ser ut til å kreve ganske små vannmengder, noe som helt tydelig kom frem spesielt i Hemsila. Det er antatt at følgende forutsetninger må være til stede for at det skjer hos ørret/røye: Kontinuerlig vannstrøm, egnet gytesubstrat og forekomst av gytende fisk.

Bunnforholdene i Hemsil er stedvis dominert av bart fjell som gjør at nærmest all avrenning fra restfelt og kilder renner i dagen, mens elveleiet i Vinstra nedenfor Kamfoss har betydelige løsmasser og er vanligvis tørt i overflaten. I begge vassdrag har liten vannføring ført til et mer stabilt bunnsubstrat.

I Vinstra er gradienten for høy til at det har blitt dannet elvesletter på den aktuelle strekningen. Substratet i elveløpet domineres av store immobile steinfraksjoner som har blitt liggende igjen etter at de finere fraksjonene i morenematerialet er vasket vekk. Fravær av overløpsflommer gjør at substratet nedenfor Kamfoss i dag er mer stabilt sammenliknet med slik det var før regulering. Det er imidlertid aktive erosjonsprosesser i dalsidene, med bl.a. ravinefelter. Det produseres derfor en del sedimenter som transporteres ut i hovedelven av mindre sidebekker.

Sidebekkene forsvinner ofte ned i grunnen før de når fram til hovedløpet. Vannmengden i grunnen (grunnvannstanden) i elveløpet vil øke med avstanden fra Kamfoss, og etter hvert komme til syne i elveløpet. Ved stor lokal avrenning vil "elva" komme til syne nærmere Kamfoss enn når avrenningen er liten. Fra ca. 5 km nedenfor Kamfoss er elva permanent, mens den er temporær herfra og opp til Kamfoss.

I Hemsila nedenfor Eikradammen er sedimenttransporten nesten opphørt etter at vassdraget ble regulert, og overløpsflommer på denne strekningen har spylt vekk grus og steinmaterialet uten at nytt materiale har blitt tilført ovenfra. Før reguleringen ble iverksatt må det stadig ha blitt tilført materiale til denne strekningen. Substratet må da ha hatt en annen karakter enn i dag, og var sammensatt av mange forskjellige fraksjoner av varierende størrelse.

Bunndyrsamfunnene i Vinstra elv hadde signifikant høyere diversitetsindeks med flere arter til stede i kildeområdet (dominert av vekselvis grunnvann og overflatevann) sammenliknet med ovenfor der elva var temporær (overflatevanndominert) og nedenfor (permanent, men større innslag av overflatevann). I kildeområdene i Vinstra var bunndyrsamfunnet dominert av døgnfluen *Baëtis rhodani*, vårfluen *Rhyacophila nubila* og fjærmyggslekten *Diamesa*, og med et påfallende stort innslag av spretthaler

(Collembola). I Hemsil (alltid permanent vannspeil) var det også signifikant høyere diversitet på strekning uten minstevannføring sammenliknet med tilsvarende substrat ovenfor og nedenfor, med dominans av *Baëtis rhodani*, nettspinnende vårfluer og *Diamesa* sp.

I Vinstra elv ble det ikke påvist fisk på den temporære elvestrekningen, mens på den permanente ble det funnet både årsunger av ørret i 2003 og eldre ørretunger i 2003 og 2004. Ørret hadde god vekst og god kondisjon, men bestanden var totalt dominert av fisk yngre enn 2 år. Dette tyder på størrelsesselektiv dødelighet eller utvandring fra området, noe som sannsynligvis er forårsaket av fravær av større kulper som er viktig habitat for større fisk. Ørekyt, en mer varmekrevende art, hadde lave tettheter i 2003, og ble ikke påvist i 2004.

I Hemsil nedenfor Eikradammen ble det påvist naturlig rekruttering hos ørret på enkelte områder der det var grunnvannssig og egnet bunns substrat. Dette ble funnet i tilknytning til kulper rett nedenfor Eikradammen. Nedenfor kulpområdet besto substratet av bart fjell. Det ble her ikke påvist rekruttering hos ørret, kun svært liten bestand av større ørret, foruten ørekyt. Her er rekruttering hos ørret begrenset av tilgjengelig gytesubstrat.

I regulerte elver uten minstevannføring vil selv svært små vannmengder (overflatevann og/eller grunnvann) kunne gi et diversert bunndyrsamfunn og rekruttering hos ørret, forutsatt tilfredsstillende oksygeninnhold. Ofte forekommende bunndyr er *Baëtis rhodani* og *Diamesa* sp. Der grunnvann dominerer vil den mest kaldstenoterme fiskearten dominere. Diversitet, rekruttering og dominans må skilles fra den totale produksjonen av fisk som er avhengig av egnet habitat og størrelsen på produksjonsarealet (vanndekket areal).

Diversitet, rekruttering og dominans er utover det å være avhengig av et permanent vannspeil, knyttet til substratet og bunnens stabilitet. Det vil være substrattypen i elveleie og lokal avrenning som avgjør hvorvidt (grunn)vannstanden kommer fram i dagen. Lite løsmasser i elveløpet krever lite vann for å gi vannspeil og gir et forskjellig temperaturregime sammenliknet med vassdragsavsnitt med bunn dominert av løsmasser. Her kreves mer vann for å gi vannspeil. Den biologiske konsekvensen av dette er derfor knyttet både til temperatur og substrat. Små arealer med egnet gytesubstrat kan gjøre at ørretbestanden er begrenset, mens økt stabilitet i seg selv kan gi et mer diversert bunndyrsamfunn.

Den praktiske konsekvensen i sterkt regulerte elver er at grunnvannsmengden må sees i sammenheng med sluppet minstevannføring. Så lenge oksygenforholdene er tilfredsstillende representerer grunnvannsbidraget en kald og vannkjemisk stabil vannmengde som gir produksjon av bunndyr og fisk, men som vil favorisere kaldtvannsarter, f. eks. ørret framfor ørekyt. Dersom grunnvann representerer et vannbidrag med lavt oksygeninnhold vil derimot dette føre til stor dødelighet. Det er derfor svært viktig at grunnvannsbidraget kobles mot minstevannføringen, og at dette samlet sett må sees i sammenheng med substrattypen for å oppnå ønsket vannføring med god vannkvalitet i elveleiet.

1. Innledning

Lavvannføring i regulerte vassdrag skal dekke definerte behov, deriblant sikre mulighetene for biologisk produksjon. En økologisk tilpasset lavvannføring krever kartlegging av flaskehalser for de biologiske samfunn. Avhengig av bunnsubstratet og hydrologisk regime, vil det være et «grunnvannsvolum», under elvebunnen som står i kontakt med elvevannet. Lav vannføring kan derfor øke den relative betydningen av grunnvann i vassdrag, og grunnvann kan da skape overlevelsesområder for fisk, fiskerogn og bunndyr i perioder eller på steder med kritisk lav vannføring.

Det er generelt gjennomført ytterst få studier på den økologiske betydningen av grunnvann i Norge, men grunnvann som forutsetning for gyting hos bekkerøye er godt dokumentert (Blanchfield & Ridgway 1997). Ørretens bruk av grunnvannsområder for gyting i reguleringsmagasiner er nylig dokumentert av Brabrand, Koestler & Borgstrøm (2002), og det gjennomføres forsøk (finansiert av EBL-kompetanse) med kunstig grunnvannstilførsel under eksperimentelle forhold for å øke naturlig rekruttering hos ørret. I et DN finansiert prosjekt er det påvist mulig overlevelse for laksunger i nær tilknytning til grunnvannsområder i elver der det er gjennomført rotenonbehandling. Slike vassdragsavsnitt er påvist i Driva og Skibotnelva, til en viss grad også i Byaelva (Koestler og Brabrand 2001), mens Rauma med finere sand som dominerende substrat får grunnvannstilførsel mer gjennom bekkesig langs bredden. Liknende forhold er også påvist i innsjøer og i gamle elveløp mellom HRV og LRV.

I de norske undersøkelsene er det påvist fluksrater opp gjennom bunnen fra ca. 100-5000 ml m⁻² min⁻¹ i magasiner, og opp til noen m³ min⁻¹ som punktilførsler av grunnvannsbekker til elver. Strukturen i løsmasser, heterogenitet i bredd eller bunnsubstrat, høydegradient i terrestre nærområder og klima er her viktige faktorer. Dersom definerte mønstre for grunnvannspåvirkning på biologiske samfunn på sikt kan frem-settes, bør dette inngå som en integrert del av de mål miljøbasert vannføring skal dekke. Problemstillingen har stor relevans til forvaltning av regulerte elver.

2. Elvestreng og grunnvann

I tillegg til tiden som dimensjon, har elver tre romlige dimensjoner (Ward 1989):

- *Elvens lengderetning*: - Et kontinuum i elvas lengderetning som består av en rekke habitattyper, som stryk, kulper, bakevjer med forskjellig utforming, der energi tilgjengelig for organsimene og de funksjonelle grupper av fisk og bunndyr varierer fra øvre til nedre del av vassdraget.
- *Vertikal dimensjon* – Et habitat som består av elvas tverrsnitt, inkludert elvebredden og eventuelt våtmarksområder på elvesletta.

- *Hyporheisk eller vertikal dimensjon* – Et habitat assosiert med grunnvann og grunnvannsstrømming gjennom bunnsedimenter, elvebredd og elveslette.

Disse tre romlige habitatdimensjonene er ikke klart avgrenset, og står i kontinuelig kontakt og utveksling gjennom fysiske (f. eks. flommer) og biologiske prosesser (f. eks. graving av gytegroper). For både fisk og bunndyr påvirkes alle de tre dimensjonene av menneskelig aktivitet. Den hyporheiske sonen (grunnvannssonen) blir bare svært sjelden blir trukket inn i fiskeribiologiske problemstillinger (Ward 1989).

Avhengig av fjellkvaliteten og løsmassene vil grunnvann stå i direkte forbindelse med overflatevann i både elv og innsjø (Castro & Hornberger 1991, Bencala 1993, Stanford & Ward 1992, 1993). Til sammen vil dette utgjøre et hydrologisk kontinuum der det foregår ulik utveksling av vann med ulik temperatur og kjemisk sammensetning. I rennende vann vil det derfor være et kontinuelig tilsig av grunnvann avhengig av bergartens og løsmassenes beskaffenhet, høydegradienten i omgivelsene og karakteristika i nedbørfeltet (Brunke & Gonser 1997). Tilsig av grunnvann vil avhenge av:

- Klimatiske faktorer (nedbør, temperatur)
- Høydegradienten i nedbørfeltet
- Permeabiliteten i løsmasser og sprekkesoner i fast fjell
- Bunnforhold og sedimenttype i elveleiet

Grunnvann er forskjellig fra overflatevann mht. en rekke faktorer, hvorav de viktigste for biologiske prosesser er temperatur, oksygen, karbondioksid og derved også pH. Oksygen kan være en kritisk faktor, avhengig av grunnvannsnivå, oppholdstid og innhold av organisk materiale (Malard & Hervant 1999). I tillegg kommer kjemisk påvirkning pga. bergartens og løsmassenes sammensetning som stedvis kan gi relativt store avvik fra den kjemiske sammensetningen som finnes i overflatevannet (kalkholdige bergarter, bergarter rike på svovelforbindelser). Grunnvann har som oftest en annen temperatur enn overflatevann. Det er kaldere om sommeren og varmere om vinteren, og med betydelig mindre amplitude (Evans, Greenwood & Petts 1995). Grunnvann har lavere innhold av oksygen enn overflatevann (Triska, Duff & Avanzino 1993). Grunnvann har høyere konsentrasjon av karbondioksyd (Pusch & Schwoerbel 1994), som gir grunnvann en annen pH.

Disse kvalitetene ved grunnvann gjør at grunnvannspåvirkning har økologiske konsekvenser for bunndyr og fisk. Det vil gjelde spesielt for den delen av faunaen som har opphold nede i substratet. For laksefisk inkluderer dette rogn og fiskelarver før de kommer opp av grusen, og større fiskeunger som tidvis oppholder seg nede i substratet.

Det er flere faktorer som påvirker selve tilsiget eller tapet av grunnvann i forhold *tilselve elvestrengen*, og som derved kan gi direkte effekt på bunndyr og fisk (Brunke & Gonser 1997). Disse faktorene er:

- Vannføring av overflatevann i elva
- Geologi i elveleiet, strukturelle forhold i grunnfjell, løsmassekarakteristika
- Bunnsubstratets permeabilitet
- Småskala topografi av elvebunnen
- Hydrologiske forhold i nedbørfeltet og fordeling gjennom året, herunder forsinkelse av grunnvannstilsig i forhold til direkte tilsig fra overflateavrenning.

På en gitt lokalitet vil vekselvirkning mellom grunnvann og elvevann (interfasen grunnvann – overflatevann) være bestemt av disse faktorene. Vannføringen antas å være en dominerende faktor. Stor vannføring vil enten føre til vanntap fra elvevannet til grunnvannet (grunnvannsmating), eller til at grunnvannsandelen er såpass liten at innflytelse fra grunnvannet ikke påvirker forholdene for bunndyr og fisk.

Dersom vannføringen i elva er liten (perioder med lite nedbør og i regulerte vassdrag), vil det relative bidraget fra grunnvannet øke, og interfasen vil kunne være høyt i substratet eller i selve vannfasen i elvestrengen, spesielt der substratet består av grov stein med hulrom langt ned i substratet. Dette er preferert habitat hos laksunger og smolt, som i perioder gjennom døgnet kan oppholde seg nettopp i denne sonen (Heggenes *et al.* 1993, Bremset & Heggenes 2001).

Abiotiske faktorer

Utteksling av vann mellom grunnvann og elvevann skaper områder der elvevannet renner ned i substratet, mens det andre steder kommer opp. Denne uttekslingen er sterkt avhengig av substratets heterogenitet og ikke minst likevekten mellom grunnvann og elvevannet. Hyppig gjennomstrømning av vann i substratet på denne måten vil føre til gode oksygen- og næringsforhold i den hyporheiske sonen, noe som er av stor betydning for produksjon av bunndyr og for rognutvikling av laksefisk.

Utteksling av vann med hyporeisk sone modererer temperaturen på elvevannet. I forhold til elvevann er grunnvannstemperaturen lavere om sommeren og høyere om vinteren. Dette kan redusere virkningen av ekstreme forhold som kan oppstå ved lave vannføringer kombinert med lave temperaturer om vinteren, eller ved høye sommertemperaturer. Vinteren er en kritisk periode for fisk, der vinterdødeligheten hos ung-fisk kan være høy (Cunjak, 1988, Whalen *et al.* 1999). Tilgjengeligheten på overlevelsedområder kan være av stor betydning for bestanden, og der det er grunnvannsinnsig om vinteren under ellers marginale forhold kan småfisk opptre i store tettheter (Cunjak & Power, 1986; Brown & Stanislawski, 1996).

Cunjak (1996) angir tre viktige faktorer for fisk på rennende vann om vinteren; **i)** beskyttelse mot predatorer, **ii)** tilgjengelig næring **iii)** beskyttelse mot ekstreme abiotiske forhold (is, oksygen, tilgjengelig habitat). Ved effektkjøring og rask

tørrlegging av elvebunnen ble fisk funnet å overleve nede i substratet (Saltveit et al. 2001), trolig pga. grunnvann.

Redusert vannføring fører ofte til økt sedimentasjon. For fisk og næringsdyr vil dette forringe habitatet og kan gi økt dødelighet, spesielt for rogn i substratet og lite mobile næringsdyr. Muligheten for småfisk og bunndyr til å skjule seg i substratet reduseres. Vassdragsavsnitt med grunnvannspåvirkning og eventuelt grunnvannstrykk opp igjennom elvebunnen vil sannsynligvis være utsatt for mindre sedimentasjon, spesielt av finpartikkulært materiale. I tillegg vil lavvannføring kunne føre til at interfasen mellom grunnvann og elvevann ligger over substratet.

En rekke situasjoner med lave vannføringer kan gi store endringer i forholdet mellom grunnvann og elvevann. Spesielt vil dette gjelde langt ned i vassdragene med løsmasser på elvesletta og stort ovenforliggende nedbørfelt. Vestlandsvassdrag med mye nedbør, løsmasser på fast fjell og kompliserte sprekkesoner vil her ved redusert vannføring kunne få oppvellingssoner preget av grunnvann. Grunnvannspåvirkning som gir stedvis redusert sedimentasjon vil komme spesielt tydelig fram i brevassdrag fordi sedimentasjonen ellers kan være stor.

Biologisk betydning

Kunnskap om grunnvannets betydning for de økologiske forholdene i elver er omtalt av Power *et al.* (1999), og det er her referert til flere studier på bunndyr enn på fisk. Elvevann som står i forbindelse med grunnvann eller som renner gjennom løsmasser og tilbake til elva er spesielt viktige faktorer som former habitat for laksefisk, og som er prosesser som er lite undersøkt. Reduksjon i optimale habitater kan øke både intraspesifikk og interspesifikk konkurranse.

Laksefisk selekterer oppvellingsområder (oppstrømmende vann gjennom substratet), framfor nedvellingsområder i forbindelse med gyting (Hansen 1975), noe som sikrer eggene oksygentilførsel. Her vil det også være mindre sedimentering av finere partikler nede i bunnsubstratet, og det vil også være en jevnere temperatur.

Hypoteser

Med henvisning til anadrome fiskearter og stasjonær ørret, og disse artenes valg av sommer- og vinterhabitat (Heggenes *et al.* 1993), kan følgende forventninger fremsettes:

- Grunnvann med tilfredsstillende oksygenforhold gir overlevelse av bunndyr, rogn og yngel ved periodevis meget lave vintervannføringer.
- Grunnvann påvirker temperatur ved lave vannføringer både vinter og sommer.

- Grunnvann med lave oksygenkonsentrasjoner gir stor dødelighet av bunndyr, rogn (om vinteren) og yngel (sommer og vinter) ved periodevis vannføringer.

Studiene er konsentrert til områder der faunaen ikke er preget av organismer som tåler lave oksygenkonsentrasjoner. Her forventes grunnvann å spille en viktig rolle for fisk og bunndyr når vannføringen fra overflateavrenningen er lav. To hovedspørsmål knyttet til regulerte elver og lavvannføring ønskes besvart:

- Kan grunnvannstilførsel erstatte minstevannføringer eller kompensere for lave vannføringer når det gjelder overlevelse av bunndyr og fisk, inkludert rogn i substratet?
- Vil lavere vannføringer gi økt sedimentasjon og derved mindre tilgjengelighet slik at grunnvannsområder ikke kan utnyttes?

De undersøkte vassdragene (Fig. 1) kan klassifiseres til følgende tre kategorier:

- Åpne kilder, kildebekker med veldefinert frembruddspunkt; Skibotn, Rauma, Tysla.
- Regulerte elver uten minstevannføring; Hemsil, Vinstra.
- Lukkete reservoarer; Rena

Mens rene grunnvannsforekomster representerer stabile miljøer, har de pågåtte undersøkelser vist at grunnvannskilder i elver gir større miljøvariasjon og at denne miljøvariasjonen øker når vannføringen reduseres ved regulering. Dette er forårsaket av at i de rene grunnvannsforekomstene er vannet totalt dominert av grunnvann, mens vannet i regulerte elver med grunnvann vekselvis er dominert av grunnvann og overflatevann. Følgende forventninger kan derfor fremsettes:

- I grunnvannskilder og bekker forventes enkle biologiske samfunn, dvs. få arter i stort antall, med dominans av stenoterme og konkurransesvake arter.
- I elver vekselvis dominert av grunnvann og overflatevann forventes normale bunndyrsamfunn, men med innslag av euryterme arter.

Utover de nevnte vassdragene ble det gjennomført en bunndyrundersøkelse i Tysla, et vassdrag der NVE (Kvamsbekk 2004) har påvist omfattende grunnvannspåvirkning. Hensikten var å undersøke om arter og grupper av bunndyr kan benyttes til å indikere grunnvannspåvirkning.

Det er ikke tatt prøver i den hypohoreiske sone, kun på substratoverflaten. Det ble imidlertid foretatt biologisk prøvetaking av brønnvann fra grunnvannsreservoaret på Rena i 2002. Det ble her ikke påvist makrovertebrater, noe som med stor sannsynlighet skyldes perioder med anaerobe forhold (Colleuille *et al.* 2004). Videre prøvetaking i selve reservoaret ble derfor ikke foretatt. Det ble høsten 2004 foretatt befaring på grunt vann i Glomma for å finne mulige utstrømningsområder fra reservoaret til Glomma, uten at klare områder ble funnet, noe som er antatt å være forårsaket av

forholdsvis tett sedimentoverflate. Videre undersøkelse av dette reservoaret eller eventuelle frembruddssoner på dypere vann ble ikke foretatt.

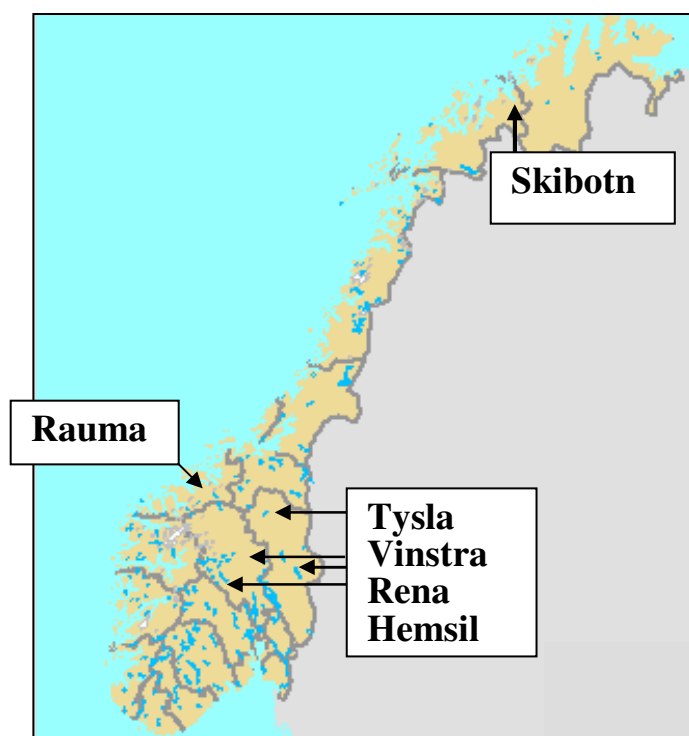


Fig. 1. Lokalteter for fisk og bunndyrundersøkelser foretatt i perioden 2001-2004 innen prosjektet Miljøbasert vannføring.

3. Metodikk

Interaksjon mellom ellevann og grunnvann

Det er forsøkt å identifisere to former for tilførsel av vann til elvestrengen, *sigevann* gjennom bredden og direkte *grunnvannskilder* i elvebunnen.

Sigevann kan komme som grunnvann som har fremspring i elvekanten ovenfor elvestrengen og som siger ned gjennom massene i elvebredden. Denne tilførselen vil primært utgjøre en horisontal vannstrøm fra bredden og inn i elvestrengen, men den kan også ha en vertikal komponent opp igjennom bunnssubstratet nedenfor elvekanten eller inn gjennom bredden. Sigevannstilførsel vil gi en temperaturgradient fra bredden og inn i elvestrengen som lettest kan følges noe ned i substratet. Dersom kilden er anaerob vil redusert jern karakterisere kilden.

Grunnvannstilstrømning og grunnvannskilder: Grunnvannstilstrømning er et vanlig fenomen i elevleiet der permeable løsmasser er i kontakt med elven med en grunnvannsgradient inn mot elvenivået. Grunnvannskilder er en mer eller mindre direkte punkttilførsel med mulighet for større tilførsler innenfor et begrenset område. De er vanskeligere å lokalisere enn sigevann i elvekanten og i denne undersøkelsen inngår for det meste indirekte metoder som vurdering av lagdeling av løsmasser og kartlegging av gamle elveleier, da forholdene her kan gjenspeile dagens elveleie. Måling av vannfluks opp gjennom substrat ble gjennomført enkelte steder med See-page meter (Lee 1977), der substratet tillot dette.

Temperatur

For identifisering av vanntype (oppholdstid i bakken) ble det benyttet digitalt termometer (Fluke 51 med sonde) som kunne stikkes ca 15 cm ned i substratet. Dette ble brukt både i elvebunnen, elvebredden og i mulige kilder på elveslettene og i elveterrasser. Under disse forholdene ble den relative temperaturforskjellen brukt til å identifisere tilsigvannets opprinnelse, dvs. overflatevann versus grunnvannspåvirkning. Det ble også benyttet rør som gjorde det mulig å måle temperatur i bakken inntil 70 cm's dybde. I Skibotnelva og Vinstra elv ble det benyttet Tiny tag temperaturloggere plassert i elvebunnen for måling over lengre perioder.

Værforhold

Det ble valgt å befare vassdragene i perioder med varmt vær uten nedbør og uten nedbør i minst en uke forut for befaringen. Dette førte til lite overflatevann i bekker, lav elvevannstand, forholdsvis tørre myrområder, og ikke minst høy lufttemperatur som ga stor kontrast i temperatur mellom elvevann, sigevann og marknært grunnvann.

For undersøkelsen i Vinstra elv er det benyttet nedbør og lufttemperatur for Skåbu (værstasjon 13670).

Bunndyr

Til innsamling av bunndyr ble den såkalte sparkemetoden benyttet (Hynes 1961, Frost *et al.* 1971). Denne egner seg godt til innsamling på substrat bestående av stein, grus og sand og som lett lar seg flytte på. Med denne metoden blir de fleste artene som er til stede registrert. Metoden regnes som semikvantitativ og kan brukes til anslag over tetthetene av bunndyr (Brittain & Saltveit 1984). Det ble anvendt en håv med åpning 30 x 30 cm montert på et skaft. Håvens maskevidde var 0,45 mm. Ved innsamling i rennende vann holdes håven vertikalt med rammens nedre kant mot substratet slik at strømmen går rett inn i åpningen. Med en fot blir substratet i forkant av håven rottet opp slik at dyr, planter og organisk materiale blir ført med strømmen inn i håven. Innsamlingen skjedde på tid og innsamlingstiden var 1 minutt pr. prøve.

Det ble tatt tre paralleller fra hver stasjon i de undersøkte bekkene. Alle prøvene ble fiksert med etanol i felt. Bunndyrene ble plukket ut, sortert og bestemt i laboratoriet.

Shannon-Wiener diversitetsindeks er benyttet for bedre å tydeliggjøre forskjellene mellom lokaliteter påvirket av grunnvann og upåvirkete lokaliteter. Rent metodisk har det imidlertid vært et problem ved innsamling av bunndyr å finne fram til referanse-lokaliteter, dvs. lokaliteter som gir referanse til lokaliteter som ikke er grunnvannspåvirket. Ofte vil her substrat og vannhastighet skape forskjeller som ikke kan relateres til grunnvannspåvirkning. Det gjelder spesielt der kildebekker er sidevassdrag til hovedvassdraget. Her er det derfor lagt vekt på økologiske krav som de enkelte artene stiller.

I Skibotn er det foretatt kvantitativ innsamling av bunndyr i kildebekker, i hovedelva (Skibotnelva) og i punktkilder i hovedelva høsten 2002. I Rauma ble bunndyr innsamlet i 2003 i 4 grunnvannsbekker, i nedenforliggende grunnvannsjø, og i utenforliggende hovedelv.

Innsamling i Vinstra elv ble gjort i 2003 og 2004 nedenfor Kamfoss (Olstappen), mens det i Hemsila ble samlet på tre stasjoner nedenfor Eikradammen i 2003. I Hemsila ble disse stasjonene og ytterligere fire undersøkt i 2004 i tillegg til at det da også ble tatt prøver på to stasjoner i Hemsila ovenfor Eikradammen. Hemsila nedenfor Eikradammen er regulert uten minstevannføring og lokalitetene ovenfor ble valgt som referanse, da elven her har vannføring hele året.

Hemsil nedenfor Eikradammen renner i stor grad på fast fjell. I 2004 ble det derfor på noen lokaliteter både ovenfor og nedenfor tatt bunnprøver på fjell. Bunndyr ble her samlet inn ved å børste et område på overflaten av dette substratet. Metoden vil bare samle inn bunndyr som befinner seg på overflaten av substratet, i små sprekker eller i alger og mose, og som kan tolerere relativt høye vannhastigheter. Det ble anvendt en håv med åpning 30 x 30 cm montert på et skaft. Håvens maskevidde var 0,45 mm. Bunndyr ble samlet ved å børste en flate på 30 x 30 cm i forkant av håven. Dyr, planter og organisk materiale ble ført med strømmen inn i håven. Det ble tatt tre prøver fra hver lokalitet. Metoden kan regnes som kvantitativ. Alle prøvene ble fiksert med etanol i felt. Bunndyrene ble plukket ut, sortert og bestemt i laboratoriet.

Fisk

Til innsamling av fisk ble det benyttet et elektrisk fiskeapparat konstruert av ingeniør Paulsen. Apparatet leverer kondensatorpulser med spenning ca. 1600 V og frekvens 80 Hz. Elektrofiske og bestandsberegninger er utført sent på sommeren eller tidlig på høsten. Lengden på den avfiskede strekning varierte på hver lokalitet.

Den fangete fisken ble artsbestemt og lengdemålt i felt til nærmeste mm. Fisk som ikke med sikkerhet kunne anslås ut fra størrelse å være årsunger (0+) ble frosset og tatt med for aldersbestemmelse vha. skjell og otolitt. Antall fisk i de ulike årsklasser, 0+, 1+, 2+ og 3+, er beregnet ut fra avtak i fangst ved tre ganger overfisking av

samme areal, "successive removal" (Zippin 1958). For å sikre at det samme areal ble fisket hver omgang, ble arealet avmerket. I tilfelle hvor det ikke var mulig å beregne bestandsstørrelse på grunn av få fisk, ble denne beregnet ved å benytte fangbarhet fra estimatene for de ulike årsklasser, der beregning lot seg gjennomføre.

I Skibotn er det foretatt kvantitativ innsamling av fisk i kildebekker og i hovedelva (Skibotnelva) høsten 2002. I Rauma ble det foretatt tetthetsberegning av fisk på oppmålt areal i 4 grunnvannsbekker, og i nedenforliggende grunnvannsjø i 2002, 2003 og 2004. Det ble foretatt tetthetsberegninger i Vinstra i 2003 og 2004 nedenfor Kamfoss (Olstappen). I Hemsila omfatter undersøkelsene på fisk lokaliteter nedenfor Eikradammen. På noen av disse er bestandens størrelse beregnet, men det var ofte for få fisk her til at slike beregninger var gjennomførbare. Fangbarhet er da benyttet for å gi et estimat på bestandsstørrelse. Elektrofiske i Hemsila omfattet i 2002 også en del mindre tilløpsbekker nedenfor dammen.

4. Resultater

Skibotn

Kildeområder

I Skibotnvassdraget er det flere kildeområder. Ett av disse ligger ved Norddalselva på strekningen mellom Rundfjellet og Gustavsvingen. Området omfatter gamle elveterrasser med heterogene løsmasser, og flere små kildebekker kommer til syne fra grunnen, med typisk temperaturer på 3,8-5,4 °C. Avbildet kildebekk (Fig. 2) starter fra et veldefinert område med et forholdsvis bredt og konstant bekkeleie. Punktkilder i elvebredd/vannlinjen ble funnet (Fig. 3).



Fig. 2. Grunnvannsbekk, med to veldefinerte startkildepunkter (temperaturer 4,2 og 3,9 °C) med ca 300 m bekk før utløp i Skibotnelva.

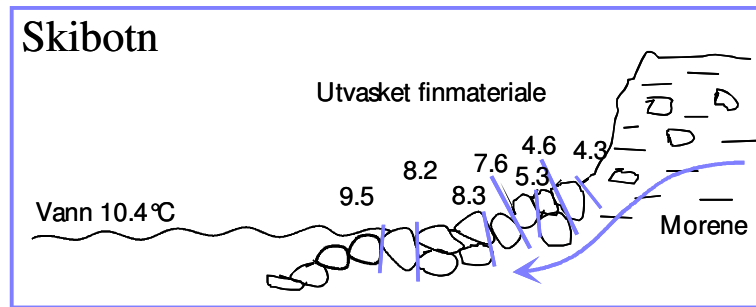


Fig. 3. Punktkilde i elvebredd/elvbunn i Skibotnelva målt i september 2001.

På to punkter i kildebekken, kildefrembruddet og 250 m nedenfor, og i et kildepunkt i bredden på Skibotnelva ble det målt temperatur hver annen time med logger fra 5.08.02-2.09.03 (Fig. 4). Selve kildeframbruddet hadde en stabil temperatur gjennom året på 3-5 °C med svært liten døgnvariasjon. Døgnvariasjonen var høyere 250 m nedenfor kildefrembruddet, men på årsbasis varierer temperaturen her mellom 0-5 °C. I kildepunktet i selve Skibotnelva er årsvariasjonen mellom 0-3,8 °C med svært liten døgnvariasjon. I kildepunktet var temperaturen ved noen anledninger lavere enn 0 °C, noe som sannsynligvis skyldes at ved lav vannføring vil kildepunktet forflytte seg og at loggeren da periodevis blir liggende over vannflaten.

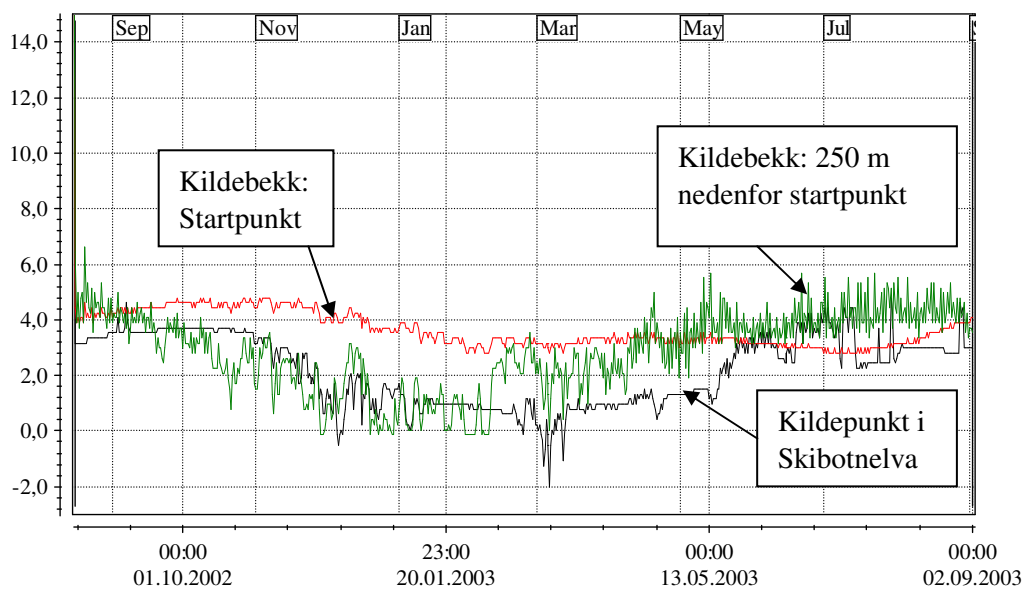


Fig. 4. Temperatur på to punkter i kildebekk i Skibotnvassdraget og i et kildepunkt i selve Skibotnelva for perioden 5.08.02-2.09.03.

Bunndyr

I kildebekkens øverste punkt ble det funnet et bunndyrsamfunn med sterk dominans av fjærmygglarver (*Eukiefferiella gr. gracei*) og steinfluen *Nemoura* sp., trolig *N. cinerea*. Denne steinfluen ble ikke funnet i hovedelva (Vedlegg 1). Den totale mengde dyr var 4-6 ganger høyere øverst i kildebekken enn lenger ned i bekken (Fig. 5). Innslaget av andre grupper økte med avstanden fra kildepunktet, mens begge disse hovedgruppene (døgnfluer: flere arter *Baëtis*, *Heptagenia*, *Ephemerella*, *Ameletus*, vårfluer: *Rhyacophila nublia* og små husbyggende former) var svært tallrike i hovedelva.

Etter 200 m reduseres antallet dyr, men variasjonen og antall arter økte noe, pga. innslag av fåbørstemark og andre tovinger (Fig. 5). Fjærmygg var fremdeles dominerende gruppe. Individantallet av steinfluer var langt lavere og ved siden av steinfluen *N. cinerea*, ble arten *Archynopteryx compacta* påvist. Individantallet sank ytterligere etter 400 m, mens diversiteten økte, i og med tilstedeværelse av to arter døgnfluer og ytterligere en art av steinfluer (Fig. 6). Vårfluer var også til stede og fåbørstemark og andre tovinger økte sin andel. I hovedelva økte individantallet og døgnfluer dominerte faunasammensetningen med til sammen fem arter. Andelen fjærmygg var betydelig redusert sammenlignet med kildebekken. Antall arter var noe høyere i hovedelva, men diversiteten var ikke signifikant ulik den på den nederste stasjonen i bekken.

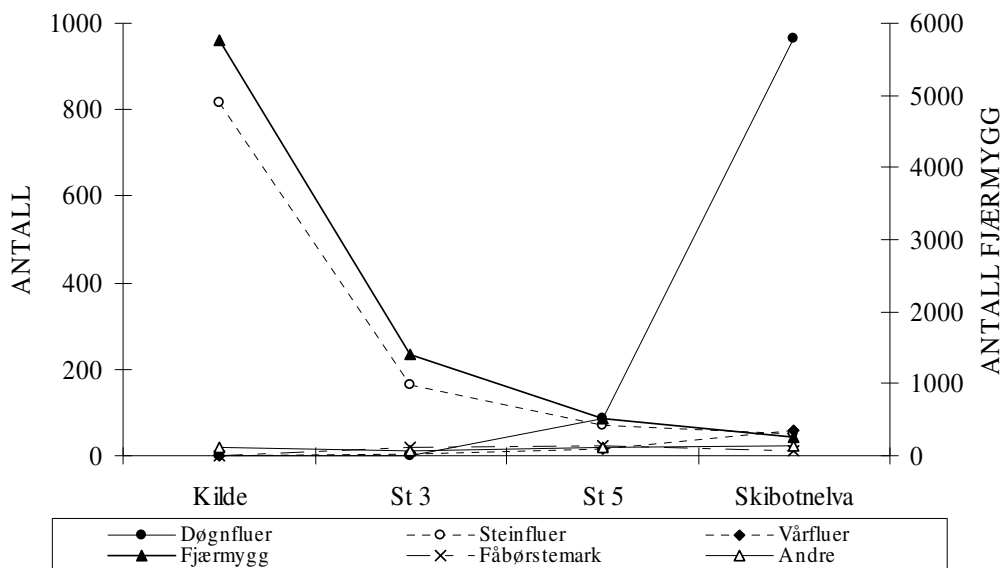


Fig. 5. Antall av hovedgrupper av bunndyr i kildebekk fra kildefrembrudd, 200 m nedenfor (st 3), 400 m nedenfor (st 5) og i Skibotnelva i august 2002. Merk egen skala for fjærmygg.

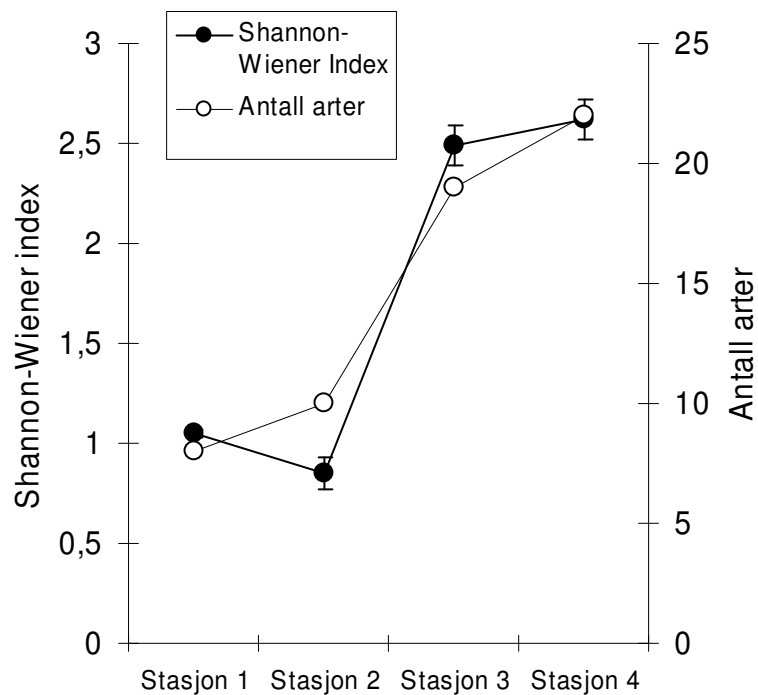


Fig. 6. Antall arter og Shannon-Wiener diversitetsindeks ($\pm 95\%$ K.I.) for ulike stasjoner i kildebekken (Stasjon 1-3) og i Skibotnelva (Stasjon 4).

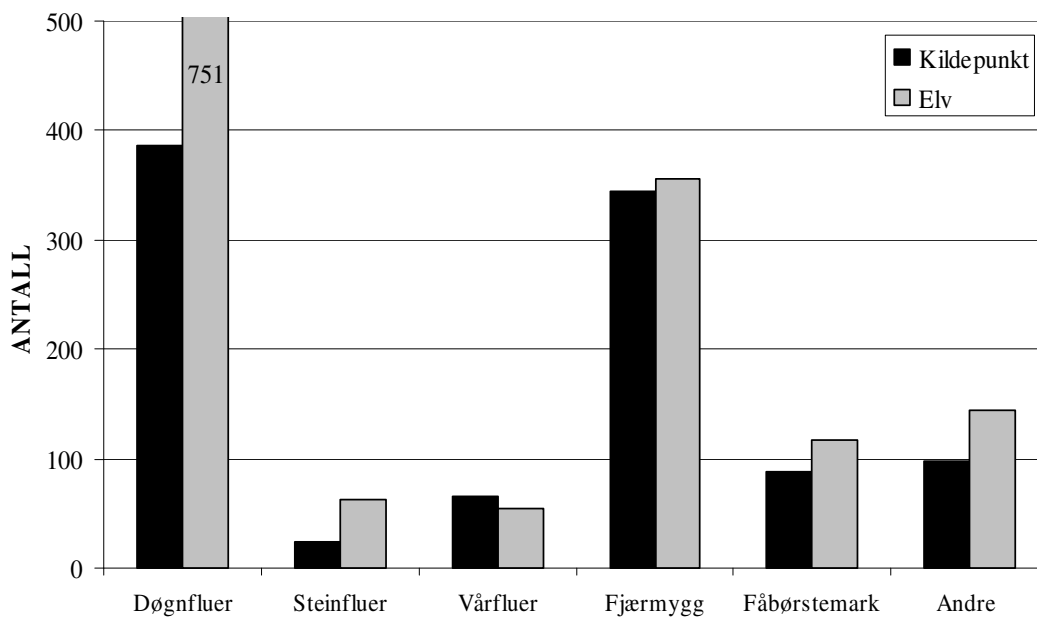


Fig. 7. Hovedgrupper av bunndyr i og like i nærheten av kildepunkt i selve Skibotnelva i august 2002.

Bunndyrsamfunnet øverst i kildebekken må karakteriseres som vesentlig forskjellig fra det i hovedelva. Først og fremst er det et enklere samfunn med færre grupper og arter, og med forhold som kan gi dominans av noen få grupper (Tabell 1 og Fig. 6). Det er vanskelig på grunnlag av det innsamlete materiale å angi en eventuell flerårig livssyklus for enkelte grupper på grunn av lav temperatur i kildebekkene, men dette kan ikke utelukkes (se Raddum m. medarb.2005).

I kildepunkter i selve elva var faunasammensetningen ikke vesentlig forskjellig fra den i selve hovedelva (Fig. 7). Antallet døgnfluer og steinfluer var høyere i selve elva der det ikke er kildepunkter, men artsammensetningen er den samme. Dette til tross for at temperaturen i kildepunktene i elva også var lavere enn i selve elva. Lik faunasammensetning skyldes trolig kolonisering av kildeområdene gjennom drift fra ikke kildepåvirkede områder i elva.

Fisk

I grunnvannsbekk ble det funnet total dominans av røye, som var tilstede med årsunger, 1+ og eldre rekrutter, Fig. 8 og Tabell 1. Total tetthet i kildebekk var 20 røye / 100 m². I hovedelva ved utløpsområdet til kildebekk ble det funnet total dominans av ørret, med 0+, 1+ og eldre tilstede med samlet tetthet på 23 fisk / 100 m².

Dette var hovedmønsteret for de bekkene der det var oppvandringsmulighet for fisk fra hovedelva. Det var her røye, vesentlig 0+ og 1+, tilstede i hele kildebekkens lengde fra hovedelva og opp til der bekken kom ut av løsmassene. Der det ikke var vandringsmulighet ble det ikke påvist fisk. Men røye ble også funnet i høye tettheter i hovedelva, og røye ble også funnet i sideelv som ikke var grunnvannspåvirket (Fig. 9). Ørret derimot ble bare funnet i rimelige tettheter i sidebekker som ikke var grunnvannspåvirket (Tabell 1). Mønsteret for hvordan ørret og røye fordeler seg i et vassdrag er derfor opplagt komplisert, men det står fast at røye er observert som nærmest eneste art i lavtemperatur kildebekker fra kildepunktet til utløpsområdet til hovedelva, sålenge det er oppvandringsmulighet fra hovedelva. Forekomst av 0+ angir at det foregår gyting av røye i kildebekkene.

Det bør nevnes at artssammensetningen i vassdraget er preget av nærmest fravær av laksunger pga. *Gyrodactylus salaris*. Vassdraget er behandlet med rotenon to ganger uten å lykkes med utryddelse av de aktuelle vertene, som her er laks og trolig også røye. Det ble i 2002 totalt sett bare funnet ytterst få 0+ laksunger i hovedelva. Hvorvidt den romlige fordelingen mellom ørret og røye hadde vært annerledes i nærvær av laks er vanskelig å vurdere.

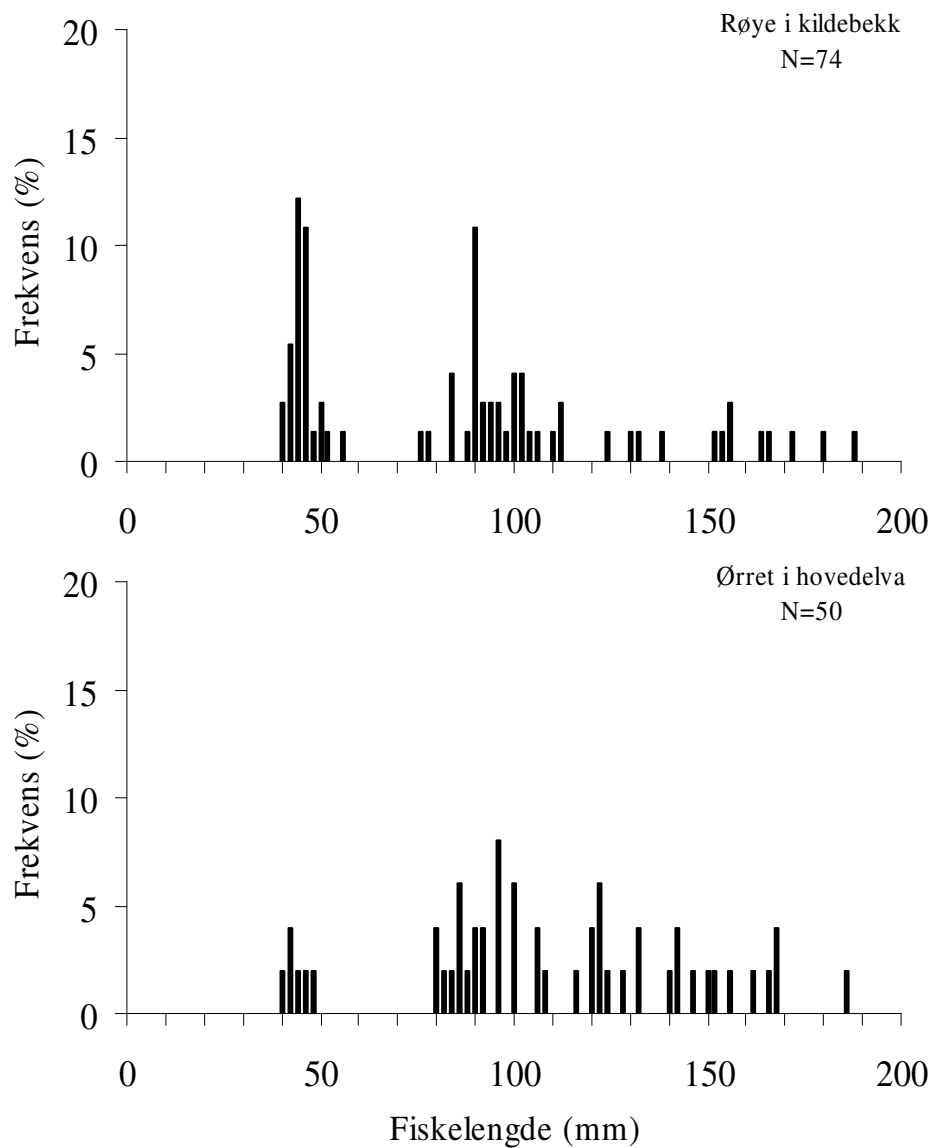


Fig. 8. Lengdefordeling av ørret i Skibotnelva og røye i kildebekk tatt ved elektrofiske i august 2002.

Tabell 1. Tetthet av fisk (antall / 100 m², $\pm$ 95% K.I.) i Skibotnelva og i kildebekker beregnet ved gjentatt fiske på oppmålt areal i august 2002 i kildebekk og i hovedelva (Skibotnelva).

	Kildebekk	Hovedelv
Røye	23 $\pm$ 9	< 2
Ørret	< 1	20 $\pm$ 5,2

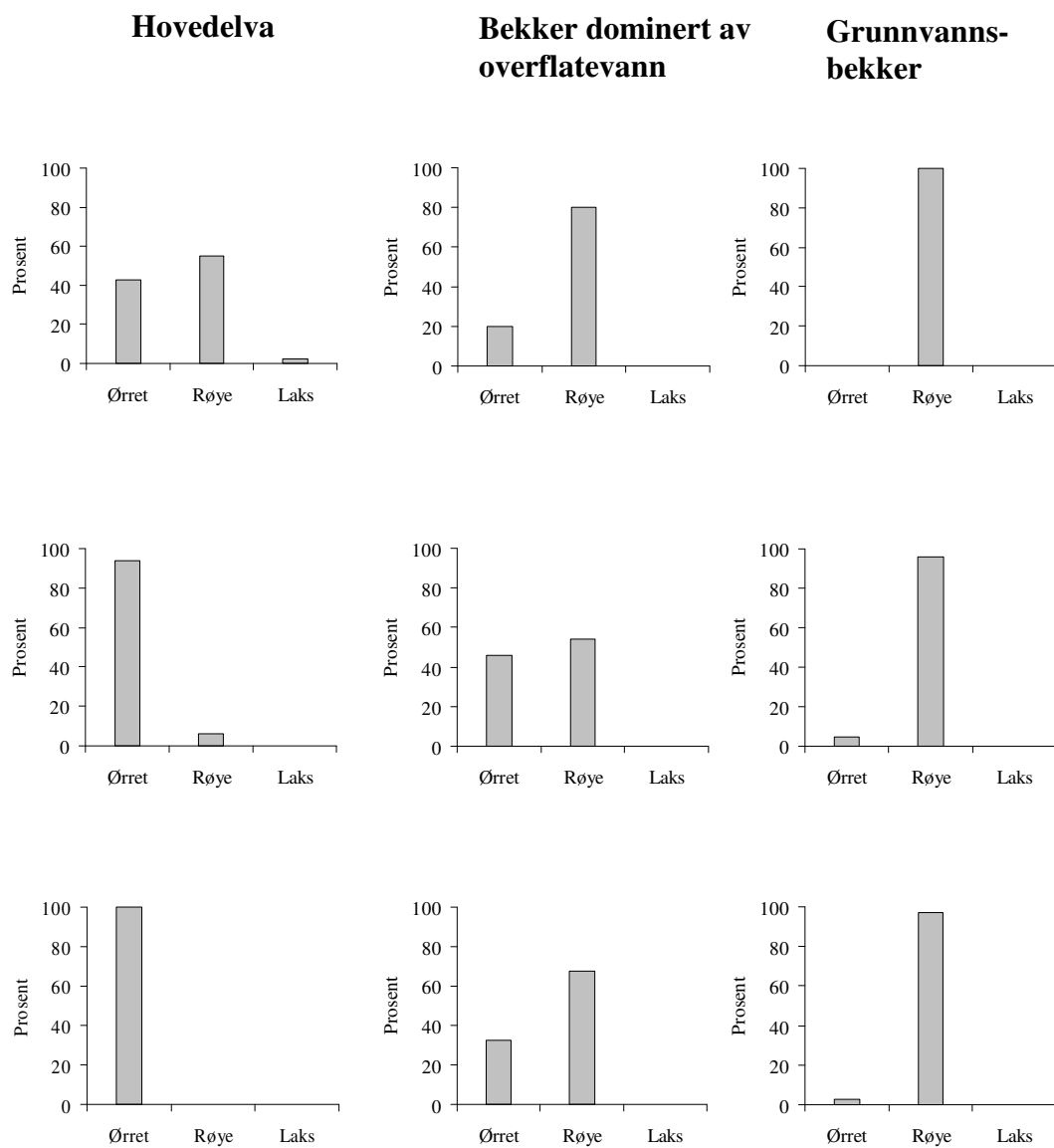


Fig. 9. Artssammensetning av fisk tatt under elektrofiske på tre lokaliteter i Skibotnelva, i tre sidebekker dominert av overflatevann og i tre kildebekker dominert av grunnvann i august 2002.

Vinstra

Kildeområder nedenfor Kamfoss

Olstappen er regulert med dam ved Kamfoss, og Vinstra elv nedenfor Kamfoss har ikke minstevannføring (Fig. 10). Elva var her opprinnelig rasktrennende, og elveløpet besto av grov rullestein der opprinnelige finere masser var vasket ut. Tilførselsbekker til hovedelva nedenfor Kamfoss kan følges ned dalsiden, men forsvinner i grunnen før de når hovedløpet når vannføringen er liten (Fig. 11). Den første permanente sideelva er Skåbyggja som kommer inn i hovedelva ca. 6 km nedenfor Kamfoss, og drenerer området noe vest for Tverrbygda.



Fig. 10. Vinstra elv ut av Olstappen har ikke minstevannføring, og øvre del av Vinstra har derfor ikke permanent vannføring mellom Kamfoss og kildeområde ca. 5 km nedenfor Olstappen. Flomoverløp over Kamfoss skjer svært sjelden og kun to dager i 2002 for perioden 2002-2004.

Vannmengden i grunnen (grunnvannstanden) i hovedelveløpet vil øke med avstanden fra Kamfoss, og etter hvert komme tilsyne i elveløpet. Ved stor lokal avrenning vil "elva" komme tilsyne nærmere Kamfoss enn når avrenningen er liten (Fig. 12). Etter mye nedbør i september 2003 kom elva til syne ca. 300 m nedenfor Kamfoss, mens den i 2002 og 2004 etter lang periode uten nedbør først ble synlig ca. 5 km nedenfor Kamfoss i et område med mange kilder i både elvebredden og i selve elvebunnen.

Dette anses som et permanent kildeområde, og elva anses permanent herfra og nedover, og temporær herfra og opp til Kamfoss. Området egner seg derfor godt for å illustrere virkning av grunnvann på fisk og bunndyr, og på drift og kolonisering av bunndyr fra sidebekker.

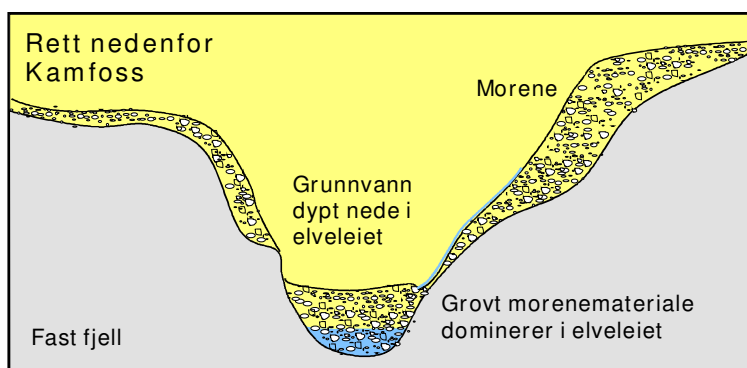


Fig. 11. Vinstra elv de første km nedenfor Kamfoss har grov rullestein i tørt elveleie med grunnvannstand nede i bunnsubstratet. Sidebekker i dette området forsvinner vanligvis ned i grunnen før de når fram til elveleiet. Bekker som når fram til hovedløpet forsvinner gradvis ned i grunnen.

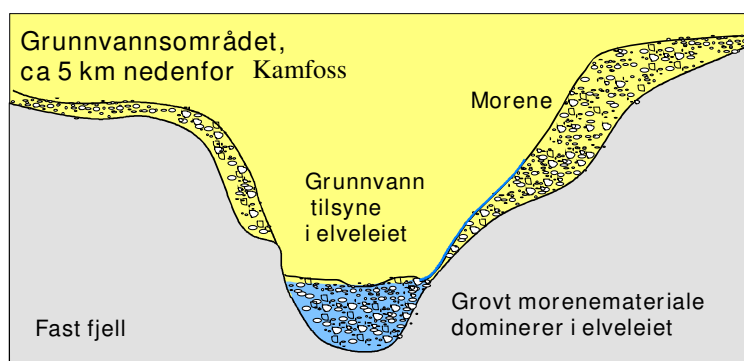


Fig. 12. I Vinstra elv ca 5 km nedenfor Kamfoss er grunnvannstanden høyere og derved over bunnsubstratet. Elva anses med permanent vannspeil i dagen fra dette området og nedover.

Temperatur

Vanntemperatur i kildeområdet viste til dels lave temperaturer, med høyere temperatur både ovenfor og nedenfor dette området. Dette var spesielt framtrødende i 2002 og 2004, da målingene ble gjennomført i perioder med lite nedbør forut for målingene. For perioden 5.8-9.9.2004 er dette vist for 4 stasjoner i Fig. 13. Den øverste stasjon 1 er en dam i elveleiet. Denne hadde lave temperaturer og tydeligvis grunnvannspåvirket, men hadde også typisk døgnvariasjon. Stasjon 2 lå i kildeområdet som gir opphav til permanent elv. Målingene på denne stasjonen viste stabile temperaturer mellom ca 5 og 7 °C i perioden 13.8.-20.8.2004 uten typisk døgnvariasjon, mens alle de øvrige stasjonene viste høyere temperatur, og også typisk døgnvariasjon for hele måleperioden. Stasjon 3 lå også i kildeområdet, ca 200 m nedenfor der permanent elv

startet, mens stasjon 4 lå ca 3 km nedenfor startpunkt for permanent elv, og var påvirket både av grunnvann i hovedelva og av permanente sidebekker preget av overflatevann. Stasjon 4 hadde den høyeste vanntemperaturen og den mest utpregete døgnvariasjonen. De forskjellene i temperaturforløp som er observert mellom målepunktene i vassdraget skjer i måleperioden fram til 20. august 2004, og spesielt stasjon 2 utmerker seg fram til 20. august.

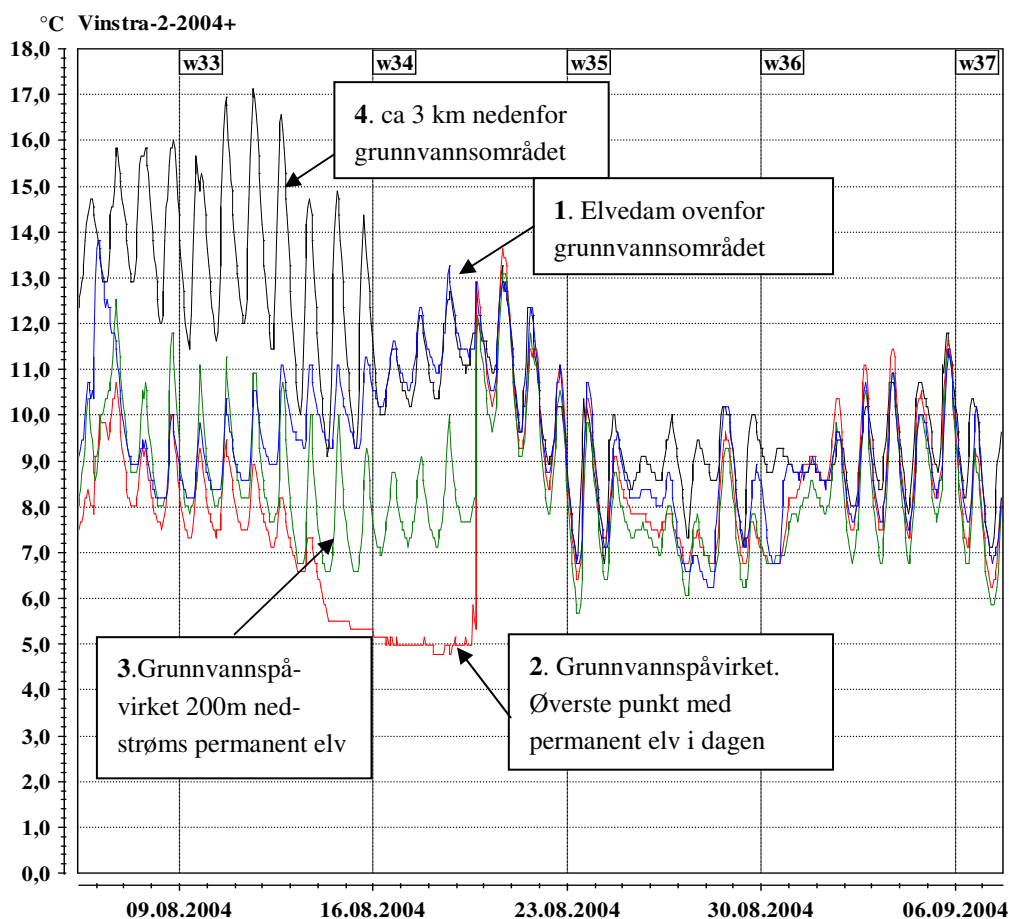


Fig.13. Vanntemperatur i kildeområde i Vinstra elv målt hver time på 4 stasjoner nedenfor Kamfoss i perioden 6. august- 6. september 2004.

I Fig. 13 framgår det at samtlige målepunkter får et tilnærmet identisk temperaturforløp fra 20. august og ut hele måleperioden fram til 9. september 2004. I Fig. 14 er perioden 15.-23. august 2004 vist sammen med nedbør og lufttemperatur for værstasjon 13670 Skåbu-Storslåen. Det er tydelig at den tørre perioden forut for 17. aug. gir lite overflateavrenning, og at grunnvannet derved både får økt relativ betydning og at interfaseen grunnvann – overflatevann heves over substratet. Dette er illustrert i Fig. 15. Fra 20. august er samtlige stasjoner på den temporære elvestrekningen, i kildeområdet og området nedenfor tilnærmet like. Dette settes sammen med nedbør som startet 18. august. I dette tilfellet var det en periode på ca 14 dager uten nedbør som ga de observerte forskjellene i vanntemperatur, og som endret vannføringen fra å være dominert av grunnvann til å bli dominert av overflatevann.

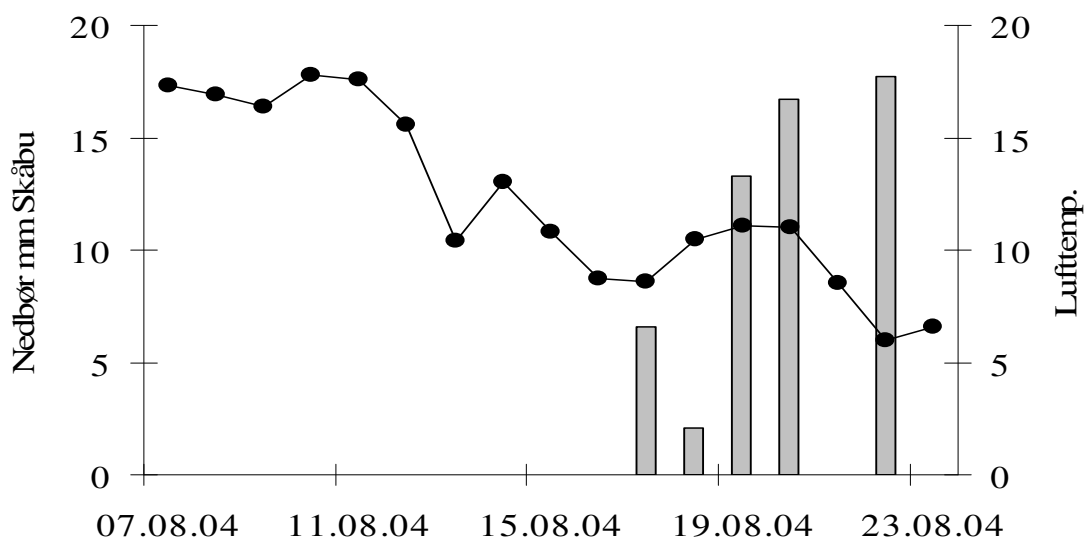
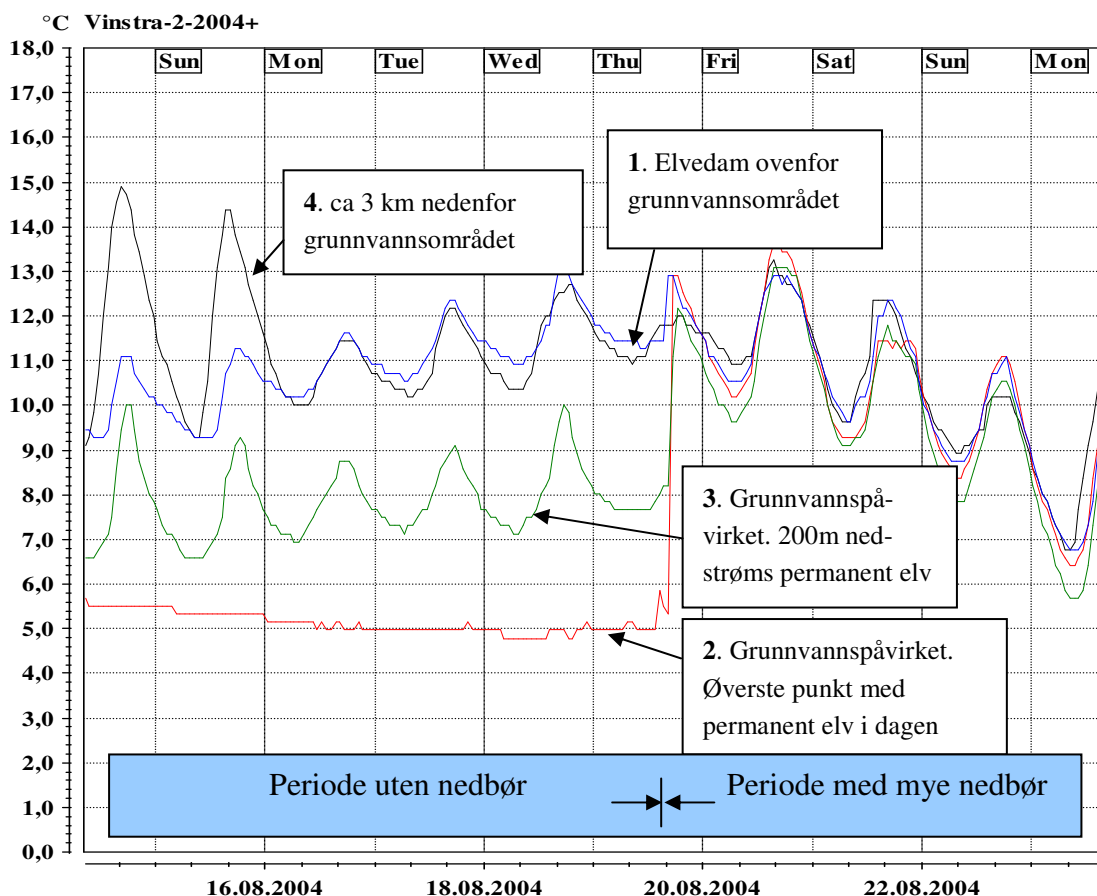


Fig. 14. Over: Vanntemperatur i kildeområde i Vinstra elv målt hver time på 4 stasjoner nedenfor Kamfoss i perioden 15.-23. august 2004. Under: Nedbør (mm og lufttemperatur (°C) fra værstasjon 13670 Skåbu-Storslåen for perioden 7.-23. august 2004.

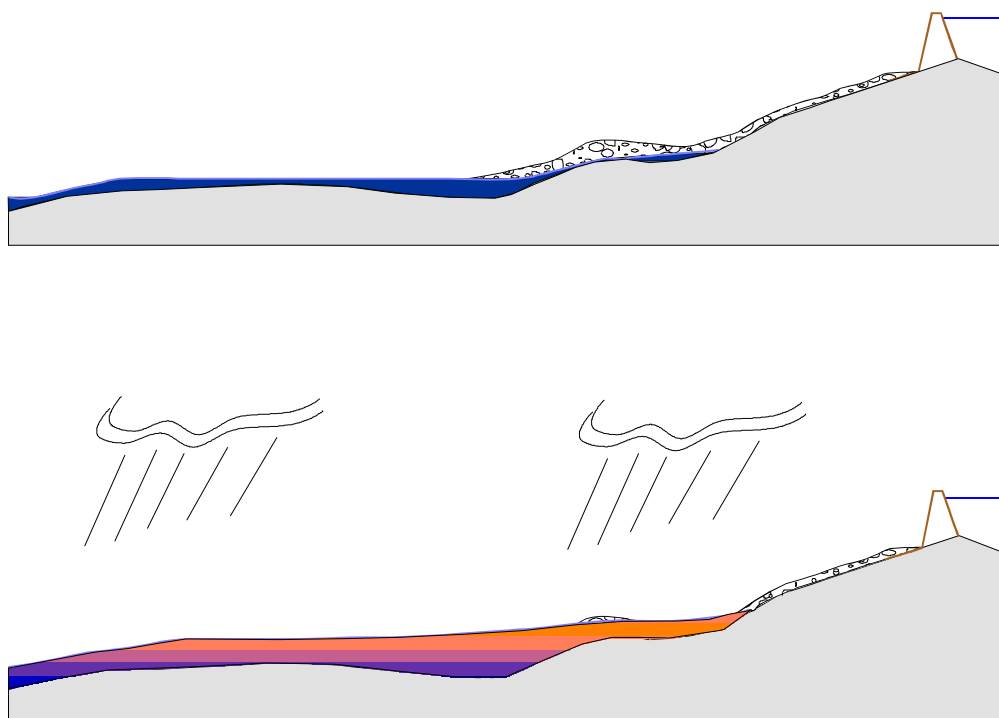


Fig. 15. Prinsippskisse over Vinstra elv nedenfor Kamfoss. Over: I tørre perioder er hovedløpet tørt i øvre del, med kaldt grunnvann som dominerende vannføring fra ca. 5 km nedenfor Kamfoss. Under: I perioder med nedbør dominerer overflateavrenningen med høyere temperatur.

Bunndyr

I september 2003 ble det gjennomført bunndyrinnsamling på tre stasjoner på den temporære elvestrekningen og tilsvarende på tre stasjoner på den permanente.

Fordelingen av bunndyr viste ytterst få individer av typiske hovedgrupper som døgnfluer, steinfluer, vårfluer og fjærmygg på den temporære elvestrekningen, st. 1-3, høsten 2003, mens antallet individer økte dramatisk på st. 4-6 der vannføringen anses som permanent (Fig. 16 og 17). Elvestrekningen på st. 1-3 hadde ikke fast vannføring, og prøvetaking ble foretatt i mindre dammer, mer eller mindre stillestående. De ytterst få individene av steinflue-, døgnflue- og vårfluelarver som ble funnet på denne strekningen var små individer, og kommer sannsynligvis enten gjennom drift fra mindre sidebekker, eller fra hyporheisk sone som kan fungere som et refugium for små individer. Antall hovedgrupper økte fra 4-6 i øvre del til 9-13 lengre ned.

Høsten 2004 ble det samme hovedmønsteret observert, men det var betydelige større individtetthet tilstede på den temporære elvestrekningen, st. 1-3 (Fig. 18).

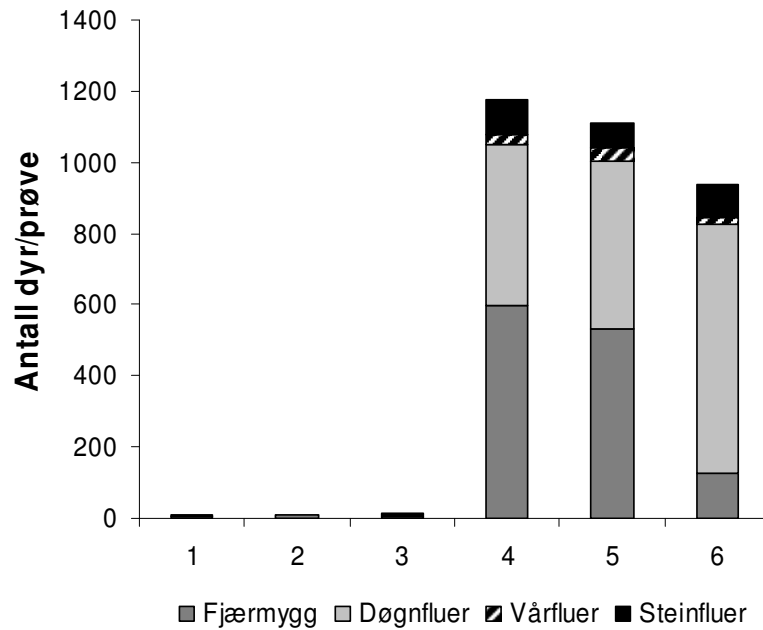


Fig.16. Antall individer pr. bunnprøve av 4 hovedgrupper av bunndyr i Vinstra elv nedenfor Kamfoss i september 2003, st. 1-3 der elva er temporær (men med vannføring ved prøvetaking), st. 4-5 i kildeområdet og st. 6 nedenfor dette.

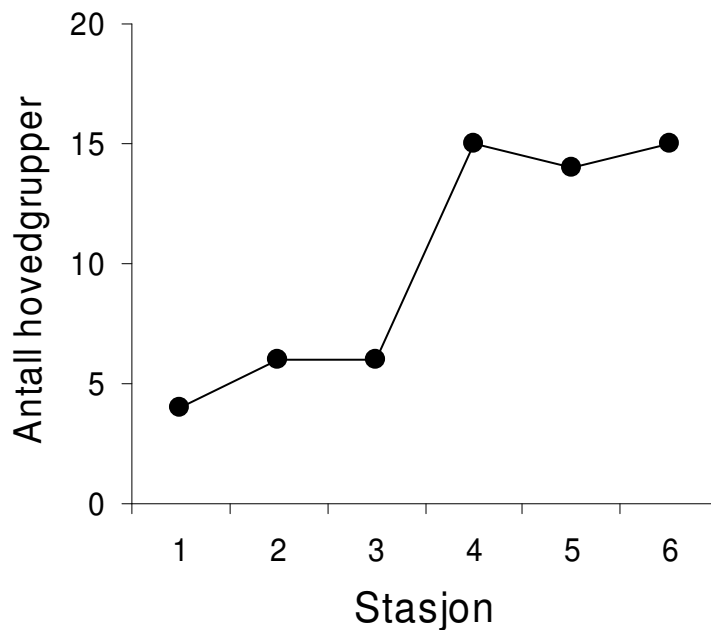


Fig. 17. Antall hovedgrupper observert i Vinstra elv nedenfor Kamfoss i september 2003, st. 1-3 der elva er temporær, st. 4-5 i kildeområdet og st. 6 nedenfor dette.

Det ble dessuten tatt prøver i en sidebekk (st. 0) som renner inn i hovedelva ovenfor st. 1. Denne sidebekken var dominert av sand med lite stabilt bunnsstrat, noe som ga et forholdsvis lavt individantall av bunndyr.

Denne og flere andre sidebekker bidrar imidlertid med vann til den hyporheiske sonen, selv i de periodene elveleiet er tørt. Det er ikke kjent hvilken kommunikasjon det er mellom det periodevise overflatevannet og den hyporheiske sonen på den temporære elvestrekningen i Vinstra elv. Ved mye nedbør og derved rimelig vannføring på den temporære elvestrekningen kan bunndyr som ellers holder til i hyporheisk sone kunne komme opp og bli registrert som bunndyr på substrat-overflaten. Dette vil kunne gjelde for st. 1,2 og 3 i september 2004 (Fig. 18). Forekomst av bunndyr på den temporære elvestrekningen vil derfor forventes å variere mye, og avhenge av om det er direkte kommunikasjon mellom overflatevann og grunnvann.

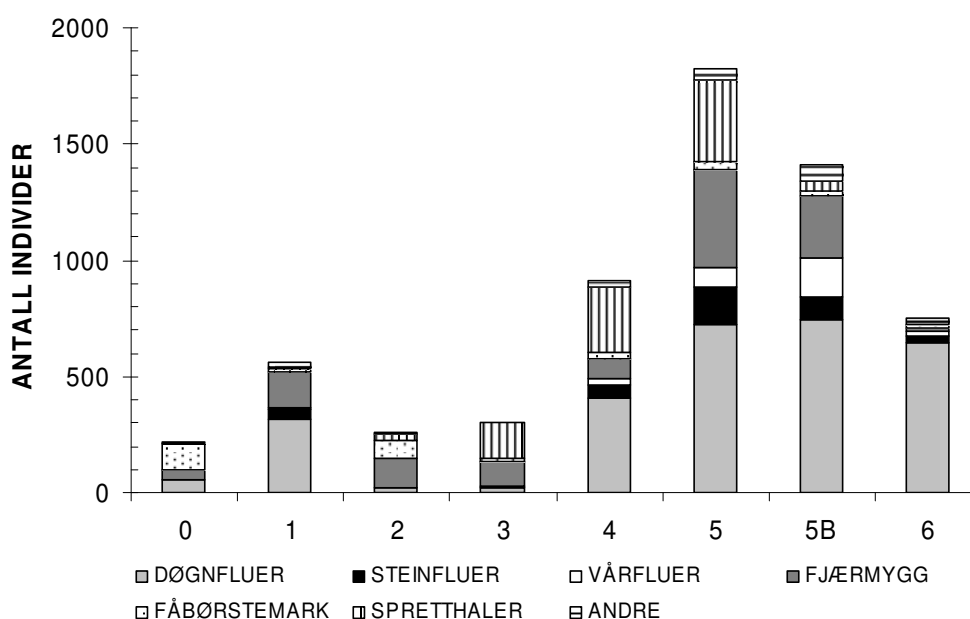


Fig. 18. Antall individer pr. bunnprøve av 6 hovedgrupper av bunndyr i Vinstra elv nedenfor Kamfoss i september 2004, st.0: sidebekk, st. 1-3: temporær elvestrekning ovenfor kildeområdet. St. 4-5 der elva er temporær, st. 4, 5 og 5B i kildeområdet og st. 6 nedenfor dette.

Tettheten av bunndyr økte betydelig fra st. 4 og nedover, spesielt nedre del i området dominert av grunnvann, st. 5 og 5B. Antall arter og Shannon-Wiener indeksen følger det samme mønster (Fig. 19), der temporær strekning på st. 2 og 3 har lav diversitet og lavt artantall. Dette økte nærmest momentant på permanent elvestrekning, der det kun er ca 100 m mellom st. 3 og st. 4. På st. 6, dvs. nedenfor grunnvannsområdet var det totale individantallet og diversitetsindeksen lavere, selv om antall arter her var like høyt som på st. 5 og 5B. Det kan derfor indikere at diversiteten er høyere i grunnvannsområdet sammenliknet med området både ovenfor (temporært vannspeil) og nedenfor (vannspeilet permanent).

Det er viktig å merke seg at det på tross av små tettheter, så er det høy indeksverdi og mange arter tilstede på st. 1. Det er sannsynlig at dette enten skyldes drift fra

overforliggende sidebekk (st. 0) eller at det i tiden forut har vært mulig for bunndyr å bevege seg fra hyporheisk sone og opp til substratoverflaten.

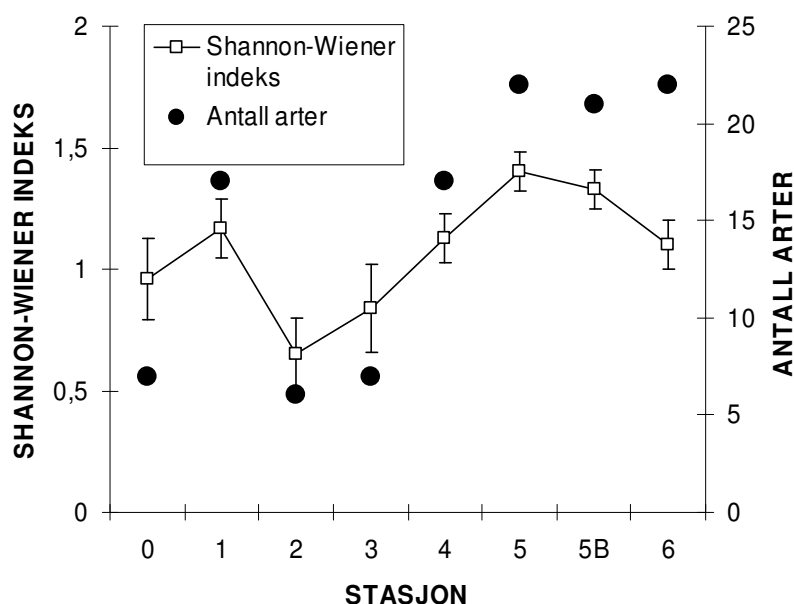


Fig. 19. Shannon-Wiener indeks (H') og antall arter i av bunndyr i Vinstra elv nedenfor Kamfoss i september 2004, st.0: sidebekk, st. 1-3: temporær elvestrekning ovenfor kildeområdet. St. 4-5 der elva er temporær, st. 4, 5 og 5B i kildeområdet og st. 6 nedenfor dette.

Et spesielt trekk ved evertebratfaunaen både på den temporære delen og i kildeområdet var forekomsten av spretthaler. Disse var til stede i svært høyt antall i kildeområdet både i 2003 og 2004. De har en adferd som gjør prøvetaking vanskelig. Det var imidlertid så høyt antall som kom med i prøvene at tettheten på vannoverflaten må ha vært svært stor.

Fisk

I området nedenfor Kamfoss ble det bare påvist fisk i kildeområdet og nedenfor dette. Det ble ikke påvist fisk i hovedelva ovenfor kildeområdet i de perioder det gikk vann her (september 2003, september 2004). Det er ikke noe som tyder på at fisk vandrer fra området med permanent elv for periodevis å kolonisere ovenforliggende områder. I kildeområdet ble det påvist ørret i en grunnvannspåvirket dam i elveleiet ca. 100 m ovenfor hovedkildeområdet.

Det ble observert ørret fra kildeområdet og nedover. I september 2002 og august 2004 (tørre perioder) kom elva fram i dagen i samme området og fra tørt elveleie til en bekk/elv i elveleiet innenfor en strekning på 3-5 m. Fisk ble påvist fra dette punktet og nedover. Det ble påvist ørret og ørekyt.

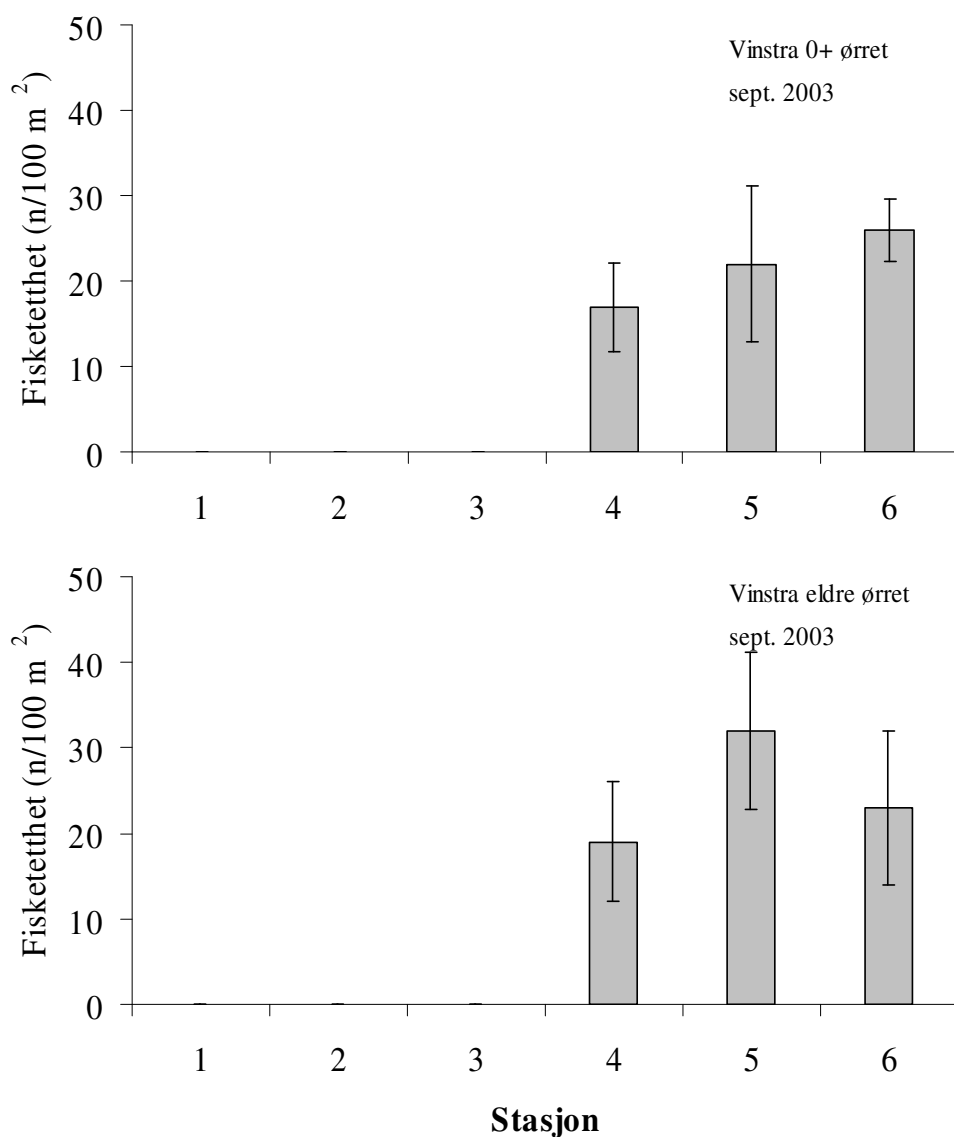


Fig. 20. Tetthet (antall / m² $\pm$ 95% K.I.) av årsunger av ørret og eldre ørret i Vinstra nedenfor Kamfoss på tre stasjoner med periodevis vannføring (st. 1-3) og på tre stasjoner med permanent vannføring i kildeområdet (st. 4-6) i sept. 2003.

Det ble observert gyting i det permanente frambruddsområdet for kildene høsten 2002. Det ble påvist årsunger av ørret høsten 2003 fra og med kildeområdet og nedover på alle 3 stasjoner i tetthet som varierte fra 17 til 26 ind. 0+/100 m² (Fig. 20). Tettheten av ørret som var eldre enn årsunger ble funnet i tettheter fra 19 til 32 ind./100 m². Det var ikke signifikante forskjeller mellom stasjonene, verken for årsunger eller eldre ørretunger.

Høsten 2004 ble årsunger av ørret ikke påvist på noen av stasjonene, mens tettheten av ørretunger eldre enn årsunger i kildeområdet og nedover ble beregnet til 8,4-9,2 ind./100 m² (Fig. 21). Det var ikke signifikante forskjeller mellom stasjonene 4-6.

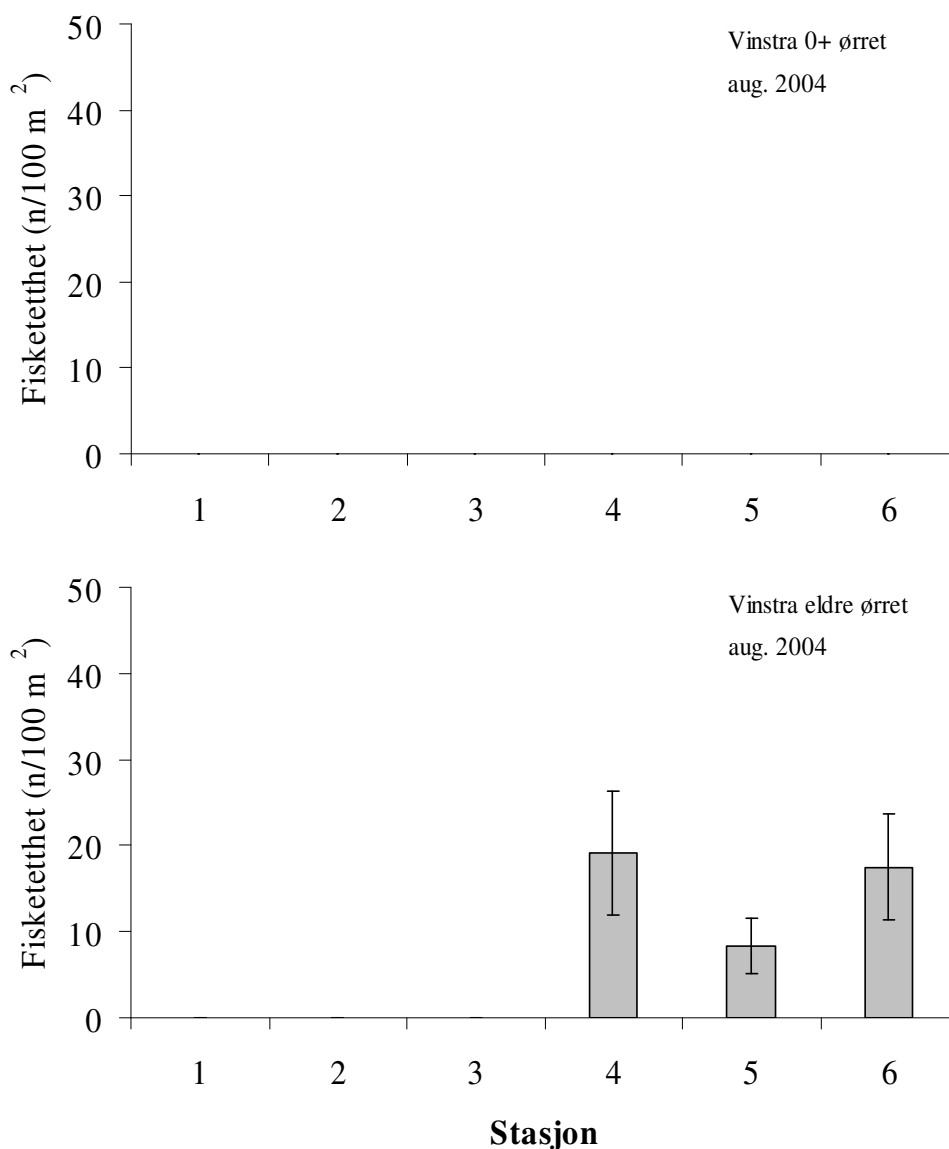


Fig. 21. Tetthet (antall / m² ± 95% K.I.) av årsunger av ørret og eldre ørret i Vinstra nedenfor Kamfoss på tre stasjoner med periodevis vannføring (st. 1-3) og på tre stasjoner med permanent vannføring i kildeområdet (st. 4-6) i aug. 2004. 0+ ørret ble ikke påvist høsten 2004.

Aldersfordelingen av materialet fra både 2003 og 2004 viste nærmest fravær av eldre fisk, og ørret som var eldre enn 1 vinter (to sommersesonger) utgjorde bare en svært liten del av totalbestanden (Fig. 22). I 2003 var eldste årsklasse av ørret 3 år (4 sommersesonger), og 2 år gammel fisk ble ikke påvist. I 2004 ble ikke årsunger påvist, og det var dominans av 1 år gammel fisk. Det ble ikke funnet gytemodne hunner i 2003, mens det i 2004 ble påvist gytemoden hunnfisk med alder 3 og 4 år.

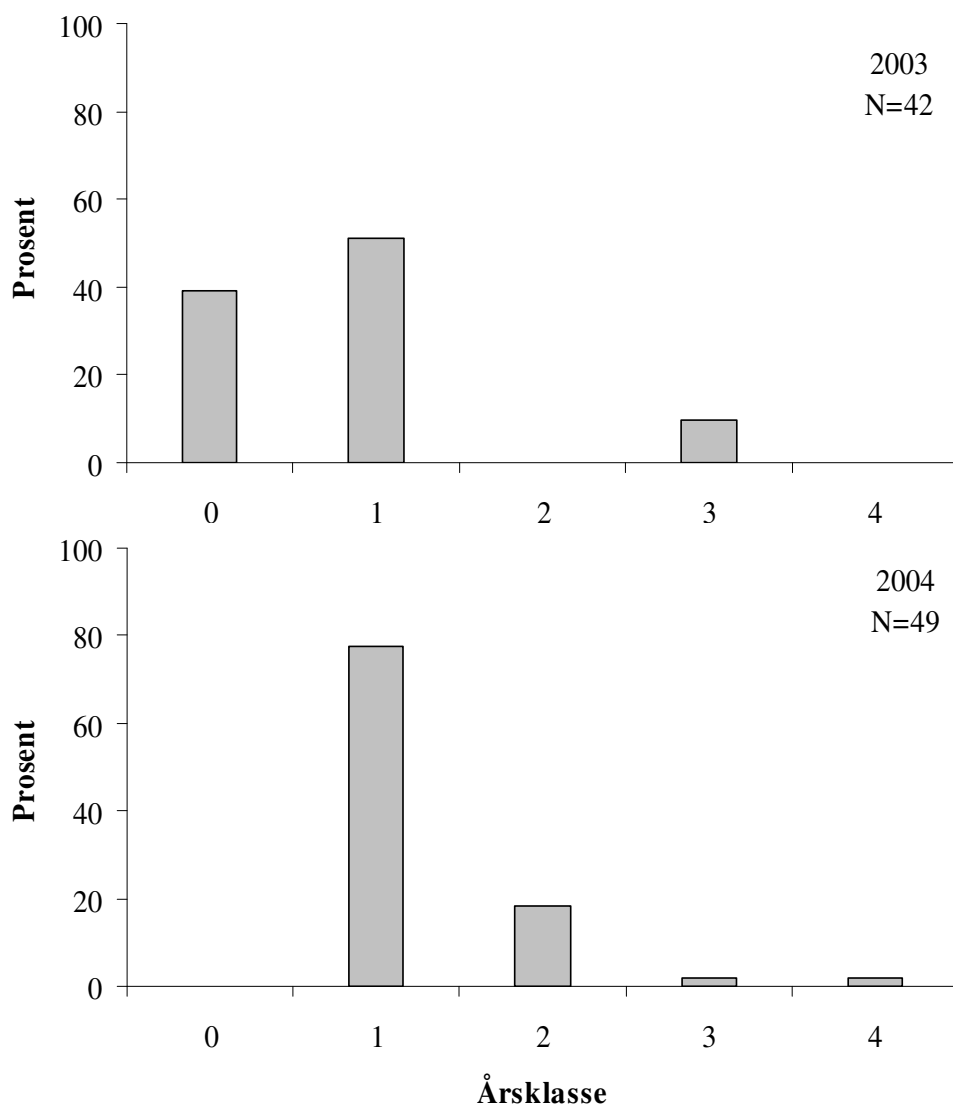


Fig. 22. Aldersfordeling (vintersoner) av ørret tatt under elektrofiske i kildeområdet med permanent vannføring i Vinstra nedenfor Kamfoss høsten 2003 og 2004.

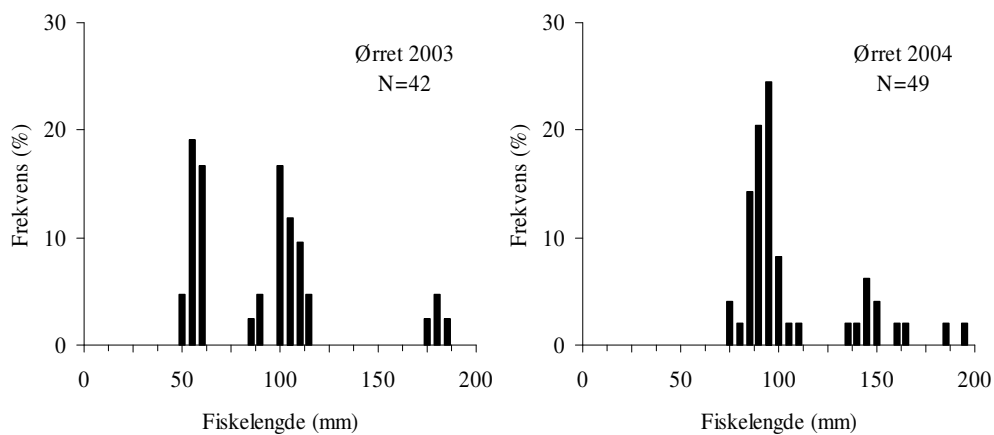


Fig. 23. Lengdefordeling av ørret i kildeområdet i Vinstra nedenfor Kamfoss i 2003 og 2004.

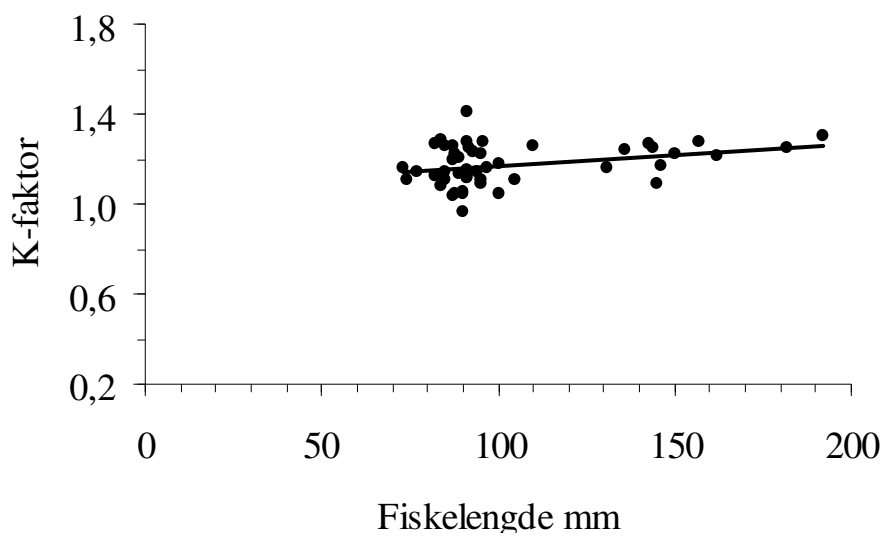


Fig. 24. Kondisjon for ørret tatt i kildeområdet i Vinstra elv nedenfor Kamfoss høsten 2004.

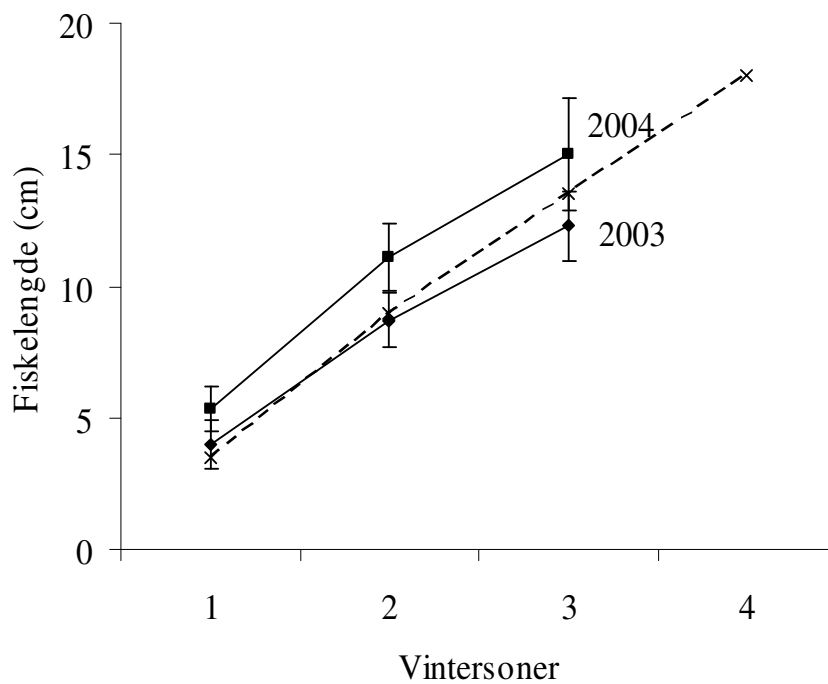


Fig. 25. Tilbakeberegnet vekt ($\pm SD$) for ørret fanget i kildeområdet i Vinstra elv nedenfor Kamfoss høsten 2003 og 2004. Stiplet linje viser vekst for et eldre individ fanget 2004.

	2004	2003
	L 1 hos 1+	L 1 hos 1+
Lengde	5,2	5,3
SD	0,70	0,84
n	37	21

Tabell 2. Tilbakeberegnet lengde (mm) etter en vekstsesong (L 1) for fisk som har alder 1+ i 2003 og 2004. Det er ikke signifikante forskjeller mellom de to årene.

Gytemodne hanner var 2 år eller eldre, og ble påvist både i 2003 og 2004. Sammen med lengdefordelingen (Fig. 23) viser dette at bestanden i all hovedsak besto av 0+ og 1+ med lengde 5-12 cm, og med få gytefisk tilstede. Aldersfordelingen og fravær av eldre fisk viser at det enten er stor dødelighet (predasjon fra mink) eller at det skjer betydelig utvandring fra området, noe som her betyr vandring nedover vassdraget.

Tilbakeberegnet vekstforløp viste at ørret i dette området gjennomgående hadde god vekst (Fig. 24), og at kondisjonen var meget god (Fig. 25). Det var imidlertid betydelig bedre tilbakeberegnet vekst i materialet fra 2004 sammenliknet med 2003. Fravær av ny årsklasse i 2004 vil gi mindre næringskonkurranse, men dette kan ikke forklare forskjellene i dette tilfelle, fordi forskjellene allerede er etablert etter første sommer.

Det var imidlertid tydelig at de få eldre individene som var i bestanden i 2004 hadde hatt et betydelig dårligere vekstforløp enn yngre fisk. Det var ingen signifikant forskjell i lengde etter første leveår (L 1) for fisk som i 2003 og 2004 var fanget som 1+ (to vekstsesonger). Dette sammen med aldersfordelingen viste størrelsesavhengig dødelighet eller nedvandring.

På alle stasjoner fra kildeområdet og nedover ble det påvist ørekyt i 2003 i tetthet mellom 5,6-8,3 ind./100 m² (Fig. 26). Det ble ikke påvist ørekyt i 2004. Tettheten i 2004 var lav sammenliknet med tettheten av ørret, noe som tilskrives habitatforhold; strømhastighet, substrat og lav temperatur. Dette kan imidlertid ikke forklare at ørekyt ikke ble påvist i 2004.

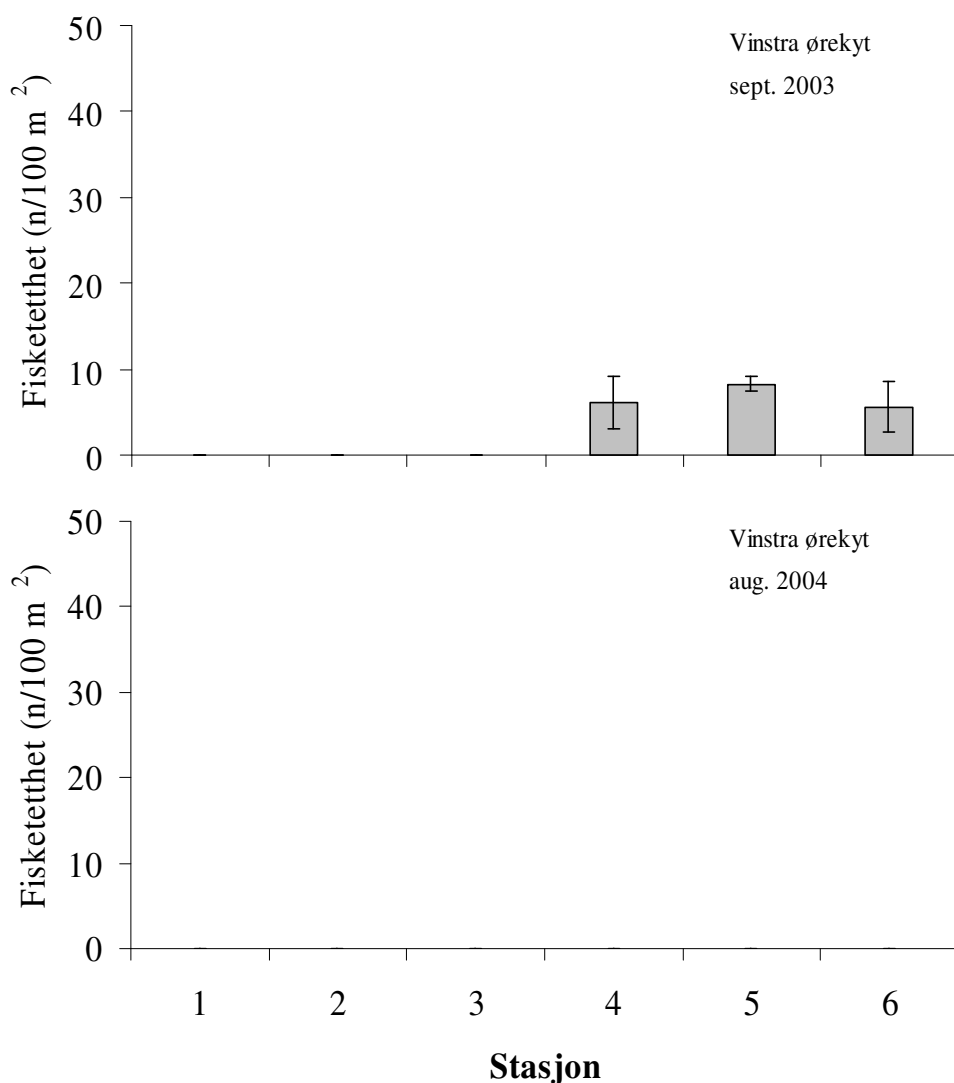


Fig. 26. Tetthet (antall / m² $\pm$ 95% K.I.) av ørekyt i Vinstra nedenfor Kamfoss på tre stasjoner med periodevis vannføring (st. 1-3) og på tre stasjoner med permanent vannføring i kildeområdet (st. 4-6) høsten 2003 og 2004.

Rauma

Kildeområder ved Alnes

På vestsiden av hovedelva og nord for Medalen ligger flere grunne innsjøer mellom hovedelva og den bratte dalsida (Fig. 27). Disse innsjøene (A, B og C) ligger i fine løsmasser på elvesletta, men mates av mange kilder som kommer fram i overgangen mellom den steile fjellsiden og de finkornete massene som er avsatt av hovedelva. Kildene er synlige i dagen i et belte fra elvesletta og 10-40 m opp fra elvesletta, og ble dokumentert mer eller mindre kontinuerlig i hele innsjø B's lengde. Rasmaterialet

er delvis utformet som vifter, nærmere elvesletta skogkledd og med mer eller mindre tykt jordsmonn. Vannmengden som strømmer ut her er stor, at det snakkes om kilder som er matet fra et lite vann høyt oppe på platået (1100 m høyde). Det rapporteres lokalt om synlige tegn av vann som forsvinner med virvler. Vannet hadde en temperatur mellom 4,5 og 6,0 °C både i 2002 og 2003 (høst), noe som tilsvarer grunnvannstemperaturer i området.

Det ble foretatt enkle målinger av grunnvannsfluks i innsjø B med See-pagemeter (Lee 1977). Utover overflateinnstrømming av grunnvann til innsjø B som vist i Fig. 28, ble det bare målt små mengder vann som kom opp gjennom bunnen. Dette gjaldt bare i den delen av innsjøen som lå nær dalsiden. I den delen av innsjøen som lå nærmere hovedelva var det tap av vann fra innsjøen og ned i bunnen. Vi tolker dette som en bekreftelse på at vann presses opp gjennom bunnen nær kildene og at det er en vannstrøm ned gjennom bunnen nær hovedelva, fordi innsjøen ligger noe høyere enn elva. Det vannet som tapes gjennom bunnen må munne ut i hovedelva som diffust sig gjennom elvebredd og elvebunn. Uansett dreier det seg om små vannmengder, men det illustrerer hvordan grunnvannsstrømmen går, avhengig av trykk og høydeforskjell.

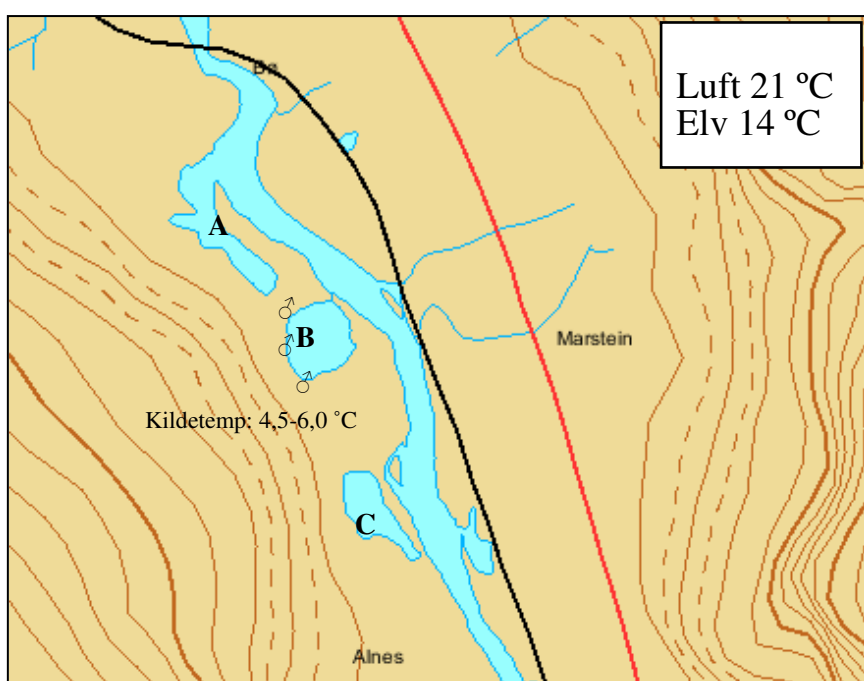


Fig. 27. Grunnvannsområde ved Alnes: Grunnvannsmatete dammer/innsjøer på elvesletta med utløp videre til Rauma.



Fig. 28. Grunnvannsområde 3, Rauma. Ved Alnes finnes flere innsjøer som mates fra et omfattende kildeområde som kommer ut i dagen i overgang mellom dalside og elveslette (bildet over). Bilde til høyre viser innsjø B.

Bunndyr

Det ble funnet et bunndyrsamfunn i selve grunnvannskilden som hadde færre arter enn det funnet i Rauma elv på tilsvarende substrat, selv om alle hovedgruppene steinfluer, vårfluer, døgnfluer og fjærmygg ble funnet både i kildene og i Rauma elv (Fig. 29 og vedlegg 2). Av døgnfluer ble det ikke funnet noen i kildene, mens det ble funnet fire arter i Rauma, med dominans av *Baëtis rhodani*. Av vårfluer ble det funnet to arter i kildene og fire i Rauma. Det var en steinflueart i kilden (*Nemoura cinerea*) og seks i Rauma elv. Hovedmønsteret var liten overlapping i arter mellom kildene og Rauma elv. For fjærmyggartene ble dette mønsteret også observert, der fire arter som ble funnet i kildene ikke ble registrert i Rauma elv, mens fem andre arter ble funnet i Rauma ikke ble funnet i kildene. Tre arter ble funnet både i kildene og i Rauma. Totalt ble det funnet 24 arter/grupper i Rauma elv og henholdsvis syv og ni i kildene.

Shannon-Wiener indeksen viser et signifikant mindre diversit bunndyrsamfunn i selve kildene sammenliknet med Rauma elv på tilsvarende substrat (Fig. 30).

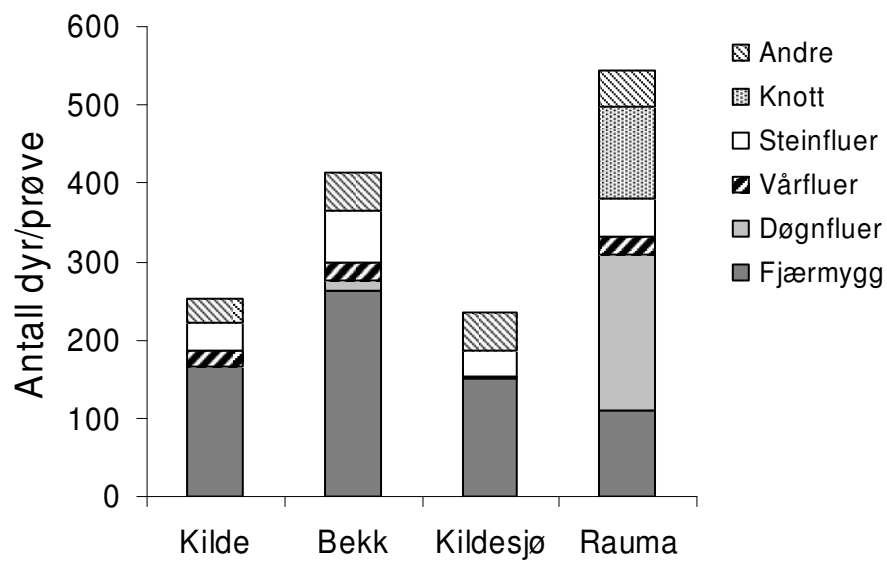


Fig. 29. Hovedgrupper av bunndyr i 2 kilder (frembruddet), i 2 kildebekker nedstrøms kilden (ca 20 m), i nedenforliggende grunnvannspreget innsjø og i Rauma elv.

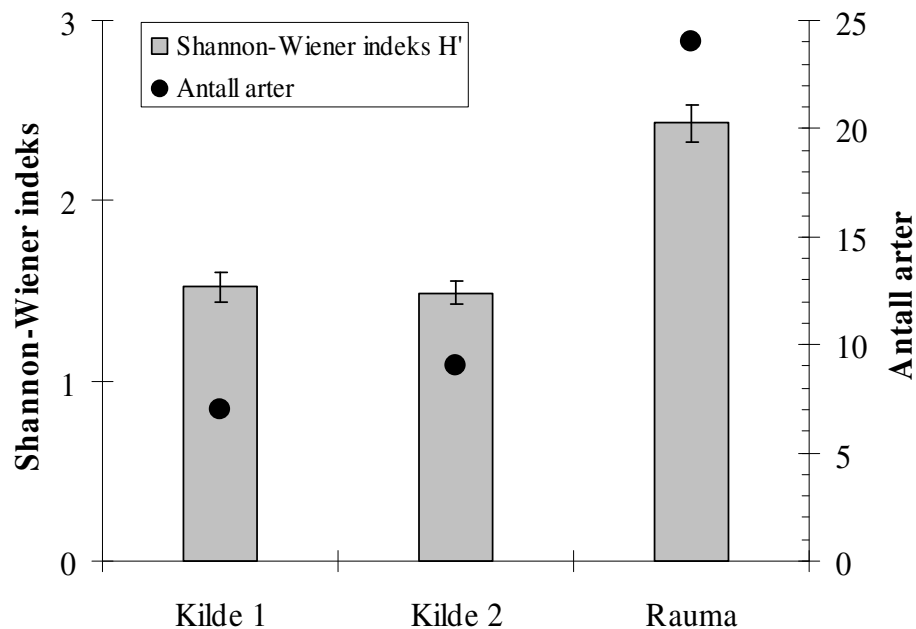


Fig. 30. Shannon-Wiener indeks (H') og antall arter i 2 kilder og i Rauma elv, basert på arter fra hovedgruppene steinfluer, vårfluer, døgnfluer, fjærmygg, biller, fåbørstemark, småstankelbein og dansefluer. Se også Vedlegg 2.

Fisk

Det ble observert fisk (ørret og stingsild) i grunnvannssjøene, og ørret i kildefrembruddene, dvs. i rennende vann mellom innsjø B og der kildene forsvinner i ura. Dette er også dokumentert av Fylkesmannens miljøvernavdeling, Møre og Romsdal (Sættem pers. med.). Det er ikke dokumentert laksunger i disse kildene, men dette kan på ingen måte utelukkes dersom vassdraget ikke hadde hatt en laksebestand infisert med *Gyrodactylus salaris*. Bunnsubstratet i kildebekkene besto av grov stein og grus, vannet er rasktstrømmende, og det er ingen vandringshindere mellom hovedelva og flere av grunnvannsinnsjøene.

Det ble foretatt tetthetsberegning av fisk på oppmålt areal og innsamling av bunndyr i 4 grunnvannsbekker, i nedenforliggende grunnvannsjø, og for bunndyr også i utenforliggende hovedelv. I alle kildebekkene ble det funnet høye tettheter av årsunger av ørret og av rekrutter eldre enn årsunger (Fig. 31).

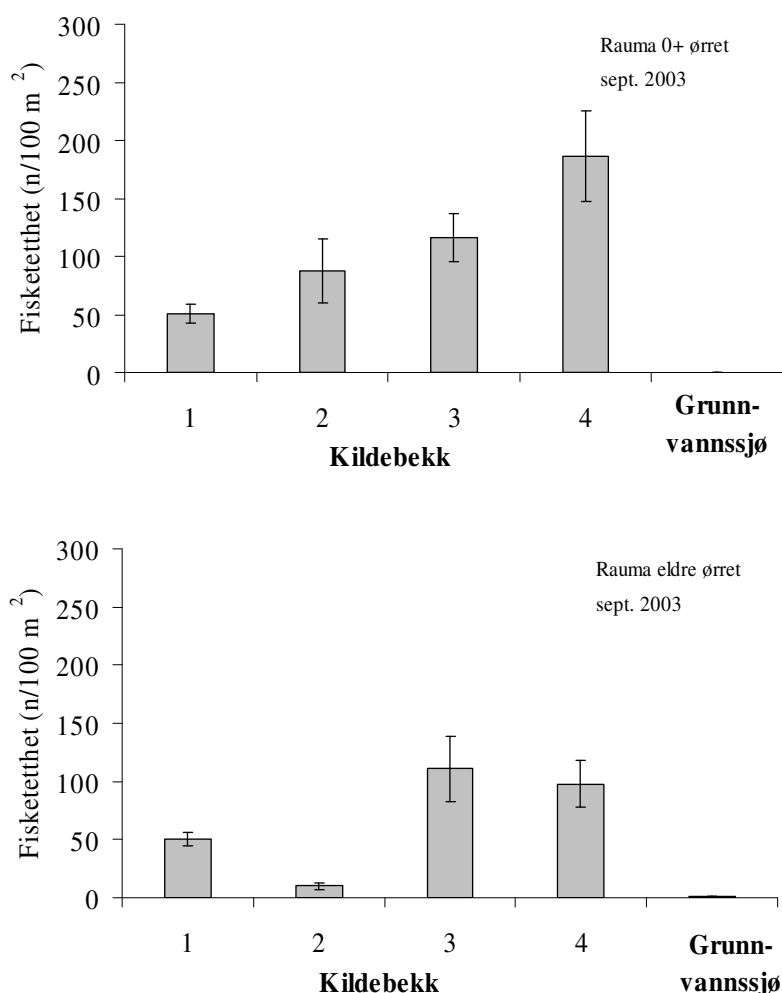


Fig. 31. Tetthet (antall / m² ± 95% K.I.) av årsunger (over) og eldre ørret (under) i fire kildebekker (1-4) og i nedenforliggende grunnvannsjø (5) i Rauma ved Alnes i september 2003.

Bekkene har riktignok totalt sett små arealer, men det ble påvist ørret fra frambruddspunktet, dvs. der vannet kommer ut av ura og renner i dagen. Det ble ikke påvist laksunger eller 3-pigget stingsild i kildebekkene. I den nedenforliggende grunnvannssjøen ble det bare funnet svært lave tettheter av eldre rekrutter av ørret. Fiskesamfunnet var her totalt dominert av 3-pigget stingsild. Tettheten her er underestimert, idet fangbarheten var lav pga. substratet. (Fig. 32).

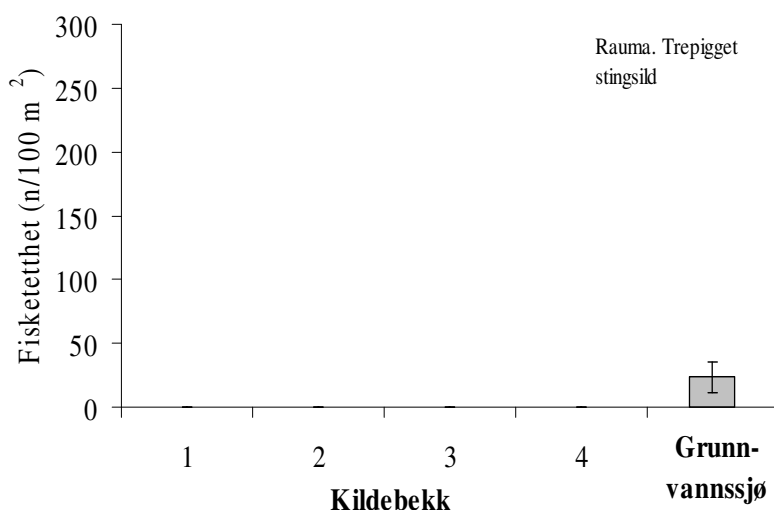


Fig. 32. Tetthet (antall / m² ±95% K.I.) av 3-pigget stingsild i fire kildebekker (1-4) og i nedenforliggende grunnvannssjø (5) i Rauma ved Alnes i september 2003.

Hemsil

Hemsil nedstrøms Eikradammen

Hemsil har verken ovenfor og nedenfor Eikradammen naturlig vannføring. Magasiner i høyfjellet gjør at flommene generelt sett er redusert (35%), og nedenfor Eikradammen er flommene ytterligere redusert med 28 m³/s (slukevne Hemsil II), samt at det ikke er minstevannføring nedenfor Eikradammen. Det er derfor bare ved høy vannføring det overløp over dammen. Dette skjer vanligvis under snøsmelting og ved mye nedbør sommer og høst (Fig. 33). Når det ikke er overløp er det vannføringen fra lokalt nedbørfelt som utgjør vannføringen nedenfor Eikradammen. Rett nedenfor dammen er det flere større kulper, og disse har en del løsmasser. Videre nedover er det lite løsmasser i elveleiet, og elva renner over mye rent fjell (Fig. 34).

Den lokale restvannføringen består av overflatebekker og tilsig, og av enkelte grunnvannspåvirkete bekker. I tørre perioder og om vinteren vil de grunnvannspåvirkete bekkene representere tilsiget, men tilsiget må karakteriseres som lite, og det opplyses lokalt at det jevnlig på ettervinteren blir funnet død ørret i fangbare størrelser nedenfor Eikradammen. Dette er fisk som har sluppet seg over dammen i perioder med overløp. I august 2002 og i september 2003 ble det i varme perioder med lite nedbør påvist bekker og tilsig med lav temperatur og klar indikasjon på grunnvannspåvirkning. Område viste utfelling av jern og derved at grunnvannstilsiget her periodevis har lite oksygen.

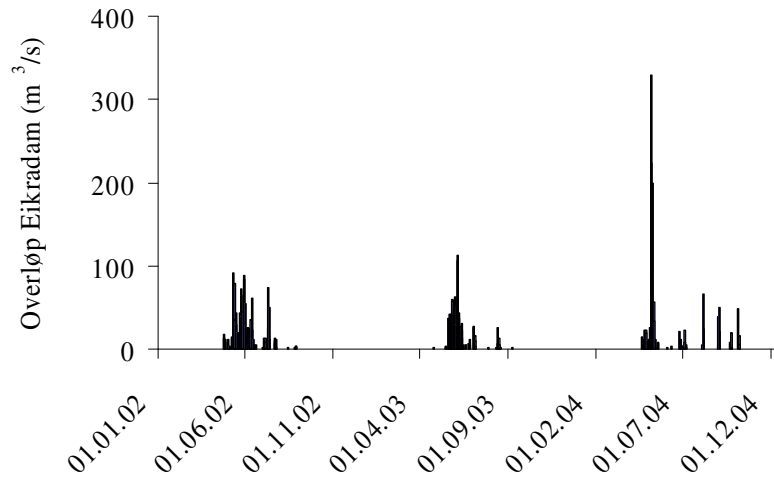


Fig. 33. Vannføring i Hemsil over Eikradammen i Hemsedal viser regelmessige flomvannføring.

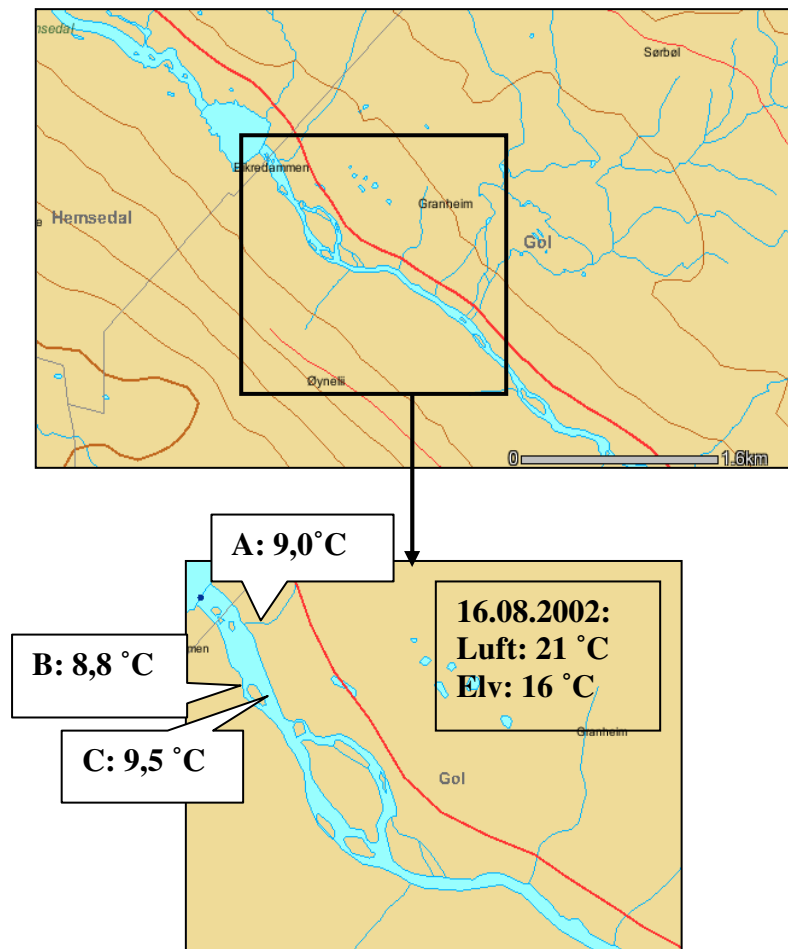


Fig. 34. Hemsil i Hemsedal. Eikradammen er inntaksmagasin til Hemsil II, og det er ikke minstevannføring i Hemsil nedenfor Eikradammen.

Bunndyr

Langt på vei vil dominerende substrat og substratets stabilitet avgjøre hvilket bunndyrsamfunn som observeres på en gitt elvestrekning. I Hemsil var det forholdsvis små forskjeller i de totale bunndyrtettheter ovenfor Eikradammen sammenliknet med nedenfor, selv om vannføringsregime, elvedekket areal og dominerende substrat er svært forskjellig på de to strekningene.

Basert på prøvetaking på steinet substrat var tettheten av bunndyr ikke forskjellig på to stasjoner ovenfor Eikradammen (B1-B2) sammenliknet med tre stasjoner rett nedenfor (B3-B5), mens B6, B7 og B9 hadde lavere tettheter (Fig. 35). Bunnen på B8 hadde mye innslag av mose, og forklarer den høye tettheten av bunndyr her. Innslaget av døgnfluer med *Baëtis rhodani* var gjennomgående den dominerende gruppe og art, og hadde stor tetthet ovenfor dammen, men med et svært lite innslag på B3 rett nedenfor Eikradammen, med deretter økende mengde videre nedover. Tilsvarende mønster hadde også steinfluer, selv om trenden ikke er like tydelig. Fjærmygglarver hadde en økt forekomst nedenfor Eikradammen. Slekten *Diamesa* ble funnet på alle stasjoner med unntak av B8.

Basert på prøvetaking på bart fjell, ble det funnet både lave og høye tettheter nedenfor Eikradammen, noe som skyldes om det var bart fjell med eller uten påvekstalger (Fig. 36). Døgnfluer var den dominerende gruppen (*Baëtis rhodani*), spesielt på st. B8 og nedover.

Shannon-Wiener indeks (H') og antall arter i vassdraget er vist på de samme stasjoner for de to substratkategoriene (Fig. 37 og Fig. 38). På alle stasjoner ble det funnet flere arter og signifikant høyere indeksverdi på steinet substrat sammenliknet med bart fjell, og indeksverdien var høyere nedenfor Eikradammen ned til B8. Det observerte artsantallet hadde et forholdsvis jevnt forløp. Hovedmønsteret for antall arter og indeksverdi på bart fjell var mindre tydelig, men hadde høyere verdier på B6 til B8 sammenliknet med nedenfor og ovenfor.

På mange måter illustrerer bunndyrsamfunnet nedenfor Eikradammen at endret vannføring tilsynelatende ikke har dramatisk effekt på selve strukturen. De antatte viktige faktorene er:

- Alltid vannføring (lokal overflateavrenning, grunnvannstilsig, sidebekker)
- Redusert flomvannføring, redusert vannføring
- Økt substratstabilitet
- Lavere fisketetthet

Av de undersøkte lokalitetene er B3 den som er rett nedenfor Eikradammen.

Lokaliteten er grunnvannspåvirket, og har periodevis sterk utfelling av jern, noe som tyder på at det her periodevis er lite oksygen. Imidlertid vil stor vannflate i forhold til vannføringen trolig raskt gi tilfredsstillende oksygenforhold, og vanntemperaturen vil av samme grunn bli mye påvirket av lufttemperaturen.

Reduserte flommer (i hyppighet og størrelse) vil gi økt substratstabilitet, noe som gir mer stabile forhold for bunndyr nedenfor Eikradammen. Substratets beskaffenhet er derimot avgjørende helt lokalt, og sees tydelig på den variasjon som preger samfunnet både ovenfor og nedenfor Eikradammen.

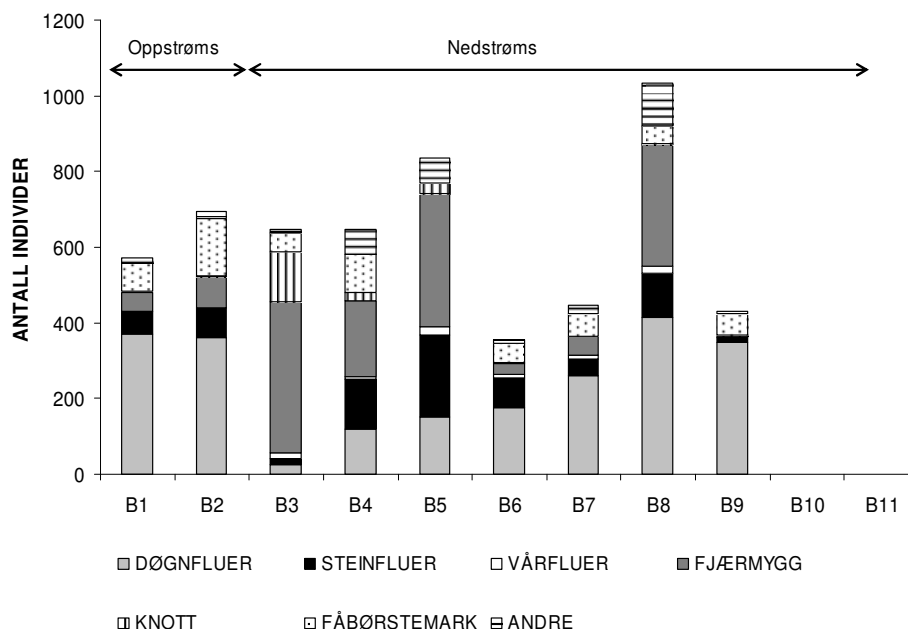


Fig. 35. Antall individer pr. bunnprøve av 6 hovedgrupper av bunndyr Hemsil i september 2004 på substrat bestående av løsmasser (stein). Oppstrøms Eikradammen: B1-B2, nedstrøms: B3-B11.

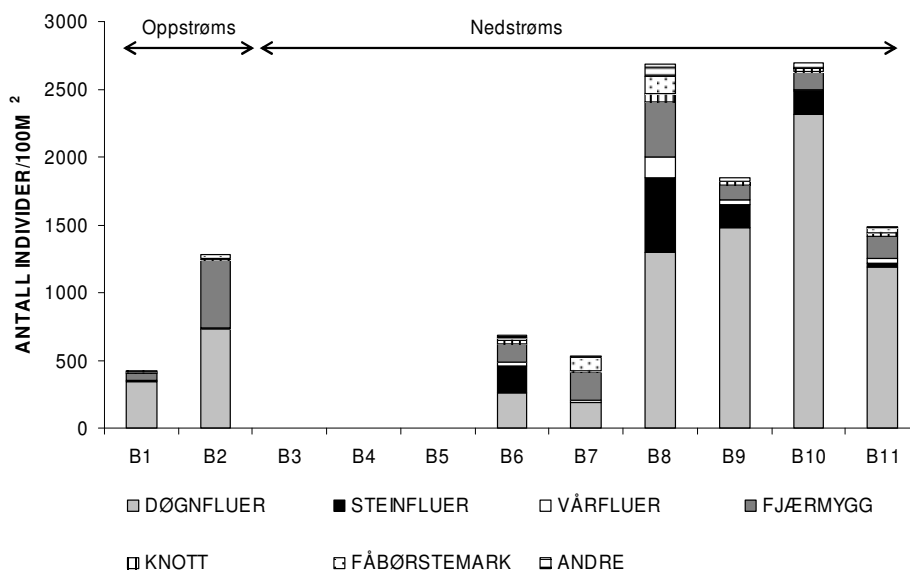


Fig. 36. Antall individer pr. bunnprøve av 6 hovedgrupper av bunndyr Hemsil i september 2004, på bart fjell. Oppstrøms Eikradammen: B1-B2, nedstrøms: B3-B11.

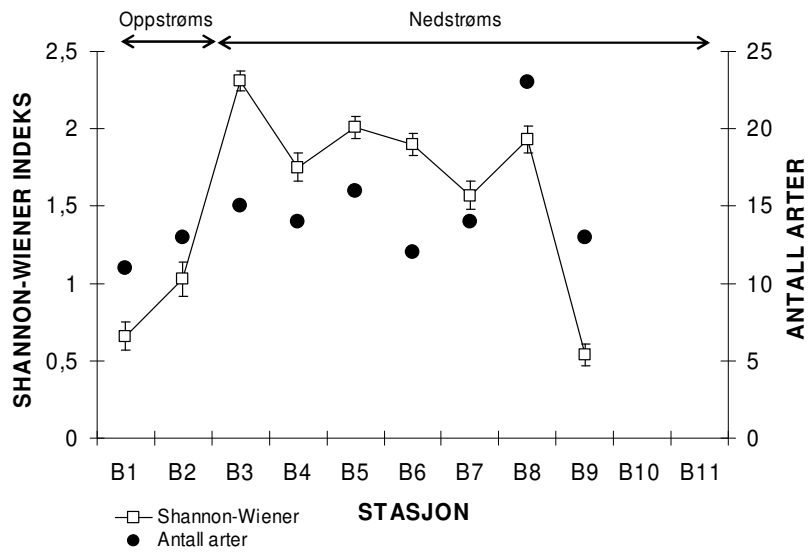


Fig. 37. Shannon-Wiener indeks (H') og antall arter i Hemsil (september 2004), basert på prøvetaking på løsmasser (stein). Oppstrøms Eikradammen: B1-B2, nedstrøms: B3-B11.

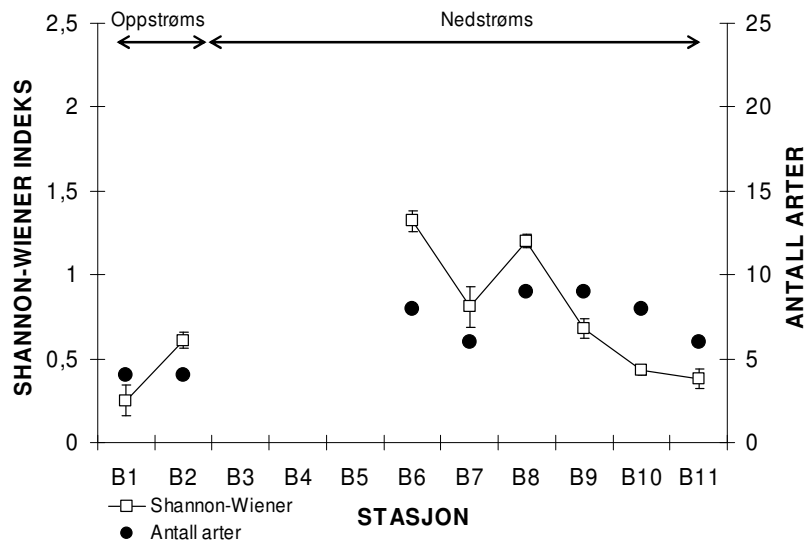


Fig. 38. Shannon-Wiener indeks (H') og antall arter i Hemsil (september 2004), basert på prøvetaking på bart fjell. Oppstrøms Eikradammen: B1-B2, nedstrøms: B3-B11.

Fisk

Det ble påvist årsunger (0+) av ørret på enkelte små felter rett nedenfor Eikradammen (st. 14 og 15), se Fig. 39. Årsunger av ørret ble kun funnet på små arealer der bunnsubstratet besto av småstein og grus, og disse områdene lå nær områder der grunnvannsbekk munnet ut i hovedelva eller der tilsig gjennom grunnen ble påvist. Eldre ørret kan ha kommet ovenfra gjennom drift over dammen. En slik koloniering er usannsynlig når det gjelder årsunger av ørret og forekomst av årsunger viser **i)** gyting i området og **ii)** vellykket eggutvikling etter gyting og fram til klekking, dvs. gjennom vinteren. Det er vanskelig i dette tilfelle å skille mellom forekomsten av substrat alene på den ene siden og substrat kombinert med tilsig og rennende vann på den andre. I andre undersøkelser er det påvist at kombinasjonen av rennende vann og egnet substrat er helt avgjørende for både gyting og eggutvikling, men at det er lite sig som skal til for å gi eggutvikling (Brabrand *et al.* 2002).

På stasjoner videre nedover er det stort sett fravær av løsmasser i elveleiet. Det ble her på de fleste stasjoner heller ikke påvist årsunger av ørret. Substratet er av stor betydning for gyting, og fravær av årsunger her er sannsynligvis forårsaket av at gytesubstrat ikke er tilgjengelig. Det er imidlertid tilstede en liten bestand av eldre ørret (>0+) som sannsynligvis er et resultat av nedvandring og drift, men det er bestanden av ørekyte som dominerer på de fleste stasjoner nedenfor Eikradammen. Det gjelder både i kulpene rett nedenfor Eikradammen der det også ble påvist årsunger av ørret, og på stasjonene nedenfor med dominans av fastfjell. Spesielt i kulper med relativt stillestående vann ble det til dels påvist svært høye tettheter av ørekyt.

Til en viss grad kan områdene ovenfor Eikradammen illustrere fisketetthetene under andre manøvreringer enn det som er tilfelle nedenfor. Ovenfor er ørekyte mindre dominerende, og tettheten av årsunger av ørret større og stort sett tilstede på de fleste stasjoner. Forhold ovenfor og nedenfor Eikradammen er svært forskjellige når det gjelder to faktorer også for fisk:

- Vannføring
- Substrat i elveleiet

Mens substratet ovenfor Eikradammen er preget av god tilgang på gyte- og oppvekstområder, er det på lange strekninger nedenfor Eikradammen og nedenfor kulpene fravær av løsmasser. Dette gjør at det er lite vann (sidebekker, diffuse tilsig, grunnvann) som skal til for å gi vannspeil i elveleiet nedenfor Eikradammen, men at elveleiet i liten grad har områder som er egnet gyte- og oppveksthabitat for ørret.

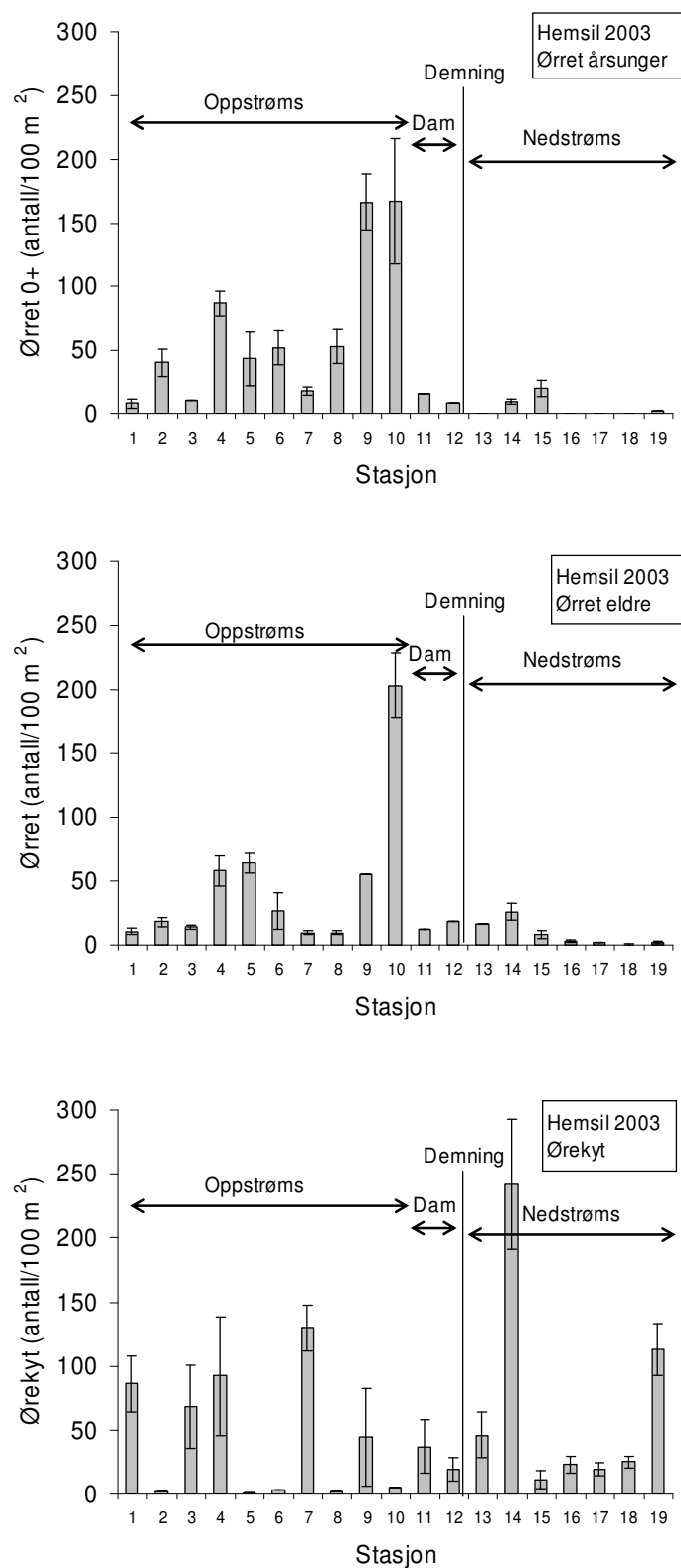


Fig. 39. Tetthet (antall / m² $\pm$ 95% K.I.) av årsunger av ørret (øverst), eldre ørret (midten) og ørekyt ovenfor Eikradammen (st. 2-10), i strandsonen i Eikradammen (st. 11-12) og nedstrøms Eikradammen (st. 13-19, hvorav st.13-15) er i kulper med grunnvannspåvirket innløpsbekk.

5. Diskusjon

Forhold for fisk og bunndyr i grunnvannsområder

Basert på forekomsten av bunndyr som krever oksygenrikt vann og på fisk konkluderes det med at oksygen ikke er begrensende faktor i kildeområdene i Skibotn, Rauma, Vinstra eller Hemsila. Dette kan imidlertid være forklaringen på at det ikke ble funnet bunndyr i vann fra grunnvannsreservoaret på Rena, da Colleuille *et al.* (2004) angir lave oksygenverdier i vann fra reservoaret. Selve elvebunnens substrat i Glomma besto dessuten av tettere og mer homogene masser mot elva enn på de øvrige lokalitetene. Dette kan være en forklaring på at det ikke var mulig å spore veldefinerte grunnvannfrembrudd i selve elvebredden, og at det ikke var mulig å påvise forskjeller i bunndyrsamfunn eller fiskesamfunn i elva som var forårsaket av kildefrembrudd.

Så lenge oksygenforholdene eller andre vannkjemiske faktorer ikke er begrensende faktor, vil temperaturen være en viktig abiotisk faktor som skiller grunnvann fra overflatevann. Vekslingen mellom grunnvann og overflatevann i vassdragene kan skape store temperaturvariasjoner, både i rom og tid. Her vil det være fundamentale forskjeller mellom "rene" grunnvannsbekker og vassdragsavsnitt som er utsatt for både grunnvann og overflatevann.

Grunnvannsbekkene vil ha stabilt lav temperatur gjennom året (amplitude 2-3 °C) og ha liten døgnvariasjon. Døgnvariasjonen vil imidlertid øke med avstand fra kildeframbruddet. I regulerte vassdrag uten minstevannføring, men med grunnvannskilder i elveleiet eller elvebredd, vil temperaturforløpet være mer komplisert og avhengig av forholdet mellom grunnvannsmengde og overflateavrenning. I disse lokalitetene vil grunnvannsmengden bidra til større temperaturvariasjon, slik det er vist i Vinstra-vassdraget nedenfor Kamfoss. Perioder med lite nedbør og lokal overflateavrenning vil her øke den relative betydningen av grunnvann og gi stabilt lave temperaturer uten døgnvariasjon, mens perioder med nedbør vil gi høyere temperatur med døgnvariasjon.

Mens de rene grunnvannsbekkene alltid vil ha vannføringen dominert av grunnvann, ihvertfall nær frembruddspunktet, vil vannmengden fra kilder i elvebredden eller i elvebunnen representere en svært varierende del av den totale vannføringen. Her vil kilder i elvebunnen/bredden i regulerte elver uten minstevannføring utgjøre et ytterpunkt, og grunnvann i denne typen regulerte elver vil representere den faktiske vannføringen slik det er observert i Vinstra. Fra et gitt område vil det her alltid være vannføring, men i perioder med lite nedbør vil forholdene her være lik de som er funnet i de rene kildebekkene, dvs. lav og stabil temperatur. Denne stabiliteten vil som nevnt være avhengig av fravær av nedbør, og den abiotiske variasjonen vil derfor være større i disse kildeområdene sammenliknet med de rene kildebekkene. Det kan spekuleres på om kildebekker er habitat for konkurransesvake arter, både euryterme og kaldstenoterme, og om temperaturforhold i kildebekker gir forskjøvet eller

forlenget livssyklus for arter som finnes både i kildebekk og hovedelv.

Stabilitet og variasjon som ytterpunkter angitt i "Kildebekk" og "Kilde i elv" i et tenkt kontinuum, og de biologiske konsekvenser dette forventes å ha er satt opp i Tabell 3. Stabilitet vil favorisere arter som tåler liten abiotisk amplitude, i dette tilfelle knyttet til temperatur, slik at såkalt kaldstenoterme arter forventes å dominere i rene

Tabell 3. Abiotiske og biotiske forventninger knyttet et gitt punkt i rene grunnvannsbekker og i elver med kildeframbrudd.

	Kildebekk	Grunnvannspreget elv
Temperatur	• Stabilt lav temperatur. • Liten døgnvariasjon. • Uavhengig av nedbør	• Nedbøravhengig • Lite nedbør: - Lav temperatur - Liten døgnvariasjon • Mye nedbør: - Høy temperatur - Stor døgnvariasjon
Vannføring	• Stabil • Uavhengig av nedbør	• Avhengig av nedbør • Utgjør minste vannføring ved lite nedbør
Vannkvalitet	• Stabil • Uavhengig av nedbør	• Variabel • Nedbøravhengig
Drift av bunndyr fra ovenforliggende strekning	Ingen	• Nedbøravhengig • Periodevis betydelig
Bunndyr og fisk	Kaldstenoterme arter Konkurransesvake arter	Euryterme / euryøke arter

kildebekker. Siden mange arter og grupper da uteblir, må det forventes høy tetthet av de artene som er tilstede. Elementer av dette er da også observert både i kildebekkene i Skibotn og i Rauma. I tillegg vil en del funksjonelle grupper utebli, f. eks. filtrerende grupper som knott som er avhengig av organiske partikler i drivet. Bunnfaunaen i grunnvannsdominerte bekker i både Skibotn og Rauma hadde signifikant lavere biologisk diversitet (Shannon-Wiener H' biodiversitetsindeks), lavere artsantall og hadde dominans av kaldstenoterme (og sannsynligvis konkurransesvake) arter sammenliknet med tilsvarende bunnsstrat i hovedelva.

I kildebekkene i Skibotn dominerte steinfluen *Nemoura cinerea* og fjærmyggene *Eukiefferiella* gr. *gracei* og *Tvetenia* sp. Kildebekkene i Rauma var også dominert av *Nemoura cinerea*, men av fjærmyggene *Corynoneura* sp. og *Diamesa* sp. Av disse må *Nemoura cinerea* betraktes som den mest typisk forekommende kildearten, selv om den sannsynligvis finnes her fordi den primært er konkurransesvak. Den er sammen

med *N. pictetii* også funnet i en rekke kilder i Åstadalen og Heimdalen (Tønder 1999). *Nemoura cinerea* og fjærmyggarter med *Eukiefferiella*, *Tvetenia* og *Corynoneura* må regnes som karakterarter for rene grunnvannsbekker, og enkelte av disse elementene finnes også i de regulerte elvene med grunnvannskilder.

I tillegg vil de rene kildebekkene ikke ha drift av bunndyr fra ovenforliggende elveområder. Dette gjør at bunndyrsamfunnet her utelukkende vil bestå av kildearter, i motsetning til kilder i elvebredd eller elvebunn. Her vil bunndyrsamfunnet forventes å bestå av arter som tolererer stor variasjon i temperatur og vannkvalitet, de såkalte euryøke arter, fordi vannet vil vekselvis bestå av grunnvann og overflatevann.

I tillegg vil bunndyrsamfunnet på kildeområdene i elveleiet motta rene elvearter gjennom drift fra de ovenforliggende elvestrekningene dominert av overflatevann eller fra sidebekker, og som derved i utgangspunktet har et annet bunndyrsamfunn. Bunndyrdrift og dominans av grunnvann vil selvsagt variere mellom vassdrag. I regulerte vassdrag uten minstevannføring, og der det aldri eller sjelden er overløp fra ovenforliggende magasin innsjø vil det relative grunnvannsbidraget øke.

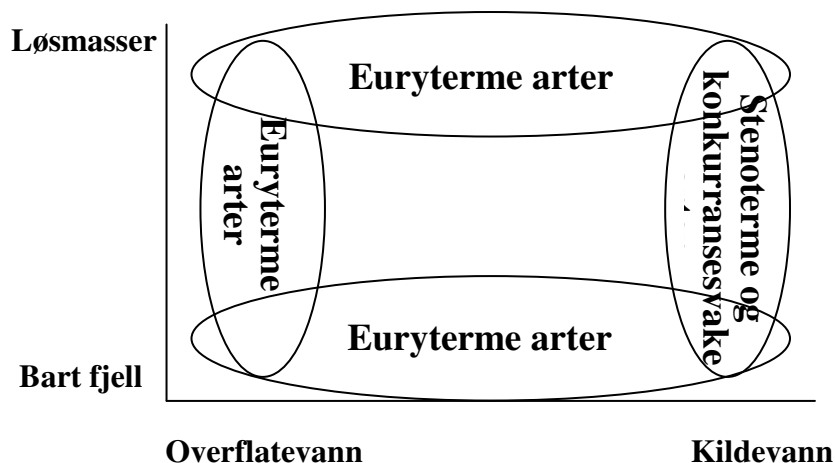


Fig. 40. I grunnvannsdominerte vannforekomster forventes dominans av kaldstenoterme og/eller konkurransesvake arter av bunndyr, mens vannforekomster med både grunnvann og overflatevann vil ha større innslag av euryterme arter.

Gjennomgang av bunnprøver tatt i Tysla i områder NVE (Kvambekk, under utarbeidelse) har angitt som grunnvannsdominerte viste også dette hovedmønsteret. I kildebekk dominerte *Nemoura cinerea* og fjærmyggartene *Eukiefferiella*, *Tvetenia* og *Corynoneura*, foruten *Pseudodiamesa* sp.. Siden disse også ble funnet i hovedelva, indikerer det grunnvannspåvirkning også her.

Shannon-Wiener's diversitetsindeks var signifikant lavere i kildebekk sammenliknet med hovedelva, men antall arter i kildebekk var høyere enn forventet ut fra observasjonene i kildebekkene i Skibotn og Rauma. Dette er sannsynligvis forårsaket

av at kildebekk i Tysla periodevis er preget av overflateavrenning, med et visst innslag av organisk påvirkning. Bunndyrsamfunnet i kildebekk vil derfor ha elementer av både kaldstenoterme og euryøke arter.

Det er påfallende at det i alle grunnvannsområdene ble påvist fisk, enten lokaliteten var kildebekk eller kildeområde i et større elveleie. Der dette dreide seg om bekker var forutsetningen at det var oppvandringsmuligheter fra nedenforliggende hovedelv. I alle grunnvannslokalitetene ble det påvist dominans av årsunger (0+), og det foregår betydelig rekruttering av røye i grunnvannsbekker i Skibotnvassdraget, og av ørret i Rauma og Vinstra. Imidlertid ble det ikke påvist årsunger av ørret i grunnvannsområdet i Vinstra i 2004, mens 2003 årsklassen dominerte både i 2003 (som 0+) og 2004 (som 1+). Fravær eller svært lav rekruttering høsten 2003 er sannsynligvis et resultat av lav forekomst av gytefisk, og at dette er den begrensende faktor for rekrutteringen. God vekst og god kondisjon, men fravær av eldre fisk tyder på størrelsesavhengig dødelighet eller nedvandring. Området nedenfor Kamfoss har fra grunnvannsområdet og nedover ikke dypere kulper, og elveleiet består av større stein liggende på finere substrat. Det er derfor få skjulsteder for større fisk. Det ble observert mye minkspor i området, og størrelsesselektiv predasjon fra mink og fravær av større kulper kan være en sannsynlig årsak til liten bestand av gytefisk.

I alle lokaliteter der grunnvann dominerte var det dominans av den mest kaldstenoterme fiskearten (Tabell 4). Dette var kanskje mest utpreget i Skibotnelva, der røye som typisk kaldtvannsart er til stede i vassdraget. Status for laks i Skibotnelva og i Rauma er usikker pga. *Gyrodactylus salaris*. I Vinstra var det også utpreget dominans av ørret fremfor ørekyt, selv i stilleflytende partier. Dette i motsetning til i Hemsil, der ørekyt stedvis dominerte og grunnvannspåvirkningen var betydelig lavere i selve hovedvassdraget.

Tabell 4. I alle lokaliteter der grunnvann dominerte var det dominans av den mest kaldstenoterme fiskearten.

	Fiskearter i vassdragsavsnittet	Dominans i grunnvannsområder
Skibotnelva	Røye, ørret, laks, 3-pigget stingsild, ål	Røye
Rauma	Ørret, laks, 3-pigget stingsild, ål	Ørret
Vinstra	Ørret, ørekyte	Ørret
Hemsil	Ørret, ørekyte	Ørret

Substratets sammensetning

I et gitt område vil løsmasser og de geologiske forholdene avgjøre substrattypen, og derved ha stor betydning for grunnvann i enkeltvassdrag og vassdragsavsnitt.

I Hemsila er det relativt stor sedimenttransport og det er utviklet elveslette med fluviale avsetninger ovenfor Eikradammen. Eikradammen danner et effektivt sedimentasjonsbasseng for bunntransport og deler av det suspenderte materialet videre nedover. På strekningen Eikradammen – Gol er derfor løsmassene fjernet og sedimenttransporten nesten opphørt etter at vassdraget ble regulert. I Hemsil er det årlige og til dels store overløpsflommer slik at grus og steinmaterialet på denne strekningen er spylt vekk uten at nytt materiale har blitt tilført ovenfra. Før reguleringen ble iverksatt må det stadig ha blitt tilført materiale til denne strekningen.

Situasjonen i 2004 er at Eikradammen til dels har betydelige mengde sedimentert materiale, og stor overløpsflom sommeren 2004 medførte at betydelige mengder løsmasser ble spylt over dammen. Dette ble observert som løsmasser i form av grus og sand på strekningene nedenfor, spesielt på utløpsstryk ut av større kulper. Dette indikerer nettopp at Eikradammen fungerer som en sedimentfelle, men at sedimenttransport kan forekomme dersom dammen er full og overløpsvannføringen er stor.

Substratet må før reguleringen ha hatt en annen karakter enn i dag. Det var sammensatt av mange forskjellige fraksjoner av varierende størrelse. Sannsynligvis ga dette bedre oppvekstforhold for fisk enn under dagens situasjon.

I Vinstra er gradienten for høy til at det har blitt dannet elvesletter på den aktuelle strekningen. Substratet i elveløpet domineres av store immobile steinfraksjoner som har blitt liggende tilbake etter at de finere fraksjonene i morenematerialet ble vasket vekk. Det er aktive erosjonsprosesser i dalsidene, med bl.a. ravinefelter. Det produseres derfor en del sedimenter som transporteres ut i hovedelven av sidebekker.

Den øverste strekningen hvor det er lite strømmende vann (ovenfor permanent vannføring) vil dette materialet sedimentere i hovedløpet mellom de større steinene. Det forekommer svært sjelden overløpsflommer i Vinstra, og materialet blir derfor ikke spylt ut. Sidebekker vil der de rekker fram til hovedløpet forsvinne ned i grunnen. I perioder med nedbør vil hovedløpet ovenfor grunnvannsområdet stedvis ha vannføring, men også da forsvinner mye av vannføringen ned i grunnen. Dette bidrar til at finere fraksjoner trekkes ned i substratet og stedvis tetter bunnen. Etter hvert danner dette materialet grobunn for vegetasjon slik at deler av elveløpet gror igjen. Mindre vannpytter vil etter hvert fylles igjen slik at leveområdene for akvatisk liv blir redusert.

Nedenfor områder med grunnvannstilførsel vil det alltid være en relativt stabil lavvannsføring. Det opprinnelige grove steinete substratet dominerer hovedløpet også her, med fraksjoner av grus og sand, men fravær av de helt fine fraksjoner som finnes ovenfor grunnvannsområdet. Dette er sannsynligvis forårsaket av permanent

vannføring og at grunnvann opp gjennom bunnen mange steder hindrer finere fraksjoner i å trenge ned i substratet og derved tette substratet.

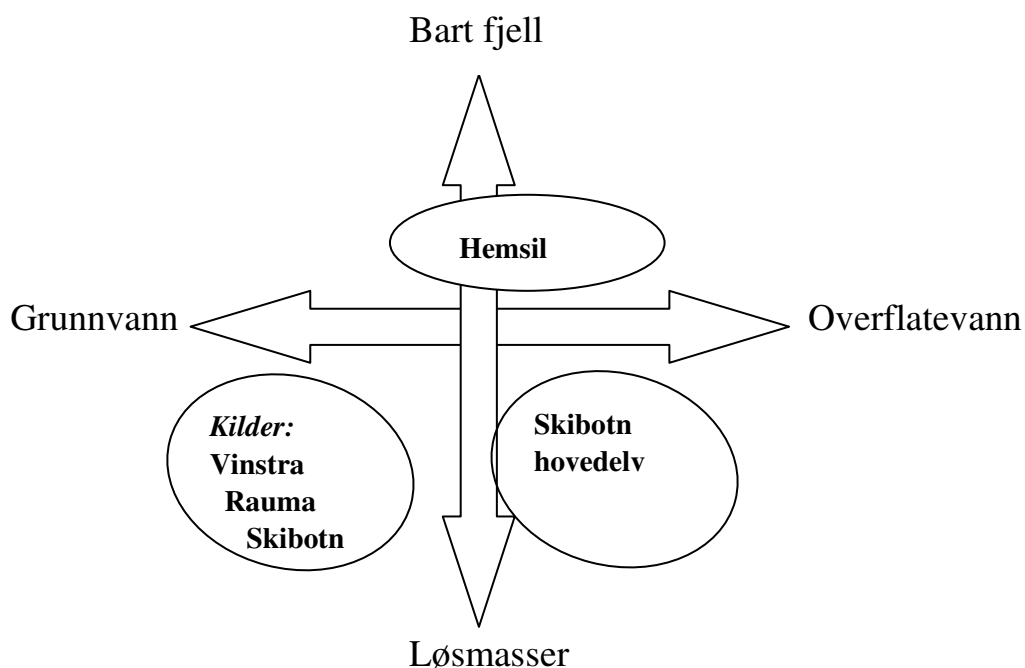


Fig. 41. Plassering av undersøkte vannforekomster langs gradientene grunnvann – overflatevann og løsmasser – bart fjell.

Substrattypen i elveleiet og lokal avrenning avgjør derfor hvorvidt grunnvannstanden kommer fram i dagen. De viktigste løsmassekarakteristika er:

- Kornfordelingen på materialet i elveleiet
- Løsmassenes dybde i elveleiet
- Bunnssubstratets permeabilitet
- Elvebunnens småskala-topografi

Ytterpunktene i bunnssubstratet i selve elveleiet er fastfjell på den ene siden og massive løsmasser på den andre. Fast fjell gir vannspeil i dagen selv ved svært lave vannføringer, mens bunnssubstratets beskaffenhet og permeabilitet vil avgjøre om og hvor vannet i elveleiet kommer tilsyne der løsmassene dominerer. De to ytterpunktene vil i tillegg til vannføring og vannspeil representere ytterpunkter i tilgjengelig optimalt habitat og selve habitatvariasjonen når det gjelder fisk og bunndyr.

Grunnvannsbekker og grunnvannsforekomster har flere fellestrekk med breelver i den forstand at det er stabil vannføring med lav temperatur om sommeren og relativt høy temperatur om vinteren, og ikke minst at døgnamplituden i temperatur er lav. Brown *et al.* (2003) har forsøkt en klassifisering av breelver der kriteriene var mengde-

forholdet mellom grunnvann, brevann og overflateavrenning. Det som ytterligere karakteriserer breelver er høyt innhold av suspendert materiale som gir høy turbiditet om sommeren, noe som gir redusert primærproduksjon av påvekstalger (Milner & Petts 1994), og derved vanskelige leveforhold for filter-feeders som knott. Dette i sterk kontrast til grunnvannsdominerte bekker der innholdet av suspendert materiale er lavt. Der vannføringen er redusert ved regulering vil dette ytterligere stabilisere bunnssubstratet og elvebredden, noe som vil kunne gi stabile forhold for bunndyr og i seg selv gir økte tettheter og høy diversitet. Imidlertid må størrelsen på vanndekket areal tas med i betraktning når den totale produksjon både av fisk og bunndyr skal vurderes.

6. Litteratur

- Bencala, K.E. 1993. A perspective on stream-catchment connections. *Journal of the North American Benthological Society* 12: 44-47
- Blanchfield, P.J. and Ridgway, M.S. 1997. Reproductive timing and use of redd sites by lake-spawning brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54: 747-756
- Brabrand, Å., Koestler, A.G. and Borgstrøm, R. 2002. Lake spawning of brown trout related to groundwater influx. *Journal of Fish Biology* 60: 751-763
- Bremset, G. and Heggenes, J. 2001. Competitive interactions in Young Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) and Brown Trout (*Salmo trutta* L.) in Lotic Environments. *Nordic Journal of Freshwater Research* 75: 127-142
- Brittain, J. E. and Saltveit, S. J. 1984. Bunndyr. I: Vennerød, K. E. (red.). *Vassdragsundersøkelser*. Universitetsforlaget, Oslo: 191-200
- Brown, R. S. and Stanislawski, S. S. 1996. Fall and winter movements and habitat selection by salmonids in Dutch Creek, Alberta. Prepared for The Alberta Fish and Game Association by F. R. M. Environmental Consulting Ltd. Edmonton, AB
- Brown, L.E., Hannah, D.M. and Milner, A.M. 2003. Alpine Stream Habitat Classification: An Alternative Approach Incorporating the Role of Dynamic Water Source Contribution. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 35: 313-322
- Brunke, M. and Gonser, T. 1997. The ecological significance of exchange processes between rivers and ground water. *Freshwater Biology* 37: 1-33
- Castro, N.M. and Hornberger, G.M. 1991. Surface-subsurface water interactions in an alluvial mountain stream channel. *Water Resources Research* 27: 1613-1621

- Colleuille, H., Pedersen, T.S., Dimakis, P. and Frengstad, B. 2004. Elv og grunnvann. Analyse av interaksjon mellom et grunnvannsmagasin og Glomma på Rena, Hedmark (002.Z). Materiale og feltmålinger. Norges vassdrags- og energidirektorat. Forskningsprogrammet: Miljøbasert vannføring. Rapport 2-2004
- Cunjak, R. A. 1996. Winter habitat of selected stream fishes and potential impacts from land-use activity. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53 (Suppl. 1): 267-282
- Cunjak, R. A. and Power, G. 1986. Winter habitat utilization by stream resident brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and brown trout (*Salmo trutta*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 43: 1970-1981
- Cunjak, R.A. 1988. Physiological consequences of overwintering in streams. The cost of acclimatization? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 45: 443-452
- Evans, E.C., Greenwood, M.T. and Petts, G.E. 1995. Short communication thermal profiles within river beds. *Hydrological Processes* 9: 19-25
- Frost, S., Huni, A. and Kershaw, W. E. 1971. Evaluation of a kicking technique for sampling stream bottom fauna. *Canadian Journal of Zoology* 49: 167-173
- Hansen, E.A. 1975. Some effects of groundwater on brown trout redds. *Transactions of the American Fisheries Society* 104: 100-110.
- Heggenes, J., Krog, O.M.W., Lindås, O.R., Dokk, J.G. and Bremnes, T.. 1993. Homeostatic behavioural responses in a changing environment: brown trout (*Salmo trutta*) become nocturnal during winter. *Journal of Animal Ecology* 62: 295-308
- Holton, G.D. and Johnson, H.E. 1996. A field guide to Montana fishes. Montana Fish, Wildlife and Parks
- Hynes, H. B. N. 1961. The invertebrate fauna of a Welsh mountain stream. *Archive für Hydrobiologie* 57: 344-388
- Koestler, A. and Brabrand, Å. 2001. Grunnvann som mulig årsak til mislykkede rotenonbehandlinger. *Vann 1-2001*: 29-35
- Kvambekk, Å. S. Under utarbeidelse. Temperaturforhold i elver med redusert vannføring. Norges vassdrags- og energidirektorat. Forskningsprogrammet: Miljøbasert vannføring, NVE rapport
- Lee, D.R. 1977. A device for measuring seepage influx in lakes and estuaries. *Limnology and Oceanography* 22: 140-147
- Malard, F. and Hevant, F. 1999. Oxygen supply and the adaptation of animals in groundwater. *Freshwater Biology* 41: 1-30

- Milner, A.M. and Petts, G.E. 1994. Glacial rivers: physical habitat and ecology. *Freshwater Biology* 32: 295-307
- Power, G., Brown, R.S. and Imhof, J.G. 1999. Groundwater and fish - insights from northern North America. *Hydrological Processes* 13: 401-422
- Raddum, G., Fjellheim, A., Velle, G. 2005. Populasjonsstrukturen hos de vanligste døgnfluene, steinfluene og vårfluene i Aurlandselva i relasjon til endringer i vannføring og temperatur. Norges vassdrags- og energidirektorat. Forskningsprogrammet: Miljøbasert vannføring. I trykk
- Saltveit, S.J., Halleraker, J.H., Arnekleiv, J.V. and Harby, A. 2001. Field experiments on stranding in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) during rapid flow decreases caused by hydropeaking. *Regulated Rivers: Research and Management* 17: 609-612
- Stanford, J. and Ward, J. V. 1992. Emergent properties of ground water ecology: conference conclusions and recommendations for research and management. Proceedings: *Groundwater Ecology* 4: 409-415
- Stanford, J. and Ward, J. V. 1993. An ecosystem perspective of alluvial rivers: connectivity and the hyporheic corridor. *Journal of the North American Benthological Society* 12: 48-60
- Triska, F.J., J.H. Duff and Avanzino, R.J. 1993. Patterns of hydrological exchange and nutrient transformation in the hyporheic zone of a gravel-bottom stream: examining terrestrial-aquatic linkages. *Freshwater Biology* 29: 259-274
- Tønder, M. 1999. Kildefauna og vannkvalitet I Åstadalen og Øvre Heimdalen. Cand. Scient. Oppgave. Norges Landbrukshøgskole, Inst. for biologi og naturforvaltning, 65 s. + vedlegg
- Pusch, M., and Schwoerbel, J. 1994. Community respiration in hyporheic sediments of a mountain stream (Steina, Black Forest). *Archiv für Hydrobiologie* 130:35-52
- Whalen, K.G., Parrish, D.L., and Mather, M.E. 1999. Effect of ice formation on selection of habitats and winter distribution of post-young-of-the-year Atlantic salmon parr. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 56: 87-96
- Ward, J.V. 1989. The four-dimensional nature of lotic ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society* 8: 2-8
- Zippin, L. 1958. The removal method of population estimation. *Journal of Wildlife Management* 22: 82-90

Vedlegg 1. Antall individer pr. 1 min. sparkeprøve av arter på ulike stasjoner i kildebekken i Skibotn.

	Stasjon 1	Stasjon 2	Stasjon 3	Stasjon 4
STEINFLUER				
<i>Archynopteryx compacta</i>	16	21	17	2
<i>Brachyptera risi</i>	-	-	7	-
<i>Capnia</i> sp.	16	-	8	14
<i>Diura nanseni</i>	-	-	-	9
<i>Isoperla</i> sp.	-	-	-	4
<i>Leuctra</i> sp.	-	-	-	4
<i>Nemoura</i> sp.	768	144	35	-
<i>Nemurella pictetii</i>	16	-	-	-
<i>Protonemura meyeri</i>	-	-	-	3
Ubestemte (meget små)	-	-	2	13
DØGNFLUER				
<i>Acentrella lapponicus</i>	-	-	22	-
<i>Ameletus inopinatus</i>	-	-	-	5
<i>Baëtis muticus</i>	-	-	-	20
<i>Baëtis rhodani</i>	-	-	64	773
<i>Baëtis subalpinus</i>	-	-	-	30
<i>Ephemerella aurivillii</i>	-	-	-	95
<i>Heptagenia dalecarlica</i>	-	-	-	43
VÅRFLUER				
Limnephilidae ubest.	-	-	3	3
<i>Rhyacophila nubila</i>	-	2	11	42
FJÆRMYGG				
<i>Diamesa</i> sp.	-	-	16	-
<i>Pseudodiamesa</i> sp.	16	8	13	-
<i>Eukiefferiella</i> gr. <i>gracei</i>	3104	20	21	13
<i>Tvetenia</i> sp.	2224	1063	78	61*
<i>Diplocladius cultriger</i>	-	40	104	-
<i>Micropsectra</i> sp.	-	10	78	-
<i>Orthocladius</i> sp.	-	-	-	39
<i>Corynoneura</i> sp.	-	-	13	3
<i>Brillia modesta</i>	-	-	5	-
Tanypodinae	-	-	-	39
Ubestemte	448	296	192	107
SMÅSTANKELBEIN				
<i>Dicranota</i> sp.	-	33	16	3
DANSEFLUER				
<i>Chelifera</i> sp.	16	7	16	12

* = Trolig en annen *Tvetenia*-art enn den i kilden/kildebekken

Vedlegg 2. Arter funnet i kildefrembrudd av to kildebekker ved Alnes i september 2003 og i Rauma elv på tilsvarende substrat.

	Kilde 1	Kilde 2	Rauma
STEINFLUER			
<i>Amphinemura sulcicollis</i>	-	-	28
<i>Capnia</i> sp.	-	-	7
<i>Diura nanseni</i>	-	-	3
<i>Isoperla</i> sp.	-	-	7
<i>Nemoura</i> sp. (<i>cinerea</i> ?)	43	29	2
<i>Protonemura meyeri</i>	-	-	1
Ubestemte (meget små)	4	-	2
DØGNFLUER			
<i>Ameletus inopinatus</i>	-	-	22
<i>Baëtis rhodani</i>	-	-	115
<i>Ephemerella aurivillii</i>	-	-	47
<i>Heptagenia</i> sp. (små)	-	-	4
VÅRFLUER			
<i>Apatania</i> sp.	37	-	-
Limnephilidae ubest.	-	1	4
<i>Oxyethira</i> sp. (larve)	-	-	16
<i>Oxyethira</i> sp. (puppe)	-	-	3
<i>Rhyacophila nubila</i>	-	-	2
FJÆRMYGG			
<i>Brillia modesta</i>	11	-	-
<i>Corynoneura</i> sp.	82	76	-
<i>Diamesa</i> sp.	24	56	-
<i>Eukiefferiella</i> sp.	4	-	-
<i>Nilotanypus</i> sp.	-	-	1
<i>Paratanytarsus</i> sp.	-	-	13
Pentaneurini, ubestemte	-	-	17
<i>Potthastia longimana</i>	-	-	5
<i>Tvetenia</i> sp. (små)	-	-	48
<i>Orthocladius/Cricotopus</i>	-	66	21
Ubestemte larver	2	10	6
Ubestemte pupper	-	9	13
BILLER			
<i>Elmis aenae</i> (larver)	-	-	30
Dytiscidae, ubestemte larver	-	3	-
Dytiscidae, ubestemte voksne	-	-	1
SMÅSTANKELBEIN			
<i>Dicranota</i> sp.	-	1	1
DANSEFLUER			
<i>Chelifera</i> sp.	-	-	1
FÅBØRSTEMARK			
Enchytraeidae ubestemte	1	2	2
<i>Stylodrilus heringianus</i>	-	1	-
Ubestemte	-	2	-

Vedlegg 3. Arter funnet i kildebekk og hoveelva Tysla i september 2004.

	TYSLA 5	Kildebekk 1	TYSLA 1
FLATMARK			
Ubestemte	7	3	-
FÅBØRSTEMARK			
Ubestemte	41	1	26
SPRETTHALER			
Ubestemte	-	3	-
STEINFLUER			
<i>Amphinemura standfussi</i>	-	1	-
<i>Amphinemura sulciollis</i>	2	-	-
<i>Brachyptera risi</i>	11	30	6
<i>Diura nanseni</i>	9	2	5
<i>Capnia sp.</i>	21	51	4
<i>Isoperla grammatica</i>	-	-	1
<i>Leuctra fusca</i> (meget små)	2	-	-
<i>Leuctra hippopus</i>	6	2	2
<i>Leuctra nigra</i>	9	63	3
<i>Nemoura sp.</i>	1	605	12
<i>Nemurella pictetii</i>	-	38	-
<i>Protonemura meyeri</i>	1	-	-
<i>Taeniopteryx nebulosa</i>	-	-	1
Ubestemte (meget små)	1	-	-
DØGNFLUER			
<i>Ameletus inopinatus</i>	1	-	1
<i>Baëtis muticus</i>	12	-	11
<i>Baëtis rhodani</i>	56	15	79
VÅRFLUER			
<i>Apatania sp.</i>	2	2	8
<i>Rhyacophila nubila</i>	6	1	1
Limnephilidae ubest. (små)	1	43	8
SOMMERFUGLER			
Ubestemte	-	-	1
BILLER			
Dytiscidae ubestemte (larver)	-	6	-
<i>Elmis aenea</i> (imagines)	1	-	-
<i>Elmis aenea</i> (larver)	-	2	1

TOVINGER			
FJÆRMYGG			
<i>Brillia modesta</i>	2	3	11
<i>Corynoneura</i> sp.	3	110	9
<i>Diamesa</i> spp.	34	1	21
<i>Eukiefferiella</i> sp. (store)	2	40	2
<i>Orthocladius</i> sp. (store)	19	25	15
<i>Pseudodiamesa</i> sp. (store)	5	105	15
<i>Tvetenia</i> sp. (store)	-	40	-
Ubestemte, larver	210**	346***	60
Ubestemte, pupper	11	30	6
KNOTT			
Ubestemte	5	69*	-
SOMMERFUGLMYGG			
<i>Pericoma</i> sp.	18	14	8
DANSEFLUER			
<i>Chelifera</i> sp.	13	-	3
SMÅSTANKELBEIN			
<i>Dicranota</i> sp.	4	28	3
VANNMIDD			
Ubestemte	1	100	7
KREPSDYR			
Ostracoda, ubestemte	2	50	3

* = Om lag halvparten var meget store

** = De fleste her var små Tanytarsini.

*** = De fleste var større, ingen var små Tanytarsini.

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Utgitt i rapportserien Miljøbasert vannføring:

- Nr. 1-02 Thomas Skaugen, Marit Astrup, Zelalem Mengistu, Bjarne Krokli: Lavvannføring - estimering og konsesjonsgrunnlag (28 s.)
- Nr. 1-03 Eva B. Thorstad, Finn Økland, Nils Arne Hvidsten, Peder Fiske, Kim Aarestrup: Oppvandring av laks i forhold til redusert vannføring og lokkeflommer i regulerte vassdrag (51 s.)
- Nr. 2-03 Per Ivar Bergan, Carsten S. Jensen, Finn R. Gravem, Jan Henning L'Abée-Lund, Anders Lamberg, Peder Fiske: Krav til vannføring og temperatur for oppvandring av laks og sjørøret (63 s.)
- Nr. 1-04 Hervé Colleuille, Tor Simon Pedersen, Panagiotis Dimakis: Elv og grunnvann. Analyse av interaksjon mellom et grunnvannsmagasin og Glomma på Rena, Hedmark (002.Z) Rapport 1. Formål og metoder (67 s.)
- Nr. 2-04 Hervé Colleuille, Tor Simon Pedersen, Panagiotis Dimakis, Bjørn Frengstad: Elv og grunnvann. Analyse av interaksjon mellom et grunnvannsmagasin og Glomma på Rena, Hedmark (002.Z). Rapport 2. Materiale og feltmålinger (113 s.)
- Nr. 3-04 Hervé Colleuille, Wai Kwok Wong, Panagiotis Dimakis: Analyse av interaksjon mellom et grunnvannsmagasin og Glomma på Rena, Hedmark (002.Z). Rapport 3. Grunnvannsmodellering (114 s.)
- Nr. 4-04 Bjørn Ove Johnsen og Nils Arne Hvidsten: Krav til vannføring i sterkt regulerte smålaksvassdrag (68 s.)
- Nr. 5-04 Torulv Tjomsland: Abiotiske effekter i reguleringsmagasiner. Temperatur- og isforhold i Follsjøen og i vassdraget nedenfor (25 s.)
- Nr. 6-04 Svein Jakob Saltveit, Peder Fiske, Åge Brabrand, Harald Sægrov, Ola Ugedal: Bruk av fangststatistikk for å belyse effekt av endret vannføring på fisk (46 s.)
- Nr. 7-04 Peder Fiske, Arne Johan Jensen: Mot en modell for sammenhengen mellom vannføring og fiskeproduksjon. Fase 1 - Evaluering av presmoltsammenhenger (30 s.)
- Nr. 1-05 Hans-Petter Fjeldstad, Tharan Fergus, Nils Reidar Bøe Olsen: Habitatforbedrende tiltak - geomorfologiske prosesser, sedimenttransport, erosjon og simulering av optimale forhold for fisk (34 s.)
- Nr. 2-05 Åge Brabrand, Trond Bremnes, Svein Jakob Saltveit, Andreas G. Koestler, Jim Bogen: Økologisk betydning av grunnvann for bunndyr og fisk (64 s.)