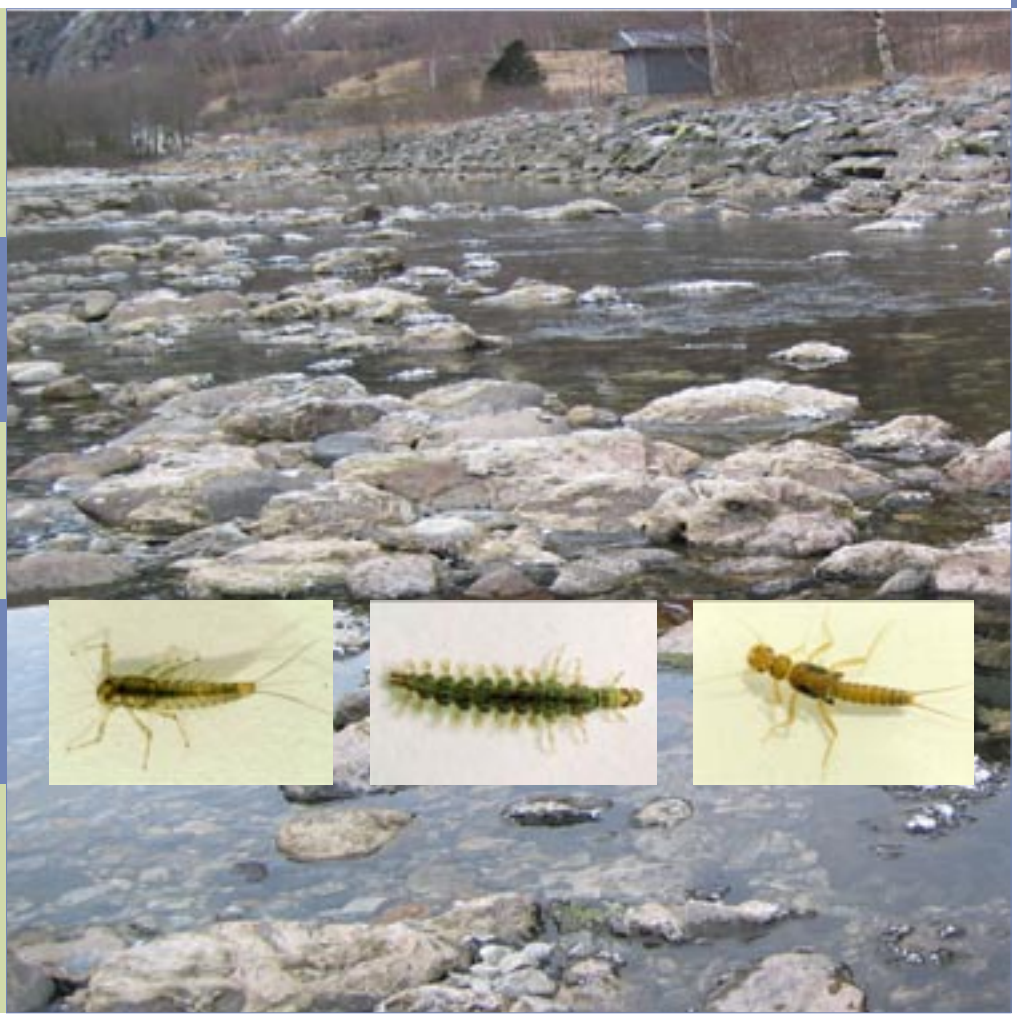
Populasjonsstrukturen hos bunndyr i Aurlandselva i relasjon til endringer i vannføring og temperatur

Gunnar G. Raddum, LFI, SAM-Limnisk, UiB
Arne Fjellheim, LFI, SAM-Limnisk, UiB
Gaute Velle, Bergen museum, UiB

3
2005



RAPPORT MILJØBASERT VANNFØRING

Populasjonsstrukturen hos bunndyr i Aurlandselva i relasjon til endringer i vannføring og temperatur

Rapport nr. 3 - 2005

Populasjonsstrukturen hos bunndyr i Aurlandselva i relasjon til endringer i vannføring og temperatur

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfattere: Gunnar G. Raddum, LFI, SAM-Limnisk, Inst. for biologi, UiB
Arne Fjellheim, LFI, SAM-Limnisk, Inst. for biologi, UiB
Gaute Velle, Bergen museum, UiB

Trykk: NVEs hustrykkeri

Forsidefotos: Aurlandselva ved innløp Vassbygdvatnet. Foto: Gunnar G. Raddum. Innfelte bilder: Vanlige bunndyr i Aurlandselva, f.v. vårfluen *Rhyacophila nubila*, døgnfluen *Baetis rhodani* og steinfluen *Diura nanseni*. Fotos: Arne Fjellheim

ISSN: 1502-234X
ISBN: 82-410-0556-3

Sammendrag: Rapporten gir en sammenfatning av livssyklus og vekst hos sentrale insektarter i Aurlandsvassdraget, undersøkt i perioden 2002 – 2003. Det sammenlignes med data fra tidligere undersøkelser foretatt før regulering og ved andre manøvreringsregimer.

Emneord: Bunndyr, insektarter, vassdragsregulering, temperatur, livssyklus, vekst.

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

Forord **5**

Sammendrag **7**

1 Innledning **11**

2 Områdebeskrivelse **12**

3 Metodikk **15**

Stasjonsnett og prosedyre i felt 15

Temperaturmålinger 15

Laboratoriearbeid 15

Statistikk 16

4 Resultater med vurderinger **16**

Fysiske virkninger av reguleringen 16

Faunaen før og etter regulering 19

Endringer i utbredelse av taksa 19

Livssyklusen til de enkelte artene 22

Døgnfluer 22

Baetis rhodani 22

Ameletus inopinatus 25

Ephemerella aurivilli 26

Steinfluer 30

Capnia sp 30

Protonemura meyeri 31

Amphinemura borealis 33

Leuctra hippopus 34

Leuctra fusca 35

Diura nanseni 37

Vårfluer 39
Ryachophila nubila 39
Apatania sp. 40
Glossosoma intermedia 41

5 Sammenfatning **43**
Fysiske effekter av reguleringen 43
Bunndyrsamfunnene 43
Vekst og livssyklus hos bunndyr 44

6 Takk **46**

7 Referanser **47**

Forord

Bunndyr har en viktig rolle i vassdragets økologi. De er sentrale i næringskjeden, og er selv næring for fisk og andre rovdyr. Mange bunndyrarter er ømfintlig overfor endringer både i vannføring og temperatur. Bunndyr er derfor mye brukt som indikator på vassdragets tilstand, og er blant de organismegruppene som er anbefalt til overvåking av økologisk status i forbindelse med EUs rammedirektiv for vann.

Aurlandsvassdraget i Sogn og Fjordane har vært regulert i flere trinn i perioden 1970 -1983, og i den forbindelse er det foretatt flere bunndyrundersøkelser. Sammen med de nåværende studier i regi av FoU-programmet Miljøbasert vannføring, gir dette en god anledning til å dokumentere endringer i bunndyrfaunaen som følge av regulering, både på faunasammensetningen og på de enkelte arters forekomst, livssyklus og produksjon. For forvaltningen vil dette gi økt kunnskap om konsekvensene av vassdragsinngrep, en forutsetning for en god og forsvarlig beslutningsprosess.

Oslo, juli 2005

Haavard Østhagen
leder styringsgruppe

John Brittain
programleder

Sammendrag

Fysiske effekter av reguleringen

Etter regulering har Aurlandsvassdraget fått elvestrekninger med kraftig redusert vannføring, hvor den viktigste er Vassbygdelvi. Vannføringen i Vassbygdelvi kommer fra et lavereliggende restfelt og fra frivillig slipp av vann fra magasin. Om vinteren er det lite og kaldt vann. Perioden med snøsmelting fra restfeltet er forholdsvis kort og vannet varmes raskt opp etter smeltingen. Om sommeren har vannet i Vassbygdelvi blitt betydelig varmere enn før regulering. Den nederste delen av denne delen av elva er også blitt varmere om vinteren, ettersom grunnvannets betydning er blitt større. Antall døgngrader pr. år nederst i Vassbygdelvi har økt med mer enn 500 grader sammenlignet med forholdene før regulering.

I Aurlandselvi bestemmer kjøring av kraftverkene Aurland I og Vangen i hovedsak vannføring og temperatur. Generelt har denne elvestrekningen blitt kaldere om sommeren grunnet tilførsel av kaldt bunnvann fra magasinene. Vanntemperaturen om vinteren har derimot økt litt. Ser en bort fra de sesongmessige endringene har antall døgngrader over ett år endret seg lite i Aurlandselvi.

Vannføringen er stabil innenfor reguleringsbestemmelsene i Aurlandselvi. Hyppigheten og størrelsen av flommer er kraftig redusert i forhold til situasjonen før regulering.

Bunndyrsamfunnene

Mangfoldet av arter har endret seg lite etter regulering. Økningen i antall taksa av vårfluer skyldes at de fleste ikke ble artsbestemt før regulering.

To steinfluearter, *Nemurella pictetii* og *Leuctra nigra*, er ikke gjenfunnet etter regulering. Effekten av inngrepet er trolig årsak til at *N. pictetii* ikke er påvist etter regulering, mens fraværet av *L. nigra* kan skyldes svært lav tetthet og at de har unngått å bli registrert.

Det er påvist effekter av reguleringene på bunndyrsamfunnene:

- Før utbygging var samlet antall taksa av døgnfluer, steinfluer og vårfluer 19 og 17, henholdsvis i Aurlandselvi og Vassbygdelvi. I 2002/03 var forholdet snudd med 24 og 22, henholdsvis i Vassbygdelvi og Aurlandselvi.
- Totalt ble det påvist 19 taksa før regulering, mens antallet var 26 i 2002/03. (Forskjellen skyldes i hovedsak bestemmelse av flere vårfluer i 2002/03).
- Det ble påvist markerte reguleringseffekter på døgnfluen *Ephemerella aurivilli.* Arten har fått betydelig økning i utbredelse ovenfor Vassbygdvatn.
- Tetthetene av steinfluen *Capnia sp*. er blitt større i Aurlandselvi etter regulering.

- Steinfluene *Taeniopteryx nebulosa, Brachyptera risi* og *Amphinemura borealis,* som hadde lav forekomst før regulering, fikk større tettheter både i Vassbygdelvi og Aurlandselvi etter regulering.
- Tettheten av steinfluer av slekten *Isoperla spp*. har avtatt i begge vassdragsavsnitt etter regulering.

Vekst og livssyklus hos bunndyr

Tidligere studier har konkludert med at vannføringsendringene har redusert drivet av organisk materiale, (dvs. utspyling av næringsstoffer) og insektlarver. Den reduserte vannføringen har også ført til økt andel av små individ/stadier av insektlarver i Vassbygdelvi. Dette har gitt en større individtetthet i elvebunnen, mens biomassen pr. arealenhet var lite endret.

De aller fleste insektene i Aurlandsvassdraget har en ettårig livssyklus. Endringene i temperatur etter regulering, spesielt i Vassbygdelvi, har ikke forårsaket kortere livssykluser. Hos de fleste artene klekker larver om høsten og vokser til store larver i løpet av vinteren og neste vår for så å klekke til imago. Det kan skilles mellom fire typer av vekst:

1. Eggene har varierende diapause før de klekker. Det finnes ulike larvestadier gjennom høst, vinter og vår og veksten er lite synkronisert.
2. Rask vekst av larver om høsten, stagnasjon om vinteren og ny vekst om våren før klekking til imago. Disse har en synkronisert livssyklus.
3. Larver som har en ubetydelig vekst høst og vinter, men med rask vekst om våren/sommeren før de klekker til imago. Også disse artene har en synkron livssyklus.
4. Larver som vokser både om høsten, vinteren og våren for så å klekke til imago. Blant disse kan det finnes taksa med både synkron og asynkron larvevekst.

De fleste artene i Aurlandsvassdraget har et vekstmønster likt type 3. Her finner vi døgnfluene *Ameletus. inopinatus, E. aurivilli,* og steinfluene *Capnia sp., Protonemura meyeri* og *Diura nanseni.* Alle artene har en synkron larveutvikling.

Til gruppe 4 hører døgnfluen *Baetis rhodani* og Vårfluen *Rhyacophila. nubila.* Disse larvene har en asynkron livssyklus og larver av forskjellige stadier finnes til de fleste tidspunkt.

Synkron livssyklus er tilpasset årstiden. Eggklekking og flyveperiode skjer derfor til gunstige perioder. Usynkron eggklekking, larveutvikling og flyveperiode er en strategi for å spre risiko. En ”katastrofe” behøver derfor ikke å utrydde hele populasjonen.

Det ble påvist endringer i veksten hos flere insektarter som følge av endringer i temperatur forårsaket av reguleringen. Økt temperatur i Vassbygdelvi har ført til 1 – 2 måneder tidligere klekking av *E. aurivilli* sammenlignet med klekkingen i Aurlandselvi. *B. rhodani* viste også opp til to måneders forskjell i utviklingen avhengig av temperatur. Veksten *hos B. rhodani* er også undersøkt for sesongene 1966/67, 1988/89 og 2002/03. Resultatet viste at larvene fra 2002/03 var størst og larvene fra 1988/89 var minst. Larvene fra 1966/67 så ut til å klekke tidligere i sesongen enn de andre årskullene. Størst demografisk likhet var det mellom populasjonen før utbygging og populasjonen i 2003/03. *B. rhodani* har to generasjoner i året. Den ene klekker om våren og vokser raskt gjennom sommeren for så å klekke til imago om høsten. Den andre klekker om høsten og vokser gjennom høst og vinter og klekker til imago om våren.

Veksten hos steinfluene *L. hippopus, L. fusca* og vårfluen *Apatania sp*. viser at disse taksa trolig påvirkes direkte av temperaturendringer som skyldes reguleringen. Døgnfluen *A. inopinatus* og steinfluen *Capnia sp*. hadde samme vekstforløp i Vassbygdelvi både før og etter utbygging, og var således ikke påvirket av temperaturendringene på denne elvestrekningen.

D. nanseni har hovedutbredelsen i Aurlandselvi. Det er ikke registrert noen endring i livsløpet hos denne arten. Det er heller ikke funnet endringer i vekst/livssyklusen hos noen av de andre steinfluene som kan tilskrives temperatur eller andre effekter av reguleringen.

Veksten hos insektlarvene i Aurlandsvassdraget er enten lineær eller eksponentiell mot antall døgngrader. Hos døgnfluene er det funnet lineær vekst, mens steinfluene dels har lineær og eksponentiell vekst. Den ene vårfluen som er undersøkt, *Apatania sp*., hadde lineær vekst.

1. Innledning

Aurlandselva er regulert ved bygging av en rekke kraftverk i perioden 1970 - 1983. I denne forbindelse ble det gjennomført flere for- og etterundersøkelser i vassdraget i regi av Zoologisk museum/LFI, Universitetet i Bergen. Innsamlingen av bunndyr før regulering ble utført i perioden 1966 - 1967 (Larsen 1968). Studiene omfattet de nedre delene av vassdraget, dvs. innløps - og utløpselv til Vassbygdvatn, kalt henholdsvis Vassbygdelvi og Aurlandselvi. Larsen (1968) undersøkte Vassbygdelvi fra innløpet til like ovenfor Belle bro, mens Aurlandselvi ble undersøkt med stasjoner fordelt over hele elvestrekningen. Materialet innsamlet og bearbeidet av R. Larsen (1968) er senere benyttet som referanse for alle undersøkelser utført senere.

Utbyggingen av vassdraget har foregått i forskjellige etapper. Det har vært utført en rekke undersøkelser knyttet til disse. Hensikten har vært å få et bilde av faunaen i elva under ulike reguleringer etter hvert som flere kraftverk ble tatt i bruk.

Et viktig kraftverk for reguleringen av Aurlandselvi er Vangen kraftverk (figur 1) som ble satt i drift i 1980. Det ble utført undersøkelser både før og etter oppstart av dette kraftverket (Raddum 1978, Raddum m. fl. 1991). I 1983 ble det siste kraftverket, Reppa, satt i funksjon (Tvede 1994). Med dette var vassdraget ferdig regulert. En stor etterundersøkelse ble så utført i perioden 1988 – 1989 (Raddum m. fl. 1991).

I 2003 ble det foretatt endringer i manøvreringsreglementet, først og fremst for å bedre forholdene for laksebestanden og dermed øke produksjonen av fisk.

Hensikten med det foreliggende prosjektet er å undersøke om den endrete manøvreringen av vassdraget, og dermed endrete temperaturforhold, har påvirket populasjonsstruktur/livssyklus hos døgnfluer, steinfluer og vårfluer. Disse bunndyrene utgjør en viktig del av elvas bunnfauna og er samtidig svært viktige næringselementer for ungfisk av aure og laks. Resultatene vurderes mot tidligere undersøkelser både fra før og etter regulering (Larsen 1968, Raddum 1978, Raddum m. fl. 1991 og Raddum og Fjellheim 1993).

Vi har benyttet de samme stasjonsområdene i Vassbygdelvi og Aurlandselvi som har vært brukt ved tidligere undersøkelser. Siden vi primært ønsker å fokusere på populasjonsstruktur/livssyklus, fant vi det tilstrekkelig å ta kvalitative prøver. Dette gjør at prøveinnsamlingen er mindre følsom for ugunstige vær- og vannføringsforhold.

2. Områdebeskrivelse og reguleringer

Aurlandsvassdraget ligger i Aurland kommune i den sør/østligste delen av Sogn og Fjordane. Området består for det meste av høyfjell hvor betydelige arealer ligger høyere enn 1400 m o.h. Her finnes også mindre isbreer. Det er trange daler og bratte fjellsider ned mot de bebygde delene mellom Vassbygdi og Aurlandsfjorden (Faugli 1994a).

Aurlandsvassdraget ble i 1969 klarert for kraftproduksjon (Faugli 1994b). Figur 1 viser hvordan vassdraget er bygd ut. Vassbygdelvi har stort sett mistet nedslagsfeltene som ligger høyere enn ca. 1000 m o.h. Restfeltet har svært liten magasineringsevne og er preget av hurtige vannfluktuasjoner. Vannet fra de høyereliggende områdene føres gjennom tunnelsystemer og kraftstasjoner hvor vannet til slutt ender i Vassbygdvatn. Et sentralt kraftverk i utbyggingen er Aurland I. Dette ble satt i drift med en turbin i januar 1973 og med to turbiner i januar 1975. Et tredje aggregat ble satt i drift høsten 1989 i denne stasjonen, et byggetrinn som så langt er det siste i vassdraget (Tvede 1994).

I september 1980 ble Vangen kraftverk satt i drift for å utnytte fallet mellom Vassbygdvatn og Aurlandsfjorden. Ved hjelp av denne stasjonen er det mulig å holde vintervannføringen i Aurlandselvi nær den uregulerte tilstanden. I perioden 1973 til 1980, før Vangen kraftverk ble bygget, hadde Aurlandselvi høy vintervannføring.

De øvrige kraftstasjonene i Aurlandsvassdraget, Aurland II, Aurland III og Reppa ligger i høyfjellet langt fra de nedre delene av vassdraget.

I Vassbygdelvi er det restfeltet og frivillige slipp av vann fra magasin som gir vannføringen. Temperaturen i elva er derfor underlagt naturlige forhold i restfeltet. Om vinteren renner lite og kaldt vann som ned dalen. Om våren vil snøsmeltingen i restfeltet danne vårflommen. Etter snøsmeltingen vil vannet varmes raskere opp enn før regulering siden smeltevann fra høyere deler, 522 km^2, er ført bort.

Overføringene førte til at Vassbygdelvi etter regulering fikk svært lav vannføring om vinteren og i tørre perioder. På grunn av det grove og porøse substratet i elveleiet kunne elvebunnen bli tørr på enkelte strekninger. I perioder med fare for tørrlegging har utbygger, siden 1995, sluppet ca. 0,3 $m^3 s^{-1}$ vann for å motvirke denne uheldige virkningen. Videre har elva blitt rensket opp og samlet i et løp i den nedre delen. Det har og blitt bygget terskler. Disse biotopjusteringene var fullført i år 2000. Undersøkelsene i 2002 – 2003 er derfor utført etter at tiltakene var ferdige.

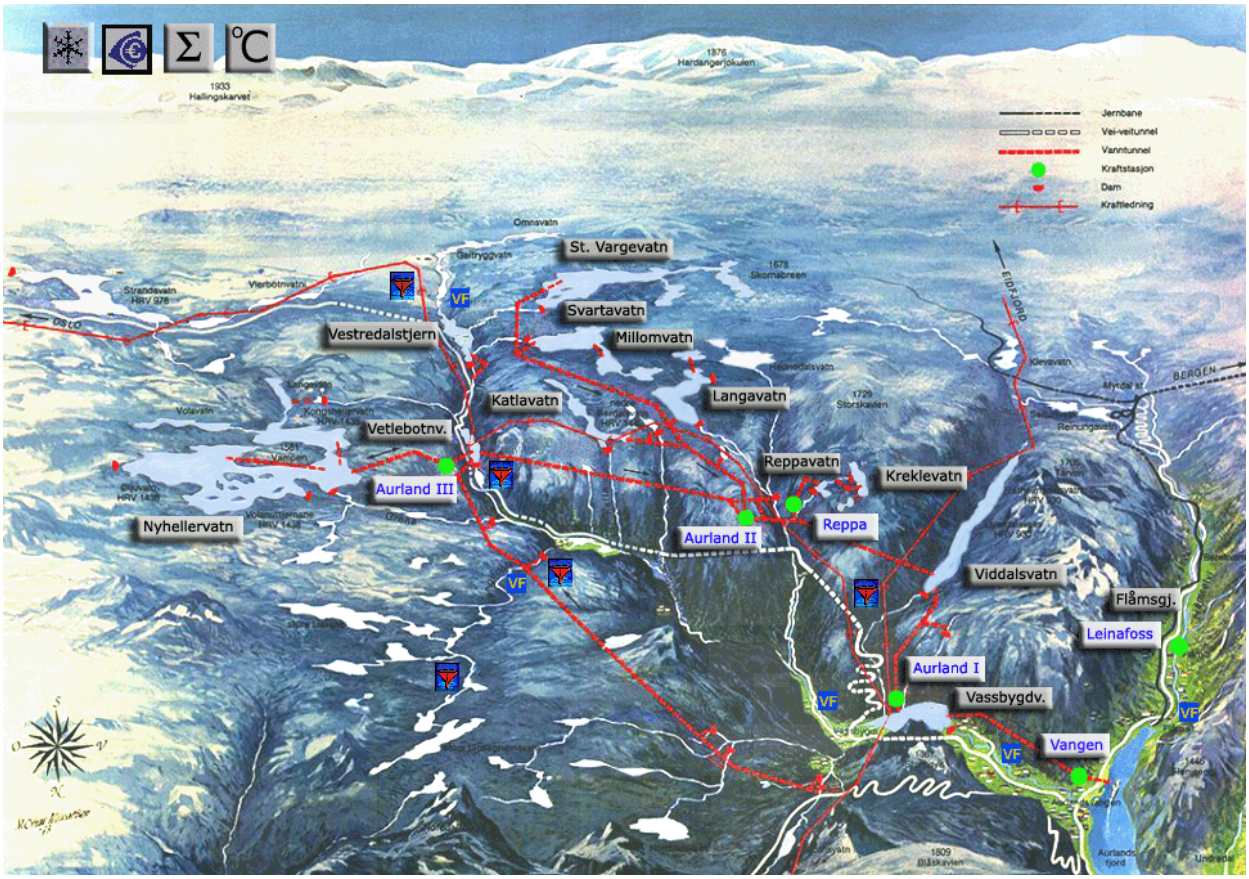


Fig. 1. Utbyggingen av Aurlandsvassdraget.

Fig. 2. Stasjonsplasseringen i Aurlandsvassdraget.

Grunnvann

Den nederste delen av Vassbygdelvi er påvirket av et betydelig grunnvannsinnsig. Dette grunnvannet er varmere enn overflatevannet om vinteren, og skaper til dels store temperaturforskjeller mellom stasjonene Belle Bro og Innløp Vassbygdvatnet (Figur 3). Eksempelvis var antall døgngrader målt i januar 2004 fire ganger større ved utløpet sammenlignet med Belle Bro. I sommermånedene juni, juli og august var grunnvannet kaldere enn overflatevannet. Dette gjenspeiles i at elvevannet ved Belle bro i denne perioden var noe varmere. Vi har ikke lignende nøyaktige temperaturdata fra perioden før regulering, men det er sannsynlig at reguleringen av vassdraget har forsterket temperaturforskjellene i Vassbygdelvi.

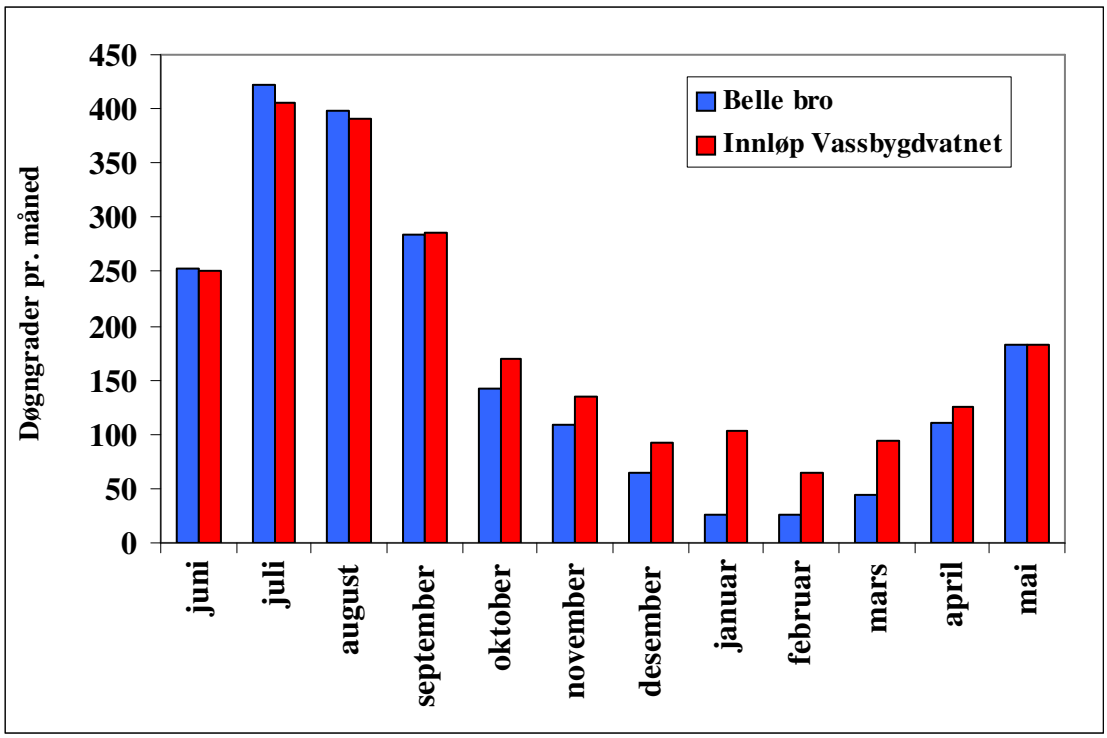


Fig. 3. Temperaturforskjellene mellom stasjonene Belle Bro og Innløp Vassbygdvatnet i perioden juni 2003 til og med mai 2004 målt som døgngrader pr. måned.

3. Metodikk

Stasjonsnett og prosedyre i felt

Stasjonsnettet for innsamling av prøver er vist på figur 2. Med unntak av stasjon 2 er stasjonsnettet likt det Larsen (1968) benyttet ved undersøkelsene før reguleringen.

1. Onstad ligger nederst i Aurlandselvi.
2. Oppstrøms fiskeanlegg. Denne stasjonen ble valgt i stedet for Larsens Trolløya. Vår begrunnelse er at Trolløya kunne være vanskelig tilgjengelig til enkelte tidspunkt.
3. Innløp Vassbygdvatn.
4. Belle bro.

Prøvene av bunndyr ble samlet inn ved hjelp av sparkeprøver (Frost m. fl. 1971). På hver stasjon ble bunnsubstratet rotet opp i ca. 10 - 15 sekunder foran en rotehov med maskevidde 0,25 mm. Denne prosessen ble foretatt på 6 – 10 ulike habitater på hver stasjon. Disse delprøvene ble slått sammen til en samleprøve for hver stasjon.

Temperaturmålinger

De foreliggende temperaturdata er dels logget i forbindelse med det foreliggende prosjektet og dels levert av E-CO Vannkraft. Temperaturdataene er komplette for hele prosjektperioden med unntak av Belle Bro i tidsrommet 3. juni 2002 - 27. mai 2003. Vi har rekonstruert temperaturen i dette tidsrommet fra temperaturdataene for Innløp Vassbygdvatnet. Dette ble gjort med følgende antagelse: det prosentvise døgnavviket mellom de to stasjonene var det samme som i det etterfølgende året.

Laboratoriearbeid

Sortering av prøvene ble utført under lupe i laboratoriet. Hele prøven ble først fordelt i en bakke. Herfra ble alle større larver og lett synlige bunndyr plukket ut. Deretter ble materialet delt opp i 16 like store deler. To deler ble sortert fullstendig under lupe. Benyttet forstørrelse var mellom 6 til 25 x. Det totale antall individer i prøven ble beregnet på basis av antallet i delprøvene og antallet plukket ut fra prøven før delingen.

Alle larver som kunne identifiseres, ble bestemt til art og deretter lengdemålt. Målingene ble utført på individene tatt ut ved første utplukk og på de som ble tatt ut fra delprøvene. Når antallet var > 20, ble målingene utført på 20 tilfeldige larver både fra delprøvene og fra utplukket fra hele prøven. Disse målingene ble samordnet for å kunne regne ut gjennomsnittslenge med variasjonsbredde.

Statistikk

For statistisk testing av enkelte sentrale arter ble flere metoder vurdert. Vi fant at den uparamertiske testen Wilcoxon Sum Rank Test (two-tailed) (Crawley, 2002) var den beste å bruke på materialet.

Det ble kjørt tester på to av de viktigste artene i vassdraget for å finne ut om larvenes lengde varierte mer enn tilfeldig fra stasjon til stasjon. Larver av *B. rhodani* fra Belle bro og Onstad ble testet for alle måneder i innsamlingssesongen 2002/03. I tillegg ble det testet om årsklassene 1966/67, 1988/89, og 2002/03 var like. Videre testet vi om det var forskjeller mellom larvene av *E. aurivilli* på alle stasjonene som ble undersøkt for alle månedene i innsamlingssesongen 2002/03.

4. Resultater med vurderinger

Fysiske virkninger av reguleringen

Vannføringen nederst i Aurlandsdalen er som nevnt kraftig redusert ved at 522 km^2 er ført bort fra vassdragsstrengene. Biotopjusteringer i form av terskler, opprensking, samling av elveløpet og slipping av vann har ført til at Vassbygdelvi fremstår som en elv med sesongmessige svingninger i forhold til restfeltet. Tørrlegging av enkelte strekninger er forhindret etter år 2000 gjennom tiltakene nevnt over.

Temperaturen på Onstad og Belle bro i 2003 var forholdsvis lik frem til midten av juli (figur 4). Slipping av vann fra Vassbygdvatn på dette tidspunkt fører til et markert temperaturfall på Onstad som varer frem til begynnelsen av september. Resten av året var temperaturforholdene på de to stasjonene mer eller mindre like.

I Vassbygdelvi er temperaturregimet endret betydelig etter regulering, se figur 5 og 6. Det er særlig perioden mai til juli som har fått økt temperatur. Temperaturforholdene i form av døgngrader for årene 1966/67, 1988/89 og 2003 (figur 6) for Vassbygdelvi indikerer en økning fra ca. 1500 døgngrader før regulering til ca. 2050 døgngrader i 2003. Antall døgngrader for Aurlandselvi ved Skjærshølen varierte lite for de samme årene og var i underkant av 1900 døgngrader pr. år.

Innløp Vassbygdvatn har flest døgngrader med 2360 og 2265 henholdsvis i 2002 og 2003 (figur 7). På Belle bro var det tilsvarende 2138 og 2039, mens Onstad hadde 2000 og 2056. Skjærshølen, som kan representere Oppstrøms fiskeanlegg, hadde for de to årene hhv. 1817 og 1870 døgngrader og fremstår således som den kaldeste lokaliteten. Sammenlignet med tidligere målinger har antall døgngrader endret seg relativt lite i Aurlandselvi. For flere detaljer om temperaturforholdene henvises til Tvede (1994).

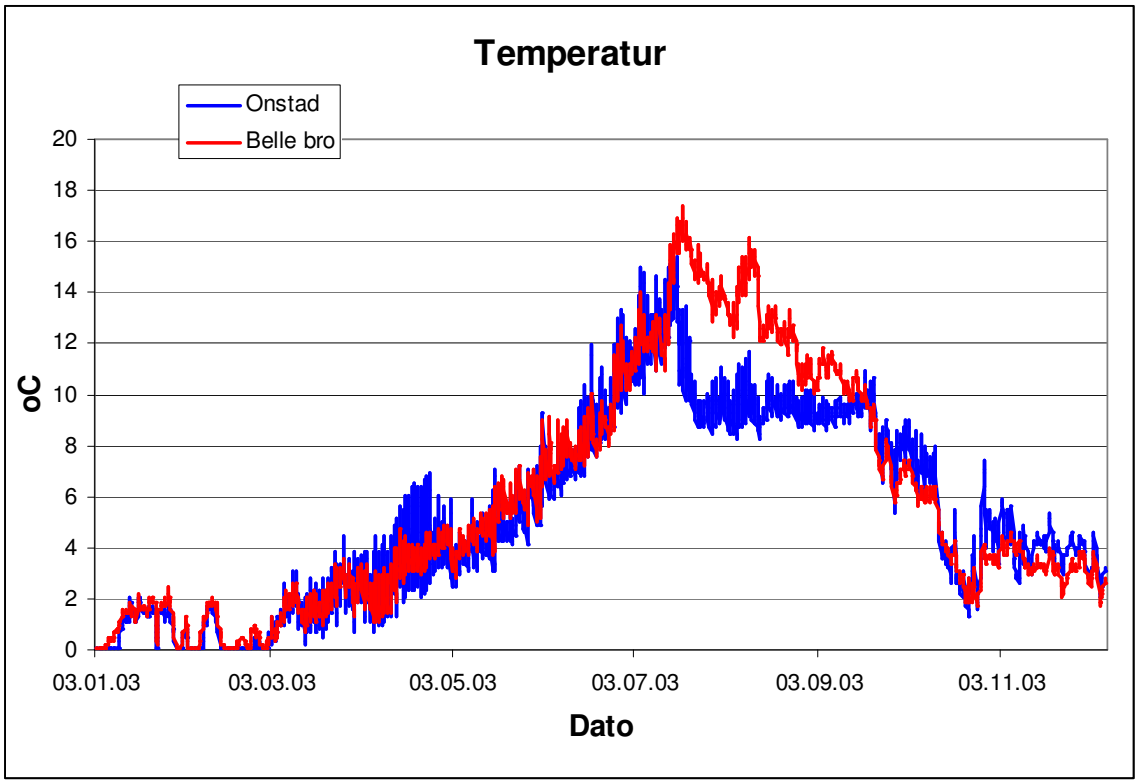


Fig. 4. Temperaturen gjennom 2003 på Onstad og Belle bro.

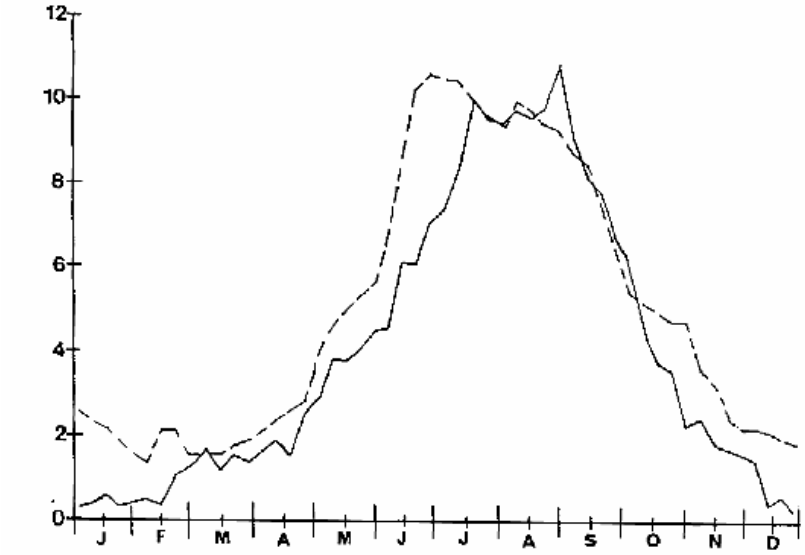


Fig. 5. Temperaturen i Vassbygdelvi i 1966/67 (heltrukket linje) og 1988/89 (stiplet linje) etter Raddum m. fl. (1991).

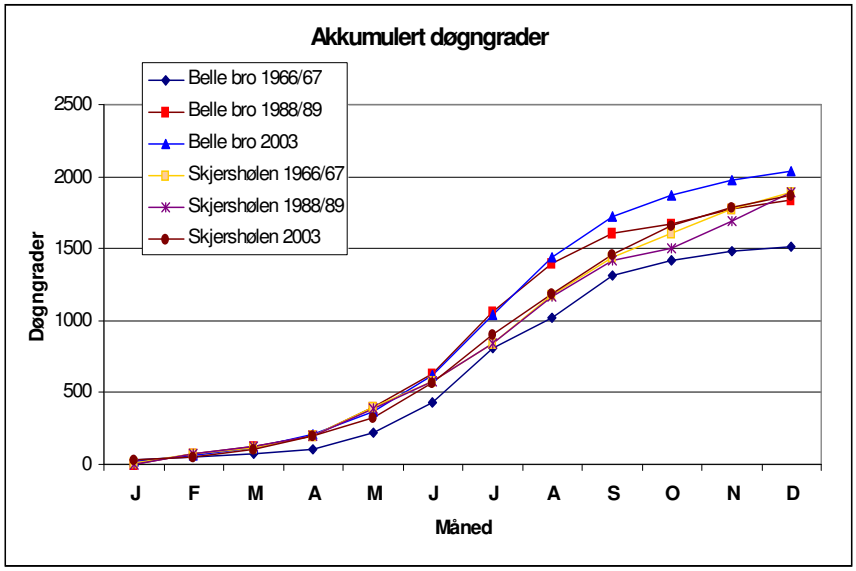
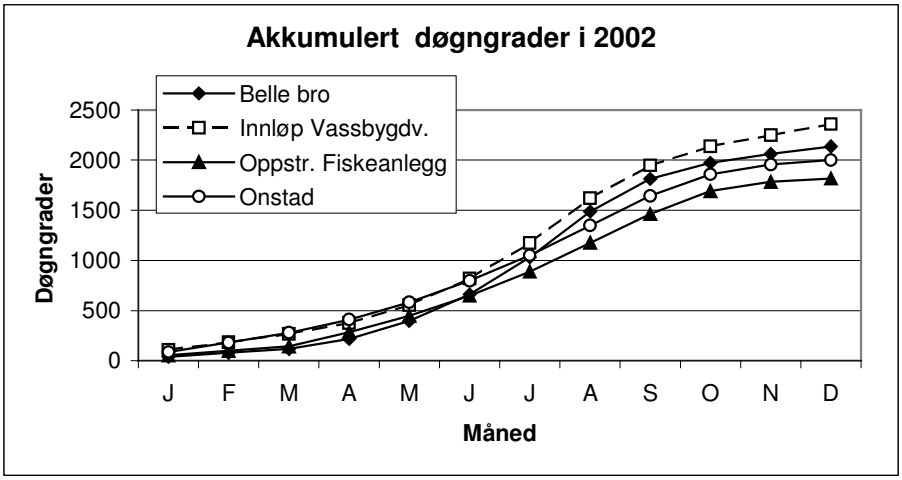


Fig. 6. Antall døgngrader i Vassbygdelvi ved Belle bro og Aurlandselvi ved Skjærshølen i 1966/67 1988/89 og 2003. Oppstrøms fiskeanlegg = Skjærshølen.



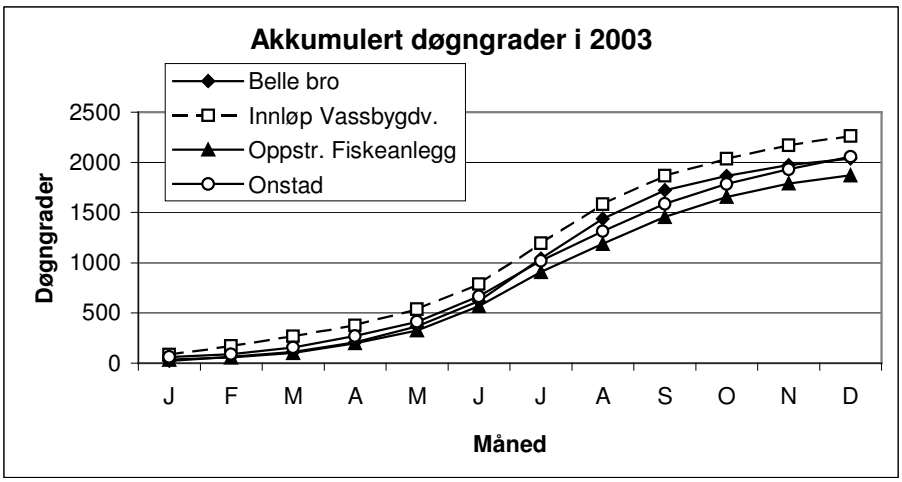


Fig. 7. Antall døgngrader på undersøkte stasjoner i 2002 og 2003.

Faunaen før og etter regulering

Det er tre hovedtyper av vekstmønster hos insektlarvene i Aurland. Disse er:

- rask vekst om våren/sommeren
- rask vekst om høsten
- vekst gjennom hele året.

Noen arter har også varierende grad av diapause innlagt i livssyklusen. For alle de nevnte vekstmønstrene har temperaturen direkte positiv påvirkning.

Vannføringen har betydning for driv av organismer og organisk materiale (Brittain & Eikeland 1988, Brusven 1984, Raddum & Fjellheim 1993). Dette påvirker først og fremst tettheten av larver og i noen grad populasjonsstrukturen hos enkelte arter. Vannføringen har trolig mindre betydning for livssyklus, eggklekking, vekst og flyveperiode. Temperaturen er derimot en meget viktig faktor for insektenes vekst og gjennomføring av livssyklus. Dette er studert for en rekke døgnflue- og steinfluearter (Hynes, 1941, Brinck 1949, Brittain, 1974, 1978, 1983, Lillehammer 1974, 1975, Saltveit & Lillehammer 1984).

De vannkjemiske forholdene i Aurlandsvassdraget anses som gode uten forsurings-problem (egne målinger og data fra E-CO Vannkraft AS). Forsuring vil derfor ikke være noen forstyrrende faktor for tolkningen av verken temperatur- eller vannførings-effekter.

Tabell 1 viser en oversikt over hvilke taksa av døgnfluer, steinfluer og vårfluer som er registrert i Aurlandsvassdraget før og etter regulering (Larsen 1968 og denne under-søkelsen). Det totale antall taksa etter regulering var 26, mens antallet før regulering var 19. Før regulering ble det påvist 19 taksa i Aurlandselvi og 17 i Vassbygdelvi. Denne fordelingen er snudd etter regulering med 24 taksa i Vassbygdelvi og 22 i Aurlandselvi.

Endring i utbredelse av taksa

Tre insekttaksa har fått markert endring i utbredelse etter reguleringen, døgnfluen *E. aurivilli* og steinfluene *Capnia sp*. (*C. pygmaea*) og *N. pictetii*. Førstnevnte art ble ikke funnet i Vassbygdelvi før regulering. Larsen (1968) nevner imidlertid at arten ble registrert i en sidebekk til hovedelva og følgelig var til stede i området. Etter regulering er *E. aurivilli* vanlig i stort antall både ved innløpet til Vassbygdvatn og ved Belle bro. Arten finnes og i et stort antall i Aurlandselvi slik som tidligere.

Capnia sp. var sporadisk til stede i Aurlandselvi før regulering, mens den var tallrik i Vassbygdelvi ved Belle bro og høyere opp i elva (Larsen 1968). På innløpet til Vassbygdvatn hadde den imidlertid lav forekomst. Etter regulering har disse larvene blitt vanlige også i Aurlandselvi.

N. pictetii var vanlig både ovenfor og nedenfor Vassbygdvatn før regulering. Denne arten er ikke registrert i nevnte lokaliteter i 2002/03. Arten er lett å identifisere.

Det er derfor lite trolig at *N. pictetii* er forveksling med noen andre. Grunnen til at denne arten er slått ut skyldes mest sannsynlig forhold knyttet til reguleringen. Arten har størst utbredelse i den alpine sone, kalde områder, og kan her ha en toårig livssyklus (Brittain 1978).

En annen art som ble registrert før regulering, men ikke gjenfunnet etter regulering er *L. nigra,* som forekom sporadisk i Larsens materiale. På den annen side ble det i 2002/03 registrert en art*, N. avicularis.* Denne arten ble beskrevet som ny for Vestlandet etter Larsens undersøkelser (Sættem 1981).

Det er registrert flere vårfluer i den foreliggende undersøkelsen sammenlignet med undersøkelsen før reguleringen. Dette skyldes først og fremst at flere arter ble artsbestemt i 2002/03. Det er imidlertid påfallende at Larsen (1968) ikke nevner *Glossosoma intermedia,* som er lett å identifisere. Det er sannsynlig at *G. intermedia* har fått bedre forhold etter regulering.

Den øvrige faunasammensetningen oppfattes som mer eller mindre lik før og etter regulering, men enkelte arter kan i varierende grad ha fått endret utbredelse. Dette gjelder flere av steinfluene. Eksempelvis var *T. nebulosa* og *B. risi* sjeldne både i Vassbygdelvi og Aurlandselvi før regulering og forholdsvis vanlige i Aurlandselvi etter regulering. Også *A. borealis* var meget vanlig i Aurlandsvassdraget etter regulering. Det er imidlertid usikkert om denne steinfluen har økt, siden Larsen (1968) i liten grad bestemte artene innenfor familien *Amphinemura*.

Undersøkelsene i 2002/03 viste lave tettheter av *Isoperla spp*. Larsen (1968) identifiserte artene *I. grammatica* og *I.* obscura og oppgir førstnevnte som vanlig både i Vassbygdelvi og Aurlandselvi. Etterundersøkelsene tyder på reduserte bestander av *Isoperla spp.* sammenlignet med Larsen (1968).

Sjeldne steinfluer i Aurland etter regulering er *Nemoura cinerea* og *N. avicularis.* Sistnevnte art ble ikke registrert på vestlandet før 1977 (Sættem 1981).

Tabell 1. Oversikt over taksa av døgnfluer, steinfluer og vårfluer påvist i 2002/03 etter regulering og i 1966/67 før regulering (etter Larsen 1968). X = vanlig, * = sjelden, (*) = sporadisk forekomst.

	2002-2003		**Larsen 1966/67**	
	Aurlandselvi	**Vassbygdelvi**	**Aurlandselvi**	**Vassbygdelvi**
Døgnfluer				
Baetis rhodani	x	x	x	x
Ameletus inopinatus	*	x	(*)	x
Ephemerella aurivilli	x	x	x	
Steinfluer				
Taeniopteryx nebulosa	(x)	(*)	*	*
Brachyptera risi	x	(*)	*	*
Capnia sp.	x	x	(*)	x
Protonemura meyeri	x	x	x	x
Amphinemura sulcicollis	x	x	x	x
A. borealis	x	x	*	*
Amphinemura sp.	x	x		
Leuctra hippopus	x	x	x	x
L. fusca	x	x	x	x
L. nigra			(*)	
Diura nanseni	x	x	x	x
Isoperla spp.	*	*	x	x
Nemoura cinerea	(*)		*	*
N. avicularis	(*)			
Nemoura sp.		*		
Nemurella pictetii			x	x
Vårfluer				
Apatania sp.	x	x		
Potamophylax sp.	x	*		
Halesus radiatus	x	x		
Limnephilidae	x	x	x	x
Glossosoma intermedia	x	x		
Hydroptila sp.		(*)		
Rhyacophila nubila	x	x	x	x
Polycentropus flavomaculatus		(*)	*	*
Philopotamus montanus		(*)		
Totalt antall taksa	**22**	**24**	**19**	**17**

Forekomsten av vårfluer er som nevnt vanskelig å sammenligne før og etter regulering siden nivået på identifiseringen er forskjellig. Taksaene *Apatania sp.*, *Potamophylax sp.* og *Halesus radiatus* hører alle til gruppen *Limnephilidae* og kan ha vært inkludert i Larsens materiale.

G. intermedia er forholdsvis vanlig i materiale fra 2002/03. Denne arten var også vanlig i materialet fra 1988/89 (Raddum m. fl. 1991, Fjellheim & Raddum 1998).

Livssyklusen til de enkelte artene

Alle registreringene er satt opp i appendix tabell 1. Livssyklus og vekst hos de enkelte artene vil bli beskrevet der datagrunnlaget er godt nok for dette. Vekst i forhold til døgngrader er, på bakgrunn av regresjonskoeffisientene, betegnet lineær eller eksponentiell.

Døgnfluer

Baetis rhodani

B. rhodani var den tallrikeste av de artsbestemte insektene i Aurlandsvassdraget (denne undersøkelse og Raddum m. fl. 1991). Figur 8 viser lengdefordelingen av larvene gjennom årene 1966/67, 1988/89 og 2002/03. Materialet som er analysert fra før regulering er innsamlet på stasjon Trolløya. Dette stedet ligger ca. 3 km ovenfor Onstad og ca. 1,2 km nedenfor vår stasjon Oppstrøms fiskeanlegg. Dataene fra 2002/03 viser liten forskjell mellom Onstad og Oppstrøms fiskeanlegg. Siden Trolløya ligger mellom nevnte stasjoner, er det lite sannsynlig at utviklingen her er vesentlig forskjellig fra de nevnte stasjonene. Utviklingen på Trolløya før regulering er derfor tilnærmet sammenlignbar med utviklingen på Onstad i 1988/89 og 2002/03.

Før regulering registrerte Larsen (1968) nyklekte larver nesten gjennom hele året på Trolløya. Tetthetene av disse avtok betydelig i løpet av mars og arten var borte fra prøvene i begynnelsen av april og i mai. Små larver ble funnet i september/oktober og i februar/mars. Fullvoksne larver og imago kunne forekomme fra april til november. Markerte topper i flyveperiode ble registrert i mai og oktober og Larsen (1968) mente at dette kunne tyde på to generasjoner av larver i året. Han antok at det var en sommergenerasjon av larver som stammet fra egg lagt i mai og en vintergenerasjon som utviklet seg fra egg lagt om høsten. Lignende livssykluser ble funnet av Bækken (1981) i et subalpint område i Eksingedalsvassdraget. Den fleksible livssyklusen til *B. rhodani* gjør den er svært utbredt og er i stand til å leve under forskjellige forhold (Illies 1978).

Undersøkelsene på Trolløya i 1988/89 (Raddum m. fl. 1991) viser en fremskyndet livssyklus (figur 8). Nyklekte larver dominerer i august/september. Deretter finnes det en liten klekketopp av larver i mars april. Nyklekte larver hadde derimot lav forekomst i mai og juni. Det var en markert økning i forekomsten av voksne larver og imago i mai og juni og i meget liten grad registrert store larver om høsten, slik Larsen (1968) registrerte. Undersøkelsene i 2002/03 på Onstad viste at den markerte toppen med fullvoksne larver av *B. rhodani* i mai/juni i 1988/89 var forskjøvet til august (figur 8). De nyklekte larvene forekom deretter i høyt antall fra og med september til og med mars. Fra mai til august var de nesten ikke tilstede.

Forskjellene i livssyklus hos *B. rhodani* kan forklares med temperaturforskjeller før og etter regulering. Det var mye kaldt smeltevann om våren og tidlig om sommeren før regulering. Undersøkelsene i 1988/89 viste at vintertemperaturen hadde økt noe, mens forholdene tidlig om sommeren var lite endret. Sent om sommeren og om

høsten var temperaturen noe lavere sammenlignet med 1966/67 (Raddum m. fl. 1991). I 2002/03 var temperaturen i Aurlandselvi om vinteren tilnærmet lik forholdene før regulering. Sommertemperaturen var derimot fortsatt noe lav, spesielt i juli og i begynnelsen av august. Veksten av *B. rhodani* gjennom året er også mest lik for 1966/67 og 2002/03. Manøvreringen av kraftverkene har derfor gått i retning av å nærme seg forholdene før regulering.

For *B. rhodani* viste de statistiske testene at populasjonene fra stasjonene Belle bro og Onstad var signifikant forskjellige med p verdier < 0,001 for alle månedene bortsett fra juli 2002 og mars 2003.

Sammenlikningen av larver fra sesongene 1966/67, 1988/89 og 2002/03 viser at årsklassene er nokså ulike (tabell 2, figur 9) med hensyn på demografi og livssyklus. Larvene fra 2002/03 var størst og larvene fra 1988/89 var minst. Likevel ser larvene fra 1966/67 ut til å klekke tidligere i sesongen enn de andre årskullene. Testene årsklassene imellom er usikre da vi mangler noen av orginalmålingene fra sesongene 1966/67 og 1988/89.

Tabell 2. Resultatene av størrelsessammenlikningen av *B. rhodani* for årsklassene 1966-67, 1988-89 og 2002-03 med Wilcoxon Sum Rank Test. Brøken viser antall signifikante tester / antallet totale tester. Desimaltallene viser andelen av testene som er signifikante. Testen er signifikant dersom forskjellen i størrelse mellom to innsamlingsstasjoner er større enn forventet ut ifra en tilfeldig fordeling.

	1966-67	**1988-89**	**2002-03**
1966-67		7/10	8/10
1988-89	0,7		7/9
2002-03	0,8	0,78	

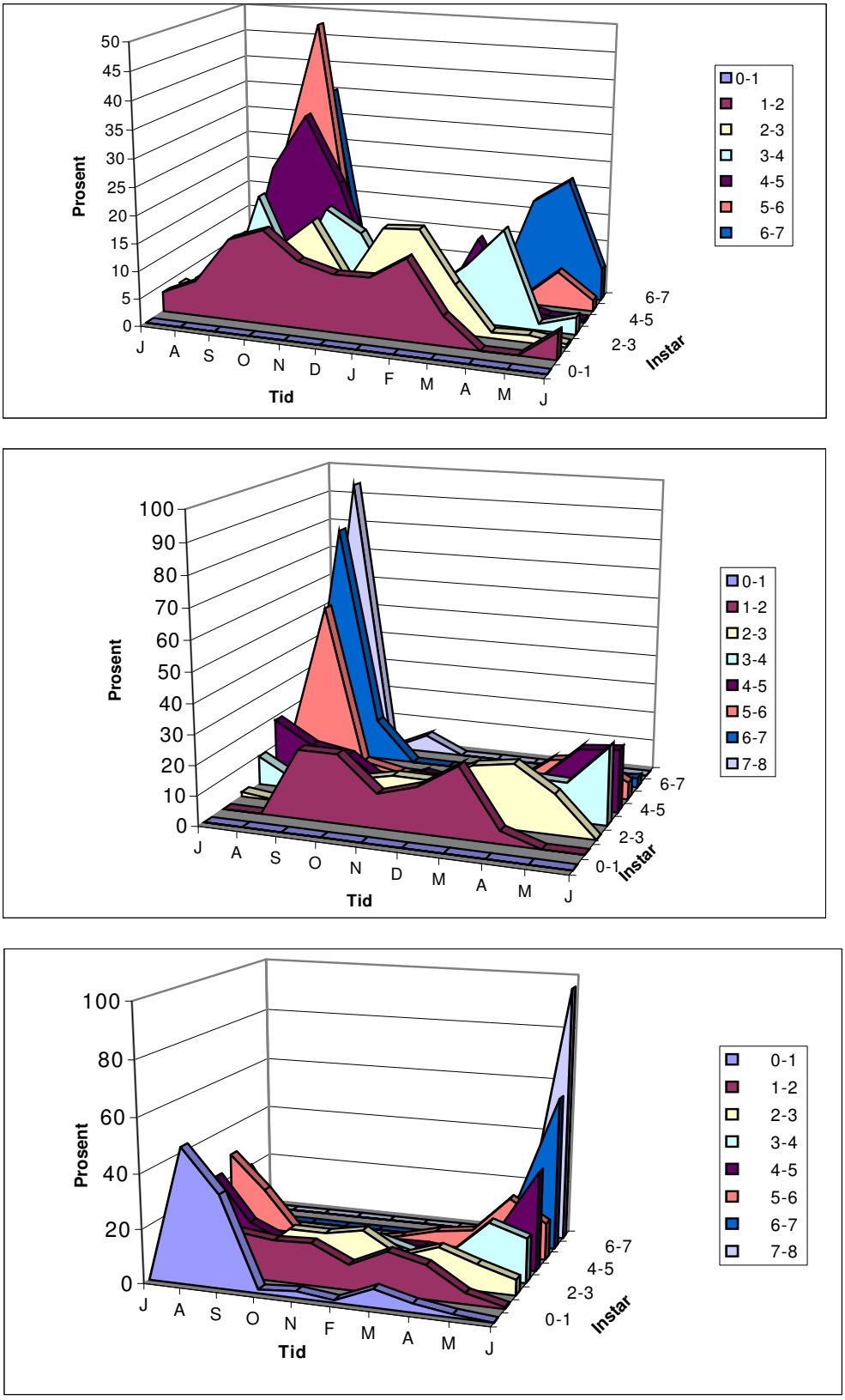


Fig. 8. Lengdefordelingen av *B. rhodani* i 1966/67 (øverst), 1988/89 (midten) og 2002/03 (nederst).

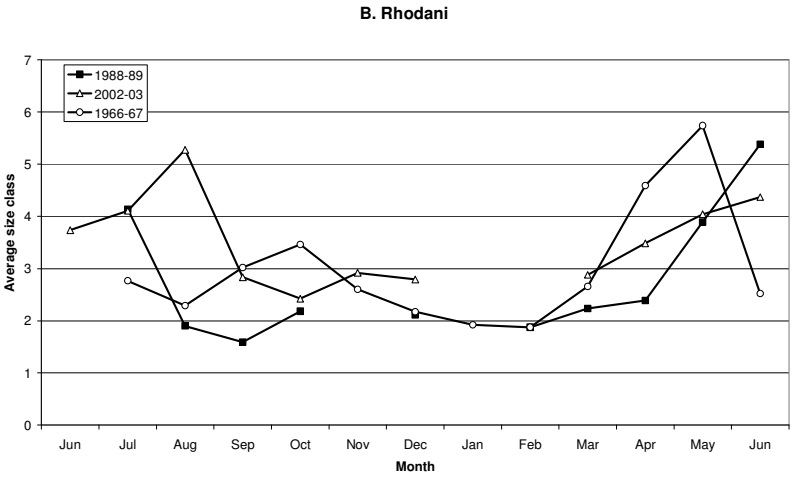


Fig. 9. Gjennomsnittlige størrelsesklasser av *B. rhodani* for innsamlingssesongene 1966-67, 1988-89 og 2002-03 ved Belle bro. Målingene er brukt i de statistiske testene.

Ameletus inopinatus

Denne døgnfluen ble i hovedsak registrert i Vassbygdelvi. Forekomsten var størst på stasjonen Innløp Vassbygdvatn. Larsen (1968) registrerte også størst tetthet av arten her. Han sier imidlertid at artens hovedutbredelse var høyere opp i vassdraget. Figur 10 viser at nyklekte larver først opptrer i september, samme tidspunkt som Larsen (1968) oppgir. Han sier videre at flygeperioden startet i begynnelsen av mai og varte til slutten av august. I vårt materiale har vi store larver i mai til august i 2002, mens disse forekom i mai og juni i 2003. Beskrivelsen til Larsen (1968) angående lang flyveperiode og tidspunkt for nyklekte larver synes å stemme med våre funn. Det er således ikke noen hodepunkter for at *A. inopinatus* har fått endret livssyklus eller populasjonsstruktur grunnet reguleringen.

Veksten hos *A. inopinatus* i forhold til døgngrader (Figur 11) antyder at arten har en lineær vekst i forhold til temperatur.

Data fra Innløp Vassbygdvatn viser at larvene trenger ca. 1300 døgngrader til å fullføre larvestadiet. Endrede temperaturforhold er derfor neppe noen begrensende faktor i noen av lokalitetene. Den direkte sammenhengen mellom temperatur og vekst viser at temperaturen i vesentlig grad bestemmer utviklingsstadium til gitte tidspunkt. Temperaturforholdene vil derfor også bestemme flyveperiode. Det skal påpekes at de nyklekte larvene viser en helt synkron klekking i september på begge stasjonene både i 2002 og 2003, selv om differansen mellom lavest og høyest antall døgngrader på stasjonene er ca. 300.

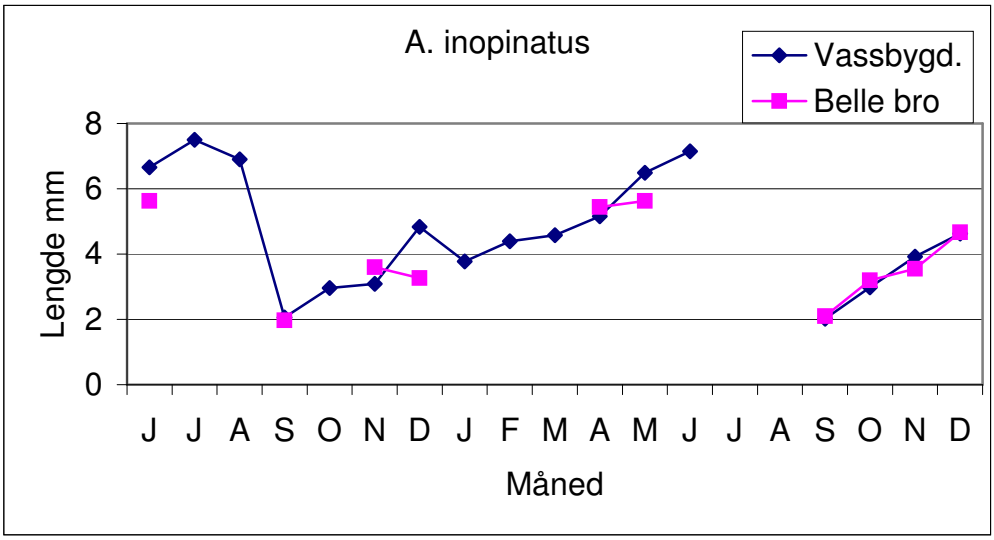


Fig. 10. Larveutviklingen til *A. inopinatus* i Vassbygdelvi.

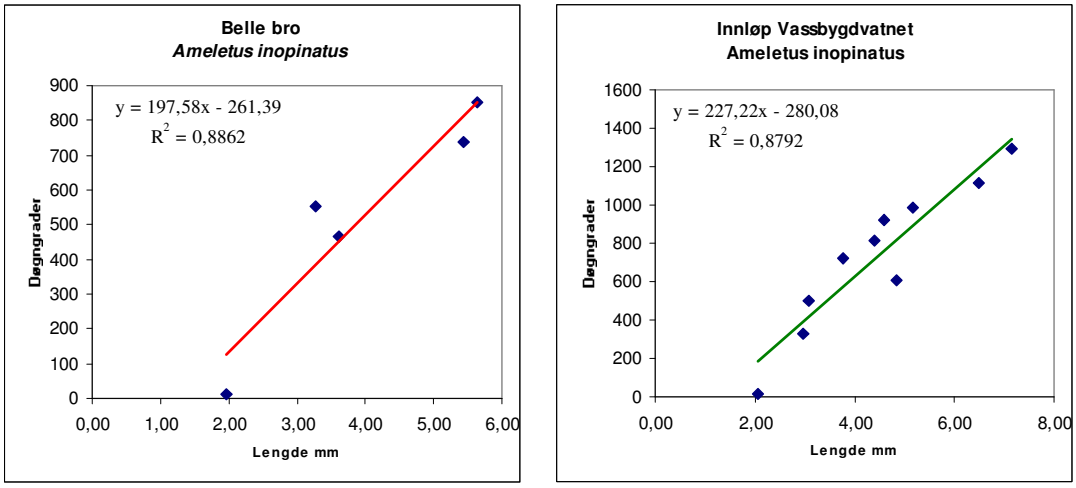


Fig. 11. Vekst av *A. inopinatus* i forhold til døgngrader på Belle bro (venstre) og Innløp Vassbygdvatn (høyre).

Ephemerella aurivilli

Livssyklusen til *E. aurivilli* gjenspeiler temperaturforskjellene mellom Aurlandselvi og Vassbygdelvi (figur 12). Det var fullvoksne larver i perioden april – juni på Belle bro. På Onstad fortsetter larvene å vokse frem til juni/juli. Tilsvarende finner en at de nyklekte larvene kommer i juli på Belle bro, mens en må vente til august/september på Onstad. Et lignende forhold er observert mellom stasjonene Oppstrøms fiskeanlegg og Innløp Vassbygdvatn. Dette tyder på at livssyklusen var 1 til 2 måneder raskere i Vassbygdelvi enn i Aurlandselvi i undersøkelsesperioden.

De statistiske testene underbygger dette og viser at lengden av larvene til *E. aurivilli* til ulike tidspunkt er nokså lik for stasjonene Belle bro og Innløp Vassbygdvatnet. I Aurlandselvi er larvene også forholdsvis like på stasjonene Oppstrøms Fiskeanlegg og Onstad (tabell 3). Videre viser testene at populasjonsstrukturen er nokså forskjellig

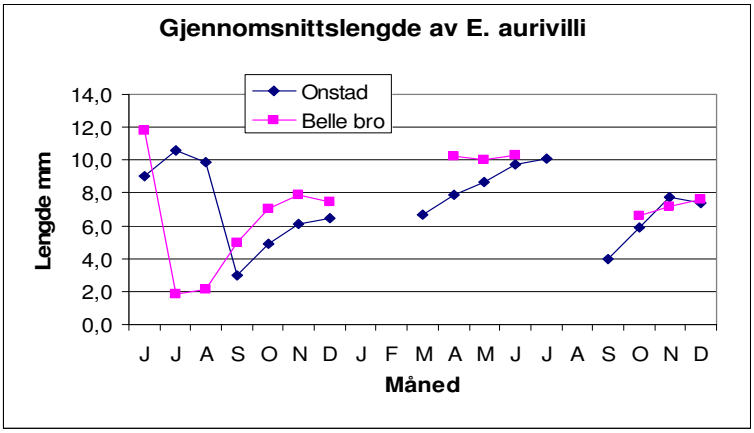
når stasjonene i Vassbygdelvi sammenlignes med stasjonene i Aurlandselvi. Larvene fra Belle bro og Innløp Vassbygdvatnet er større og klekker tidligere enn larvene fra Oppstrøm Fiskeanlegg og Onstad. Sammenligner vi Belle bro og Onstad var larvene signifikant større på Belle bro i 8 av 11 måneder og underbygger at livssyklusen går 1 – 2 måneder raskere i Vassbygdelvi som nevnt over (figur 12).

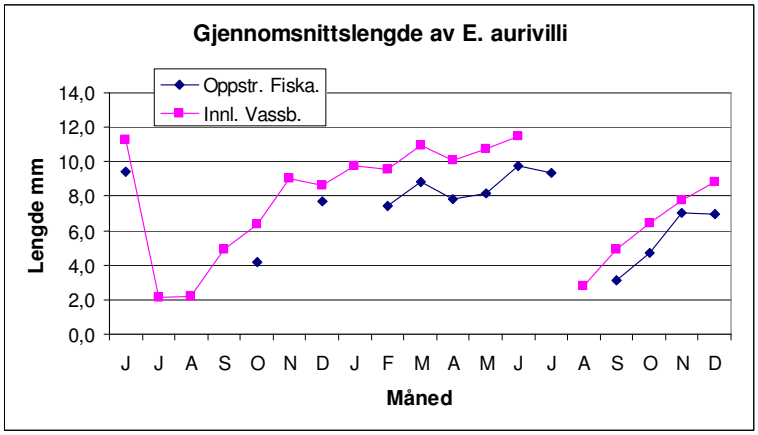
Tabell 3. Resultatene av størrelsessammenlikningen av *E. aurivilli* for stasjonene Belle bro, Innløp Vassbygdvatnet (Innløp Vassb.), Oppstrøm Fiskeanlegg (Opp. Fisk.) og Onstad med Wilcoxon Sum Rank Test. Brøken i tabellen viser antall signifikante tester/ antall totale tester. Det er utført en test for hver måned. Panelet under skillet viser andelen av testene som viser signifikante forskjeller. Testen er signifikant dersom forskjellen i larvestørrelse mellom to innsamlingsstasjoner er større enn forventet ut ifra en tilfeldig fordeling.

	Belle bro	**Innløp Vassb.**	**Opp. fisk.**	**Onstad**
Belle bro		4/13	7/10	8/13
Innløp Vassb.	0.31		8/11	10/15
Opp. fisk.	0.7	0.73		2/12
Onstad	0.62	0.67	0.17	

En sammenligning av *E. aurivilli* på Onstad i 2002/03 og Trolløya 1966/67 (figur 12) viser at de nyklekte larvene begynte å komme i august før regulering, men hoved-klekkingen av larver var i september. Klekkingen av larver i 2002/03 skjedde også i september. Klekkingen av imago var også forholdsvis lik til de to tidspunktene. Vi kan ikke teste forskjellene statistisk av mangel på rådata før regulering. Forskjellene mellom 1966/67 og 2002/03 er imidlertid så små at vi vurderer disse til å ligge innenfor naturlig variasjon.

Vekstkurvene på de to stasjonene Innløp Vassbygdvatn og Onstad var svært like (figur 13). På Innløp Vassbygdvatn finnes det store larver fra mars/april til juni. De voksne larvene forsvinner fra lokalitetene i juni. Dette indikerer at fullvoksne larver kan være klare for klekking til voksne insekt i opp til 2 måneder. Antall døgngrader fra nyklekte larver i juli til de første voksne larvene i mars/april er mellom 1300 og 1400 i Vassbygdelvi (figur 13). På Onstad er forløpet omtrent det samme, men her er det ingen tydelig hvileperiode før larvene klekker til voksne insekt (figur 12). Dette tyder på at larver av *E. aurivilli* som er tidlig utviklet venter på et ytre stimulus før de flyr, et stimulus som allerede er til sted på Onstad når larvene er fullvoksne. Hvile-perioden i Vassbygdelvi vil synkronisere livssyklusen slik at ulik vekst av larvene ikke bringer flyveperioden ut av fase. På den annen side kan lave temperaturer føre til at larvenes vekst og klekkingen til voksne insekt blir så forsinket at flyveperioden kommer i en periode med ugunstige forhold. I 1966/67 var det totale antall døgn-grader pr. år ca. 1500 ved Belle bro. Dette er sannsynligvis nok for larveveksten, men for hele livssyklusen må vi også ta i betraktning temperaturbehov knyttet til flyveperiode og eggstadiet.





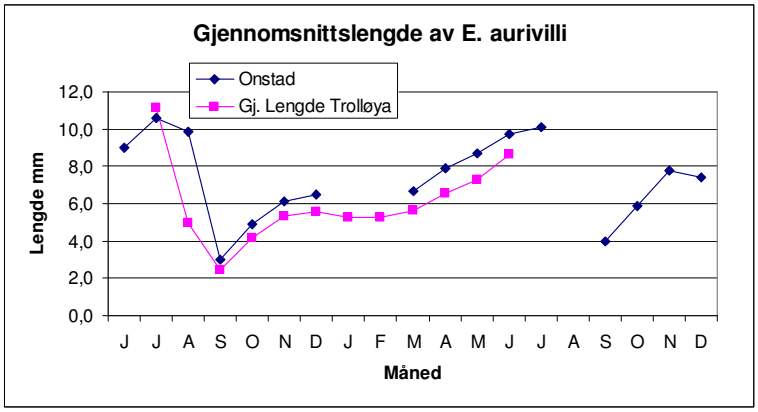


Fig. 12. Utvikling av *E. aurivilli* på Onstad og Belle bro (øverst), på Oppstrøms fiskeanlegg og Innløp Vassbygdvatn (midten) i 2002/03. Nederste bilde viser utviklingen på Onstad i 2002/03 og på Trollløya i 1966/67.

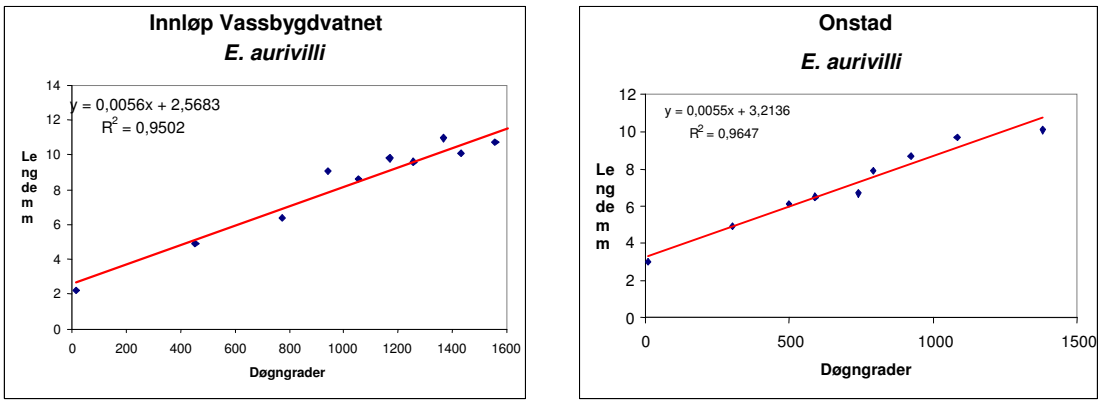


Fig. 13. Vekst av *E. aurivilli* på Innløp Vassbygdvatn og Onstad i forhold til døgngrader.

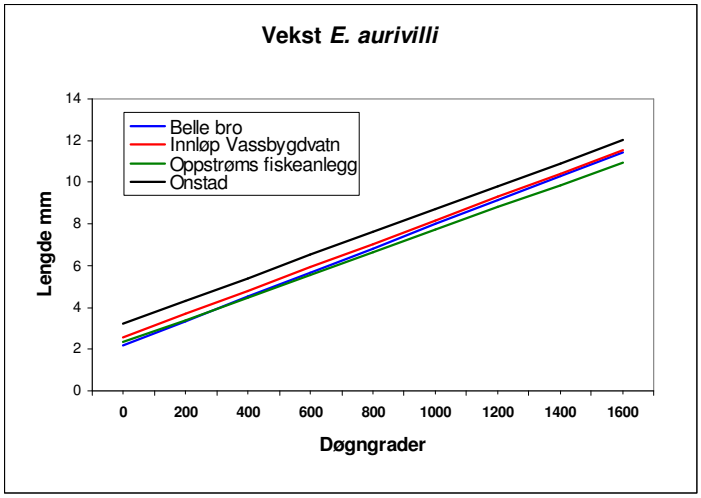


Fig. 14. Vekstkurver for *E. aurivilli* på 4 lokaliteter i Aurlandsvassdraget.

Det kan derfor ha vært for lav vanntemperatur for gjennomføring av livssyklus i Vassbygdelvi før regulering. Til sammenligning hadde Belle bro godt over 2000 døgngrader både i 2002 og 2003.

Aurlandselvi hadde før regulering ca. 1800 - 1900 døgngrader. Etter regulering har varmemengden endret seg lite, men kanskje med en økende tendens. For årene 1988/89 og 2002/03 har verdiene ligget mellom 1800 og 2050 døgngrader, men fordelingen gjennom året har vært forskjellig.

Veksten hos *E. aurivilli* viser en lineær vekst i forhold til døgngrader (figur 13). Vekstforløpet er svært likt på de ulike stasjonene, se figur 14. Forskjellene i linjenes plassering skyldes at startpunktene varierer avhengig av størrelsen på larvene ved første registrering.

Steinfluer

Materialet av artene *T. nebulosa*. *B. risi*, *Isoperla sp*., *Nemoura sp*. og *N. avicularis* var for lite til vekstanalyser. Alle artene er imidlertid ettårige.

Capnia sp.

Capnia sp. domineres sannsynligvis av arten *C. pygmaea.* I vårt materiale var *Capnia sp*. vanlig på Onstad og Innløp Vassbygdvatn, mens tettheten var lav på de to øvrige stasjonene. Lengdefordelingen til larvene er fremstilt i figur 15 for Onstad og Innløp Vassbygdvatn.

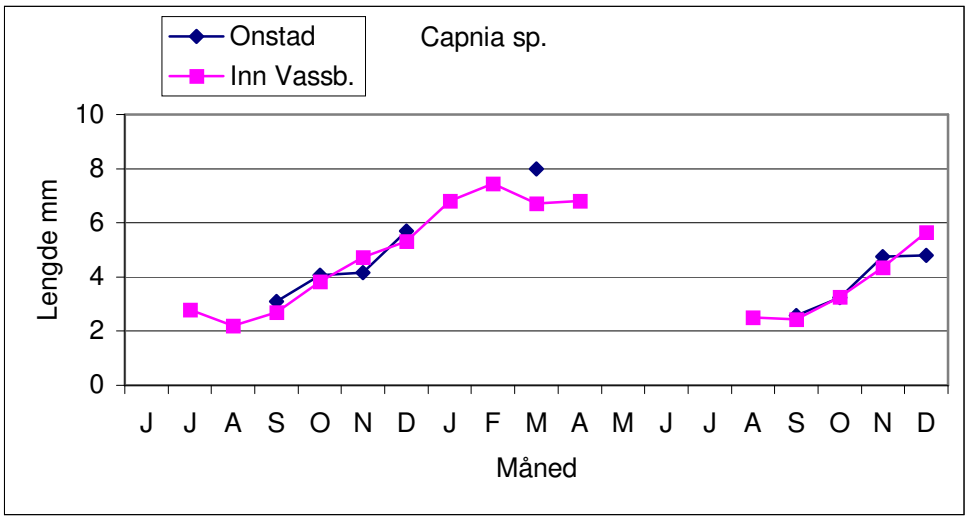


Fig. 15. Vekst av *Capnia sp.* på Onstad og Innløp Vassbygdvatn.

Capnia sp. forkom i høyt antall på Innløp Vassbygdvatn, mens den ble registrert mer uregelmessig på Onstad. Larvene hadde forholdsvis lik vekst både ovenfor og nedenfor Vassbygdvatn, uten påvirkning av endringene i temperatur eller vannføring. De nyklekte larvene kom i juli og august i 2002, mens de kom i august/september i 2003. I et subalpint område på vestlandet vokste larvene raskt om høsten frem til november og fra februar til de klekker om våren, dvs. ved lav temperatur (Bækken 1981). Dette samsvarer med våre observasjoner. Det skal bemerkes at Vassbygdelvi var ca. 100 døgngrader kaldere i 2003 sammenlignet med 2002, mens Aurlandselvi ved Onstad var litt varmere. Temperaturforskjeller kan muligens forklare litt senere larveklekking i 2003 på innløp Vassbygdvatn.

På Innløpet til Vassbygdvatn var larvene av *Capnia* fullvoksne ved ca. 1200 døgngrader (figur 16). Dette tilsier at temperaturforholdene både før og etter regulering tilfredsstiller kravene til *Capnia sp*. Veksten er eksponentiell og antyder rask vekst om våren før klekking til voksne insekt.

Utbredelsen av *Capnia sp.* har som nevnt trolig lite å gjøre med temperaturforholdene. Arten har høy vintervekst. Den tilsynelatende økte forekomsten av *Capnia sp.* i Aurlandselvi etter regulering er derfor vanskelig å knytte til temperatur.

Den stabile vannføringen gjennom vinteren med fravær av flommer kan være positivt for *Capnia sp.* Det kan også være endringer i biotiske forhold som kan ha hatt positivt virkning på arten.

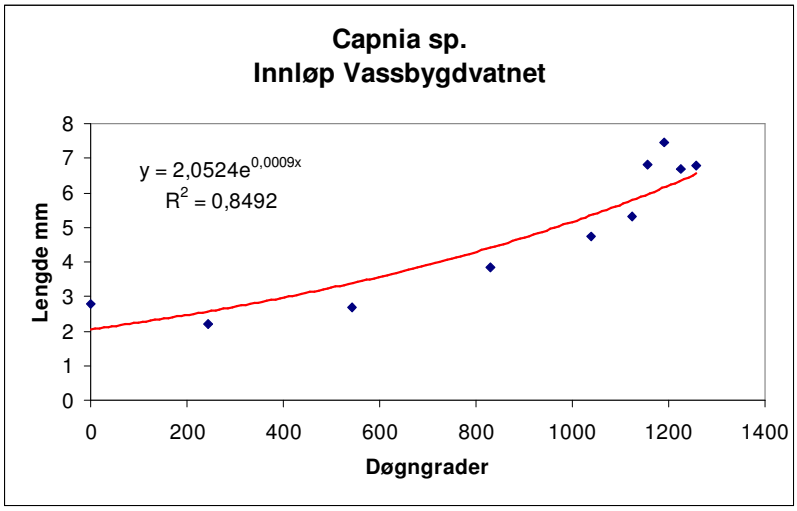


Fig. 16. Vekstkurve for *Capnia sp*. på Innløpet til Vassbygdvatn.

Protonemura meyeri

Denne steinfluen var vanlig på alle stasjonene. Larvene klekker i juli/august (figur 17). De vokser jevnt gjennom høsten vinteren og flyr i mai. På Onstad ble det imidlertid registrert noen store larver også i juni. Dette kan tyde på en forsinkelse sammenlignet med de andre stasjonene, men materialet er for lite til å bli testet statistisk. Det skal dessuten bemerkes at det ble funnet nyklekte larver i juni. Dette viser at larver av arten er til stede på stasjonen hele året.

Vekstkurven (figur 18) er eksponentiell med rask vekst om våren før klekking. Det var stor forskjell i temperaturbehovet på Belle bro og Onstad. På førstnevnte stasjon var *P. meyeri* voksen etter ca. 1300 døgngrader. På Onstad var tilsvarende verdi ca. 1800 døgngrader. Vekstmønsteret viser stor variasjon (figur. 19), noe som indikerer at også andre forhold enn temperatur er viktig for gjennomføring av livssyklusen. Tidlig klekte larver utnytter ikke sommertemperaturen til rask vekst. Dette vises ved at larver som har klekt i juni og i august er omtrent like store i september og oktober. Det skal og bemerkes at vekstkurvene for stasjonene i Aurlandselvi er mest like og spriker mindre enn kurvene fra Vassbygdelvi. Belle bro viser den raskeste veksten i forhold til døgngrader. Det er nærliggende å anta at forholdene, de fysiske og næringsmessige, er mest optimale på denne stasjonen sammenlignet med de andre lokalitetene.

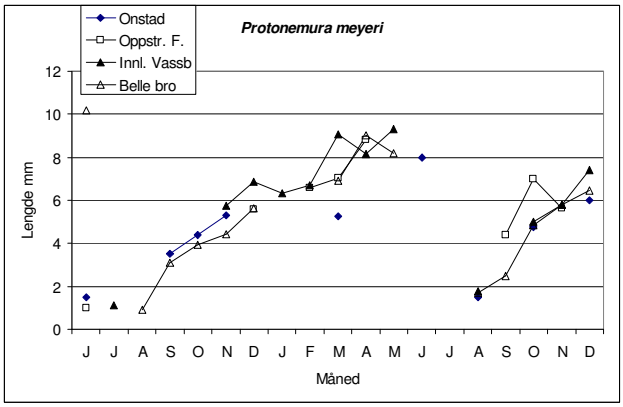


Fig. 17. Vekst av *P. meyeri* gjennom året.

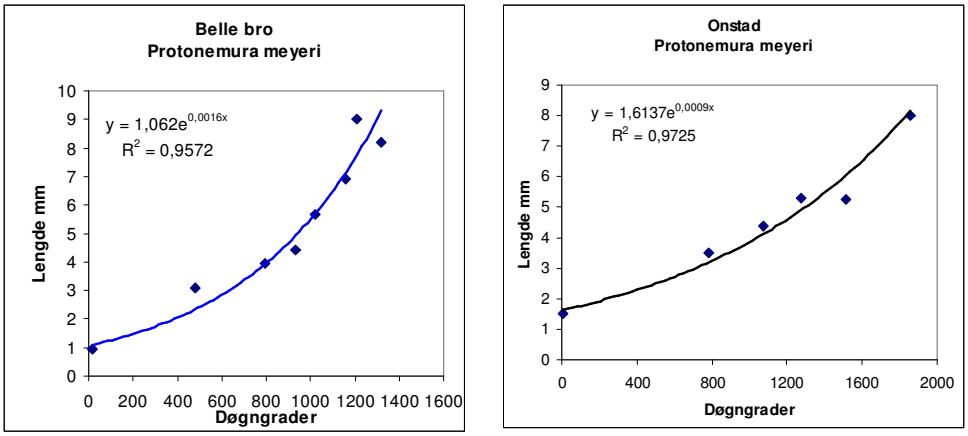


Fig. 18. Vekst av *P. meyeri* på Belle bro (venstre) og Onstad (høyre).

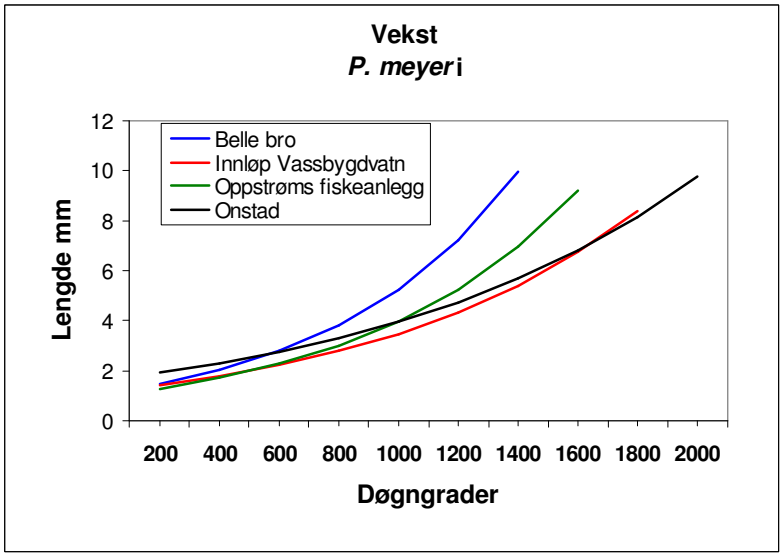


Fig.19. Vekst av *P. meyeri* på de ulike stasjonene i forhold til døgngrader.

Amphinemura borealis

A. borealis hadde en svært lik livssyklus på de undersøkte lokalitetene. I likhet med *Capnia sp*. har arten en klart definert livssyklus med nyklekte larver i september (figur 20). Larvene blir voksne og klekker i juni. Arten var mest tallrik på Belle bro og Innløp Vassbygdvatn. Veksten var lav om høsten etter klekking. Den var også lav gjennom vinteren, men om våren før klekking til voksne insekt økte veksten raskt.

Temperaturbehovet for fullføring av livssyklus på de to nevnte stasjoner synes å være forskjellig. På Belle bro flyr *A. borealis* etter 1000 døgngrader, mens det tilsvarende har vært ca. 1200 døgngrader på Innløp Vassbygdvatn (figur 21). Veksten er eksponentiell. Vekstforløpet tyder på at andre forhold enn temperatur bestemmer larvenes vekst i elva. Forskjellig næringsforhold og andre fysiske faktorer kan være av betydning, som også nevnt for *P. meyeri.*

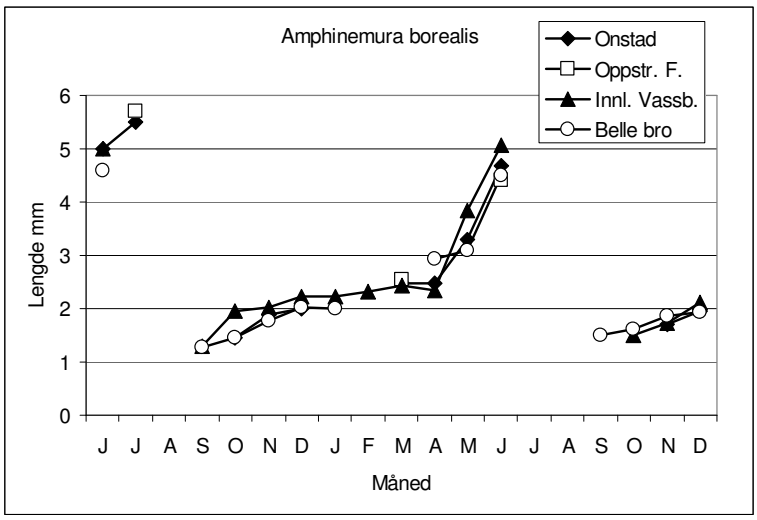


Fig. 20. Utvikling av *A. borealis* på de undersøkte lokalitetene i Aurlandsvassdraget.

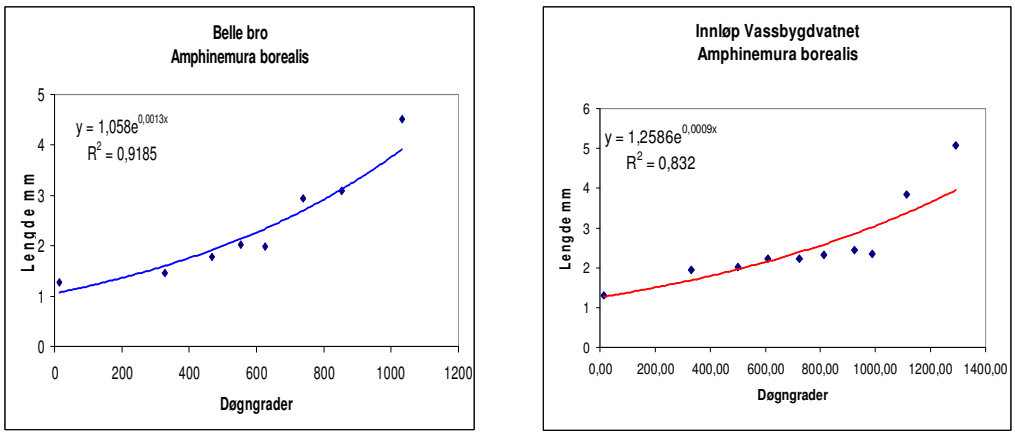


Fig. 21. Vekst av *A. borealis* i forhold til døgngrader.

Leuctra hippopus

L. hippopus forekom på alle stasjonene. De nyklekte larven kommer hovedsakelig i august (figur 22). I 2003 ble de observert i juli på Belle bro. I motsetning til steinfluene nevnt foran har *L. hippopus* en rask vekst om høsten. Larvene kan finnes som fullvoksne fra februar til mai. På Onstad og Belle bro ble de ikke registrert etter mars, mens larvene ble funnet i mai på Oppstrøms fiskeanlegg som var den kaldeste av de undersøkte lokalitetene.

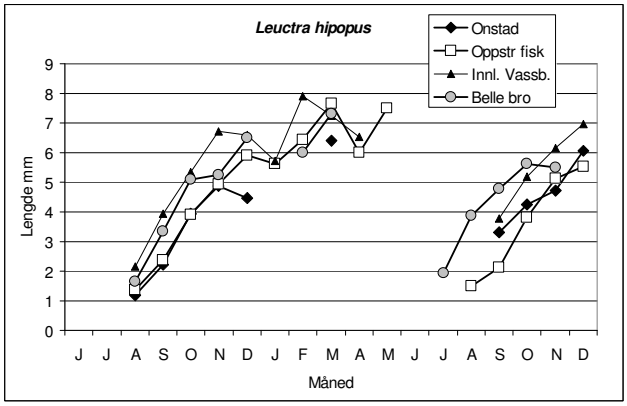


Fig. 22. Vekst av *L. hippopus* på de ulike lokalitetene.

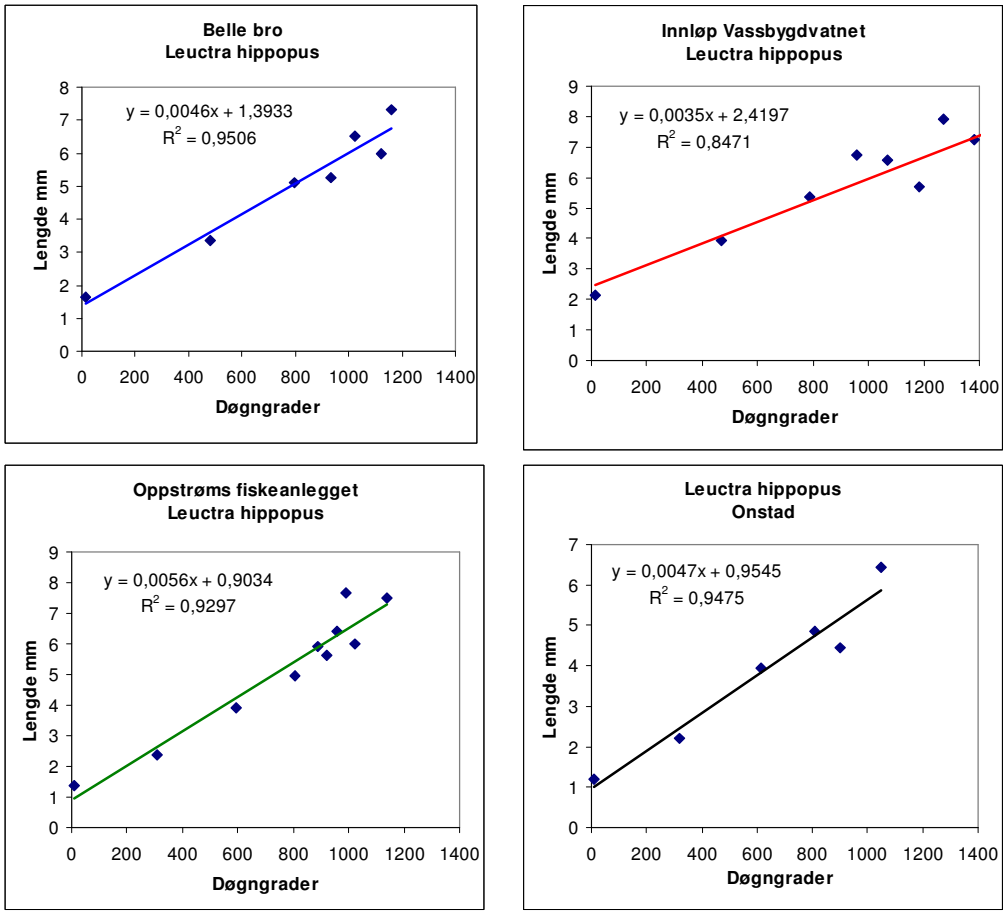


Fig. 23. Vekst av *L. hippopus* på ulike lokaliteter i forhold til døgngrader.

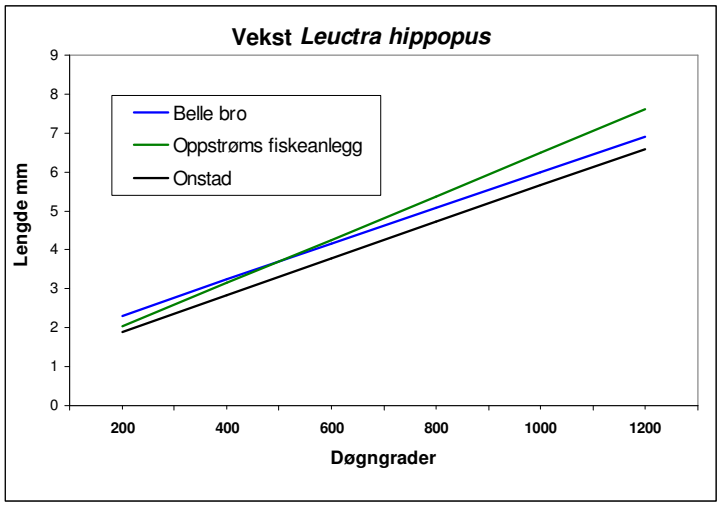


Fig. 24. Vekstkurvene for *L. hippopus* fra 3 lokaliteter.

L. hippopus har en lineær vekst i forhold til døgngrader (figur 23). Antall døgngrader som var nødvendig for å fullføre larvestadiet varierte mellom 1100 og 1200 grader, med unntak av Innløp Vassbygdvatn. Her var larvene fullvoksne ved ca. 1400 døgngrader. Det skal bemerkes at de minste larvene ikke ble registrert på stasjonen slik at startpunktet for veksten er mer usikker på Innløp Vassbygdvatn. Det økte antall døgngrader på denne stasjonen har neppe noe å gjøre med larvenes temperaturbehov. Fullvoksne larver ser ut til å vente til omgivelsene er egnet for imago. Ventetiden kan gi et falskt bilde av behovet for døgngrader. Figur 24 viser de beregnede vekstkurvene for stasjonene unntatt Innløp Vassbygdvatn. Kurvene har et svært like forløp på de tre stasjonene og de små forskjellene som finnes kan skyldes fysiske særegenheter på den enkelte stasjon, eller at innsamlingen av prøver ikke har hatt god nok tidsoppløsning.

Fullvoksne larver hadde noe ulik størrelse på de undersøkte lokalitetene. I gjennomsnitt var de 1 mm større Oppstrøms fiskeanlegg enn på Onstad før klekking til voksne. Lillehammer (1987) nevner at *L. hippopus* er i stand til å danne lokale populasjoner med forskjellig vekst. Det er mulig at dette fenomenet finnes i Aurland.

Leuctra fusca

L. fusca har en markert ettårig livssyklus (figur 25). Eggene klekkes oktober/ november. De nyklekte larvene hadde liten vekst om vinteren. Hovedveksten av larvene skjer fra april til august hvor de klekker til imago. Dette er i overensstemmelse med Lillehammer (1985). På stasjon Oppstrøms fiskeanlegg ble det registrert store larver også i september. Figur 26 viser veksten i forhold til antall døgngrader. Materialet antyder et temperaturbehov på 1100-1200 døgngrader frem til store larver. Materialet fra Belle bro er lite, men gir en indikasjon på samme vekst som på de andre stasjonene. Veksten var lineær (figur 26 og 27). Både *L. fusca* og *L. hippopus* ser ut til å ha lineær vekst og samme temperaturbehov (Figur 22 - 27). Selve veksten foregår imidlertid til to helt forskjellige perioder av året. Larver av *L. hippopus* som er tidlig utvokst om høsten/vinteren har en hvileperiode fram til

klekking. *L. fusca* har lav vekst etter eggklekking, men utnytter vår og sommer-temperaturen til rask vekst.

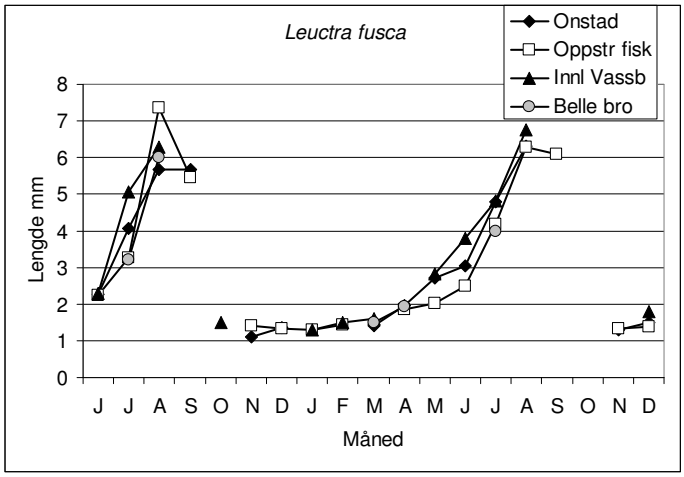


Fig. 25. Vekst av *L. fusca* gjennom året.

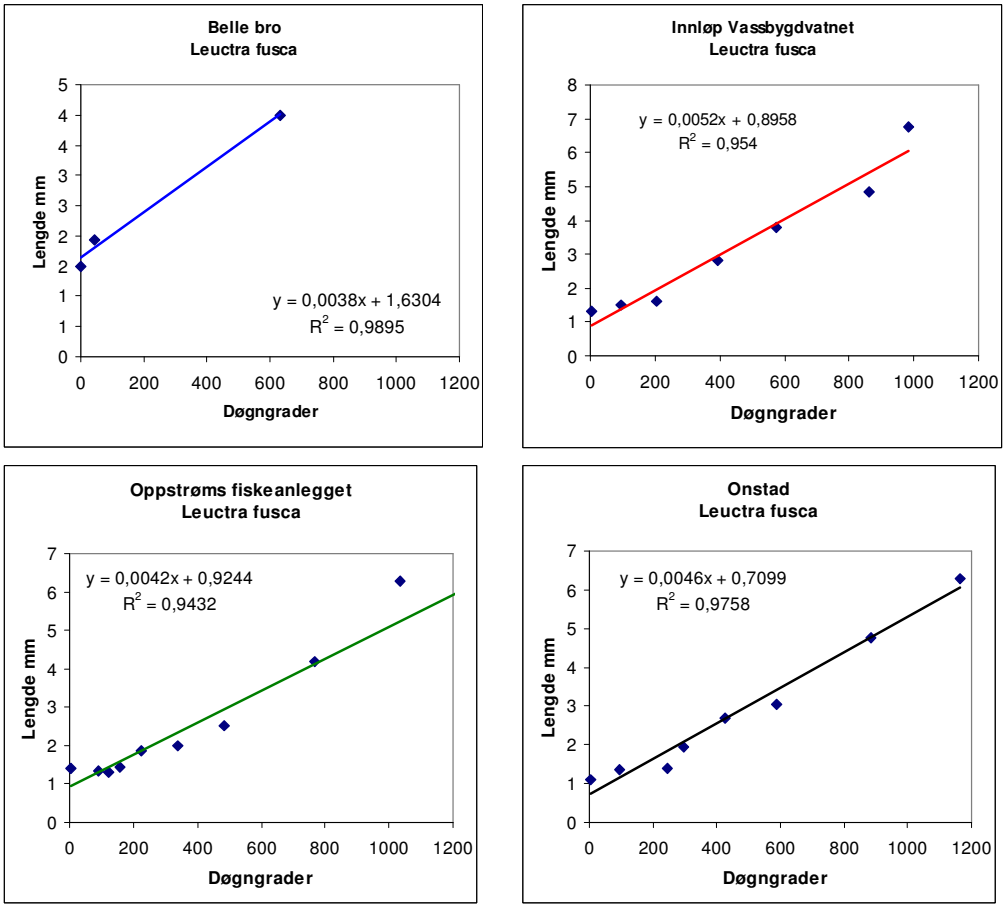


Fig. 26. Vekst hos *L. fusca* i forhold til døgngrader.

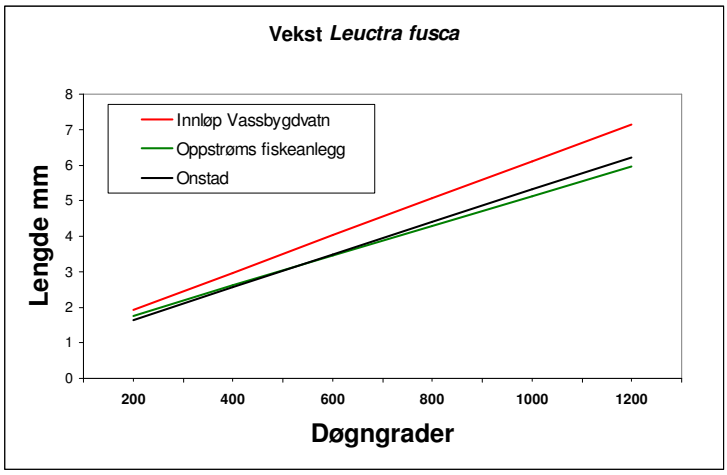


Fig. 27. Sammenligning av veksten hos *L. fusca* på ulike lokaliteter.

Vekstkurvene viser at *L. fusca* hadde lik vekst på de ulike lokalitetene (figur 26 og 27). Figuren viser at temperaturbehovet kommer opp mot 1200 døgngrader. Larvestørrelsen før klekking til imago varierer også for *L. fusca* slik som for *L. hippopus*. Igjen finner vi at gjennomsnittslengden av larvene kan variere med ca. 1 mm ved klekking til imago. Larvene er f. eks. ca. 1 mm større på Innløp Vassbygdvatn enn på Onstad ved klekking til imago. Med tanke på evolusjon ser vi her to arter som er svært like i mange henseender, men som har utviklet forskjellig vekstmønster.

Diura nanseni

D. nanseni er den største steinfluearten i Aurland. Livssyklusen fra egglegging til voksne larver er i følge Lillehammer (1988) 2 år. Eggene, som legges om sommeren, har en diapause på ett år. Etter eggklekking trenger larvene ett år før de klekker til voksne insekt. Figur 27 viser larveutvikling på Onstad første halvår etter eggklekking som skjer i juli. På denne tiden finnes bare de minste larvene. Veksten videre er jevn med forholdsvis liten overlapp mellom de ulike størrelsesgruppene. Larvene blir 8 – 10 mm lange den første høsten. Veksten avtar i den kaldeste årstiden for så å øke igjen fra mars/april frem til mai/juni hvor klekkingen av imago finner sted, se figur 28. Dette vekstmønsteret er i overensstemmelse med det Bækken (1981) fant i Eksingedalen.

Veksten av larvene hos *D. nanseni* i forhold til døgngrader er eksponentiell (figur 29 og 30). Larvene trenger trolig ca. 1600 døgngrader fra eggklekking til klekking til voksne insekt. Vi har ingen observasjoner på når de voksne legger eggene. Imidlertid spiller dette trolig mindre rolle med hensyn på klekking av egg siden eggstadiet har en diapause. Som vist i figur 29 fører diapausen sannsynligvis til synkronklekking av egg i juli.

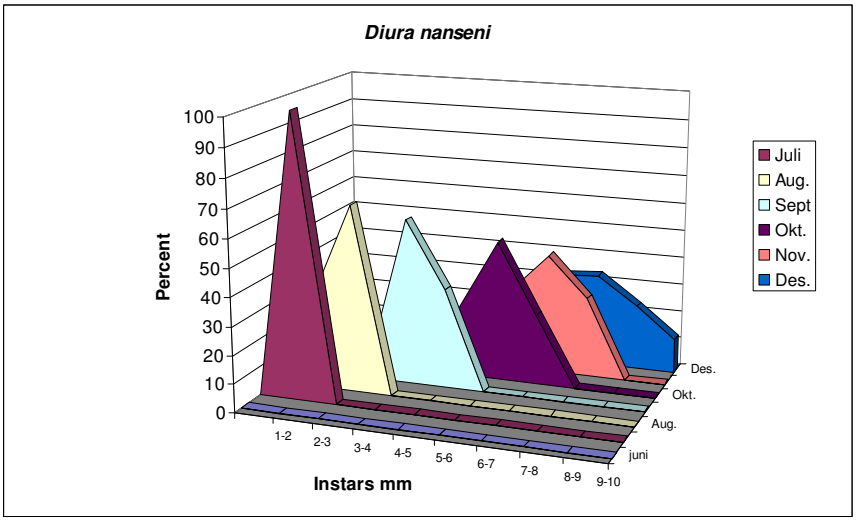


Fig. 28. Utviklingen av instar hos *D. nanseni* første halvår etter eggklekking.

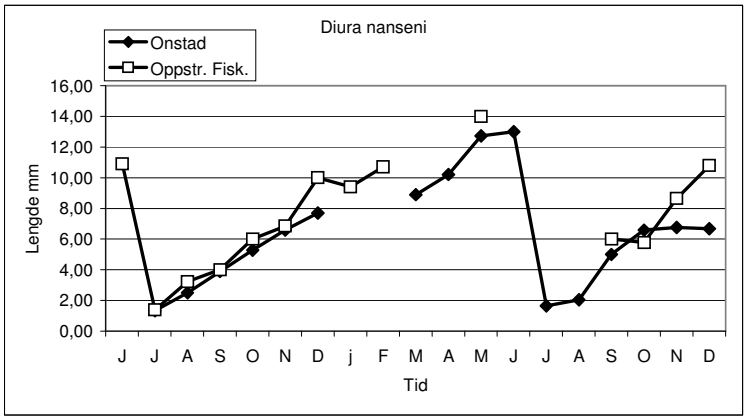


Fig. 29. Larveutviklingen av *D. nanseni* på Onstad og Oppstrøms fiskeanlegg.

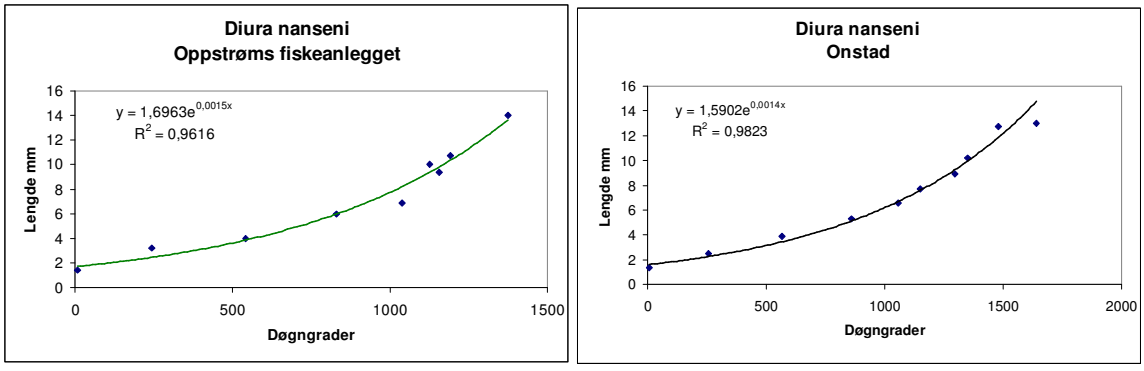


Fig. 30. Vekstkurver for *D. nanseni* på Onstad og Oppstrøms fiskeanlegg.

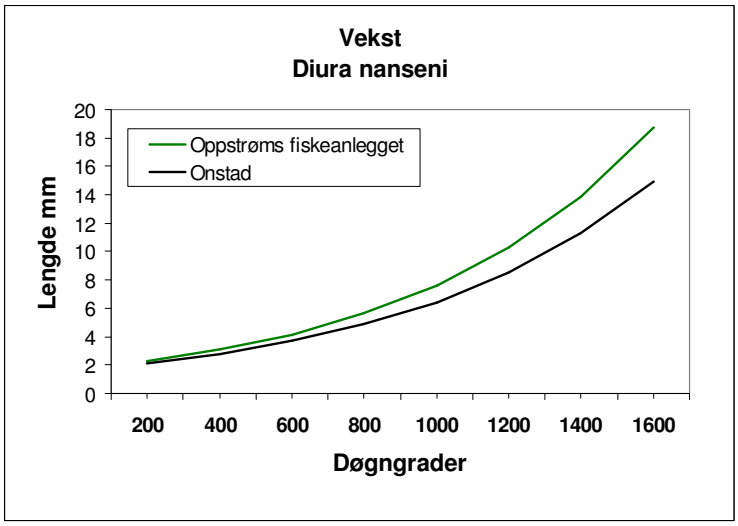


Fig. 31. Sammenligning av vekst hos *D. nanseni* i forhold til døgngrader.

D. nanseni er en art som har et forholdsvis stort temperaturbehov for å gjennomføre sin livssyklus. Før regulering kan f. eks. Vassbygdelvi ha vært så kald at larver som er klekt i juli ikke har klart å vokse seg ferdig over et år. Grunnet diapausen har larvene i slike tilfeller hatt mulighet til å vokse også gjennom august, en måned med relativt varmt vann. Forskyvninger i klekketidspunkt for imago og egglegging behøver som nevnt ikke bety forskyvning i eggklekking.

Vårfluer

Rhyacophila nubila

R. nubila har lite synkronisert larveutvikling. Det er en blanding av små og større larver i store deler av året (figur. 32). Dette er i overensstemmelse med forholdene før regulering (Larsen 1968) og med utviklingen i andre vassdrag (Fjellheim 1976). Larvene har et puppestadium før klekking til imago i mai/juni. Larver som blir voksne om høsten kan danne prepupper og overvintre som slike før klekking til imago. Blandingen av små og store larver gjennom året fører og til at det finnes pupper til de fleste tidspunkt. Klekkingen til imago og egglegging skjer i sommer-halvåret, men det er ingen god synkronisering av tidspunktet for egglegging. Dette er en strategi hvor risikoen forbundet med reproduksjonen blir spredd over et langt tidsrom.

Figur 32 viser liten synkronisering i larvestørrelse mellom lokalitetene. Følger vi utviklingen på Belle bro finner en store larver i juni og nyklekte larver i juli. Deretter er det en blanding av nyklekte og halvstore larver. På de fleste stasjonene er larvene forholdsvis små i perioden fra januar til april. Deretter øker gjennomsnittslengden frem til juni, men det er ingen klar definert livssyklus.

Arter med en slik strategi vil lett kunne overleve ved endrede temperaturforhold siden dette ikke vil endre blandingen av små og store larver gjennom året. Puppene vil

fortsatt klekke til imago på gunstige tidspunkt uavhengig av når larvene klekker fra egg og senere forpupper seg.

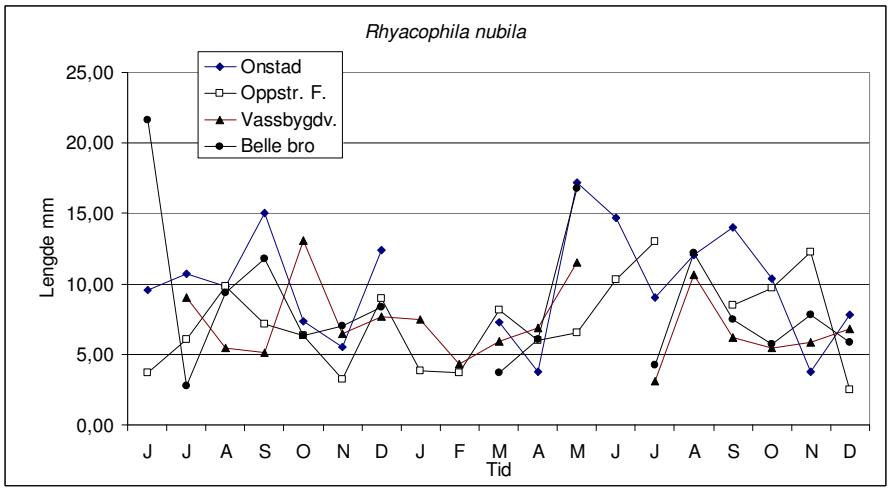


Fig. 32. Lengdefordeling av *R. nubila* gjennom undersøkelsesperioden.

Apatania sp.

Disse vårfluene er vanlige i Aurland. De er ikke bestemt til art. Basert på vekst-kurvene (figur 33) tyder materialet på at det er samme art på alle stasjonene, men på Belle bro er det trolig to arter. Begrunnelsen for dette er at larveutviklingen her spriker. Det finnes store larver i juni, men nyklekte både i september og mars. I tillegg er det registrert halvstore larver i oktober og desember. På de andre lokalitet-ene er det store larver i juli – august og nyklekte i bare oktober – november Siden resultatene på Belle bro er uklare, analyseres de ikke videre med hensyn på vekst og døgngrader.

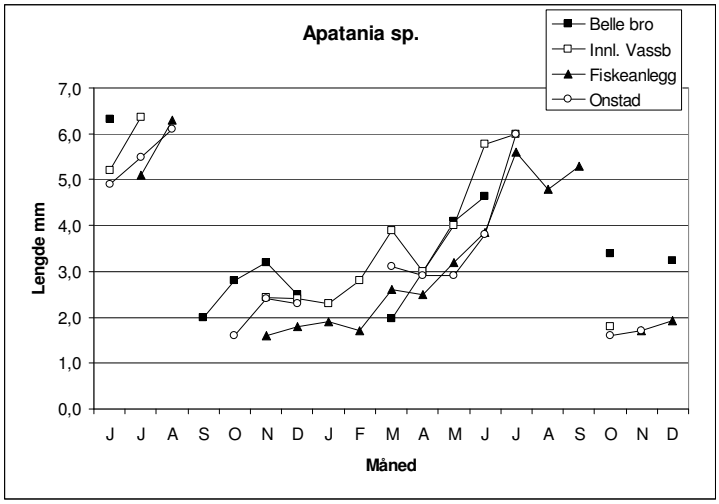


Fig. 33. Vekst av *Apatania sp.* på ulike lokaliteter i Aurland.

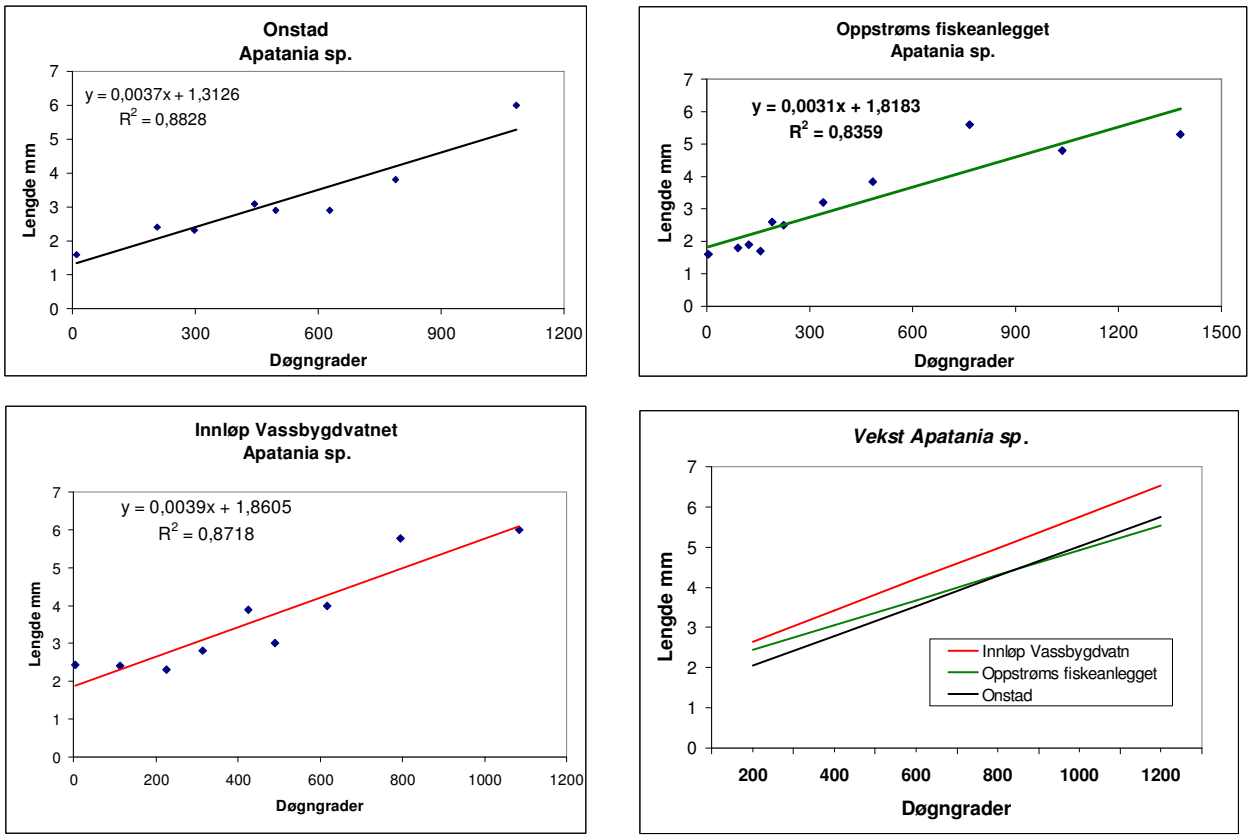


Fig. 34. Vekstkurver for *Apatania sp.* på ulike stasjoner Aurland.

Veksten av larvene er lineær og svært lik på Onstad og Innløp Vassbygdvatn, mens den er litt lavere på Oppstrøms fiskeanlegg enn på de to andre lokalitetene, se figur 34. Antall døgngrader fra nyklekte til fullvoksne larver er i overkant av 1100 døgngrader. Dette ligner det som er funnet for flere av de andre artene i Aurland. Temperaturendringene som har funnet sted i Aurland er neppe nok til å endre sammensetningen av *Apatania sp.*

Glossosoma intermedia

G. intermedia forekom på Onstad og Innløp Vassbygdvatn. Registreringene er uregelmessige og vi har derfor ikke satt opp vekst i forhold til døgngrader. Imidlertid er vekstforløpet likt det som ble funnet i 1988/89 (Fjellheim & Raddum 1998). Den gang klekte eggene i juli med en rask vekst frem til oktober – desember. Materialet fra 2002/03 viser at de aller minste larvene kommer i juli og at de har en meget rask vekst fram til september/oktober (figur 35). Materialet gir ingen sikre holdepunkter for når larvene/puppene klekker til imago. I 1988/89 skjedde klekkingen i mars – mai (Fjellheim & Raddum 1998). Vekstforløpet minner mye om veksten til *L. hippopus*, som var lineær. *G. intermedia* synes å starte litt tidligere og oppnår således enda raskere vekst grunnet høyere temperatur. Arten forpupper seg tidlig og overvintrer i

dette stadiet. Siden puppene er festet til stein og ubevegelige, vil de være sårbare for vannstandsendringer. En synkron forpupping om høsten kan føre til at puppene fester seg over lavvannsnivået om vinteren. Dette vil gjøre *G. intermedia* mer sårbare enn f. eks. *R. nubila* som danner pupper til mange forskjellige tidspunkt. De store vannstandsendringene som var i vassdraget før regulering kan ha vært mer skadelige for populasjonen av *G. intermedia* enn de jevnere forholdene etter regulering. Siden Larsen (1968) ikke behandlet vårfluefaunaen på artsnivå, vet vi ikke om *G. intermedia* var borte fra de undersøkte lokalitetene. Det er for øvrig meget vanlig å finne døde pupper både av *G. intermedia* og *Limnephilidae* på steiner som har vært tørrlagt og frosset. Puppestadiet er derfor generelt et sårbart stadium ved store vannstandsfluktuasjoner.

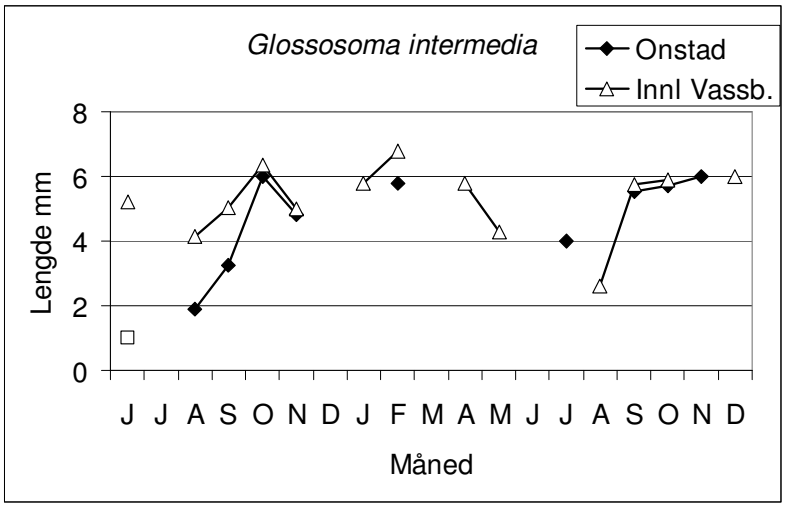


Fig. 35. Vekstforløp hos *G. intermedia.*

5. Sammenfatning

Fysiske effekter av reguleringen

Aurlandsvassdraget er regulert ved bygging av en rekke kraftverk i perioden 1970 - 1983. Etter regulering har Aurlandsvassdraget fått elvestrekninger med kraftig redusert vannføring. Den viktigste av disse er Vassbygdelvi, som er hovedinnløpet til Vassbygdvatn. Vannføringen i Vassbygdelvi kommer fra lavereliggende restfeltet og frivillig slipp av vann fra magasin. Det hydrologiske regimet er derfor et resultat av nedbørforholdene i restfeltet og de svingningene dette gir i avrenning. Mindre vann om sommeren fra lavereliggende områder gir både raskere temperaturøkning og høyere temperatur enn før regulering. Om vinteren er det lite og kaldt vann, mens vårflommen er betydelig redusert. Den nederste delen av Vassbygdelvi har et betydelig innsig av grunnvann. Dette hever vintertemperaturen betydelig. Temperaturen i nedre delene av Vassbygdelvi har økt med over 500 døgngrader sammenlignet med forholdene før utbygging.

Kjøring av kraftverkene Aurland I og Vangen bestemmer i hovedsak vannføring og temperatur nedenfor Vassbygdvatn. Samtidig kan vannføringen i Aurlandselvi reguleres ved hjelp av en lem i utløpsosen. Denne elvestrekningen har blitt kaldere om sommeren grunnet tilførsel av kaldt bunnvann fra magasinene. Av hensyn til fisket forsøker en å redusere andelen av kaldt vann om sommeren, men dette er vanskelig siden tilgjengelig vann kommer fra kraftverk. Antall døgngrader over ett år er imidlertid lite endret i Aurlandselvi. Den sesongmessige fordelingen av temperaturen er derimot noe endret først og fremst med kaldere vann om sommeren og varmere om vinteren.

Vannføringen er stabil innenfor reguleringsbestemmelsene nedstrøms Vassbygdvatn. Hyppigheten og størrelsen av flommer er derfor kraftig redusert i forhold til situasjonen før regulering.

Bunndyrsamfunnene

Artsmangfoldet hadde endret seg lite etter regulering sammenlignet med mangfoldet før utbygging. Etter regulering er det påvist flere taksa av vårfluer, men dette skyldes at vårfluene i liten grad ble bestemt til art før regulering. Økningen i antall taksa av vårfluer etter regulering kan derfor ikke tilskrives inngrepet.

To steinfluearter, *N. pictetii* og *L. nigra*, er ikke gjenfunnet etter regulering. Førstnevnte var vanlig før utbyggingen, mens sistnevnte var svært sjelden. Effekten av inngrepet er trolig årsak til at *N. pictetii* ikke er påvist etter regulering. Det er påvist endringer i diversiteten av arter før og etter regulering innen de to elveseksjonene:

- Før utbygging var antall taksa av døgnfluer, steinfluer og vårfluer 19 og 17, henholdsvis i Aurlandselvi og Vassbygdelvi. I 2002/03 var forholdet snudd med 24 og 22, henholdsvis i Vassbygdelvi, Aurlandselvi.
- Totalt ble det påvist 19 taksa før regulering, mens antallet var 26 i 2002/03. (Forskjellen skyldes bestemmelse av flere vårfluer i 2002/03, se over).
- Det er påvist markerte reguleringseffekter på døgnfluen *E. aurivilli* som har fått betydelig økning i utbredelsen ovenfor Vassbygdvatn, mens steinfluen *Capnia sp*. har fått markert økning nedenfor nevnte innsjø.

Noen andre taksa viste også mulige endringer i forhold til undersøkelsene gjort før utbygging, men er mer usikre. Blant disse skal nevnes:

- Steinfluene *T. nebulosa, B. risi* og *A. borealis* hadde lav forekomst før regulering, mens de er vanlige både i Vassbygdelvi og Aurlandselvi etter regulering.
- Etter utbygging er det få registreringer av *Isoperla spp*. sammenlignet med før regulering.

Vekst og livssyklus hos bunndyr

Resultatene av bunndyrstudiene er vurdert mot resultatene fra tidligere undersøkelser både før og etter regulering. Tidligere studier har konkludert med at vannføringen har redusert drivet av organisk materiale (dvs. utspyling av næringsstoffer), og dermed endret drivet av insektlarver. Siden drivet av ulike stadier av insektlarver kan være forskjellig, er det tidligere konkludert med at redusert vannføring fører til mindre utspyling av små larver. Dette gir en høyere tetthet av individ i elvebunnen. Kvantitative studier som er utført tidligere viser imidlertid at biomassen har endret seg lite.

Temperaturen virker både på vekst og livssyklus. I Aurland har de aller fleste insektene en ettårig livssyklus. Hos de fleste artene klekker larver om høsten. Disse blir voksne i løpet av vinteren og neste vår og klekker så til imago. Det kan skilles mellom tre hovedtyper av vekst. Disse er:

- Insekter hvor eggene har varierende diapause før de klekker. Veksten er lite synkronisert og det fins forskjellige stadier gjennom høst vinter og vår.
- Larver med vekst om høsten, stagnasjon om vinteren og ny vekst om våren før klekking til imago. Disse har en synkron livssyklus.
- Larver med ubetydelig vekst høst og vinter, men med rask vekst om våren/sommeren. Livssyklusen hos disse er også synkron.

Synkron livssyklus er tilpasset årstiden slik at eggklekking og flyveperiode skjer til gunstige perioder. Usynkron eggklekking, larveutvikling og flyveperiode er en strategi for å spre risikoen slik at ”katastrofer” sjelden knekker hele populasjonen. Arter med synkron livssyklus synes å vær bundet av denne. De kan derfor vanskelig skifte fra ettårig til toårig livssyklus dersom temperaturen blir for lav for en ettårig

syklus. Arter med usynkron larvevekst synes å tilpasse seg varierende temperatur-forhold med varierende vekst og dermed livssyklus.

Det er påvist endringer i veksten hos flere insektarter, sannsynligvis forårsaket av temperaturendringene. Larvenes vekst hos to av de vanligste artene i Aurland, døgnfluene *B. rhodani* og *E. aurivilli,* er testet statistisk. Økt temperatur i Vassbygd-elvi forårsaket av reguleringen, har ført til klekking av *E. aurivilli* 1 – 2 måneder tidligere enn i Aurlandselvi. Nyklekte larver har en lignende forskyvning mellom de to elveavsnittene. Den raskere veksten i Vassbygdelvi fører til at larvene blir voksne før omgivelsene er egnet for imago. De "venter" i elva til de trolig får et signal om at forholdene på land er gode. I Aurlandselva synes voksne larver å klekke til imago med en gang de er modne for dette.

B. rhodani viste opp til to måneders signifikant forskjell i utviklingen av larver avhengig av temperatur. Veksten *hos B. rhodani* er også testet for sesongene 1966/67, 1988/89 og 2002/03. Resultatet viste at årsklassene var nokså ulike med hensyn på demografi og livssyklus. Larvene fra 2002/03 var størst og larvene fra 1988/89 var minst. Larvene fra 1966/67 så derimot ut til å klekke tidligere i sesongen enn de andre årskullene. Størst demografisk likhet var det mellom årsklassen før regulering og klassen i 2003/03. Populasjonen av larver hos *B. rhodani* har to generasjoner (kohorter). Disse består av larver som klekker om våren og vokser raskt gjennom sommeren for så å klekke til imago om høsten. Den andre hovedtypen av larver klekker om høsten, vokser gjennom høst og vinter og klekker til imago om våren. Varierende diapause hos eggene fører som nevnt til at alle larvestadier kan være tilstede samtidig.

Livssyklusen til andre arter er ikke testet statistisk. Noen av disse synes å respondere på endret temperatur, mens andre har svært lik vekst enten de er i Vassbygdelvi eller Aurlandselvi. Vekstmønsteret hos steinfluene *L. hippopus, L. fusca* og vårfluen *Apatania sp*. viser at disse taksaene trolig responderer direkte på temperaturendringer. Døgnfluen *A. inopinatus* og steinfluen *Capnia sp*. var bare til stede i Vassbygdelvi før utbygging. Sammenlignet med før regulering har livssyklusen til disse artene ikke endret etter regulering til tross for store forskjeller i temperatur.

D. nanseni har hovedutbredelsen i Aurlandselvi. Det er ikke registrert noen endring i livsløpet hos denne arten. Det er heller ikke funnet endringer i livssyklusen hos noen av de andre steinfluene som kan tilskrives temperaturendringene forårsaket av reguleringen.

Vårfluen *R.. nubila* har en usynkron larvevekst. Til alle tidspunkt finnes en blanding av flere stadier av larver. Betydningen av endret temperatur for denne arten er ikke klarlagt.

G. intermedia har en svært rask vekst om høsten. Mangel på fördata gjør det umulig å sammenligne livssyklus før og etter reguleringen.

Det er registrert følgende vekstforløp hos innsektlarver i Aurland:

1 Larver som har rask vekst om våren – forsommeren
2 Larver som har rask vekst om høsten
3 Larver som vokser gjennom hele året
4 Larver med en blanding av stadier som vokser gjennom hele året

Til gruppe 1 hører *L. fusca, A. borealis* og *Apatania sp*. Blant disse har *A. borealis* eksponentiell vekst, mens de to andre har lineær. Larveutviklingen er synkron.

I gruppe 2 har vi *L. hippopus og G. intermedia*. Veksten hos førstnevnte er lineær, mens vekstforløpet hos *G. intermedia* ikke kunne bestemmes. Larveutviklingen for begge artene karakteriseres som synkron.

De fleste artene er plassert i gruppe 3. Her finner vi døgnfluene *A. inopinatus, E. aurivilli,* og steinfluene *Capnia sp., P. meyeri* og *D. nanseni.* Døgnfluene har lineær vekst, mens de nevnte steinfluene har eksponentiell vekst. Alle artene har imidlertid en synkron larveutvikling.

Til gruppe 4 hører *B. rhodani* og *R. nubila.* Siden det finnes larver av forskjellige stadier til de fleste tidspunkt blant disse artene, har de en usynkron livssyklus. Vi antar at veksten er lineær, men dette er vanskelig å måle. Grunnen er at det ikke finnes spesifikke tidspunkt for eggklekking og klekking til imago.

6. Takk

Vi takker NVE for oppdraget. Videre vil vi takke E-CO Vannkraft for velvilligst å stille temperatur- og kjemiske data til vår disposisjon. En spesiell takk til Randi Lund for meget godt utført arbeid med sortering av prøvene og lengdemåling av insekt-larvene.

7. Referanser

Brinck, P. 1949. Studies on the Swedish stoneflies (Plecoptera). – Opusc. ent. 11: 1-250.

Brittain, J.E. 1974. Studies on the lentic Ephemeroptera and Plecoptera of southern Norway. – Norsk ent. Tidsskr. 21: 135-153.

Brittain, J.E. 1978. Semivoltinism in mountain populations of *Nemurella pictetii* (Plecoptera). – Oikos, 30: 1-6.

Brittain, J.E. 1983. The influence of temperature on nymphal growth rates in mountain stoneflies (Plecoptera). - Ecology 64: 440-446.

Brittain, J.E., & Eikeland, T.J. 1988. Invertebrate drift – a review. - Hydrobiologia 166: 77-93.

Brusven, M.A. 1984. The distribution and abundance of benthic insects subjected to reservoir-release in the Clearwater River, Idaho, USA. In Lillehammer, A. & Saltveit, S.J. (Eds.), Regulated Rivers, University Press, Oslo. pp. 167-180.

Crawley, M.J., 2002. Statistical computing : an introduction to data analysis using S-Plus. Wiley, Chichester, 761 pp.

Bækken, T. 1981. Growth patterns and food habits of *Baetis rhodani*, *Capnia pygmaea* and *Diura nanseni* in a west Norwegian river. – Holarct. Ecol.. 4: 139-144.

Faugli, P. E. 1994a. The landscape of Aurland. Norsk geogr. Tidsskr. 48: 9-11.

Faugli, P. E. 1994b. The Aurland catchment area – the watercourse and hydropower development. Norsk geogr. Tidsskr. 48: 3-7.

Fjellheim, A. 1976. Livssyklus, produksjon og drift hos *Rhyacophila nubila* (Zett.) (Trichoptera) i Oselven, Hordaland. Hovedfagsoppgave i spesiell zoologi, Universitetet i Bergen. 106 s.

Fjellheim, A, & Raddum, G.G. 1998. The life cycle and drift of *Glossosoma intermedia* (Trichopera: Glossosomatidae) in western Norway. Verh. Internat. Verein. Lmnol. 26: 2048-2052.

Frost, S., Huni, A. & Kershaw 1971. Evaluation of a kicking technique for sampling stream bottom fauna. Can. J. Zool. 49: 167-173.

Hynes, H.B.N. 1949. The taxonomy and ecology of the nymphs of british Plecoptera with notes on the adult and eggs. – Trans. R. ent. Soc. Lond. (A), 43: 40-48.

Illies, J. 1978. Limnofauna Europea, 2. ed. – Fisher, Stuttgart.

Larsen, R. 1968. En faunistisk-økologisk undersøkelse av bunnfaunaen i Aurlandselva, Sogn og Fjordane. Hovedfagsoppgave i spesiell zoologi, Universitetet i Bergen. 268 pp.

Lillehammer, A. 1974. Norwegian stoneflies II. Distribution and relationship to environment. – Norsk ent. Tidsskr. 21: 159-250.

Lillehammer, A. 1975. Norwegian stoneflies III. Field studies on ecological factors influencing distribution. – Norw. J. Ent. 22: 71-80.

Lillehammer, A. 1985. Temperature influence on egg incubation period and nymphal growth on the stoneflies *Leuctra digitata* and *L. fusca* (Plecoptera: Leuctridae). – Entomologia gen. 11: 59-67.

Lillehammer, A. 1987. Intraspecific variation in the biology of eggs and nymphs of Norwegian populations of *Leuctra hippopus* (Plecoptera). – J. nat. Hist. 21: 29-41.

Lillehammer, A. 1988. Stoneflies (Plecoptera) of Fennoscandia and Denmark. Fauna Entomologica Scandinavia 21, 165 pp.

Raddum, G.G. 1978. Reguleringens virkning på bunnfaunaen i Aurlandselven. LFI, Rapport nr. 25.

Raddum, G. G., Fjellheim A., Barlaup B. og Åtland Å. 1991. Undersøkelser av bunndyr i Aurlandsvassdraget: en sammenligning av forholdene før og etter regulering. - Lab. for Ferskvannsøkologi og Innlandsfiske, Bergen. Rapport nr. 70.

Raddum, G.G. & Fjellheim, A. 1993. The effect of changed waterflow on the mayfly *Baetis rhodani* in the regulated River Aurland, western Norway. – Regulated Rivers: Research and management 8: 49-61.

Raddum, G. G. & Fjellheim A. 1994. Impact of hydropower development on aquatic invertebrates. Norsk Geogr. Tidsskr. 48: 39-44.

Saltveit, S.J. & Lillehammer, A. 1984. Studies on egg development in the feno-scandian Isoperla species. – Annls Limnol. 20: 91-94.

Sættem L.M. 1981. First record of *Nemoura avicularis* Morton, 1894 (Plecoptera: Nemouridae) in Western Norway. Fauna Norvegica Serie B 28: 115-116.

Tvede A. M. 1994. Discharge, water temperature and glaciers in the Aurland river basin. Norsk geogr. Tidsskr. 48: 23-28.

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 sjøørret (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.)

Nr. 3-05 Gunnar G. Raddum, Arne Fjellheim, Gaute Velle: Populasjonsstrukturen hos bunndyr i Aurlandselva i relasjon til endringer i vannføring og temperatur (48 s.)