



Elvemusling og konsekvenser av vassdragsreguleringer

- en kunnskapsoppsummering

Bjørn Mejdell Larsen, Norsk institutt for naturforskning

8
2012



RAPPORT MILJØBASERT VANNFØRING

FoU-programmet Miljøbasert vannføring

Programmet Miljøbasert vannføring skal styrke det faglige grunnlaget for god forvaltning av regulerte vassdrag. Det skal bidra til at miljøhensyn blir ivaretatt på en balansert og åpen måte med spesiell fokus på fastsettelse av minstevannføring og andre avbøtende tiltak.

Miljøkunnskap er aktuelt i forbindelse med nye vassdragskonsesjoner, revisjon av vilkår i gamle konsesjoner, miljøtilsyn og oppfølging av vannressursloven og EUs vanndirektiv. Programmet finansieres av Olje- og energidepartementet, og er forankret i Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).

Programmets fase II har en tidsramme på fem år (2007-2011). Programmet er organisert med en styringsgruppe, bestående av representanter fra NVE, Direktoratet for naturforvaltning og energibransjen. Ressursspersoner fra nasjonale og regionale myndigheter bistår med fagkompetanse. Den daglige ledelsen av programmet er knyttet til Skred- og vassdragsavdelingen i NVE.

Elvemusling og konsekvenser av vassdragsreguleringer

- en kunnskapsoppsummering

Rapport nr. 8 – 2012

Elvemusling og konsekvenser av vassdragsreguleringer – en kunnskapsoppsummering

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør: Bjørn Mejdell Larsen

Forfattere: Bjørn Mejdell Larsen¹, Elena Dunca², Randi Saksgård¹,
Martin Österling³

**Forfatter-
adresser:** ¹ Norsk institutt for naturforskning, P.b. 5685 Sluppen,
7485 Trondheim

² Naturhistoriska Riksmuseet, Paleozoologiska avdelningen,
Box 50007, S-10405 Stockholm, Sverige

³ Karlstad Universitet, Fakulteten för samhälls- och
livsvetenskaper, Biologi, S-65188 Karlstad, Sverige

Trykk: NVEs hustrykkeri

ISSN: 1502-234X

ISBN: 978-82-410-0809-2

Forsidefoto: Elvemusling fra Ognå i Nord-Trøndelag.
Foto: Bjørn Mejdell Larsen

Sammendrag: Hovedmålene med rapporten er 1) å oppsummere vannkraft-reguleringers påvirkning på elvemusling i Norge, 2) gi en litteraturoppsummering som beskriver effekten av vannkraft-regulering på muslinger, 3) benytte redokspotensial som mulig metode for å beskrive substratkvalitet (felldata fra 12 vassdrag), 4) beskrive vanntemperaturens betydning i elvemuslingens livssyklus (inkludert temperaturdata fra 7 vassdrag), 5) undersøke skalltilvekst hos elvemusling (alders- og tilvekstanalyser av muslingskall fra 13 vassdrag) og 6) beskrive effekten på elvemusling etter utbygging av Mossa i Nord-Trøndelag i 2010 til sammenlikning med data fra 1984-1985.

Emneord: Elvemusling, *Margaritifera margaritifera*, vannkraftutbygging, regulerte vassdrag, vekst, vanntemperatur, redoks-potensial, Mossa (Nord-Trøndelag).

Norges vassdrags- og energidirektorat
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no

Oktober 2012

Innhold

Forord	7
Forfatterens forord	8
Sammendrag	9
1. Innledning.....	17
1.1 Utbredelse og status	17
1.2 Livssyklus.....	20
1.3 Vannkvalitetskrav	23
1.4 Habitatkrav	24
2. Litteraturstudie om vannkraftregulering og elvemusling	29
2.1 Demninger og dammer i regulerte vassdrag.....	30
2.2 Lav vannføring og stranding	32
2.3 Vannføringsendringer i forbindelse med regulering	34
2.4 Endringer i reproduksjon	36
2.5 Habitatendringer	37
2.6 Hvilket omfang har kraftverksregulering i elvemuslingvassdrag i Norge?	38
2.7 Noen flere eksempler fra Norge og Sverige	42
3. Redokspotensial som metode for å kartlegge substratkvalitet for elvemusling	46
3.1 Innledning.....	46
3.2 Metode	47
3.3 Resultater	48
3.3.1 Hunnselva, Oppland.....	52
3.3.2 Fallselva, Oppland.....	53
3.3.3 Begna, Oppland	54
3.3.4 Hoenselva, Buskerud	55
3.3.5 Håelva, Rogaland	56
3.3.6 Ereviksbekken, Rogaland	57

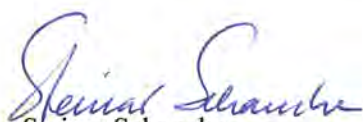
3.3.7 Svinesbekken, Rogaland	57
3.3.8 Hammerbekken, Sør-Trøndelag	59
3.3.9 Borråselva, Nord-Trøndelag	60
3.3.10 Mossa, Nord-Trøndelag	61
3.3.11 Aursunda, Nord-Trøndelag	62
3.3.12 Hestadelva, Nordland	63
3.4 Diskusjon og oppsummering	64
4. Vanntemperaturens betydning for livssyklus hos elvemusling	66
4.1 Innledning	66
4.2 Produksjon av kjønnsceller	67
4.3 Muslinglarvens utvikling	67
4.4 Frigivelse av muslinglarver og frittlevende fase før infeksjon på fisk	68
4.5 Parasittisk stadium på fisk	69
4.6 Første levetid i substratet	70
4.7 Oppvekst og voksen musling	72
4.8 Eksempler fra vassdrag i Norge	72
4.8.1 Sørkedalselva	74
4.8.2 Simoa	76
4.8.3 Figgjo	78
4.8.4 Hofstadelva (Gråelva)	79
4.8.5 Borråselva	81
4.8.6 Hopla	83
4.8.7 Skjellbekken	84
4.9 Oppsummering	87
5. Skaltillvæxt hos flodpärlmusslor i reglerade och icke-reglerade vattendrag	93
5.1 Innledning	93
5.2 Material och metoder	94
5.2.1 Preparationsteknik	98
5.2.2 Åldersbestämning	98

5.2.3 Årlig tillväxt.....	99
5.3 Resultat.....	99
5.3.1 Åldersbestämning av musslor og relationen mellom skalllængd og ålder.....	99
5.3.2 Årlig skaltillvæxt i reglerade vattendrag	100
5.3.3 Årlig skaltillvæxt i icke-reglerade vattendrag	115
5.4 Sammanställning og diskussion	123
6. Elvemusling i Mossa, Nord-Trøndelag etter regulering	128
6.1 Innledning.....	128
6.2 Metode og materiale	129
6.3 Resultater	133
6.3.1 Vannkvalitet	133
6.3.2 Fisk – infeksjon av muslinglarver	133
6.3.3 Elvemusling – utbredelse og tetthet.....	134
6.4 Diskusjon og oppsummering	141
7. Oppsummering	144
7.1. Kunnskapsgrunnlag	144
7.2 Tiltaksvurdering	147
8. Referanser	151

Forord

Elvemusling har hatt en dramatisk tilbakegang i Europa de siste 100 årene. Også i deler av Norge er forekomsten sterkt redusert. Norge har i dag mer enn halvparten av den europeiske bestanden, og elvemusling er derfor en typisk norsk ansvarsart. Forringelse og ødeleggelse av leveområdene er ansett som den største trusselen for arten. Vassdragsreguleringer er en faktor som kan påvirke arten negativt.

Dette prosjektet gir en oppsummering av eksisterende kunnskap om elvemusling, effekten av vassdragsreguleringer og avbøtende tiltak. Rapporten vil være et bidrag til å sikre levedyktige bestander av elvemusling i Norge, både ved utbygging av vannkraft og ved revisjoner av konsesjonsvilkår.


Steinar Schanche
leder styringsgruppe


Anne Haugum
programleder

Forfatterens forord

Prosjektet ”Effekt av vassdragsreguleringer på elvemusling” innenfor FoU-programmet ”Miljøbasert vannføring” har som mål å bedre kunnskapen om elvemusling som kan nyttes i vurdering av avbøtende tiltak i forbindelse med vassdragsreguleringer. Prosjektet har bestått av fem delprosjekter:

1. Kunnskapsoppsummering om vannkraftregulering og elvemusling
2. Redokspotensial – metode for å beskrive substratkvalitet
3. Livshistorie – vanntemperaturens betydning
4. Vekststudier – skalltilvekst i regulerte og uregulerte vassdrag
5. Etterundersøkelser på elvemusling i Mossa

Per Ingvardsson hjalp til med å skaffe til veie opplysninger om vannkraftutbygging og elvemusling i Halland. Kjell Sandaas og Jørn Enerud stilte velvillig til rådighet et skallmateriale og resultatdata fra Numedalslågen, som er tatt med i rapporten. Vi gjennomførte eksperimentelle studier på fiskeanlegget til OFA i Sørkedalen i 1996-1999, og i forbindelse med infeksjonsforsøk med muslinglarver på gjellene til ørret fikk vi uvurderlig hjelp av daværende bestyrer Bjørn Reidar Hansen. Jon M. Bjerland hjalp til under måling av redokspotensiale. I forbindelse

med utplassering av temperaturloggere i Figgjo og Skjellbekken fikk vi hjelp av henholdsvis Espen Enge og Paul E. Aspholm. Data fra loggerne ble behandlet av Karstein Hårsaker og Laila Saksgård. Under feltarbeidet i Mossa deltok Kamila Fricova fra T.G. Masaryk Water Research Institute i Praha. Vi vil gjerne takke alle disse for all verdifull hjelp under arbeidet.

*«Det som blir skrevet uten anstrengelse,
blir som regel lest uten glede»*

Samuel Johnson

Trondheim, september 2012

Bjørn Mejdell Larsen
prosjektleder

Sammendrag

Norge har i dag mer enn halvparten av den europeiske bestanden av elvemusling, og dette gjør den til en ansvarsart for Norge. Elvemuslingens livssyklus omfatter et larvestadium som er festet til gjellene på laks eller ørret, et ungt stadium nedgravd i grusen og et voksent stadium synlig på elvebunnen. De eldste elvemuslingene kan bli over 200 år gamle.

- Elvemusling finnes utbredt i hele Norge og er kjent fra 527 lokaliteter (per 1.8.2011), men har forsvunnet fra nær en firedel av disse lokalitetene. De fleste lokalitetene med reproduserende bestander av elvemusling finnes i dag i Møre og Romsdal, Sør-Trøndelag, Nord-Trøndelag og Nordland fylker.
- Elvemusling lever hovedsakelig i rennende vann. Den finnes helst i næringsfattige lokaliteter med grus- og sandbunn som stabiliseres av små og store steiner og steinblokker.
- Elvemusling unngår lokaliteter i vassdrag med høyt partikkelinnhold og trives også dårlig i områder med høyt innhold av humussyrer. Elvemusling påvirkes negativt ved forsuring og ved høy tilførsel av næringsstoff (eutrofiering).
- Elvemusling har en særegen biologi som inkluderer et obligatorisk larvestadium på gjellene til laks eller ørret. Det parasittiske stadiet varer normalt 10-11 måneder. Når muslingen har forlatt vertsfisken lever den nedgravd i substratet i de første leveårene. For å finne de yngste årsklassene må vi derfor lete i substratet. For muslinger som er 30-50 mm lange vil fortsatt bare 25-50 % av individene være synlige.
- Muslinger fra Sør-Norge har en noe høyere årlig tilvekst og er derfor normalt større enn muslinger fra Nord-Norge ved samme alder.
- Muslingene forflytter seg i liten grad etter at de har etablert seg på elvebunnen. Spredning innad i vassdrag og mellom vassdrag skjer derfor mens muslinglarvene er festet til fisken.

Litteraturstudie om kraftverksregulering og elvemusling

Vassdragsreguleringer påvirker i stor grad den naturlige vannføringen og vil derfor kunne endre habitatet til muslinger ved at variable som flom, vannhastighet, vanddekt areal og substratkvalitet påvirkes. På grunn av elvemuslingens strenge habitatkrav, kan vannkraftreguleringer derfor potensielt føre til betydelige forstyrrelser.

- En regulering kan påvirke substratet direkte ved nedslamming på grunn av redusert vannhastighet. Dette reduserer tilgjengelige gyteområder for laksefisk og oppvekstområder for elvemusling. Endringer i vanntemperatur kan forekomme som følge av endret vannføringsregime (redusert/økt vannføring og tapping av kaldere vann fra magasiner). I tillegg til at leveområdet for vannlevende dyr innskrenkes når vannføringen er lav, kan endringer i temperaturforholdene også forstyrre livssyklus.

- Endret vannføring kan gi økt is-skuring, sarrdannelse og innfrysing om vinteren i områder som normalt ville ha unngått slik påvirkning
- Demninger i forbindelse med vannkraftreguleringer kan resultere i fragmenterte bestander av fisk og elvemusling. Det er viktig å sikre frie vandringsveier for vertsfisk av riktig art i forbindelse med nye utbygginger og å forsøke å fjerne/utbedre vandringshindre i forbindelse med revisjoner. Det er svært viktig å ha kunnskap om hvilken fiskeart som er primærvert for muslingenes larver i hvert enkelt vassdrag, da dette kan variere både mellom og innad i vassdrag.
- Utbredelsen av muslinger vil normalt være begrenset av laveste vannføring i løpet av året. Ved reduksjon i vanndekt areal og lengre perioder med liten vannføring nedstrøms en oppdemming vil muslinger kunne strande på grunt vann. Muslinger beveger seg sakte og responderer ikke raskt nok på hurtige vannstandssenkninger.
- Muslinger kan tåle kortere perioder med tørlegging, delvis fordi de kan holde seg lukket og delvis fordi substratet ikke tørker fullstendig inn ved kortvarige vannstandsreduksjoner.
- Stranding forårsaker fysiologisk stress som forstyrrer reproduksjonen og reduserer formeringsevnen, og sekundære effekter (lavt oksygeninnhold, høy vanntemperatur, algevekst, konsentrering av forurensende stoff og økende avsetning av silt og finpartikulært materiale) kan øke dødeligheten selv i områder som fortsatt er vanndekte.
- Ved lav vannføring investerer muslingene mye energi for å unngå tørlegging (vandringssuro) eller til å grave seg ned i substratet. Høy vannføring kan også gi opphav til kontinuerlig stress, og mye energi vil gå med til å grave seg ned i substratet for ikke å bli skylt vekk.
- Slipp av kaldt vann om sommeren vil dempe muslingenes metabolisme i en periode av året da veksten skulle være på det høyeste, og dette kan hemme reproduksjonen. Dette kan påvirke produksjonen av muslinglarver, men også redusere overlevelsen av juvenile muslinger som nettopp har sluppet seg fra fisken.
- Vannføringssendringer som fører til økt erosjon, transport og sedimentasjon av partikler, vil sammen med høyt næringsinnhold forringe habitatet til elvemuslingene og skade oppvekstområdene. Substratet nedslammes, oksygenet forbrukes til nedbrytingen av tilført organisk materiale og de unge muslingene dør.
- Høy turbiditet, høy næringstilførsel med tilslamming og sedimentasjon av finpartikulært materiale er faktorer som kanskje har størst innvirkning på rekruttering og levedyktighet til bestander av elvemusling.

Generelt sett synes det som om elvemusling klarer seg fint der det er innført slipp av tilstrekkelig minstevannføring på fraførte strekninger, og der hvor restfeltet bidrar til å opprettholde et visst nivå på vannføringen. Mengden vann må også ivareta store nok populasjoner av vertsfisk. Episoder med flomvannføring, som kan frakte ut fin-

partikulært materiale slik at ikke substratet blir tiltettet, synes også å være viktig – spesielt med tanke på ivaretagelse av rekrutteringen.

Redokspotensial - metode for å beskrive substratkvalitet

Måling av redokspotensial er et hjelpemiddel for å karakterisere kvaliteten av substratet som oppvekstområde for unge muslinger. Gjennomsnittlig reduksjon i redokspotensial mellom frie vannmasser og substrat er et mål (surrogat) for reduksjon i oksygeninnhold. Redokspotensial ble undersøkt i 12 ulike elvemusling-vassdrag i Norge i 2011 (Hunnselva, Fallselva, Begna, Hoenselva, Håelva, Ereviksbekken, Svinesbekken, Hammerbekken, Borråselva, Mossa, Aursunda og Hestadelva).

- Når man generelt betrakter substratkvalitet i regulerte og uregulerte vassdrag som to atskilte grupper, peker ikke den ene eller den andre gruppen seg ut i positiv eller negativ retning.
- Det var imidlertid en god sammenheng i enkelte vassdrag mellom god rekruttering og god eller moderat substratkvalitet målt som reduksjon i redoksverdi mellom de frie vannmasser og substratet (f.eks. øvre deler av Hoenselva, Aursunda og Hestadelva). Svak eller manglende rekruttering og dårlig vannkvalitet i substratet fant vi i nedre deler av Hoenselva, Håelva, øvre deler av Mossa og Borråselva.
- Metoden med redoksmåling er et godt hjelpemiddel til å vurdere substratkvalitet for å kunne si noe om potensialet et område har for vellykket rekruttering i bestander av elvemusling.
- Når vannføringen reduseres til et minimum etter regulering, vil substratkvaliteten forringes på en slik måte at de unge muslingene ikke lenger overlever; rekrutteringen stopper helt opp (f.eks. Mossa).
- I andre regulerte vassdrag, som Begna, føres ikke vannet bort fra elveløpet. Selv om vannet magasineres og fordeles på en annen måte gjennom året i forhold til den naturlige tilstanden, behøver ikke dette ha samme effekt på substratkvaliteten bare vannføringen fortsatt er stor nok i løpet av året til at finpartikulært materiale ikke akkumuleres, men fortsatt vaskes ut av substratet.

Måling av redokspotensial er ikke tidligere forsøkt for å beskrive substratkvalitet i elver med elvemusling i Norge, og som all ny metodikk trenger vi noe mer tid til utprøving og erfaring med ulike habitat før metoden er fullt innarbeidet.

Vanntemperaturens betydning for livssyklus hos elvemusling

Vanntemperatur styrer veksthastighet og utviklingstid i mange faser av elvemuslingens liv. I Norge kan temperaturen i små bekker og elver med elvemusling variere mellom 0 og 25 °C i det enkelte år. Elvemusling er derfor tilpasset en betydelig grad av temperaturvariasjon. Naturlige eller menneskeskapte temperaturforandringer kan likevel påvirke flere stadier i muslingens liv som er viktig i forbindelse med overlevelse, inkludert individuell vekst, levealder og reproduktiv suksess.

Vanntemperaturdata er undersøkt i sju ulike elvemusling-vassdrag i Norge (Sørkedalselva, Simoa, Figgjo, Hofstadelva (Gråelva), Borråselva, Skjellbekken og Hopla).

- Vekstsesongen, definert som antall dager med vanntemperatur ≥ 5 °C, varierte betydelig mellom vassdrag. Vekstsesongen var kortest i nord (117 dager i Skjellbekken, Finnmark) og lengst i sør (221 dager i Figgjo, Rogaland). Endringer i vannføring og tapping av kaldt magasin vann kan forskyve eller forkorte vekstsesongen hos muslinger. Effekten av dette er imidlertid ukjent.
- Temperatursum i vekstsesongen varierte fra 1385 døgngader i gjennomsnitt i et «kalde» vassdrag (Skjellbekken) til 2776 døgngader i et «varmt» vassdrag (Figgjo). I tillegg til temperaturforskjeller mellom geografiske regioner er det også påvist forskjeller i tilvekst innad i vassdrag som skyldes genetiske forskjeller mellom delpopulasjoner («laksemusling» og «ørretmusling»).
- Lengden på graviditetsperioden hos elvemusling varierer mellom vassdrag, og larveutviklingen kan ta fra 24 til 69 dager. Det er ingen geografisk forklaring på denne variasjonen. Antall døgngader som behøves for å fullføre graviditeten er i de fleste vassdrag 400-593 døgngader. Figgjo med 620-728 døgngader og Simoa med 822-957 døgngader skilte seg ut fra dette. Felles for vassdragene med færrest døgngader er at alle disse er vassdrag med ørret som eneste vertsart for muslinglarvene («ørretmusling»).
- Det er forskjell i lengden på graviditetsperioden hos elvemusling i «kalde» og «varme» somre. I «varme» somre da temperatursummen i vekstsesongen er høyest, er graviditetsperioden kortest. Temperatursum i løpet av selve graviditetsperioden kan imidlertid variere fra å være lavest til høyest i de samme årene. Det kan bety at vanntemperaturen også er viktig for å regulere selve produksjonen av kjønnseller. Hvilken effekt temperaturforskjeller mellom år har på utviklingen av kjønnseller og muslinglarver og deres overlevelse er imidlertid ukjent.
- Plutselige endringer i vanntemperatur (>2 °C) og/eller vannstand (>10 cm) kan ofte resultere i utslipp av larver. Data som foreligger antyder at larver av elvemusling bare kan overleve 1-2 dager i elvevannet under normale forhold, og at forhøyede temperaturer kan forkorte denne levetiden ytterligere.
- Lengden på muslinglarvenes parasittiske stadium på ørret eller laks er relativt likt mellom vassdrag. Muslinglarvene sitter på fiskens gjeller mellom 296 og 326 dager (i gjennomsnitt 311 dager). Det var ingen geografisk variasjon selv om temperaturen i de undersøkte vassdragene varierte betydelig.
- Temperatursum for perioden muslinglarvene satt festet til vertsfiskens gjeller varierte fra 817 døgngader i Skjellbekken i Finnmark til 1945 døgngader i Figgjo i Rogaland. Gjennomsnittlig temperatursum for alle vassdrag i Norge var litt i overkant av 1400 døgngader. Temperatur i seg selv kan derfor ha mindre betydning enn selve lengden muslinglarven sitter festet på vertsfisken.

- Muslinglarvene slipper seg ikke av fisken før gjennomsnittstemperaturen i en 15 dagers periode på våren har vært om lag 14 °C (12-16 °C). I regulerte vassdrag som magasinerer vann om våren, vil vårflommen dempes og vanntemperaturen vil øke raskere enn i uregulert elv. Effekten av dette er imidlertid ukjent.
- Hos voksne muslinger er det fastslått at en «varm» vekstsesong gir høyere tilvekst enn en «kald» vekstsesong, og at en varig endring i vanntemperatur vil endre den årlige tilveksten hos elvemusling. Men andre faktorer (f.eks. vannkvalitet) kan overskygge effekten av vanntemperatur.

Skalltilvekst hos elvemusling i regulerte og ikke-regulerte vassdrag

Aldersbestemmelse og tilvekstanalyser på skall av elvemusling er gjennomført i åtte regulerte (Hunnselva, Fallselva, Begna, Numedalslågen, Skauga, Teksdalselva, Borråselva og Mossa) og fem uregulerte vassdrag (Simoa, Håelva, Ogna, Figga og Aursunda).

- Vi fant ingen markant forskjell i gjennomsnittlig årlig tilvekst eller andel tilvekstforstyrrelser i skallet hos elvemusling når regulerte og ikke-regulerte vassdrag ble sammenliknet (som grupper).
- Den årlige tilveksten varierte veldig mye mellom elver, og en generell direkte effekt av vassdragsreguleringer kan derfor være vanskelig å påvise. Det er ikke nødvendigvis vannføring alene som er den egentlige årsaken til vekstendringer hos muslinger. En vannkraftregulering kan imidlertid utløse en endring i substrat, vanntemperatur, vannkvalitet og næringstilgang som vil kunne være den egentlige årsaken til eventuelle endringer i vekst og mengden av tilvekstforstyrrelser.
- Det ble likevel funnet eksempler på sammenfall i tid mellom vassdragsreguleringer, anleggsarbeide i forbindelse med dette og endringer i skalltilvekst i enkelte av de undersøkte elvene:
 - Fallselva: Bygging av nytt kraftverk har ført til redusert vannføring på en større del av elva enn tidligere. Muslinger som ble samlet inn fra elvestrekningen med redusert vannføring vokste dårligere umiddelbart etter dette.
 - Borråselva: Høy frekvens av tilvekstforstyrrelser og lavere skalltilvekst under en anleggsperiode i forbindelse med ombygging og restaurering av dammen på Ausetvatn (sprengingsarbeid, skoghogst, høy turbiditet og lav vannføring).
 - Mossa: Redusert skalltilvekst etter at kraftverket ble bygget på begynnelsen av 1980-tallet. Mossa-muslinger som ble samlet inn i 1984, hadde dessuten lavere frekvens av alvorlige tilvekstforstyrrelser sammenliknet med muslinger samlet inn i 2010.
- I andre regulerte elver var det ingen slik sammenheng:
 - Begna: Anleggsarbeid i forbindelse med bygging av et elvekraftverk i Eidsfossen så ikke ut til å virke inn på muslingenes tilvekst ettersom

tilvekstkurven hadde samme variasjon både ovenfor og nedenfor elvekraftverket.

- Det var generelt stor variasjon i skallstørrelse hos muslinger med samme alder både mellom de ulike vassdragene, og også innen vassdragene. Dette innebærer at om man vil bestemme alderen på muslinger utfra skallengde, må det tilpasses en tilvekstskurve for hvert enkelt vassdrag og i noen tilfeller også for de ulike stasjonene i ett og samme vassdrag, spesielt i de tilfellene der det er delpopulasjoner i vassdraget som har forskjellig vertsfisk («laksemusling» og «ørretmusling»).

Elvemusling i Mossa, Nord-Trøndelag etter regulering

Mossa ble tillatt regulert ved kgl. res. av 4. desember 1981, og Mosvik kraftverk ble satt i drift i januar 1984. Restvannføringen på de nederste 1,5 km av elva er 40 %, i området opp til Lille Meltingen er restvannføringen 25-30 %, mens vannføringen ovenfor Lille Meltingen gradvis synker fra 5 til 0 %.

Det har opprinnelig vært elvemusling i hele lakseførende del av Mossa, og antallet muslinger har vært størst ovenfor Lille Meltingen. Etter senkingen av Meltingen ble det også funnet store mengder muslingskall i selve innsjøen, og i 1984 (første året med regulering) var det døde og døende muslinger nedenfor dammen på Åfjorden. I 2010 var muslingene dødd ut på hele strekningen mellom Åfjorden og Liafossen.

- Det finnes fortsatt voksne muslinger i Mossa, men de er sårbare og akutt overdødelighet har skjedd i år med liten vannføring.
- Tettheten er redusert med 96 % i enkelte områder, og andelen døde dyr (tomme skall) var spesielt høyt ovenfor Stokkleivvatnet.
- Før regulering var det god rekruttering i Mossa, og 26-28 % av bestanden var yngre enn 20 år i 1984, og om lag halvparten av disse igjen var yngre enn 10 år. Dette er karakteristisk for en livskraftig bestand.
- I 2010 (etter 26 år med regulering) var det ikke lenger muslinger yngre enn 20 år i øvre del av Mossa. Rekrutteringen stanset opp nesten umiddelbart etter at reguleringen var gjennomført.
- Nedenfor Lille Meltingen er det fortsatt en svak rekruttering, og anslagsvis 6-11 % av muslingene var yngre enn 20 år i 2010, men ingen muslinger var yngre enn 10 år. Dette gjenspeiler mangel på laks i vassdraget, som er sannsynlig vertsfisk for muslingenes larver.
- Mossa hadde svært lave redokspotensial i substratet og en reduksjon i redoksverdi mellom de frie vannmasser og substratet på 47-66 % ovenfor Lille Meltingen. Nedenfor Lille Meltingen var reduksjonen i redoksverdi bare 4 %. Unge muslinger overlever når redokspotensialet er lavere enn 20 %, og mer enn 30 % reduksjon er vurdert som alvorlig.

- Substratet i Mossa ovenfor Lille Meltingen er ødelagt som oppvekstområde for unge muslinger på grunn av nedslamming (oksygenmangel i substratet). Høyere og mer variert vannføring er det eneste tiltaket som kan hindre dette. Dette vil «reparere» substratet (hemme algevekst og nedslamming) og i tillegg sikre en god bestand av vertsfisk (primært laksunger).

Oppsummering

Målsettingen med denne kunnskapsoppsummeringen og temaene berørt i kapitlene 3-6 er at det skal gi basiskunnskap og eksempler som skal kunne benyttes til å vurdere effekten av reguleringsinngrep i vassdrag med elvemusling. Målet er samtidig at det skal gi grunnlag for å foreslå avbøtende tiltak som skal opprettholde bestandene av elvemusling. I mange tilfeller er imidlertid kunnskapen som foreligger for generell til at denne målsettingen kan oppnås.

- I vassdrag der man vet at det finnes elvemusling eller der det er mistanke om at elvemusling kan forekomme, må det gjennomføres en kartlegging av utbredelse og forekomst. Klassifisering av status til en elvemuslingbestand (truet, sårbar, levedyktig) baserer seg i første rekke på forekomsten av små (unge) muslinger.
- Har konsulenter og oppdragstakere den nødvendige kompetansen? Til kartleggingsarbeid generelt og mer detaljerte forundersøkelser i forbindelse med kraftverksreguleringer må det stilles krav til kompetanse og et minimum av dokumentert erfaring.
- I vurderingen av vannkraftregulerings betydning for elvemusling og hvorvidt det skal anbefales utbygging eller ikke, er det lagt vekt på tettheten av muslinger, hvorvidt rekruttering forekommer eller ikke og hvor stor del av bestanden som blir berørt av prosjektet. Når 1) tettheten er >1 individ pr. m^2 , 2) bestanden er livskraftig (funn av unge muslinger) og 3) >10 % av bestanden blir berørt, skal ikke prosjektet anbefales.
- Et forebyggende tiltak i prosjektområdet vil være å flytte muslinger, og en plan for slik flytting må utarbeides. Dette er mest aktuelt i områder med store muslinger og få individ som er nedgravd. Reproduserende bestander skal i utgangspunktet vurderes som så verdifulle at inngrep som står i fare for å endre dette, bare unntaksvis kan tillates. I reproduserende bestander med høy andel av unge individ vil heller ikke en effektiv flytting av muslinger være mulig da 20-60 % av muslingene kan være nedgravd i substratet.
- Hvordan vil planlagt vannkraftregulering endre vannføringen? Vannføringen må være høy nok til å hindre stranding, men vannføringen må samtidig være dynamisk slik at sannsynligheten for tilslamming, økt vanntemperatur og uønsket algevekst ikke øker. Tiltak som skal hindre skade på muslingbestander, må sikre en minste vannføring som minst er på størrelse med 95 persentilen (Q_{95}) i vassdraget som foreslås regulert. I vassdrag med stor forskjell mellom Q_{95} sommer og Q_{95} vinter vil det være behov for å skille mellom disse.

- Spyleflom er aktuelt som tiltak i vassdrag med redusert vannføring for å redusere avsetting av silt og finpartikulert materiale. Med utgangspunkt i livssyklusen til muslingene vil vår (før muslinglarvene slipper seg av fisken) og høst/senhøst (etter at muslinglarvene har festet seg til fisken) være de beste tidsperiodene for dette. Mindre vannslipp kan i tillegg være nødvendig om sommeren (juli) for å dempe algeveksten og øke oksygeninnholdet i perioder med høy vanntemperatur.
- Ved høy vannføring om våren bør denne reduseres til normal sommervannføring i løpet av mai-juni, avhengig av vassdrag, for at ikke muslinglarvene som slipper seg av fisken skal havne i områder som senere på sommeren blir tørrlagt. Flomvannføring er dessuten negativt for overlevelsen av juvenile muslinger som nettopp har sluppet seg av fisken.
- Vil planlagt vannkraftregulering endre tetthet og artssammensetning av fisk? Det må sikres frie vandringsveier for vertsfisk også etter en utbygging. I forbindelse med revisjoner bør en forsøke å fjerne eller utbedre vandringshindre. Samtidig må det tas hensyn til at viktige gytehabitat til laks og ørret opprettholdes.
- Ved eventuelle behov for å styrke den opprinnelige fiskebestanden i et vassdrag skal tiltakene alltid baseres på lokale stammer.
- Vil planlagt vannkraftregulering endre vanntemperaturen? Temperaturkontroll under tapping av magasin vann og tiltak må iverksettes for å unngå at vassdraget nedkjøles av kaldt magasin vann om sommeren. Endringer i vanntemperatur kan hemme reproduksjonen og øke dødeligheten av muslinglarver eller juvenile muslinger.
- Vil planlagt vannkraftregulering og eventuell tilføring/fracføring av vann endre vannkvaliteten? Tilførsel av næringsstoff (nitrat, fosfor, ammonium), suspendert materiale, humus og tungmetaller samt endringer i forsuring (pH, kalsium) og andre sentrale vannkjemiske parametre (ledningsevne, turbiditet) må holdes innenfor antatte grenseverdier i muslingvassdrag.
- I vassdrag med elvemusling må mengde finkornet substrat være <25 %, og redokspotensialet må gjennomsnittlig være >300 mV målt 5-7 cm nede i substratet for å opprettholde rekrutteringen.

I handlingsplanen for elvemusling er målet for arbeidet med forvaltning av elvemusling i et langsiktig perspektiv at den skal finnes i livskraftige populasjoner i hele Norge. Alle nåværende, naturlige populasjoner skal opprettholdes eller forbedres. I et slikt perspektiv må problemene for elvemusling i forbindelse med vannkraftreguleringer identifiseres, og nødvendige tiltak i forbindelse med nye prosjekter og revisjoner av gamle anlegg med fastsettelse av minstevannføring settes i verk for å hindre at muslingen dør ut i regulerte vassdrag. En bestand av elvemusling som opprettholder naturlig rekruttering, vil være det synlige beviset på god vannkvalitet og god økologisk status.

1. Innledning

Det har vært en global tilbakegang for de ikke-marine bløtdyrene som gir grunn til bekymring. Spesielt har tilbakegangen vært dramatisk for gruppen av ferskvannsmuslinger, og mange arter står nå i fare for å bli utryddet. Ett eksempel på en slik art er elvemusling, *Margaritifera margaritifera* L., som av enkelte forfattere betraktes som den mest truede ferskvannsmuslingen i verden.

På grunn av en kraftig tilbakegang i bestandene av elvemusling i hele Europa gjennom 1900-tallet har bevisstheten om den negative utviklingen økt. Fokus de siste ti-årene på å redde arten fra total utryddelse har økt betydelig. Årsaken til dette ligger i artens spennende historie, fascinerende levevis og særegne biologi i kombinasjon med et komplisert trusselbilde og usikkerhet om artens framtid i et moderne kulturlandskap. Elvemuslingen er en interessant dyreart. Den lever lenge, opptil 280 år, den har et parasittisk larvestadium på fisk, den er en effektiv vannrenser og nøkkelart og den lagrer miljøinformasjon i skallet. Det er derfor satt inn store ressurser på kartlegging og bevaring av arten og artens leveområder. I Norge vet vi nå også en del om artens biologi og generelle status i vassdragene våre, men mangler likevel fortsatt en del basiskunnskap for å kunne forvalte arten på en forsvarlig måte.

Med manglende kunnskap om utbredelse og forekomst av muslinger i Norge har man tidligere i uvitenhet ødelagt og forringet mange leveområder. Bestandsutviklingen har vært negativ i lang tid i deler av landet, og i mange lokaliteter har bestanden forsvunnet eller rekrutteringen har stanset opp; det har skjedd en "forgubbing" i bestandene. Årsaken til tilbakegangen skyldtes tidligere et hensynsløst perlefiske, men i dag ligger årsaken til tilbakegangen i forringelse og ødeleggelse av leveområdene. Eutrofiering, erosjon fra land- og skogbruksområder, forsuring, utryddelse av vertsfisk, vassdragsregulering, kanalisering, bekkelukking, drenering av myrer og annen utmark, snauhogst og giftutslipp kan være viktige faktorer i dette bildet.

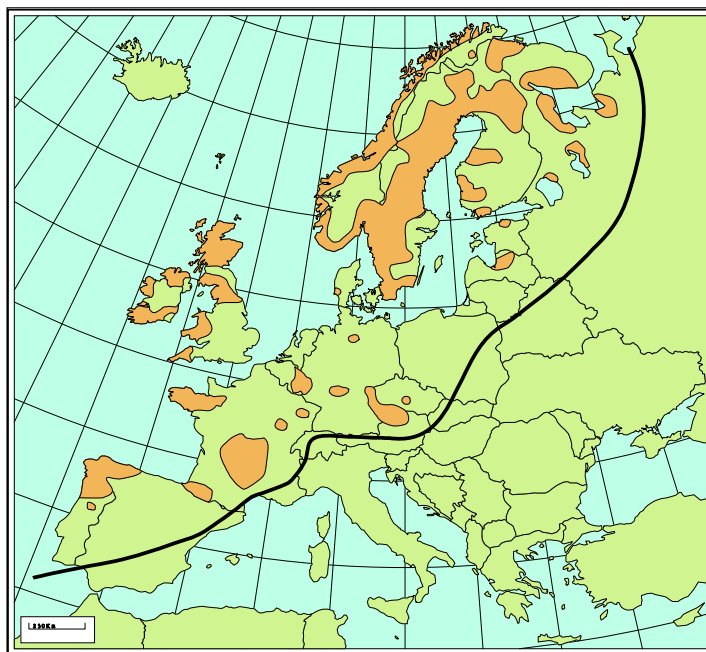
Summen av dette har gjort at elvemuslingen er ført opp på listen over truede dyrearter i Norge (Kålås mfl. 2010). Bestandsstatus for arten er imidlertid bekymringsverdig i hele dens leveområde, og elvemuslingen står derfor på IUCNs liste over truede dyrearter (IUCN 2011) og er ført opp på Bern-konvensjonens liste III over arter som det skal tas spesielt hensyn til. Elvemusling er i tillegg listet opp i EUs habitatdirektiv (vedleggene II og V).

Det er laget en generell handlingsplan for elvemusling i Europa (Araujo & Ramos 2000), og mange land har nå også laget sine egne nasjonale handlingsplaner. Norge fikk sin egen handlingsplan for elvemusling i 2006 (Direktoratet for naturforvaltning 2006).

1.1 Utbredelse og status

Elvemusling finnes naturlig i store deler av Europa og langs østkysten av Nord-Amerika. I Nord-Amerika er den begrenset til områdene langs Atlanterhavskysten fra New Foundland (Canada) til Pennsylvania (USA) (se Young mfl. 2001b). I Europa går

den opprinnelige grensen for utbredelsen nord for en linje fra Spania og Portugal i sør via Alpene gjennom Øst-Europa og opp gjennom Russland til Barentshavet (**figur 1.1**).

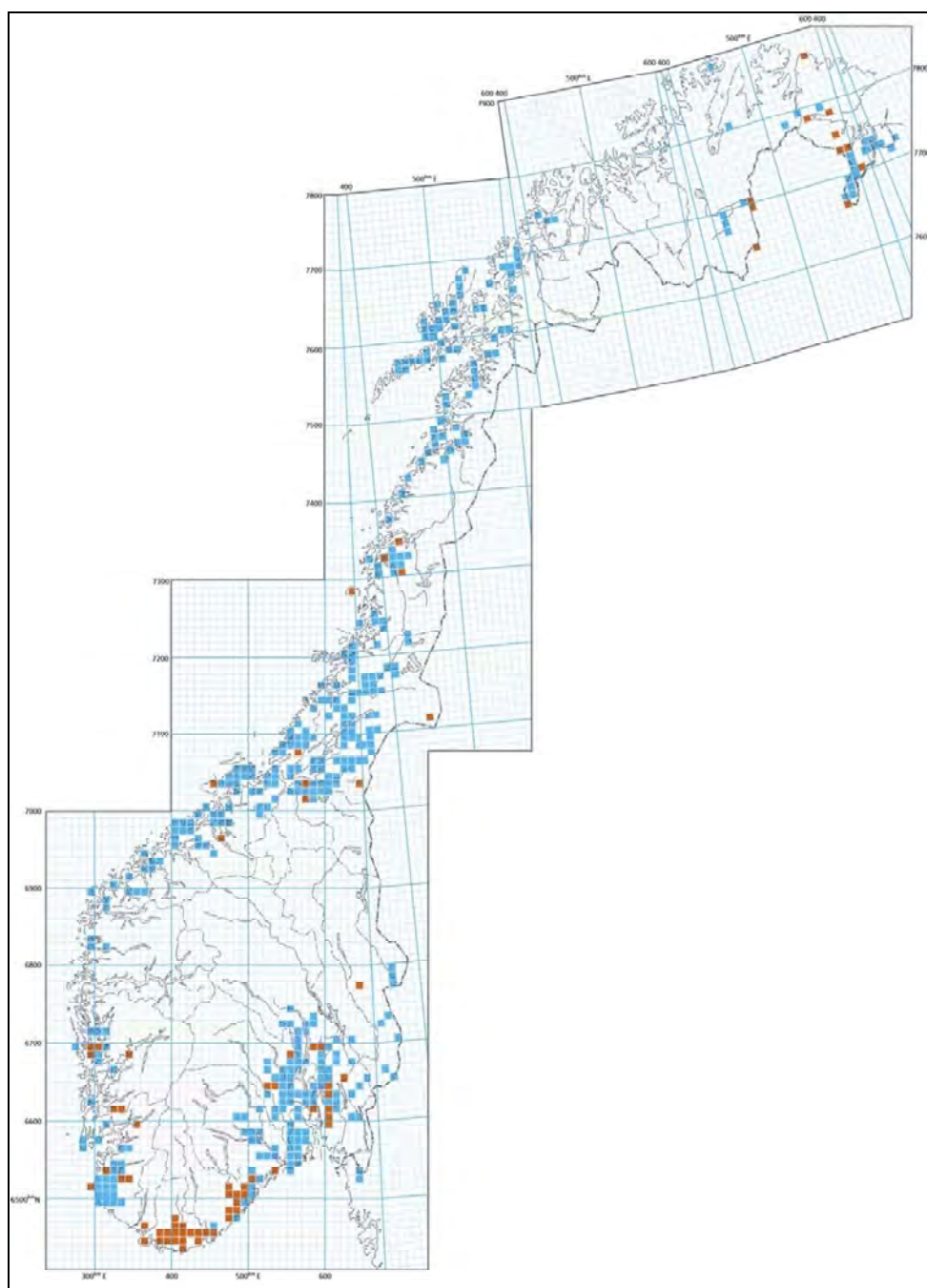


Figur 1.1. Utbredelsen av elvemusling i Europa slik den er kjent i dag. Det er imidlertid stor variasjon i antall lokaliteter og tetthet av muslinger innenfor det angitte utbredelsesområdet. Den heltrukne linjen angir den maksimale utbredelsen som elvemusling kan ha hatt i Europa tidligere. Fra Larsen (2005).

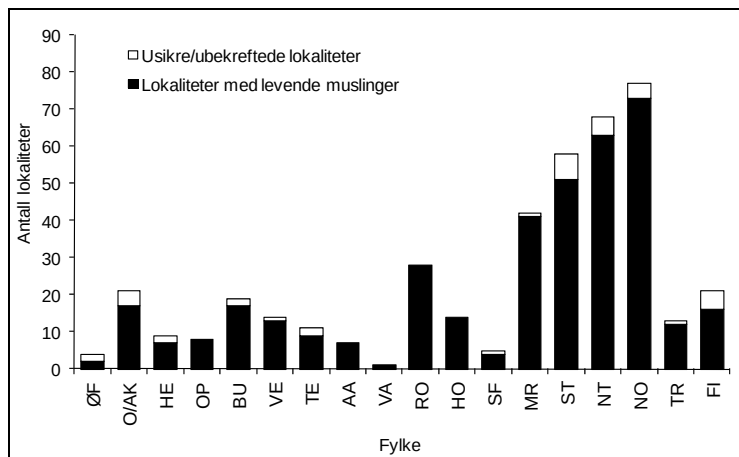
Elvemusling er en art som har hatt en kraftig reduksjon i utbredelse og antall spesielt i de sentrale og sørlige delene av Europa (bl.a. Young mfl. 2001b). Dette er bekymringsfullt, og store ressurser er satt inn for å bevare de siste populasjonene fra å forsvinne helt. I Norge, Sverige, nordvestlige delen av Russland og i noen grad Skottland og Irland finnes det fortsatt enkelte gode bestander av elvemusling. I Norge finnes den fortsatt utbredt i alle deler av landet og er kjent fra 527 lokaliteter (per 1.8.2011; **figur 1.2**). Den er antatt dødd ut i 22 % av de kjente lokalitetene, noe som gjør at vi i dag har levende muslinger i 413 lokaliteter. Fordelingen av antall lokaliteter med elvemusling per fylke viser at Nordland har flest kjente lokaliteter (77), foran Nord-Trøndelag (68), Sør-Trøndelag (58) og Møre og Romsdal (42) (**figur 1.3**). Dette er tall som fortsatt er i endring i takt med inventeringer i stadig flere områder og verifisering av gamle kjente lokaliteter (jf. Larsen 2010a).

Levedyktigheten til mange bestander er kraftig redusert, og den varierer i ulike deler av landet. Det ble funnet god rekruttering (minste musling <20 mm) i 35 % av de undersøkte lokalitetene (N = 74) (Larsen 2010a). Svak eller usikker rekruttering (minste musling ≥ 20 - <50 mm) ble funnet i 31 % av lokalitetene, mens det var ingen rekruttering (minste musling ≥ 50 mm) i 34 % av lokalitetene. Det betyr at om lag en tredel av alle lokaliteter i Norge ikke har noen rekruttering i dag. Problemene var større

på sentrale Østlandsområdet, der 57 % av lokalitetene var uten rekruttering sammenliknet med Trøndelag og Nordland, der bare 24 % av lokalitetene var uten rekruttering (Larsen 2010a).



Figur 1.2. Utbredelse av elvemusling i Norge plottet i 10x10 km ruter. Ruter med blå farge angir lokaliteter med levende musling og ruter med rød farge viser områder der muslingene er dødd ut. Oppdatert og omarbeidet fra Larsen (2010a).



Figur 1.3. Antall lokaliteter med levende elvemusling i Norge fordelt på fylke (N = 413).

Det generelle inntrykket er at mange bestander har redusert utbredelse i vassdragene, at bestandene mange steder er splittet opp og tynnet ut og at rekrutteringen er nedsatt (Larsen 2005). I tillegg til å være kategorisert som «sårbar» på Norsk Rødliste 2010 (Kålås 2010) ble den totalfredet mot all fangst fra 1. januar 1993. Elvemusling er nå også foreslått som prioritert art av Direktoratet for naturforvaltning etter den nye Naturmangfoldloven, som kom i 2009.

Konvensjonen om biologisk mangfold pålegger Norge forpliktelser i forhold til overvåking av rødlistearter. Forvaltningen har et særlig ansvar for internasjonalt truede arter. Et forsøk på å estimere totalbestanden av elvemusling i Norge kom fram til 143 millioner individer (Larsen 2010a). Dette kan bety at Norge alene har mer enn to tredeler av det totale antall elvemusling i Europa (med unntak av Russland). Dette gjør elvemusling til en ansvarsart for Norge. Dersom arten skal bevares, forutsetter det en god overvåking av tilstanden og nødvendige tiltak for å styrke og verne viktige elvemusling-lokaliteter.

1.2 Livssyklus

Formeringen hos elvemusling skjer i løpet av sommeren (**tabell 1.1**). Hos hunnen flyttes de modne eggene fra gonaden ut til gjellene der befruktningen skjer. Spermene sprøytes ut i vannmassene av hannen og følger vannet fram til hunnens gjeller gjennom innstrømningsåpningen. I enkelte populasjoner kan man imidlertid finne en større eller mindre andel av individer med anlegg for både hunnlige og hannlige kjønnsceller. Hermafroditisme kan være økologisk viktig ved at det sikrer reproduksjon selv i populasjoner med lav tetthet.

De befruktede eggene forblir i muslingens gjelleblader og utvikler seg i løpet av en fire ukers tid til muslinglarver (glochidier) (**tabell 1.1**). Gjellene fungerer altså som «yngelkammer» for muslinglarvene, og vi sier gjerne at muslingen er «gravid» i denne perioden. Fertilitet angitt som antall gravide individer i en populasjon (graviditetsfrekvens) varierer både mellom år og innad i vassdrag, men normalt finner vi at mellom

40 og 60 % av alle muslinger i en populasjon er gravide. Når muslinglarven er ferdig utviklet, blir de støtt ut i elvevannet, og denne frigivelsen skjer relativt synkront for hele bestanden (**tabell 1.1, figur 1.4**).

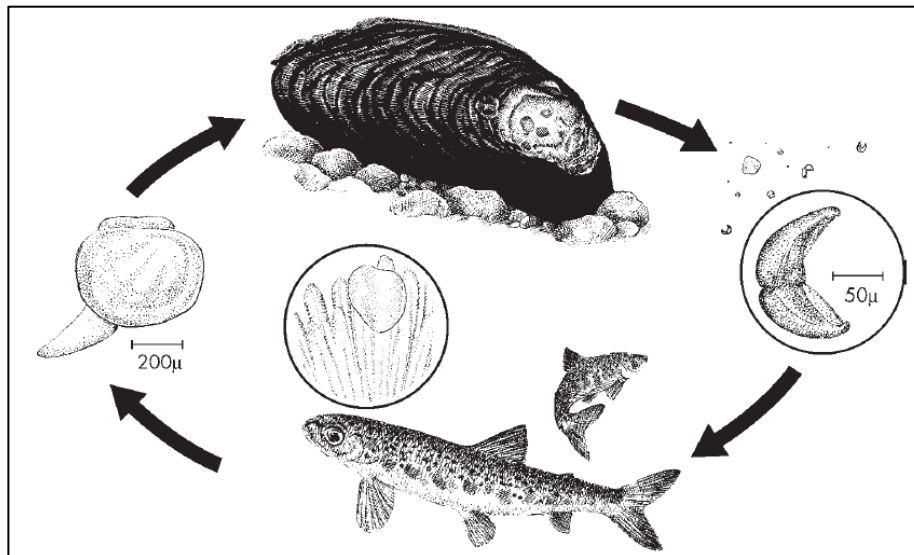
Det er et enormt tap av muslinglarver. En hunn kan i følge Young & Williams (1984a) produsere i gjennomsnitt om lag fire millioner glochidier ved hver forplantning (variasjonsbredde: 1-10 millioner) (Bauer 1987; 1989). I løpet av hele livet kan en hunn i gjennomsnitt produsere ca. 200 millioner glochidier. Populasjonene opprettholder fertiliteten selv om det bare er noen få individer igjen.

Tabell 1.1. Oppsummering av elvemuslingens livssyklus. Fra Larsen (2005).

Stadium	Tid på året eller alder	Merknader
Egg	(Juni) juli-august	Avgivelse av modne egg fra gonadene til yngelkammeret i gjellene
Muslinglarve	(Juni) juli-august i løpet av ca. 4 uker	Befruktning av eggene, vekst og utvikling av glochidiene i gjellene
	August-oktober i løpet av 7-12 dager	Frigivelse av glochidiene fra morydret
	August-oktober i løpet av noen dager	Glochidiene fester seg til gjellene på en vertsfisk og kapsles inn i en cyste
Metamorfosestadiet på gjellene til en laks eller ørret	September/oktober-april, 6-7 måneder	Begynnende differensiering og utviklingspause (overvintring) på vertsfisken
	April-mai/juni i løpet av ca. 8 uker	Vekst og metamorfose fra svakt differensiert larve til ferdigutviklet ung musling
Musling	Mai-juli	Muslingen (0,45 mm) slipper seg av vertsfisken og beveger seg ned i mellomrom i substratet
	Etter ca. 4-8 år	Den unge muslingen (15-30 mm) har vandret opp og kan observeres i øvre del av substratet. Starter et frittlevende liv på bunnen
	10-15 år gammel	Blir kjønnsmoden og starter reproduksjon (50-70 mm)

Etter at muslinglarvene er sluppet ut i vannmassene vil de dø i løpet av svært kort tid (inntil noen få dager) hvis de ikke kommer i kontakt med gjellene på en fisk (**tabell 1.1, figur 1.4**). Først etter et obligatorisk stadium på gjellene til laks eller ørret er muslinglarvene ferdig utviklet og kan starte et liv som bunnlevende musling i elva (**tabell 1.1, figur 1.4**). I anadrome vassdrag der laks er dominerende, vil laks normalt være den viktigste og kanskje den eneste vertsarten for muslinglarvene (Larsen 2005). Ovenfor vandringshindret i anadrome vassdrag derimot, og i små anadrome vassdrag

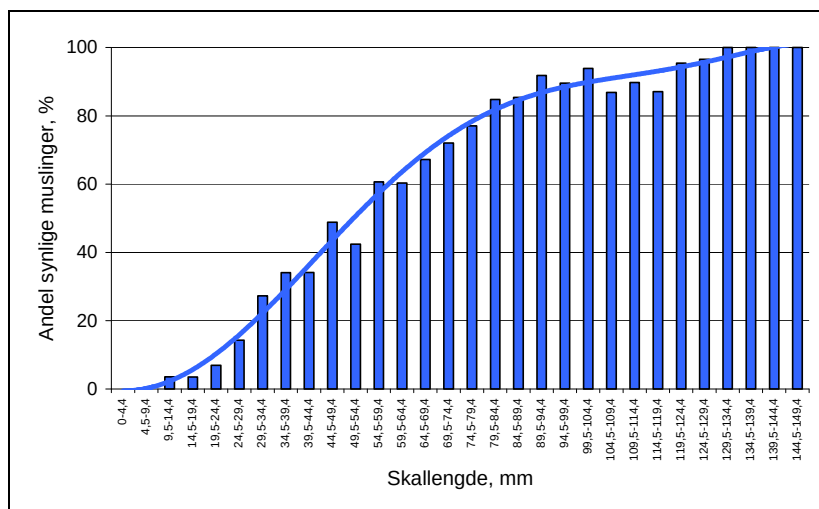
(sjøørretvassdrag), ser ørret ut til å være eneste vertsart. Det er derfor nødvendig å bestemme hvilken fiskeart som er primærvert i hvert enkelt vassdrag. Det er vassdrag i Norge der elvemusling har laks som primærvert i nedre del («laksemusling») og ørret som primærvert i øvre del av vassdraget («ørretmusling») (bl.a. Larsen mfl. 2011a, Larsen & Saksgård 2011). Der «laksemusling» og «ørretmusling» er funnet i samme vassdrag, frigir «ørretmuslingene» larvene sine 3-4 uker tidligere enn «laksemuslingene».



Figur 1.4. Skjematisk framstilling av elvemuslingens generelle livssyklus. I løpet av perioden juli-oktober støtes millioner av små (ca. 0,04 mm) muslinglarver ut i elvevannet. Muslinglarvene har et obligatorisk stadium på gjellene til en laks eller ørret, og må i løpet av kort tid feste seg til fiskegjellen for at utviklingen fra larve til ferdig utviklet musling skal bli vellykket. Den lille muslingen slipper seg av fisken om våren eller tidlig på sommeren året etter og lever nedgravd i substratet i de første leveårene. Fra Skinner mfl. (2003).

Det parasittiske stadium varer normalt 10-11 måneder. Larvene vokser i denne perioden (fra 0,04 til 0,35-0,45 mm) og gjennomgår en omfattende metamorfose. I mai-juli slipper den unge muslingen seg av fisken. Den følger vannstrømmen og havner til slutt nede i bunnsubstratet. Bare de som havner i gunstig substrat, fra sand til grus og småstein, har mulighet til å overleve. Muslingen lever normalt nedgravd i substratet i de første leveårene. Tiden nedgravd i substratet er kritisk, og av de unge muslingene dør 95 % før de er 5-8 år gamle (Young & Williams 1984a). Tilveksten i de første leveårene i grusen er relativt langsom (1-2 mm/år), men øker suksessivt med alderen. Dette gjør at muslingene får en tilnærmet eksponentiell tilvekst i årene fram til kjønnsmodning, da veksten igjen avtar. Når muslingene er 5-8 år og har en skall-lengde som overstiger 10-25 mm, begynner de å bli synlige på elvebunnen (jf. **figur 1.5**). For å finne de yngste årsklassene er det derfor nødvendig å grave i substratet. Selv de voksne muslingene kan i perioder leve nedgravd i substratet. En

undersøkelse av elvemusling i flere norske vassdrag viste at i gjennomsnitt var 34 % av muslingene nedgravd (Larsen mfl. 2007b, Degerman mfl. 2009).



Figur 1.5. Undersøkelser i Norge viser at elvemuslingen lever nedgravd i bunnsubstratet til de oppnår en lengde på 10-25 mm. For muslinger som er 30-50 mm lange vil fortsatt bare 25-50 % av individene være synlige. Fra Degerman mfl. (2009).

Data fra England viser at elvemuslingen normalt blir kjønnsmoden i 12-13-årsalder når den er 65-77 mm (Young & Williams 1984a). I Norge har vi funnet gravide muslinger ned i 10-års alder (57 mm) og kjønnsmodne hanner som var 51-52 mm lange (12 år).

1.3 Vannkvalitetskrav

Vannkvalitetskrav hos elvemusling er ikke et entydig tema med enkle svar. I løpet av elvemuslingens livssyklus gjennomgår den flere faser med ulike krav til vannkvalitet:

1. Muslinglarven i de frie vannmasser etter «gyting»
2. Unge muslinger i den første levetiden (første leveår)
3. Voksne muslinger

I den korte tiden mellom gyting og innkapsling på en fiskegjelle er muslinglarvene direkte eksponert til vannkvaliteten i vassdraget. Ziuganov mfl. (upubliserte data) nevner at muslinglarvene er spesielt følsomme for lave pH-verdier. Noen metaller har vist seg å være akutt giftige for muslinger (Naimo 1995), og de frittlevende muslinglarvene (før de infiserer fisken) og unge muslinger er antatt å være mer følsomme enn eldre muslinger. Larsen (2008b) viste at vann med forhøyede aluminiumskonsentrasjoner direkte reduserte muslinglarvenes vitalitet og mulighet til å infisere laks eller ørret på normal måte, alternativt at aluminium endret sammensetningen av fiskeslimet på gjellene, som igjen hadde en toksisk virkning på muslinglarven.

I en svensk undersøkelse av 111 muslingbestander i Västernorrlands län (Söderberg mfl. 2008b) ble det funnet at muslingbestander med god status (med rekruttering) skilte seg fra svake bestander når tettheten av årsyngel ørret var større enn 5 individ per 100 m² (5-25 individ), fargetallet under vårflommen var mindre enn 80 mg Pt/l, konsentrasjonen av totalfosfor var mindre enn 15 µg/l (gjennomsnittsverdien for livskraftige bestander var ca. 5 µg/l; jf. Moorkens mfl. 2007) og turbiditeten var mindre enn 1 FNU (0,5-1,0 FNU) (**Boks 1**; Degerman mfl. 2009).

Synspunktet på hvilke krav elvemuslingen har til vannkvalitet har endret seg i de siste årene, og årsaken er ofte at vannkvalitetsverdier som tidligere har vært oppgitt bare beskrev at muslinger var til stede – ikke at de faktisk hadde en vellykket rekruttering.

Boks 1

Elvemuslingens krav til livsmiljø (Degerman mfl. 2009)

Musslor vill ha strömmande vatten av bra vattenkvalitet, stabila bottnar med lämpligt material, god vattenomsättning i substratet och god tillgång till värd fisk. Med dagens kunskap föreslås följande riktlinjer för skandinaviska vatten:

pH ≥6,2	(minvärde)
Inorganiskt aluminium <30 µg/l	(maxvärde)
Totalfosfor <10 µg/l	(medelvärde)
Nitrat <125 µg/l	(medianvärde)
Turbiditet <1 FNU	(medelvärde, vårflod)
Färgtal <80 mg Pt/l	(medelvärde, vårflod)
Vattentemperatur <25 °C	(maxvärde)
Finkornigt (<1 mm) substrat <25 procent	(andel av partiklar, maxvärde)
Redoxpotential >300 mV	(korrigerat värde)
Antal laxfiskungar ≥ 5 per 100 m ²	(minvärde, sommar)

1.4 Habitatkrav

Elvemuslingens krav til de enkelte miljøparametre kan være forskjellig innen utbredelsesområdet, og også i løpet av levetiden. Forandringer i habitat for eksempel i forbindelse med en vannkraftregulering, kan medføre at de unge muslingene forsvinner uten at det ser ut til å påvirke de voksne muslingene. At de voksne muslingene fortsatt er til stede, sier ingenting om hva som egentlig er miljøkravene for å opprettholde rekrutteringen og sikre bestanden på lang sikt.

Det er vanskelig å stille opp eksakte grenseverdier for de ulike miljøfaktorene, ettersom de hele tiden samvirker. En forskyvning i en av faktorene kan i visse tilfeller kompenseres ved endringer av en eller flere av de andre miljøfaktorene. Dessuten kan det være vanskelig å avgjøre hvilke miljøfaktorer som er av primær betydning for elvemuslingen og hvilke som bare virker sekundært.

Elvemuslingen lever hovedsakelig i rennende vann. I River Kerry i Skottland var optimalt dyp for muslingene 0,3-0,4 m (Hastie mfl. 2000), men normalt finnes de på 0,5-2 m dyp (Larsen 1999). Hvor grunt de står, avhenger av vannstandsvariasjonen gjennom året. I store og dype elver kan de også forekomme på >10 m dyp i enkelte av kulpene. Unntaksvis kan de også forekomme i enkelte innsjøer (Dolmen & Kleiven 2008). Elvemuslingen tolererer vannhastigheter på 0,3-2 m/s (Ziuganov mfl. 1994), men optimal vannhastighet er oppgitt til 0,3-0,8 m/s (River Kerry; Hastie mfl. 2000), 0,2-0,4 m/s (Østerrike; Moog mfl. 1993) eller 0,1-0,8 m/s (Dalarne i Sverige; Grundelius 1987).

Muslingene finnes oftest i næringsfattige lokaliteter der grus- og sandbunn dominerer mellom små og store steiner og steinblokker som er med på å stabilisere substratet (Hastie mfl. 2000; 2004). De beste muslingehabitatene er i tillegg knyttet til områder med «hurtigrennende» vann og kantvegetasjon og i yttersvinger i elva (Hastie mfl. 2004). Forekomst av muslinger er i mindre grad knyttet til grusører i elvas innersvinger, områder med «sakteflytende» vann og eroderende elvekanter samt områder med makrofytter og tett vannvegetasjon. Sedimentering av mudder og finpartikulært materiale hindrer de unge elvemuslingene i å etablere seg, og arten finnes derfor mer unntaksvis i områder med løs mykbunn. For de unge muslingene må strukturen i substratet være slik at det er en god utskiftning av vann mellom de frie vannmasser og mellomrommene i substratet. Andelen finkornet (<1 millimeter), uorganisk materiale i bunnmaterialet bør være mindre enn 25 % for at unge muslinger skal lykkes å overleve (Geist & Auerswald 2007, Österling 2006). Andelen organisk materiale bør også være lav. Det er årsaken til at erosjon og nedslamming må holdes under kontroll i vassdrag med elvemusling.



*Muslingene står oftest i områder der grus og sand dominerer mellom små og store steiner og steinblokker som er med på å stabilisere substratet.
Foto: Bjørn Mejdell Larsen.*

Forekomsten av muslinger kan variere fra spredte enkeltindivider til tette teppe-dannende ansamlinger. Populasjonsstørrelsen kan variere fra noen få individer til bestander på flere hundre tusen individer og opptil noen titalls millioner individer. Arter av ulike ferskvannsmuslinger kan utgjøre mer enn 90 % av biomassen av de bentiske invertebratene i enkelte innsjøer og elver (Økland 1963, Larsen 1986), og deres

innvirkning på økosystemfunksjonene kan derfor være betydelig, spesielt i perioder med lav vannføring og høy vanntemperatur. En elvemusling kan filtrere 50 liter vann hvert døgn (2,1 liter pr. time) (Ziuganov mfl. 1994). Muslingene filtrerer næring fra vannet som strømmer gjennom kappehulen og over gjellene. De assimilerer den organiske delen og skiller ut den uorganiske komponenten som synker til bunns som pseudofeces, tilgjengelig som næring for andre organismer. I tillegg danner både levende muslinger og tomme skall habitat for andre bentiske organismer. Opprettholdelse av en livskraftig muslingbestand med stor utbredelse og høy tetthet, er derfor viktig, ikke bare for elvemuslingen i seg selv, men det påvirker på en positiv måte hele økosystemet i elver og bekker.



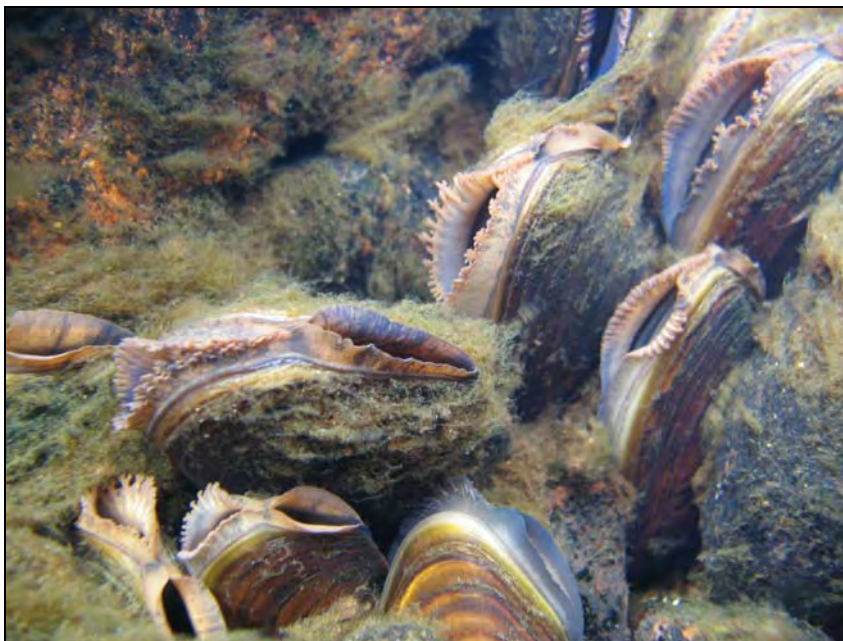
Enkelte steder kan elvemuslingene danne teppe-dannende ansamlinger. Dette har stor betydning for vannkvalitet og andre vannlevende organismer i elva. Foto: Bjørn Mejdell Larsen.

Fordelen med å kunne anvende elvemusling som et ledd i naturovervåkingen, er artens høye krav til vannkvalitet og habitat. Spesielt interessant er det at elvemuslingen kan oppnå en imponerende høy levealder (250-300 år). Selv om rekrutteringen har vært helt fraværende i mange år, vil bestander av elvemusling kunne ta seg opp igjen så sant årsaken til bestandsnedgangen blir fjernet.

I handlingsplanen for elvemusling (Direktoratet for naturforvaltning 2006) er målet for arbeidet med forvaltning av elvemusling i et langsiktig perspektiv at den skal finnes i livskraftige populasjoner i hele Norge. Alle nåværende naturlige populasjoner skal opprettholdes eller forbedres. I et slikt perspektiv må problemene for elvemusling i forbindelse med vannkraftreguleringer identifiseres, og nødvendige tiltak i forbindelse med nye prosjekter og revisjoner av gamle anlegg med fastsettelse av minstevannføring settes i verk for å hindre at muslingen dør ut i regulerte vassdrag. Ved inngrep i eller langs vassdrag med elvemusling må det som et minimum gjennomføres tilstrekkelige undersøkelser og vurderinger som belyser konsekvensen av inngrepet, og det må gis råd om avbøtende tiltak. En bestand av elvemusling som opprettholder naturlig rekruttering, vil være det synlige beviset på god vannkvalitet og god økologisk status.



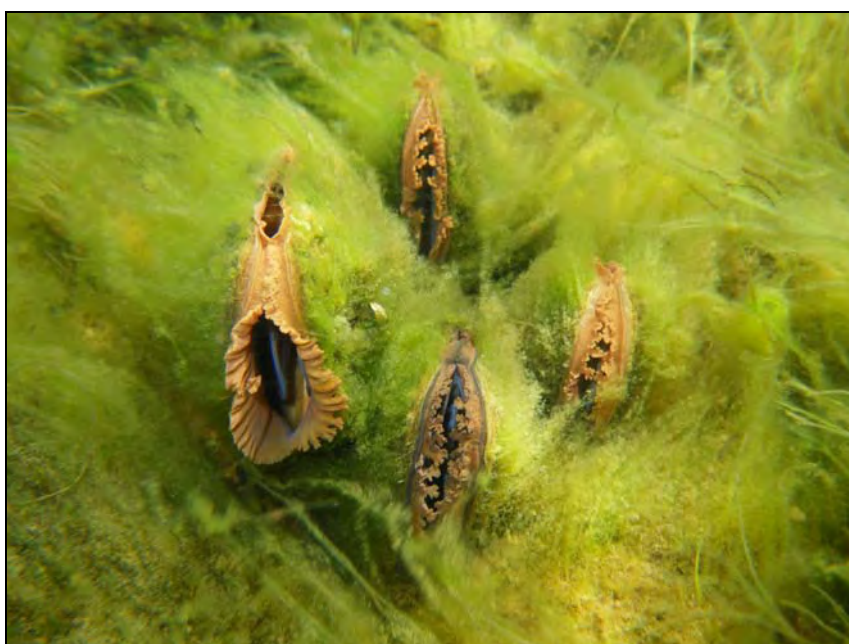
Elvemusling oppnår normalt en størrelse på 10-13 cm, men de kan bli opp til 15-17 cm. Skallet er mørkt brunlig, nesten svart hos eldre individ, og som oftest nyre-formet. Foto: Bjørn Mejdell Larsen.



Elvemuslingen står delvis nedgravd i substratet godt forankret i grusen ved hjelp av en muskuløs fot. En voksen musling filtrerer om lag 50 liter vann i løpet av et døgn, og en stor muslingbestand er et viktig bidrag til å opprettholde en god vannkvalitet også for andre bunndyr og fisk i vassdraget. Foto: Bjørn Mejdell Larsen.



Elvemuslingen kan strekke ut en fot mellom de to skallene, og benytter den til å forankre seg i substratet. Den kan også benytte foten til å forflytte seg på elvebunnen. Den etterlater da en tydelig fure i sanden eller grusen. Foto: Bjørn Mejdell Larsen.



Generelt nevnes "forurensning" og menneskelig aktivitet som de viktigste årsakene til nedgangen i muslingbestandene over store deler av utbredelsesområdet. I elver med høyt næringsinnhold kan elvemuslingen bli helt tildekket med alger. Avrenning fra landbruk, industri og husholdning som drenerer direkte til vassdragene, kan medføre slik algevekst og begroing. Når planter og dyr dør og senere råtner, brytes det organiske stoffet ned under forbruk av oksygen. Dette gir en økt sedimentering av partikler som gjør at elvebunnen blir tilslammet. Foto: Bjørn Mejdell Larsen.

2. Litteraturstudie om vannkraftregulering og elvemusling

Bjørn Mejdell Larsen & Martin Österling

Det finnes svært få undersøkelser av vannkraftregulerings virkning på elvemusling i Norge. Konsekvensutredninger som er gjennomført i de siste årene, er ofte begrenset til en beskrivelse av elvemuslingens forekomst og generelle betraktninger om en eventuell effekt av utbygging. Så vidt vi vet er det ikke tidligere gjennomført noen før- og etterundersøkelser i forbindelse med vannkraftreguleringer og elvemusling i Norge. Tilfanget av utenlandsk litteratur er også svært begrenset.

Det finnes likevel noen eksempler og beskrivelser fra regulerte vassdrag, som har bestander av andre arter av store muslinger, hovedsakelig fra Nord-Amerika. Noe av denne litteraturen kan også være relevant for elvemusling i norske vassdrag.

Omkring 5 % av Norges areal karakteriseres som ferskvann, og totalt finnes det over 250 000 km elvestrekning med vannføring over 1 m³/s (Schartau mfl. 2008). De fleste elvene er små med nedbørfelt mindre enn 10 km² og en lengde på noen få kilometer. Omkring en tredel av vannarealet i Norge er påvirket av vannkraftutbygging, tilsvarende i underkant av 6000 km².

Reguleringer og oppdemming i vassdrag er inngrep som har forekommet på ulike måter i lang tid. Tidligere ble det bygget dammer for å utnytte vannet til fløting, kverner og sagbruk. I nyere tid har produksjon av elektrisk kraft og utnyttelse av vannet i drikkevannsforsyning, jordbruksvanning og industriformål vært det viktigste. Det skilles vanligvis mellom fire typer vannføringsregimer: Redusert vannføring, sesongmessig utjevnet vannføring, økt vannføring og korttidsfluktuasjoner (effektkjøring). Dette endrer de naturgitte fysiske forhold som vannlevende organismer er tilpasset. Vassdragsreguleringer påvirker i stor grad den naturlige vannføringen og vil derfor kunne endre habitatet til muslinger ved at variable som flom, vannhastighet, vanndekt areal og substratkvalitet påvirkes. På grunn av elvemuslingens strenge habitatkrav, kan vannkraftreguleringer derfor potensielt føre til betydelige forstyrrelser.

En regulering kan påvirke substratet direkte ved nedslamming på grunn av redusert vannhastighet. Dette reduserer tilgjengelige gyteområder for laksefisk og oppvekstområder for elvemusling. Endret vannføring kan gi økt is-skuring og innfrysing om vinteren, og endringer i vanntemperaturen kan forekomme som følge av endret vannføringsregime (redusert/økt vannføring og tapping av kaldere vann fra magasiner). I tillegg til at leveområdet for vannlevende dyr innskrenkes, kan endringer i temperaturforholdene forstyrre livssyklus.

2.1 Demninger og dammer i regulerte vassdrag

Bygging av demninger i forbindelse med vannkraftreguleringer resulterer som oftest i at bestandene av fisk og elvemusling i vassdraget blir splittet opp. Isolerte bestander av elvemusling kan miste kontakten med den viktigste forutsetningen for å overleve på lang sikt – nemlig vertsfisk av riktig art. Det er svært viktig å ha kunnskap om hvilken fiskeart som er primærvert for muslingenes larver i hvert enkelt vassdrag, da dette kan variere både mellom og innad i vassdrag (Larsen 2005; 2006). Demninger som påvirker forutsetningene for vandring av fisk vil indirekte hindre spredning av elvemusling innad i vassdraget. Forekomsten av store ferskvannsmuslinger er derfor påvirket av utbredelsen til den eller de fiskeartene som er vertsart for muslinglarvene. Samtidig vil damkonstruksjoner også være barrierer som hindrer muslingenes egen forflytning, og tidligere sammenhengende muslingbestander kan bli splittet opp. I de tilfeller der fiskebestanden også reduseres, vil dette i sin tur redusere rekrutteringen hos de gjenværende muslingene.

Generelt fører vandringshindre av flere typer til at elveløpene blir fragmentert. I Ljungans nedbørsområde i Västernorrlands län i Sverige, viste det seg at 6 av 25 populasjoner med elvemusling var helt isolerte fra andre bestander gjennom menneskeskapte barrierer (Söderberg mfl. 2008a). Det var i gjennomsnitt 2,8 kunstige vandringshindre i hver av de undersøkte muslingpopulasjonene.

Ferskvannsmuslinger (Unionoidea) er derfor et godt eksempel på faunaelement som helt eller delvis kan forsvinne på grunn av deres avhengighet av andre arter (Freeman mfl. 2003). Vaughn & Taylor (1999) viste at utbredelse og vandringsmulighet til vertsfisken spilte en viktig rolle for fordelingen av muslinger. Demninger i elveløpet som blokkerte for naturlig vandring av muslingenes vertsfisk, har indirekte forårsaket utryddelse av muslinger i USA (Williams mfl. 1993, Watters 1996). Demninger som hindret laks i å komme opp i vassdragene nevnes som en av flere årsaker til at elvemusling har dødd ut i enkelte lokaliteter i Karelia (Makhrov mfl. 2009) og Arkhangelsk (Bolotov & Besspalaya 2010). I Spania er det også antatt at populasjonene av elvemusling i elvene Tera og Negro ikke lenger reproducerer på grunn av mangel på vertsfisk etter bygging av demninger (Morales mfl. 2004).

Av 17 nedbørfelt med elvemusling i Finland nevnes «hydropower» som trusselfaktor i 11 av disse (Oulasvirta 2010), og demninger som vandringshinder for laks inngår i dette. I Nord-Finland på grensen mot Russland ble det for mer enn 60 år siden bygget et kraftverk i elva Tuloma på den russiske siden av grensen. Dette stoppet vandringen av laks i vassdraget. Selv om det fortsatt var ørret i vassdraget ovenfor demningen, stanset rekrutteringen hos elvemusling opp ovenfor kraftverket på finsk side av grensen (Porkka 2003). Bestanden står i dag i fare for å dø ut da vertsfisk av riktig art hindres i å nå opp til bestander av elvemusling som lever ovenfor demningen.

Tilsvarende eksempler finnes også for ørret i Sverige (bl.a. Teåkersälven; Eriksson mfl. 1998). I Lillån ble det bygget et elvekraftverk (demning) for mer enn 60 år siden. Dette tørrla elvestrekningen nedenfor og resulterte i en fragmentering av fiske-

bestanden. Lav tetthet av ørret er i dag antatt å være den viktigste årsaken til at bestanden av elvemusling har liten eller ingen rekruttering (Englund mfl. 2008).

Laks vandret tidligere fra Steinkjerelva/Byaelva i Nord-Trøndelag og opp i Snåsavatnet. Før det ble bygget dam ved Byafossen og på Sunnan vandret laksen helt til Granaelva i Snåsa. Det er antatt at elvemusling i f.eks. Forneselva opprinnelig har hatt laks som primærvert for muslinglarvene, og at mangel på laksunger i dag er årsaken til at rekrutteringen er lav eller nær fraværende (Rikstad & Julien 2010). Hvor omfattende dette er vites ikke sikkert, men vi finner liknende eksempler også andre steder i Norge, spesielt i forbindelse med vannverk og vannuttak til fiskeanlegg som stenger for naturlig oppvandring av anadrom laksefisk.

I Figga i Steinkjer ble det bygget en fiskesperre i 1988 som skulle hindre laks i å vandre oppover i vassdraget (Rikstad & Grande 1992). Formålet var å hindre lakseparasitten *Gyrodactylus salaris* i å spre seg på laks. Den lakseførende strekningen opp til Leksdalsvatnet var opprinnelig 18 km, men etter at sperren kom på plass kan laks bare vandre om lag 1,5 km opp i elva. Hvilken effekt har denne fiskesperren hatt på bestanden av elvemusling i Figga? Figga har en stor bestand av elvemusling (estimert til 6,4 millioner individ i 1999), med størst tetthet i øvre del av elva (Larsen mfl. 2011a). Det viste seg imidlertid at muslingene bare i liten grad utnyttet ørretungene som vertsfisk (våren 1999 var bare 4 % av ørretungene infisert med muslinglarver i et lite antall), og det ble ikke funnet muslinger mindre enn 50 mm ovenfor fiskesperren i 2009, og bare 2-4 % av muslingene var yngre enn 30 år. Nedenfor fiskesperren var det best rekruttering i år med høy tetthet av laksunger (i forbindelse med utlegging av lakserogn eller utsetting av laksyngel), og 23-25 % av muslingene var yngre enn 30 år i 2009 (Larsen mfl. 2011a).



Fiskesperra som ble bygd ved Lø i Figga, ligger om lag en kilometer fra munningen i Beistadjorden og stanser all videre oppvandring av laks i vassdraget. Foto: Bjørn Mejdell Larsen.

I juni 2010 ble det satt ut laksyngel ovenfor fiskesperra. I slutten av mai 2011 var all laks infisert med muslinglarver i store mengder. I gjennomsnitt var det 1000-2000 muslinglarver på laksungenes gjellebuer ved Hafstad og Sagmo (Larsen & Saksgård 2012). Selv om henholdsvis 27 og 55 % av ørretungene var infisert ved Hafstad og Sagmo, hadde de fleste mindre enn 20 larver til sammen på gjellene. Utsetting av

laksunger ovenfor sperra er dermed eneste mulighet man i dag har for å opprettholde rekrutteringen hos elvemusling i store deler av utbredelsesområdet for arten i Figga.

Dette bekrefter med all tydelighet hvor viktig det er å undersøke hvilken fiskeart som er primærvert i det enkelte vassdrag for å kunne forstå konsekvensen av planlagte inngrep i vassdrag med elvemusling.

Forekomst av muslinger har også avtatt mange steder på grunn av endringer i habitat og vannføring forårsaket av demninger og neddemte elvearealer (Layzer mfl. 1993, Williams mfl. 1993, Neves mfl. 1997, Vaughn & Taylor 1999, McAllister mfl. 1999, Watters 2000). I Nord-Amerika er mye av den reduksjonen man observerer i bestander av store ferskvannsmuslinger forårsaket av damkonstruksjoner og hvordan vannføringen manøvreres (Layzer mfl. 1993, Hughes & Parmalee 1999). Det oppdemte området ovenfor en demning er ofte uegnet habitat for muslinger som normalt lever i stryk og grunne habitat. I tillegg knyttes effektene av en oppdemming til tappingen av kaldt vann fra magasinet og varierende vannføring som vekselvis medfører tørrelegging og utvasking av elvebunnen. Demninger som endrer det fysiske, kjemiske og biologiske miljøet i elver, både oppstrøms og nedstrøms konstruksjonen, kan føre til at 30-60 % av muslingfaunaen blir ødelagt (Williams mfl. 1993). Det er flere eksempler også fra Skottland der demninger på denne måten har gjort indirekte skade på bestander av elvemusling (Cosgrove & Hastie 2001), og til sammen åtte lokaliteter er oppgitt å være negativt påvirket av dette.

2.2 Lav vannføring og stranding

Både i uregulerte og regulerte elver og innsjøer der vannføringen varierer mye i løpet av året, vil utbredelsen av muslinger begrenses til laveste vannføring i løpet av året. Grensene for utbredelsen av andemusling (*Anodonta anatina*) i Svartevja ved Lillehammer samsvarte i stor utstrekning med vannstandslinjen ved laveste vannstand om våren (årlig vannstandsvariasjon 2,0-2,5 m) (Larsen 1986). I Mjøsa ved Moelv ble >90 % av andemuslingene funnet på større dyp enn 3,5 m, som tilsvarer den årlige vannstandsvariasjonen (B.M. Larsen upublisert materiale). Ingen individer ble påvist i dybdeintervallet 0-3 m. I Bergsvatn og Borrevatn (Vestfold) ble det påvist at vannstandssenkninger større enn normalt førte til at muslinger omkom i langgrunne områder om sommeren (Økland 1963; 1975). Det er også eksempler fra Sverige på at raske vannstandsendringer i innsjøer kan forårsake stor skade (Henrikson & Ingvarsson 2007). Høsten 2003 ble vannstanden i Skogabydammen med Hjørnerdssjöarna i Halland senket 2,5 meter. Dette førte til at store arealer ble tørrlagt og tusentalls andemusling (*A. anatina*) døde. I Nordre Øyeren dør tusenvis av andemusling og flat dammusling (*Pseudanodonta complanata*) hvert år i de langgrunne områdene som tørker inn om våren (Andersen 1984, Sandaas & Enerud 2005). Dagens regulering av Øyeren har en mer stabil årsamplitude enn den var før regulering, og forholdene kan derfor ha blitt gunstigere for muslingene (Sandaas & Enerud 2005). Bevegeligheten eller evnen som muslingene har til å trekke seg unna vannstandssenkninger er imidlertid liten, og

spesielt når vannstandssenkningene er hurtigere enn normalt vil det forekomme stranding av muslinger (Tudorancea 1972).

Stranding av muslinger i forbindelse med lav vannføring er ikke observert bare i innsjøer, men forekommer også vanlig i mange elver. Vaughn & Taylor (1999) som studerte utbredelse og tetthet av muslinger på 37 lokaliteter langs en 240 km lang strekning av Little River i Oklahoma, USA, observerte at uvanlig lange perioder med liten vannføring nedstrøms en oppdemming resulterte i stranding av muslinger. Muslingene beveget seg for sakte og klarte ikke å respondere raskt nok på hurtige vannstandssenkninger. Fisher & LaVoy (1972) undersøkte et 425 m langt og 70 m bredt transekt i Connecticut River, USA (delt inn i fire soner som ble tørrlagt henholdsvis 70, 40, 13 og 0 % av tiden i løpet av sommeren). Store ferskvannsmuslinger (Unionidae) ble bare funnet i de to sonene med minst tørrlegging i den dypeste delen av transektet (Fisher & LaVoy 1972). Dette viser at utbredelsen i all hovedsak ble begrenset til den vanndekte delen av elveløpet, men også at enkelte muslingarter kan tåle kortere perioder med tørrlegging, delvis fordi de kan holde seg lukket og delvis fordi substratet ikke tørker fullstendig inn ved kortvarige vannstandsreduksjoner.

Dette kan også forekomme i naturlige, uregulerte vassdrag som en følge av unormalt lav vannføring i år med lite nedbør og tørke. I 2002 og 2003 ble det i flere vassdrag i Trøndelag observert døende og døde muslinger på grunt vann eller på elvebredden, og Dolmen (2003) og Sandaas mfl. (2003) beskriver dette fra Bjøra i Nord-Trøndelag.



Vannføringen i Grytelva, Sør-Trøndelag kan naturlig være svært lav om sommeren, og det er ikke lenger sammenhengende vanndekt areal og nesten ingen vanngjennomstrømning. Utbredelsen av elvemusling blir fragmentarisk og naturlig begrenset til de dypeste "hølene" (Larsen & Saksgård 2010). Foto: Bjørn Mejdell Larsen.

Selv om stranding ikke nødvendigvis dreper muslingen, vil tørrlegging og ekstrem varme kunne forårsake fysiologisk stress som forstyrrer reproduksjonen og reduserer formeringsevnen (Vaughn & Taylor 1999). Det kan også forekomme sekundære effekter (lavt oksygeninnhold og høy vanntemperatur) som øker dødeligheten også i

de områdene som fortsatt er vanddekte (Haag & Warren 2008). Tørke hadde størst negativ effekt i små elver.

Lav vannføring og stranding av muslinger kan i tillegg skape en situasjon der fugler (bl.a. kråke og ulike måkearter) får tilgang på muslingene. Predasjon av elvemusling, som enten allerede var døde eller som ble plukket opp og sluppet ned på veier og fjellknauser for at skallene skulle knuses, er observert flere steder i Norge (Sandaas mfl. 2003, Larsen & Berger 2007a; 2007b). Tørkeperioder om sommeren og innfrysing om vinteren er med ujevne mellomrom en naturlig dødsårsak for elvemusling (Sandaas & Enerud 1998), men en menneskeskapt endring i vannføringen, for eksempel ved en vannkraftregulering, kan øke omfanget av slike episoder. En endret vannføring om vinteren kan også medføre iserosjon og sarrdannelse på områder som normalt ville ha unngått slik påvirkning.

2.3 Vannføringssendringer i forbindelse med regulering

Alle større vannføringssendringer vil generelt ha alvorlige negative følger for elvemusling (McAllister mfl. 1999, Araujo & Ramos 2000). For det første vil spesielt langvarige perioder med lav vannføring forårsake stress på grunn av temperaturøkning, reduksjon i oksygeninnhold, konsentrering av forurensende stoff, økende avsetning av silt og finpartikulært materiale og algevekst (Moorkens 2011). For det andre vil hurtige vannstandsendringer skape kontinuerlig stress, og mye energi vil gå med til å grave seg ned i substratet for ikke å bli skylt vekk når vannføringen er høy. I Duck River i Tennessee, USA gikk en stor del av muslingene over fra å sitte på overflaten (epibentisk) til å grave seg ned i substratet (endobentisk) når vannføringen økte til $>30 \text{ m}^3/\text{s}$ (Saha 2007). Muslingene dukket ikke opp igjen før etter 3-5 dager når vannføringen igjen ble stabil. Vannføringssendringer kan også skape en vandringsuro hos muslingene, og mye energi vil gå med for å unngå tørrlegging når vannføringen er lav (B.M. Larsen upublisert materiale). Når hurtige vannstandsendringer skjer i kritiske perioder i løpet av året, kan det skje store tap i den årlige produksjonen av muslingelarver eller av juvenile muslinger som nettopp har sluppet seg fra fisken (Moorkens 2011). Overvåking av regulerte elver i Irland og Storbritannia har påvist redusert rekruttering (Water Frame Directive Ireland 2010). Flom (økt vannføring) som skjer samtidig med eller kort tid etter at de juvenile muslingene har slått seg ned i substratet, kan resultere i tap av unge muslinger (Layzer & Madison 1995, Hardison & Layzer 2001).

Effekten som en regulering eller et inngrep i et vassdrag har på vanntemperaturen, påvirkes av en rekke faktorer. Redusert vannføring, endret vannfølingsregime, tappemønster fra magasiner (overflatevann eller bunnvann) og eksponering for inn- og utstråling. Tapping av vann fra magasiner med inntak på dypt vann vil normalt gi lavere temperatur om sommeren når kraftverket kjøres enn det ville hatt i uregulert elv. Om vinteren og tidlig på våren derimot vil vanntemperaturen bli høyere enn i uregulert elv. Ellers i året er det bare mindre endringer mellom regulert og uregulert

elv. Slippes derimot vannet fra overflaten i magasinet, vil det om sommeren gi en høyere temperatur enn uregulert elv og variasjonen kan bli høyere, mens det om vinteren blir lavere temperatur enn uregulert elv. Ellers i året er det bare mindre endringer mellom regulert og uregulert elv. Det eksisterer en rekke metoder for å oppnå ønskede temperaturforhold i et vassdrag (se Vaskinn 2010), og i vassdrag med elvemusling bør slike tiltak vurderes for å opprettholde de naturlige årstids-variasjonene.

Slipp av magasinert vann som er kaldere enn normalt vil endre temperaturregimet og påvirke muslingpopulasjonen nedstrøms magasinet (Vaughn & Taylor 1999). Det er vist fra sørøstlige USA at temperaturfall nedstrøms magasinet kan redusere og til og med utrydde muslingpopulasjonene på en lang strekning i mange elver. Slipp av kaldt vann om sommeren demper muslingenes metabolisme i en periode av året da veksten skulle være på det høyeste. Dette kan også direkte hemme reproduksjonen (Vaughn & Taylor 1999) (se kapittel 2.4).

Galbraith & Vaughn (2011) fant lavere tetthet av muslinger, høyere andel hermafroditter og redusert kondisjon hos muslingene *Quadrula pustulosa*, *Q. cylindrica* og *Q. quadrula* nedenfor et damanlegg med unaturlig vannføring (høyere vannføring og redusert vanntemperatur om sommeren) sammenliknet med et damanlegg som i større grad fulgte den naturlige vannføringssituasjonen i vassdraget.

Men nå er det også slik at vannkraftreguleringer ikke alltid behøver å føre til negative effekter for muslinger. River Kerry i nordvest Skottland har antakelig den største kjente elvemusling-populasjonen i Storbritannia, estimert til mer enn 400.000 individ på en fem kilometer lang strekning opp til innsjøen Loch Bad an Sgalaig (Thomas & Hoey 2006). Innsjøen ble demt opp på begynnelsen av 1950-tallet og førte til en sterkt modifisert vannføring. Reguleringen reduserte flomfrekvensen, dempet de høyeste vannføringene og ga en stabil minstevannføring gjennom året. Spesielt fravær av massetransport i forbindelse med store flommer og fravær av de laveste naturlige vannføringene synes å ha favorisert muslingene (Thomas & Hoey 2006).

Lite er skrevet om muslinger og effekten av korttidsfluktasjoner (variabel drift og effektkjøring av vannkraftverk). Bain (2009) sier at effekten på muslinger var klar, men at det var lite studert. I tilfeller med høy grad av effektkjøring ble bestandene raskt redusert. Det mest skadelige var den stadige skiftingen mellom potensiell tørrlegging av gruntområdene ved lav vannføring og fare for tilfeldige forflytninger (avdrift) og mekanisk påvirkning og skuring når vannføringen var høy (cf. Layzer mfl. 1993, Layzer & Scott 2006). Som regel vil ikke effektkjøring og variabel drift som ikke medfører store endringer i vanndekket areal, ha store fysiske og biologiske effekter utover typiske reguleringseffekter som er kjent gjennom tradisjonell kraftverksdrift (Harby & Bogen 2012).

Selv om store muslinger i ferskvann i noen grad er tilpasset morfologisk og atferdsmessig til høy vannføring, kan høy vannhastighet og flom være en kritisk faktor i mange elver. Ekstreme situasjoner kan gi stor skade og høy dødelighet i bestander av elvemusling (Hastie mfl. 2001). Samtidig kan det endre fordelingen av

muslinger innad i vassdraget, og muslinger som drifter med flomvannet kan havne på steder som senere blir tørrlagt (Roscoe & Redelings 1964, Larsen mfl. 2002, Larsen 2008b).



Etter en ekstremflom i Oga i Nord-Trøndelag i januar/februar 2006 var det høy dødelighet av muslinger. Det lå store mengder tomme skall i vassdraget hele sommeren og høsten 2006. Foto: Anton Rikstad.

2.4 Endringer i reproduksjon

Vann som overføres fra ett nedbørfelt til et annet, kan gi betydelige vannkvalitetsendringer i vassdraget det slippes ut til, enten direkte til elv eller indirekte via reguleringsmagasiner (jf. Larsen mfl. 1992). Endringer i vannkvalitet kan påvirke livssyklus, og stress i miljøet kan forårsake frigivelse av muslinglarvene i perioder med ugunstig vannføring eller vannkvalitet før de er ferdig utviklet.

Hvorvidt rekrutteringen hos store muslinger blir vellykket eller ikke, kan bero helt på vannføringen gjennom året. For arten *Fusconaia ebena* ble det notert at sterke årsklasser kom i de årene da en høy vårflom ble avløst av relativt lav vannføring (Payne & Miller 2000). De høye flomperiodene kan ha spylt rent de gode oppvekstområdene, og den lave vannføringen kan ha gjort det enklere for de unge muslingene å etablere seg i bunnsubstratet. Når vassdrag reguleres til vannkraftformål, elimineres i stor grad de naturlige flomepisodene.

Reproduksjonsfasen er en av de mest kritiske periodene i muslingenes liv, og det kan ofte være smale tidsvinduer da forholdene er optimale. Graviditet, fekunditet og befruktningsrate hos *Actinonaias ligamentina* ble undersøkt på fire steder langs en 63 km lang strekning nedenfor Green River Dam i Kentucky, USA (Moles & Layzer 2008). Ingen gravide muslinger ble funnet nærmest dammen, mens andelen i resten av elva varierte fra 20 til 36 %. Både fruktbarhet og befruktningsrate økte med avstand fra dammen. Årsaken til dette antas å være økende næringstilgang og økende mengde spermier i vannmassen med økende avstand fra dammen (Moles & Layzer 2008).

Muslingenes reproduktive suksess påvirkes av flere ulike habitat-variable, men vanntemperatur og vannføring er de antatt viktigste (Watters & O'Dee 2000, Hastie & Young 2003). Nedenfor damanlegg kan unaturlig vannslipp (pulserende vannføring) potensielt redusere muslingenes reproduktive suksess avhengig av manøvreringen av vann under kritiske perioder i muslingens reproduktive syklus. Galbraith & Vaughn (2009) fant at vellykket utvikling av gameter (kjønnsceller) var knyttet opp mot vanntemperatur, spesielt antall akkumulerte døgngrader (se også kapittel 4.2). Laboratoriestudier bekreftet dette, men også at det kan være et samvirke mellom temperatur og næringstilgang. En vellykket reproduksjon kunne derfor bli hemmet av de endringer i temperaturregime som forekom nedstrøms en oppdemming (Galbraith & Vaughn 2009). For å kunne vurdere slike mulige effekter på hele den reproduktive syklusen, må man ideelt sett ha kunnskap om alle faser av reproduksjonen (når befruktningen skjer, larvestadiets varighet og tidspunktet for når de ferdig utviklede larvene slippes ut i vannmassene). Det er dessuten antatt at reproduksjonen er utviklet som en tilpasning til vertsfiskens sesongvandring og/eller gyteperiode (Zale & Neves 1982, Kat 1984). Som en konsekvens av dette, kan tidspunktet for reproduksjon og utvikling av larvene variere både mellom vassdrag og innad i vassdrag (jf. «ørretmusling» og «laksemusling»).

Hos *Margaritifera falcata* varierte tidspunktet for reproduksjonen mellom ulike uregulerte og regulerte elver med ulike vannføringsregimer (Spring Rivers 2007). Dette indikerte at denne arten kunne være følsom for endringer i vannføring og/eller vanntemperatur. Hos andre muslingarter (*Anodonta* sp. og *Gonidea angulata*) var det derimot ingen slik forskjell.

I 1996 reproduiserte ikke elvemuslingen som normalt i Borråselva i Nord-Trøndelag (Larsen mfl. 2008b; Larsen 2008a). Dette kan skyldes miljøpåvirket stress på grunn av reguleringene i vassdraget. Ausetvatn er demmet opp og regulert i forbindelse med vannkraftutbygging. Vannføringen i Borråselva styres ved å øke eller minke lukeåpningen i dammen. I tillegg kan det i flomperioder være overvann på dammen som øker vannføringen ytterligere. I enkelte år har vannføringen variert betydelig ved nedtapping av Ausetvatn med påfølgende stenging av lukeåpningen i dammen. Lukeåpningen i dammen på Ausetvatn var for eksempel stengt fra begynnelsen av april til slutten av mai 1996. Hele sommeren og fram til midten av september var åpningen bare 2 cm. Maksimal lukeåpning er 20-25 cm, og «normalt» ligger åpningen på 5-10 cm (jf. Larsen mfl. 2008b). I 1996 utsatte muslingene reproduksjonen som resulterte i svært lav graviditetsfrekvens (4,5 %) om lag en måned senere enn normalt (Larsen mfl. 2008b). Til sammenlikning var normal graviditetsfrekvens 47-69 % basert på undersøkelser i fem andre år i Borråselva (Larsen mfl. 2008b).

2.5 Habitatendringer

Om lag en tredel av kjente norske elvemuslingpopulasjoner har rekrutteringssvikt, og i et tilsvarende antall populasjoner er rekrutteringen usikker og kan på lang sikt være utilstrekkelig for å opprettholde bestanden (Larsen 2010a). I Skottland ser det ut til at

det ofte er de mindre elvene som er mest utsatt (Hastie mfl. 2003a). Dette samsvarer med mangel på egnet substrat, og tilgjengelig habitat ble begrensende for rekrutteringen. Men det har ikke alltid vært slik. Endringer i vannføring (både naturlig og menneskeskapt) kan føre til signifikante forandringer i graden av erosjon, transport og sedimentasjon av partikler på en slik måte at habitatet til elvemuslingene forringes. Sedimenttransporten deles inn i suspensjonstransport med leire, silt og sand som transporteres svevende i vannmassene, og bunntransport som består av grus og stein som ruller eller glir langs bunnen (Fergus & Bogen 2006). Små elver reagerer generelt raskere på hydrologiske endringer enn store elver og er av den grunn relativt sett mer ustabile. Flom og høy vannføring vil derfor ha størst negativ effekt på elvesengene i små bekker. Finsedimentet vil lettere vaskes ut og etterlater et mindre egnet substrat til de juvenile muslingene å vokse opp i. Endringer i sedimenttilførsel og vannføring i forbindelse med en regulering gir imidlertid sjelden en umiddelbar respons, men initierer en eller flere endringer som kan foregå over et langt tidsrom.

Det er imidlertid ikke bare vassdragsreguleringer som påvirker materialstrømmen i vassdragene (Fergus & Bogen 2006). Den er et resultat av alle aktiviteter i vassdraget, som for eksempel jordbruksvirksomhet, skogsdrift, drenering av myrer, grusuttak og annen anleggsvirksomhet. I mange tilfeller er det økt partikkeltransport, redusert vannhastighet og dermed økt sedimentering som forårsaker skade på oppvekstområdene til elvemusling. Tilføres det i tillegg næringsstoff, vil substratet bli ytterligere ødelagt (Bauer 1988, Buddensiek mfl. 1993). Substratet nedslammes, oksygenet forbrukes til nedbrytingen av tilført organisk materiale og de unge muslingene dør. Høy turbiditet og sedimentasjon er derfor den trusselen som kanskje har størst innvirkning på rekruttering og levedyktighet til bestander av elvemusling (Österling mfl. 2010).

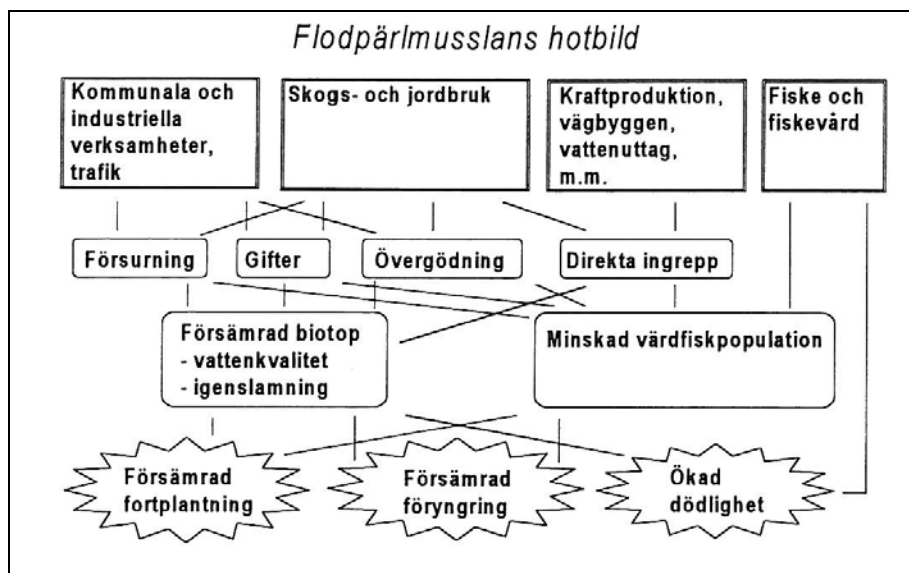
Høyt innhold av suspendert materiale kan også virke inn på filterapparatet i gjellene til muslinger og redusere næringsopptaket. Dette øker «kostnaden» med å skaffe næring og reduserer tilveksten (bl.a. Aldridge mfl. 1987). I perioden som muslingene er gravide, vil kapasiteten til filterapparatet reduseres ytterligere, da gjellene samtidig fungerer som yngelkammer (Tankersley & Dimock 1993). Høy tilførsel av suspendert materiale kan derfor potensielt føre til lavere larveproduksjon.

Måling av redokspotensialet i substratet kan være et viktig hjelpemiddel for å undersøke kvaliteten av substratet og egnetheten dette har som oppvekstområde for de juvenile muslingene (Geist & Auerswald 2007; se kapittel 3 i denne rapporten).

2.6 Hvilket omfang har kraftverksregulering i elvemuslingvassdrag i Norge?

Når man omtaler trusselbildet til elvemusling, betegnes det gjerne som et komplekst trusselbilde. Med det menes at stort sett alt som forandrer biotopen (livsmiljøet) til elvemuslingen og dens vertsfisk, risikerer å forringe forutsetningene for at elvemuslingen skal kunne gjennomføre en normal livssyklus (Söderberg mfl. 2008a) (**figur 2.1**). Det er derfor sjelden bare én enkelt faktor som er årsaken til at bestander av elvemusling er redusert eller utdødd. Slik også i Norge, der mange faktorer nevnes

som årsak til skade på bestander av elvemusling (Dolmen & Kleiven 2008). Av disse nevnes vannkraftregulering generelt som en av flere trusselfaktorer av mange forfattere (bl.a. Valovirta 1990, Ziuganov mfl. 1994, Woodward 1995, Eriksson mfl. 1998, Young mfl. 2001b, Moorkens 2011), men det er få konkrete eksempler og dokumentasjonen er mangelfull.



Figur 2.1. Eksempel på ulike aktiviteter og deres påvirkning på elvemusling. Kraftproduksjon er en av flere påvirkninger, men kan virke negativt både direkte på biotopen og indirekte gjennom en redusert vertsfiskpopulasjon. Fra Eriksson mfl. (1998).

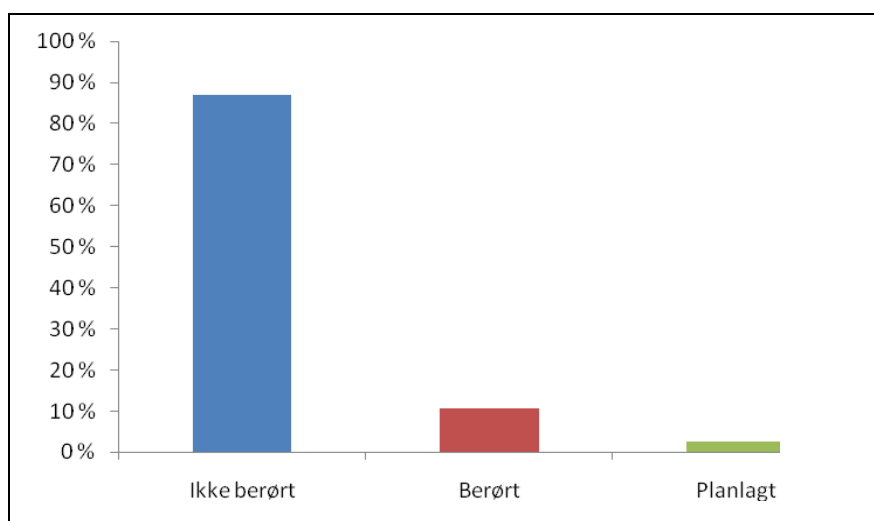
Basert på forespørslar til innlandsfiskeremder og fylkesmennenes miljøvern-avdelinger (ca. 1990) ble kraftverksregulering oppgitt å ha forårsaket bestandsnedgang i sju vassdrag og forårsaket utdøing i sju andre vassdrag i Norge (Dolmen & Kleiven 2008). Disse fordelte seg med henholdsvis to og fem utdødde bestander i Sørøst-Norge og Midt-Norge (Trøndelag). Reduserte bestander ble funnet i Sørøst-Norge (4), Sør-Norge (Agder) (1) og Midt-Norge (2). Av de lokalitetene der årsak til bestandsreduksjon eller tap av bestand var oppgitt, utgjorde kraftverksregulering henholdsvis 17 og 13 % av tilfellene.

I forbindelse med vurdering av elvemusling som prioritert art etter naturmangfoldloven, ba Miljøverndepartementet Direktoratet for naturforvaltning i samarbeid med Norges vassdrags- og energidirektorat om å framskaffe informasjon om forekomst og tilstand til elvemusling i vassdrag som er benyttet til kraftproduksjon (DN og NVE, upubliserte data).

Totalt 45, eller en andel på nær 11 %, av muslingvassdragene med levende musling i Norge er i dag påvirket av kraftproduksjon (**figur 2.2**). I underkant av 3 % av planlagte nye utbygginger eller Samlet plan-prosjekter ligger i vassdrag med kjente

forekomster av elvemusling. Dette betyr at i underkant av 90 % av våre elvemuslingvassdrag fortsatt ligger i uregulerte vassdrag eller i vassdrag som per i dag ikke omfattes av planer om ny utbygging (registrert i NVEs systemer).

Blant de regulerte vassdragene med musling, er det vurdert at det må gjøres omfattende tiltak i åtte av disse vassdragene for at ikke muslingbestanden skal stå i fare for å dø ut på kort sikt. I fire av disse vassdragene vil det være nødvendig å tilføre mer vann enten gjennom endret minstevannføring, endret manøvrering eller slipp av spyleflommer (ett av disse er Mossa, se kapittel 6). I de andre fire vassdragene går tiltakene ut på å sikre tilgang på riktig vertsfisk gjennom tilrettelegging for oppvandring eller utsetting av rogn eller settefisk.



Figur 2.2. Andelen av vassdrag med elvemusling i Norge som er berørt eller ikke berørt av kraftproduksjon, samt andelen muslingvassdrag hvor det er planlagt inngrep. Upubliserte data fra DN og NVE.

Analysene til DN og NVE har vist at de aller fleste vassdrag med elvemusling ikke berøres av kraftutbygging i en slik grad at arten står i fare for å forsvinne. Dette kan ha sammenheng med at mange av muslingvassdragene er relativt små med begrenset fall og nedbørfelt. Av de vassdrag som er berørt av utbygging, er det videre en relativt liten andel hvor det vurderes at tiltak må settes i verk for å ivareta bestandene. Det kan imidlertid være behov for å styrke bestanden av elvemusling i flere regulerte vassdrag i et forsøk på å reetablere muslinger i områder der regulering har bidratt til en reduksjon i bestanden eller nedsatt rekruttering. Det finnes åpenbart regulerte vassdrag hvor muslingen har problemer, men de negative påvirkningene kan være sammensatt, og andre påvirkninger enn forhold knyttet til vannkraftproduksjonen kan være den egentlige årsaken. I mange tilfeller kan det være vanskelig å skille effektene fra en vannkraftutbygging fra effekter av andre inngrep (jf. **figur 2.1**).

Generelt sett synes det som om elvemusling klarer seg bra der det er innført slipp av tilstrekkelig minstevannføring på fraførte strekninger, og der hvor restfeltet bidrar til

å opprettholde et visst nivå på vannføringen. Mengden vann må også ivareta store nok populasjoner av vertsfisk. Episoder med flomvannføring, som kan frakte ut finpartikulært materiale slik at ikke substratet blir tiltettet, synes også å være viktig – spesielt med tanke på ivaretagelse av rekrutteringen.

Det er imidlertid et faktum at vannkraftutbygging og regulering av elver også har medført betydelig skade på bestander av elvemusling i Norge. Dette har ofte en lokal effekt og berører ikke nødvendigvis hele bestanden eller utbredelsesområdet (og populasjonen opprettholdes helt eller delvis i deler av vassdraget). Men konkrete og godt dokumenterte eksempler på omfanget og hvilke konsekvenser et reguleringsinngrep har hatt på kort og lang sikt er det imidlertid vanskeligere å finne. Konsekvensutredninger og vurdering av avbøtende tiltak for elvemusling har ikke tidligere vært tema i forbindelse med regulering av vassdrag. Hendelberg (1959) konkluderte fra Sverige med at han ikke har noen opplysninger om reguleringsskader på bestander av elvemusling «eftersom undersøkingsmaterial avseende dessa förhållanden är så gott som obefintligt». Det er først i de seneste ti-årene dette har endret seg. I den norske handlingsplanen for elvemusling var forbedring av rutiner i saksbehandling etter lovverk som er relevant for elvemuslingen ett av de foreslåtte tiltak. Det fastslås at «det må i enda større grad enn tidligere skje en bevisstgjøring og settes sterkere krav til konsekvensutredninger i saker som berører vassdrag med elvemusling. Ved alle inngrep i eller langs vassdrag med elvemusling må det gjennomføres tilstrekkelige undersøkelser og vurderinger som belyser konsekvensen av inngrepet, og gis råd om avbøtende tiltak» (Direktoratet for naturforvaltning 2006). NVE har forvaltningsmessig ansvar for alle konsesjonspliktige kraftverk. Dette forvaltningsansvaret omfatter hele prosessen, fra meldinger og søknader til oppfølging i byggetiden og tilsyn etter idriftsettelsen. I en rettleider for utarbeiding av meldinger, konsekvensutredninger og søknader i forbindelse med konsesjonsbehandling av vannkraftsaker (NVE Veileder 3/2010; Jensen m.fl. 2010) er elvemusling nevnt spesielt i forbindelse med forslag til KU-program. Det skal undersøkes om elvemusling finnes i noen av de vassdragsavsnittene som inngår i prosjektområdet, og dersom det er kjent at elvemusling er til stede, skal forekomsten av elvemusling ha spesielt fokus. I standard oppsett for innholdet i rapport om biologisk mangfold for småkraftverk er det også presisert at elvemusling er en art som skal omtales spesielt (NVE Veileder 3/2009; Korbøl mfl. 2009). Tidligere veiledere (NVE Veileder 1/2004 og 3/2007) hadde ikke denne presiseringen.

Temaet elvemusling og effekt av kraftverksutbygging har fått ny aktualitet i forbindelse med oppgradering av gamle kraftverk og etablering av småkraftverk i Norge. Det finnes da også en del eksempler på kartlegginger av elvemusling i forbindelse med kraftverksprosjekter og konsekvensutredninger på temaet i Norge (bl.a. Kiland & Simonsen 1999, Westly & Rustadbakken 2003, Moen mfl. 2003, Øi 2006, Jørgensen 2008, Gregersen 2008, Elnan & Ledje 2008). Enkelte fagutredninger har imidlertid veldig generelle vurderinger. I noen grad skyldes dette at det faktisk mangler en del kunnskap med hensyn til hvilke krav elvemuslingen stiller til vannføring, vannhastighet, vannkvalitet, temperatur og en rekke andre miljøfaktorer i de ulike stadiene av livet. I andre sammenhenger er utredningene unødvendig mangelfulle da de heller ikke trekker

inn relevante eksisterende referanser. Det er å håpe at dette vil endre seg når forvaltningen nå har økt sitt fokus på elvemusling, og den generelle kompetansen blant oppdragstakere og konsulenter øker.

2.7 Noen flere eksempler fra Norge og Sverige

Selv om de fleste vassdrag opprettholder en bestand av elvemusling etter en regulering, finnes det også eksempler der inngrep i forbindelse med kraftutbygging har hatt en negativ effekt på utbredelse, rekruttering og populasjonsstørrelse.

Begna i Oppland er kraftig regulert, men det finnes elvemusling fra Bagn til utløpet i Sperillen (Larsen 2000). På slutten av 1990-tallet ble det bygget et elvekraftverk i Eidsfossen. Elva ble demmet opp nederst i Eidsfossen med dannelsen av et ca. 2 km langt inntaksmagasin, og nedenfor demningen ble elveløpet kanalisert og senket. Det ble estimert at denne utbyggingen berørte og negativt påvirket om lag 50 000 muslinger, som utgjorde ca. 10 % av bestanden (Larsen 2000). Det ble imidlertid ikke funnet noen effekt på tetthet av muslinger (Larsen 2010c) eller på årlig tilvekst hos elvemusling nedstrøms Eidsfossen etter utbyggingen (Dunca & Larsen 2012; kapittel 5). En søknad om bygging av et nytt kraftverk noen kilometer lenger ned i Begna ble imidlertid avslått av NVE i 2010. Hovedargumentet i mot en utbygging var primært knyttet til negative virkninger for biologisk mangfold. Området ved Kvennfossen var registrert som ett av de gjenværende områdene i Begna med størst tetthet av elvemusling. Avslaget ble også sett i sammenheng med tidligere utbygginger i vassdraget som hadde ført til at areal med urørte stryk og hurtigrennende vann alt var sterkt redusert i vassdraget.

I Gråelvassdraget i Nord-Trøndelag forårsaket anleggsarbeid i forbindelse med opprusting av dammene på Ausetvatn og Almovatn/Buvatn skade på elvemusling i Borråselva og Brekkelva i 2008 (Larsen 2008a). På kort sikt forårsaket en anleggsvei over Brekkelva den mest omfattende skaden ved at anslagsvis 1200 muslinger ble drept under en veifylling. Her var det imidlertid ikke utbygger, men utførende entreprenør som var årsaken til problemet. Dette hadde antakelig liten effekt på muslingbestanden i vassdraget som helhet, og det ble da heller ikke påvist noen direkte effekt på tettheten av muslinger i Borråselva (Larsen 2008a). En tiltetting av substratet kan imidlertid ha resultert i dårligere oppvekstforhold for unge muslinger, og rekrutteringen kan ha blitt redusert som følge av dette i årene etter anleggsarbeidet (jf. redokspotensialmåling i Borråselva i kapittel 3 i denne rapporten). Dette er ikke undersøkt, men vassdraget er med i det nasjonale overvåkingsprogrammet for elvemusling, og effekten av inngrepet vil i dette tilfellet kunne avdekkes i etterkant.

I Fossingelva i Nord-Trøndelag nevner Berger mfl. (2006) at det tidligere var problemer for elvemusling og fisk i de periodene da vanntilførselen til de mindre kraftstasjonene i vassdraget ble stoppet eller dammen i forbindelse med en drikkevannskilde ble stengt. Da ble strekningen nedenfor tørrlagt med den følge at fisk og muslinger «strandet» og døde. I midten av august 1997 ble det for eksempel talt opp om lag 650 døde muslinger på et begrenset område etter en periode med unormalt lav

vannstand (B.M. Larsen, upublisert materiale). Tilsvarende bekymringsmeldinger har også kommet inn fra Teksdalselva i Sør-Trøndelag der muslinger «strander» ved stans i kraftverket (I. Korsen pers. medd.). Dette begrenser utbredelsen av muslinger og reduserer antall individ, men det ser likevel ikke ut til å være avgjørende for populasjonens eksistens. Hvordan det er med rekrutteringen i Teksdalselva er imidlertid ikke undersøkt. Problemer med tørrlegging er et problem som går igjen i flere regulerte vassdrag, og nevnes også bl.a. i Rolfsån i Halland, Sverige (Ingvarsson 2007).

Reguleringen av Mossa i Nord-Trøndelag i 1984 har antakelig redusert bestanden av elvemusling med ca. 95 % som en direkte følge av reguleringen (reduisert vanndekt areal og ingen minstevannføring), som også har medført stans i rekrutteringen (omtales utførlig i kapittel 6).

I Lennaelva i Nord-Trøndelag er elvemuslingen kritisk truet på grunn av kraftregulering. Beingårdsvatnet ble regulert i forbindelse med kraftutbygging så tidlig som i 1915, og avløpet fra vannet ble stengt i 1952 og overført i tunnel til Morkenfoss kraftverk. Det er ingen minstevannføring i Lennaelva i dag, bare lekkasjevann fra dammen. Resultatet av dette er en fåtallig og aldrende bestand av elvemusling, og det har sannsynligvis ikke vært formering i bestanden etter tørrleggingen av elva i 1952 (Rikstad & Julien 2009). De gjenlevende muslingene er alle knyttet til en kulp i elva som opprettholder et visst vannspeil gjennom året.

Det forhold at det i enkelte regulerte vassdrag også kan finnes svært gode bestander med elvemusling, viser imidlertid at arten kan trives godt om forholdene ligger til rette for det. Som eksempel kan nevnes Numedalslågen, hvor man har flere kraftanlegg, men hvor man samtidig finner den kanskje største bestanden av elvemusling i Norge, med om lag 20-25 millioner individ (Simonsen 2005, Aasestad & Simonsen 2008, K. Sandaas pers. medd.). Elvemusling har en ikke ubetydelig effekt som vannrenser; en økosystemtjeneste som har betydning for fisk og bunndyr i vassdraget. Det er sannsynlig at en stor bestand av elvemusling er med på å opprettholde en stor og livskraftig bestand av laks (jf. Varzuga på Kola-halvøya, Ziuganov mfl. 1994). I Numedalslågen er det imidlertid bemerket ujevn lengdefordeling med mangel av muslinger i lengdegruppene 9-10 cm (Simonsen 2005, Aasestad & Simonsen 2008). En gjennomgang av vannføringsdata siste hundre år ga et tilsynelatende samsvar mellom lave vannføringer på 1970-tallet og redusert rekruttering. Ved lav vannføring er det (bl.a. ved Brufoss) observert at store mengder juvenile muslinger dør når de grunne elvebankene (oppvekstområder for unge muslinger) tørrlegges (K. Sandaas pers. medd.).

I en spørreundersøkelse til alle länen i Sverige ble det spurt om hvilke trusler som ble ansett for å være de største mot elvemusling. Etter skogbruksdrift pekes det på vandringshinder for fisk, endring av vannføring og forsuring som de tre vanligste truslene (Söderberg mfl. 2008a). De negative konsekvensene i forbindelse med vannkraftutbygging i Sverige har i følge Söderberg mfl. (2008a) vært omfattende, og de største negative effektene har vært habitatødeleggelse, dannelsen av vandrings-

hinder for vertsfisk og fragmentering av muslingbestander. I mange laksevassdrag i Sverige er det bare restbestander med elvemusling i dag (Söderberg mfl. 2008a). Dette er satt i sammenheng med at laks forekommer i de største vassdragene som også har vært mest utsatt for vannkraftutbygging, og mangel på vertsfisk kan være den reelle årsaken til at elvemuslingbestandene har forsvunnet.

I en oversikt over 53 undersøkte muslingelver i Sverige er vannkraftregulering bare nevnt som trusselfaktor i fire lokaliteter, men dammer bygget til andre formål (sag, mølle, fisketiltak) og beverdammer trekkes også fram som årsak til reduksjon i enkelte muslingbestander (Eriksson mfl. 1998).

I Viskans nedbørfelt i Halland, Sverige er flere av elvene kraftig påvirket av regulering. Vannstanden kan skifte fra flom til i prinsippet nesten ikke noe vann i løpet av kort tid. Regulering av elvene Kungsätersån og Mäsån har medført at bestandene av både storørret og elvemusling er kraftig redusert (Henrikson & Ingvardsson 2007). I Ätran, også i Halland, er bestanden av elvemusling kraftig redusert og utbredelsen er begrenset til de dype delene av elva på grunn av kraftig korttidsregulering og tørrlegging av store arealer (Henrikson & Ingvardsson 2007). Tørrlegging av elveløpet nedstrøms elvekraftverk er et generelt problem også i Suseån i Halland. Et stort antall tomme skall av spiss malermusling (*Unio tumidus*) ble påvist i de grunne delene av elveløpet nedenfor kraftverket. Manglende minstevannføring er antatt å være årsak til denne overdødeligheten (Henrikson & Ingvardsson 2007).

Lagan i Halland, Sverige har til sammen 18 kraftverk i hovedløpet. Lagan var før utbyggingen på 1920- og 1930-tallet en av Sveriges beste lakseelver og hadde også store bestander av elvemusling (Henrikson & Ingvarsson 2007). Dambygging, manglende minstevannføring og tørrlegging av elveløp har ødelagt produksjonen av laksunger og elvemusling. I dag, mer enn 70 år senere, finnes det bare enkelte gamle eksemplarer av elvemusling i bassenger i det gamle elveløpet (nedenfor Karsefors) og en restbestand av gamle muslinger i elveløpet nedenfor det nederste kraftverket ved Laholm (Henrikson & Ingvarsson 2007).

Eksempelene som er nevnt i dette kapittelet er dessverre ikke enestående, og det finnes mange flere. I noen tilfeller vil et reguleringsinngrep bare ha en begrenset, lokal betydning, som tilsynelatende har liten effekt på bestanden av muslinger som helhet. Effekten avgjøres normalt av de direkte endringene som gjøres i vannføring og de indirekte følgene av dette (for eksempel endringer i fiskebestand, vanntemperatur, næringsmengde og næringskvalitet). I andre tilfeller er skadeomfanget større og mer åpenbart; for eksempel ved damanlegg (oppdemming), senking og kanalisering av elveløp og fraføring av vann. Selv om populasjoner med elvemusling fortsatt kan overleve også i slike vassdrag, vil en eventuell bestand bli redusert både i antall og utbredelse, i tillegg til at bestanden ofte blir fragmentert. Dette gjør muslingene mer sårbare også for andre inngrep og påvirkningsfaktorer. Vi har dessverre få eksempler som belyser den faktiske effekten en vassdragsregulering har hatt på bestander av elvemusling. Det nærmeste vi kommer er eksempelet fra Mossa beskrevet i kapittel 6

i denne rapporten. Det er dessuten et relativt ekstremt eksempel. Men liknende før- og etterundersøkelser finnes knapt nok i det hele tatt i Europa (J. Geist pers. medd.), og de beskrivelsene vi har av skadeomfang har ofte et mer anekdotisk preg enn strengt vitenskapelig belegg.

3. Redokspotensial som metode for å kartlegge substratkvalitet for elvemusling

Bjørn Mejdell Larsen

Det er mange faktorer som truer bestander av elvemusling. Bak mange av disse trusselfaktorene ligger en storskala forandring i avrenningsområdet. Foruten ødelagt habitat ved endret vannføring (vannkraft, utstrakt grøfting i landskapet), mangel på store strukturer i elveløpet (steinblokker og død ved) og mangel på gunstig substrat for unge muslinger samt forringede forhold for muslinger og vertsfisk er det rettet spesielt fokus på oksygenmangel i den hyporheiske sonen. Dette kan bl.a. komme av økt sedimentdeposisjon.

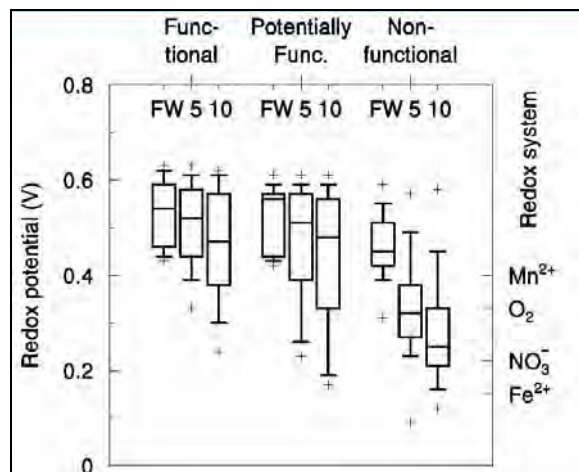
3.1 Innledning

Redokspotensialet (E_H) er et uttrykk for den reduserende eller oksiderende intensitet i en vannløsning og oppstår som en elektromotorisk kraft ved binding eller frigivelse av elektroner (Økland & Økland 1998). Det benyttes for å uttrykke tendensen som et miljø har for å motta eller frigi elektroner (Schlesinger 1991).

Vanlig elvevann eller innsjøvann med tilnærmet oksygenmetning har gjerne E_H -verdier på 500-600 mV. Verdier i området 300-400 mV representerer lave oksygenkonsentrasjoner samtidig som det er konsentrasjoner av oksiderbart jern og/eller mangan til stede. Under anaerobe forhold i vann kan E_H gå ned mot null eller anta negative verdier (ned mot -200 mV).

Hovedårsaken til nedgangen i de fleste elvemuslingpopulasjoner er mangel på rekruttering på grunn av ugunstige habitatforhold for de unge muslingene når de skal etablere seg i substratet etter at de har falt av gjellene til vertsfisken. På grunn av størrelsen er de avhengig av å leve beskyttet nede i grusen inntil de er store nok til å kunne filtrere næring direkte fra de frie vannmasser. I perioden som de små muslingene lever nede i grusen (4-8 år), filtrerer de næring fra vannet som sirkulerer i substratet (interstitielt vann). Når mellomrommet mellom steiner og sandkorn i substratet tettes igjen med finpartikulært materiale, vil vanngjennomstrømningen reduseres kraftig eller stanse helt opp. Uten tilstrekkelig vanngjennomstrømning og tilførsel av friskt vann vil oksygenet i vannet raskt bli oppbrukt, og de unge muslingene dør. Det er vist at denne vannkvalitetsendringen i det interstitielle vannet kan forårsake opp til 100 % dødelighet hos unge muslinger (Buddensiek mfl. 1993, Buddensiek 2001). Silt og finsediment kan ha opphav fra flere ulike kilder. Erosjon fra nedbørfeltet gjennom endret arealbruk, menneskeskapte eller naturlige vannførendringer, tilførsel av næring i overskudd som leder til algevekst og økende mengde organisk silt er eksempler på kilder til problemet med tiltetting av elvegrusen.

Geist & Auerswald (2007) utarbeidet en teknikk som måler forskjellen i redokspotensial mellom de frie vannmasser og substratet som korrelerer med forskjellen i oksygeninnhold (**figur 3.1**). Dette er igjen et mål på graden av tiltetting av substratet med finpartikulært materiale (silt). Slike data har stor betydning for å vurdere substratets egnethet for unge muslinger som er avhengig av full oksygenmetning i sedimentet. I gode habitat for unge muslinger skal det være minst mulig tap av redokspotensial mellom de frie vannmasser og substratet der de oppholder seg på dyp ned til 10 cm (Geist & Auerswald 2007).



Figur 3.1. Boks-plott (kryss: minimum og maksimum, øvre og nedre grense angitt med 0,05 og 0,95 persentiler, boks: 0,25 kvartil, median og 0,75 kvartil) med redokspotensial-målinger i funksjonelle, potensielt funksjonelle og ikke-funksjonelle lokaliteter i de frie vannmasser (FW) og ved 5 og 10 cm dyp. Fra Geist & Auerswald (2007).

3.2 Metode

Metoden som er benyttet her er utarbeidet med bakgrunn i en workshop (Albacken, Sverige 18.-20. mai 2011) med deltakere fra Technische Universität München, Länsstyrelsen i Västernorrlands län, Länsstyrelsen i Jämtlands län, Länsstyrelsen i Norrbottens län og NINA samt erfaringer med redokspotensial-målinger i andre europeiske land (bl.a. Geist 2007, Killeen 2006; 2011).

Utstyret består av en 0,7 m lang sonde med en platinaelektrode i den ene enden, en referanseelektrode og et voltmeter. Målinger ble gjennomført både i de frie vannmasser og 5-7 cm nede i substratet. Det vil normalt ta noe tid (minst 2-3 minutter) før redokspotensialet er såpass stabilt at det kan leses av. Målinger i de frie vannmasser vil normalt ligge på 450-600 mV. Med referanseelektroden fortsatt i de frie vannmasser ble platinaelektroden deretter stukket ned i substratet på ønsket dyp. Målingene ble gjennomført i transekter med ca. 1 m mellom hvert målepunkt i transektet og om lag tre meter mellom hvert transekt. I små bekker (<3 m brede), der hver transekt bare består av to-tre målepunkt, ble avstanden mellom transektene redusert til én meter. I mellomstore elver (3-10 m brede) ble det normalt lagt ut fem målepunkt i hvert transekt. Bare den delen av elveløpet som har permanent vanddekke inngikk i målingene. I store elver (>10 m brede) ble det ikke lagt ut fulle transekter, men begrenset til halve elveløpet eller 8-10 m brede felt lagt ut fra den ene elvebredden (på grunn av stor dybde, høy vannhastighet og grovt substrat). Det ble gjennomført 5-7 separate målinger i de frie vannmasser (1-2 måling i hvert transekt)

og 10-17 (normalt 15) separate målinger til sammen på 5-7 cm dyp langs de utvalgte transektene. Målepunktene måtte hele tiden tilpasses substratets beskaffenhet (kunne være vanskelig å finne målepunkt som gjorde det mulig å få elektroden ned på ønsket dyp).

Resultatet fra de enkelte stasjonene presenteres i figurer og tabeller som medianverdien av alle målingene i de frie vannmasser (FW) og på 5-7 cm dyp i substratet (5 cm). I tillegg er minimum- og maksimumverdien angitt på figurene. Gjennomsnittlig reduksjon i redokspotensial mellom frie vannmasser og substratet er et mål (surrogat) for reduksjon i oksygeninnhold. I habitat der unge muslinger er forventet å overleve, vil reduksjonen i redokspotensial alltid være lavere enn 20 % (Killeen 2006) og mer enn 30 % reduksjon er vurdert som alvorlig.

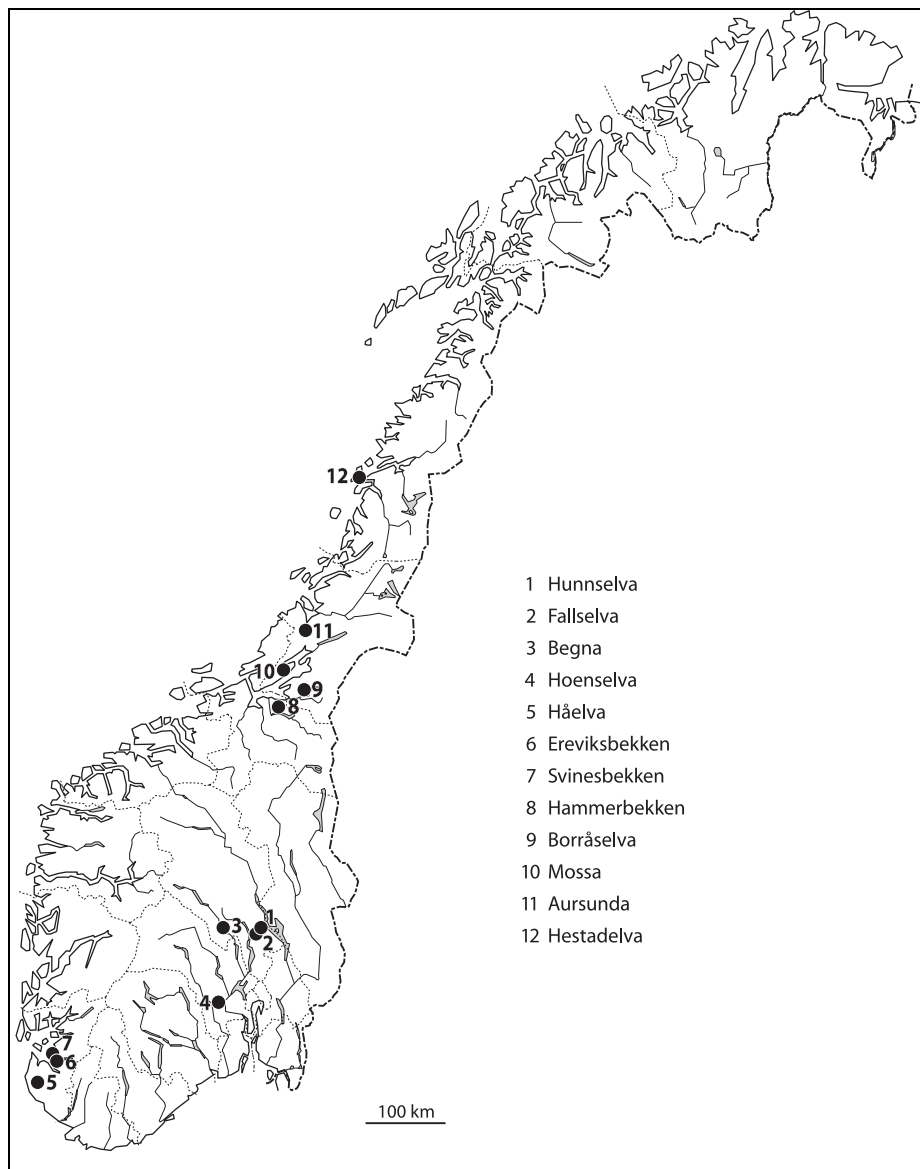
Det ble undersøkt 12 bekker og elver i løpet av 2011 (**tabell 3.1, figur 3.2**). Målinger av redokspotensiale skal helst gjennomføres i juli-august-september måned for å fange opp perioden med høy produksjon og høyt oksygenforbruk. På grunn av uvanlig høy vannføring i store deler av Sør-Norge måtte imidlertid målingene på Østlandet utsettes til oktober. Hammerbekken ble undersøkt i mai for å teste metoden, men resultatet er vurdert som representativt for bekken og er likevel tatt med.

Tabell 3.1. Vassdrag som ble undersøkt i 2011 med hensyn til redokspotensial. Dato, antall stasjoner undersøkt og totalt antall målinger i de frie vannmasser og på 5-7 cm dyp i substratet er vist. Lokalisering er vist på **figur 3.2**.

Nr.	Elv	Dato	Antall stasjoner	Antall målinger i frie vannmasser (FW)	Antall målinger på 5-7 cm dyp i substratet (5 cm)
1	Hunnselva	Regulert	13.10.	3	15
2	Fallselva	Regulert	14.10.	3	15
3	Begna	Regulert	15.10.	3	15
4	Hoenselva		16.10.	3	18
5	Håelva		23.08.	3	17
6	Ereviksbekken		20.08.	2	10
7	Svinesbekken		19.08.	2	12
8	Hammerbekken	Regulert	21.05.	3	18
9	Borråselva	Regulert	03.08.	3	15
10	Mossa	Regulert	05.08.	4	24
11	Aursunda		04.08.	3	18
12	Hestadelva		09.07.	3	17
Sum			35	194	508

3.3 Resultater

Totalt 508 målinger ble gjort i substratet på 5-7 cm dyp på 35 stasjoner i 12 vassdrag i 2011 (**tabell 3.1**). En oppsummering av resultatene er gitt i **tabell 3.2**.



Figur 3.2. Lokalteter som inngår i kartleggingen av redokspotensial i vassdrag med elvemusling sesongen 2011.

Når vi ser på reduksjonen i redoksverdi, varierte denne mellom 5,4 og 66,2 % på de ulike stasjonene i undersøkelsen (**tabell 3.2**). Begna og Hammerbekken har de laveste verdiene. Enkelte elver har relativt likt redokspotensial og reduksjon i redoksverdi i hele vassdraget (Begna, Hammerbekken, Borråselva og Hestadelva). Andre har lavest redokspotensial i nedre del av vassdraget, og reduksjon i redoksverdi øker markert fra øvre til nedre del (Hoenselva).

Ser vi på de regulerte elvene er det stor variasjon. Borråselva og Mossa utpeker seg i negativ retning med de laveste redokspotensialene i substratet og den største reduksjonen i redoksverdi mellom de frie vannmasser og substratet (~50-60 %). På den annen side har Begna og Hammerbekken svært god vanngjennomstrømning i substratet og ubetydelig reduksjon i redoksverdi (~10 %). To andre regulerte elver,

Hunnselva og Fallselva, har moderat reduksjon i redoksverdi (~20-30 %). På grunn av sammenhengende flom og høy vannføring på Østlandet i flere uker forut for målingene, kan denne langvarige spyleeffekten ha økt vanngjennomstrømningen i substratet utover det normale. Dette gjelder spesielt for Hunnselva, Fallselva og Begna.



Utstyret som benyttes til målinger av redokspotensiale består av en 0,7 m lang sonde, en referanse-elektrode og et voltmeter. Måling av redokspotensiale i Hestadelva, Nordland. Foto: Jon M. Bjerland.

Tabell 3.2. Oppsummering av resultatene fra redoksmålinger i 12 vassdrag som ble undersøkt i 2011. Medianverdien for målinger i de frie vannmasser og på 5-7 cm dyp i substratet er gitt for hver enkelt stasjon. Reduksjon i redoksverdi mellom de frie vannmasser og substratet er gitt i prosent. Lokalisering av elv er vist på **figur 3.2**.

Nr.	Elv	Stasjon - kartreferanse	Dybde (cm)	Redoksverdi (mV) Median	Prosent reduksjon i redoksverdi (%)
1	Hunnselva	1 – 32V NN 877303	FW	510	
			5	445	12,7
		2 – 32V NN 877312	FW	534	
			5	380	28,8
		3 – 32V NN 879324	FW	526	
2	Fallselva		5	397	24,5
		1 – 32V NN 764279	FW	588	
			5	443	24,7
		2 – 32V NN 752280	FW	551	
			5	408	26,0
3	Begna	3 – 32V NN 751277	FW	560	
			5	465	18,8
		1 – 32V NN 379357	FW	549	
			5	498	9,4
		2 – 32V NN 393303	FW	543	
			5	477	12,2
		3 – 32V NN 404290	FW	553	
			5	510	7,8

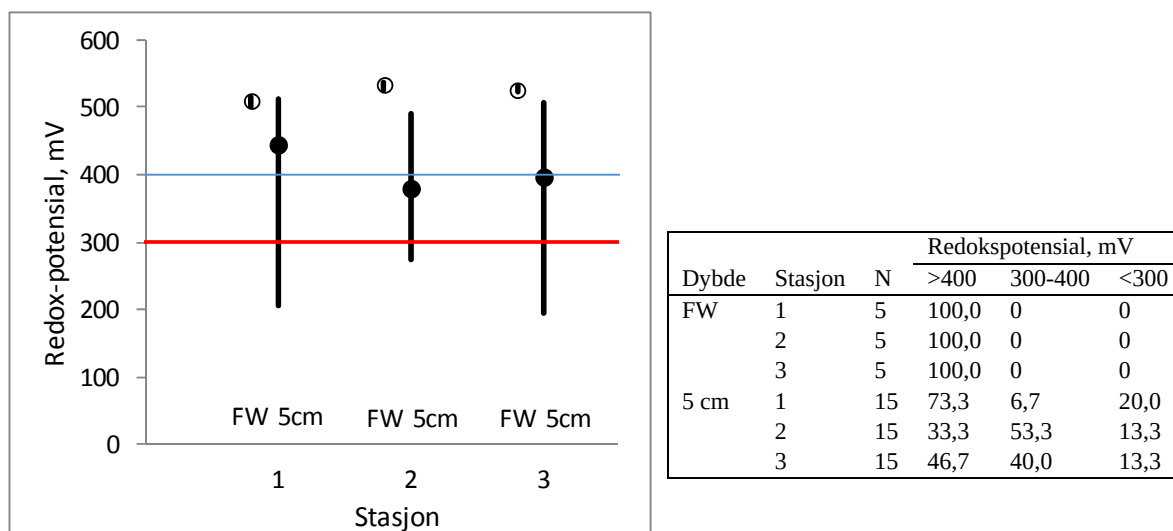
Tabell 3.2 fortsetter.

Nr.	Elv	Stasjon - kartreferanse	Dybde (cm)	Redoksverdi (mV) Median	Prosent reduksjon i redoksverdi (%)
4	Hoenselva	1 – 32V NM 462280	FW	584	
			5	493	15,6
		2 – 32V NM 471286	FW	561	
			5	408	27,3
		3 – 32V NM 478276	FW	567	
5	Håelva		5	313	44,8
		1 – 32V LL 074116	FW	546	
			5	402	26,4
		2 – 32V LL 049106	FW	543	
			5	389	28,3
6	Ereviksbekken	3 – 32V LL 001084	FW	546	
			5	350	35,9
		1 – 32V LL 304358	FW	568	
			5	471	17,1
		2 – 32V LL 303359	FW	558	
7	Svinesbekken		5	378	32,3
		1 – 32V LL 302427	FW	593	
			5	474	20,1
		2 – 32V LL 301428	FW	583	
			5	532	8,7
8	Hammerbekken	1 – 32V NR 800251	FW	567	
			5	530	6,5
		2 – 32V NR 798252	FW	556	
			5	511	8,2
		3 – 32V NR 796252	FW	545	
9	Borråselva		5	516	5,4
		1 – 32V PR 014478	FW	500	
			5	245	51,0
		2 – 32V PR 013471	FW	514	
			5	243	52,8
10	Mossa	3 – 32V PR 024467	FW	513	
			5	254	50,5
		1 – 32V NR 899766	FW	530	
			5	282	46,8
		2 – 32V NR 902767	FW	507	
11	Aursunda		5	171	66,2
		3 – 32V NR 920774	FW	526	
			5	234	55,5
		4 – 32V NR 938777	FW	596	
			5	574	3,7
12	Hestadelva	1 – 32W PS 154370	FW	553	
			5	493	10,8
		2 – 32W PS 154375	FW	539	
			5	338	37,2
		3 – 32W PS 154381	FW	564	
12	Hestadelva		5	423	25,0
		1 – 33W UP 880309	FW	537	
			5	430	19,9
		2 – 33W UP 885304	FW	561	
			5	466	16,9
12	Hestadelva	3 – 33W UP 879291	FW	548	
			5	439	19,8

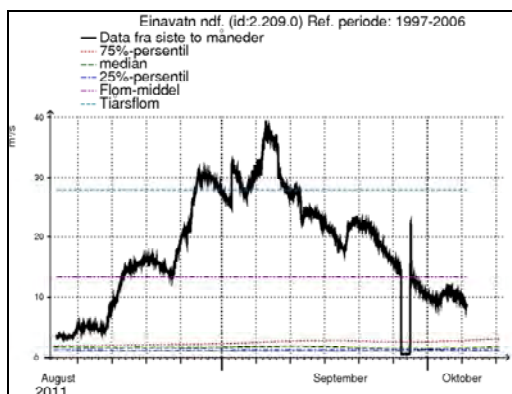
3.3.1 Hunnselva, Oppland

Hunnselva ligger hovedsakelig i Vestre Toten kommune i Oppland fylke, men berører også Gran, Søndre Land og Gjøvik kommuner. Selve Hunnselva har utspring fra Einavatnet, og det er fortsatt flere kraftverk i drift langs Hunnselvvassdraget. Einavatnet er regulert i flere omganger bl.a. i 1872 og 1897, og demninger er bygget og fornyet flere ganger i øvre del av Hunnselva. Siste ombygging skjedde i 1992. Mellom Einafjorden og Vestbakken kraftverk er om lag fire kilometer elvestrekning demmet ned eller delvis tørrlagt. Vannet som passerer gjennom Vestfossen kraftverk kommer ut i elveløpet et stykke ovenfor det området der elvemusling finnes i dag (bl.a. Larsen & Berger 2009a). Alle stasjoner som inngår i denne undersøkelsen ligger mellom Reinsvoll og Raufoss.

I Hunnselva ble det målt redokspotensial mindre enn 300 mV på alle tre stasjoner (**figur 3.3**), men vannkvaliteten framsto likevel som bedre enn forventet. Reduksjon i redoksverdi mellom de frie vannmasser og substratet var 13-29 % (**tabell 3.2**). Dette tilsvarer god til moderat vannkvalitet. Dette står tilsynelatende i kontrast til elvemuslingens manglende rekruttering i Hunnselva. Ved undersøkelser i substratet (graving) i 2008 ble det bemerket for alle stasjonene at enten var substratet kompakt og alle hulrom var tettet igjen, eller det inneholdt mye finpartikulært materiale (leirjord og mudder) som virvlet opp ved graving (Larsen & Berger 2009a). Høy vannføring og flom hele høsten forut for måltakingen i 2011 kan være årsaken til at substratet var spylt rent over tid (jf. **figur 3.4**). Lavere redokspotensial i overflatevannet på stasjon 1 i forhold til stasjon 2 og 3 kan komme av kloakkutslipp fra bebyggelse via en mindre bekk ikke langt fra målepunktet.



Figur 3.3. Redoksmålinger i Hunnselva i oktober 2011. Median, minimum- og maksimumverdi for målinger i de frie vannmasser (FW) og på 5-7 cm dyp i substratet (5 cm) er gitt for hver enkelt stasjon. Tabelloversikten angir antall målinger som ligger til grunn og andel av måleresultatene fordelt på redokspotensial >400, 300-400 og <300 mV.

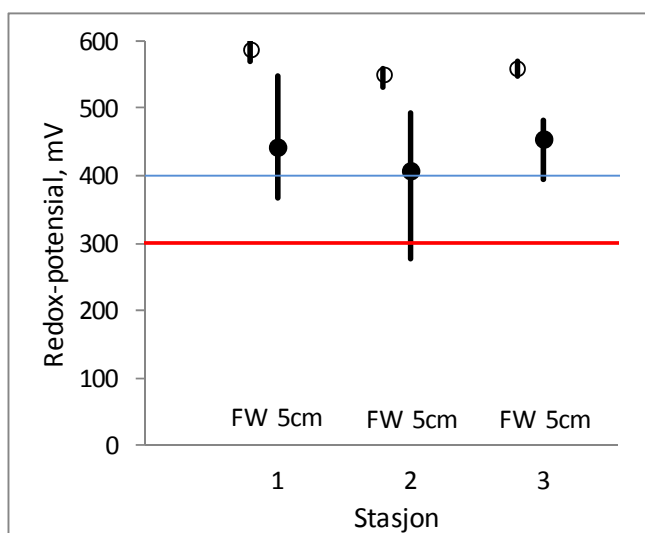


Figur 3.4. Vannføring i Hunsselva høsten 2011. Redoksmålingene i elva ble foretatt i midten av oktober etter langvarig flomvannføring som oversteg en normal 10-årsflom. Data fra www2.nve.no.

3.3.2 Fallselva, Oppland

Fallselva ligger i Søndre Land kommune i Oppland fylke. Trevatna er regulert, og Skrankefoss kraftverk utnyttet tidligere fallet mellom Trevatna og Skrankefoss. Et nytt kraftverk ved Fall som ble satt i drift i 2009, baserer seg på den eksisterende regulering av Trevatna, men utnytter nå hele fallet fra Trevatna til Randsfjorden. Nytt kraftverk medførte ingen vesentlige endringer i vannføringen ovenfor Skrankefoss. På strekningen mellom Skrankefoss og Randsfjorden derimot, vil vannføringen i Fallselva normalt bli sterkt redusert gjennom store deler av året.

Den øverste stasjonen som inngår i denne undersøkelsen (stasjon 1), ligger like nedenfor inntaksdammen ved Svensrud, mens de to andre stasjonene ligger henholdsvis like ovenfor (stasjon 2) og like nedenfor Skrankefoss (stasjon 3).



Dybde	Stasjon	N	Redokspotensial, mV		
			>400	300-400	<300
FW	1	5	100,0	0	0
	2	5	100,0	0	0
	3	5	100,0	0	0
5 cm	1	15	86,7	13,3	0
	2	15	53,3	26,7	20,0
	3	15	93,3	6,7	0

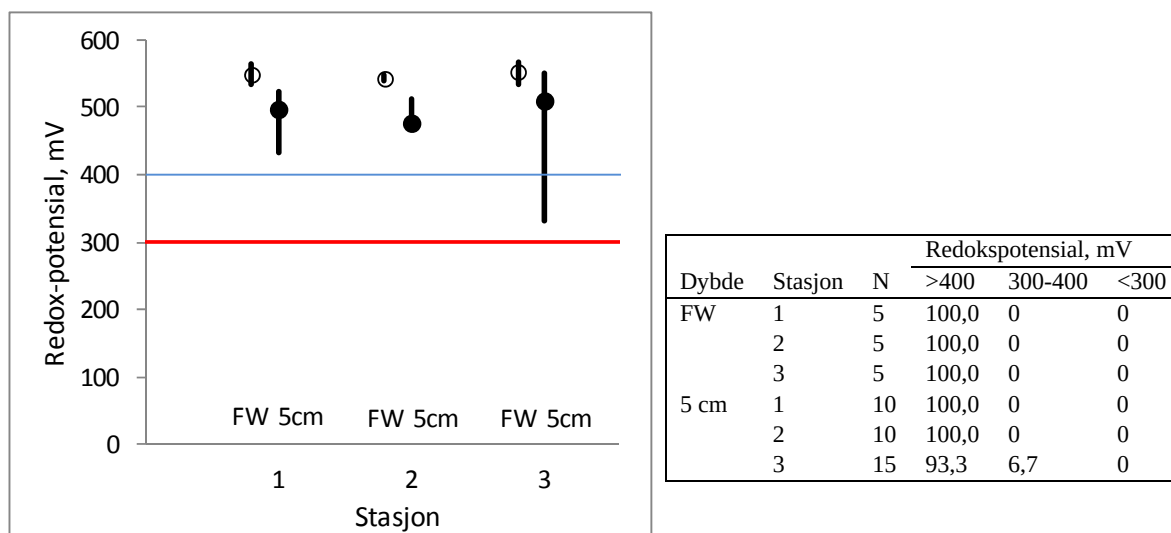
Figur 3.5. Redoksmålinger i Fallselva i oktober 2011. Median, minimum- og maksimumverdi for målinger i de frie vannmasser (FW) og på 5-7 cm dyp i substratet (5 cm) er gitt for hver enkelt stasjon. Tabelloversikten angir antall målinger som ligger til grunn (N) og andel av måleresultatene fordelt på redokspotensial >400, 300-400 og <300 mV.

I Fallselva ble det målt redokspotensial mindre enn 300 mV bare på én av stasjonene (**figur 3.5**), og reduksjon i redoksverdi mellom de frie vannmasser og substratet var 19-26 % (**tabell 3.2**). Dette tilsvarer god til moderat vannkvalitet.

Elvemusling ble registrert ved flere lokaliteter i Fallselva i 2010 (Torgersen & Ebne 2011). Nedenfor Skrankefoss (stasjon 3 på **figur 3.5**) ble det funnet en høy tetthet av musling, også av yngre individ. Minste observerte musling var 31 mm lang. Dette er også den stasjonen med best redokspotensial i 2011. Men på grunn av flom og høy vannføring i flere uker forut for målingene kan denne langvarige spyleeffekten ha resultert i høyere redoksverdier enn det vi vil forvente i år med mer normal vannføring (jf. Hunnselva **figur 3.4**). For en vellykket oppvekst må forholdene i substratet være stabilt gode over flere år.

3.3.3 Begna, Oppland

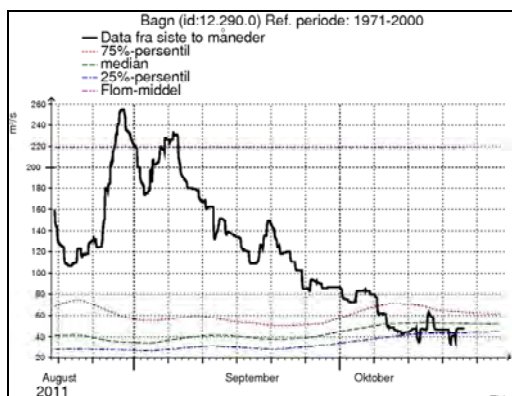
Begna ligger i kommunene Vang, Vestre-Slidle, Nord-Aurdal og Sør-Aurdal i Oppland fylke og i Ringerike kommune i Buskerud fylke. Nord for Bagn er det 18 regulerte magasin i vassdraget. Det nederste magasinet er Aurdalsfjorden. Fra Aurdalsfjorden føres vannet ca. 5 km i tunnel, via Bagn kraftverk og ut i Begna. Elvemusling er bare funnet i Begna nedenfor Bagn (Larsen 2000). Nedstrøms Bagn kraftverk er det et krav om en minstevannføring på 6 m³/s, men vannføringen er sjelden lavere enn 12 m³/s. I 1997 startet utbyggingen av Eid kraftverk som sto ferdig i år 2000. Ovenfor demningen er det nå en 2 km lang inntaksdam. Nedenfor demningen er en strekning på 1,3 km av elveløpet kanalisert.



Figur 3.6. Redoksmålinger i Begna i oktober 2011. Median, minimum- og maksimumverdi for målinger i de frie vannmasser (FW) og på 5-7 cm dyp i substratet (5 cm) er gitt for hver enkelt stasjon. Tabelloversikten angir antall målinger som ligger til grunn, og andel av måleresultatene fordelt på redokspotensial >400, 300-400 og <300 mV.

Stasjonene som inngår i denne undersøkelsen ligger ved Fønhus (stasjon 1) ovenfor Eidsfoss, ved Garthus (stasjon 2) like nedenfor Eidsfoss og ved Kvennfossen (stasjon 3).

I Begna var alle målte redokspotensial høyere enn 300 mV på alle stasjoner (**figur 3.6**), og reduksjon i redoksverdi mellom de frie vannmasser og substratet var 8-12 % (**tabell 3.2**). Dette tilsvarer god vannkvalitet. Elvemuslingen i Begna har en svak rekruttering (minste musling i 1998-1999 var 40 mm ved Garthus (Larsen 2000) og 44 mm ved Kvennfossen i 2010 (Larsen 2010c)). Observasjoner av substratet i stilleflytende partier av Begna i august 2010 viste at det forekom et belegg av jordslam som tydet på at sedimenttransporten i perioder kan være betydelig (Larsen 2010c). Selv om høy vannføring og flom hele høsten forut for måltakingen i 2011 (**figur 3.7**) kan ha gitt en bedre vannkvalitet enn normalt, er likevel forventningen i Begna at rekrutteringen kunne vært bedre. Det kan bety at det er andre årsaker enn vannkvalitet som hemmer rekrutteringen i vassdraget. For eksempel kan lav tetthet av ørret og lav infeksjon på ørretungene virke begrensende på rekrutteringen.



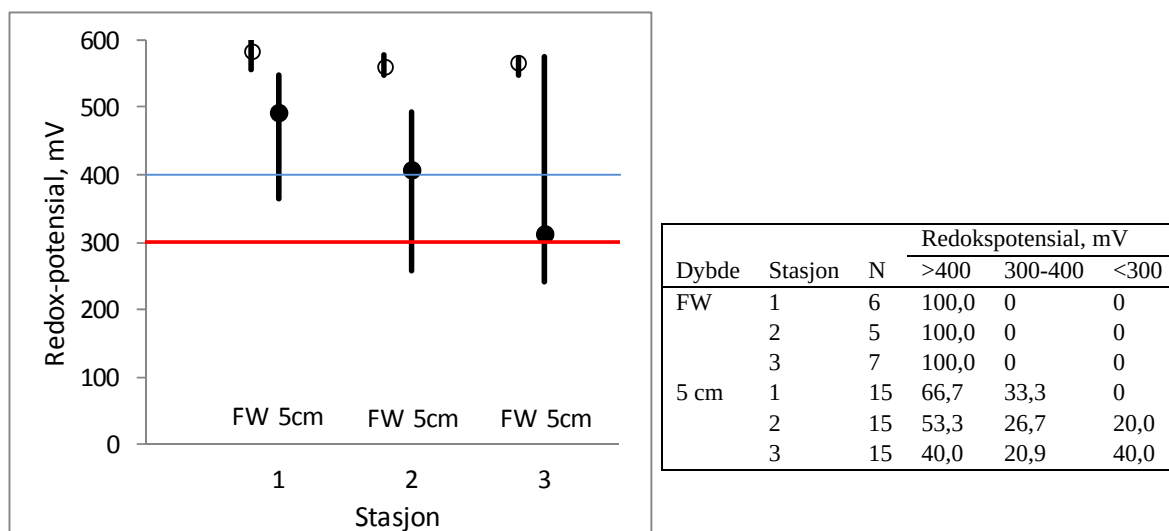
Figur 3.7. Vannføring i Begna høsten 2011. Redoksmålingene i elva ble foretatt i midten av oktober etter langvarig flomvannføring som oversteg det normale flom-middelet. Data fra www2.nve.no.

3.3.4 Hoenselva, Buskerud

Hoenselva, som er en sideelv til Drammenselva, ligger i Øvre Eiker kommune i Buskerud fylke. Stasjonene som inngår i denne undersøkelsen ligger ved Bermingrud (stasjon 1), Fossum (stasjon 2) og Kåsa (stasjon 3).

I Hoenselva ble det målt redokspotensial mindre enn 300 mV på to av de tre stasjonene (**figur 3.8**) og reduksjon i redoksverdi mellom de frie vannmasser og substratet var 16-45 % (**tabell 3.2**). Dette tilsvarer god til dårlig vannkvalitet. Det er en reduksjon i vannkvalitet fra øvre del av Hoenselva (stasjon 1, Bermingrud) til nedre del (stasjon 3, Kåsa). Men selv i nedre del er det lommer i elveløpet som har tilfredsstillende redokspotensial (>400 mV). Ved en undersøkelse i Hoenselva i 2008 ble det i vassdraget som helhet funnet en overvekt av store og gamle muslinger, og andelen individ yngre enn 20 år var bare 8 % (Larsen & Berger 2009b). Men det var store forskjeller innad i vassdraget. I øvre del (Bermingrud) var en firedel av muslingene yngre enn 20 år, og det ble funnet individ yngre enn 10 år. I nedre del (Kåsa) derimot var det ingen individ yngre enn 20 år, og bestanden sto i fare for å

forsvinne. Andelen nedgravde muslinger økte fra nedre til øvre del av Hoenselva i 2008 (Larsen & Berger 2009b). Dette reflekterer samtidig at andelen unge muslinger øker. Antall individ mindre enn 50 mm var da også henholdsvis 0, 2 og 7 på stasjon tilsvarende 3, 2 og 1 i denne undersøkelsen. Det gir et godt samsvar mellom resultatet fra redoksmålingene og den forventning disse gir med hensyn til de ulike stasjonenes egnethet som oppvekstområde for unge muslinger.

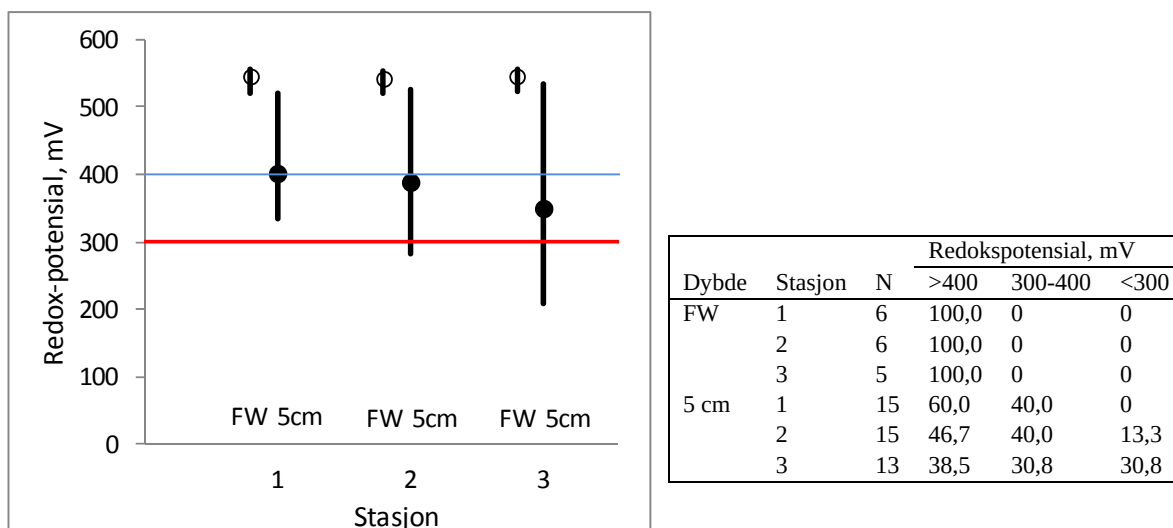


Figur 3.8. Redoksmålinger i Hoenselva i oktober 2011. Median, minimum- og maksimumverdi for målinger i de frie vannmasser (FW) og på 5-7 cm dyp i substratet (5 cm) er gitt for hver enkelt stasjon. Tabelloversikten angir antall målinger som ligger til grunn, og andel av måleresultatene fordelt på redokspotensial >400, 300-400 og <300 mV.

3.3.5 Håelva, Rogaland

Håelvvassdraget ligger hovedsakelig i Hå og Time kommuner i Rogaland fylke. Stasjonene som inngår i denne undersøkelsen ligger ved Grødem (stasjon 1), Haugland (stasjon 2) og Hå nær utløpet i sjøen (stasjon 3).

I Håelva ble det målt redokspotensial mindre enn 300 mV på to av de tre stasjonene (**figur 3.9**), men vannkvaliteten framsto likevel som noe bedre enn forventet ut fra det faktum at vassdraget ligger i et intensivt drevet landbruksområde med høy avrenning av næringsstoff. Reduksjon i redoksverdi mellom de frie vannmasser og substratet var 26-36 % (**tabell 3.2**). Dette tilsvarer moderat til dårlig vannkvalitet. Det er likevel lommer i elveløpet på alle stasjonene som har tilfredsstillende redokspotensial (>400 mV). Ved undersøkelser i 2008 var bare 3 % av muslingene yngre enn 10 år (Larsen & Berger 2010). Muslingene vokser raskt i Håelva, og muslinger på 95-100 mm kan være bare 20 år. Dermed kunne så mye som 11-15 % av individene være yngre enn 20 år i 2008. Rekrutteringen avtok imidlertid nedover i vassdraget, og ved Hå (stasjon 3) var det ingen muslinger som var mindre enn 80 mm. Best rekruttering var det ved Grødem (stasjon 1). Dette avspeiles da også ved redoksmålingene i 2011.



Figur 3.9. Redoksmålinger i Håelva i august 2011. Median, minimum- og maksimum-verdi for målinger i de frie vannmasser (FW) og på 5-7 cm dyp i substratet (5 cm) er gitt for hver enkelt stasjon. Tabelloversikten angir antall målinger som ligger til grunn, og andel av måleresultatene fordelt på redokspotensial >400, 300-400 og <300 mV.

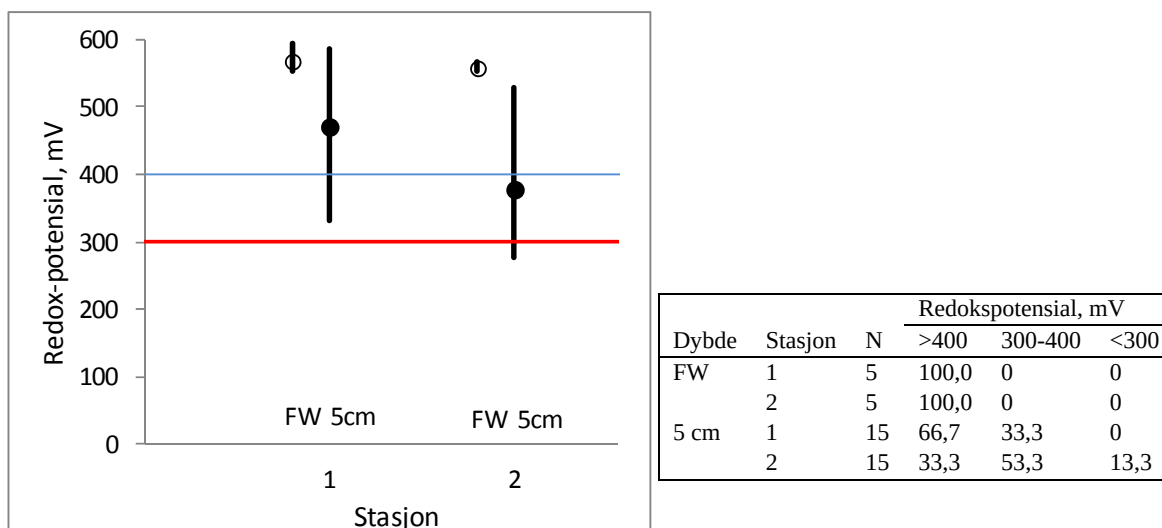
3.3.6 Ereviksbekken, Rogaland

Ereviksbekken ligger i Forsand kommune i Rogaland. Bekken er om lag 650-700 m lang opp til Ereviksvatnet. Stasjonene som inngår i denne undersøkelsen ligger begge nedenfor Fv. 795, henholdsvis 300 m (stasjon 1) og 150 m (stasjon 2) fra utløpet i sjøen i Indre Skeivika.

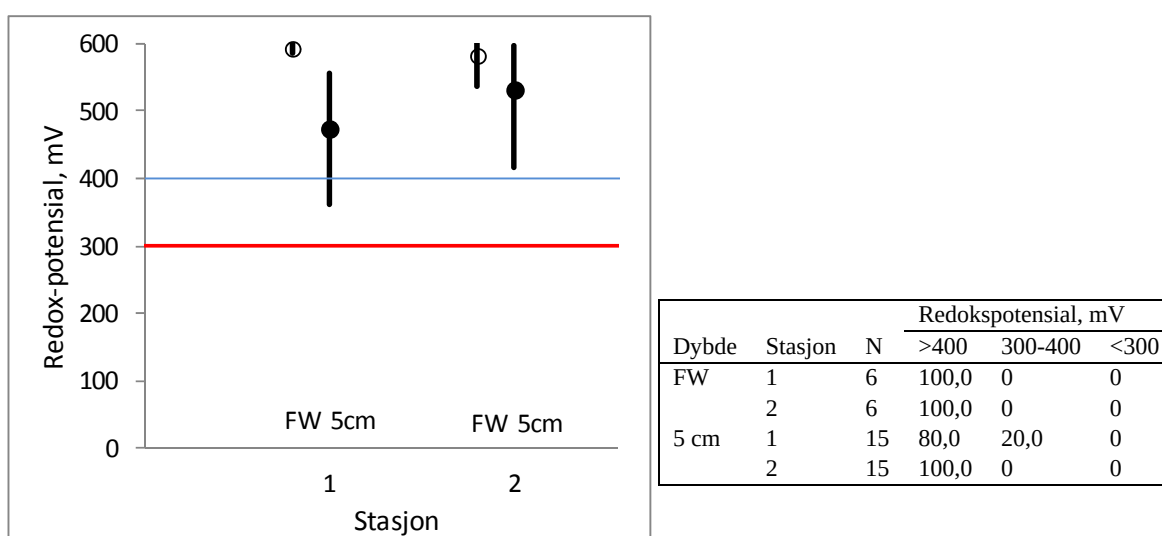
I Ereviksbekken ble det målt redokspotensial mindre enn 300 mV på én av de to stasjonene (**figur 3.10**), og reduksjon i redoksverdi mellom de frie vannmasser og substratet var 17-32 % (**tabell 3.2**). Dette tilsvarer god vannkvalitet på stasjon 1, men dårlig vannkvalitet på stasjon 2. Det er lommer i elveløpet på begge stasjonene som har tilfredsstillende redokspotensial (>400 mV). Rekrutteringen hos elvemusling er likevel kraftig redusert i Ereviksbekken siden midten av 1990-tallet (Larsen 2011). I 1995 var 14 % av individene mindre enn 50 mm. Bare tre individer (ca. 1 %) var mindre enn 50 mm i 2003, og ingen muslinger var mindre enn 50 mm på noen av stasjonene i 2010. Siden vi ikke har redoksmålinger fra tidligere år er det vanskelig å konkludere med at dårlig vannkvalitet alene er årsaken til svikt i rekrutteringen, men forholdene i 2010 antyder at oksygeninnholdet i substratet var marginalt i deler av Ereviksbekken og kan være en medvirkende årsak til svikt i rekrutteringen.

3.3.7 Svinesbekken, Rogaland

Svinesbekken ligger i Strand kommune i Rogaland. Bekken er om lag 650-700 m lang opp til Heimre Svinesvatnet, men utbredelsen til elvemusling er begrenset til maksimalt ca. 100 m av dette.



Figur 3.10. Redoksmålinger i Ereviksbekken i august 2011. Median, minimum- og maksimumverdi for målinger i de frie vannmasser (FW) og på 5-7 cm dyp i substratet (5 cm) er gitt for hver enkelt stasjon. Tabelloversikten angir antall målinger som ligger til grunn, og andel av måleresultatene fordelt på redokspotensial >400, 300-400 og <300 mV.



Figur 3.11. Redoksmålinger i Svinesbekken i august 2011. Median, minimum- og maksimumverdi for målinger i de frie vannmasser (FW) og på 5-7 cm dyp i substratet (5 cm) er gitt for hver enkelt stasjon. Tabelloversikten angir antall målinger som ligger til grunn, og andel av måleresultatene fordelt på redokspotensial >400, 300-400 og <300 mV.

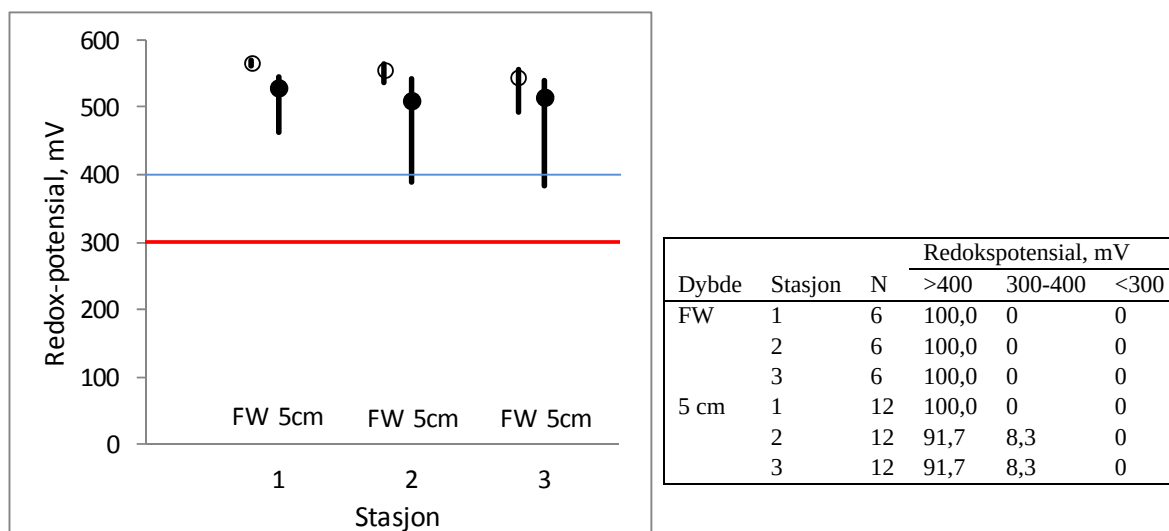
Stasjonene som inngår i denne undersøkelsen ligger begge i øvre del av bekken i forbindelse med et lite tjern 50 m o.h. Stasjon 1 ligger ovenfor tjernet, mens stasjon 2 ligger like nedenfor det samme tjernet.

I Svinesbekken ble det ikke målt redokspotensial mindre enn 300 mV på noen av stasjonene i august 2011 (**figur 3.11**), og reduksjon i redoksverdi mellom de frie vannmasser og substratet var bare 9-20 % (**tabell 3.2**). Dette tilsvarer god vannkvalitet på begge stasjoner. Likevel har det vært manglende rekruttering fra midten av 1990-tallet og fram til 2010. Andelen store muslinger øker og antall nedgravde muslinger avtar. Det er derfor dårlig samsvar mellom redoksverdier målt i 2011 og andelen unge muslinger i Svinesbekken. Mangel på vertsfisk kan imidlertid være en nøkkelfaktor i Svinesbekken og være begrensende for å opprettholde en god rekruttering hos elvemusling (Larsen 2011).

3.3.8 Hammerbekken, Sør-Trøndelag

Hammerbekken ligger i Trondheim kommune i Sør-Trøndelag. Den gjenværende bestanden av elvemusling er svært liten og fordelt på to atskilte områder; en nedre del (mellom Jonsvatnet og Hammer gård) og en øvre del (ovenfor Spillertjønna) (Larsen 2009). Stasjonene som inngår i denne undersøkelsen ligger alle i nedre del av bekken nedenfor Hammer gård med stasjon 1 nærmest gården og stasjon 3 nærmest Jonsvatnet. Hammer gård har et mikrokraftverk med vanninntak fra Spillertjønna. Dette gir en mer utjevnet og høyere vannføring i bekken, spesielt om sommeren, i forhold til uregulert tilstand.

I Hammerbekken ble det ikke målt redokspotensial mindre enn 300 mV på noen av stasjonene i mai 2011 (**figur 3.12**), og reduksjon i redoksverdi mellom de frie vannmasser og substratet var bare 5-8 % (**tabell 3.2**). Dette tilsvarer god vannkvalitet på alle stasjonene, og bekken framstår som et godt oppvekstområde for elvemusling.



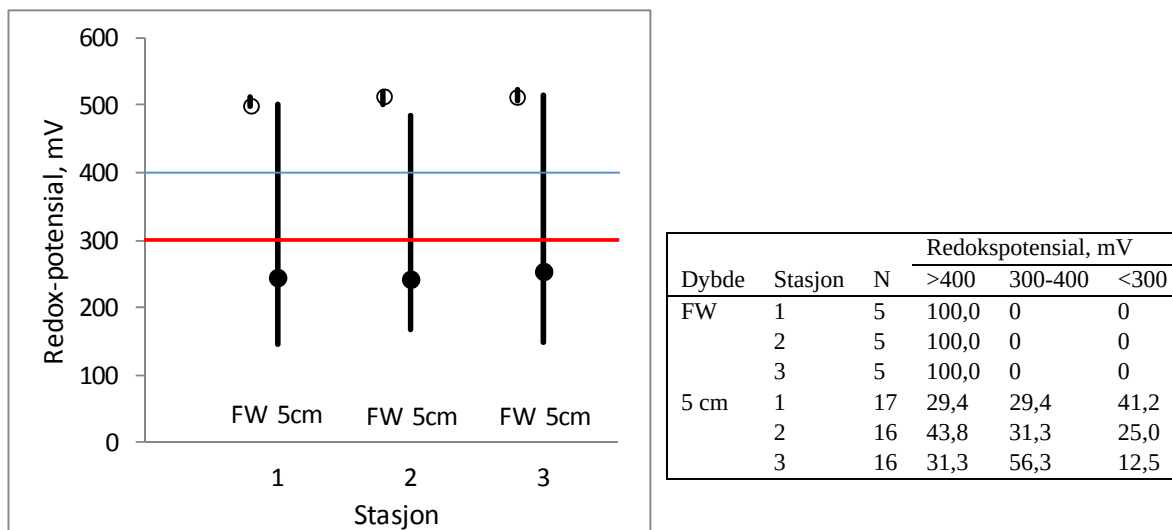
Figur 3.12. Redoksmålinger i Hammerbekken i mai 2011. Median, minimum- og maksimumverdi for målinger i de frie vannmasser (FW) og på 5-7 cm dyp i substratet (5 cm) er gitt for hver enkelt stasjon. Tabelloversikten angir antall målinger som ligger til grunn, og andel av måleresultatene fordelt på redokspotensial >400, 300-400 og <300 mV.

Hammerbekken inngår i et reetableringsprosjekt for elvemusling, der ørretunger infisert med muslinglarver er satt ut i bekken om høsten i tre år (2008-2010) (Larsen 2012). Da prosjektet foreløpig ikke er evaluert, og resultatet av utsettingene ikke er kjent, vet vi heller ikke foreløpig om den målte vannkvaliteten er tilstrekkelig for et vellykket tilslag.

3.3.9 Borråselva, Nord-Trøndelag

Gråelvvassdraget, som ligger i Stjørdal kommune i Nord-Trøndelag fylke, er regulert til kraftverksformål, og det er dammer ved utløpet av Ausetvatn, Almovatn/Buvatn og Liavatn. Borråselva er den delen av vassdraget som ligger mellom Ausetvatn og Almovatn/Buvatn. Reguleringsdammen i Ausetvatn ble bygget i 1926 og restaurert første gang i 1963. En siste ombygging ble gjort i 2008, og i forbindelse med anleggsarbeidet ble vannføringen redusert, og det var høyt innhold av finpartikulært materiale (Larsen 2008a). Stasjonene som inngår i denne undersøkelsen ligger i øvre (stasjon 1), midtre (stasjon 2) og nedre (stasjon 3) del av Borråselva.

I Borråselva ble det målt redokspotensial mindre enn 300 mV på alle tre stasjoner (**figur 3.13**), og reduksjonen i redoksverdi mellom de frie vannmasser og substratet var 51-53 % (**tabell 3.2**). Dette tilsvarer dårlig vannkvalitet med store områder i elva uten tilstrekkelig oksygeninnhold i substratet til at unge muslinger kan vokse opp. Men det finnes lommer i elveløpet på alle stasjoner som også har tilfredsstillende redokspotensial (>400 mV).



Figur 3.13. Redoksmålinger i Borråselva i august 2011. Median, minimum- og maksimumverdi for målinger i de frie vannmasser (FW) og på 5-7 cm dyp i substratet (5 cm) er gitt for hver enkelt stasjon. Tabelloversikten angir antall målinger som ligger til grunn, og andel av måleresultatene fordelt på redokspotensial >400, 300-400 og <300 mV.

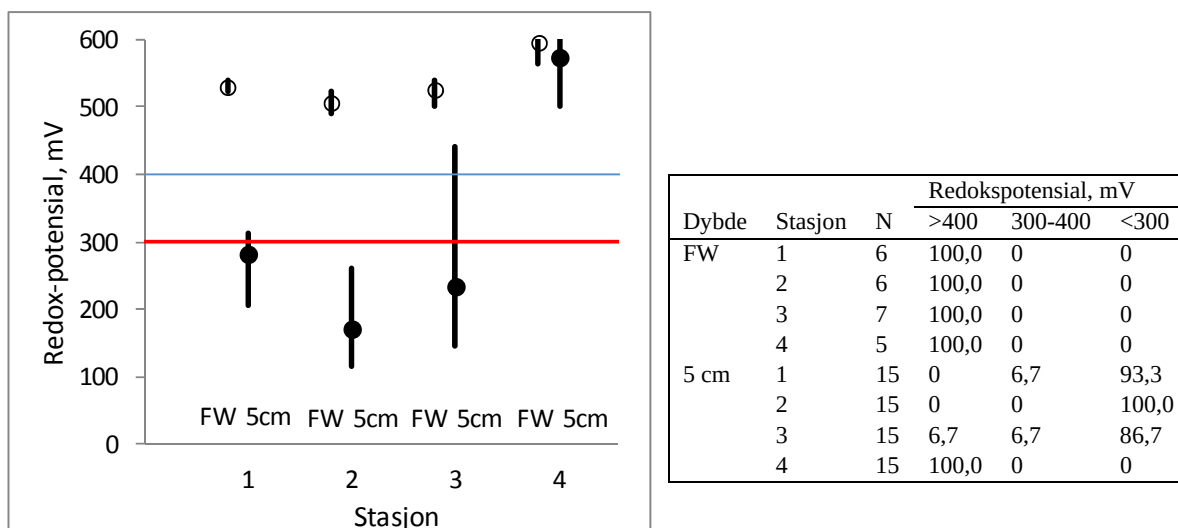
Det er en stor bestand av elvemusling i Borråselva, men rekrutteringen er liten (Larsen mfl. 2008b). Andelen individer yngre enn 20 år var i 1999 bare halvparten av det som forutsettes, og i 2006 var andelen unge muslinger ytterligere redusert. Det ble imidlertid funnet muslinger ned til 10 mm begrenset til spesielle lokaliteter i vassdraget (små «stryk» med grus og god vanngjennomstrømning), som sannsynligvis fungerte som «yngelkammer» for den nærliggende delen av elva. Redoksmålingene i 2011 sannsynliggjør at det kan være slik, men at det også i forbindelse med utbyggingen i 2008 midlertidig kan være reduserte oppvekstmuligheter for små muslinger i en større del av elva enn tidligere.

3.3.10 Mossa, Nord-Trøndelag

Mossavassdraget ligger i Mosvik kommune i Nord-Trøndelag fylke. Mosvik kraftverk har vært i drift siden januar 1984. Ved reguleringen ble 55 % av feltet overført til Kalddalen for kraftproduksjon. Innsjøen Meltingen ble regulert med 21 m senking. Reguleringen har ført til sterkt redusert vannføring hele året. Restvannføringen er 25-30 % ved Lille Meltingen, men mye av dette utgjøres av nedbørfeltet rundt Langen som renner ut i Lille Meltingen gjennom Tverrelva. Restvannføringen i hovedelva synker gradvis fra 5 % ved innløp i Lille Meltingen til 0 % ved Åfjorden. Vårflommen var om lag tre uker tidligere etter regulering (1984-1991) sammenliknet med uregulert elv (1916-1931) (se for øvrig kapittel 6 i denne rapporten). Stasjonene som inngår i denne undersøkelsen ligger nedenfor Liafossen (stasjon 1), innløp til Stokkleivvatn (stasjon 2), innløp til Lille Meltingen (stasjon 3, og utløp av Lille Meltingen (stasjon 4).

I Mossa ble det målt redokspotensial mindre enn 300 mV på tre av de fire stasjonene (**figur 3.14**). Det var god vannkvalitet bare nedenfor Lille Meltingen (stasjon 4), der redokspotensialet ble målt til >400 mV, og reduksjonen i redoksverdi mellom de frie vannmasser og substratet var bare 4 % (**tabell 3.2**). Ved de tre stasjonene mellom Lille Meltingen og Liafossen var det nesten ingen målinger i substratet som var større enn 400 mV, og reduksjonen i redoksverdi mellom de frie vannmasser og substratet var 47-66 % (**tabell 3.2**). Dette tilsvarer dårlig vannkvalitet, og nesten hele området var uten tilstrekkelig oksygeninnhold i substratet til at unge muslinger kan vokse opp.

Nedenfor Lille Meltingen var om lag 12 % av muslingene yngre enn 30 år i 2010/2011. Oppstrøms Stokkleivvatnet derimot var mindre enn 1 % av muslingene yngre enn 30 år, og ingen var yngre enn 25 år. I 1984 var til sammenlikning ca. 30 % av muslingene yngre enn 25-30 år. Det betyr at rekrutteringen opphørte omtrent samtidig med at Mosvik kraftverk ble satt i drift i 1984. Manglende minstevannføring har i tillegg til å forringe kvaliteten på substratet også medført mangel på laksunger som er den sannsynlige primærverten til elvemuslingens larver i Mossa (se for øvrig kapittel 6).



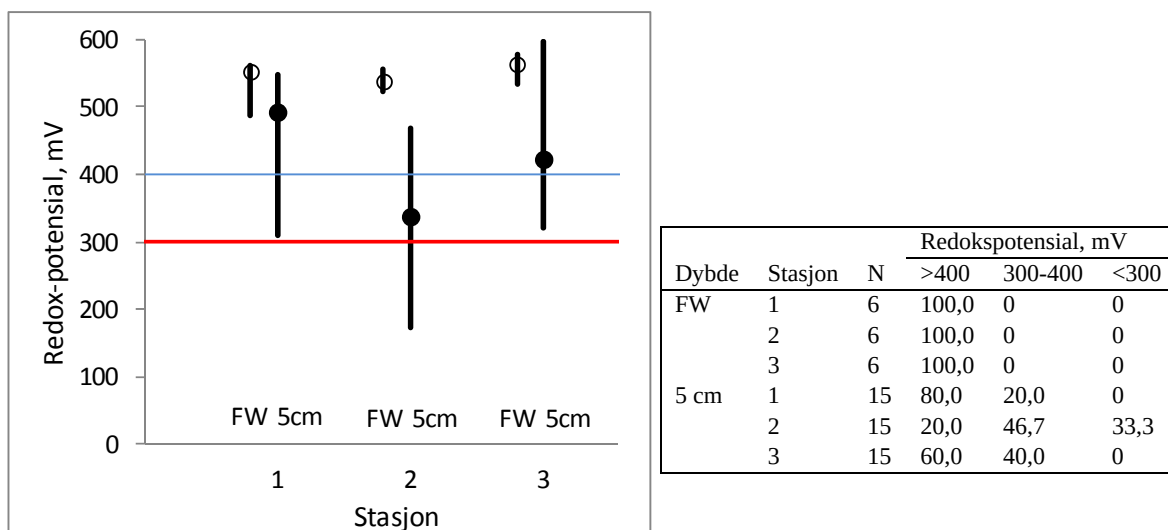
Figur 3.14. Redoksmålinger i Mossa i august 2011. Median, minimum- og maksimumverdi for målinger i de frie vannmasser (FW) og på 5-7 cm dyp i substratet (5 cm) er gitt for hver enkelt stasjon. Tabelloversikten angir antall målinger som ligger til grunn, og andel av måleresultatene fordelt på redokspotensial >400, 300-400 og <300 mV.

3.3.11 Aursunda, Nord-Trøndelag

Aursundavassdraget ligger i Steinkjer, Namsos og Namdalseid kommuner i Nord-Trøndelag og er varig vernet mot kraftutbygging. Vannstrengen har gjennom historien vært sterkt påvirket av inngrep i tilknytning til fløtningsdrift, og vassdraget har flere eldre fløtningsdammer. Høyfættdammen har vært brukt til å slippe vann fram til og med 2009 i forbindelse med oppgangen av laks og for å forebygge furunkuloseutbrudd. Stasjonene som inngår i denne undersøkelsen ligger ovenfor Fiskemfossen (stasjon 1), ovenfor Svartfossen (stasjon 2) og ovenfor Hyllfossen (stasjon 3).

I Aursunda ble det målt redokspotensial mindre enn 300 mV på bare én av de tre stasjonene (**figur 3.15**), og reduksjonen i redoksverdi mellom de frie vannmasser og substratet var 11-37 % (**tabell 3.2**). Dette tilsvarer god til dårlig vannkvalitet. Selv om det var store variasjoner mellom stasjonene, var det lommer i elveløpet på alle stasjoner som hadde tilfredsstillende redokspotensial (>400 mV).

Noe over halvparten av muslingbestanden i Aursunda var yngre enn 20 år i 2010 (Larsen & Saksgård 2011). Bestanden er karakterisert som livskraftig med en stor og årlig rekruttering. Den minste muslingen som ble funnet i Aursunda i 2010 var 14 mm lang mot 4 mm i 2002. Det var generelt en noe lavere andel av de minste lengdegruppene i 2010 sammenliknet med 2002. Selv om det lokalt og i enkelte år kan være redusert kvalitet på oppvekstområdene i substratet, kan dette være naturlige svingninger som ikke er alvorlig for overlevelsen av bestanden på lang sikt. Men høy algevekst på stasjon 2 i 2011 indikerte at redokspotensialet kunne være lavere i deler av området. Dette ga seg også utslag i redoksverdier <300 mV på stasjon 2.



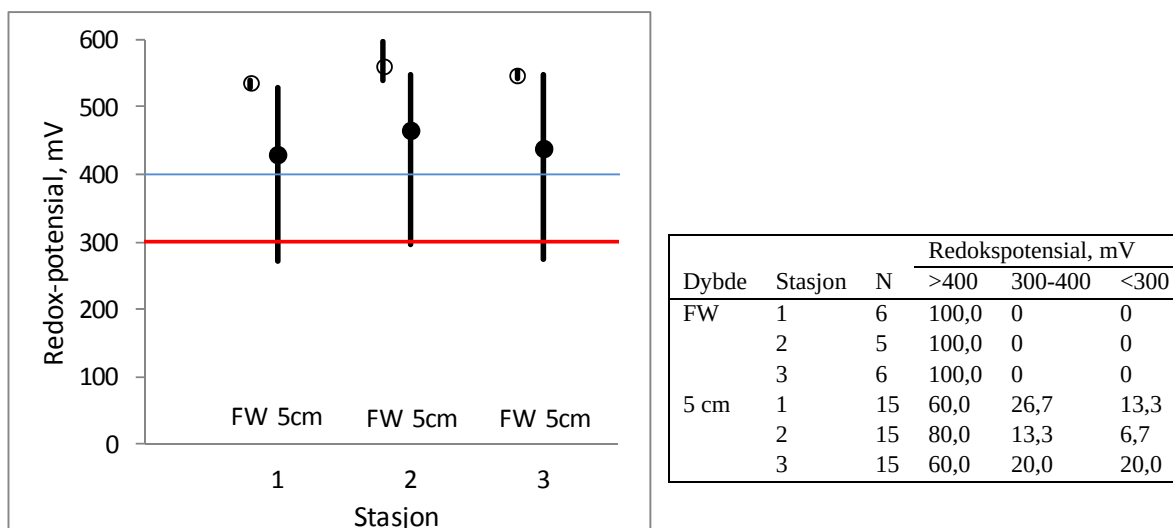
Figur 3.15. Redoksmålinger i Aursunda i august 2011. Median, minimum- og maksimumverdi for målinger i de frie vannmasser (FW) og på 5-7 cm dyp i substratet (5 cm) er gitt for hver enkelt stasjon. Tabelloversikten angir antall målinger som ligger til grunn, og andel av måleresultatene fordelt på redokspotensial >400, 300-400 og <300 mV.

3.3.12 Hestadelva, Nordland

Hestadelva ligger i Dønna kommune i Nordland, og er varig vernet mot kraftutbygging. Stasjonene som inngår i denne undersøkelsen ligger nedenfor utløpet av Finnbuvatn (stasjon 1) og i øvre (stasjon 2) og midtre (stasjon 3) del av selve Hestadelva mellom Babylonvatnet og utløpet i sjøen.

I Hestadelva ble det målt redokspotensial mindre enn 300 mV på alle de tre stasjonene (**figur 3.16**), men reduksjonen i redoksverdi mellom de frie vannmasser og substratet var bare 17-20 % (**tabell 3.2**). Dette tilsvarer god vannkvalitet. Det var små variasjoner mellom stasjonene, og det var overvekt av lommer i elveløpet på alle stasjoner som hadde tilfredsstillende redokspotensial (>400 mV).

Lengdefordeling av elvemusling, andel nedgravde muslinger og andel unge muslinger ble også undersøkt på de tre stasjonene. Hestadelva har en meget god rekruttering, og kanskje så mye som 60 % av muslingene var yngre enn 20 år i 2011 (Larsen & Bjerland, under arbeid). Andelen nedgravde muslinger var i gjennomsnitt 36 %, og andelen økte nedover i vassdraget. Det samme var tilfellet med andelen individ yngre enn 10 år som økte fra 9 % på stasjon 1 til 42 % på stasjon 3. I Hestadelva er det samsvar mellom god vannkvalitet og god rekruttering i hele vassdraget, men lokale forhold (f.eks. substratstørrelse og vannhastighet) på den enkelte stasjon gir likevel variabel tetthet av muslinger.



Figur 3.16. Redoksmålinger i Hestadelva i juli 2011. Median, minimum- og maksimumverdi for målinger i de frie vannmasser (FW) og på 5-7 cm dyp i substratet (5 cm) er gitt for hver enkelt stasjon. Tabelloversikten angir antall målinger som ligger til grunn, og andel av måleresultatene fordelt på redokspotensial >400, 300-400 og <300 mV.

3.4 Diskusjon og oppsummering

Måling av redokspotensial er et hjelpemiddel for å karakterisere kvaliteten av substratet og egnethet som oppvekstområde for unge muslinger. Gjennomsnittlig reduksjon i redokspotensial mellom frie vannmasser og substrat er et mål (surrogat) for reduksjon i oksygeninnhold. Det er imidlertid et øyeblikksbilde, og resultatet vil variere i løpet av året. Men substratmålinger er likevel mindre utsatt for korttids fluktasjoner enn vannkvalitet målt gjennom en vannprøve. Det er imidlertid viktig at målingene legges til den perioden man forventer at forholdene er dårligst («worst-case»). Dette vil normalt være i løpet av juli-august-september i en periode med lav vannføring og høy vanntemperatur når sedimentasjonen er størst og oksygeninnholdet erfaringsmessig er lavest (jf. Geist & Auerswald 2007).

Når man generelt betrakter regulerte og uregulerte vassdrag i to grupper, er det ikke slik at den ene eller den andre gruppen utpeker seg spesielt i positiv eller negativ retning. Årsaken til nedsatt eller manglende rekruttering er sammensatt, og flere faktorer enn substratkvalitet alene kommer inn. Likevel er det en god sammenheng mellom funnene i denne undersøkelsen og status eller levedyktighet til flere av populasjonene. God rekruttering og god eller moderat vannkvalitet målt som reduksjon i redoksverdi mellom frie vannmasser og substrat, finner vi i øvre deler av Hoenselva, Aursunda og Hestadelva. Svak eller manglende rekruttering og dårlig vannkvalitet finner vi i nedre deler av Hoenselva, Håelva, øvre deler av Mossa og Borråselva. Bedre vannkvalitet enn forventet i forhold til rekruttering var det i Hunnselva, Fallselva, Begna og Svinesbekken. Dette skyldes nok i noen grad at elvene på Østlandet ble undersøkt for sent på året (oktober) etter langvarig og høy

vannføring det meste av sommeren og høsten. Metoden med redoksmåling er likevel et godt hjelpemiddel til å vurdere substratkvalitet for å kunne si noe om potensialet et område har for vellykket rekruttering i bestander av elvemusling (Geist & Auerswald 2007).

I den regulerte elva Mossa der avrenningen fra en stor del av nedbørfeltet er ført bort fra elva, reflekterer redoksmålingene på en god måte hva som skjer når vannføringen reduseres til et minimum. Fra kraftverket ble satt i drift i 1984 og fram til 2007 var det ingen krav til minstevannføring. Heller ikke nåværende sommervannføring på 100 l/s er tilstrekkelig for å heve kvaliteten på substratet tilbake til en tilstand der muslinger kan overleve i deres første leveår. I Mossa var det tidligere en meget god rekruttering som forsvant fullstendig omtrent samtidig med starten av Mosvik kraftstasjon.

I andre regulerte vassdrag, som Begna, føres ikke vannet bort fra elveløpet, men magasineres og fordeles på en annen måte gjennom året i forhold til den naturlige tilstanden. Dette behøver ikke ha samme effekt på substratkvaliteten bare vannføringen fortsatt er stor nok i løpet av året til at finpartikulært materiale ikke akkumuleres, men vaskes ut av substratet.

Måling av redokspotensial er ikke tidligere forsøkt til å beskrive substratkvalitet i elver i Norge, og som all ny metodikk trenger vi noe mer tid til utprøving og erfaring med ulike habitat før metoden er fullt innarbeidet. Foreløpige erfaringer tilsier at målinger bare skal foretas i områder av elva med permanent vanndekt areal. Av statistiske årsaker anbefales det å gjøre minst 10 målinger på hvert sted. Ideelt sett bør målepunktene plasseres ut langs transekter etter et fastsatt mønster. Dette er imidlertid vanskelig å gjennomføre i praksis, da det kan være vanskelig eller også fysisk umulig å få målesonden ned på ønsket dybde. I slike tilfeller må målepunktene tilpasses substratet.

Redoksmålinger er en metode som er anbefalt brukt i flere land (Geist & Auerswald 2007, Killeen 2011), og den er også foreslått tatt inn i en europeisk standard som skal beskrive elvemuslingens miljøkrav.

4. Vanntemperaturens betydning for livssyklus hos elvemusling

Bjørn Mejdell Larsen

Vanntemperaturen styrer veksthastighet og utviklingstid i mange faser av elvemuslingens liv. Muslinglarvens utvikling etter at befruktningen har skjedd ser ut til å gå raskere ved høyere vanntemperatur. Dermed kan gyttetidspunktet forskyve seg to-tre uker mellom år. Når muslinglarven har festet seg til gjellene på en fisk, kan vanntemperaturen igjen virke inn på veksthastigheten og utviklingen av muslinglarven. En endring i vanntemperatur kan dermed endre veksthastigheten til muslinglarvene som sitter på fisken.

4.1 Innledning

Vanntemperaturen er bestemmende for mange fysiske, kjemiske, biologiske og økologiske prosesser i innsjøer og elver. Vassdragsreguleringer forårsaker fysiske og hydrologiske endringer og forandrer normalt både vannføring og vanntemperatur. Graden av endringer varierer og er blant annet avhengig av om det er elvekraftverk eller magasinkraftverk. I Norge og internasjonalt har det vært mye fokus på temperaturens betydning for laks og effekten som temperaturendringer kan ha på ulike livsstadier (bl.a. Elliot 1991, Jonsson mfl. 2001, Jensen mfl. 2002). Det foreligger derfor mye kunnskap om hvilke effekter temperaturforandringer har på laks i forbindelse med vassdragsreguleringer (Saltveit 2006). Det har ikke vært samme fokus på andre nøkkelarter i ferskvann, og det er begrenset hvor mye kunnskap som finnes om for eksempel elvemusling. Like fullt styres og påvirkes elvemuslingens livssyklus i like stor grad av vanntemperaturen, noe som kan tenkes å ha stor betydning for hvordan arten klarer seg i regulerte vassdrag. Siden elvemusling har et obligatorisk larvestadium på laksefisk, vil forekomst av elvemusling være nært knyttet til forekomst og tetthet av laks og ørret. Kunnskap om effekten av vassdragsreguleringer på fisk har derfor indirekte stor relevans også når vi skal bedømme effekten av vassdragsreguleringer på elvemusling. Vi skal imidlertid konsentrere omtalen her til den direkte effekten som vanntemperatur har på elvemusling isolert sett.

Elvemusling har en relativt vid temperatortoleranse. Jungbluth & Lehmann (1976) rapporterer temperaturer fra -0,4 til 25,6 °C, men dette er moderert noe av Jungbluth (2011) som angir 0-23 °C. I følge Ziuganov mfl. (1994) kan de tolerere temperaturer opp til 28 °C i kortere tidsrom (10-20 min). Ziuganov mfl. (1988) mener at de kan overleve i lange perioder (30 dager) på tørt land i skygge ved 15 °C. Dette står imidlertid i sterk kontrast til Dyk & Dykova (1974), som påstår at muslingene dør etter 64 timer på tørt land i sommertemperaturer, og samtidig mister 1/10 av kroppsvekten. I fuktig sandbunn derimot kan de overleve opptil tre uker. Björk (1962) skriver at under tørkeperioder kan elvemuslingen leve i måneder i grunne dammer eller stillestående vann uten å ta skade.

Dette vil i så fall indikere at de kan tåle en kortere periode med lite eller ingen vanngjennomstrømning, bare ikke temperaturen blir for høy.

Muslingene kan tåle vanntemperaturer nær null så fremt de ikke fryser inne (Grundelius 1982). Blodet hos svanemusling, *Anodonta cygnea*, fryser for eksempel ved $-0,078\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Potts 1954). Atferdsmessig kan elvemuslingen i noen grad unngå innfrysing ved å grave seg dypere ned i substratet, men lite er kjent om aktiviteten til elvemusling om vinteren.

4.2 Produksjon av kjønnsceller

Elvemusling er normalt særkjønnet med hann- og hunnindivider. I enkelte populasjoner kan man imidlertid finne en større eller mindre andel av individer med anlegg for både hunnlige og hannlige kjønnsceller. Spermier og egg hos elvemusling modnes i gonadene i løpet av våren og sommeren. Feltstudier av tre amerikanske muslingarter påviste at vellykket produksjon av kjønnsceller var knyttet til temperatur og spesielt til antall akkumulerte døgngader (Galbraith & Vaughn 2009). Eksperimentelle studier bekreftet dette, men antydte at i tillegg til temperatur var også næringstilgang viktig for å regulere produksjonen av kjønnsceller (og potensielt også tidspunktet for frigivelse av kjønns-cellene). Reproductiv suksess hos muslinger kan bli forstyrret av lav temperatur og unaturlige temperaturregimer (Layzer mfl. 1993, Watters 2000). Heinricher & Layzer (1999) viste at muslingen *Megaloniais nervosa* som ikke reproduserte lenger i et vassdrag nedenfor en demning med slipp av kaldt vann fra hypolimnion, likevel var i stand til å reproducere bare de ble flyttet til et annet vassdrag. Det er gjort svært få studier av hvilke faktorer som styrer produksjonen av kjønnsceller hos muslinger (Galbraith & Vaughn 2009), og det som er gjort er på andre arter enn elvemusling. Vi har derfor ingen konkrete data med hensyn til antall døgngader som er nødvendig for en vellykket utvikling av kjønnsceller hos elvemusling i norske vassdrag. Vi vet heller ikke hvilke temperaturer som eventuelt hemmer reproduksjonen, og hvilke terskelverdier som er viktige.

4.3 Muslinglarvens utvikling

Det befruktede egget utvikler seg til en liten muslinglarve (glochidie), som blir oppbevart i muslingens gjelleblader. Gjellene fungerer som «yngelkammer» for muslinglarvene hos elvemusling i om lag fire uker før de er ferdig utviklet og kan støtes ut i de frie vannmassene gjennom utblåsningsåpningen. Varigheten er temperatur-avhengig og kan (i Østerrike) variere fra 23 dager i en varm sommer (middeltemperatur i august $15,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) til 40 dager i en kald sommer (middeltemperatur i august $13,0\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Scheder mfl. 2011). Summen av døgngader varierte fra 353 i en varm sommer til 530 i en kald sommer. I et «gjennomsnittså» (middeltemperatur i august $14,3\text{ }^{\circ}\text{C}$) trengte elvemuslingene 428 døgngader for å fullføre larveutviklingen (Scheder mfl. 2011). Dette er i samsvar med Hruska (2001) og Lange mfl. (2008) som fant at elvemusling trengte henholdsvis 380-420 og 450 døgngader for å fullføre larveutviklingen.

4.4 Frigivelse av muslinglarver og frittlevende fase før infeksjon på fisk

Tidspunktet som muslingene starter å frigi larvene, kan variere opp til fire uker fra år til år i ett og samme vassdrag, avhengig av vanntemperaturens utvikling (Hastie & Young 2003). Det er også store forskjeller mellom vassdrag og/eller mellom regioner. Elver på vestkysten av Skottland slipper larvene minst én måned tidligere enn elvene på østkysten (Hastie & Young 2003). Selve frigivelsen skjer imidlertid relativt synkront for hele bestanden (fleste muslinglarver slippes ut i løpet av 1-2 dager; Hastie & Young 2003). Likevel kan frigivelsen av larver strekke seg over en periode på 1-4 uker (Larsen 1999). Hastie & Young (2003) fant at det var 3000-3600 døgngader mellom to suksessive gyteperioder. Plutselige endringer i vanntemperatur ($>2\text{ }^{\circ}\text{C}$) og/eller vannstand ($>10\text{ cm}$) kan ofte resultere i utslipp av larver. I øvre Mississippi frigir *Megalonias nervosa* larvene sine i oktober etter en temperaturopp (Woody & Holland-Bartels 1993). En annen art, *Pleurobema cordatum* i Tennessee, slipper tilsynelatende larvene etter en temperaturøkning (Yokley 1972). Forskjellig gytetidspunkt hos ulike elvemuslingpopulasjoner er forklart med ulikheter i temperatur mellom elver (Hastie & Young 2003). Muslinger i «varme» elver hadde en tendens til å gyte tidligere enn «kalde» elver. I Oregon, USA gyter også *Margaritifera falcata* tilsynelatende senest i de kalde elvene (Meyers & Millemann 1977).



En elvemusling kan produsere i gjennomsnitt 3-4 millioner muslinglarver. De frigis normalt i løpet av august-september, og frigivelsen av larvene skjer relativt synkront for hele bestanden. Foto: Bjørn Mejdell Larsen.

Etter at muslinglarvene er sluppet ut i vannmassene vil de dø i løpet av svært kort tid (inntil noen få dager) hvis de ikke kommer i kontakt med gjellene på en fisk. Hvor lenge

de lever i vannet er avhengig av flere faktorer, der temperatur og oksygeninnhold er blant de viktigste, men der også pH og innhold av tungmetaller (aluminium) kan spille inn. Ziuganov mfl. (1994) har i eksperimenter vist at muslinglarvene hos elvemusling fortsatt var i stand til å infisere fisk etter seks dager i vannet, men temperaturen er ikke oppgitt. Muslinglarver som ble tatt fra *Margaritifera falcata*, og holdt under kontrollerte betingelser med vann fra lokaliteten (samme vanntemperatur og vannkvalitet) overlevde minimum 11 dager, ved 11-14 °C (Murphy 1942). Muslinglarver fra *Margaritifera laevis* overlevde bare en dag ved 15 og 20 °C, men overlevde 4-11 dager (avhengig av populasjon) når vanntemperaturen var 10 °C (Akiyama & Iwakuma 2007). *Anodonta californiensis* overlevde bare 36 timer ved 15-16 °C (D'Eliscu 1972). Dette er også i overensstemmelse med observasjonene til Young & Williams (1984b), som bemerket at muslinglarver av elvemusling virket livløse etter 24 timer ved ca. 20 °C. Laboratorietester av fem europeiske muslingarter fant at enkelte larver av elvemusling kunne overleve i opp til 10 dager, mens larver av *Unio pictorum* overlevde opp til 17 dager (Jansen mfl. 2001). Disse høye verdiene ble oppnådd ved 5 °C, og under mer normale temperaturforhold (10 og 16 °C) var levetiden betydelig kortere. Ved 16 °C var 50 % av larvene døde etter 2,5 dag for *Anodonta cygnea* og om lag tre dager for elvemusling. Data som foreligger antyder at larver av elvemusling bare kan overleve 1-2 dager under normale forhold, og at forhøyede temperaturer kan forkorte denne levetiden ytterligere.

4.5 Parasittisk stadium på fisk

Først etter et obligatorisk stadium på gjellene til laks eller ørret er muslinglarvene ferdig utviklet og kan starte et liv som bunnlevende musling i elva. Muslinglarvene vil bare utvikle seg normalt på laks eller ørret i Norge. Det er vassdrag i Norge der elvemusling har laks som primærvert i nedre del («laksemusling») og ørret som primærvert i øvre del av vassdraget («ørretmusling») (bl.a. Larsen mfl. 2011a). Der «laksemusling» og «ørretmusling» er funnet i samme vassdrag, frigir «ørretmuslingene» larvene sine 3-4 uker tidligere enn «laksemuslingene».

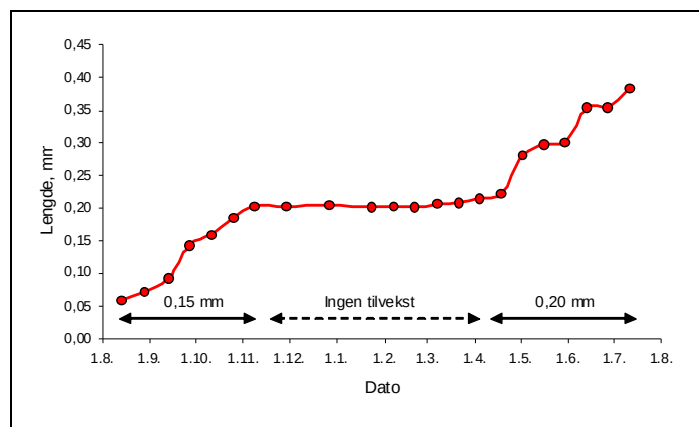
Vanntemperatur er antatt å bestemme lengden av det parasittiske stadium, som normalt varer 9-11 måneder. Hruska (1992) antok at varigheten av muslinglarvens metamorfose var relatert til antall døgngader (1300-1430 døgngader ved konstant temperatur 15,5-17,0 °C). Bauer (1994) på sin side oppgir et behov for 1600 døgngader ved 8,0 °C. Under naturlige omgivelser fant imidlertid Hruska (1992) at muslinglarvene behøvde 1760-1860 døgngader for å fullføre metamorfosen. I tillegg måtte den gjennomsnittlige vanntemperaturen de siste 14-16 dager være minst 15 °C (det vil si minst 225 døgngader) før muslinglarvene slapp seg av vertsfisken (Hruska 1992).

Nyere data fra Tsjekkia og Tyskland oppgir at muslinglarven trenger ca. 1350 døgngader for å fullføre utviklingen fra en umoden muslinglarve (0,05 mm) til en 0,4-0,5 mm lang juvenil musling i ferd med å slippe seg av fisken (Hruska 2001). Muslinglarver som under kontrollerte forhold infiserte ørret, viste en klar sammenheng mellom vekst og akkumulert temperatursum (Schmidt & Vandr  2010).

Muslinglarvene slapp seg av gjellene når antall døgngader var nær opp til 1500. Varigheten av det parasittiske stadiet var om lag 285 døgn (Schmidt & Vandr  2010).

Lengden av det parasittiske stadiet varierer ved ulike temperaturbetingelser. På eksperimentelt infisert fisk i akvarier ved 14  C nådde muslinglarven en størrelse på 0,40 mm i slutten av desember - fire måneder etter infeksjonen (Ziuganov mfl. 1994). Muslinglarver på ungfisk som ble holdt i vann ved 0  C var bare 0,24 mm på samme tidspunkt. På infisert ørret som ble holdt ved konstant høy temperatur (15,5-17,0  C), gjennomgikk muslinglarvene metamorfosen etter 84 dager (Hruska 1992). I de naturlige bestandene 800 m o.h. tok denne utviklingen omkring 11 måneder. Det konkluderes med at utviklingen av muslinglarvene kan kontrolleres ved vanntemperaturen fra det øyeblikk de fester seg på fisken.

Muslinglarvene starter å vokse like etter at de fester seg til gjellene på fisken om høsten, men veksten avtar når temperaturen avtar og stopper helt opp om vinteren (**figur 4.1**). Den største tilveksten skjer om våren/sommeren i tiden like før larven slipper seg av fra fisken (Young & Williams 1984b, Cunjak & McGladdery 1991). Det var en signifikant vekstøkning mellom oktober og desember mens temperaturen avtok fra 6 til 1,5  C. Det ble ikke påvist vekst gjennom vinteren (vanntemperatur 1,0-2,0  C fra desember til februar), og veksten begynte først igjen i april da temperaturen steg til 5,0  C. Schmidt & Vandr  (2010) fant også at muslinglarvene ikke vokste i perioden fra 6. november til 20. mars mens gjennomsnittstemperaturen var n r 2  C. Det var først når gjennomsnittstemperaturen økte til om lag 5  C at veksten tok seg opp igjen.



Figur 4.1. Tilveksten hos glochidielarvene er oppdelt i to faser: Høst og v r. Eksempel fra Sørkedalselva i Norge. Data fra B. M. Larsen, NINA.

Det er spekulert i om ikke den ferdigutviklede muslingen kan være i stand til å tilpasse tiden når de slipper seg av vertsfisken med gunstigst mulig vanntemperatur. De kan på den måten oppnå mest mulig optimale forhold i habitatet (Hruska 1992).

4.6 Første levetid i substratet

I kontrollerte vekstforsøk fant Buddensiek (1995) at muslingene i gjennomsnitt var henholdsvis 0,57-0,73, 0,84-2,45 og 1,73-4,02 mm lange etter første, andre og tredje vekstsesong på fire ulike lokaliteter (jf. Schmidt & Vandr  2010). Dødeligheten var

høyest i løpet av muslingenes første levemåneder (juni-desember). Veksten var begrenset til den varme delen av året og avtok til nær null fra oktober til mars. Overlevelsen første vinteren var avhengig av størrelsen; alle individer <0,7 mm døde, og bare individer >0,9 mm hadde en 50 % sjanse til å nå sin andre vekstsesong. Temperaturen var den faktoren som spilte størst rolle både med hensyn til vekst og overlevelse. Lange & Selheim (2011) fant stor variasjon i vanntemperatur under vekstsesongen (definert som 15. mai-14. september) mellom ulike lokaliteter. Sum døgngader varierte fra 1598 i en «kald» bekk til 1942 i en «varm» elv. I tillegg til kvaliteten på næring var det helt nødvendig med en temperatursum på minst 1500 døgngader for vellykket tilvekst i muslingens første leveår.

I en elv i Skottland fant Buddensiek (1995) under naturlige betingelser at gjennomsnittlig lengde etter første til fjerde leveår var henholdsvis 1,1, 2,8, 5,3 og 8,8 mm. I det norske overvåkingsprogrammet for elvemusling (16 lokaliteter) er gjennomsnittlig tilvekst for alle lokalitetene i de fem første leveårene 1,0, 2,2, 4,3, 7,7 og 12,5 mm (B.M. Larsen upublisert materiale). Det er imidlertid store forskjeller mellom vassdrag, og selv om dette har en geografisk/klimatisk variabel (større tilvekst i Sør-Norge enn i Finnmark) er det også en betydelig genetisk variabel mellom populasjoner. Det er beskrevet vekstforskjeller innad i vassdrag, der den delen av populasjonen som har ørret som primærvert («ørretmusling») har lavere tilvekst enn den delen av populasjonen som har laks som primærvert («laksemusling») (Dunca mfl. 2010, Larsen mfl. 2002, Dunca & Larsen 2012).



Elvemuslingens livssyklus omfatter et larvestadium som er festet til gjellene på laks eller ørret, et ungt stadium nedgravd i grusen og et voksent stadium synlig på elvebunnen. De eldste elvemuslingene kan bli 250-300 år gamle. Foto: Bjørn Mejdell Larsen.

4.7 Oppvekst og voksen musling

Veksthastigheten hos elvemusling varierer betydelig mellom ulike lokaliteter og endrer seg med alder (Dunca mfl. 2011). Mange miljøfaktorer virker inn på veksthastigheten hos muslinger og generelt nevnes vanntemperatur, vannkvalitet, næringstilgang, substrat, vannhastighet, lys, dyp og populasjonstetthet (bl.a. Seed 1980). I tempererte regioner vil det være liten eller ingen aktivitet (eller vekst) om vinteren. Når vanntemperatur faller til 10-12 °C, vil en art som *Hyridella menziesi* på New Zealand grave seg ned i sedimentet og forbli uvirksom (Walker mfl. 2001). Dunca & Mutvei (2001) rapporterte høyere daglig vekstrate hos elvemusling om sommeren. Muslingene vokste signifikant raskere (opp til 2,5 µm pr. dag) så fort temperaturen ble høyere enn 10 °C. Veksten foregår også på lavere temperatur, men ser ut til å opphøre helt ved om lag 5 °C. I Sør-Sverige vil veksts sesongen vare fra mai til oktober/november (Dunca & Mutvei 2001). Det ble funnet en nær sammenheng mellom vekstrate og daglig lufttemperatur i Vramsån (Dunca mfl. 2005). Det er generelt antatt at høyere vanntemperatur resulterer i økt aktivitet og høyere metabolisme som også gir raskere skallvekst (Bauer 1992). Høye temperaturer om sommeren og høy gjennomsnittlig årstemperatur har en positiv korrelasjon med skallens årstilvekst (Carell mfl. 1995). I lokaliteter som i større grad er påvirket av menneskelig aktivitet (f.eks. forsurening, industri- og landbruksforurensning), kan dette i noen grad overskygge effekten av vanntemperaturens innvirkning på veksten.

Veksten hos elvemusling er likevel høyest i år med høyest vanntemperatur (Mutvei & Westermarck 2001, Schöne mfl. 2004). I nordvest Russland ble den høyeste individuelle veksthastigheten notert i de varmeste vassdragene (Semenova mfl. 1992). Bauer (1992) fant en negativ korrelasjon mellom veksthastighet og økende breddegrad, slik at veksten avtok nordover i Europa mens maksimum alder og størrelse økte på grunn av avtakende middeltemperatur. På samme måten vokser muslinger i lavere-liggende (varmere) strøk raskere enn muslinger fra høyere-liggende (kaldere) lokaliteter (Hruska 1992).

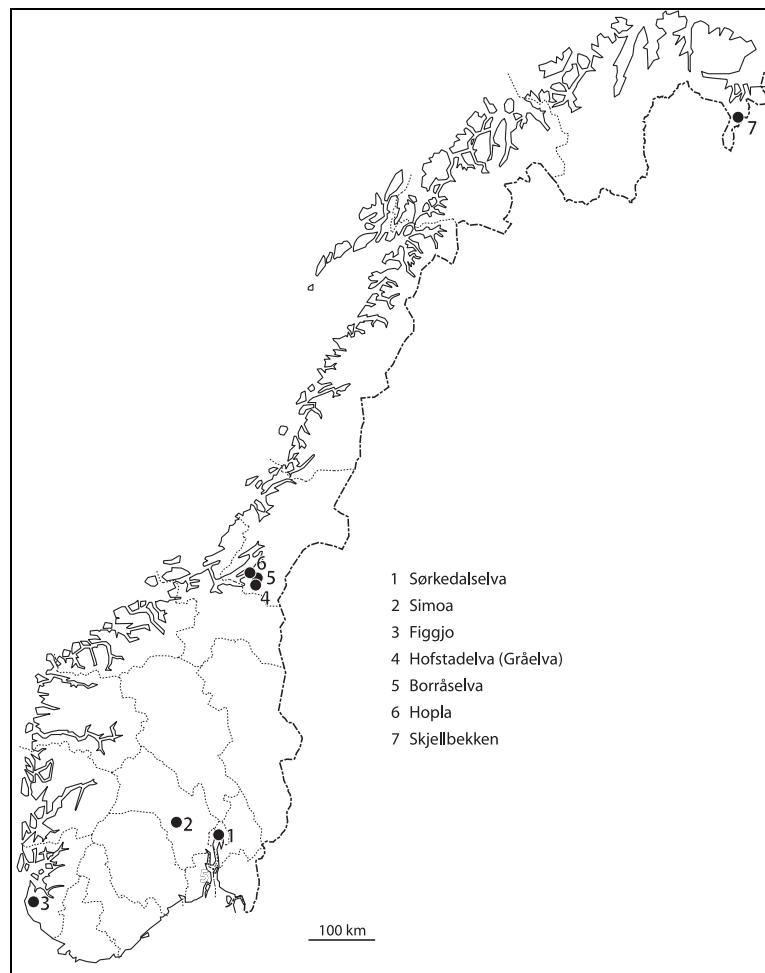
4.8 Eksempler fra vassdrag i Norge

I Norge kan man normalt finne gravide muslinger fra slutten av juli til midten av oktober, men det kan være stor variasjon mellom år og mellom nærliggende vassdrag i samme region. Til sammenligning ble det i Skottland funnet gravide muslinger fra midten av juni til slutten av september (Hastie & Young 2003). Graviditetsfrekvensen (andel muslinger med forekomst av muslinglarver i gjellene) er undersøkt jevnlig gjennom høsten i et utvalg av lokaliteter i Norge i 1997-1999 (Sørkedalselva, Simoa, Figgjo, Hofstad elva (Gråelva), Borråselva, Hopla og Skjellbekken; **figur 4.2**). Data er supplert i noen av vassdragene med undersøkelser også i 1996 og på 2000-tallet. Graviditeten ble undersøkt ved å åpne skallene forsiktig, og inspisere gjellene i felt før muslingen ble lagt tilbake i substratet.

Forekomsten av muslinglarver på gjellene til vertsfisken ble overvåket fra det første påslaget av larver om høsten til de siste larvene hadde sluppet seg av fisken om våren i Sørkedalselva, Simoa, Figgjo, Hofstad elva (Gråelva), Borråselva, Hopla og

Skjellbekken (**figur 4.2**). Et varierende antall årsyngel (normalt 5-20 individ) ble samlet inn ved elfiske i løpet av perioden juli 1997-juli 1999. Fiskeungene ble frosset eller fiksert på 4 % formaldehyd uten nærmere undersøkelser i felt. Gjellene ble senere undersøkt med hensyn til forekomst av muslinglarver under mikroskop på laboratoriet. Antall muslinglarver ble normalt bare talt opp på gjellene på fiskens venstre side. Ble det ikke funnet muslinglarver på fiskens venstre side, ble i tillegg også gjellene på høyre side kontrollert. Resultatene er presentert ved bruk av termene prevalens (prosentandel infiserte fisk av totalantallet fisk undersøkt), abundans (gjennomsnittlig antall parasitter på all fisk undersøkt, dvs. snitt av både infiserte og uinfiserte fisk) og infeksjonsintensitet (gjennomsnittlig antall muslinglarver på infisert fisk).

Vanntemperaturen ble logget i de samme vassdragene med en StowAway XTI Temperature Logger, som målte temperaturen kontinuerlig hver andre eller tredje time. Loggerne ble skiftet ut etter om lag ett års virketid (totalt tre loggeperioder i løpet av 1997-1999).

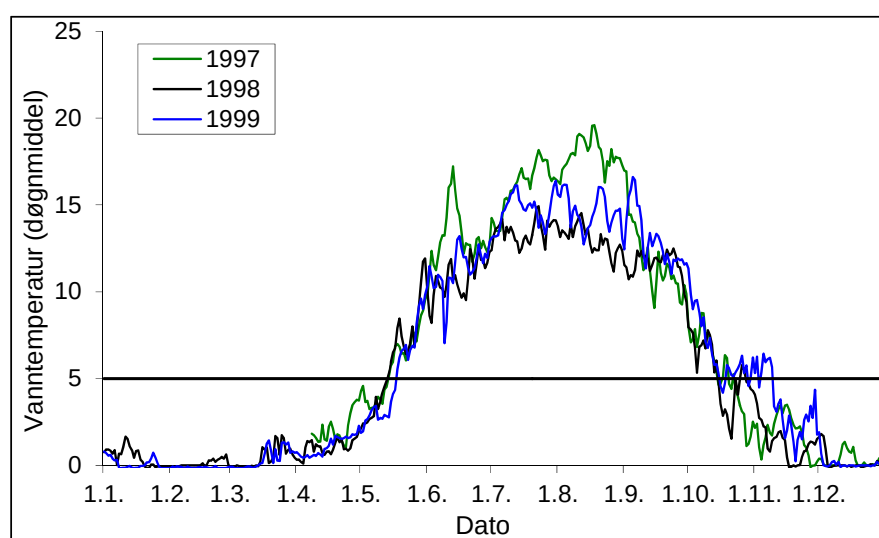


Figur 4.2. Lokalteter som inngår i kartleggingen av graviditetsfrekvens (andel muslinger med forekomst av muslinglarver i gjellene) og varigheten av det parasittiske stadiet på vertsfisk i 1997-1999.

4.8.1 Sørkedalselva

Det finnes vanntemperaturmålinger i Sørkedalselva fra elva ved OFA-anlegget i Sørkedalen (settefiskanlegget til Osloomarkas Fiskeadministrasjon) i årene 1997-1999 (NINA upubliserte data; **figur 4.3**). Loggeren ble lagt ut 8. april 1997 og fungerte tilfredsstillende hele prosjektperioden (avsluttet 31.12.1999). Vanntemperaturen i Sørkedalselva var høyere enn fem grader fra midten av mai til midten av oktober/begynnelsen av november (**figur 4.3**).

Vekstsesongen, definert som antall dager med vanntemperatur $\geq 5^{\circ}\text{C}$, var lengst i 1999 (**tabell 4.1**). Temperatursummen varierte fra 1751 døgngader i et «kaldt» år (1998) til 2057 døgngader i et «varmt» år (1997). Maksimumstemperaturen i 1997, 1998 og 1999 var henholdsvis 19,6, 14,9 og 16,6 $^{\circ}\text{C}$.



Figur 4.3. Vanntemperatur (døgnmiddelverdier) i Sørkedalselva ved OFA i 1997-1999. Upubliserte data fra NINA.

Tabell 4.1. Vanntemperatur i Sørkedalselva i 1997-1999 vist som antall dager med vanntemperatur $\geq 5^{\circ}\text{C}$ med tilhørende temperatursum. Graviditetsperiode (antall dager) og temperatursum for graviditetsperioden (antall døgngader) er vist.

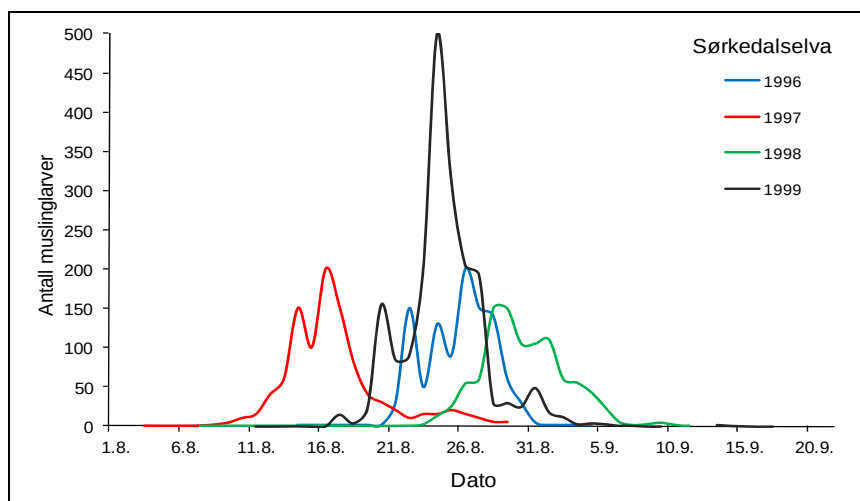
År	Dager med temp. $\geq 5^{\circ}\text{C}$	Temp. sum dager med temp. $\geq 5^{\circ}\text{C}$	Antall døgng graviditet	Temp. sum graviditet
1997	158	2057	24	427
1998	158	1751	39	502
1999	171	1977	32	474

Muslingenes graviditet ble undersøkt i 1997-1999, med tillegg også fra 1996, 2001 og 2007 (Larsen mfl. 2008a). Det er funnet gravide muslinger fra månedsskiftet juli/august (30. juli) til månedsskiftet august/september (31. august) i Sørkedalselva. Larvene ble sluppet i løpet av perioden 10. august-6. september i 1996-1999, men med opp til et par ukers forskjell mellom år. Graviditetsperioden i Sørkedalselva varte

om lag en måned, men utviklingstiden varierte mellom 24 dager i et «varmt» år (1997) og 39 dager i et «kaldt» år (1998) (**tabell 4.1**). Summen av døgngrader varierte fra 427 til 502.

Selve frigivelsen av muslinglarver skjedde relativt synkront i Sørkedalselva, men kunne likevel strekke seg over en periode på to uker (**figur 4.4**). Gytetidspunktet i 1997 (et «varmt» år) var tidligere enn de andre årene som ble undersøkt, og ca. 14 dager tidligere enn i 1998. Flest larver ble frigitt henholdsvis 14.-17. august og 28. august-1. september. I 1996 og 1999 var gytetidspunktet et sted i mellom disse datoene (**figur 4.4**).

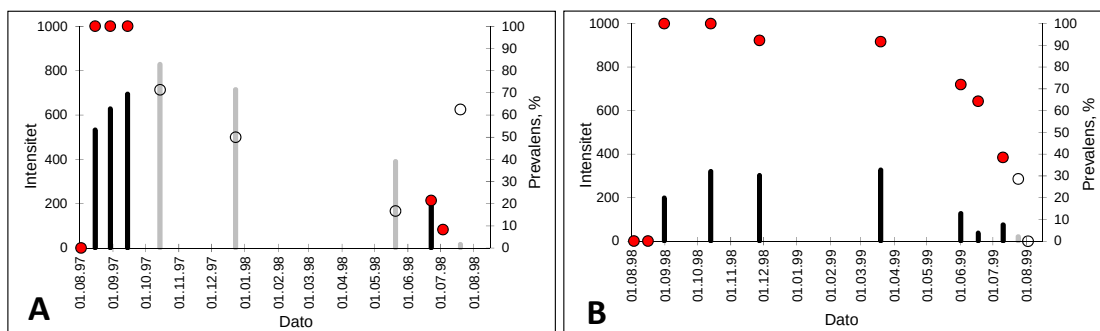
I 1997 hadde alle ørretunger som ble undersøkt 15. august muslinglarver på gjellene (**figur 4.5A**), og dette er satt som «starttidspunkt» for det parasittiske stadiet på ørret det året. Når vi samtidig jevnfører med data i **figur 4.4** synes dette riktig. I 1998 var det ingen larver på ørretungene 16. august, men 31. august hadde alle de undersøkte ørretungene muslinglarver på gjellene (**figur 4.5B**). Når vi jevnfører med data i **figur 4.4** er det mest korrekt å sette 29. august som «starttidspunkt» for det parasittiske stadiet på ørret i 1998.



Figur 4.4. I Sørkedalselva (Oslo) gyter elvemuslingen normalt i andre halvdel av august, men tidspunktet varierer med et par uker fra år til år. Selve frigivelsen av larvene skjer relativt synkront for hele bestanden, men kan strekke seg over en periode på to uker. Ørret ble holdt i kar ett døgn eksponert for vann fra vassdraget. Det ble satt nye uinfiserte ørret hver dag i karet, og antall muslinglarver ble talt opp på en av gjellebuene som et relativt mål på infeksjon. Omarbeidet og revidert fra Larsen (1999).

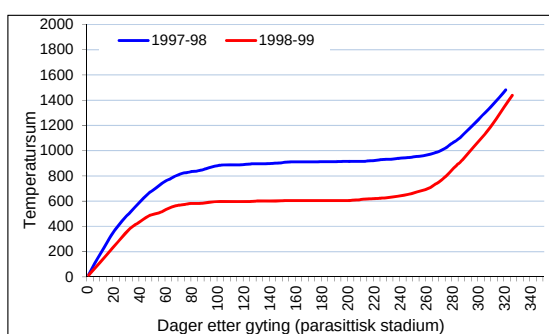
Både prevalens (andel infiserte ørret) og intensitet (antall muslinglarver pr. infisert ørret) varierte mellom år. I 1997 gikk prevalensen ned utover høsten og var vesentlig lavere på våren 1998 enn tilfellet var våren 1999. På den annen side var intensiteten vesentlig høyere høsten 1997 sammenliknet med høsten 1998. Intensiteten går ned om våren (dødelighet av larver gjennom vinteren), og i 1998 gikk intensiteten ytterligere ned da larvene slapp seg av fisken fram mot begynnelsen av juli. Senere i måneden (19. juli) ble

det fortsatt påvist muslinglarver i lite antall. Våren 1999 avtok prevalensen gjennom månedene juni og juli. Det var fortsatt larver igjen på ørretungene 24. juli, men 2. august hadde alle larvene forsvunnet. Utviklingstiden til den «gjennomsnittlige» muslinglarven er satt til perioden 15. august-1. juli i 1997-1998 og 29. august-20. juli i 1998-1999.



Figur 4.5. Forekomst av muslinglarver på gjellene (venstre og høyre side) til ørretyngetel (0+) i Sørkedalselva. **A.** 1997-1998. **B.** 1998-1999. Sirkler angir prevalens (= prosentandel infiserte fisk av totalantallet fisk undersøkt,) og stolper angir intensitet (= gjennomsnittlig antall muslinglarver på infisert fisk). På datoer med fangst av ørret <10 individ er sirkler som angir prevalens uten farge, og stolper som angir intensitet har grå farge.

I 1997-1998 behøvde muslinglarvene 1481 døgngader for å fullføre utviklingen på ørretungene (**figur 4.6**). I 1998-1999 var temperatursummen 1439 døgngader. Forskjeller i temperatur mellom år medførte at muslinglarvene høsten 1998 ikke oppnådde mer enn ca. 600 døgngader før vinteren, i motsetning til høsten 1997 da antall døgngader kom opp i ca. 900 før vinteren (**figur 4.6**). Dette hadde betydning for størrelsen til muslinglarven under «vinterdvalen».



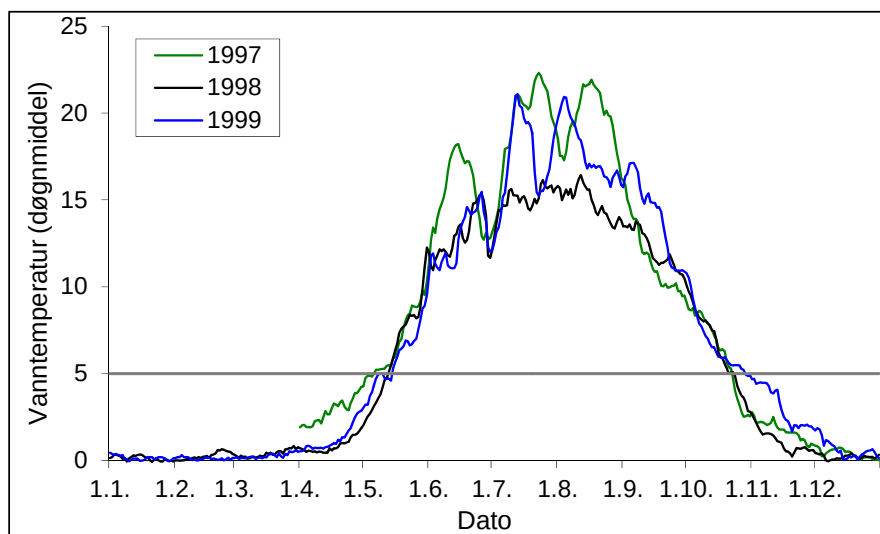
Figur 4.6. Akkumulert antall døgngader i Sørkedalselva i perioden 15. august 1997–1. juli 1998 og 29. august 1998–20. juli 1999, som tilsvarte varigheten av muslinglarvenes parasittiske stadium på ørretunger i vassdraget i de to årene som er undersøkt.

4.8.2 Simoa

Det finnes vanntemperaturmålinger i Simoa fra Solemoa i årene 1997-1999 (NINA upubliserte data; **figur 4.7**). Loggeren ble lagt ut 1. april 1997 og fungerte tilfredsstillende hele prosjektperioden (avsluttet 31.12.1999). Vanntemperaturen i

Simoa var høyere enn fem grader fra begynnelsen av mai til slutten av oktober (**figur 4.7**). Men vanntemperaturen viste store årlige variasjoner. I 1998 var høyeste målte vanntemperatur ved Solemoa bare litt over 16 °C i noen dager i midten av august. I 1997 og 1999 var det derimot lengre perioder med temperaturer høyere enn 20 °C fra midten av juli og hele august. Høyeste målte døgnmiddeltemperatur var henholdsvis 22,3 og 21,1 °C i 1997 og 1999.

Vekstsesongen, definert som antall dager med vanntemperatur ≥ 5 °C, varierte lite mellom år, men temperatursummen varierte fra 1995 døgngader (1998) til 2369 døgngader (1997). Gjennomsnittstemperaturen i perioden 1. mai-1. november skilte to grader i de to årene (henholdsvis 11,3 (1998) og 13,2 (1997) °C).



Figur 4.7. Vanntemperatur (døgnmiddelverdier) i Simoa ved Solemoa i 1997-1999. Upubliserte data fra NINA.

Muslingenes graviditet ble undersøkt i 1997-1999 med tillegg også fra 1996 (Larsen mfl. 2007a). Muslinger med egg og nylig befruktede egg ble funnet fra begynnelsen/midten av august. Fullt utviklet var larvene fra midten av september. De ble likevel ikke sluppet ut før tidligst i slutten av september, og normalt var det fortsatt gravide muslinger helt fram mot midten av oktober (13. oktober) i Simoa.

Tabell 4.2. Vanntemperatur i Simoa i 1997-1999 vist som antall dager med vanntemperatur ≥ 5 °C med tilhørende temperatursum. Graviditetsperiode (antall dager) og temperatursum for graviditetsperioden (antall døgngader) er vist.

År	Dager med temp. ≥ 5 °C	Temp. sum dager med temp. ≥ 5 °C	Antall døgn graviditet	Temp. sum graviditet
1997	170	2369	54	824
1998	163	1995	66	822
1999	169	2215	69	957

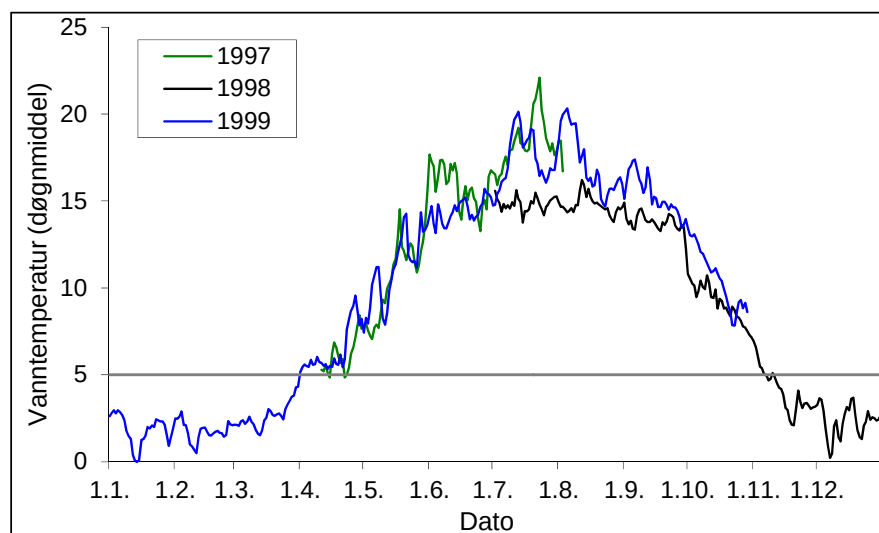
Graviditetsperioden i Simoa varte i gjennomsnitt om lag to måneder (63 dager), men varierte fra 54 til 69 dager mellom år (**tabell 4.2**). I 1997 så det ut til at andelen gravide muslinger begynte å avta i slutten av september, mens det i 1998 og 1999 ikke skjedde noe før i midten av oktober. Summen av døgngader varierte fra 822 til 957.

Data som finnes om prevalens og intensitet av muslinglarver på ørret i Simoa i 1997-1998 og 1998-1999 er ufullstendige, og det finnes ikke nok materiale til å kunne beregne varigheten av det parasittiske stadiet på ørret med god nok presisjon. Dette skyldtes uhell under lagring av materialet, og Simoa er derfor ikke omtalt ytterligere her (se imidlertid Larsen mfl. 2007a).

4.8.3 Figgjo

Det finnes vanntemperaturmålinger i Figgjo ved Bråstein i årene 1997-1999 (NINA upubliserte data; **figur 4.8**). Loggeren ble lagt ut 10. april 1997, men på grunn av tekniske problemer sluttet den å virke, og data mangler for perioden 4. august 1997 -2. juli 1998. Ny logger ble lagt ut, og denne fungerte tilfredsstillende. Den ble fornyet 29. oktober 1999, men denne loggeren ble fjernet av uvedkommende, og det mangler derfor data for resten av 1999. Vanntemperaturen i Figgjo var høyere enn fem grader fra begynnelsen av april til begynnelsen av november (**figur 4.8**).

Vekstsesongen, definert som antall dager med vanntemperatur ≥ 5 °C, var ca. 220 dager (**tabell 4.3**). Dette gir en gjennomsnittlig temperatursum på 2776 døgngader. Figgjo er normalt et varmt vassdrag, og maksimumstemperaturen i 1997, 1998 og 1999 var henholdsvis 22,1, 16,2 og 20,3 °C.



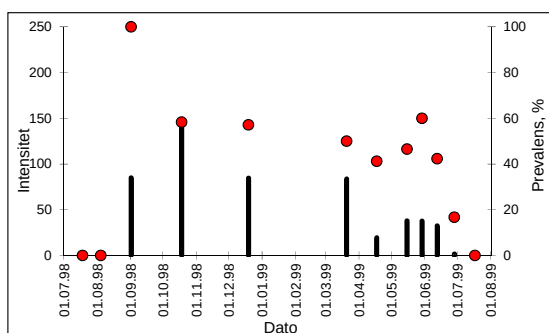
Figur 4.8. Vanntemperatur (døgnmiddelverdier) i Figgjo ved Bråstein i 1997-1999. Upubliserte data fra NINA. Data mangler for periodene 4.8.97-1.7.98 og 30.10.-31.12.99.

Tabell 4.3. Vanntemperatur i Figgjo i 1998 og 1999 vist som antall dager med vanntemperatur ≥ 5 °C med tilhørende temperatursum. Graviditetsperiode (antall dager) og temperatursum for graviditetsperioden (antall døgninger) er vist.

År	Dager med temp. ≥ 5 °C	Temp. sum dager med temp. ≥ 5 °C	Antall døgninger graviditet	Temp. sum graviditet
1998	221	2776	42	620
1999			41	728

Muslingenes graviditet ble undersøkt i 1997-1999 med tillegg også fra 1996, 2004 og 2006 (Larsen 2009a). Det er funnet gravide muslinger fra midten av juli (17. juli) til slutten av september (23. september) i Figgjo. Graviditetsfrekvensen varierte mellom år, og var høyere i 1998 enn i 1999. Samtidig var gytetidspunktet betydelig forskjøvet i tid mellom år. Når vi sammenholder graviditet, stadium til muslinglarvene og forekomst av muslinglarver på laks, er graviditetsperioden angitt til henholdsvis 23. juli - 2. september og 13. juli-22. august i 1998 og 1999. Dette gir en gjennomsnittlig graviditetsperiode på 42 dager i Figgjo (**tabell 4.3**). Summen av døgninger var 620 og 728 i de to årene.

I 1998 hadde alle laks- (og ørret-)unger som ble undersøkt i Figgjo 1. september, muslinglarver på gjellene (**figur 4.9**). Når vi jevnfører med graviditetsfrekvensen i 1998 synes det mest korrekt å sette 29. august som «starttidspunkt» for det parasittiske stadiet på laks i 1998. Det var en rask nedgang i prevalens allerede fra midten av oktober, men til gjengjeld holdt den seg stabil helt til midten av juni 1999 (**figur 4.9**). Det var en nedgang i antall muslinglarver på laksungene etter vinteren, og intensiteten gikk ned i april. Men det var først mot slutten av juni at både intensitet og prevalens gikk ned som et tegn på at muslinglarvene var fullt utviklet. Utviklingstiden til den «gjennomsnittlige» muslinglarven er satt til perioden 29. august-20. juni i 1998-1999. Dette utgjorde nærmere 10 måneder (296 dager), med en temperatursum på 1945 døgninger.



Figur 4.9. Forekomst av muslinglarver på gjellene (venstre side) til laksengel (0+) i Figgjo i 1998-1999. Sirkler angir prevalens (= prosentandel infiserte fisk av totalantallet fisk undersøkt) og stolper angir intensitet (= gjennomsnittlig antall muslinglarver på infisert fisk).

4.8.4 Hofstadelva (Gråelva)

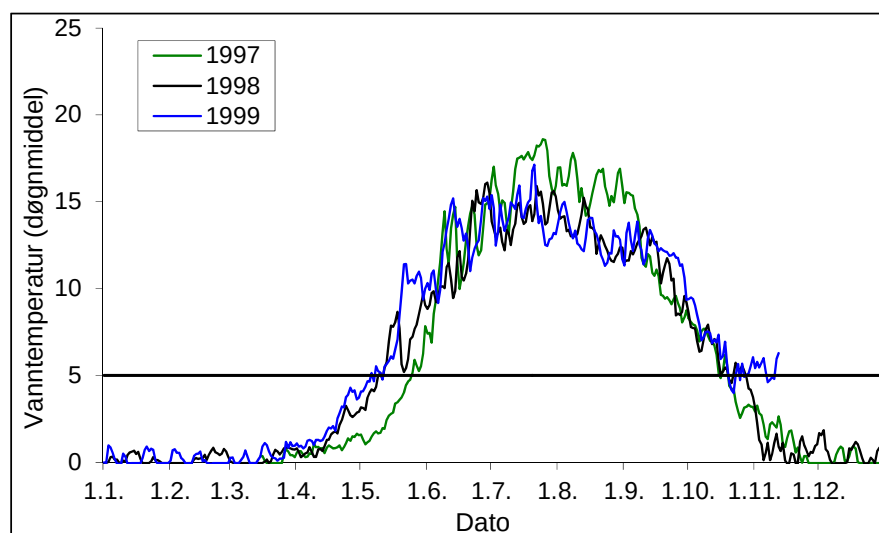
Det finnes vanntemperaturmålinger i Hofstadelva (en sideelv til Gråelva i Stjørdalsvassdraget) i årene 1997-1999 (NINA upubliserte data; **figur 4.10**). Loggeren ble lagt ut 15. mars 1997 og fungerte tilfredsstillende til den ble tatt opp

12. november 1999. Vanntemperaturen i Hofstadelva var høyere enn fem grader fra begynnelsen/midten av mai til midten av oktober (**figur 4.10**). Det var høyere vann-temperatur i juli og august 1997 sammenliknet med 1998 og 1999.

Vekstsesongen, definert som antall dager med vanntemperatur ≥ 5 °C, var høyest i 1999 (**tabell 4.4**). Temperatursummen varierte fra 1858 døgngnader (1998) til 2017 døgngnader (1999). Maksimumstemperaturen i 1997, 1998 og 1999 var henholdsvis 18,6, 16,1 og 17,1 °C.

Muslingenes graviditet ble undersøkt i 1997-1999, med tillegg også fra 1996 (B.M. Larsen upublisert materiale), men bare data fra 1998 er detaljert nok til å kunne inngå i beregning av varighet og temperatursum. Det er funnet gravide muslinger fra månedsskiftet juli/august (30. juli) til månedsskiftet august/september (3. september) i Hofstadelva.

Når vi sammenholder graviditet, stadium til muslinglarvene og forekomst av muslinglarver på ørret, er graviditetsperioden angitt til 25. juli - 30. august i 1998. Dette gir en graviditetsperiode på 37 døgner tilsvarende 498 døgngnader i Hofstadelva (**tabell 4.4**).



Figur 4.10. Vanntemperatur (døgnmiddelverdier) i Hofstadelva (Gråelva) i 1997-1999. Upubliserte data fra NINA.

I 1998 hadde alle ørretunger som ble undersøkt 29. august, muslinglarver på gjellene. Enkelte larver hadde vokst litt, og det er antatt at «starttidspunktet» for det parasittiske stadiet var et par dager tidligere. Antall muslinglarver på ørretgjellene falt raskt utover høsten, men prevalensen var fortsatt 83 % i midten av juni 1999. Da vi kom til 1. juli, var prevalensen falt ytterligere (37 %), og en stor del av larvene var da fullt utviklet. I midten av juli ble det bare funnet en og annen tilfeldig muslinglarve på gjellene. Utviklingstiden til den «gjennomsnittlige» muslinglarven er satt til perioden

27. august 1998-5. juli 1999. Dette utgjorde 313 dager med en temperatursum på 1402 døgngrader.

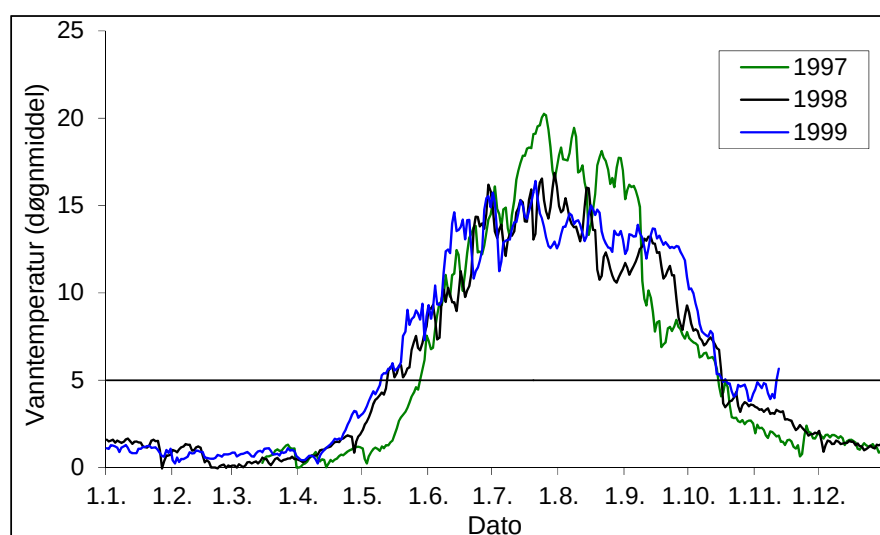
Tabell 4.4. Vanntemperatur i Hofstadelva (Gråelva) i 1997-1999 vist som antall dager med vanntemperatur ≥ 5 °C med tilhørende temperatursum. Graviditetsperiode (antall dager) og temperatursum for graviditetsperioden (antall døgngrader) i 1998 er vist.

År	Dager med temp. ≥ 5 °C	Temp. sum dager med temp. ≥ 5 °C	Antall døgn graviditet	Temp. sum graviditet
1997	147	1882	-	-
1998	168	1858	37	498
1999	180	2017	-	-

4.8.5 Borråselva

Det finnes vanntemperaturmålinger i Borråselva ved Auset i årene 1997-1999 (NINA upubliserte data; **figur 4.11**). Loggeren ble lagt ut 15. mars 1997 og fungerte tilfredsstillende til den ble tatt opp 12. november 1999. Vanntemperaturen i Borråselva var høyere enn fem grader fra begynnelsen/midten av mai til midten av oktober (**figur 4.11**). Det var høyere vanntemperatur i juli og august 1997 sammenliknet med 1998 og 1999.

Vekstsesongen, definert som antall dager med vanntemperatur ≥ 5 °C, var høyest i 1999 (**tabell 4.5**). Temperatursummen varierte fra 1763 døgngrader (1998) til 1903 døgngrader (1999). Maksimumstemperaturen i 1997, 1998 og 1999 var henholdsvis 20,3, 16,9 og 16,4 °C.



Figur 4.11. Vanntemperatur (døgnmiddelverdier) i Borråselva ved Auset i 1997-1999. Upubliserte data fra NINA.

Tabell 4.5. Vanntemperatur i Borråselva i 1997-1999 vist som antall dager med vanntemperatur ≥ 5 °C, med tilhørende temperatursum. Graviditetsperiode (antall dager) og temperatursum for graviditetsperioden (antall døgngader) er vist.

År	Dager med temp. ≥ 5 °C	Temp. sum dager med temp. ≥ 5 °C	Antall døgng graviditet	Temp. sum graviditet
1997	140	1817	38	593
1998	157	1763	28	400
1999	162	1903	28	427

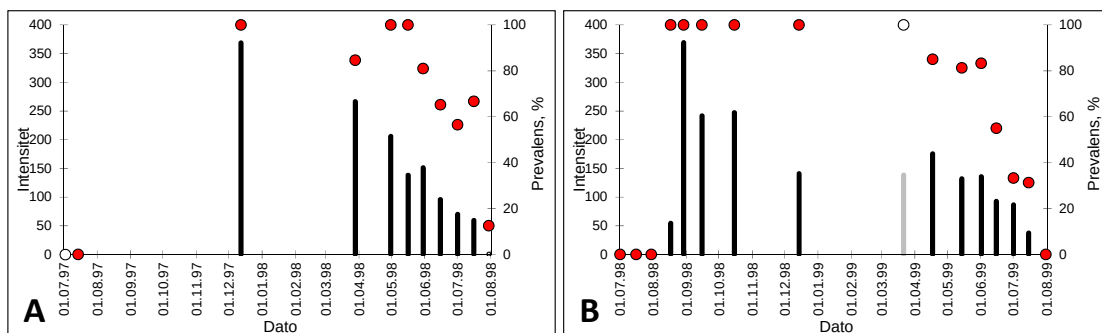
Muslingenes graviditet ble undersøkt i 1997-1999 med tillegg også fra 1996, 2007 og 2008 (Larsen mfl. 2008b). Det er funnet gravide muslinger fra 30. juli til 2. september i Borråselva. Graviditetsfrekvensen varierte mellom år og var høyere i 1999 enn i 1998. Samtidig var gyttidspunktet noe forskjøvet i tid mellom år.

Når vi sammenholder graviditet, stadium til muslinglarvene og forekomst av muslinglarver på ørret, er graviditetsperioden angitt til henholdsvis 31. juli-6. september, 25. juli-21. august og 26. juli-22. august i 1997, 1998 og 1999. Dette gir en gjennomsnittlig graviditetsperiode på én måned i Borråselva, men utviklingstiden varierte mellom 28 dager i 1998 og 1999 og 38 dager i 1997 (**tabell 4.5**). Gyttidspunktet var senere i 1997, da også utviklingstiden for larvene var lengst. Summen av døgngader i graviditetsperioden varierte fra 400 og 427 i 1998 og 1999 til 593 i 1997 (gjennomsnittlig 473 døgngader).

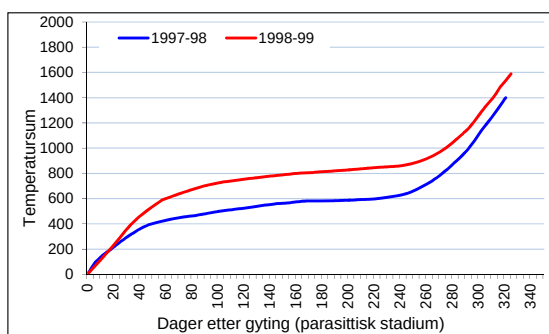
I 1997 er det ikke gode fiskedata før 12. desember, da alle ørretungene var infisert med et høyt antall larver (**figur 4.12A**). Gravide muslinger ble imidlertid observert fram til og med 6. september, og 3. september er satt som «starttidspunkt» for det parasittiske stadiet på ørret det året. Allerede 17. august 1998 hadde alle ørretunger som ble undersøkt muslinglarver på gjellene. Antallet økte betydelig i dagene fram mot 29. august (**figur 4.12B**), og 20. august er satt som «starttidspunkt» for det parasittiske stadiet på ørret i 1998.

Prevalensen (andel infiserte ørret) var høy i begge årene og holdt seg stabil helt fram til april/mai (**figur 4.12**). I første halvdel av juli var det en reduksjon i både prevalens og intensitet, og rundt midten av juli 1999 hadde de fleste larvene sluppet seg av fisken. I 1998 skjedde dette litt senere og vedvarte til slutten av juli, da det fortsatt var enkelte larver til stede 30. juli. Utviklingstiden til den «gjennomsnittlige» muslinglarven er satt til perioden 3. september-20. juli i 1997-1998 og 20. august-10. juli i 1998-1999.

I 1997-1998 behøvde muslinglarvene 1399 døgngader (321 dager) for å fullføre utviklingen på ørretungene (**figur 4.13**). I 1998-1999 var temperatursummen 1589 døgngader (325 dager). Forskjeller i temperatur mellom år medførte at muslinglarvene høsten 1998 ikke oppnådde mer enn 400-600 døgngader før vinteren, i motsetning til høsten 1997 da antall døgngader kom opp i 600-800 før vinteren (**figur 4.13**). Dette hadde betydning for størrelsen til muslinglarven under «vinterdvalen».



Figur 4.12. Forekomst av muslinglarver på gjellene (venstre side) til ørretyngel (0+) i Borråselva. **A.** 1997-1998. **B.** 1998-1999. Sirkler angir prevalens (= prosentandel infiserte fisk av totalantallet fisk undersøkt), og stolper angir intensitet (= gjennomsnittlig antall muslinglarver på infisert fisk). På datoer med fangst av ørret <10 individ, er sirkler som angir prevalens uten farge og stolper som angir intensitet har grå farge.



Figur 4.13. Akkumulert antall døgngrader i Borråselva i perioden 3. september 1997 – 20. juli 1998 og 20. august 1998 – 10. juli 1999, som tilsvarte varigheten av muslinglarvenes parasittiske stadium på ørretinger i vassdraget i de to årene som er undersøkt.

4.8.6 Hopla

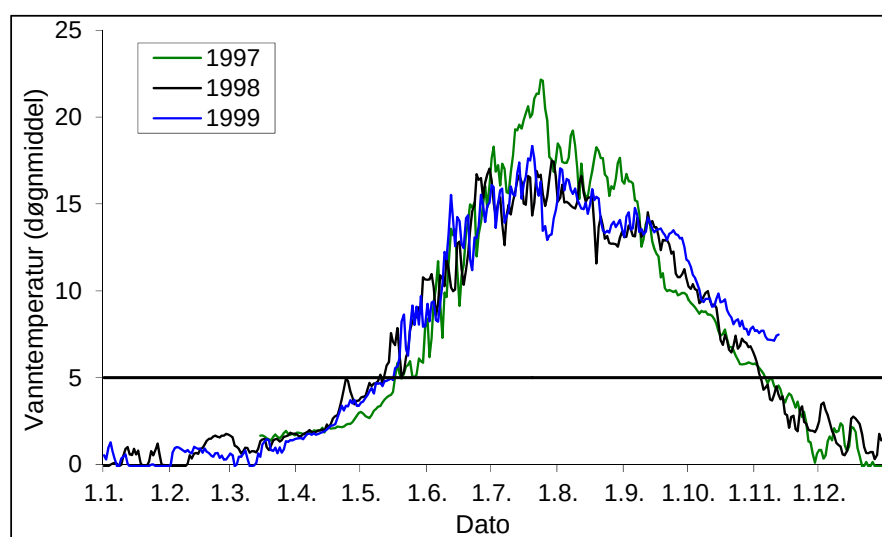
Det finnes vanntemperaturmålinger i Hopla ved Åsen i årene 1997-1999 (NINA upubliserte data; **figur 4.14**). Loggeren ble lagt ut 15. mars 1997 og fungerte tilfredsstillende til den ble tatt opp 12. november 1999. Vanntemperaturen i Hopla var høyere enn fem grader fra midten av mai til begynnelsen av november (**figur 4.14**). Det var høyere vanntemperatur i juli og august 1997 sammenliknet med 1998 og 1999.

Vekstsesongen, definert som antall dager med vanntemperatur ≥ 5 °C, var høyest i 1999 (**tabell 4.6**). Temperatursummen varierte fra 2111 døgngrader (1998) til 2204 døgngrader (1999). Maksimumstemperaturen i 1997, 1998 og 1999 var henholdsvis 18,6, 16,1 og 17,1 °C.

Muslingenes graviditet ble undersøkt i 1997-1999, med tillegg også fra 1996 (B.M. Larsen upublisert materiale), men bare data fra 1998 er detaljert nok til å kunne inngå i beregning av varighet og temperatursum. Det er funnet gravide muslinger fra månedsskiftet juli/august (30. juli) til månedsskiftet august/september (3. september) i Hopla.

Når vi sammenholder graviditet, stadium til muslinglarvene og forekomst av muslinglarver på ørret, er graviditetsperioden angitt til 25. juli-29. august i 1998. Dette gir en graviditetsperiode på 36 døgn tilsvarende 532 døgngrader i Hopla (**tabell 4.6**).

I 1998 hadde alle ørretunger som ble undersøkt 29. august muslinglarver på gjellene. Enkelte larver hadde vokst litt, og det er antatt at «starttidspunktet» for det parasittiske stadiet var noen få dager tidligere. Antall muslinglarver på ørretgjellene falt raskt utover høsten, og prevalensen fram til midten av juni 1999 var bare 21-22 %. Den 1. juli var prevalensen falt til 18 %, men en større del av larvene var da fullt utviklet. I midten av juli ble det ikke lenger funnet muslinglarver på gjellene. Utviklingstiden til den «gjennomsnittlige» muslinglarven er etter dette satt til perioden 26. august 1998-1. juli 1999. Dette utgjorde 310 døgn med en temperatursum på 1563 døgngrader.



Figur 4.14. Vanntemperatur (døgnmiddelverdier) i Hopla i 1997-1999. Upubliserte data fra NINA.

Tabell 4.6. Vanntemperatur i Hopla i 1997-1999 vist som antall dager med vanntemperatur $\geq 5^{\circ}\text{C}$ med tilhørende temperatursum. Graviditetsperiode (antall dager) og temperatursum for graviditetsperioden (antall døgngrader) i 1998 er vist.

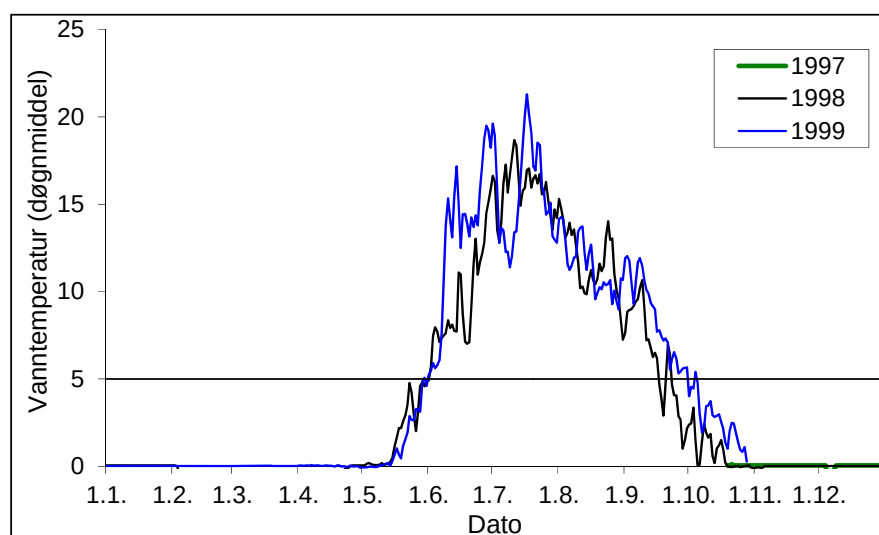
År	Dager med temp. $\geq 5^{\circ}\text{C}$	Temp. sum dager med temp. $\geq 5^{\circ}\text{C}$	Antall døgn graviditet	Temp. sum graviditet
1997	172	2185	-	-
1998	177	2111	36	532
1999	180	2204	-	-

4.8.7 Skjellbekken

Det finnes vanntemperaturmålinger i Skjellbekken ved Triangelen i årene 1997-1999 (NINA upubliserte data; **figur 4.15**). Loggeren ble ikke lagt ut før 19. oktober 1997,

men fungerte tilfredsstillende hele prosjektperioden (avsluttet 31.12.1999). Vanntemperaturen i Skjellbekken var høyere enn fem grader fra begynnelsen av juni til midten av september/slutten av oktober (**figur 4.15**).

Vekstsesongen, definert som antall dager med vanntemperatur ≥ 5 °C, var lengst i 1999 (**tabell 4.7**). Temperatursummen varierte fra 1279 døgngader (1998) til 1496 døgngader (1999). Maksimumstemperaturen i 1998 og 1999 var henholdsvis 18,7 og 21,3 °C.



Figur 4.15. Vanntemperatur (døgnmiddelverdier) i Skjellbekken ved Triangelen i 1997-1999. Upubliserte data fra NINA.

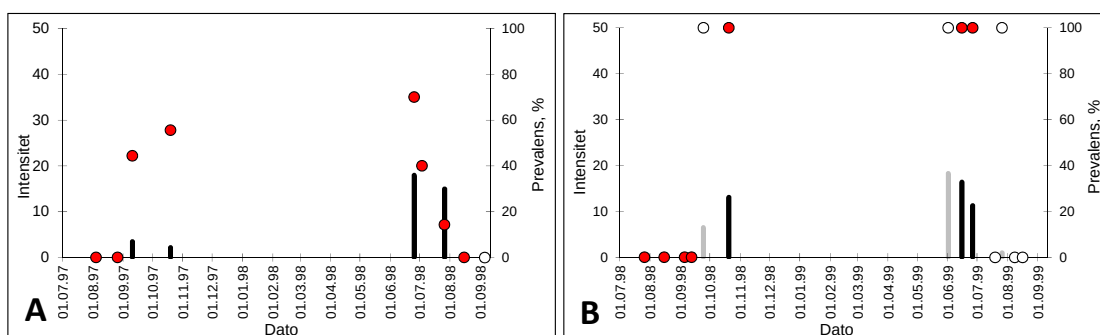
Andelen gravide muslinger ble undersøkt i Skjellbekken (ved Triangelen) i 1997-1999 med tillegg også fra 2003 og 2010 (Larsen & Aspholm 2005; 2011). Graviditetsfrekvensen varierte lite mellom år (43-47 % i august-september). Det var imidlertid opptil tre ukers forskjell i tidspunktet for gytingen i 1997-1999. Gytingen skjedde senere i 1998 («kaldt» år) enn i 1999 («varmt» år). Det var fortsatt en høy andel gravide muslinger i vassdraget i midten av september 1998, mens det ikke ble funnet gravide individer i begynnelsen av september 1999.

Tabell 4.7. Vanntemperatur i Skjellbekken i 1998 og 1999 vist som antall dager med vanntemperatur ≥ 5 °C med tilhørende temperatursum. Graviditetsperiode (antall dager) og temperatursum for graviditetsperioden (antall døgngader) er vist.

År	Dager med temp. ≥ 5 °C	Temp. sum dager med temp. ≥ 5 °C	Antall døgng graviditet	Temp. sum graviditet
1998	109	1279	46	450
1999	124	1496	41	507

Når vi sammenholder graviditet, stadium til muslinglarvene og forekomst av muslinglarver på ørret, er graviditetsperioden angitt til henholdsvis 5. august-19. september og 22. juli-31. august i 1998 og 1999. Dette gir en utviklingstid på 46 døgn i en «kald» sommer (1998) og 41 døgn i en «varm» sommer (1999) (tabell 4.7). Temperatursum for graviditetsperioden var i gjennomsnitt 478 døgngrader i Skjellbekken.

I 1997 hadde 44 % av ørretungene som ble undersøkt 10. september muslinglarver på gjellene (figur 4.16A), og dette er satt som «starttidspunkt» for det parasittiske stadiet på ørret det året. I 1998 var det ingen larver på ørretungene 12. september, men 24. september hadde alle de undersøkte ørretungene muslinglarver på gjellene (figur 4.16B). Når vi jevnfører med graviditetsfrekvensen i 1998 (Larsen & Aspholm 2005), synes det mest korrekt å sette 20. september som «starttidspunkt» for det parasittiske stadiet på ørret i 1998.



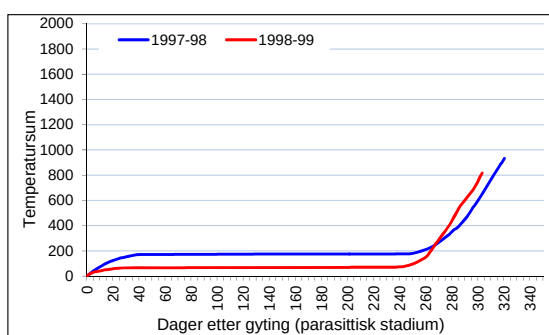
Figur 4.16. Forekomst av muslinglarver på gjellene (venstre side) til ørretyngel (0+) i Skjellbekken. **A.** 1997-1998. **B.** 1998-1999. Sirkler angir prevalens (= prosentandel infiserte fisk av totalantallet fisk undersøkt), og stolper angir intensitet (= gjennomsnittlig antall muslinglarver på infisert fisk). På datoer med fangst av ørret <5 individ, er sirkler som angir prevalens uten farge og stolper som angir intensitet har grå farge.

Det var lav intensitet (antall muslinglarver pr. infisert ørret) i Skjellbekken, og gjennomsnittlig infeksjon på gjellene på fiskens venstre side var bare 11-18 muslinglarver i begge årene (figur 4.16; Larsen & Aspholm 2005). Prevalensen (andel infiserte ørret) var tilsynelatende høyere i 1998-1999 enn i 1997-1998 (henholdsvis 100 og 40-70 %). Da tettheten av ørret generelt var lav, ble antall fisk som ble undersøkt ved enkelte datoer så lavt (<5 individ) at resultatet av den grunn ble usikkert.

Intensiteten gikk ned når larvene slapp seg av fisken i løpet av juli i begge år. I 1998 ble det fortsatt påvist larver på gjellene til 14 % av ørretungene 26. juli, men i lite antall. Ved neste prøvetaking (15. august) var det ikke lenger muslinglarver på noen av ørretungene. I 1999 var alle ørretungene infisert 26. juni. I juli ble det bare undersøkt noen veldig få ørretunger, og 19. juli var det ingen muslinglarver på to undersøkte ørretunger. Senere

(26. juli) ble det påvist én muslinglarve på den ene ørreten som ble undersøkt, men denne larven var dårlig utviklet og ikke representativ for det normale vekstforløpet for muslinglarvene. Utviklingstiden til den «gjennomsnittlige» muslinglarven er satt til perioden 10. september-26. juli i 1997-1998 og 20. september-20. juli i 1998-1999.

I 1997-1998 fullførte muslinglarvene utviklingen på ørretungene i løpet av 932 døgngader (304 dager) (**figur 4.17**). I 1998-1999 var temperatursummen 817 døgngader (320 dager). Det var stor temperaturforskjell mellom de to årene, og høsten 1998 oppnådde ikke larven mer enn ca. 70 døgngader før vinteren, i motsetning til høsten 1997 da antall døgngader kom opp i ca. 180 før vinteren (**figur 4.17**). Muslinglarvene hadde nesten ingen tilvekst høsten 1998, før «vinterdvalen» inntraff. Men våren 1999 steg temperaturen raskere enn i 1998, og det ble oppnådd en høyere temperatursum på et tidligere tidspunkt enn i 1998. Muslinglarvene i Skjellbekken så ut til å utvikle seg normalt allerede ved 850-900 døgngader i gjennomsnitt. Ut fra de observasjonene som er gjort, oppholdt muslinglarvene seg 10-11 måneder på vertsfisken for å fullføre det parasittiske larvestadiet i Skjellbekken.



Figur 4.17. Akkumulert antall døgngader i Skjellbekken i perioden 10. september 1997 – 26. juli 1998 og 20. september 1998 – 20. juli 1999, som tilsvarte varigheten av muslinglarvenes parasittiske stadium på ørretunger i Skjellbekken i de to årene som er undersøkt.

4.9 Oppsummering

Elvemusling er en holarktisk art som finnes utbredt mellom 40 °N og 70 °N. I Skottland (Hastie mfl. 2003a) og Norge kan temperaturen i små bekker og elver med elvemusling variere mellom 0 og 25 °C i det enkelte år. Elvemusling er derfor tilpasset en betydelig grad av temperaturvariasjon. Naturlige eller menneskeskapte temperaturforandringer kan likevel påvirke flere stadier i muslingens liv som er viktig i forbindelse med overlevelse, inkludert individuell vekst, levealder og reproduktiv suksess.

Vekstsesong

Vekstsesongen, definert som antall dager med vanntemperatur ≥ 5 °C (jf. Dunca & Mutvei 2001), varierte betydelig mellom vassdrag, men vekstsesongen var kortest i Skjellbekken i Finnmark (117 dager i gjennomsnitt) og lengst i Figgjo i Rogaland (221 dager) (**tabell 4.8**). Vassdrag i Trøndelag har en vekstsesong som er om lag den samme som på Østlandet, henholdsvis 149-176 og 155-171 dager. I Finnmark vil vekstsesongen vare fra juni til september/oktober, mens den i Rogaland kan vare fra april til november. Endringer i vannføring og tapping av kaldt magasin vann kan forskyve eller

forkorte vekstsesongen hos muslinger. I Hunnselva i Oppland (regulert vassdrag) har månedsmiddeltemperaturen økt betydelig på 2000-tallet sammenliknet med målinger gjort på 1970-tallet (Larsen 2010b). Middeltemperaturen om sommeren og hele høsten lå én til to grader høyere fra juli til desember, og den gjennomsnittlige årlige varmesummen økte fra 2155 grader i 1970-1973 til 2408 grader i 2005-2008 (12 % økning). Den årlige tilveksten hos elvemusling økte da også markant i Hunnselva etter 2001 (Dunca & Larsen 2012, se kapittel 5).

Tabell 4.8. Graviditetens varighet hos elvemusling i ulike vassdrag i Norge. Antall døgn og temperatursum for graviditetsperioden er vist for Sørkedalselva, Simoa, Figgjo, Hammerbekken (Larsen 2012), Hofstadelva (Gråelva), Borråselva, Hopla og Skjellbekken for hvert enkelt år som er undersøkt, og gjennomsnittet av undersøkelsesperioden. Som referanse er vist antall dager med temperatur større eller lik fem grader i de samme vassdragene samt temperatursum for denne perioden.

Elv	År	Antall døgn graviditet		Temp. sum graviditet		Antall dager med temp. $\geq 5^{\circ}\text{C}$		Temp. sum dager med temp. $\geq 5^{\circ}\text{C}$	
Sørkedalselva	1997	24	32	427	467	158	155	2057	1881
	1998	39		502		158		1751	
	1999	32		474		171		1977	
Simoa	1997	54	63	824	868	170	171	2369	2207
	1998	66		822		163		1995	
	1999	69		957		169		2215	
Figgjo	1998	42	42	620	674	-	221	-	2776
	1999	41		728		-		-	
Hammerbekken	2008	29	29	481	481	152	152	1971	1971
Hofstadelva	1997	-	37	-	498	147	165	1882	1919
	1998	37		498		168		1858	
	1999	-		-		180		2017	
Borråselva	1997	38	31	593	473	140	149	1817	1801
	1998	28		400		157		1763	
	1999	28		427		162		1903	
Hopla	1997	-	36	-	532	172	176	2185	2167
	1998	36		532		177		2111	
	1999	-		-		180		2204	
Skjellbekken	1998	46	44	450	478	109	117	1279	1385
	1999	41		507		124		1496	
Gj.snitt			39		559		163		2013

Temperatursummen varierte fra 1385 døgngrader i gjennomsnitt i et «kalldt» vassdrag (Skjellbekken) til 2776 døgngrader i et «varmt» vassdrag (Figgjo) (tabell 4.8). Både økende breddegrad og økende høyde over havet vil redusere vekstsesongen og den årlige tilveksten. Men i tillegg til temperaturforskjeller mellom geografiske regioner er det også påvist betydelige forskjeller i tilvekst innad i vassdrag (Dunca mfl. 2010, Larsen mfl. 2002, Dunca & Larsen 2012), noe som skyldes genetiske forskjeller mellom delpopulasjoner («laksemusling» og «ørretmusling»; Larsen mfl. 2011b).

Muslinglarvens utvikling

Det er i utgangspunktet stor variasjon i lengden på graviditetsperioden hos elvemusling, og det er i eksempler fra ulike vassdrag i Norge vist at larveutviklingen kan ta fra 24 til 69 dager (**tabell 4.8**). Det er ingen geografisk forklaring på denne variasjonen.

Lengden på graviditeten er nær den samme i Figgjo i Rogaland og Skjellbekken i Finnmark (41-46 dager). Lengden på graviditeten var derimot kortere, men relativt lik i Sørkedalselva i Oslo/Akershus, Hofstadelva (Gråelva) i Nord-Trøndelag, Borråselva i Nord-Trøndelag og Hopla i Nord-Trøndelag (24-39 dager). Dette tilsvarte også det som er funnet i Hammerbekken i Sør-Trøndelag (29 dager; Larsen 2012) og i en lokalitet i Østerrike (23-40 dager; Scheder mfl. 2011). Lengst tid tok muslinglarvenes utvikling i Simoa i Buskerud der graviditeten varte 54-69 dager.

Ser vi på antall døgngader som behøves for å fullføre graviditeten er resultatet i Sørkedalselva, Hofstadelva (Gråelva), Borråselva, Hopla og Skjellbekken relativt likt (400-593 døgngader). Dette tilsvarer også det som er funnet i Hammerbekken i Sør-Trøndelag (481 døgngader; Larsen 2012) og det som er funnet for populasjoner i Østerrike og Tyskland (353-530 døgngader; Hruska 2001, Lange mfl. 2008, Scheder mfl. 2011). Figgjo, der antall døgngader varierte mellom 620 og 728, skilte seg ut fra dette. Flest døgngader trengte likevel larvene i Simoa (822-957). En fellesnevner for vassdragene med færrest døgngader er at alle disse er vassdrag med ørret som eneste vertsart for muslinglarvene («ørretmusling»). I Figgjo derimot er laks primærvert for muslinglarvene («laksemusling»). Simoa har også ørret som vertsfisk, men er genetisk noe atypisk i forhold til andre «ørretmusling»-populasjoner (jf. Larsen mfl. 2011b).

Det er forskjell i lengden på graviditetsperioden hos elvemusling i «kalde» og «varme» somre. I «varme» somre da temperatursummen i vekstsesongen (dager med temperatur ≥ 5 °C) er høyest, er graviditetsperioden kortest. Temperatursummen i løpet av selve graviditeten kan imidlertid variere fra å være lavest til høyest i de samme årene.

Parasittisk stadium på fisk

Lengden på muslinglarvenes parasittiske stadium på ørret eller laks er relativt likt mellom vassdrag (**tabell 4.9**). Eksempler fra sju ulike vassdrag i Norge viste at muslinglarvene sitter på fiskens gjeller mellom 296 og 326 dager (i gjennomsnitt 311 dager). Det var ingen geografisk variasjon, selv om temperaturen i de undersøkte vassdragene varierte betydelig.

Temperatursummen for perioden muslinglarvene satt festet til vertsfiskens gjeller, varierte fra 817 døgngader i Skjellbekken i Finnmark til 1945 døgngader i Figgjo i Rogaland (**tabell 4.9, figur 4.18**). I de fem andre elvene som det finnes data fra, varierte temperatursummen til det parasittiske stadiet mellom 1255 og 1589 døgngader. I Figgjo der temperatursummen var høyest er laks primærvert for muslinglarvene. I de andre vassdragene er ørret eneste vertsart for muslingens larver. I Skjellbekken kan det tenkes at vanntemperaturen vil være begrensende for utviklingen av muslinglarvene i enkelte år. Høsten 1998 var det tilnærmet ingen vekst på muslinglarvene før vinteren. Dette er

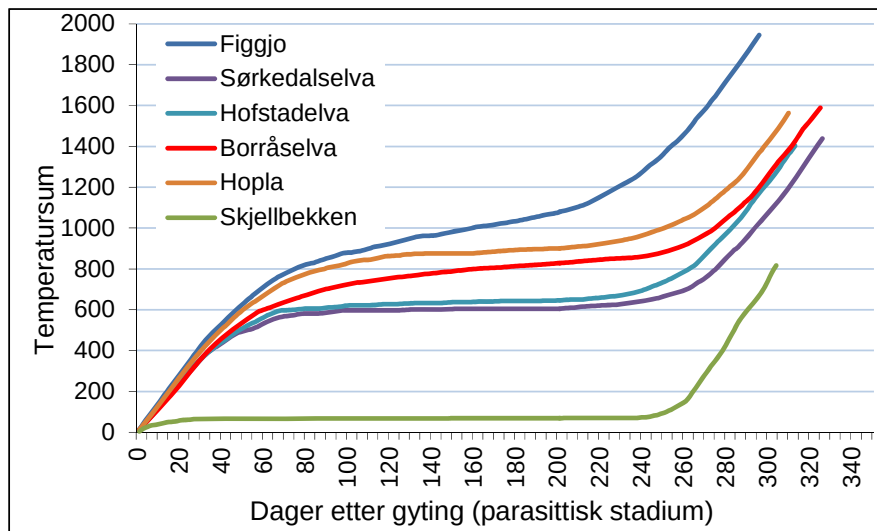
uvanlig. På den annen side er det lite som tyder på at det ikke er en tilnærmet årlig rekruttering til bestanden av elvemusling i vassdraget (Larsen & Aspholm 2011).

Tabell 4.9. Varigheten av det parasittiske stadiet hos elvemusling på vertsfisk i ulike vassdrag i Norge. Antall døgn og temperatursum for det parasittiske stadiet er vist for Sørkedalselva, Figgjo, Hammerbekken (Larsen 2012), Hofstadelva (Gråelva), Borråselva, Hopla og Skjellbekken for hvert enkelt år som er undersøkt, og gjennomsnittet av undersøkelsesperioden.

Elv	År	Varighet av parasittisk stadium på vertsfisk, antall døgn		Temp. sum for fullføring av parasittisk stadium	
Sørkedalselva	1997-98	321	324	1481	1460
	1998-99	326		1439	
Figgjo	1998-99	296	296	1945	1945
Hammerbekken	2008-09	300	300	1255	1255
Hofstadelva	1998-99	313	313	1402	1402
Borråselva	1997-98	321	323	1399	1494
	1998-99	325		1589	
Hopla	1998-99	310	310	1563	1563
Skjellbekken	1997-98	304	312	932	875
	1998-99	320		817	
Gj. snitt			311		1428

Gjennomsnittlig temperatursum for fullføring av det parasittiske stadiet for alle vassdrag i Norge var litt i overkant av 1400 døgngrader (variasjon 875-1945 døgngrader). Til sammenlikning er det i tyske og tsjekkiske studier en variasjon fra 1350 til 1860 døgngrader (Hruska 1992; 2001, Schmidt & Vandr  2010). Hruska (1992) konkluderte med at utviklingen av muslinglarvene (lengden av det parasittiske stadiet) kan kontrolleres ved vanntemperaturen. Antall døgngrader ser likevel ut til å ha mindre betydning enn antall døgn som muslinglarven faktisk sitter festet til vertsfiskens gjeller, om vi legger observasjonene fra norske elver til grunn. Dette kan være en tilpasning for at muslinglarven ikke slipper seg av fisken midt på vinteren eller tidlig på våren, men venter til et tidspunkt da næringstilgangen og muligheten for å overleve er mer optimal.

I et vintervarmt vassdrag som Figgjo vil temperatursummen øke gjennom vinteren i motsetning til andre vassdrag der vanntemperaturen faller til nær null og holder seg stabil gjennom hele vinteren. I Figgjo økte temperatursummen mer enn 200 døgngrader i løpet av vinteren (**figur 4.18**). Veksten til muslinglarvene kommer i gang tidligere på våren, men det er ikke sikkert økningen i antall døgngrader om vinteren har noen betydning for utvikling og varighet av muslinglarvens opphold på fisken. Det betyr at summen av døgngrader i Figgjo blir høyere enn i vinterkalde vassdrag (for eksempel Sørkedalselva). Korrigerer vi for denne temperaturøkningen (som vi antar ikke øker tilveksten på larvene) vil temperatursummen i Figgjo nærme seg de andre elvene. Det rokker likevel ikke ved den store forskjellen det er mellom vassdragene i Sør-Norge og Skjellbekken i Finnmark (**figur 4.18**).



Figur 4.18. Akkumulert antall døgngader fra elvemuslingens larver fester seg på vertsfiskens gjeller om høsten til de er fullt utviklet neste vår og slipper seg av fisken. Data fra laks i Figgjo og ørret i Sørkedalselva, Hofstadelva (Gråelva), Borråselva, Hopla og Skjellbekken i 1998-1999.

Det er vanskelig å angi en absolutt dato for når muslinglarvene slipper seg av fra fisken. Muslinglarvene har noe varierende utvikling og ser ut til å falle av fra gjellene etter hvert som de er fullt utviklet. I teksten er det forsøkt å angi utviklingstiden til den «gjennomsnittlige» muslinglarven i de ulike vassdragene som er undersøkt utfra observasjoner av prevalens, intensitet samt størrelsen på muslinglarvene om våren. Selv om dette ikke er eksakte data finner vi likevel at larvene først slipper seg av fisken etter at gjennomsnittstemperaturen i en 15 dagersperiode på våren har vært om lag 14 °C (12-16 °C, **tabell 4.10**). Dette samsvarer med antakelsen framsatt av Hruska (1992), som mente at den gjennomsnittlige vanntemperaturen de siste 14-16 dager måtte være minst 15 °C før muslinglarvene slapp seg av vertsfisken. I regulerte vassdrag som magasinerer vann om våren, vil vårflommen dempes, og vanntemperaturen vil øke raskere enn i uregulert elv. I slike tilfeller kan vi tenke oss at muslinglarvene utvikler seg raskere om våren og slipper seg av fisken tidligere enn normalt. Effekten av dette er imidlertid ukjent.

Temperaturens påvirkning på voksne ferskvannsmuslinger er også komplisert, og det er ikke lett å fastsette det optimale temperaturregimet for elvemusling. Det er fastslått at en «varm» vekstsesong gir høyere tilvekst enn en «kald» vekstsesong, og at en varig endring i vanntemperatur vil endre den årlige tilveksten hos elvemusling. Men andre faktorer (f.eks. vannkvalitet) kan overskygge effekten av vanntemperaturen, og det vil ikke alltid være mulig å beskrive nøyaktig hvilken effekt en temperaturendring vil få for vekstforløpet hos voksne muslinger. Optimalt kunne vi tenke oss at en modell skulle kunne hjelpe oss til å forutsi hvilken effekt en heving eller senking av temperaturen hadde på gytetidspunkt, varighet av det parasittiske stadiet og vekst hos voksne muslinger, men foreløpig er ikke datasettene gode nok eller omfattende nok til

å realisere dette. Dette ville likevel være av de forhold som er ønskelig å følge opp senere.

Tabell 4.10. Gjennomsnittlig vanntemperatur og varmesum i en 15 dagersperiode om våren før muslinglarvene slipper seg av vertsfisken. Data fra Sørkedalselva, Figgjo, Hofstadelva (Gråelva), Borråselva, Hopla og Skjellbekken i 1998 og 1999.

Elv	År	«Gjennomsnittlig» dato for avsluttet larveopphold (se tekst)	Gjennomsnittlig vanntemperatur siste 15 dager før «gjennomsnittlig» larveslipp	Min. og maks. vanntemperatur siste 15 dager før «gjennomsnittlig» larveslipp	Temp. sum siste 15 dager
Sørkedalselva	1998	1. juli	11,4	9,5 – 12,5	171
	1999	20. juli	15,2	14,6 – 16,1	228
Figgjo	1999	20. juni	14,4	13,4 – 15,2	215
Hofstadelva	1999	5. juli	13,7	11,0 – 15,4	205
Borråselva	1998	20. juli	14,0	12,1 – 15,9	211
	1999	10. juli	13,7	11,2 – 15,7	206
Hopla	1999	1. juli	13,8	12,5 – 16,1	207
Skjellbekken	1998	26. juli	16,3	14,9 – 18,4	245
	1999	20. juli	15,7	11,4 – 21,3	236
Gj. snitt			14,2	12,3 – 16,3	214

5. Skaltillväxt hos flodpärlmusslor i reglerade och icke-reglerade vattendrag

Elena Dunca & Bjørn Mejdell Larsen

Under hela flodpärlmusslans livstid lagras information i skalet om förhållanden i vattendraget den lever i. Det er visat att musselskal fungerer som miljø-indikatorer. De registrerar aktivt förändringar i vattenmiljön, som vattnets temperatur, pH och kemisk sammansättning. Genom att analysera musselskal från olika vattendrag kan vi få en uppfattning om hur vattenmiljön har förändrats och hur olika episoder i musslornas liv har påverkat skaltillväxten.

5.1 Innledning

Norge är ett av få europeiska länder som har någorlunda livskraftiga flodpärlmusselbestånd men trots detta finns det tecken på en försämrad vattenkvalité som kan hota många musselpopulationer också här (Larsen 2005; 2010a). Tidigare studier har visat att låga pH-värden i vatten har orsakat dålig skaltillväxt hos flodpärlmusslor (Dunca m.fl. 2009a; 2009b) och en minskning av beståndet (Dolmen & Kleiven 2004). Minskat bestånd av värdsfisk (lax) på grund av infektion med *Gyrodactylus salaris* har också påverkat rekryteringen negativt hos musselpopulationer (Larsen m.fl. 2011a).

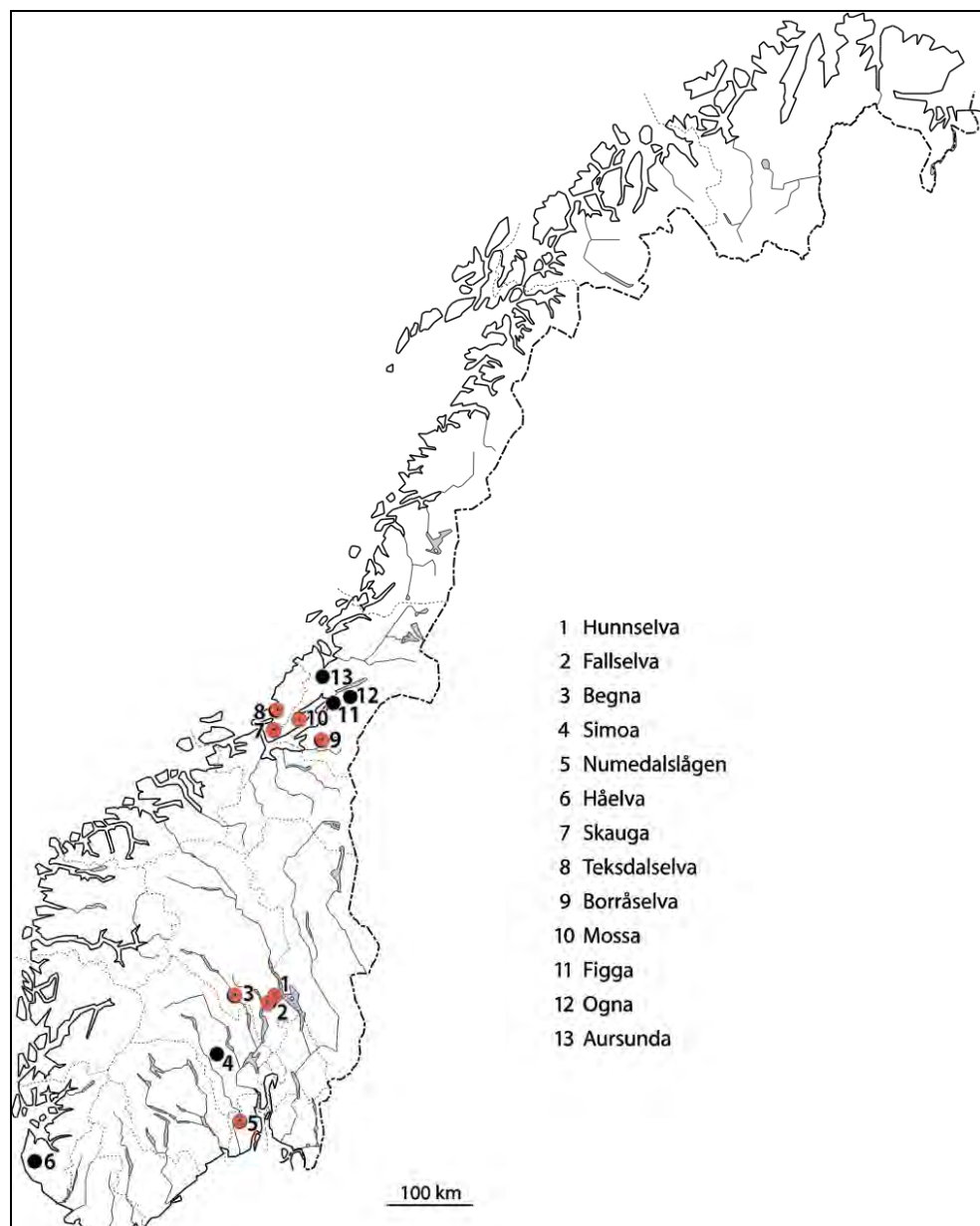
Målet med denna undersökning (vilken beskrivs i mer detalj i Dunca & Larsen (2012)) är att ta reda på om skaltillväxten hos flodpärlmusslan påverkas av vattenreglering. I detta syfte har musslor från åtta reglerade vattendrag (Hunnselva, Fallselva, Begna, Numedalslågen, Skauga, Teksdalselva, Borråselva och Mossa) analyserats med hänsyn till deras årliga tillväxt och skallängd relaterad till deras ålder. I tillägg, har musslor från fem icke-reglerade vattendrag analyserats (Simoa, Håelva, Figga, Ognå och Aursunda) och används som referens.



Älvkraftverk och kanalisering – vilken effekt kan de ha på flodpärlmusslan? Denna problemställning är undersökt i Begna i samband med Eid kraftverket. Foto: Bjørn Mejdell Larsen

5.2 Material och metoder

I undersökningen ingår 70 musslor insamlade 1984 och mellan 2009 och 2011 från både reglerade vattendrag (Fallselva, Begna, Skauga Teksdalselva Borråselva och Mossa) och icke-reglerade vattendrag (Simoa, Håelva och Aursunda; **figur 5.1, tabell 5.1 och 5.2**). Vi har också använt data om skaltillväxt hos musslor från Hunnselva (reglerat vattendrag), samt Onga och Figga (icke-reglerade vattendrag) som redan är publicerade (Dunca m.fl. 2009c; 2010). Data från Numedalslågen har kompletterats med ytterligare data från tidigare undersökningar (Dunca 2009). Sammanlagt har data från 106 musslor använts för denna undersökning.



Figur 5.1. Karta över de olika vattendragen; reglerade vattendrag är markerade med rött.

Tabell 5.1. Skalmått och ålder (inklusive uppskattade umbonala år) hos musslor från reglerade vattendrag. Vattendragsnummer hänvisar till lokaliseringen i **figur 5.1.**

Lok nr.						
Vattendrag	Mussla	Skallängd	Ålder	Umbonala år	Station	Datum
Fylke		(mm)	(år)			
1	1002	103	56	6	Raufoss	07-08-2008
Hunnselva	1003	114	86	8	Raufoss	07-08-2008
Oppland fylke	1004	114	76	10	Raufoss	07-08-2008
2	10009	90,2	23	5	upp Skrankefoss	15-05-2011
Fallselva	10010	99,5	34	7	upp Skrankefoss	15-05-2011
Oppland fylke	10011	93,4	34	6	upp Skrankefoss	15-05-2011
	10001	106,4	30	4	ned Skrankefoss	15-05-2011
	10002	105,5	41	4	ned Skrankefoss	15-05-2011
	10003	104,4	32	4	ned Skrankefoss	15-05-2011
3	406	85,2	51	11	Fønhus	03-08-2010
Begna	407	93,2	67	13	Fønhus	03-08-2010
Oppland fylke	408	87,0	61	13	Fønhus	03-08-2010
	409	74,0	29	5	Fønhus	03-08-2010
	410	71,9	31	7	Fønhus	03-08-2010
	2	79,2	38	7	Garthus	03-08-2010
	3	76,6	39	6	Garthus	03-08-2010
	5	86,0	44	7	Garthus	03-08-2010
	12	102,4	70	8	Garthus	03-08-2010
	15	97,1	55	7	Garthus	03-08-2010
5	10003	128,9	85	7	Moen	21-09-2009
Numedalslågen	10004	142,0	85	8	Moen	21-09-2009
Vetfold fylke	10009	127,9	63	7	Moen	21-09-2009
	1	126,5	125	19	Pinnestadøya	31-08-2008
	2	119,0	56	8	Pinnestadøya	31-08-2008
	3	114,0	52	8	Pinnestadøya	31-08-2008
	4	111,0	73	9	Pinnestadøya	31-08-2008
	5	109,0	39	7	Pinnestadøya	31-08-2008
	6	104,0	48	9	Pinnestadøya	31-08-2008
	7	90,0	18	4	Pinnestadøya	31-08-2008
	8	88,5	19	4	Pinnestadøya	31-08-2008
7	10001	135,4	31	3	Foss	03-07-2011
Skauga	10002	132,1	36	3	Foss	03-07-2011
Sør-Trøndelag fylke	10003	118,7	34	3	Foss	03-07-2011
	10004	74,4	12	2	Foss	03-07-2011
8	10001	137,9	107	6	Aunet	03-07-2011
Teksdalselva	10002	155,6	131	11	Aunet	03-07-2011
Sør-Trøndelag fylke	10003	143,4	87	5	Aunet	03-07-2011
	10004	107,5	22	3	Aunet	03-07-2011
	10005	57,6	10	1	Aunet	03-07-2011

Tabell 5.1 fortsetter.

Lok nr.						
Vattendrag	Mussla	Skalllængd	Ålder	Umbonala år	Station	Datum
Fylke		(mm)	(år)			
9	1	91,4	52	9	Auset	13-10-2010
Borråselva	2	95,6	67	12	Auset	13-10-2010
Nord-Trøndelag fylke	3	78,7	40	9	Auset	13-10-2010
	4	91,5	61	9	Borrås	13-10-2010
	5	94,7	64	10	Borrås	13-10-2010
	6	72,8	48	9	Borrås	13-10-2010
10	1048	113	49	7	upp Stokkleivvatn	22-06-1984
Mossa	1179	120	47	7	upp Stokkleivvatn	22-06-1984
Nord-Trøndelag fylke	1184	146	99	8	upp Stokkleivvatn	22-06-1984
	1242	139	100	8	upp Stokkleivvatn	22-06-1984
	167	114,2	55	7	upp Stokkleivvatn	18-06-2010
	168	109,6	50	7	upp Stokkleivvatn	18-06-2010
	169	125,0	60	8	upp Stokkleivvatn	18-06-2010
	170	119,4	67	8	upp Stokkleivvatn	18-06-2010
	171	102,0	42	6	upp Stokkleivvatn	18-06-2010
	53	116,9	32	5	ned Lille Meltingen	05-08-2011
	58	117,4	40	6	ned Lille Meltingen	05-08-2011
	59	135,1	38	7	ned Lille Meltingen	05-08-2011
	61	105,3	31	5	ned Lille Meltingen	05-08-2011
	68	109,3	35	6	ned Lille Meltingen	05-08-2011

Tabell 5.2. Skalmått och ålder (inklusive uppskattade umbonala år) hos musslor från ikke-reglerede vattendrag. Vattendragsnummer hänvisar till lokaliseringen i **figur 5.1**.

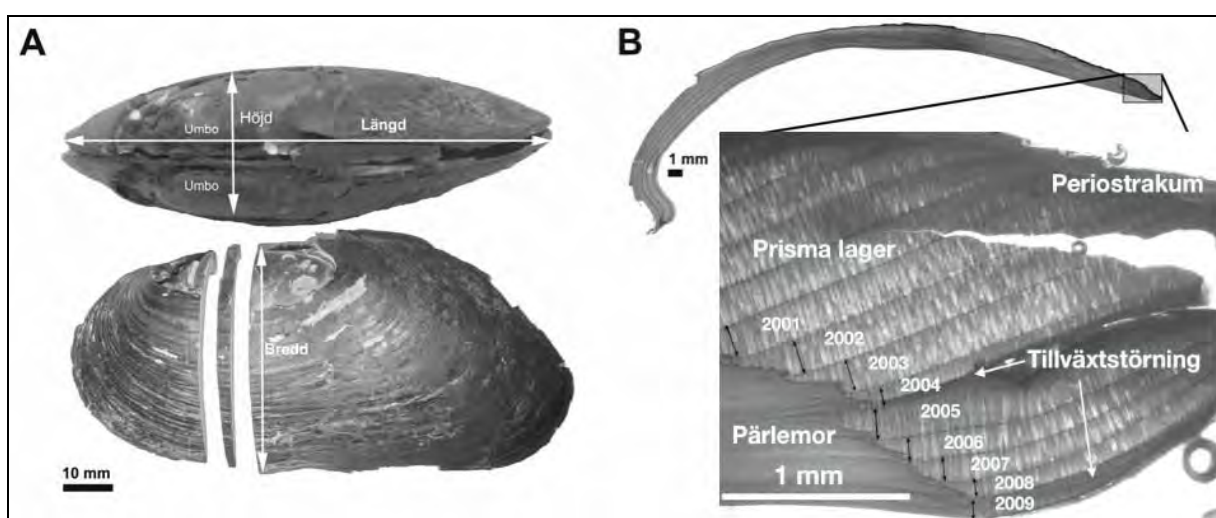
Lok nr.						
Vattendrag	Mussla	Skalllængd	Ålder	Umbonala år	Station	Datum
Fylke		(mm)	(år)			
4	1	134,0	55	6	Solemoa	04-08-2010
Simoa	2	132,2	63	7	Solemoa	04-08-2010
Buskerud	8	118,5	53	6	Solemoa	04-08-2010
	13	139,2	66	7	Solemoa	04-08-2010
	15	118,2	64	7	Solemoa	04-08-2010
	401	133,7	60	7	Kolsrud	04-08-2010
	402	115,3	51	6	Kolsrud	04-08-2010
	403	140,1	77	6	Kolsrud	04-08-2010
	404	143,0	84	7	Kolsrud	04-08-2010
	405	118,8	50	6	Kolsrud	04-08-2010

Tabell 5.2 fortsetter.

Lok nr.	Vattendrag	Mussla	Skalllængd	Ålder	Umbonala år	Station	Datum
	Fylke		(mm)	(år)			
6		10036	128,4	27	5	Grødem	01-09-2010
	Håelva	10040	119,4	26	5	Grødem	01-09-2010
	Rogaland	10043	133,7	33	5	Grødem	01-09-2010
		10045	105,3	18	5	Grødem	01-09-2010
		391	92,9	17	5	Hå	01-09-2010
		392	118,8	33	6	Hå	01-09-2010
		393	66,2	10	4	Hå	01-09-2010
11		31401	84,6	21	4	Sagmo	01-07-2009
	Figga	31402	85,0	35	7	Sagmo	01-07-2009
	Nord-Trøndelag	31403	99,8	30	6	Sagmo	01-07-2009
	fylke	31404	105,6	41	10	Sagmo	01-07-2009
		30301	108,2	38	7	Lø	30-06-2009
		30302	84,0	30	8	Lø	30-06-2009
		30303	103,4	32	6	Lø	30-06-2009
		30304	89,8	36	8	Lø	30-06-2009
12		22101	101,4	84	11	Skillegrind	22-06-2009
	Ogna	22102	104,7	84	12	Skillegrind	22-06-2009
	Nord-Trøndelag	22103	86,5	53	11	Skillegrind	22-06-2009
	fylke	22104	86,0	54	10	Skillegrind	22-06-2009
		21501	85,9	20	4	Hyllbrua	23-06-2009
		21502	94,5	28	5	Hyllbrua	23-06-2009
		21503	104,4	30	5	Hyllbrua	23-06-2009
		21504	107,3	30	5	Hyllbrua	23-06-2009
		21101	84,6	17	3	Motorbanen	24-06-2009
		21102	102,0	28	6	Motorbanen	24-06-2009
		21103	108,6	29	3	Motorbanen	24-06-2009
		21104	85,6	25		Motorbanen	24-06-2009
		21105	133,9	87	10	Motorbanen	24-06-2009
		20501	85,6	21	4	Hornemannshølen	25-06-2009
		20502	108,0	37	8	Hornemannshølen	25-06-2009
		20503	91,7	20	5	Hornemannshølen	25-06-2009
		20504	102,1	31	7	Hornemannshølen	25-06-2009
13		10041	88,4	38	7	Gammelsagelva	24-08-2009
	Aursunda	10045	94,7	53	8	Gammelsagelva	24-08-2009
	Nord-Trøndelag	10047	84,6	39	7	Gammelsagelva	24-08-2009
	fylke	412	131,1	53	9	Svartfossen	16-06-2010
		413	139,5	91	16	Svartfossen	16-06-2010

5.2.1 Preparationsteknik

Skalen etiketterades och mättes med hänsyn till deras längd, höjd och bredd (**figur 5.2 A**). En av skalhalvorna sågades vinkelrätt mot årsringarna från nedre skalkant till umbo (**figur 5.2 A**). Snittytor genom skalet preparerades fram enligt en speciell metod som utvecklades under 1990-talet vid Naturhistoriska riksmuseet i Stockholm. För att årsringar skall framträda bättre har snittytorna behandlats med Mutvei's lösning som är en blandning av glutardialdehyd, ättiksyra och elsassblått. Denna lösning fixerar och färgar organiska komponenter i skalen (glukoproteinerna mellan kalkkristallerna) och löser samtidigt långsamt upp kalkkristallerna på snittytan. Vinterlinjerna och tillväxtstörningslinjerna framträder i mörkblått och syns bäst i ljusmikroskop (**figur 5.2 B**).



Figur 5.2. A. Skalens olika mått: längd, bredd och höjd. B. Tunnslip av musselskal nummer 412 från Aursunda som är etsat med Mutvei's blandning och fotograferat i ljusmikroskop. Vinterlinjer och tillväxtstörningslinjer är mörkare. En tydlig tillväxtstörning som går igenom hela skalet syns vid 2004 årstillväxt (på sommaren), samt på sommaren 2009. De svarta pilarna markerar avståndet mellan två vinterlinjer som ett mått på den årliga tillväxten.

5.2.2 Åldersbestämning

Den årliga tillväxten (årsringarna) hos en mussla är det skalmaterialet som byggs på under tillväxtsången mellan april och oktober. Under vinterperioden växer inte musslornas skal och det bildas så kallade vinterlinjer. I tvärsnitt är den årliga tillväxten representerad av det kortaste avståndet som finns mellan två vinterlinjer (markerade med svarta pilar i **figur 5.2 B**).

För åldersbestämning räknades den årliga tillväxten i tunnslip hos samtliga musslor. Äldre musslor har oftast eroderad umbo och den årliga tillväxten syns inte där. Åldern

på den eroderade delen uppskattades med hjälp av åldersbestämda yngre musslor som växer enligt samma tillväxtkurva (Dunca m.fl. 2011).

5.2.3 Årlig tillväxt

Det minsta avståndet mellan två vinterlinjer (den årliga tillväxten) mättes vid gränsen mellan pärlemor och prismalager (se **figur 5.2 B**). I tvärsnitt avtar den årliga tillväxten exponentiellt med åldern. För att kunna jämföra den årliga tillväxten hos äldre musslor med den hos yngre musslor behöver man standardisera mätningarna. Standardiseringen gjordes med samma matematiska redskap som dendrokronologerna (trädkännarna) använder för årsringarna på träd (Dunca 1999). En utförlig metodbeskrivning finns i Dunca & Larsen (2012).

Efter standardiseringen är den årliga tillväxten representerad av en standardiserad tillväxtindex (SGI), som är ett mått på förändringen i den årliga tillväxten och är jämförbar mellan alla musslor.

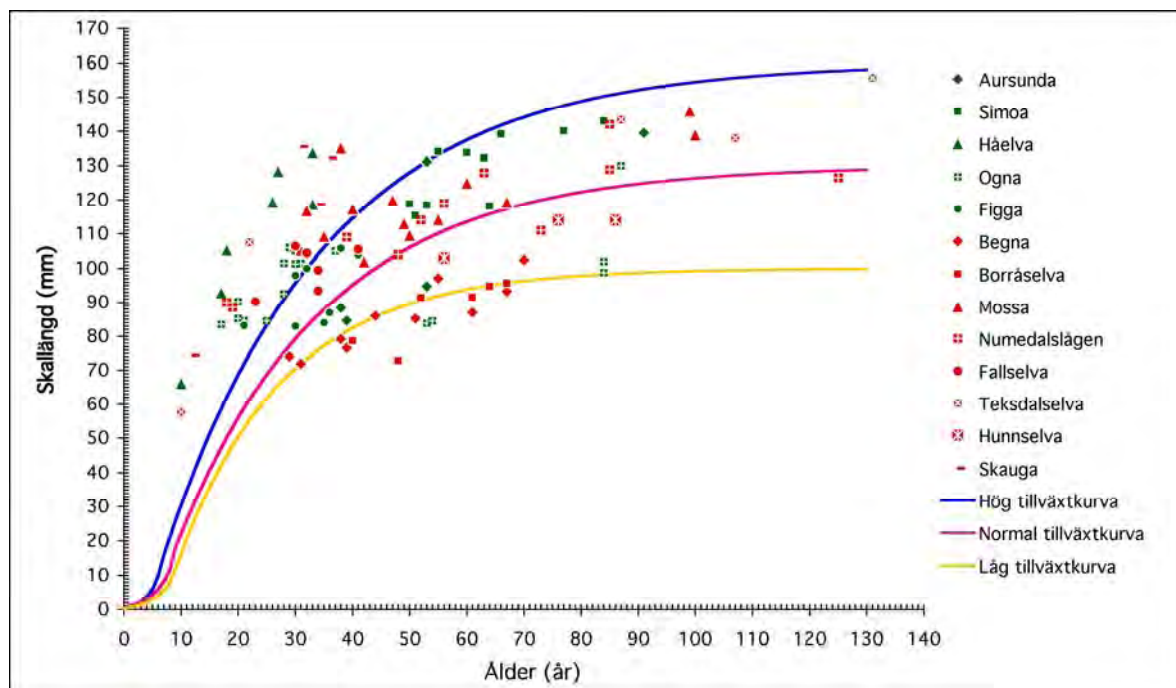
5.3 Resultat

5.3.1 Åldersbestämning av musslor och relationen mellan skallängd och ålder

Musslornas ålder varierade mellan 10 och 131 år i reglerade vattendrag och mellan 10 och 91 år i icke-reglerade vattendrag, medan skallängden varierade mellan 57,6 och 155,6 mm i reglerade vattendrag och mellan 66,2 och 143,0 mm i icke-reglerade vattendrag (**tabell 5.1** och **5.2**). Åldern på den eroderade delen vid umbo har uppskattats och inräknats i musslans ålder (se **tabell 5.1** och **5.2**).

Musslornas ålder relaterad till skallängden varierade kraftigt mellan de olika vattendragen. Musslor från Numedalslågen, Mossa och musslor från nedre del av Aursunda (Svartfossen) växte sig större jämfört med musslor från Begna, Borråselva och övre del av Aursunda (Gammelsagelva) av samma ålder.

Om man jämför med allmänna tillväxtkurvorna för flodpärlmusslan (se Dunca & Larsen (2012) för en detaljerad beskrivning av dessa kurvor) ligger musslorna från Numedalslågen och Mossa mellan den höga och normala tillväxtkurvan medan de från Begna och Borråselva ligger nära den låga tillväxtkurvan (**figur 5.3**). Om man vill uppskatta musslornas ålder utifrån deras skallängd kan man använda sig av dessa kurvor. I Aursunda var musslorna från Gammelsagelva mindre än musslorna från Svartfossen vid samma ålder och hamnade mellan den normala och låga tillväxtkurvan, medan musslor från Svartfossen hamnade mellan den höga och normala tillväxtkurvan vilket gör det svårt att uppskatta musslornas ålder utifrån deras skallängd i detta vattendrag (**figur 5.3**).



Figur 5.3. Diagram som visar förhållandet mellan musslornas ålder och skalens längd och de tre allmänna tillväxtkurvorna för flodpärlmusslan. Icke-reglerade vattendrag har symboler i grön färg och reglerade vattendrag har symboler i röd färg.

5.3.2 Årlig skaltillväxt i reglerade vattendrag

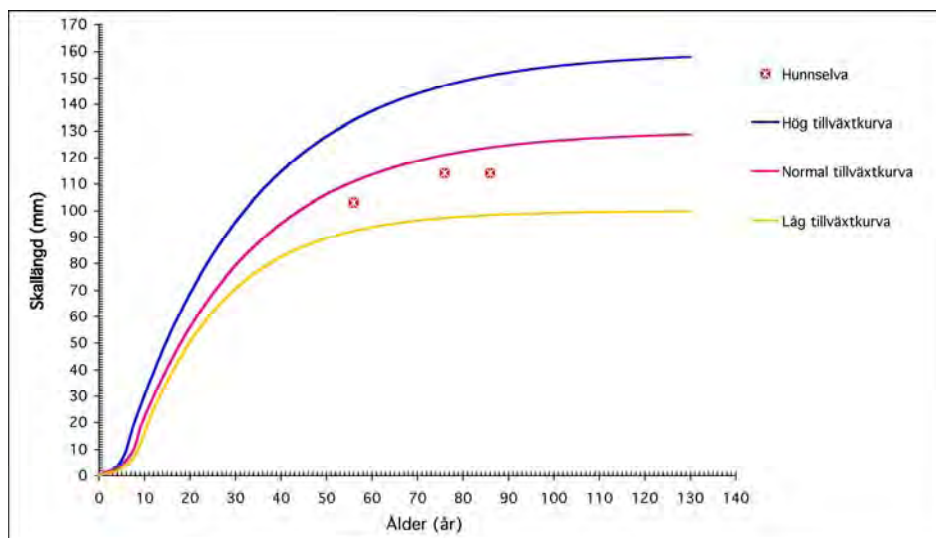
Musslornas årliga tillväxt varierade mellan populationer från olika vattendrag och även mellan olika stationer i samma vattendrag.

Hunnselva

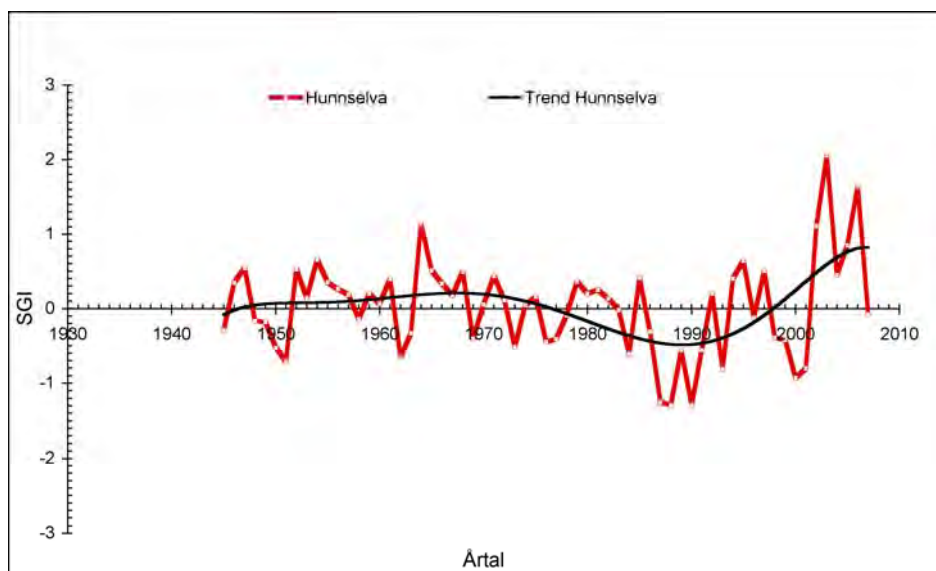
Hunnselva ligger huvudsakligen i Vestre Toten kommun i Oppland fylke, och är en del av ett 376 km² stort avrinningsområde som också berör Gran, Søndre Land och Gjøvik kommuner. Själva Hunnselva har sin källa i Einavatnet (398 m ö.h.) och rinner ut i Mjøsa vid Gjøvik (123 m ö.h.). Det finns flera kraftverk i drift längs Hunnselva, men det är bara regleringen av Skjelbreia och Einavatnet och driften av Vestbakken kraftverk som berör sträckan i älven med flodpärlmusslor. Einavatnet blev reglerat i flera omgångar bl.a. under 1872 och 1897, och fördämningen blev byggd och flera gånger förnyad i övre delen av Hunnselva. Sista ombygge skedde under 1992. Mellan Einafjorden och Vestbakken kraftverk är ca fyra kilometer av älvsträckan dämd eller delvis torrlagd. Vattnet som passerar igenom Vestfossen kraftverk kommer ut i älven en bit ovanför det området där flodpärlmussla finns i dag (bl.a. Larsen & Berger 2009a).

Från Hunnselva har tre musslor insamlats under 2008 (**tabell 5.1**) från en station vid Raufoss, nedre del av vattendraget. Den yngsta musslan är 56 år och den äldsta 86 år gammal. Skallängden varierar mellan 103 och 114 mm.

Relationen mellan ålder och skallängd hos musslorna från Hunnselva följer den normala tillväxtkurvan (**figur 5.4**). I Hunnselva var musslornas årliga tillväxt jämn (runt SGI=0) fram till 1980-talet. Mellan 1985 och 1995, samt mellan 1998 och 2001 var musslornas tillväxt sämre. Den årliga tillväxten ökade markant efter 2001 (**figur 5.5**). Månadsmedeltemperaturen från juli till december har ökat mellan en och två grader under perioden 2005-2008 jämfört med perioderna 1970-1973 och 1989-1995 (Larsen 2010a). Detta kan förklara musselskalens tillväxtökning efter 2001.



Figur 5.4. Diagram som visar förhållandet mellan musslornas ålder och skalens längd i Hunnselva, samt de tre allmänna tillväxtkurvorna för flodpärlmusslan.



Figur 5.5. Diagram som visar medel årlig tillväxt (SGI) för flodpärlmusslor vid Raufoss-stationen i Hunnselva (röd linje). Trendkurvan (svart) är en 6'e grads polynom.

Musslorna i Hunnselva har få tillväxstörningar, bara på c. 5 % av alla år som går att se i tunnslip (variation 1,7-6,9 %).



Insamlingen av musslor till åldersbestämning gjordes här, 1-2 km ovanför Raufoss centrum. Foto: Bjørn Mejdell Larsen.

Fallselva

Fallselva ligger i Søndre Land kommun, Oppland fylke, och rinner från Trevatna ned till Randsfjorden. Trevatna är reglerad och Skrankefoss kraftverk utnyttjar sedan 1966 delar av fallet mellan Trevatna och Randsfjorden. Ett nytt kraftverk vid Fall, satt i drift 2009, baserar sig på den existerande regleringen av Trevatna, men utnyttjar hela fallet (238 m) från Trevatna till Randsfjorden. Under 2009 omdirigerades vattenflödet från det gamla kraftverket vid Skrankefoss och flyttades nära utloppet i Randsfjorden (Westly & Rustadbakken 2003, Torgersen & Ebne 2011). Som följd av detta är vattenkapaciteten vid Fall kraftverk dubbelt så stor som i det gamla Skrankefoss kraftverk. Det nya kraftverket medförde ingen väsentlig ändring i vattenföringen ovanför Skrankefoss, men däremot blev vattenföringen reducerad på sträckan mellan Skrankefoss och Randsfjorden under större delen av året.

Under 2011 har 6 musslor insamlats från Fallselva (**tabell 5.1**) vid två stationer nära Skrankefoss. Den yngsta musslan är 23 år och den äldsta 41 år. Skallängden varierar mellan 90,2 och 106,4 mm.

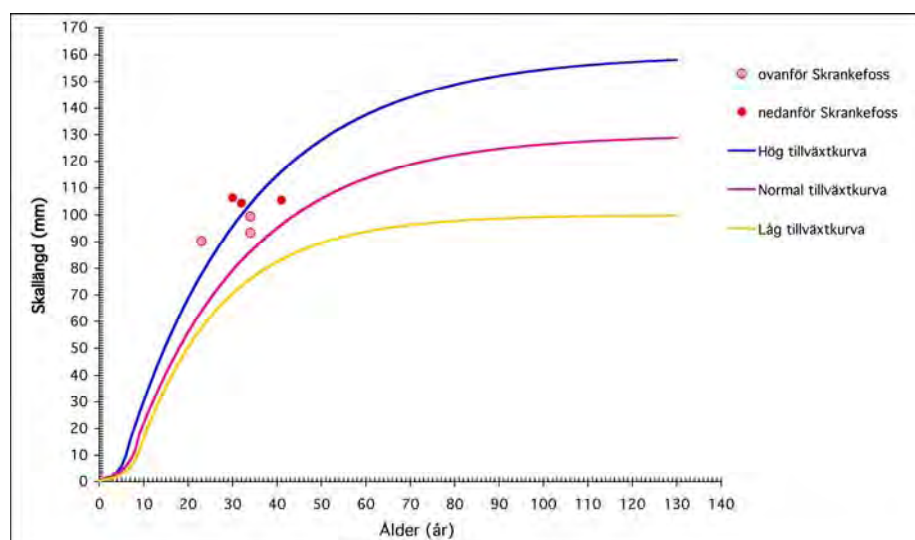


Fallselva uppströms Skrankefoss. Foto: Bjørn Mejdell Larsen.

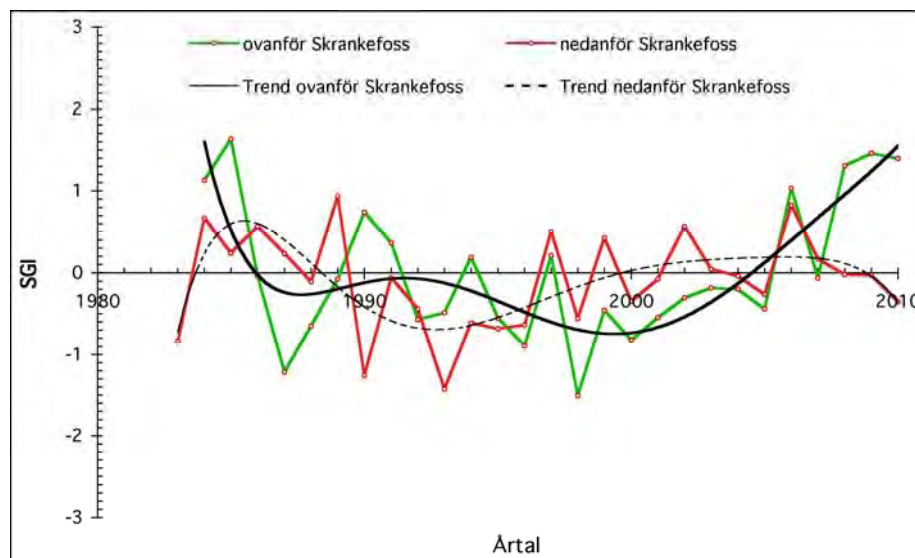
I relation till deras ålder var musslorna från Fallselva stora, och hamnade nära den höga tillväxtkurvan (**figur 5.6**). De visar en liknande hög årlig tillväxt både upp-

ströms och nedströms kraftverket vid Skrankefoss förutom under sista tillväxtåren då musslorna nedanför kraftverket har sämre tillväxt (**figur 5.7**). Detta kan vara en konsekvens av att vattenflödet reducerades på denna sträcka i samband med att det nya kraftverket sattes i drift 2009.

Musslorna i Fallselva nedanför Skrankefoss har även fler tillväxtstörningar (36 % av alla år som går att se i tunnslip; variation 28,6-48,6 %) än musslorna ovanför Skrankefoss (c. 23 %; variation 17,9-27,8 %).



Figur 5.6. Diagram som visar förhållandet mellan musslornas ålder och skalens längd i Fallselva, samt de tre allmänna tillväxtkurvorna för flodpärlmusslan.



Figur 5.7. Diagram som visar medel årlig tillväxt (SGI) för flodpärlmusslor i Fallselva ovanför (grön linje) och nedanför (röd linje) kraftverket i Skrankefoss. Trendkurvorna (svarta) är 6:e grads polynomer.

Begna

Begna rinner igenom Vang, Vestre-Slidle, Nord-Aurdal och Sør-Aurdal kommuner, Oppland fylke, och igenom Ringerike kommun, Buskerud fylke. Det man kallar Begna älv i Sør-Aurdal är en sträcka på c. 40 km från Bagn centrum (Bagn kraftverk) ner till fylkesgränsen vid Buskerud. Nord om Bagn finns det 18 reglerade magasin i vattendraget. Det nedersta magasinet är Aurdalsfjorden. Från Aurdalsfjorden förs vattnet i en c. 5 km tunnel, via Bagn kraftverk (satt i drift i 1963) och ut i Begna. I Begna finns flodpärlmusslan bara nedanför Bagn (Larsen 2000).

Nedströms kraftverket i Bagn finns det ett vattenföringskrav på minst 6 m³/s, men vattenföringen är sällan mindre än 12 m³/s. Oppland Energiverk fick 1994 en koncession för att bygga ut Eidsfossen och bygga Eid kraftverk i Begna. Utbyggnaden startade hösten 1997 och kraftverket stod färdig år 2000. Eidsfossen var en c. 1100 meter lång sträcka med ett fall på c. 10 m. Ovanför fördämningen finns det nu ett 2 km långt intagsmagasin och nedanför den är vattendraget kanaliserat på en 1,3 km lång sträcka.

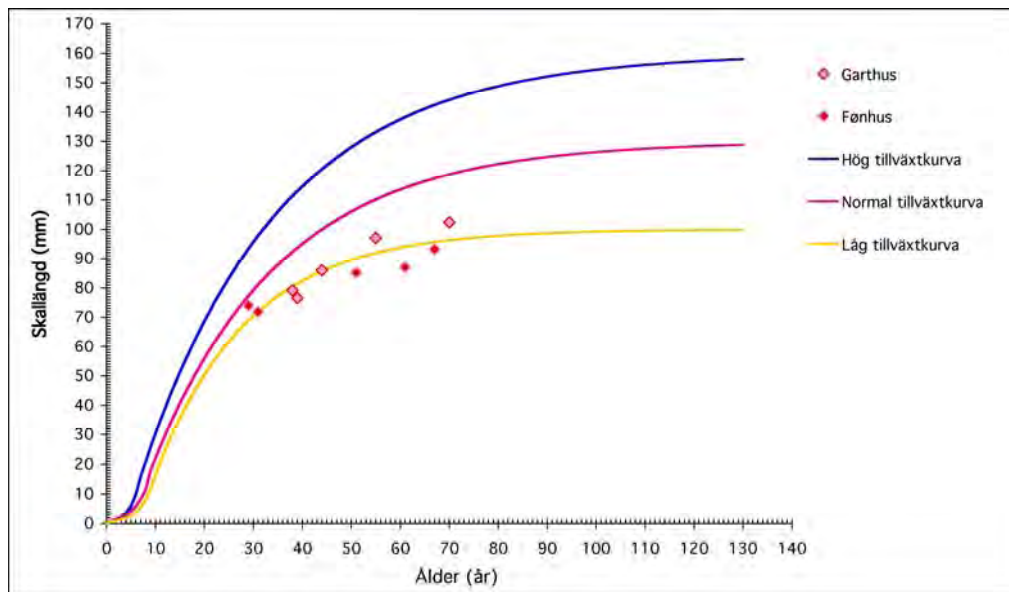
Från Begna har 10 musslor insamlats under 2010 (**tabell 5.1**) vid stationerna Fønhus och Garthus. Den yngsta musslan är 29 år och den äldsta 70 år. Skallängden varierar mellan 71,9 och 102,4 mm.

Musslorna i Begna var relativt små i relation till deras ålder så att deras tillväxt följer den låga tillväxtkurvan (**figur 5.8**). De visar också en viss variation när det gäller den årliga tillväxten (**figur 5.9**). Dock, medelvärde på den årliga tillväxten visar liknande variationer både vid Fønhus (ovanför Eidsfossen) och vid Garthus (nedanför Eidsfossen) med en sämre tillväxt mellan 1977 och 1980, mellan 1985 och 1990 och mellan 1995 och 2000, samt mellan 2006 och 2009 (**figur 5.9**). Utbyggandet av Eidsfoss kraftverk (1997-2000) ser inte ut att ha påverkat den årliga tillväxten hos musslorna nedanför kraftverket (Garthus). Tillväxten hos musslorna nedanför kraftverket är stort sett den samma som hos musslorna ovanför kraftverket (vid Fønhus) både under anläggningsverksamheten och under åren efter att kraftverket var färdigt. Det tyder på att andra faktorer än kraftverket påverkar tillväxten hos flodpärlmusslan i denna del av Begna.

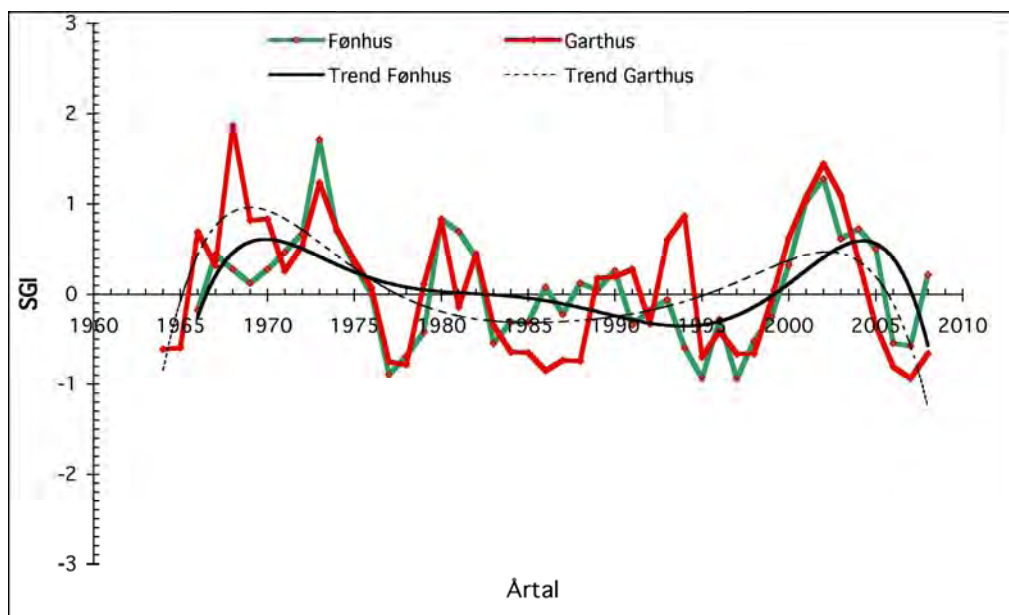
Begna-musslorna har tillväxtstörningar på 32 % av alla år som går att se i tunnslip, och omfattningen var ungefär lik ovanför (medelvärde 30,0 %; variation 12,0-45,2 %) och nedanför kraftverket (medelvärde 34,4 %; variation 30,4-40,6 %).

Numedalslågen

Numedalslågen är Norges tredje längsta älv (336 km). Avrinningsområdet sträcker sig från Larvik by, Vestfold fylke, i söder, till Hardangervidda och Eidfjord kommun, Hordaland fylke, i nordväst. Numedalslågen har en naturlig laxförande vattensträcka på 72 km upp till Hvittingfoss, som också är det viktigaste utbredningsområdet för flodpärlmusslan (Aasestad & Simonsen 2008). Den årliga medelvattenföringen vid utloppet i Larvik är 120 m³/s.



Figur 5.8. Diagram som visar förhållandet mellan musslornas ålder och skalens längd i Begna vid Garthus (nedanför kraftverk) och Fønhus (ovanför kraftverk), samt de tre allmänna tillväxtkurvorna för flodpärlmusslan.



Figur 5.9. Diagram som visar medel årlig tillväxt (SGI) för flodpärlmusslor från de två stationerna i Begna (Fønhus, ovanför kraftverket (grön linje) och Garthus, nedanför kraftverket (röd linje)). Trendkurvorna (svarta) är 6:e grads polynomer.

Under tidiga år har Numedalslågen varit ett viktigt timmerflottningsvattendrag och sedan c. 1920 har den även reglerats för kraftproduktion. I dag finns det sammanlagt 6 magasinkraftverk och 9 älvcraftverk ovanför den naturliga laxförande älvräckan. Exploateringsreglerna fastsatta under den första koncessionen, var baserade på regler

för timmerflottning från 1914. Timmerflottningsbestämmelserna gällde även för koncessionen 1994 och dess förlängning 2001 trots att timmerflottningen upphörde redan 1979. Nuvarande exploateringsregler har något större krav till minsta vattenföring och även om vattenföringen på våren tenderar att bli mindre än tidigare är höstens vattenföring något större. I förhållande till icke-reglerat tillstånd är både vår- och höstfloden dämpad vilket ger en jämnare vattenföring året runt. Vinter-vattenföringen är dock lite större än vid icke-reglerat tillstånd. Under början av 1900-talet var största dygnsmedelvattenföring i många av åren väsentlig större än efter 1940 (Sundt-Hansen m.fl. 2012).

Reglerad vattenföring i juli-augusti är i genomsnitt större än i icke-reglerat tillstånd, och särskilt under torra år är det sannolikt att den ökade vattenföringen jämfört med icke-reglerat förhållande bidrar väsentlig till ökat habitattillgång. Vattentemperaturen i juli-augusti kan bli ganska hög i Numedalslågen, med genom-snittstemperaturer upp mot 17-18 °C, och maximala temperaturer över 20 °C (som antas vara övre gräns för optimal tillväxt) vilket kan påverka musslornas tillväxt negativt och orsaka tillväxtstörningslinjer. Vattentemperaturen kan variera avsevärt mellan år. I 2006 var t.ex. vattnets dygnsmedeltemperatur över 20 °C i 56 % av det totala timantalet under denna period medan den i 2007 aldrig var över 20 °C.

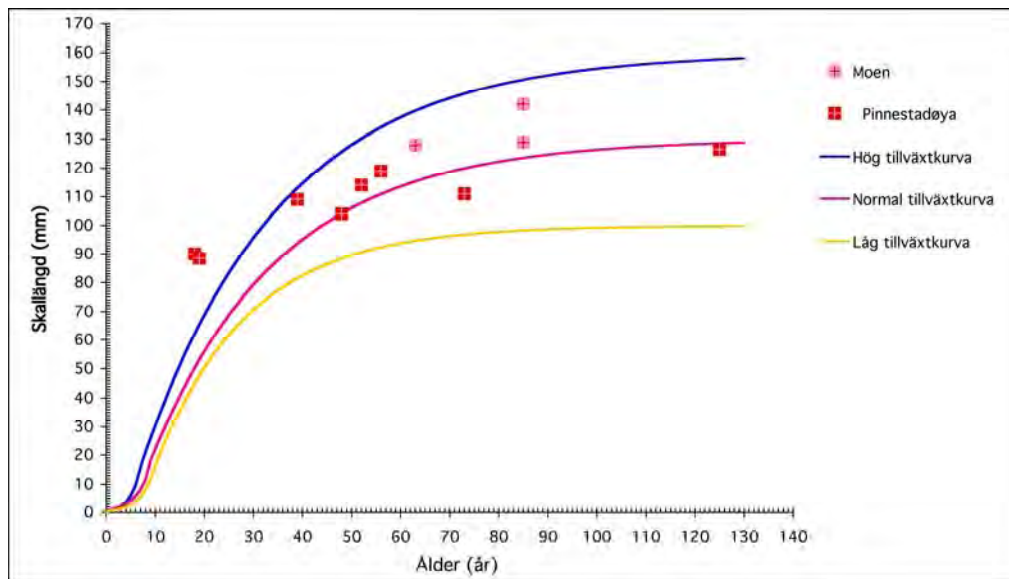
Under 2009 har tre musslor insamlats vid Moen och 2008 har ytterligare åtta musslor insamlats vid Pinnestadøya (Dunca 2009) (**tabell 5.1**). Den yngsta musslan är 18 år och den äldsta 125 år. Skallängden varierar mellan 88,5 och 142,0 mm.

Längd i relation till ålder på musslorna från Numedalslågen ger en tillväxttakt mellan den höga och normala tillväxtkurvan (**figur 5.10**). I Numedalslågen har musslorna växt med ungefär samma takt i de båda populationerna förutom under perioden 1980-1990 (**figur 5.11**). Musslor från Moen visar en lägre tillväxt än genomsnittet under 1980-talet samt enskilda år runt 2000. En mussla från Pinnestadøya har en kraftig tillväxtreduktion under perioden 1910-1930. Därefter ökar tillväxten igen fram mot 1945 då växten i större grad stabiliserar sig omkring medelvärden.

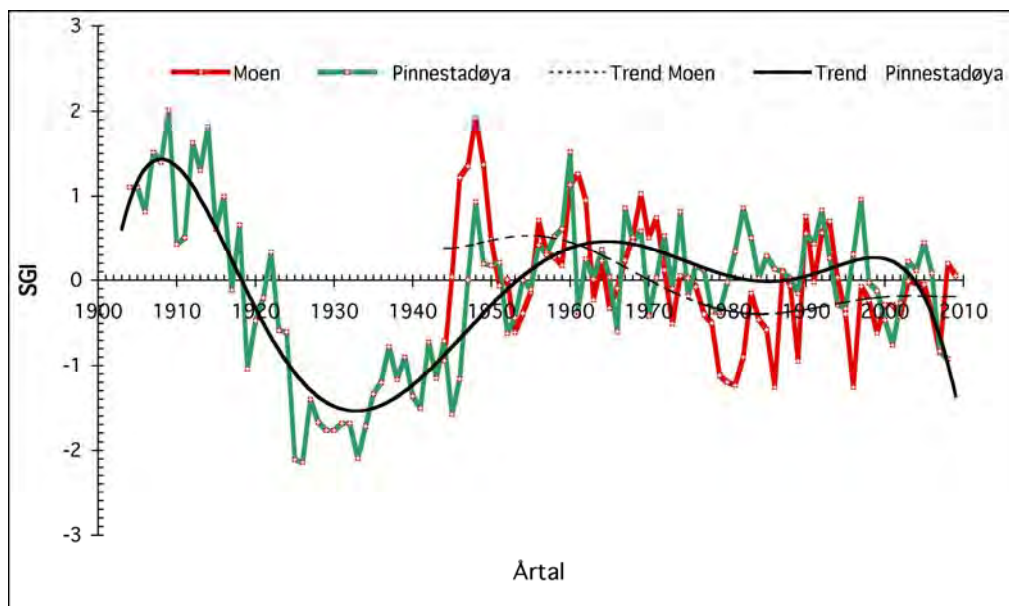
Musslorna i Numedalslågen har tillväxtstörningar på c. 34 % av alla år som går att se i tunnslip (variation 6,7-87,5 %).

Skauga

Skauga ligger i Rissa och Leksvik kommuner, Sør-Trøndelag fylke. Svartelva Kraftverk utnyttjar fallet på c. 110 m från Storvatnet till älven Skauga i Skaugdalen, Rissa. Storvatnet är intags- och regleringsmagasin för kraftverket. Från Storvatnet förs vattnet genom tilloppstunnel fram till kraftverket och sedan vidare genom en avloppstunnel ut i Skauga. Arbetet med kraftverket startade 1957 och det sattes i drift vid årsskiftet 1959/1960. Kraftverket blev senare moderniserat under 1996. För att stimulera laxvandringen i Skauga har man åstadkommit korta översvämningar under alla år. Beståndet av lax och havsöring karaktäriseras som svaga och är starkt påverkade av den omfattande regleringen av vattendraget (Arnekleiv 1994).



Figur 5.10. Diagram som visar förhållandet mellan musslornas ålder och skalens längd i Numedalslågen vid Moen och Pinnestadøya nära Brufoss, samt de tre allmänna tillväxtkurvorna för flodpärlmusslan.

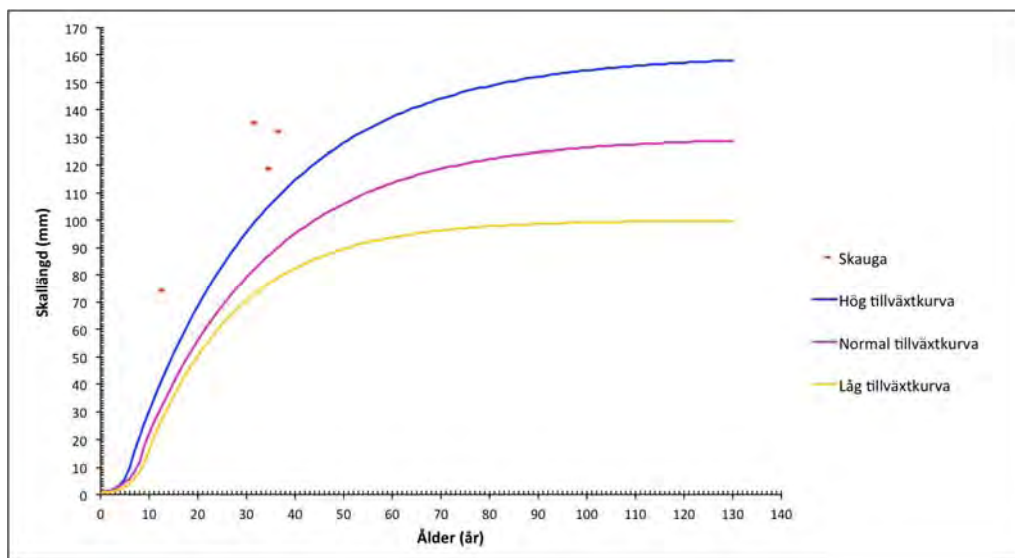


Figur 5.11. Diagram som visar medel årlig tillväxt (SGI) för flodpärlmusslormusslor från de två stationerna i Numedalslågen (Moen (röd linje) och Pinnestadøya (grön linje)). Trendkurvorna (svarta) är 6:e grads polynomer.

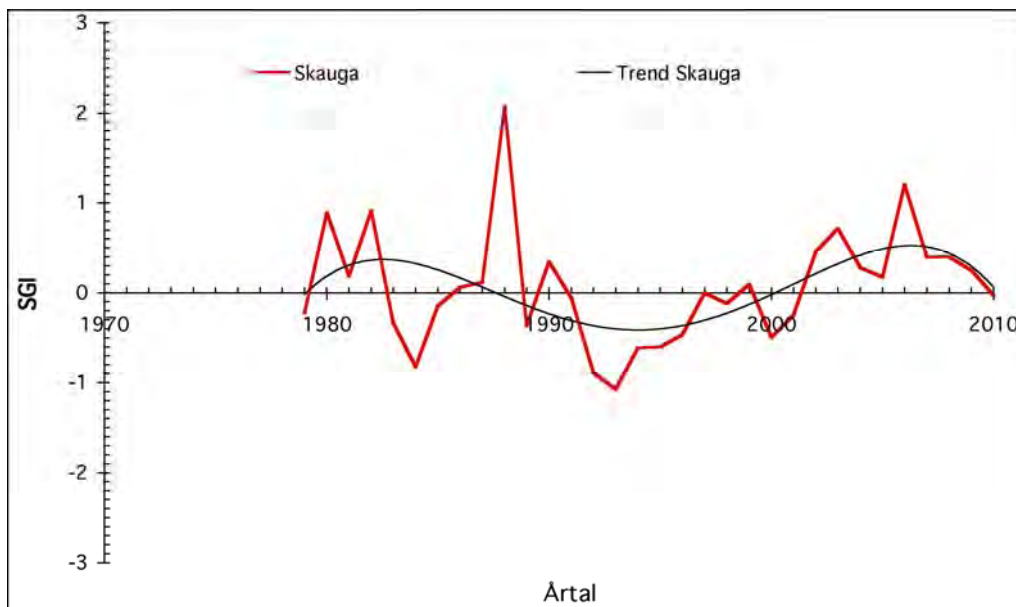
Flodpärlmusselbeståndet är också beskrivet som svagt i Skauga (Berger 2010). Kallare vatten från Storvatnet och Svartelva sänker vattentemperaturen något nedströms sammanflödet med Skauga. Regleringen har också medfört stark reduktion av vattentäckt areal i Skauga.

Från Skauga har fyra musslor insamlats under 2011 (**tabell 5.1**) från Foss. Den yngsta musslan är 12 år och den äldsta bara 36 år. Skallängden varierar mellan 74,4 och 135,4 mm.

Musslorna har växt mycket bra och hamnar över den höga tillväxtkurvan (**figur 5.12**). Skauga-musslorna (insamlade vid Foss) visar en sämre tillväxt mellan 1990 och 2000 (**figur 5.13**). Kallare vatten från Storstvatnet sänker Skaugas vattentemperatur något.



Figur 5.12. Diagram som visar förhållandet mellan musslornas ålder och skalens längd i Skauga, samt de tre allmänna tillväxtkurvorna för flodpärlmusslan.



Figur 5.13. Diagram som visar medel årlig tillväxt (SGI) för flodpärlmusslor från Foss stationen i Skauga (röd linje). Trendkurvan (svart) är en 6'e grads polynom.

Musslorna i urvalet är dessvärre ej gamla nog för att fånga upp någon direkt effekt på tillväxten i samband med bygget och uppstarten av kraftverket.

Musslorna i Skauga har få tillväxtstörningar: bara i c. 12 % av alla år som går att se i tunnslip (variation 0-21,4 %).

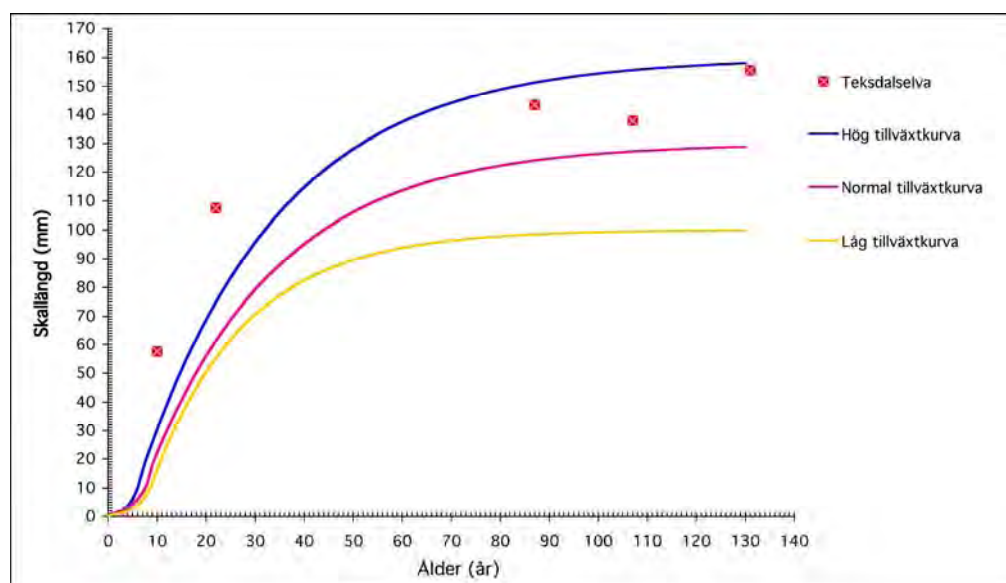
Teksdalselva

Teksdalselva ligger i Bjugn kommun, Sør-Trøndelag fylke. FosenKraftNord (Fosen kommunale kraftlag för 2001) har drivit kraftproduktionen i Teksdal sedan 1941. Vattenvägen till Teksdal Kraftstation består av fyra magasin (Laugen, Hildremsvann, Gjølgevann och Teksdalsvann). Från dammen vid Teksdalsvann finns det en sprängd tunnel till kraftstationen med en fallhöjd på 38 m. Flodpärlmusslan finns i Teksdalselva på en sträcka från kraftstationen till utloppet i havet (egna observationer). Mellan utloppet från Gjølgevann och kraftstationen är musslorna frånvarande på grund av reglering och torrläggning av älven.

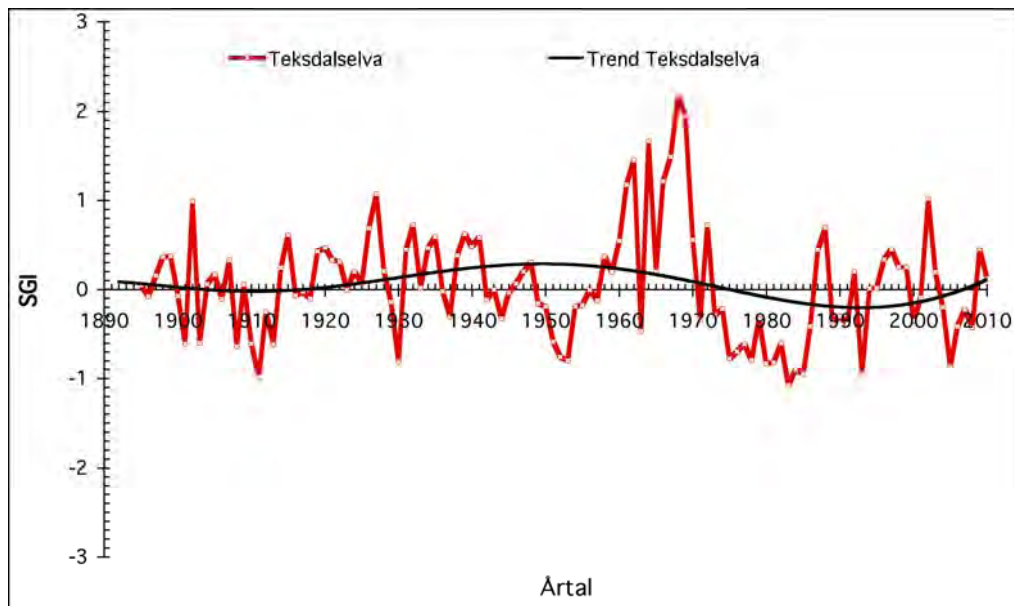
Från Teksdalselva har fem musslor insamlats under 2011 (**tabell 5.1**) från Aunet. Den yngsta musslan är 10 år och den äldsta 131 år. Skallängden varierar mellan 57,6 och 155,6 mm.

Teksdalselva-musslorna var stora i förhållande till deras ålder och har därmed en hög tillväxttakt (**figur 5.14**). Den årliga tillväxten var bra mellan 1960 och 1970, och något sämre i början av 1950-talet samt mellan 1975 och 1985 (**figur 5.15**).

Musslorna i Teksdalselva har få tillväxtstörningar, bara c. 15 % av alla år som går att se i tunnslip (variation 0-30,8 %).



Figur 5.14. Diagram som visar förhållandet mellan musslornas ålder och skalens längd i Teksdalselva, samt de tre allmänna tillväxtkurvorna för flodpärlmusslan.



Figur 5.15. Diagram som visar medel årlig tillväxt (SGI) för flodpärlmusslor vid Aunet stationen i Teksdalselva (röd linje). Trendkurvan (svart) är en 6:e grads polynom.

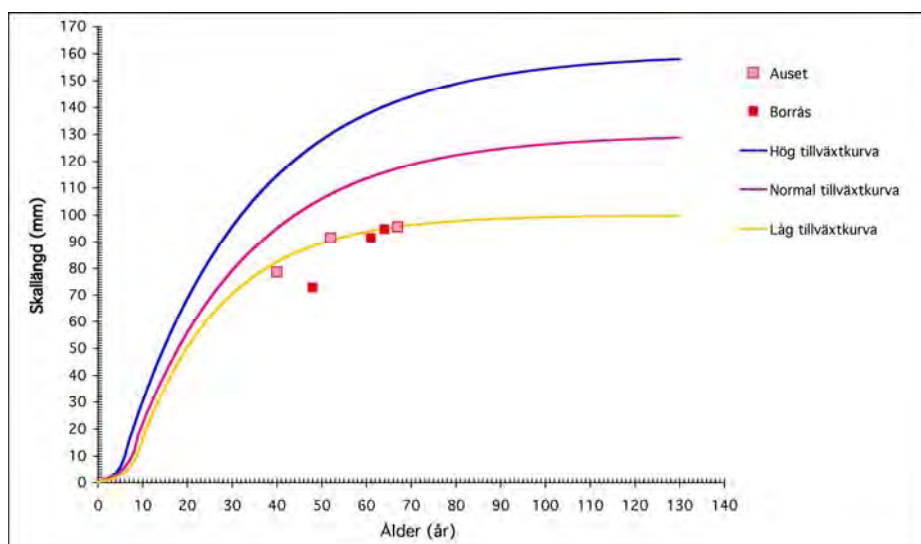
Borråselva

Gråelvattendraget, som ligger i Stjørdal kommun, Nord-Trøndelag fylke, är reglerat för utbyggande av kraftverk och är fördämt vid Ausetvatn, Almovatn/Buvatn och Liavatn utlopp. Borråselva är den delen av vattendraget som ligger mellan Ausetvatn och Almovatn/Buvatn. År 1910 startade utbyggandet av Skulbørstadfoss kraftverk nedanför Liavatn. Regleringsdammen i Almovatn-Buvatn blev byggd 1923 och den i Ausetvatn 1926. Dessa två sjöar fungerar som vattenmagasin för Liavatn som är intagsmagasin för Skulbørstadfoss kraftverk. Ausetdammen blev restaurerat första gång 1963. Ett sista ombygge av den existerande fördämningen påbörjades 2008 och orsakade mycket grumligt vatten i perioder och lägre vattenflöde. Sprängningsarbete har förekommit och delar av dammen har tagits bort för att sedan bygga om till en högre damm.

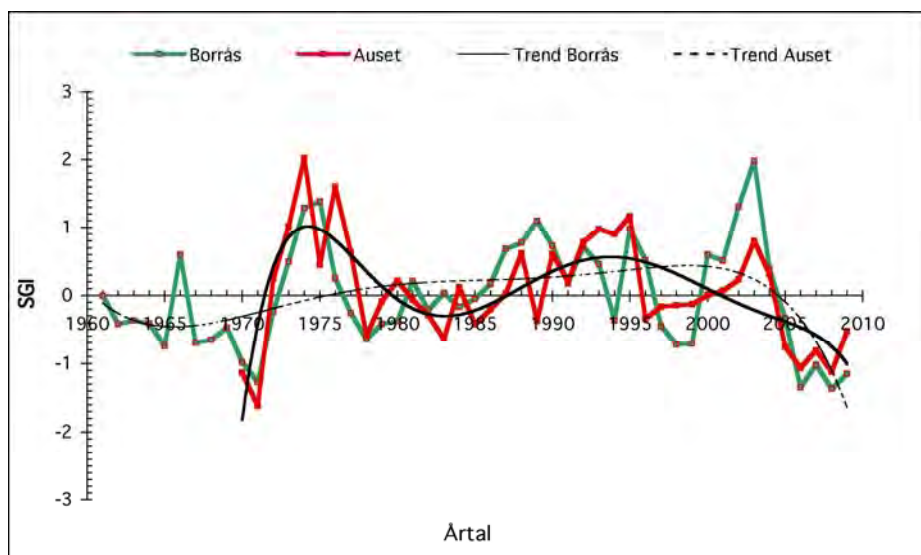
Vattenföringen i Borråselva styrs genom att öka eller minska öppningen av luckan i dammen. Under enstaka år kan vattenföringen variera betydlig som en följd av nedtapning av Ausetvatn med påföljande stängning av luckan. Det händer sällan att luckan är helt stängd, men det har förekommit tre gånger under åren 1996-2005: april-maj 1996, september-november 1997 och maj-juni 2001. Flodpärlmusslan påträffas i Borråselva på hela den 7,8 km långa sträckan mellan Ausetvatn och Almovatn-Buvatn (Larsen m.fl. 2008b, Larsen 2008a).

Under 2010 har 6 musslor insamlats (**tabell 5.1**) vid stationerna Auset och Borrås: 0,4 och 3,7 km från utloppet av Ausetvatn. Den yngsta musslan är 48 år och den äldsta 67 år. Skallängden varierar mellan 72,8 och 95,6 mm.

Musslorna i Borråselva var små i relation till deras ålder och följer den låga tillväxtkurvan (**figur 5.16**). I Borråselva har musslorna från båda stationerna (Auset och Borrås) en liknande årlig tillväxt med sämre tillväxt på 1960- talet och början av 1970-talet (med minimum 1971), samt på 1980- och 1990-talet (med minima 1978, 1983 och 1997-1999). Även efter 2006 har musslorna växt dåligt (**figur 5.17**). Vid Auset sammanfaller en kraftigt minskad tillväxt efter 1996 med att vattnet i magasinet har tappats och vattenflödet i älven sjunkit (Larsen m.fl. 2008b).



Figur 5.16. Diagram som visar förhållandet mellan musslornas ålder och skalens längd i Borråselva vid station Auset och Borrås, samt de tre allmänna tillväxtkurvorna för flodpärlmusslan.



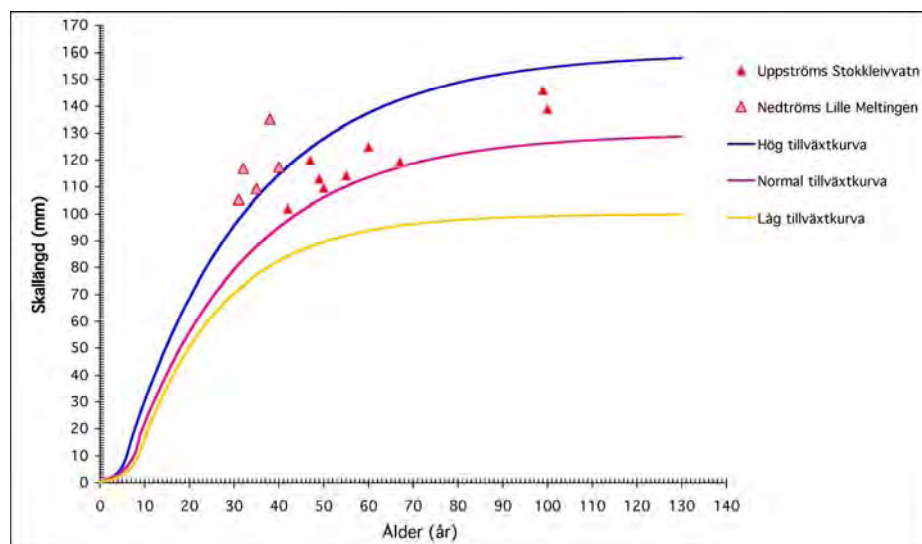
Figur 5.17. Diagram som visar medel årlig tillväxt (SGI) hos flodpärlmusslor från de två stationerna i Borråselva (Borrås (grön linje) och Auset (röd linje)). Trendkurvorna (svarta) är 6:e grads polynomer.

Borråselva-musslorna (båda stationerna) har en hög frekvens av tillväxtstörningar på c. 55 % av alla år som går att se i tunnslip (variation 46,2-69,1 %).

Mossa

Mossavattendraget ligger i Mosvik kommun, Nord-Trøndelag fylke. Vattendraget blev reglerat genom den Kungliga resolutionen 4:e december 1981. Vid regleringen blev 55 % av fältet överfört till Kalddalen för kraftproduktion. Mosvik kraftverk har varit i drift sedan januari 1984. Insjön Meltingen blev reglerad med en sänkning på 21 m. Åfjorden blev avskild med en tröskel mot Meltingen och en tröskel med lucka i utloppet till Mossa med möjlighet för att släppa vatten i Mossa. Regleringen har medfört en starkt reducerad vattenföring under hela året. Restvatten-föringen är 25-30 % vid Lille Meltingen, men mycket av detta kommer från avrinningsområdet runt Langen som rinner ut i Lille Meltingen igenom Tverrelva. Restvattenföringen avtar gradvis från 5 % vid inlopp i Lille Meltingen till 0 % vid Åfjorden. Vårfloden är c. tre veckor tidigare efter regleringen (1984-1991) jämfört med tidigare oreglerat vattendrag (1916-1931). Ursprungligen har flodpärlmusslan varit utbredd i hela laxförande delen av Mossa, och antalet musslor var störst ovanför Lille Meltingen (Dolmen & Kleiven 1997).

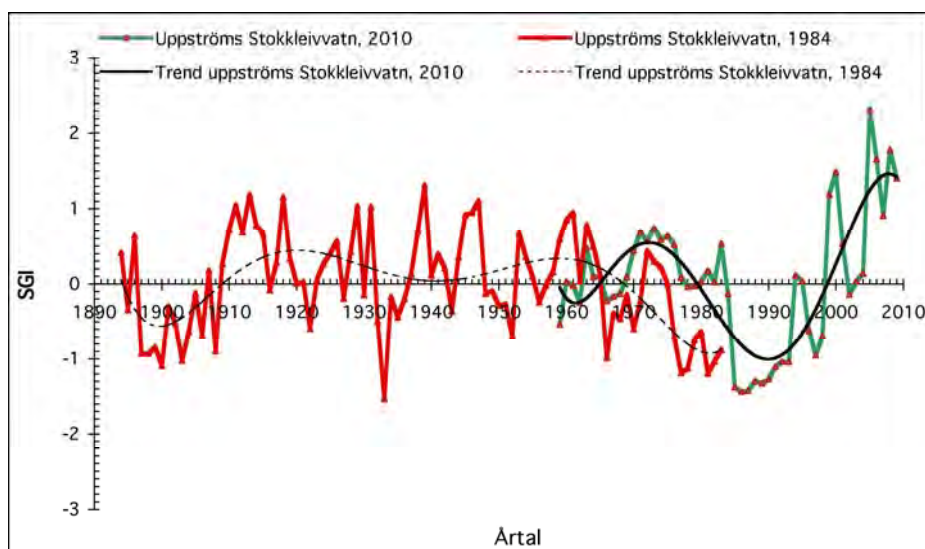
Sammanlagt har 9 musslor insamlats i Mossa uppströms Stokkleivvatn vid två olika tidpunkter: 1984 då vattenregleringssystemet sattes i drift och 2010. Från nedströms Lille Meltingen har 5 musslor insamlats 2011 (**tabell 5.1**). Den yngsta musslan är 31 år och den äldsta 100 år. Skallängden varierar mellan 102 och 146 mm.



Figur 5.18. Diagram som visar förhållandet mellan musslornas ålder och skalens längd i Mossa, uppströms Stokkleivvatn och nedströms Lille Meltingen, samt de tre allmänna tillväxtkurvorna för flodpärlmusslan.

Musslorna nedströms Lille Meltingen var större i relation till deras ålder än musslorna uppströms Stokkleivvatn och befinner sig över den höga tillväxtkurvan (**figur 5.18**).

Den årliga tillväxten för musslorna uppströms Stokkleivvatn visar nedgående trender från början på 1980-talet då fördämningens konstruktion påbörjades (**figur 5.19**). På 1980- och 1990-talet är tillväxten väldigt dålig för att sedan öka efter år 2000.



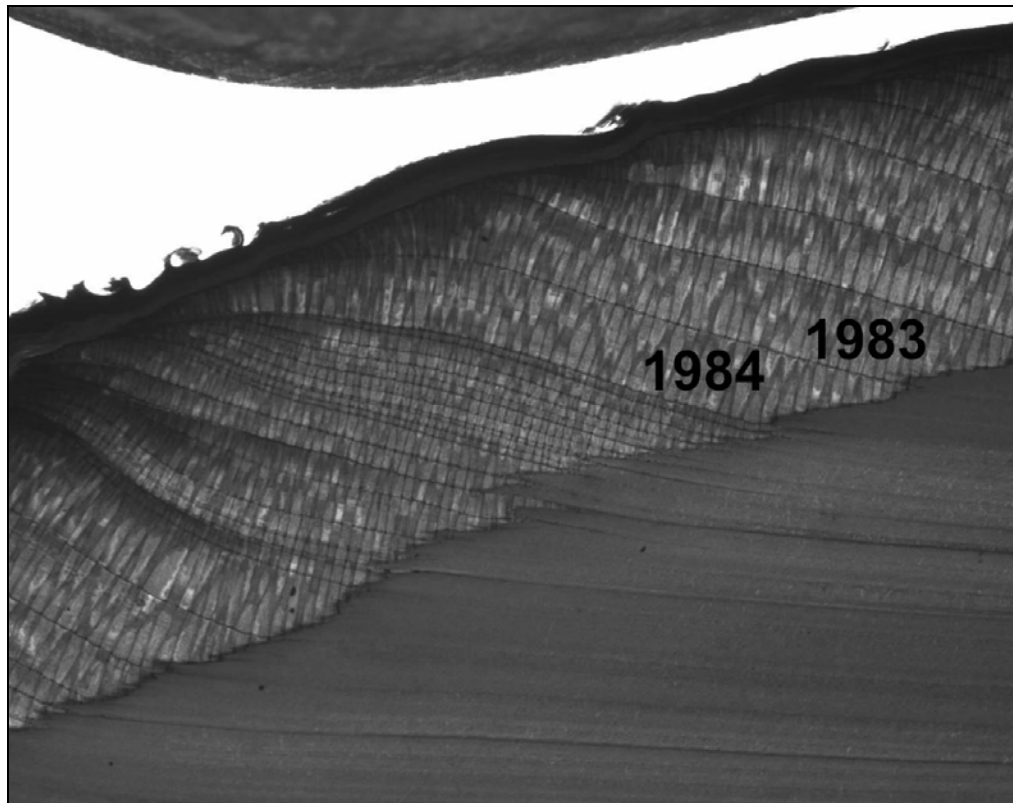
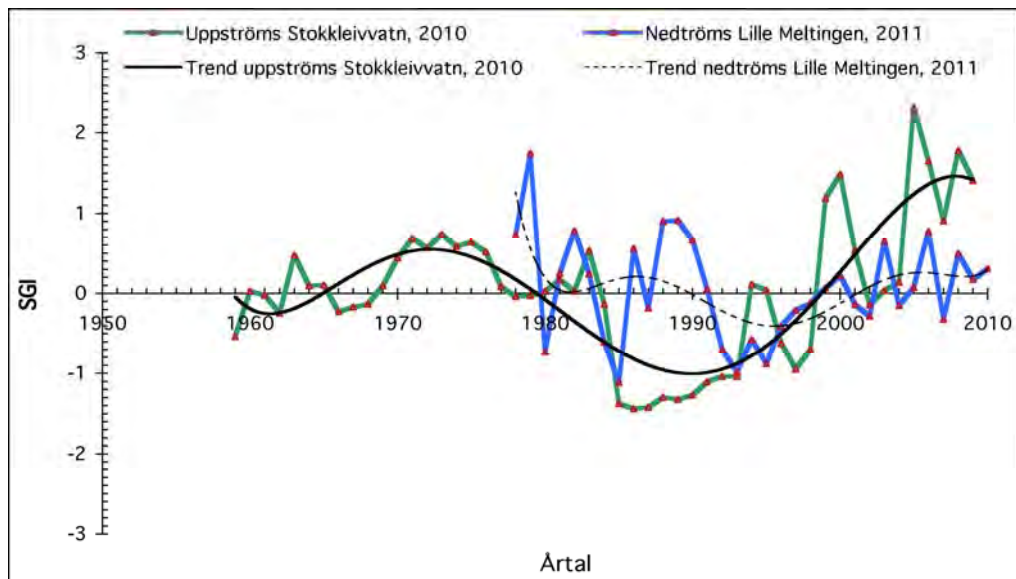
Figur 5.19. Diagram som visar medel årlig tillväxt (SGI) hos musslor från uppströms Stokkleivvatn i Mossa, insamlade 1984 (röd linje) och 2010 (grön linje). Trendkurvorna (svarta) är 6:e grads polynomer.

Musslorna från nedströms Lille Meltingen som befinner sig längre från fördämningen har en jämnare årlig tillväxt (runt $SGI=0$) än musslorna insamlade uppströms Stokkleivvatn. Skillnaderna i tillväxt mellan stationerna är störst under de första åren efter att Mossa blev reglerat och under perioden efter 2000 (**figur 5.20**).

Musslor som blev insamlade 1984 uppströms Stokkleivvatn har lägre frekvens av tillväxstörningar än musslor insamlade 2010 och musslor nedströms Lille Meltingen (**tabell 5.3**).

Tabell 5.3. Tillväxstörningar hos flodpärlmusslor Mossa. Värdena representerar medelvärde och min- och max-värde i procent av andel tillväxstörningar av alla värderade år på de enskilda musslorna. N är antalet musslor.

Station	År	N	Andel tillväxstörningar, medelvärde (%)	Variation i andel tillväxstörningar, min – max (%)
Uppströms Stokkleivvatn	1984	4	9,2	2,6-13,8
Uppströms Stokkleivvatn	2010	4	39,2	32,2-46,5
Nedströms Lille Meltingen	2011	5	50,5	44,4-64,7



Figur 5.20. Diagram som visar medel årlig tillväxt (SGI) för flodpärlmusslor i Mossa insamlade 2010 uppströms Stokkleivvatn (grön linje), samt insamlade 2011 nedströms Lille Meltingen (blå linje). Trendkurvorna (svarta) är 6'e grads polynomer. Tillväxstörningarna i Mossa musslorna uppströms Stokkleivvatn är starkast på 1980- och 1990-talet och tillväxten är starkt reducerad. Foto: Elena Dunca.

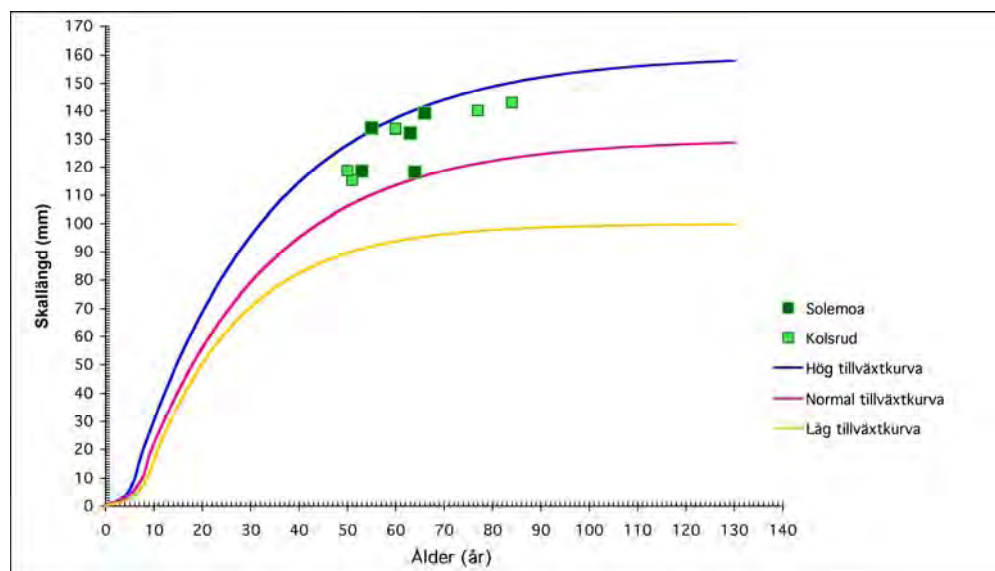
5.3.3 Årlig skaltillväxt i icke-reglerade vattendrag

Simoa

Simoa ligger i Sigdal och Modum kommuner, Buskerud fylke. Ovanför utloppet av Soneren dominerar avrinningsområdet av kalkfattiga bergarter. Bergartene i kombination med sur nederbörd har påverkat vattenkvaliteten och fiskbeståndet (starkt reduktion eller försvinnande av fiskbestånd har förekommit). På kort sikt var kalkning den enda åtgärden som kunde återställa förurningsskadorna. Kalkningsarbetet i Sigdal kom i gång på mitten av 1980-talet. Under åren 1988-1993 blev det kalkat med c. 50 ton kalkstensmjöl per år (4-6 insjöar). Detta ökade under 1994 då kalkningen blev utvidgad till 17 insjöar och det blev ett ytterligare uppsving under 1995 då 57 små och stora insjöar blev kalkade med 323 ton kalkstensmjöl. Fem år senare, under 2000, blev det kalkat i 71 insjöar med 301 ton, och under 2006 blev det utspritt 202 ton kalk i 70 insjöar. Senare har kalkningen trappats ytterligare ner.

Flodpärlmusslan utbreder sig i Simoa från inloppet till Solevatn och nästan ner till Åmot (Blaafargeverket), en älvsträcka på c. 39 km om man utesluter insjöarna. Det viktigaste utbredningsområdet är emellertid den 12 km långa sträckan mellan Solevatn och Soneren (Larsen m.fl. 2007a).

Från Simoa har 10 musslor insamlats under 2010 (**tabell 5.2**) vid stationerna Solemoa och Kolsrud. Den yngsta musslan är 50 år och den äldsta 84 år. Skallängden varierar mellan 115,3 och 143,0 mm.

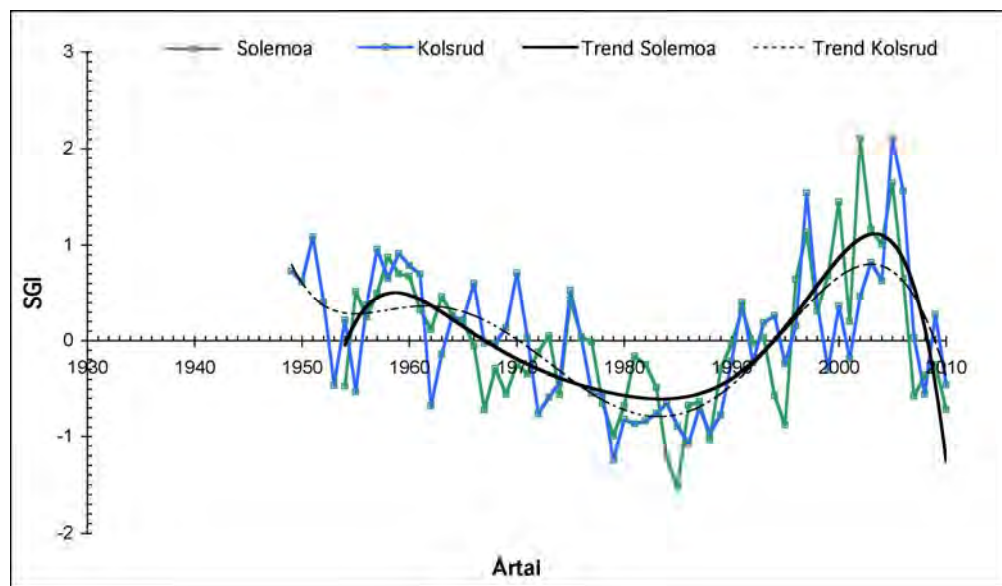


Figur 5.21. Diagram som visar förhållandet mellan Simoa-musslornas ålder och skalens längd och de tre allmänna tillväxtkurvorna för flodpärlmusslan.

Musslornas tillväxt hamnar mellan den höga och normala tillväxtkurvan (**figur 5.21**). Simoa är ett icke-reglerat vattendrag, men är påverkat av förurning och kalkning.

Musslorna från Simoa har liknande årlig tillväxt i båda stationerna, med lägre tillväxt mellan 1975 och 1990, samt efter 2007. Det var högre tillväxt mellan 1995 och 2005 då de högsta doserna av kalk användes i kalkningsåtgärderna (**figur 5.22**). Larsen m.fl. (2007a) fann också att tillväxthastigheten hade ökat i Simoa på 2000-talet, och tio år gamla musslor var i genomsnitt 22 mm längre år 2006 jämfört med beräkningar gjorda år 1995.

Musslorna från Simoa visar en hög frekvens av tillväxtstörningar. Den högsta frekvensen av tillväxtstörningar har registrerats i musselskal från Solemoa (60,8 %; variation 41,7-76,6) vilket är mer än dubbelt så mycket som i skalen från Kolsrud (25,5%; variation 16,9-44,9 %).



Figur 5.22. Diagram som visar medel årlig tillväxt (SGI) för flodpärlmusslor i Simoa insamlade vid Solemoa (grön linje) och Kolsrud (blå linje). Trendkurvorna (svarta) är 6:e grads polynomer.

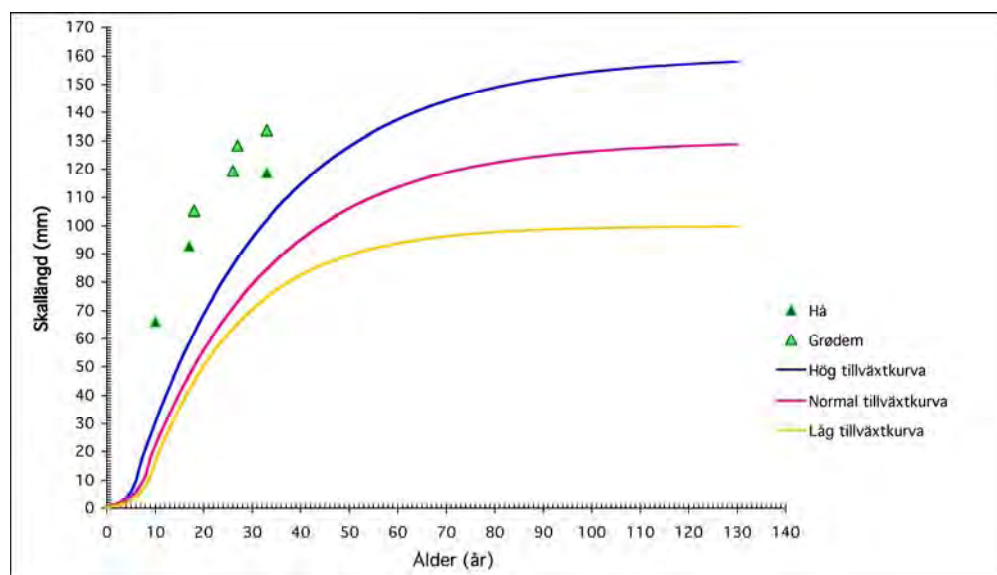
Håelva

Håelva-vattendraget ligger huvudsakligen i Hå och Time kommuner, Rogaland fylke. De nedre delarna av vattendraget är påverkade av avrinning från jordbruksmark och utsläpp från tätorter. I tillägg har flera större ingrepp gjorts i vattendraget. På gamla kartor var älven mycket bredare och det var flera insjöar. År 1909 blev vattenståndet sänkt och 1,4 km² blev frigjort till odling. Mycket av älvbredden är stensatt på senare tid för att förhindra översvämningar. Trots detta fortsätter Håelva att ha ett fint bestånd av flodpärlmusslor, som förekommer på en c. 16,5 km lång älvsträcka. Dock, är rekryteringen svag idag och uppväxtförhållandena varierar längs vatten-draget. Dessa är sämst i vattendragets nedre del (Hå), men något bättre mellan Oma och Haugland (bl.a. Grødem) där mer än 90 % av hela beståndet förekommer (Larsen & Berger 2010).

Från Håelva har 7 musslor insamlats under 2010 vid stationerna Grødem och Hå (tabell 5.2). Den yngsta musslan är 10 år och den äldsta bara 33 år. Skallängden varierar mellan 66,2 och 133,7 mm.

Håelva-musslorna var mycket stora i relation till deras ålder och hamnar långt över den höga tillväxtkurvan (figur 5.23). Håelva-musslorna växer på ett liknande sätt på båda stationerna förutom mellan 1990 och 2000 då musslorna från Hå har en lägre årlig tillväxt (figur 5.24).

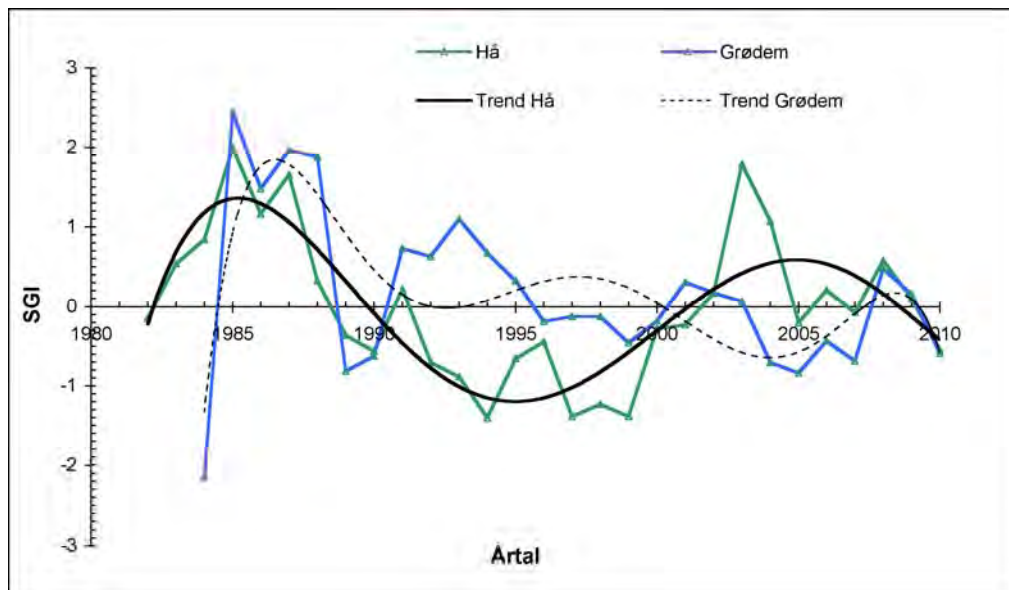
Vissa musslor i Håelva har få tillväxtstörningar (7-8 %) medan andra har många tillväxtstörningar (56 %), alltså stor variation. Medelvärde på Grødem och Hå var respektive 33,0 och 20,6 %.



Figur 5.23. Diagram som visar förhållandet mellan Håelva-musslornas ålder och skalens längd och de tre allmänna tillväxtkurvorna för flodpärlmusslan.

Figga

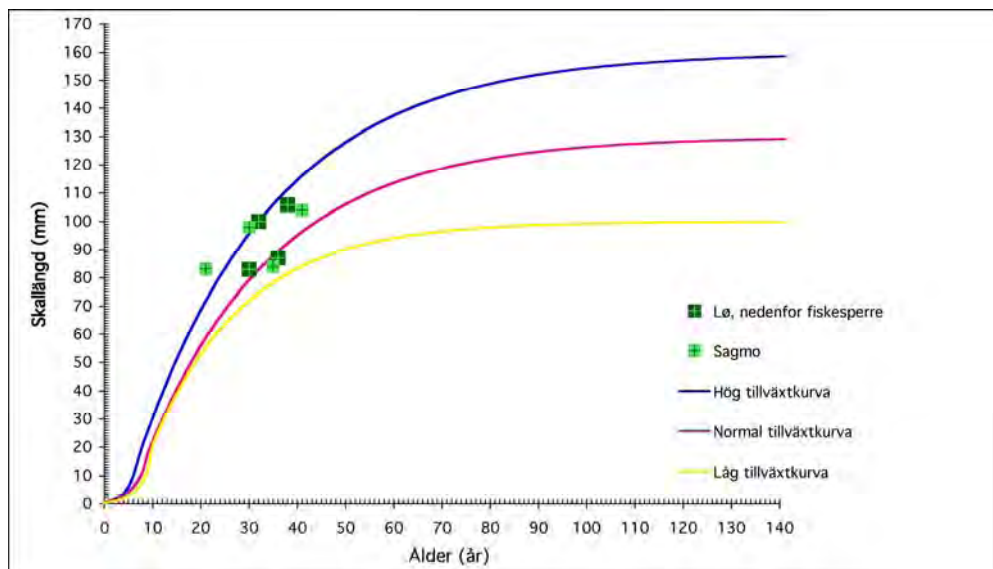
Figga ligger i Steinkjer kommun, Nord-Trøndelag fylke och kommer från Leksdalsvatnet (70 m ö.h.) 14 km från utloppet i sjön. Laxparasiten *Gyrodactylus salaris* blev överförd med infekterade yngel till Figga år 1977. I ett försök att begränsa utbredningen av parasiten byggdes 1988 en fiskspärr vid Lø (c. 1,3 km från utloppet i sjön). Figga blev också rotenonbehandlad för första gången 1993, men parasiten har dykt upp igen och ytterligare tre större behandlingar mot laxparasiten har genomförts. Trots detta finns flodpärlmusslan på hela sträckan mellan Leksdalsvatnet och utloppet i sjön. År 1999 blev beståndet estimerat till 6,4 millioner individer (Larsen m.fl. 2000; 2011a).



Figur 5.24. Diagram som visar medel årlig tillväxt (SGI) för flodpärlmusslor i Håelva insamlade vid Hå (grön linje) och Grødem (blå linje). Trendkurvorna (svarta) är 6:e grads polynomer.

Från Figga har 8 musslor insamlats under 2009 (**tabell 5.2**) vid stationerna Sagmo och Lø (nedströms fiskespärren). Den yngsta musslan är 21 år och den äldsta 41 år. Skalllängden varierar mellan 84,0 och 108,2 mm.

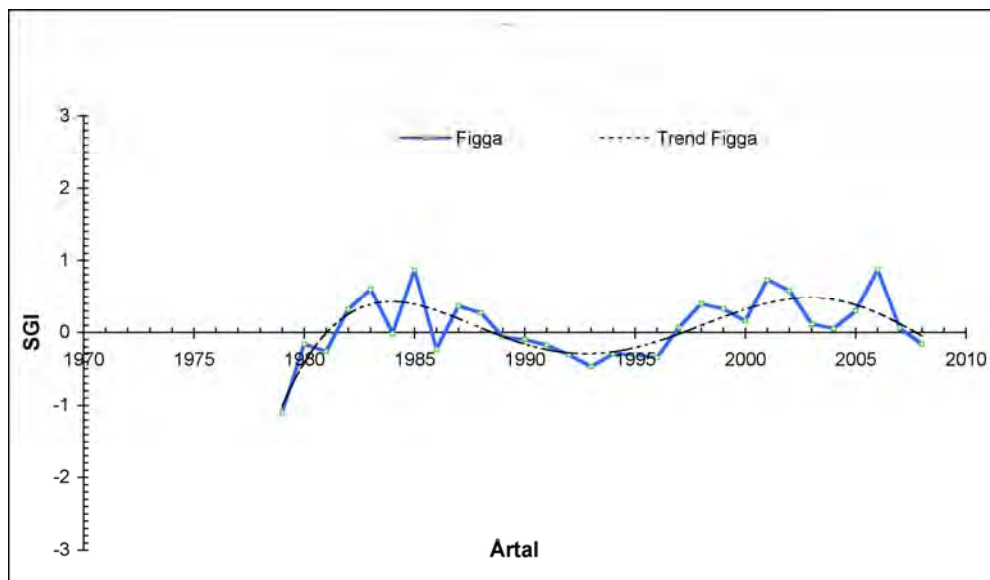
I Figga växer musslorna omkring den höga och normala tillväxtkurvan (**figur 5.25**).



Figur 5.25. Diagram som visar förhållandet mellan Figga-musslornas ålder och skalens längd och de tre allmänna tillväxtkurvorna för flodpärlmusslan.

Musslornas årliga tillväxt är något sämre mellan 1990 och 1995 i jämförelse med de andra åren som ingår i tillväxtdiagrammet (**figur 5.26**). Den årliga tillväxten hos musslor från Figga varierar på ett liknande sätt som den hos musslor från Onga (Dunca m.fl. 2010).

Tillväxtstörningar finns på c. 20 % av alla år som går att se i tunnslip (variation 11,5-30,0 %).



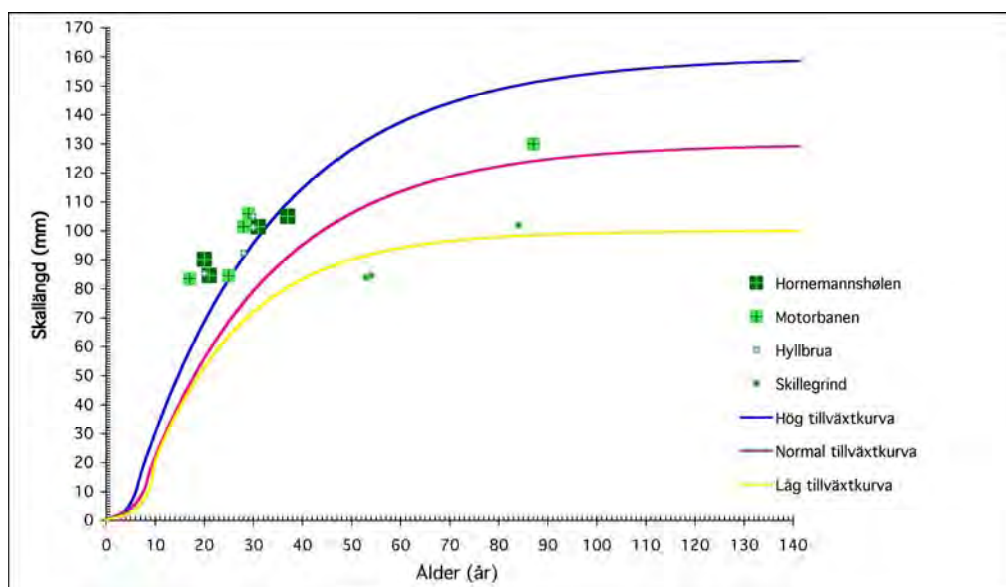
Figur 5.26. Diagram som visar medel årlig tillväxt (SGI) för flodpärlmusslorna Figga (blå linje). Trendkurvan (svart) är en 6:e grads polynom.

Onga

Steinkjer-vattendraget ligger i Steinkjer kommun, Nord-Trøndelag fylke, och består av Byaelva och Onga som rinner samman en kilometer ovanför utloppet i Beistadjorden och bildar Steinkjerelva. Vattendraget har ett avrinningsområde på 2143 km², av vilket Onga utgör 578 km². Onga är ett utpräglat låglandsvattendrag med 93 % av avrinningsområde lägre än 600 m ö.h. och är konstant värvat mot kraftverksbygge. Laxparasiten *Gyrodactylus salaris* som blev överförd med infekterade yngel utsläppta 1977 i Figga spred sig också till Steinkjer-vattendraget. Som ett försök att utrota parasiten rotenonbehandlades Onga 1993 för första gången. Parasiten har dykt upp igen efter det och ytterligare tre större behandlingar har genomförts under senare år. Under 8 av de senaste 18 åren har det varit betydande störningar och kemiska belastningar på miljön runt detta vattendrag. Flodpärlmusslan förekommer vanligtvis i hela vattendraget, men störst täthet finns på den laxförande delen av älven nedströms Støafossen (Larsen m.fl. 2000; 2011a).

Från Oгна har 17 musslor insamlats under 2009 (**tabell 5.2**) vid stationerna Skillegrind, Hyllbrua, Motorbanen och Hornemannshølen. Den yngsta musslan är 17 år och den äldsta 87 år. Skalllängden varierar mellan 84,6 och 133,9 mm.

Musslorna från Hornemannshølen, Motorbanen och Hyllbrua (stationerna 205, 211 och 215) växer stort sett enligt den höga tillväxtkurvan (**figur 5.27**). Musslorna från Skillegrind (station 221) växer saktare och följer den låga tillväxtkurvan. Den genomsnittliga årliga tillväxten för Oгна-musslorna visar relativt små variationer, men skaltillväxten är något högre än förväntat på 1960-talet ($SGI > 0$) och något lägre under 1940-talet och delar av 1990-talet ($SGI < 0$) (**figur 5.28**).

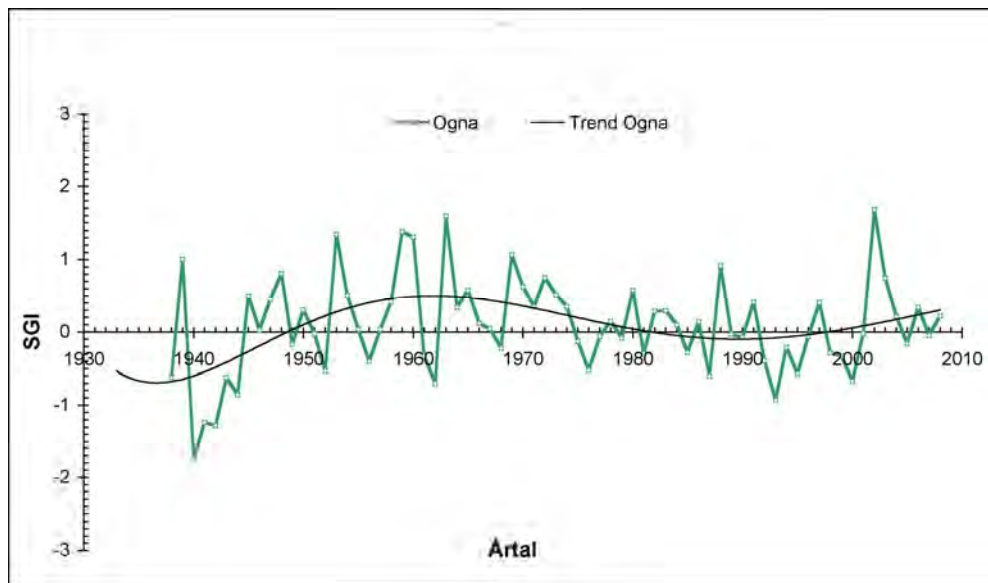


Figur 5.27. Diagram som visar förhållandet mellan Oгна-musslornas ålder och skalens längd och de tre allmänna tillväxtkurvorna för flodpärlmusslan.



Insamlingen av musslor för åldersbestämning gjordes vid fyra stationer i Oгна, bland annat här vid Motorbanen, c. 4 km nedanför Støafossen (station 211). Foto: Bjørn Mejdell Larsen.

Musslorna i Oгна har få tillväxtstörningar (medelvärde 14,0; variation 2,4-32,0 %). Medelvärdet för de olika stationerna var lägst på Skillegrind (6,7 %) och högst på Motorbanen (21,5 %).



Figur 5.28. Diagram som visar medel årlig tillväxt (SGI) hos flodpärlmusslorna i Ognå (grön linja). Trendkurvan (svart) är en 6'e grads polynom.

Aursunda

Aursunda-vattendraget är näringsfattigt och har ett avrinningsområde som täcker en areal på 164 km² fördelat på kommunerna Steinkjer, Namsos och Namdalseid, Nord-Trøndelag fylke. Aursunda-vattendraget har flera äldre flottningsdammar och dammar med trärännor till vattenförsörjning, kraftproduktion och timmerflottnings. Høyfættedammen har varit använd för att reglera vattenföringen i samband med uppgången av lax och för att förebygga utbrott av furunkulos fram till och med 2009. Flodpärlmusslan är utspridd på c. 8 km längs Aursunda-vattendraget. Beståndet är tätt med mycket högt antal individer ända upp till Gjermundsfossen. Beståndet är estimerat till något över 1,4 millioner flodpärlmusslor 2010 (Larsen & Saksgård 2011).

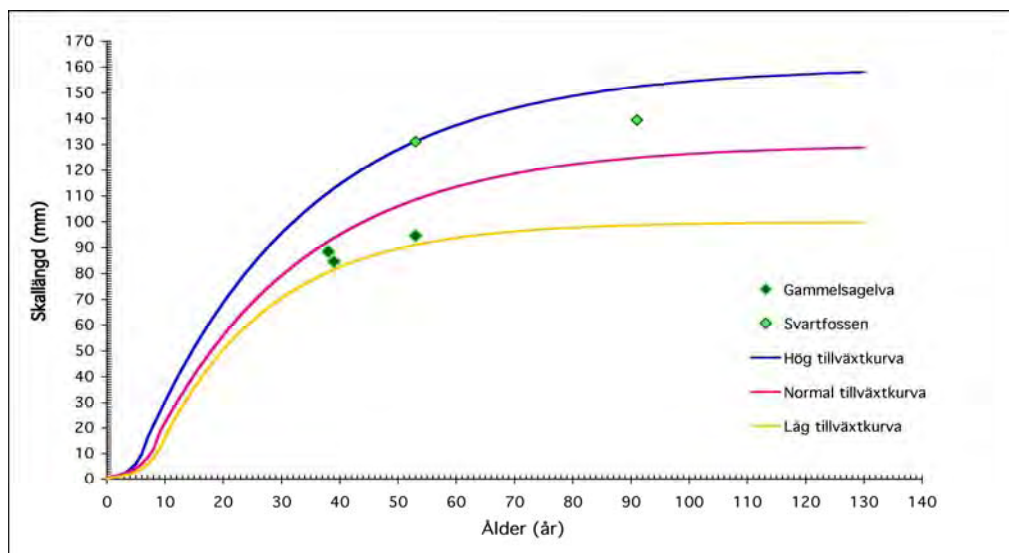
Från Aursunda har 5 musslor insamlats under 2009 och 2010 (**tabell 5.2**) vid Gammelsagelva och Svartfossen. Den yngsta musslan är 38 år och den äldsta 91 år. Skallängden varierar mellan 84,6 och 139,5 mm. De längsta skalerna är insamlade vid Svartfossen (station 7 och 8) och kom från nyligen döda musslor.

Relationen mellan skallängd och ålder (**figur 5.29**) tyder på att musslorna i Aursunda vid Svartfossen har en normal till hög tillväxt medan musslorna från Gammelsagelva har en normal till låg tillväxt.

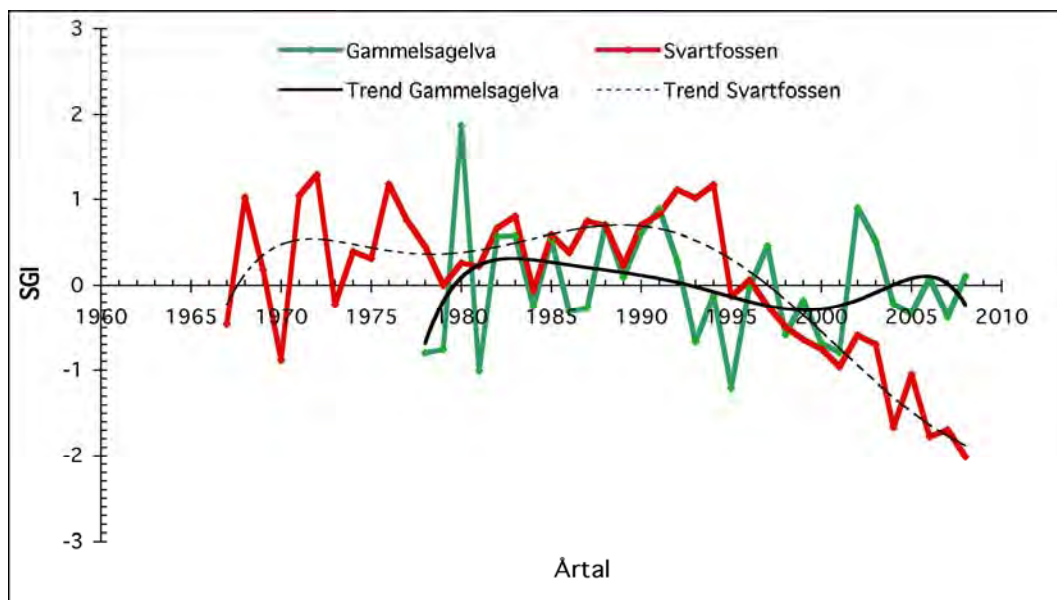
Hos de insamlade musslorna från Svartfossen sjunker den årliga tillväxten fr.o.m. 1995 medan musslorna från Gammelsagelva visar en variation i tillväxten runt nollvärdet av SGI (**figur 5.30**). Det finns ingen god förklaring för denna skillnad.

Musslorna från Gammelsagelva har tillväxtstörningar i 42 % av åren (variation 26,7-54,8) medan musslorna från Svartfossen har 26 % störningar (variation 16,3-36,5 %).

Ibland förekommer svaga och ibland starkare tillväxtstörningar, men dessa störningar förekommer inte alltid under samma tidsperiod på de insamlade musslorna. Olika lokala omständigheter som torrläggningar under kortare perioder och högt flöde, men även tillfälligheter som stenras, upplockning, djur eller fiskare som kliver på dem, kan också orsaka tillväxtstörningar som påverkar musslorna på ett individuellt sätt.



Figur 5.29. Diagram som visar förhållandet mellan musslornas ålder och skalens längd i Aursunda och de tre allmänna tillväxtkurvorna för flodpärlmusslan.



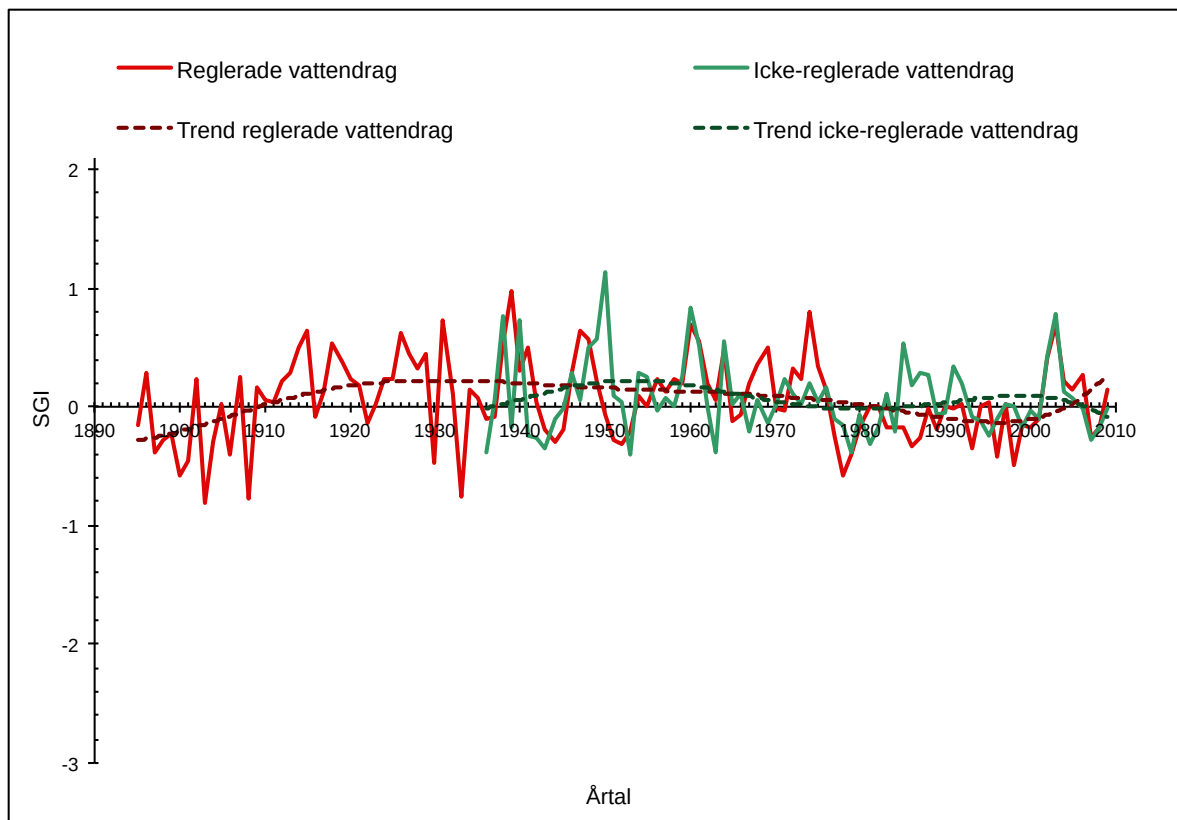
Figur 5.30. Diagram som visar medel årlig tillväxt (SGI) för flodpärlmusslor i Aursunda insamlade vid Gammelsagelva (grön linje) och Svartfossen (röd linje). Trendkurvorna (svarta) är en 6:e grads polynom.



Den dominerande vegetations-typen i Aursundas avrinnings-område är fattig granskog i kombination med myr. Berggrunds-förhållandet och jordarterna ger vattendraget en generellt närings-fattig prägel. Foto: Bjørn Mejdell Larsen.

5.4 Sammanställning och diskussion

Om man jämför den årliga tillväxten hos musslor från reglerade och icke-reglerade vattendrag är trenderna mycket lika med undantag på åren runt 1990 då tillväxten är obetydlig lägre hos musslor från reglerade vattendrag (**figur 5.31**).



Figur 5.31. Diagram som visar medel årlig standardiserad tillväxt (SGI) för flodpärl-musslor i reglerade (röd linje) och icke-reglerade (grön linje) vattendrag. Trendkurvorna (svarta) är 6'e grads polynomer.

Den årliga tillväxten hos de undersökta musslorna varierar dock väldigt mycket mellan älvarna och en direkt effekt av vattenreglering kan därför vara svår att påvisa. Resultaten tyder på att musslornas tillväxt påverkas av flera andra faktorer än vattenregleringen. Tidigare studier (bl.a. Dolmen & Kleiven 2004, Dunca 1999, Geist & Auerswald 2007, Hastie m.fl. 2001; 2003b, Mutvei m.fl. 1996, Mutvei & Westermarck 2001) har visat att faktorer som vattentemperatur, vattenkvalité och flöde, samt substrat påverkar musslornas tillväxt och rekrytering. Själva regleringen av vattenflödet kan troligen påverka musslornas tillväxt indirekt genom att sänka/öka vattenflödet. Detta kan igen sänka/öka vattentemperaturen och tillgången på näring som i sig är viktiga faktorer som påverkar skaltillväxten hos musslor.

Frekvensen tillväxtstörningar hos musslor från reglerade vattendrag är i genomsnitt den samma som hos musslorna från icke-reglerade vattendrag (**tabell 5.4**).

Dock om man räknar tillväxtstörningar bara hos de musselpopulationer som är direktpåverkade av en reglering (närmast och nedströms en fördämning) så är medelvärdet c. 30 %. Försättningsvis, om man bortser från musslorna i Simoa, som är påverkade av förurning och kalkning (vilket också orsakar tillväxtstörningar, bl.a. Dunca 1999, Mutvei & Westermarck 2001) och om man lägger till värdet för musslorna i Mossa som var insamlade 1984, blir medelvärdet för tillväxtstörningar i icke-reglerade vattendrag c. 20 %. Detta kan tyda på att reglering kan ge tillväxtstörningar, men detta borde undersökas närmare, helst experimentellt.

Även om vi inte fann någon generell skillnad mellan reglerade och icke-reglerade vattendrag när det gäller flodpärlmusslans tillväxt, vill man om man ser närmare på vattendragen var för sig och tillväxt över tid, finna exempel på att fördämning, vattenreglering och byggarbete i samband med vattenreglering har påverkat musslornas skaltillväxt negativt. Ett bra exempel på detta är musslorna från Mossa som visar en försämrad skaltillväxt och kraftigt reducerad rekrytering av nya musslor fr.o.m. att byggarbetet startade i början på 1980-talet.

Borråselva är ett annat exempel där byggarbetet kan ha orsakat sämre skaltillväxt hos musslor från båda insamlingsstationerna eftersom båda ligger nedanför fördämningen. Ombygget av en existerande fördämning påbörjades under 2006. I samband med detta har vattenflödet avtagit. Skog har huggits ner för att anlägga en väg nödvändig för att komma fram med grävmaskiner. Sprängningsarbete har förekommit och i perioder har vattnet blivit grumligt. Efter dessa ingrepp fick musslorna sämre tillväxt. Musslorna vid Auset visar också en nedåtgående tillväxttrend mellan 1996 och 2000 då vattnet i magasinet tappades och vattenflödet i älven avtog (Larsen m.fl. 2008b, Larsen 2008a).

Tabell 5.4. Tillväxtstörningar (% av alla värderade år) hos musslor från reglerade och icke-reglerade vattendrag. Värdena representerar medelvärdet av antal år med tillväxtstörningar hos alla undersökta musslor i varje vattendrag.

Lokal nr.	Vattendrag	Tillväxtstörningar medel (%)	Station	Tillväxtstörningar medel (%)	Tillväxtstörningar min-max (%)
REGLERADE VATTENDRAG					
1	Hunnselva	5,0			1,7-6,9
2	Fallselva	29,3			17,9-48,6
			Uppströms Skrankefoss	22,6	17,9-27,8
			Nedströms Skrankefoss	36,0	28,6-48,6
3	Begna	32,2			12,0-40,6
			Fønhus	30,0	12,0-45,2
			Garthus	34,4	30,4-40,6
5	Numedalslågen	34,3			6,7-87,5
			Moen	36,8	30,4-40,9
			Pinnestadøya	31,8	6,7-87,5
7	Skauga	12,3			0-21,4
8	Teksdalselva	14,8			0-30,8
9	Borråselva	55,3			46,2-69,1
			Auset	55,5	46,2-69,1
			Borrås	55,0	48,7-60,4
10	Mossa	44,9*			32,2-64,7
			Uppströms Stokkleivvatn	39,2	32,2-46,5
			Nedströms Lille Meltingen	50,5	44,4-64,7
Medelvärde		28,5			

*Tillväxtstörningar på skal samlade in i 1984 (före reglering) är inte inräknade

Tabell 5.4 *fortsetter.*

Lokal nr.	Vattendrag	Tillväxt-störningar medel (%)	Station	Tillväxt-störningar medel (%)	Tillväxt-störningar min-max (%)
ICKE-REGLERADE VATTENDRAG					
4	Simoa	43,2			16,9-76,6
			Solemoa	60,8	41,7-76,6
			Kolsrud	25,5	16,9-44,9
6	Håelva	26,8			7,1-55,6
			Grødem	33,0	7,1-55,6
			Hå	20,6	8,3-36,7
11	Figga	19,6			11,5-30,0
			Sagmo	21,4	12,9-30,0
			Lø	17,7	11,5-25,0
12	Ogna	14,0			2,4-32,0
			Skillegrind	6,7	2,4-15,9
			Hyllbrua	15,6	4,0-24,0
			Motorbanen	21,5	7,7-32,0
			Hornemannshølen	12,2	5,9-17,2
13	Aursunda	34,1			16,3-54,8
			Gammelsagelva	41,8	26,7-54,8
			Svartfossen	26,4	16,3-36,5
Medelvärde		29,4			

Skaltillväxten varierer ibland mellom ulike platser inom samma vattendrag. Aursunda-musslor är ett bra exempel på detta då musslor från Svartfossen, nedre del av vattendraget, är större än musslor från Gammelsagelva, övre del av vattendraget, vid samma ålder. En förklaring kan vara att musslorna som väljer olika värdfiskarter ("laxmusslor" eller "öringmusslor") skiljer sig genetiskt (Larsen m.fl. 2011b). "Laxmusslor" växer fortare enn "öringmusslor". Detta är visat för flodpärlmusslan i övre och nedre del av Ogna og Aursunda (Larsen m.fl. 2011a, Larsen & Saksgård

2011). Under 1990 drabbades värdfisken i Aursunda av furunkulosis och som åtgärd har mera vatten släppts in mellan 1996 och 2009 för att kyla ner vattendraget. Denna åtgärd burde emellertid ha påverkat båda stationerna likt. Att musslor från Svartfossen har en markant sämre tillväxt under denna period kan kanske tyda på att musslor som växer snabbt är känsligare gentemot miljöförändringar.

I Begna nedanför Bagn styrs vattenföringen av ett kraftverk sedan 1963. Under 1998-1999 började bygget av ett älvkraftverk mellan Fønhus och Garthus som sattes i drift 2000. Under bygget har vattenflödet varit konstant, men mycket partiklar har släppts ut i vattnet. Dammen som byggdes har ökat älvens djup på en sträcka av 2 km ovanför älvkraftverket, och c. 1,3 km nedströms älvkraftverket har kanalisering genomförts. Byggarbetet ser inte ut att ha inverkat på musslornas tillväxt eftersom tillväxtkurvan har samma variation både ovanför och nedanför älvkraftverket.

När det gäller frekvensen av tillväxtstörningar visar musslorna från Borråselva i genomsnitt flest störningar. Mossa-musslor som är insamlade 1984 (innan kraftverksbygget) har markant mindre tillväxtstörningar än musslor insamlade från samma station 2010 (efter reglering). Detta tyder på att själva vattenregleringen, men även byggarbete i samband med detta, kan orsaka tillväxtstörningar hos flodpärlmusslor.

I Simoa (speciellt i övre del vid Solemoa) var det en hög frekvens tillväxtstörningar. Denna älv har varit kraftigt påverkad av förurning, och kalkning har genomförts. I tidigare studier har man sett att kraftiga pH-förändringar i vattendrag i samband med förurning, kalkning och gödsling kan orsaka tillväxtstörningar hos flodpärlmusslan speciellt när buffertkapaciteten är låg (Mutvei m.fl. 1996, Dunca m.fl. 2011). Men också naturligt liten vattenföring och tillfällig torka, samt sena frostperioder på våren och tidig frost på hösten kan orsaka sådana störningar (Dunca m.fl. 2011).

Som vi ser det i Hunnselva behöver inte vattenregleringen påverka musslornas tillväxt om det inte sker en torrläggning eller plötsliga vattenståndsförändringar. I Fallselva, med stora ändringar pga omdirigerat vattenflöde vid flyttning av kraftverk, tyder våra resultat på att musslorna under sista tillväxtåren växte sämre och hade en högre frekvens av tillväxtstörningar på den nya sträckan med minskat vattenflöde.

Våra resultat tyder alltså på att reglering kan ha negativa effekter på flodpärlmusslans skaltillväxt vid extrema torrläggningar och vattenståndsförändringar. Det finns även vissa antydningar på att vattenreglering påverkar musslornas skaltillväxt även indirekt genom en ändring av andra olika faktorer, så som ändringar i vattentemperatur, näringstillgång och/eller vattenflöde. Dock, musslornas skaltillväxt är inte det enda måttet på hur en population mår. En annan viktig sak som man måste ta hänsyn till är rekryteringen i populationen. Vidare studier som tar hänsyn även till rekryteringen i populationer som utsätts för vattenreglering kan ge en bättre bild av vattenregleringens påverkan på flodpärlmusslornas bestånd.

6. Elvemusling i Mossa, Nord-Trøndelag etter regulering

Bjørn Mejdell Larsen & Randi Saksgård

I forbindelse med reguleringen av Mossa ble det gjennomført en befaring til øvre del av vassdraget (ovenfor Stokkleivvatnet) i 1984 og 1985 for å studere bestanden av elvemusling. Dette materialet er nå tatt fram som et referansemateriale til en etterundersøkelse i vassdraget i 2010. Det er ikke noe annet sted i Norge en slik etterundersøkelse er gjennomført tidligere med bakgrunn i referansemateriale fra perioden med tilnærmet naturlige forhold.

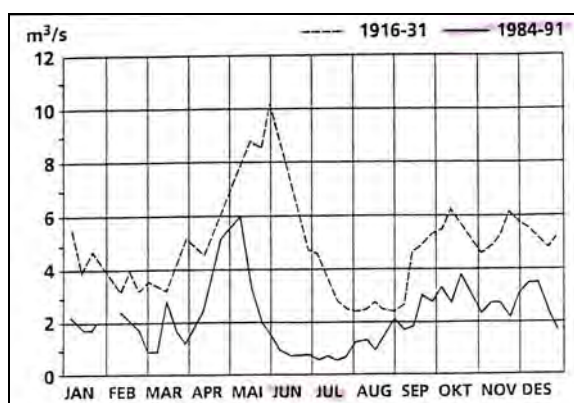
6.1 Innledning

Mossavassdraget ligger i Mosvik kommune i Nord-Trøndelag. Vassdraget har et samlet nedbørfelt på 131 km². En detaljert beskrivelse av vassdraget er gitt av Berger (2011), som også er benyttet som kilde for det som er skrevet her. De største innsjøene i nedbørfeltet er Meltingen og Store og Lille Grønsjø. Innsjøarealet utgjør om lag 10 % av nedbørfeltet. Vassdraget ble regulert ved kgl. res. av 4. des. 1981. Ved reguleringen ble 71,8 km² (55 % av feltet) overført til Kalddalen for kraftproduksjon. Mosvik kraftverk har vært i drift siden januar 1984. Innsjøen Meltingen ble regulert med 21 m senking. Ved reguleringen ble Åfjorden atskilt med en terskel mot Meltingen og en luketerskel i utløpet til Mossa (mulighet for vannslipp). Det er opprettet et magasin i Åfjorden, som i sin helhet skal benyttes for å slippe vann til Mossa. Reguleringen har ført til sterkt redusert vannføring hele året. Totalt uregulert restfelt er 59,2 km² og utgjør 45 % av feltet. Restvannføringen er 25-30 % ved Lille Meltingen, men mye av dette utgjøres av nedbørfeltet rundt Langen, som renner ut i Lille Meltingen gjennom Tverrelva. Restvannføringen i hovedelva synker gradvis fra 5 % ved innløp i Lille Meltingen til 0 % ved Åfjorden.



Reguleringsdammen ved utløpet av Åfjorden med vannslipp til Mossa (0,1 m³/s) i juni 2010. Foto: Bjørn Mejdell Larsen.

I Mossa finnes det vannføringsmålinger ved Oppgrande bru (NVE målestasjon 2274-0). Vannføringen før regulering er beskrevet ved en måleserie fra 1916-1931 (**figur 6.1**). Vannføringen, målt som flerårsmiddel for denne perioden, var ikke lavere enn 2 m³/s på noen dato. I enkelte år var likevel vannføringen i perioder langt lavere enn dette. I 1984-1991 var midlere minimumsverdi i juli 0,16 m³/s. Vårflommen var om lag tre uker tidligere i perioden 1984-1991 sammenliknet med perioden 1916-1931 (Hvidsten mfl. 1992). Før regulering var minimumsvannføringen lavest om sommeren i perioden fra medio juli til begynnelsen av september (anslagsvis 2,5 m³/s). Etter regulering (før minstevannføringsslipp) var vannføringen lavest i perioden fra juni til medio august (anslagsvis 0,4-0,6 m³/s).



Figur 6.1. Vannføring ved Oppgrande bru. Gjennomsnittlig flerårsmiddel for perioden 1916-1931, som viser situasjonene før regulering, er sammenstilt med de første årene etter regulering (1984-1991). Fra Hvidsten mfl. (1992).

6.2 Metode og materiale

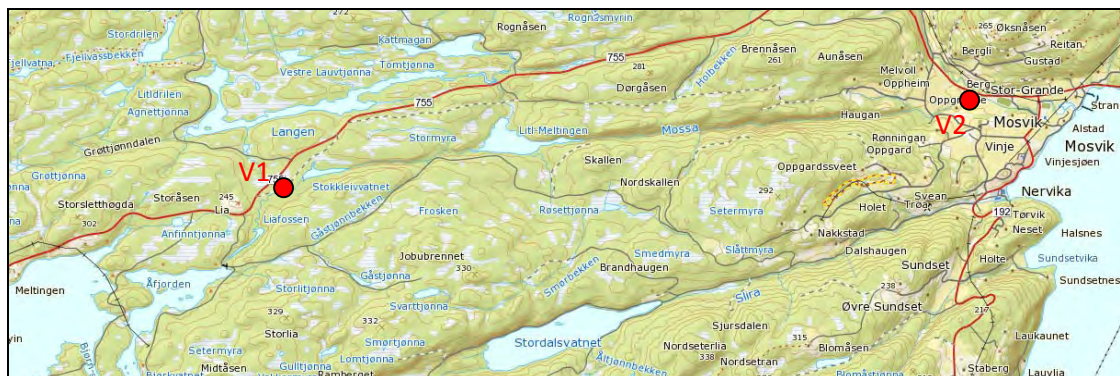
Undersøkelsene av elvemuslingpopulasjonen i Mossa ble gjennomført 20. mai (fiskeundersøkelser), 8.-10. juni (tetthet og lengdefordeling), 18. juni 2010 (supplerende datainnsamling) og 5. august 2011 (graviditet hos muslinger). Et tidligere upublisert materiale fra 22. juni 1984 og 27.-28. juni 1985 er benyttet som referanse. Det var gunstige forhold for gjennomføring av undersøkelsene i alle perioder.

Det ble tatt vannprøver i Mossa fra én stasjon i mai og to stasjoner i juni 2010 (Stasjon V1 og V2; **figur 6.2**). Prøvene ble samlet på 500 ml vannflasker og analysert få dager etter prøvetaking på Analysesenteret i Trondheim.

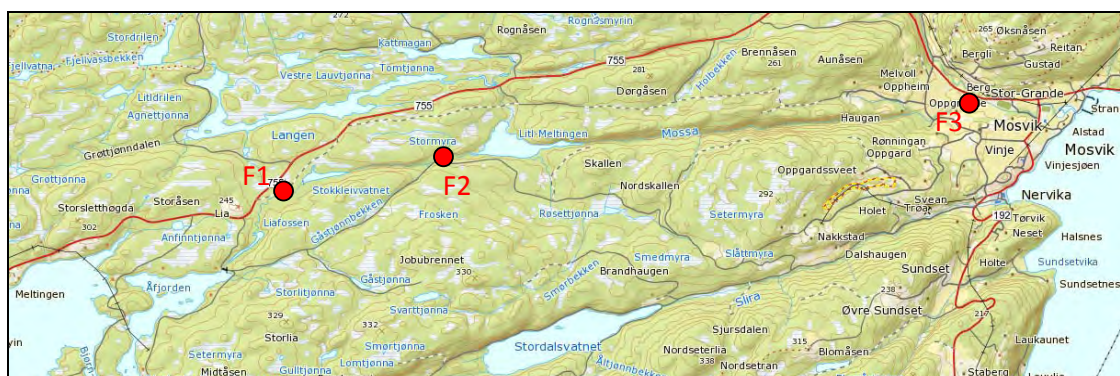
Tetthet av fiskeunger ble ikke undersøkt i forbindelse med undersøkelsen av elvemusling, da det allerede foreligger flere gode ungfiskundersøkelser i Mossa (Korsen 1980, Hvidsten & Johnsen 1984, Hvidsten mfl. 1987, Hvidsten mfl. 1992, Johnsen & Hvidsten 2004, Berger 2011). Mossa inngår også i et overvåkingsprogram for ungfisk i laksevassdrag i Nord-Trøndelag (bl.a. Gorseth 2007).

Det ble imidlertid samlet inn fisk fra tre områder i Mossa for kontroll av antall muslinglarver på fiskens gjeller i mai 2010 (stasjon F1-F3; **figur 6.3**). Ørret forekom i normalt gode tettheter, og det ble tatt vare på til sammen 55 ettårige (1+) og 28 toårige (2+) ørretunger. Laks derimot ble ikke påvist ovenfor Lille Meltingen, og bare tre eldre laksunger ble påvist ved Oppgrande. All fisk ble fiksert på 4 % formaldehyd,

og senere undersøkt med hensyn til forekomst av muslinglarver. Antall muslinglarver ble talt opp på alle gjellene på fisken. Resultatene er presentert som andel infiserte fisk av det totale antall fisk som er undersøkt (= prevalens), gjennomsnittlig antall muslinglarver på all fisk, dvs. snitt av både infiserte og uinfiserte fisk (= abundans) og gjennomsnittlig antall muslinglarver på infisert fisk (= infeksjonsintensitet).



Figur 6.2. Mossa med lokalisering av stasjoner i forbindelse med undersøkelser av vannkvalitet (stasjon V1-V2) i 2010.



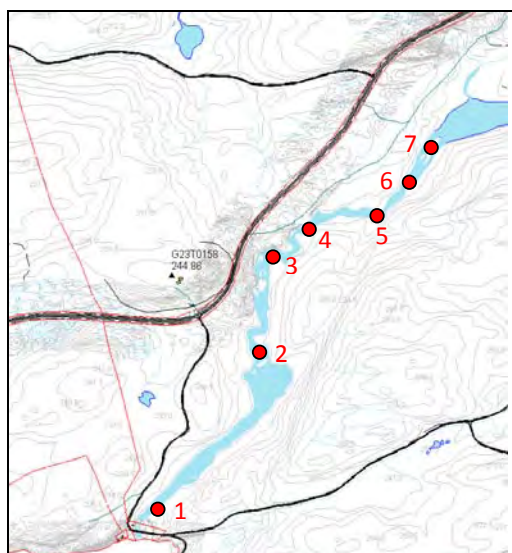
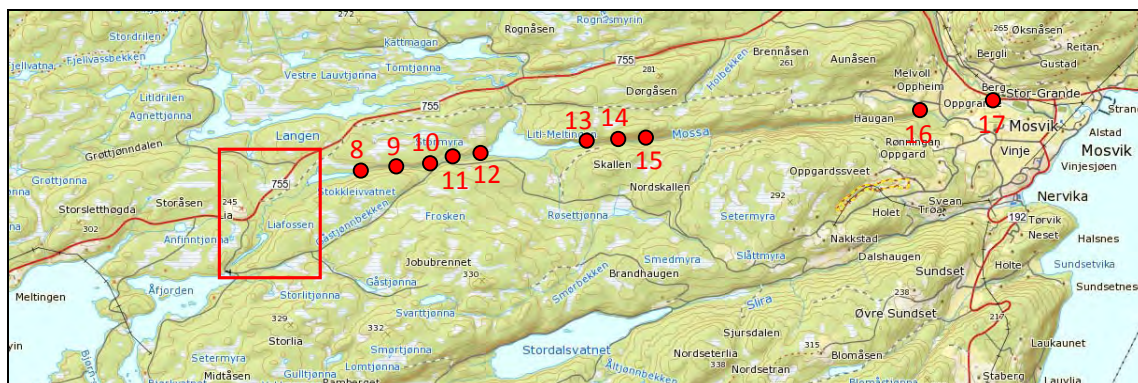
Figur 6.3. Mossa med lokalisering av stasjoner i forbindelse med undersøkelser av ungfisk (gjelleundersøkelser; stasjon F1-F3) i 2010.

Undersøkelse av utbredelse og tetthet av elvemusling ble foretatt ved direkte observasjon (bruk av vannkikkert) og telling av synlige individ (Larsen & Hartvigsen 1999). Sju stasjoner inngikk i undersøkelsene i Mossa i 1984/1985 mellom Åfjorden og Stokkleivvatnet (stasjon 1-7; **figur 6.4**), men tellinger av muslinger (tetthet) ble bare gjort i transekter på tre av stasjonene (stasjon 3, 4 og 6).

I 2010 ble det gjort tellinger i de samme transektene (stasjon 3, 4 og 6), men i tillegg ble det gjennomført tidsbegrensede tellinger (15 minutters søketid) på til sammen 17 stasjoner i Mossa (**figur 6.4**). Transektene ble avgrenset, og flatene (39-55 m² store) ble delt opp i mindre «tellestriper» ved hjelp av kjettinger. Det ble skilt mellom tomme skall (døde dyr) og levende individ. Det ble gjennomført mellom én og

fire tidsbegrensede tellinger av 15 minutters varighet («fritelling») på hver av de 17 stasjonene.

I 1984 ble det samlet inn 361 levende elvemuslinger, som ble lengdemålt med skyvelære til nærmeste millimeter. Dette er et tidligere upublisert materiale, som er inkludert i rapporten som et viktig referansemateriale.



Figur 6.4. Mossa med lokalisering av stasjoner i forbindelse med undersøkelser av utbredelse og tetthet av elvemusling (stasjon 1-17) i 2010.

I 2010 ble det samlet inn levende elvemusling for lengdemåling på to stasjoner i Mossa nedenfor Lille Meltingen (stasjon 13 og 14), en stasjon mellom Lille Meltingen og Stokkleivvatn (stasjon 11) og fire stasjoner i øvre del av Mossa mellom Stokkleivvatn og Liafossen (stasjon 3, 4, 5 og 6). De 50 «første» individ som ble observert i fritellingsområdet, ble samlet inn på stasjonene 3, 5, 6, 11, 13 og 14. I tillegg ble alle levende muslinger funnet i transektene på stasjon 3, 4 og 6 lengdemålt. Til sammen 343 levende elvemuslinger ble lengdemålt med skyvelære til nærmeste 0,1 mm før de ble lagt tilbake i substratet. I tillegg ble det lengdemålt tomme muslingskall som ble samlet inn spredt langs hele vassdraget (stasjon 2-13; N = 331).

Hos unge muslinger kan alder bestemmes ved direkte telling av antall vinterosoner i

skallet; definert som mørke ringer mellom to lyse sommersoner. For å kunne bedømme alderen til de yngste muslingene, og hvor lenge siden siste vellykkede rekruttering hadde skjedd, ble det samlet inn fire muslinger fra stasjon 13 og 14 til aldersbestemmelse i 2010. For individ som ble aldersbestemt, ble lengden av hver synlige vintersone (= årringsdiameter) målt til nærmeste 0,1 mm.

I tillegg ble det samlet inn voksne muslinger (skall) til aldersbestemmelse fra to stasjoner; oppstrøms Stokkleivvatn (stasjon 3) og nedstrøms Lille Meltingen (stasjon 14, **figur 6.4**). Det ble tatt fem muslinger fra hver stasjon (102-135 mm lange). I tillegg ble det aldersbestemt fire muslinger som ble samlet inn oppstrøms Stokkleivvatnet i 1984 (113-146 mm lange). Ingen av de voksne muslingene kunne aldersbestemmes ved å telle vintersoner på utsiden av skallet. Det måtte prepareres tynnslip av skallet som ble pusset, polert og farget for å få fram vekstlinjene (se Dunca & Larsen 2012 for nærmere beskrivelse av metoden).

I begynnelsen av august 2011 ble muslinger undersøkt med hensyn til «graviditet» på to lokaliteter i Mossa (stasjon 5 og 14; **figur 6.4**). Dette ble gjort ved å åpne skallene forsiktig og undersøke gjellene i felt med hensyn til forekomst av muslinglarver før muslingene ble lagt tilbake i substratet.



Vannføringen i øvre del av Mossa er kraftig redusert som følge av kraftregulering. Bestanden av elvemusling er redusert og det er ikke lenger noen rekruttering til bestanden. Foto: Bjørn Mejdell Larsen.

6.3 Resultater

6.3.1 Vannkvalitet

Mossa har en relativt stabil vannkvalitet (**tabell 6.1**). Det var ingen forsuringsproblemer (pH = 6,9-7,1), og dette gjenspeiler seg også i en moderat høy alkalitet og moderat konsentrasjon av kalsium på henholdsvis 0,123 mmol/l og 2,90 mg/l ovenfor Stokkleivvatnet i juni 2010 (**tabell 6.1**).

Fosfor og nitrogen er de vanligste næringsstoffene som tilføres vassdrag enten naturlig fra skog, myr og utmark eller som utslipp fra industri, landbruk og bosetting. Nitratinholdet i Mossa var lavt i alle prøvene i 2010 (<15-26 µg/l) (**tabell 6.1**). Vannkvaliteten i Mossa er meget god med hensyn til totalt nitrogeninnhold (jf. Andersen mfl. 1997). Mengden av totalt fosfor var 3,0-4,1 µg/l. Dette er ikke høyere enn det man kan forvente som naturlige bakgrunnsverdier i området.

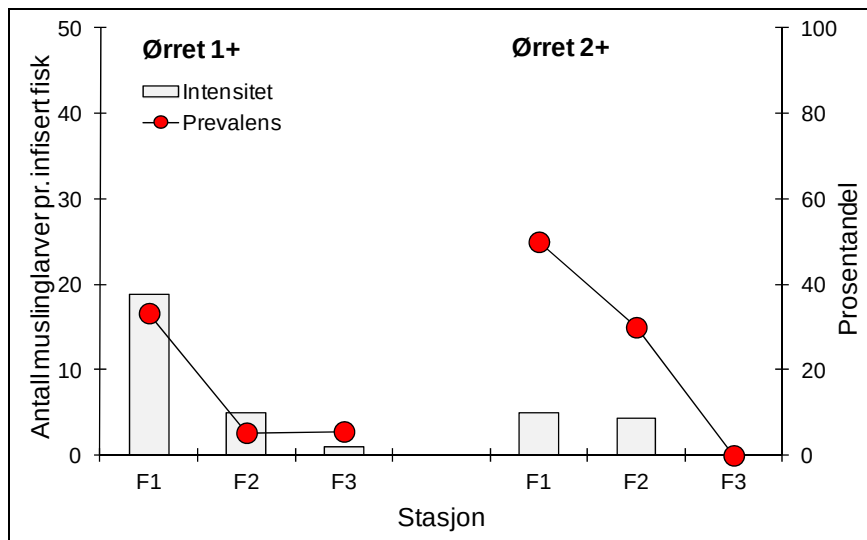
Tabell 6.1. Vannkvaliteten i Mossa i mai-juni 2010 angitt ved turbiditet (Turb, FTU), fargetall (Farge, mg Pt/l), konduktivitet (Kond, µS/cm), pH, alkalitet (Alk, mmol/l), kalsium (Ca, mg/l), natrium (Na, mg/l), kalium (K, mg/l), nitrat (NO₃, µg/l), totalt fosfor (Tot-P, µg/l), totalt syrereaktivt aluminium (Tr-Al, µg/l) og jern (Fe, µg/l).

Dato	Turb FNU	Farge mg Pt/l	Kond mS/m	pH	Alk mmol/l	Ca mg/l	Na mg/l	K mg/l	NO ₃ µg/l	Tot-P µg/l	Tr-Al µg/l	Fe µg/l
V1 – Ovenfor Stokkleivvatn												
18.06.10	0,57	42	4,3	6,90	0,123	2,90	3,73	0,50	<15	3,2	79	131
V2 – Oppgrande bru												
20.05.10	0,86	84	3,5	6,85	0,135	2,84	2,77	0,38	25	4,1	126	314
18.06.10	0,61	64	4,4	7,13	0,185	4,00	3,64	0,43	26	3,0	96	193

6.3.2 Fisk – infeksjon av muslinglarver

Det ble ikke fanget laksunger i Mossa ovenfor Lille Meltingen i 2010, og til sammen ble det bare påvist tre laksunger (alder 2+/3+) ved Oppgrande bru. Ingen av disse hadde muslinglarver på gjellene.

Ørret forekom i moderat høy tetthet i hele vassdraget, og 18-19 ettårige ørret ble undersøkt på hver av de tre stasjonene. Av de 55 ettårige ørretungene som til sammen ble samlet inn våren 2010, var bare 15 % infisert med en gjennomsnittlig intensitet på 15 muslinglarver (SD = 22; N = 8). Fem av de åtte ørretungene hadde bare 1 til 8 muslinglarver på gjellene. De tre andre var infisert med henholdsvis 10, 20 og 66 muslinglarver. Av de 28 toårige ørretungene som ble samlet inn våren 2010, var 25 % infisert med en gjennomsnittlig intensitet på 5 muslinglarver (SD = 5; N = 7). Det var noe flere muslinglarver på ørretungene ovenfor Stokkleivvatnet sammenliknet med området ved Oppgrande bru både for ett- og toårige ørretunger (**figur 6.5**). Dette må sees i sammenheng med tettheten av muslinger på de ulike stasjonene. Ørret framstår likevel som en lite egnet vertsfisk på lakseførende strekning nedenfor Liafossen.



Figur 6.5. Forekomst av muslinglarver på gjellene til ett- (1+) og toårige (2+) ørretunger i Mossa i mai 2010 presentert som prevalens (= prosentandel infiserte fisk av totalantallet fisk undersøkt) og intensitet (= gjennomsnittlig antall muslinglarver på infisert fisk).

6.3.3 Elvemusling – utbredelse og tetthet

Utbredelse

Det finnes elvemusling i dag på strekningen fra Liafossen til innløpet av Stokkleivvatnet, fra Stormyrberga til innløpet av Lille Meltingen og fra utløpet av Lille Meltingen og noen hundre meter nedover, men kan hende med enkelte individ helt ned til Oppgrande bru. Ovenfor Liafossen er det usikkert om det fortsatt er levende muslinger, da det bare ble påvist tomme skall i 2010. Ved Oppgrande bru ble det ikke observert levende muslinger, men det var én muslinglarve på én ørretunge i mai 2010. Det kan derfor stå enkelte muslinger noe lenger ned mot Oppgrande bru enn det som er kartfestet.

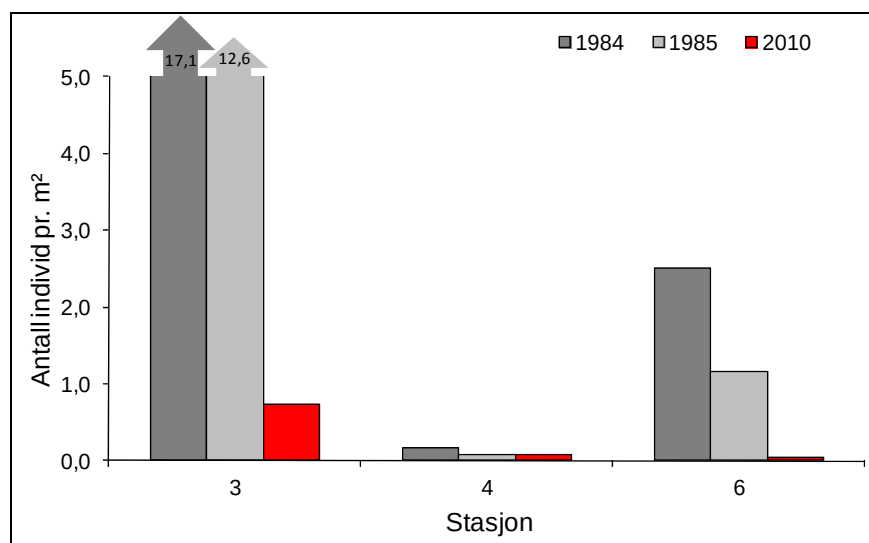
Det er om lag 7,6 km fra Åfjorden til utløpet i sjøen ved Mosvik. Av dette utgjør innsjøene Lille Meltingen og Stokkleivvatnet ca. 1 km. Strekningen der elvemusling ikke lenger forekommer eller har dødd ut, utgjør ca. 4,3 km, slik at elvemusling bare utnytter om lag 2,3 km av Mossa i dag.

Tetthet

Tettheten av elvemusling på tre transekter på strekningen mellom Liafossen og Stokkleivvatnet var 6,58 individ per m² i 1984 (**tabell 6.2**). Allerede året etter var det en betydelig reduksjon i antall muslinger på grunn av redusert vannføring og tørrelegging av store arealer. Om vi setter tettheten av muslinger til 100 % i 1984, var det ved tellinger på de samme transektene i 2010 bare 4 % igjen av den opprinnelige bestanden. På stasjon 3 ble tettheten av muslinger redusert fra 17,1 individ per m² i 1984 til 0,7 individ i 2010, 26 år etter regulering (**figur 6.6**).

Tabell 6.2. Gjennomsnittlig tetthet av elvemusling i tre transekter mellom Liafossen og Stokkleivvatnet i 1984, 1985 og 2010. Tetthet (%) i 1985 og 2010 er angitt i forhold til tettheten i 1984.

År	Tetthet (ind./m ²)	Tetthet (%)
1984	6,58	100,0
1985	4,59	69,8
2010	0,28	4,3



Figur 6.6. Utviklingen i tetthet av elvemusling på tre stasjoner i Mossa mellom Liafossen og Stokkleivvatnet i 1984, 1985 og 2010. For lokalisering av stasjonene, se figur 6.4.

Det ble funnet et betydelig antall tomme skall (døde muslinger) i Mossa. Allerede i juni 1984, bare et halvt år etter at kraftverket ble satt i drift, var om lag en firedel av alle muslinger som ble talt opp, tomme skall (**tabell 6.3**). Året etter økte denne andelen til litt mer enn en tredel. I 2010 var 90 % av alle muslinger på transektene tomme skall. Dette skyldes en akkumulering av dødelighet over flere år som skyldes liten eller ingen restvannføring kombinert med lite nedbør. Rikstad mfl. (2004) konkluderte med at tørke i 2002 reduserte bestanden av elvemusling med over 50 % i Mossa på grunn av lav vannføring i elva.

Tidsbegrensede tellinger («fritellinger») på 17 stasjoner i Mossa bekreftet at antall tomme skall var spesielt høyt ovenfor Stokkleivvatnet (67 % på stasjon 1-7) (**tabell 6.4**), og avtok nedover i vassdraget. Nedenfor Lille Meltingen var bare 1 % av muslingene som ble talt opp, tomme skall.

Tabell 6.3. Gjennomsnittlig tetthet av tomme muslingskall i tre transekter mellom Liafossen og Stokkleivvatnet i 1984, 1985 og 2010. Antall tomme skall er angitt som andel av det totale antall skjell som ble funnet.

År	Tetthet (ind./m ²)	Andel (%)
1984	1,82	24,8
1985	2,33	38,3
2010	2,79	90,2



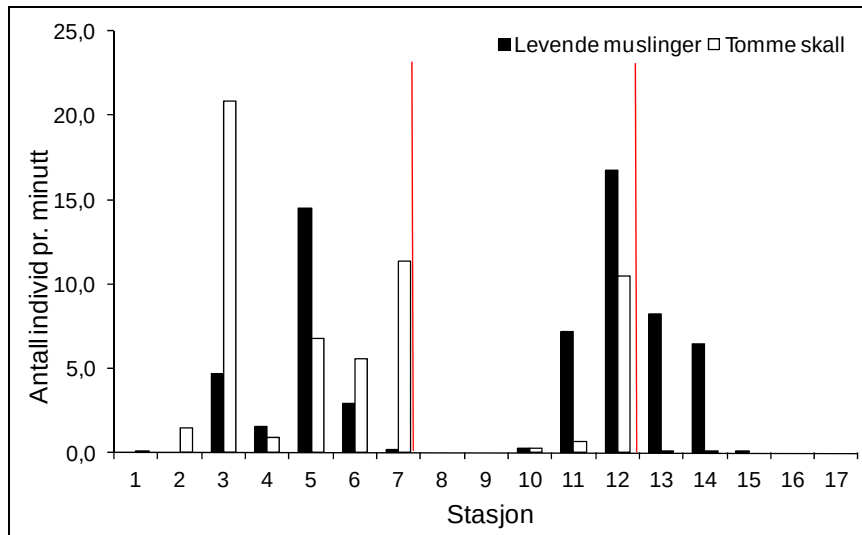
Flere steder sto tomme skall i naturlig posisjon i substratet, som følge av akutt dødelighet, mest sannsynlig som følge av inntørring eller innfrysing. Foto: Bjørn Mejdell Larsen.

Tabell 6.4. Gjennomsnittlig andel av tomme muslingskall i ulike deler av Mossa funnet under fritellinger i juni 2010 (jf. figur 6.7).

Stasjon	Andel tomme skall (%)
1-7	66,6
8-12	32,3
13-17	1,3
Gjennomsnitt	54,6

Det ble funnet levende elvemusling på 11 av 17 stasjoner i Mossa i 2010 (figur 6.7). Det manglet muslinger mellom Åvatnet og Liafossen, nedenfor Stokkleivvatnet og nederst i vassdraget fra Oppgrande til utløpet i sjøen. På stasjoner med musling varierte antall levende musling mellom 0,1 og 16,7 individ per minutt søketid. Gjennomsnittlig tetthet i hele vassdraget var 3,7 individ per minutt.

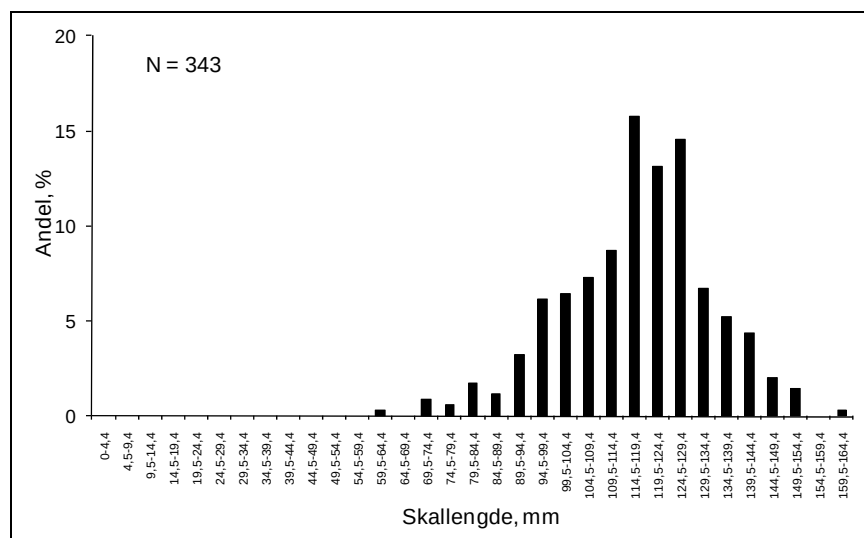
Det ble talt 2508 levende elvemusling og 3015 tomme skall til sammen i Mossa i 2010 (stasjon 1-17). Andelen tomme skall utgjorde 54,6 % av det totale antall muslinger som ble funnet (tabell 6.4). Gjennomsnittlig tetthet av tomme skall var 3,5 individ per minutt.



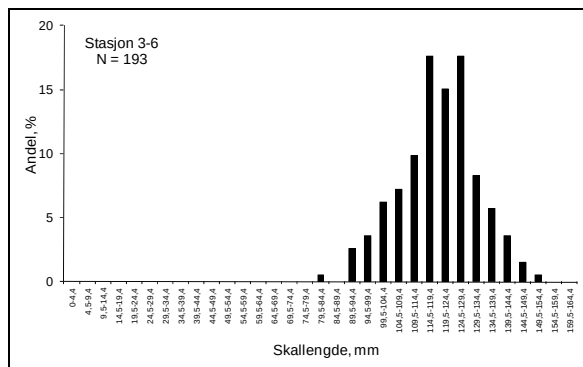
Figur 6.7. Relativ tetthet av levende elvemusling og tomme skall i Mossa i juni 2010, basert på tidsbegrensede tellinger (oppgitt som antall muslinger per minutt). For lokalisering av stasjoner, se **figur 6.4**. Loddrette røde streker mellom stasjon 7 og 8 og stasjon 12 og 13 markerer henholdsvis Stokkleivvatnet og Lille Meltingen.

Lengdefordeling

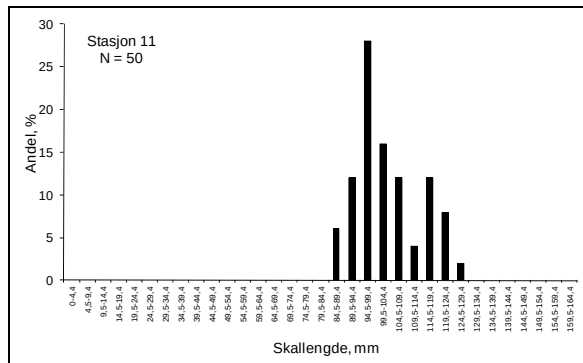
Skallengden varierte fra 64 til 163 mm hos levende elvemuslinger i Mossa i juni 2010 (**figur 6.8** og **6.9**). Majoriteten av muslinger var mellom 115 og 130 mm, og gjennomsnittslengden var 118 mm (SD = 16; N = 343). Det var få muslinger mindre enn 95 mm, og det var noe færre individ enn forventet i de største lengdegruppene.



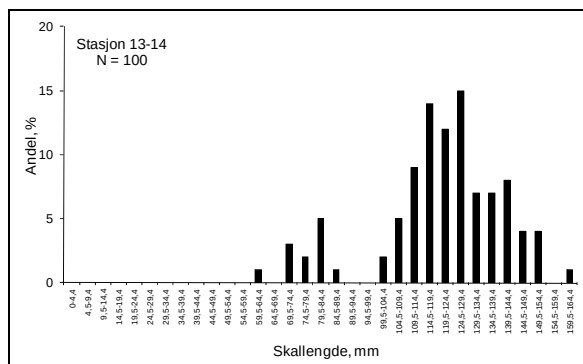
Figur 6.8. Lengdefordeling av levende elvemuslinger i Mossa i juni 2010 (uten graving i substratet).



Stasjon	3-6
Minste musling	79,9
Største musling	151,6
Gj. snitt ± SD	119,6 ± 12,6



Stasjon	11
Minste musling	84,5
Største musling	126,6
Gj. snitt ± SD	103,4 ± 10,7

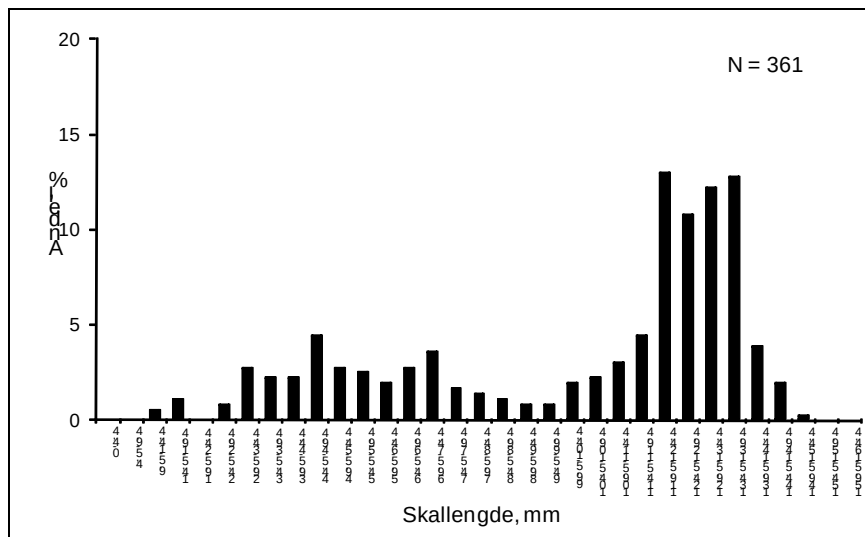


Stasjon	13-14
Minste musling	64,2
Største musling	163,0
Gj. snitt ± SD	120,6 ± 20,1

Figur 6.9. Lengdefordeling basert på funn av et utvalg 50 «første» levende muslinger (uten graving i substratet) og/eller alle muslinger i transekter på stasjon 3-6, 11 og 13-14 i Mossa i juni 2010.

Det ble ikke funnet muslinger mindre enn 50 mm i noen del av vassdraget, men ved tilfeldig søk nedenfor Lille Meltingen ble det i tillegg til utvalget i lengdefordelingen funnet ytterligere fire muslinger som var 50-60 mm lange uten å grave i substratet.

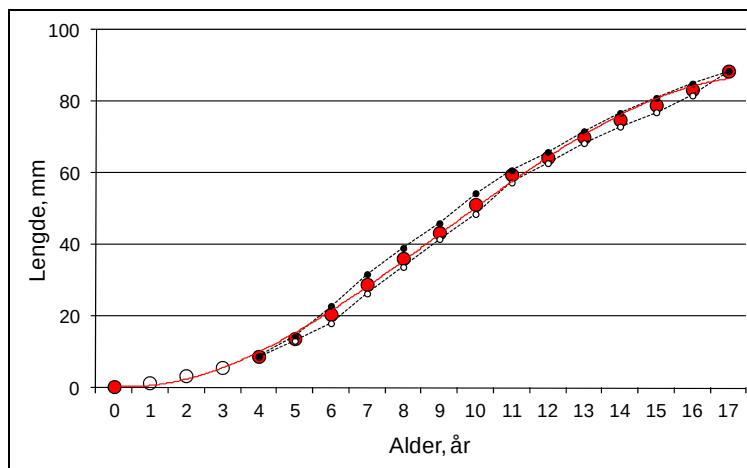
Tidligere upubliserte data samlet inn i 1984 er benyttet som referanse til lengdefordelingen i 2010. Skallengden varierte fra 13 til 150 mm hos levende elvemusling i juni 1984. Majoriteten av muslinger var mellom 120 og 135 mm (**figur 6.10**), men gjennomsnittslengden var bare 103 mm (SD = 37; N = 361). Det var til sammen 51 individ som var mindre enn 50 mm. Dette utgjorde 14,1 % av de lengdemålte individene, og av disse var 6 individ (1,7 %) mindre enn 20 mm. Dette tegner et bilde av en bestand med god rekruttering.



Figur 6.10. Lengdefordeling av levende elvemusling i Mossa i juni 1984 (uten graving i substratet).

Alderssammensetning og rekruttering

Det er ikke foretatt noen fullstendig aldersbestemmelse av levende elvemuslinger fra Mossa i denne undersøkelsen. Men fire unge muslinger funnet nedenfor Lille Meltingen i 2010 ble undersøkt. Dette ga grunnlag for å sette opp en vekstkurve basert på lengde av gjennomsnittlig årringsdiameter hos elvemuslinger opp til 17-årsalder (figur 6.11).

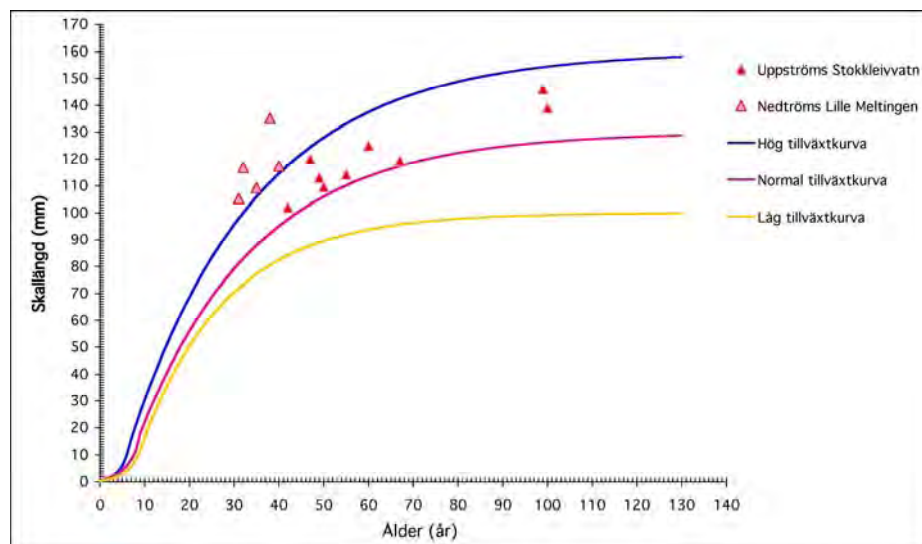


Figur 6.11. Vekstkurve basert på lengde av gjennomsnittlig årringsdiameter hos aldersbestemte elvemusling i Mossa nedenfor Lille Meltingen fram til 17-års alder. Stiplede linjer angir minste og største lengde av vintersoner hos musling som er aldersbestemt til gitt alder. Skallene var erodert ved umbo slik at de første vintersonene ikke lenger kunne bestemmes med sikkerhet, og oppgitte verdier er stipulert for ett, to og tre år gamle muslinger (åpne sirkler).

Elvemuslingen vokste godt i Mossa nedenfor Lille Meltingen. Gjennomsnittlig lengde for fem år gamle muslinger var 14 mm (**figur 6.11**). Når muslingene var 10 år, var de allerede mer enn 50 mm i gjennomsnitt. Årlig tilvekst fra muslingene var fem år til de ble 15 år var 4-8 mm. Enkelte muslinger hadde i enkelte år en årlig tilvekst på 10 mm.

Det ble aldersbestemt 14 eldre muslinger i Mossa. Den yngste muslingen var 31 år og den eldste 100 år gammel (**figur 6.12**). Skallengden varierte mellom 102 og 146 mm. Aldersbestemmelse ut fra skallengde blir stadig mer usikkert jo større muslingene er på grunn av et stadig økende overlapp i lengde mellom ulike årsklasser. Muslinger som var 100-110 mm lange i Mossa, varierte i alder fra 31 til 50 år og muslinger mellom 110 og 120 mm var fra 32 til 67 år (se **figur 6.12**). Muslingene nedstrøms Lille Meltingen vokste raskere og var yngre ved samme lengde sammenliknet med muslingene oppstrøms Stokkleivvatn. Muslinger nedstrøms Lille Meltingen befant seg over den høye tilvekstkurven, mens muslinger oppstrøms Stokkleivvatnet lå mellom høy og normal tilvekstkurve (**figur 6.12**).

Muslinger som er 100 mm lange, vil i de fleste tilfeller ha oppnådd en alder på 30 år nedenfor Lille Meltingen. Det betyr at om lag 12 % av muslingene nedenfor Lille Meltingen var yngre enn 30 år i 2010/2011. Oppstrøms Stokkleivvatnet derimot vil 30 år gamle muslinger bare være 80-85 mm lange. Bare én musling var mindre enn 85 mm oppstrøms Stokkleivvatnet i 2010, og det betyr at mindre enn 1 % av muslingene var yngre enn 30 år, og ingen var yngre enn 25 år. I 1984 var til sammenlikning ca. 30 % av muslingene yngre enn 25-30 år.



Figur 6.12. Forholdet mellom elvemuslingens alder og skallengde i Mossa oppstrøms Stokkleivvatn og nedstrøms Lille Meltingen (henholdsvis stasjon 3 og 14), samt de tre allmenne tilvekstkurvene for elvemusling.

Muslinger som ble samlet inn oppstrøms Stokkleivvatn i 1984 (da reguleringen ble iverksatt), har færre tilvekstforstyrrelser i skallet sammenliknet med muslinger som

ble samlet inn samme sted i 2010, og i forhold til muslinger nedstrøms Lille Meltingen; henholdsvis 9, 39 og 51 % (Dunca & Larsen 2012, kapittel 5 i denne rapporten).

Reproduksjon

Det ble undersøkt for mulig graviditet på to stasjoner i Mossa i 2010. Andelen gravide muslinger var den samme oppstrøms Stokkleivvatn som nedstrøms Lille Meltingen (**tabell 6.5**).

Tabell 6.5. Undersøkelser av graviditetsfrekvens hos elvemusling i Mossa i 2010. Gjennomsnittslengde (L) av de undersøkte muslingene er oppgitt med standardavvik (SD); N = antall elvemusling som ble undersøkt.

Stasjon	Dato	L ($\pm$ SD), mm	N	Graviditet %
5	5.8.2010	125,9 $\pm$ 12,8	30	56,7
14	5.8.2010	119,0 $\pm$ 12,1	30	56,7

6.4 Diskusjon og oppsummering

Det har opprinnelig vært elvemusling i hele lakseførende del av Mossa, og antallet muslinger har vært størst ovenfor Lille Meltingen (Dolmen & Kleiven 1997). Etter senkingen av Meltingen ble det også funnet store mengder muslingskall i selve innsjøen (A. Rikstad pers. medd.). I juni 1984 (første året med regulering) var det døde og døende muslinger helt opp til dammen på Åfjorden. I 2003 ble det observert store levende muslinger (12-14 cm lange) nedenfor utløpet av Åfjorden, men totalt ble det antatt at 60 % av muslingene som ble observert, var tomme skall (Rikstad mfl. 2004). I 2010 ble det bare funnet tomme skall på hele strekningen mellom Åfjorden og Liafossen. Elvemuslingen ser derfor ut til å ha dødd ut på denne strekningen i løpet av de siste årene. Det finnes i dag elvemusling på strekningen fra Liafossen til innløpet av Stokkleivvatnet, fra Stormyrberga til innløpet av Lille Meltingen og fra utløpet av Lille Meltingen og noen hundre meter nedover, men kan hende med enkelte spredte individ videre ned til Oppgrande bru.

I Mossa overlever fortsatt de voksne muslingene, men de er sårbare og akutt overdødelighet har skjedd i år med liten vannføring. Bestanden ble i følge B. Bakkhaug (pers. medd. i Rikstad mfl. 2004) redusert med 60 % fra 2001 til 2002 på grunn av langvarig tørke. Dette ble bekreftet av store mengder tomme skall i vassdraget i 2003 (Rikstad mfl. 2004). Dødelighet av muslinger uttrykt som andel tomme skall, vil være summen av dødelighet over flere år da skallene kan ligge i elva i mange år (5-10) før de forsvinner. Andelen tomme skall som ble talt opp i 2010 er derfor en akkumulering av dødelighet på 2000-tallet. Men når om lag 90 % av muslingene er tomme skall i 2010, er dette urovekkende. Allerede første året med regulering var nær en firedel av muslingene som ble funnet, tomme skall. Etter reguleringen ble vannføringen redusert med 95-100 %, med tørrlegging av store arealer som tidligere var leveområde for elvemusling. Lite nedbør og tørke ble ekstra

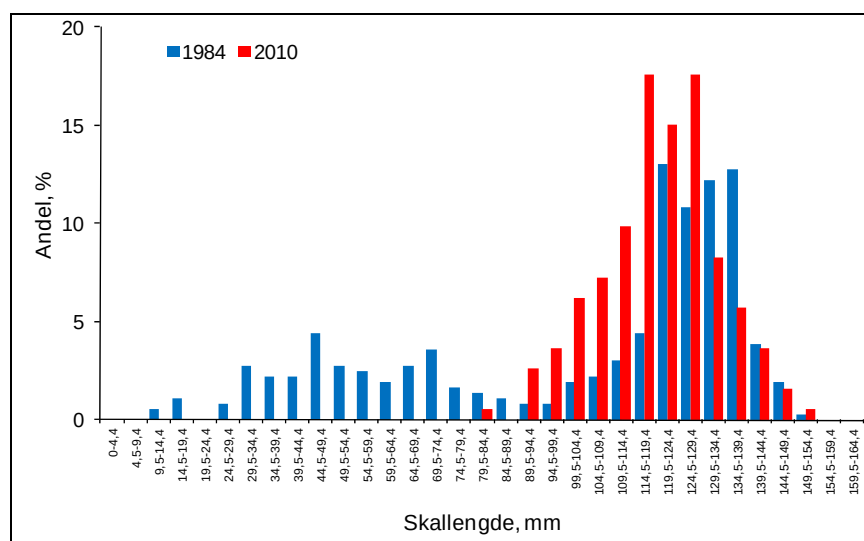
dramatisk i Mossa, siden det ikke var slipp av minstevannføring fra Åfjorden. Fra og med høsten 2007 ble dette endret. Det som nå slippes er 100 l/s i sommerhalvåret (15. mai-30. september) og 50 l/s i vinterhalvåret (1. oktober-14. mai).

Undersøkelse av gjellene til ørretunger i Mossa fastslår at ørret framstår som en lite egnet vertsfisk på lakseførende strekning nedenfor Liafossen. Det var imidlertid noen flere muslinglarver på ørretungene ovenfor Stokkleivvatnet sammenliknet med innløp av Lille Meltingen og Oppgrande bru både for ett- og toårige ørretunger. Det er antatt at Liafossen er vandringshinder for anadrom laksefisk i Mossa (Korsen 1980). I så fall må ørret ha vært vertsart for elvemusling ovenfor Liafossen og i Meltingen tidligere. En del av muslingbestanden som fortsatt finnes i øvre del, kan derfor tenkes å være avhengig av ørret som vertsfisk for muslinglarvene («ørretmusling»). De fleste muslingene, og i økende grad nedover i vassdraget, kan imidlertid være avhengig av laks som vertsfisk for muslinglarvene («laksemusling»). Noen entydig konklusjon om vertsspesifisitet kan imidlertid ikke gis med bakgrunn i fiskeundersøkelsen fra 2010. En genetisk karakterisering av elvemusling fra Mossa indikerer derimot at muslingene har større genetisk likhet med andre populasjoner av «laksemuslinger» enn med populasjoner av «ørretmuslinger» (Larsen mfl. 2011b).

Ziuganov mfl. (1994) har angitt at tettheten av ettårig ungfisk (1+) må være større enn 5 individ per 100 m² i mai/juni når muslinglarvene slipper seg av for at tettheten av elvemusling skal opprettholdes (jf. Söderberg mfl. 2008b). I Mossa ovenfor Lille Meltingen har tettheten av laksunger bare unntaksvis vært større enn 5 individ per 100 m² i perioden 1986-1991 (Hvidsten mfl. 1987; 1992). I 2010 ble det ikke funnet laksunger i det hele tatt ovenfor Lille Meltingen (Berger 2011). Med antakelse om at laks er primærvert for muslinglarvene, har ikke elvemuslingen hatt mulighet for vellykket rekruttering etter regulering på grunn av mangel på vertsfisk. Tettheten av ørret er i større grad opprettholdt etter regulering, og gjennomsnittlig tetthet i vassdraget var 32 årsyngel og 16 ungfisk per 100 m² i 2010 (Berger 2011). Med ørret som vertsfisk vil det dermed være en mulighet for å opprettholde en liten rekruttering av elvemusling.

Før regulering hadde bestanden av elvemusling en meget god rekruttering i Mossa. Bestander som har opprettholdt populasjonsstrukturen i lang tid, har minst 20 % muslinger som er yngre enn 20 år, men i tillegg må noen av disse være yngre enn 10 år (Young mfl. 2001a). Disse aldersgrenser tilsvarer grovt sett en skallengde på henholdsvis 70-75 og 50 mm i Mossa ovenfor Stokkleivvatnet. Det gjør at 26-28 % av bestanden i Mossa var yngre enn 20 år i 1984, og om lag halvparten av disse igjen var yngre enn 10 år (jf. **figur 6.13**). Ut fra dette kan bestanden karakteriseres som livskraftig med en stor og årlig rekruttering før regulering. Etter 26 år med regulering (i 2010) var det ingen muslinger som var yngre enn 20 år i den samme delen av bestanden i Mossa (jf. **figur 6.13**). Rekrutteringen har altså stanset opp nesten umiddelbart etter at reguleringen var gjennomført ovenfor Lille Meltingen. Nedenfor Lille Meltingen er det fortsatt en svak rekruttering, og anslagsvis 6-11 % av muslingene var yngre enn 20 år i 2010, men ingen muslinger var yngre enn 10 år. Det

gir et bilde av en redusert rekruttering som kan ha stoppet helt opp i løpet av de siste årene. Det betyr også at den ikke er stor nok til å opprettholde bestanden på lang sikt.



Figur 6.13. Lengdefordeling av levende elvemusling i Mossa ovenfor Stokkleivvatnet i 2010 sammenliknet med 1984.

For å undersøke kvaliteten i oppvekstområdet til de unge muslingene som lever nedgravd i substratet de første leveårene, er det målt redokspotensial på fire stasjoner i vassdraget (se kapittel 3 i denne rapporten). Gjennomsnittlig reduksjon i redokspotensial mellom frie vannmasser og substratet er et mål (surrogat) for reduksjon i oksygeninnhold. Mossa hadde svært lave redokspotensial i substratet og en reduksjon i redoksverdi mellom de frie vannmasser og substratet på 47-66 % ovenfor Lille Meltingen. Nedenfor Lille Meltingen var reduksjonen i redoksverdi bare 4 %. I habitat der unge muslinger normalt er forventet å overleve, vil reduksjonen i redokspotensial alltid være lavere enn 20 % (Killeen 2006), og mer enn 30 % reduksjon er vurdert som alvorlig. Substratet i Mossa ovenfor Lille Meltingen er ødelagt som oppvekstområde for unge muslinger på grunn av nedslamming (oksygenmangel i substratet), og høyere og mer variert vannføring er det eneste tiltaket som kan hindre dette.

Målet for arbeidet med elvemusling i et langsiktig perspektiv er i følge handlingsplanen for elvemusling (Direktoratet for naturforvaltning 2006) at den skal finnes i livskraftige populasjoner i hele Norge, og alle nåværende naturlige populasjoner skal opprettholdes eller forbedres. Dette innebærer at forholdene må forbedres for de populasjonene som ikke har, eller har en utilstrekkelig rekruttering, slik at rekrutteringen kommer i gang igjen og bestandene kan øke i antall. I Mossa vil dette kreve tiltak som «reparerer» substratet (hemmer algevekst og nedslamming) og i tillegg sikrer en god bestand av vertsfisk (primært laksunger). Dette er nødvendig for at muslingens larver skal utvikle seg normalt, og at de juvenile muslingene kan overleve i substratet.

7. Oppsummering

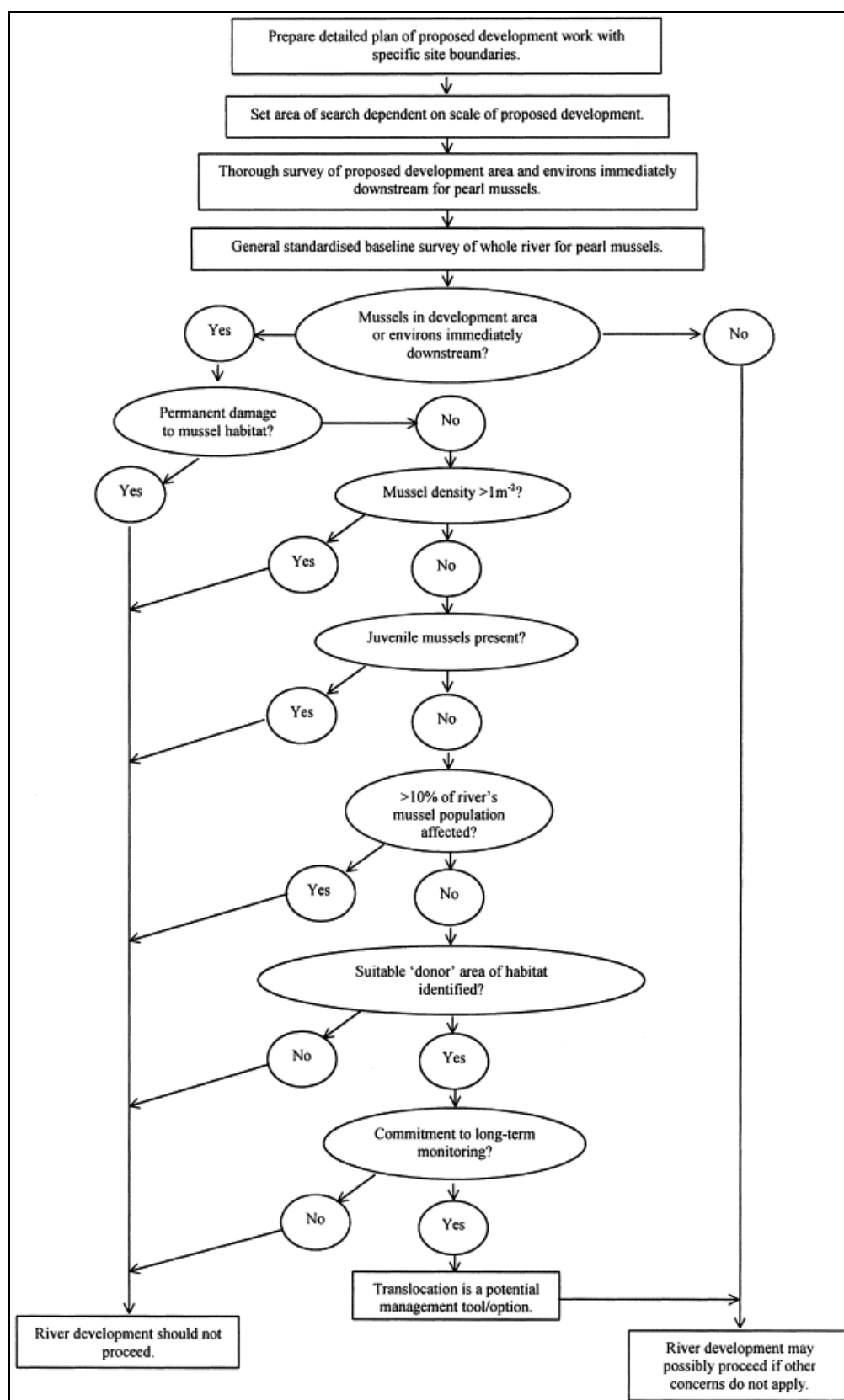
Målsettingen med denne kunnskapsoppsummeringen og temaene berørt i kapitlene 3-6 er at det skal gi basiskunnskap og eksempler som skal kunne benyttes til å vurdere effekten av reguleringsinngrep i vassdrag med elvemusling. Målet er samtidig at det skal gi grunnlag for å foreslå avbøtende tiltak som skal opprettholde bestandene av elvemusling. I mange tilfeller er imidlertid kunnskapen som foreligger for generell til at denne målsettingen kan oppnås. «Høy» og «lav» vannføring eller «kaldt» og «varmt» vann blir relative begrep og ikke eksakte nok til bruk i det enkelte konkrete vassdrag. Det er dessuten store naturlige forskjeller mellom ulike muslingvassdrag som gjør at det som kan anbefales i ett vassdrag, slett ikke behøver gjelde for et annet. Som vi har sett er det stor tidsmessig forskjell i ulike stadier av livssyklus mellom vassdrag i Sør-Norge og Nord-Norge, men også i nærliggende vassdrag i samme region og til og med innad i enkelte vassdrag (jf. «ørretmusling» og «laksemusling»). Det er derfor viktig å ha god basiskunnskap om elvemuslingen i hvert enkelt konkrete tilfelle. «Kritiske perioder», for eksempel i forbindelse med reproduksjonen, slipp av de umodne muslinglarvene eller når de juvenile muslingene slipper seg av fra fisken, kan variere med flere uker mellom ulike vassdrag i Norge.

7.1. Kunnskapsgrunnlag

Når man arbeider med konsekvensanalyser i vassdrag med elvemusling, inkludert effekten av vannkraftprosjekter, kan et beslutningstre av den typen Cosgrove & Hastie (2001) presenterer være nyttig å støtte seg til (**figur 7.1**). Dette skal være til hjelp i vurderingen av prosjektets betydning for elvemusling og hvorvidt det skal anbefales utbygging eller ikke. Cosgrove & Hastie (2001) legger vekt på tettheten av muslinger, hvorvidt rekruttering forekommer eller ikke og hvor stor del av bestanden som blir berørt av prosjektet i sine vurderinger.

Utbredelse og forekomst av elvemusling

I vassdrag der man vet at det finnes elvemusling, eller der det er mistanke om at elvemusling kan forekomme, må det gjennomføres en kartlegging av utbredelse og forekomst. Dette vil normalt inkludere en kartlegging av hele vassdraget og ikke bare den delen som blir berørt av prosjektet. Dette for å få et bregrep om hvor omfattende skade det planlagte prosjektet kan få på populasjonen som helhet. Influensområdet (prosjektområdet og elvestrekning i umiddelbar nærhet nedstrøms) har likevel størst prioritet.



Figur 7.1. Økologisk beslutningstre for et generelt utviklingsprosjekt i elv med elvemusling. Fra Cosgrove & Hastie (2001).

Vil planlagt vannkraftregulering kunne skade levende muslinger? Ved bygging av elvekraftverk eller andre inngrep som fysisk berører elvestrengen, er det viktig å kartlegge muslinger på strekningen som omfattes av utbyggingen slik at omfanget av inngrepet blir klarlagt. Samtidig må det legges en plan for flytting av muslinger som direkte berøres av utbyggingen (se Degerman mfl. 2009). I bestander som hovedsakelig består av store muslinger, vil slike tiltak begrense den direkte dødeligheten på muslinger til et minimum, men det er samtidig viktig at det etableres et overvåkingsprogram som er i stand til å evaluere tiltaket (Cosgrove & Hastie 2001).

Status

Klassifisering av status til en elvemuslingbestand baserer seg i første rekke på forekomsten av små (unge) muslinger. Jo større andelen av små muslinger er, jo større er muligheten for at bestanden skal overleve på lang sikt. Fra Skottland er det vist at bestander som opprettholder antallet over en 10-års periode, hadde en andel av minst 20 % muslinger som var yngre enn 20 år, men det måtte samtidig forekomme noen muslinger som var yngre enn 10 år (Young mfl. 2001). Skallengden til muslinger som er yngre enn henholdsvis 10 og 20 år, er angitt å være mindre enn henholdsvis 30 og 65 mm i Skottland (Young mfl. 2003). I Sverige er det oppgitt at det grovt sett tilsvarende skallengder på henholdsvis 20 og 50 mm (Söderberg 2006a). Dette har også vært benyttet i Norge, da vi har adoptert en moderert versjon (Larsen & Hartvigsen 1999) av det svenske poengsystemet (Söderberg 1998, Henriksson mfl. 1998) for bedømmelse av verneverdi (**tabell 7.1**). I lokaliteter med god vekst vil imidlertid antall individer yngre enn 20 år bli underestimert om man baserer det på antall mindre enn 50 mm. Tilsvarende vil det i lokaliteter med dårlig vekst bli en overestimert antall individer yngre enn 20 år når det utelukkende baserer seg på en opptelling av individer mindre enn 50 mm. Mest eksakt vil det selvsagt være å aldersbestemme et lite antall individ for å lage en vekstkurve som viser hvor store muslingene forventes å være i gjennomsnitt når de er 10 eller 20 år gamle.

Siden de minste muslingene lever nedgravd i substratet i de første leveårene (se **figur 1.5**) er det nødvendig å undersøke substratet ved å grave i det øverste gruslaget for å kunne gi en vurdering av andelen unge individ og finne lengdefordelingen av den totale muslingbestanden.

Vil planlagt vannkraftregulering kunne endre rekrutteringen eller andre deler av livssyklus? I reproduserende bestander med høy andel av unge individ vil det i praksis være umulig å lete opp og flytte de minste muslingene siden de for en stor del er nedgravd i substratet. I tillegg vil det kreve store ressurser for å få utført en detaljert utgraving av substratet. I slike tilfeller må det vurderes om rekrutteringen i andre deler av vassdraget er god nok til å opprettholde bestanden, eller om den planlagte utbyggingen vil true levedyktigheten til hele populasjonen. I det siste tilfellet bør ikke utbygging anbefales.

Unge muslinger har større krav til riktig mikro-habitat enn eldre muslinger og er av den grunn også mer sårbare for flytting (Cosgrove & Hastie 2001). Reproduserende bestander skal i utgangspunktet vurderes som så verdifulle at inngrep som står i fare

for å endre dette bare unntaksvís kan tillates. Dette er også nedfelt i Handlingsplanen for elvemusling, der målsettingen om å opprettholde eller øke levedyktigheten til muslingpopulasjoner har høyeste prioritet. I planleggingsfasen er det derfor spesielt viktig å lokalisere de viktigste reproduksjonsområdene slik at disse ikke forringes. I global sammenheng er alle lokaliteter og elvestrekninger der elvemusling rekrutterer svært verdifulle, og har meget stor verdi – større enn eventuelle verdier en utbygging kan gi (Cosgrove & Hastie 2001). Elvemusling er ansvarsart for Norge, og et flertall av de gjenværende reproduserende bestandene i Europa finnes hos oss. Dette gjør at vi også har et internasjonalt ansvar for å ta vare på bestander med høy levedyktighet.

Tabell 7.1. Kriterier og poengklasser for bedømmelse av levedyktighet. Seks kriterier er lagt til grunn for bedømmelsen (populasjonsstørrelse, gjennomsnittstetthet, utbredelse, minste musling, andel muslinger mindre enn 20 mm og andel muslinger mindre enn 50 mm), og det gis 0-6 poeng innenfor hvert kriterium. Samlet poengsum plasserer muslingpopulasjonen innenfor én av tre klasser av status/levedyktighet: Klasse I – liten levedyktighet, sårbar for ytterligere reduksjon og kan kreve omfattende tiltak for å overleve på lang sikt (truet; 1-7 poeng), klasse II – sannsynlig levedyktig, men tiltak bør utredes/gjennomføres (sårbar; 8-17 poeng) og klasse III – høy levedyktighet på lang sikt og meget høy verneverdi (levedyktig; 18-36 poeng).

Kriterium	1 p	2 p	3 p	4 p	5 p	6 p
1 Populasjonsstørrelse (i tusen)	<5	5-10	11-50	51-100	101-200	>200
2 Gjennomsnittstetthet (ind./m ²)	<2	2,1-4	4,1-6	6,1-8	8,1-10	>10
3 Utbredelse (km)	<2	2,1-4	4,1-6	6,1-8	8,1-10	>10
4 Minste musling funnet (mm)	>50	41-50	31-40	21-30	11-20	≤10
5 Andel muslinger <2 cm (%)	>0-1	>1-2	>2-3	>3-4	>4-5	>5
6 Andel muslinger <5 cm (%)	>0-5	6-10	11-15	16-20	21-25	>25

Kompetanse

Har konsulenter og oppdragstakere den nødvendige kompetansen? Til kartleggingsarbeid generelt og mer detaljerte forundersøkelser i forbindelse med kraftverksreguleringer må det stilles krav til kompetanse og et minimum av dokumentert erfaring.

7.2 Tiltaksvurdering

Opprettholde sikker minstevannføring

Hvordan vil planlagt vannkraftregulering endre vannføringen? Tiltak som skal hindre skade på muslingbestander, må i første rekke sikre at laveste vannføring i løpet av året minst er på størrelse med vassdragets naturlige lavvannføring. Det må imidlertid ikke være slik at det er den historisk laveste målte vannføring som legges til grunn. En slik vannføring vil gi en betydelig overdødelighet av muslinger også i uregulerte elver siden den kanskje bare opptrer med flere tiårs mellomrom. Vannføringen må

være høy nok til å hindre stranding (Saha 2007), men vannføringen må samtidig være dynamisk slik at sannsynligheten for tilslamming, økt vanntemperatur og uønsket algevekst ikke øker. Under eventuelle vannslipp må vannføringen heller ikke overstige verdier som gjør at muslingene kryper ned i substratet eller graves opp og drifter ut av leveområdet.

I den norske vannressursloven § 10 kreves det ved uttak og bortledning av vann som endrer vannføringen i elver og bekker med årssikker vannføring, at minst den alminnelige lavvannføring (Q_{ALV}) skal være tilbake (Engeland mfl. 2008). Det samme gjelder når vann holdes tilbake ved oppdemming. I praksis ligger den alminnelige lavvannføringen veldig nær den gjennomsnittlige lavvannføringen, som er det aritmetiske middel av de minste vannføringene som er observert i et uregulert vassdrag. Alminnelig lavvannføring kan imidlertid ikke benyttes om man ønsker å benytte lavvannsindekser som kan beregnes for ulike årstider. Da må varighetskurver benyttes. Varighetskurver viser den empirisk kumulative frekvensen til vannføringen som en funksjon av prosenten av tiden vannføringen overskrider denne. For eksempel er 95 persentilen (Q_{95}) den vannføringen som overskrides 95 prosent av tiden i observasjonsperioden. Noen vassdrag har lavvannssesong om sommeren, andre om vinteren. I vassdrag med stor forskjell mellom $Q_{95 \text{ sommer}}$ og $Q_{95 \text{ vinter}}$ vil det være behov for å skille mellom disse. Engeland mfl. (2008) stadfester da også at hvis økologiske kriterier skal være grunnlag for å bestemme minstevannføring, er det behov for sesongbaserte lavvannsindekser. Vi foreslår derfor foreløpig at Q_{95} legges til grunn for å fastsette eventuell minstevannføring for elvemusling.

Ved høy vannføring om våren bør denne reduseres til normal sommervannføring i løpet av mai-juni, avhengig av vassdrag, for at ikke muslinglarvene som slipper seg av fisken skal havne i områder som senere på sommeren blir tørrlagt. Flomvannføring er dessuten negativt for overlevelsen av juvenile muslinger som nettopp har sluppet seg av fisken.

I vassdrag med redusert vannføring er det foreslått tiltak med spyleflom for å redusere avsetning av silt og finpartikulert materiale. Med utgangspunkt i livssyklusen til muslingene vil vår (før muslinglarvene slipper seg av fisken) og høst/senhøst (etter at muslinglarvene har festet seg til fisken) være de beste tidsperiodene for dette. Mindre vannslipp kan i tillegg være nødvendig om sommeren (juli) for å dempe algeveksten og øke oksygeninnholdet i perioder med høy vanntemperatur.

Flom og høy vannføring i perioden når muslinglarvene slippes ut i vannet om høsten (mest vanlig i august-september), kan være uheldig da et stort vannvolum vil påvirke sannsynligheten for at muslinglarvene når fram til vertsfiskens gjeller. En viss vannstrøm kan likevel være gunstig for å holde larvene i bevegelse slik at de ikke bunnfeller for tidlig og går til grunne. Lav vannføring og høy vanntemperatur reduserer dessuten levetiden til muslinglarvene.

I enkelte regulerte vassdrag kan en redusert flomfrekvens og stabil minstevannføring gjennom året ha en positiv effekt på elvemusling. Spesielt fravær av massetransport i forbindelse med store flommer og stabilt vanndeckt areal kan favorisere muslingene.

Frie vandringsveier for fisk (vertsisk til muslinglarvene)

Vil planlagt vannkraftregulering endre tetthet og artssammensetning av fisk? Demninger i elveløp må aldri anlegges på en slik måte at de hindrer fisken i vassdraget i å vandre som normalt. Det må sikres frie vandringsveier for vertsisk i forbindelse med nye utbygginger. Samtidig må det tas hensyn til at viktige gytehabitat til laks og ørret opprettholdes. I forbindelse med revisjoner bør en forsøke å fjerne eller utbedre vandringshindre. Tiltak for å sikre bestander av vertsisk og deres vandringsveier er beskrevet av Degerman mfl. (2009), som nevner terskler, innløp, omløp og mer tradisjonelle fisketrapper som mulige tiltak for å avhjelpe frie vandringsveier forbi oppgangshindre og demninger. Tiltak som er med på å opprettholde eller styrke bestanden av vertsisk, vil normalt også komme muslingene til gode, og omvendt.

Utsetting og spredning av fisk

Ved eventuelle behov for å styrke den opprinnelige fiskebestanden i et vassdrag, skal tiltakene alltid være basert på lokale stammer. Det er antatt at tettheten av ettårige laksefiskunger må være større enn 5 individ pr. 100 m² om våren for å opprettholde bestanden av elvemusling. I elvemuslingvassdrag er det spesielt viktig å legge vekt på utsetting av riktig vertsfiskart. Ved overføringer av vann fra ett vassdrag til et annet er det spesielt viktig å påse at ikke fremmede arter utilsiktet kommer inn i vassdraget. Ørekyte kan for eksempel etablere seg i tette bestander på bekostning av den stede egne ørretbestanden. Dette kan sekundært redusere rekrutteringen hos elvemusling.

Vanntemperatur

Vil planlagt vannkraftregulering endre vanntemperaturen? Det er viktig med temperaturkontroll under tapping av magasin vann, og tiltak må iverksettes for å unngå at vassdraget nedkjøles av kaldt magasin vann om sommeren. Dette kan hemme og forsinke eller hindre produksjonen av kjønnsceller, og reproduksjonen kan bli redusert eller i verste fall stoppe helt opp. I tillegg kan det øke dødeligheten av muslinglarver eller juvenile muslinger. Etter at muslingen slipper seg av fra vertsfisken lever den de første månedene av bakterier og alger som den «fanger» med foten («pedal feeder»). Vi vet ikke nøyaktig når muslingene går over til å filtrere næring fra vannet («filter feeder»), men dette skjer neppe før etter første vekstsesong eller i begynnelsen av andre leveår. Overlevelsen etter første vinter ser ut til å være avhengig av størrelsen på muslingen, og de må ha oppnådd en lengde på om lag en millimeter (>0,9 mm) før første vinter for å overleve. Lav vanntemperatur i muslingenes første levemåneder (juni-oktober/november) kan derfor hemme veksten så mye at de ikke overlever første vinter.

Endringer i vanntemperatur vil også påvirke senere livsstadier og kan forskyve eller endre viktige stadier i livssyklus (se kapittel 4). Det er sannsynlig at de noe eldre elvemuslingene har en naturlig høyere toleranse for variasjoner i vanntemperatur, men vi har ikke detaljkunnskap nok til å angi toleransegrenser eller intervaller som ikke må overskrides.

Vannkvalitet

Vil planlagt vannkraftregulering og eventuell tilføring/fracføring av vann endre vannkvaliteten? Kan lavere vannføring føre til en konsentrasjon av forurensende tilførsler? Vannkvalitetskontroll ved overføring av vann fra ett nedbørfelt til et annet og under tapping av magasin vann er nødvendig. Effekten av tilførsel av næringsstoff (nitrat, fosfor, ammonium), suspendert materiale, humus og tungmetaller samt endringer i forsuring (pH, kalsium) og andre sentrale vannkjemiske parametere (ledningsevne, turbiditet) må holdes innenfor antatte grenseverdier i muslingvassdrag (se kapittel 1, boks 1).

Substratkvalitet

Vil planlagt vannkraftregulering endre substratkvaliteten? Høy turbiditet, høy næringstilførsel med tilslamming og sedimentasjon av finpartikulært materiale er faktorer med størst negativ betydning for rekrutteringen. Det må vurderes om økt erosjon og endring i mengde suspendert materiale kan gi en tiltetting av substratet. Mengde finkornet substrat må være <25 %, og redokspotensialet må opprettholdes med verdier >300 mV målt 5-7 cm nede i substratet (se kapittel 3).

Konkrete eksempler på hvilken effekt en vassdragsregulering kan få på elvemusling basert på før- og etterundersøkelser mangler fra Norge, og det beste eksempelet vi har er fra Mossa (kapittel 6). Det betyr at behovet for erfaringsmateriale fra andre vassdrag er stort. Ny kunnskap gjennom FoU-prosjekter, overvåking av elvemusling i regulerte vassdrag og utvidede konsekvensundersøkelser bør prioriteres for å øke kunnskapsnivået som grunnlag for mer konkrete tiltak enn det vi kan komme opp med i dag. Generelle anbefalinger om vannføringskrav, vanntemperatur og vannkvalitet er vanskelige å gi, delvis på grunn av manglende kunnskap, men også på grunn av den store variasjonen det er mellom ulike vassdrag med elvemusling. Elvemusling lever i et vidt spekter av elver og bekker, og generelle anbefalinger om tiltak ved en eventuell vasskraftregulering blir derfor mangelfulle.

8. Referanser

- Akiyama, Y. & Iwakuma, T. 2007. Survival of glochidial larvae of the freshwater pearl mussel, *Margaritifera laevis* (Bivalvia: Unionoida), at different temperatures: A comparison between two populations with and without recruitment. – Zool. Sci. 24: 890-893.
- Aldridge, D.W., Payne, B.S. & Miller, A.C. 1987. The effects of intermittent exposure to suspended solids and turbulence on three species of freshwater mussels. – Environmental Pollution 45: 17-28.
- Andersen, A. 1984. Dammuslingens liv og levekår i området ved Nordre Øyeren. (Om *Anodonta picinalis* (Nilss.) og *Pseudanodonta complanata* (Rossm.)). – Hovedfagsoppgave i biologi, Universitetet i Oslo. 110 s. + vedlegg.
- Andersen, J.R., Bratli, J.L., Fjeld, E., Faafeng, B., Grande, M., Hem, L., Holtan, H. Krogh, T., Lund, V., Rosland, D., Rosseland, B.O. & Aanes, K.J. 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. – SFT-veiledning 97: 04, TA-1468/1997. 31 s.
- Arnekleiv, J.V. 1994. Fisk og bunndyr i Skauga 1985-1990. - Universitetet i Trondheim, Vitenskapsmuseet, zoologisk avdeling. Notat 1-1994. 23 s.
- Araujo, R. & Ramos, M.A. 2000. Action plan for *Margaritifera margaritifera* in Europe. – Council of Europe. T-PVS (2000) 10. 38 s.
- Bain, M.B. 2009. Hydro peaking and green energy: Standards and application to the St. Marys River USA and Canada. – Proceedings of the International Conference of Science and Information Technologies for Sustainable Management of Aquatic Ecosystems, International Association of Hydraulic Engineering and Research and the International Association of Hydrological Sciences, Concepción, Chile.
- Bauer, G. 1987. Reproductive strategy of the freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera*. – J. Anim. Ecol. 56: 691-704.
- Bauer, G. 1988. Threats to the freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* L. in Central Europe. – Biol. Conserv. 45: 239-253.
- Bauer, G. 1989. Die bionomische strategie der flussperlmuschel. - Biol. Unserer Zeit 19: 69-75.
- Bauer, G. 1992. Variation in the life span and size of the freshwater pearl mussel. – J. Anim. Ecol. 61: 425-436.
- Bauer, G. 1994. The adaptive value of offspring size among freshwater mussels (Bivalvia; Unionoidea). – J. Anim. Ecol. 63: 933-944.
- Berger, H.M. 2010. Kartlegging av elvemusling i 10 små vassdrag i Sør-Trøndelag 2009. – Sweco Norge AS. Rapport nr. 576121-1. 57 s.
- Berger, H.M. 2011. Mossa, status og vurdering av tiltak for anadrom fisk 2010. – Sweco Norge AS. Oppdrag nr. 578461. Rapport nr. 1. 60 s.
- Berger, H.M., Lehn, L.O. & Skjøstad, M.B. 2006. Elvemuslingen i Fossingelva i Levanger kommune. Tilstand – utbredelse – lengdefordeling – tetthet – rekruttering. – FeltBio. Rapport 3-2006. 14 s.

- Björk, S. 1962. Investigations on *Margaritifera margaritifera* and *Unio crassus*. Limnologic studies in rivers in south Sweden. – Acta Limnologica 4: 1-109.
- Bolotov, I.N. & Bepalaya, Y.V. 2010. State of *Margaritifera margaritifera* (L.) populations in Arkhangelsk region. – S. 6-11 i: Ieshko, E.P. & Lindholm, T. (red.). Conservation of freshwater pearl mussel, *Margaritifera margaritifera* populations in Northern Europe. Proceedings of the International workshop. Karelien Research Centre of RAS.
- Buddensiek, V. 1995. The culture of juvenile freshwater pearl mussels *Margaritifera margaritifera* L. in cages: A contribution to conservation programmes and the knowledge of habitat requirements. – Biol. Conserv. 74: 33-40.
- Buddensiek, V., 2001. Ökologie der jungen Flussperlmuschel. – S. 63-68 i: Wasserwirtschaftsamt Hof & Albert-Ludwigs Universität Freiburg. Die Flussperlmuschel in Europa – Bestandssituation und Schutzmassnahmen.
- Buddensiek, V., Engel, H., Fleischauer-Rossing, S. & Wächtler, K., 1993. Studies on the chemistry of interstitial water taken from defined horizons in the fine sediments of bivalve habitats in several northern German lowland waters. II: Microhabitats of *Margaritifera margaritifera* L., *Unio crassus* (Philipsson) and *Unio tumidus* Philipsson. *Archiv für Hydrobiologie* 127: 151-166.
- Carell, B., Dunca, E., Gärdenfors, U., Kulakowski, E., Lindh, U., Mutvei, H., Nyström, J., Seire, A., Slepukhina, T., Timm, H., Westermark, T. & Ziuganov, V. 1995. Biomonitoring of pollutants in a historic perspective. Emphasis on mussel and snail shell methodology. – Ann. di Chimica 85: 353-370.
- Cosgrove, P.J. & Hastie, L.C. 2001. Conservation of threatened freshwater pearl mussels: river management, translocation and conflict resolution. – Biol. Conserv. 99: 183-190.
- Cunjak, R.A. & McGladdery, S.E. 1991. The parasite-host relationship of glochidia (Mollusca: Margaritiferidae) on the gills of young-of-the-year Atlantic salmon (*Salmo salar*). – Can. J. Zool. 69: 353-358.
- Degerman, E., Alexanderson, S., Bergengren, J., Henrikson, L., Johansson, B.-E., Larsen, B.M. & Söderberg, H. 2009. Restaurering av flodpärlmusselvatten. – WWF Sweden, Solna. 62 s.
- D'Eliscu, P.N. 1972. Observation of the glochidium, metamorphosis, and juvenile *Anodonta californiensis* Lea, 1857. – Veliger 15: 57-58.
- Direktoratet for naturforvaltning 2006. Handlingsplan for elvemusling, *Margaritifera margaritifera*. – DN-Rapport 3-2006. 24 s.
- Dolmen, D. 2003. Elvemuslingen (*Margaritifera margaritifera*) i Bjøra, Overhalla kommune i Nord-Trøndelag. Utbredelse og bestand, samt antatte skadevirkninger ved lita vassføring i elva. – Fylkesmannen i Nord-Trøndelag, Miljøvernkvdelingen. Rapport 1-2003. 16 s.
- Dolmen, D. & Kleiven, E. 1997. Elvemuslingen *Margaritifera margaritifera* i Norge 2. – Vitenskapsmuseet Zool. Notat 2-1997: 1-28.
- Dolmen, D. & Kleiven, E. 2004. The impact of acidic precipitation and eutrophication on the freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* (L.) in Southern Norway. – Fauna norv. 24: 7-18.

- Dolmen, D. & Kleiven, E. 2008. Distribution, status and threats of the freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* (Linnaeus) (Bivalvia, Margaritiferidae) in Norway. *Fauna norvegica* 26/27: 3-14.
- Dunca, E. 1999. Bivalve shells as archives for changes in water environment. *Vatten* no 55: 279-290.
- Dunca, E. 2009. Skaltillväxt och åldersbetsämning av flodpärlmuslor från Numedalslågen, Norge. – Bivalvia rapport nr 1. 22 s.
- Dunca, E. & Larsen, B.M. 2012. Skillnader i skaltillväxt hos flodpärlmusslor i reglerade och icke-reglerade vattendrag från Norge. – NINA Rapport 795. 63 s.
- Dunca, E. & Mutvei, H. 2001. Comparison of microgrowth pattern in *Margaritifera margaritifera* shells from north and south Sweden. *American Malacological Bulletin*. Vol.16 (1/2): 239-250.
- Dunca, E., Schöne, B.R. & Mutvei, H. 2005. Freshwater bivalves tell of past climates: But how clearly do shells from polluted rivers speak? – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 228: 43-57.
- Dunca, E., Mörrth, C.-M. & Sandaas, K. 2009a. Skaltillväxt och kemiska analyser av flodpärlmusslor från Kampåa, Norge. – Bivalvia rapport 2009. 24 s.
- Dunca, E., Mörrth, C.-M. & Sandaas, K. 2009b. Skaltillväxt och kemiska analyser av flodpärlmusslor från Leira, Norge. – Bivalvia rapport 2009. 26 s.
- Dunca, E., Larsen, B.M. & Mörrth, C.M. 2009c. Flodpärlmusslan i Hunnselva – åldersbestämning och kemisk analys av musselskal. – NINA Rapport 487. 28 s.
- Dunca, E., Mörrth, C.-M. & Larsen, B.M. 2010. Skaltillväxt och kemiska analyser av flodpärlmusslor från Ognå och Figga, Norge. – Bivalvia rapport 2010. 28 s.
- Dunca, E., Söderberg, H. & Norrgran, O. 2011. Shell growth and age determination in the freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* in Sweden: natural versus limed streams. – *Ferrantia* 64: 48-58.
- Dyk, V. & Dyková, S. 1974. The pearl oyster (*Margaritana margaritifera*, Linnaeus, 1758) a neglected indicator of the pollution of mountain and submontane water flows of the crystalline region of Czechoslovakia. – *Acta Vet. Brno* 43: 287-304.
- Elliot, J.M. 1991. Tolerance and resistance to thermal stress in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*. – *Freshwater Biology* 25: 61-70.
- Elnan, S.D. & Ledje, U.P. 2008. Konsekvenser for fisk og bunndyr ved utbygging av Sauland kraftverk, Hjartdal kommune. – Ambio miljørådgivning. Rapport nr. 25328-4. 68 s.
- Engeland, K., Hisdal, H., Orthe, N.K., Petersen-Øverleir, A. & Voksø, A. 2008. Lavvannskart for Norge. – Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). Oppdragsrapport A 5-2008. 58 s.
- Englund, D., Brunberg, A. & Jacks, G. 2008. A case study of a freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*) population in Central Sweden. – *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography* 90: 251-258.
- Eriksson, M.O.G., Henrikson, L. & Söderberg, H. 1998. Flodpärlmusslan i Sverige. – Naturvårdsverket Rapport 4887. 138 s.

- Fergus, T. & Bogen, J. 2006. Sedimenttransport og bunnssubstrat. – S. 35-41 i: Saltveit, S.J. (red.). Økologiske forhold i vassdrag – konsekvenser av vannføringsendringer. En sammenstilling av dagens kunnskap. - Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).
- Fisher, S.G., & LaVoy, A. 1972. Differences in littoral fauna due to fluctuating water levels below a hydroelectric dam. - Journal of the Fisheries Research Board of Canada 29: 1472-1476.
- Freeman, M.C., Pringle, C.M., Greathouse, E.A. & Freeman, B.J. 2003. Ecosystem-level consequences of migratory faunal depletion caused by dams. – American Fisheries Society Symposium. 35: 255-266.
- Galbraith, H.S. & Vaughn, C.C. 2009. Temperature and food interact to influence gamete development in freshwater mussels. – Hydrobiologia 636: 35-47.
- Galbraith, H.S. & Vaughn, C.C. 2011. Effects of reservoir management on abundance, condition, parasitism and reproductive traits of downstream mussels. – River Res. Applic. 27: 193-201.
- Geist, J. 2007. Untersuchungen zur Substratqualität in der Our (Luxemburg) - EU-Projekt LIFE05Nat/L/000116 “Restauration des populations des moules perlières en Ardennes“. Unpublished report.
- Geist, J. & Auerswald, K. 2007. Physicochemical stream bed characteristics and recruitment of the freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*). – Freshwater Biology 52: 2299-2316.
- Gorseth, S. 2007. Bestandsovervåking av laks og aure. Små laksevassdrag i Nord-Trøndelag 1999-2007. – Allskog. Rapport 4-2007. 76 s.
- Gregersen, H. 2008. Kartlegging av elvemusling i Embrets foss. – Sweco Norge AS. Rapport nr. 140791-3. 22 s.
- Grundelius, E. 1982. Flodpärlmusslan, *Margaritifera margaritifera* (L.) - en litteraturstudie. – Länsstyrelsen Kopparbergs län, Naturvårdsenheten. Rapport 2-1982. 23 s.
- Grundelius, E. 1987. Flodpärlmusslans tilbakagång i Dalarna. – Fiskeristyrelsens sötvattenslaboratorium. Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm. Rapport 4-1987. 72 s.
- Haag, W.R. & Warren jr., M.L. 2008. Effects of severe drought on freshwater mussel assemblages. – Trans. Am. Fish. Soc. 137: 1165-1178.
- Harby, A. & Bogen, J. (red.) 2012. Miljøkonsekvenser av raske vannstandsendringer. – NVE, Miljøbasert vannføring. Rapport 1-2012. 82 s.
- Hardison, B.S. & Layzer, J.B. 2001. Relations between complex hydraulics and the localized distribution of mussels in three regulated rivers. – Regulated rivers: Research & Management 17: 77-84.
- Hastie, L.C. & Young, M.R. 2003. Timing of spawning and glochidial release in Scottish freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*) populations. – Freshwater Biology 48: 2107-2117.
- Hastie, L.C., Boon, P.J. & Young, M.R. 2000. Physical microhabitat requirements of freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* (L.). – Hydrobiologia 429: 59-71.

- Hastie, L.C., Boon, P.J., Young, M.R. & Way, S. 2001. The effects of a major flood on an endangered freshwater mussel population. – *Biol. Conserv.* 98: 107-115.
- Hastie, L.C., Cosgrove, P.J., Ellis, N. & Gaywood, M.J. 2003a. The threat of climate change to freshwater pearl mussel populations. – *Ambio* 32: 40-46.
- Hastie, L.C., Cooksley, S.L., Scougall, F., Young, M.R., Boon, P.J. & Gaywood M.J. 2003b. Characterization of freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*) riverine habitat using River Habitat Survey data. – *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 13-3: 213-224.
- Hastie, L.C., Cooksley, S.L., Scougall, F., Young, M.R., Boon, P.J. & Gaywood, M.J. 2004. Applications of extensive survey techniques to describe freshwater pearl mussel distribution and macrohabitat in the River Spey, Scotland. – *River Res. Applic.* 20: 1001-1013.
- Heinricher, J.R. & Layzer, J.B. 1999. Reproduction by individuals of a nonreproducing population of *Megaloniaias nervosa* (Mollusca: Unionidae) following translocation. – *The American Midland Naturalist* 141: 140-148.
- Hendelberg, I. 1959. Flodpärlmusslan, *Margaritifera margaritifera* L. Undersökningen i Pärälven i Jokkmokk sommaren 1958 samt övriga uppgifter av betydelse inför en ev. vattenreglering. - Zoologiska institutionen, Uppsala universitetet. Stensil.
- Henrikson, L. & Ingvarsson, P. 2007. Flodpärlmussla i Hallands län 2004 – en översiktlig inventering. – Länsstyrelsen Hallands län, Enheten för naturvård och miljöövervakning. Meddelande 2007: 16. 47 s.
- Henrikson, L., Bergström, S.-E., Norrgrann, O. & Söderberg, H. 1998. Flodpärlmusslan i Sverige – dokumentasjon, skyddsvärde och åtgärdsförslag för 53 bestånd. – s. 47-66 i Eriksson, M.O.G., Henrikson, L. & Söderberg, H., red. Flodpärlmusslan i Sverige. Naturvårdsverket Rapport 4887. 138 s.
- Hruska, J. 1992. The freshwater pearl mussel in South Bohemia: Evaluation of the effect of temperature on reproduction, growth and age structure of the population. - *Arch. Hydrobiol.* 126: 181-191.
- Hruska, J. 2001. Experience of semi-natural breeding programme of freshwater pearl mussel in the Czech Republic. – S. 69-75 i: Wasserwirtschaftsamt Hof & Albert-Ludwigs Universität Freiburg. Die Flussperlmuschel in Europa – Bestandssituation und Schutzmassnahmen.
- Hughes, M.H. & Parmalee, P.W. 1999. Prehistoric and modern freshwater mussel (mollusca: bivalvia) faunas of the Tennessee River: Alabama, Kentucky, and Tennessee. – *Regulated Rivers: Research and Management* 15: 24-42.
- Hvidsten, N.A. & Johnsen, B.O. 1984. Fiskeribiologiske undersøkelser i den lakseførende delen av Mossa i Nord-Trøndelag. – Direktoratet for vilt og ferskvannsfisk. Reguleringsundersøkelsene. Rapport 10-1984. 29 s. + vedlegg.
- Hvidsten, N.A., Ugedal, O. & Johnsen, B.O. 1987. Fiskeribiologiske undersøkelser i den lakseførende delen av Mossa i Nord-Trøndelag etter regulering. – Direktoratet for naturforvaltning. Reguleringsundersøkelsene. Rapport 5-1987. 26 s. + vedlegg.

- Hvidsten, N.A., Bremseth, G. & Johnsen, B.O. 1992. Fiskeribiologiske undersøkelser i den lakseførende delen av Mossa i Nord-Trøndelag etter regulering. Vurderinger av reguleringen og forslag til kompensasjonstiltak for laks og sjøaure. – NINA Oppdragsmelding 186. 32 s.
- Ingvarsson, P. 2007. Flodpärlmussla i Hallands län 2005 – en fördjupad undersökning. – Länsstyrelsen Hallands län, Enheten för naturvård och miljöövervakning. Meddelande 2007: 6. 55 s.
- IUCN 2011. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2011.2. <www.iucnredlist.org>
- Jansen, W., Bauer, G. & Zahner-Meike, E. 2001. Glochidial mortality in freshwater mussels. – S. 185-211 i: Bauer, G. & Wächtler, K. (red.). Ecology and evolution of the freshwater mussels Unionoida. Ecological studies Vol. 145. Springer Verlag.
- Jensen, C., Brodtkorb, E., Stokker, R. Sørensen, J. & Gakkestad, K. 2010. Konesjonshandsaming av vasskraftsaker. Rettleiar for utarbeiding av meldingar, konsekvensutgreiingar og søknader. – Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). Veileder 3-2010. 92 s.
- Jensen, C.S., Gravem, F.R. & Poléo, A.B.S. 2002. Laks og temperatur – en litteraturgjennomgang. – Suldalslågen - Miljørapport nr. 13. 109 s.
- Johnsen, B.O. & Hvidsten, N.A. 2004. Krav til vannføring i sterkt regulerede smålaksvassdrag. – NVE Miljøbasert vannføring. Rapport 4-2004. 68 s.
- Jonsson, B., Forseth, T., Jensen, A.J. & Næsje, T.F. 2001. Thermal performance of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L. – Functional Ecology 15: 701-711.
- Jungbluth, J.H. 2011. The freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*) in Germany. – Ferrantia 64: 5-12.
- Jungbluth, J.H. & Lehmann, G. 1976. Untersuchungen zur verbreitung, morphologie und ökologie der Margaritifera populationen an den atypischen standorten des jungtertiären basaltess im Vogelsberg/Oberhessen (Mollusca: Bivalvia). – Arch. Hydrobiol. 78: 165-212.
- Jørgensen, L. 2008. Kartlegging av elvemusling i Mølnelva, Bodø i forbindelse med mulig etablering av kraftverk. – Nordnorske ferskvannsbiloger. Rapport 7-2008. 11 s.
- Kat, P.W. 1984. Parasitism and the Unionacea (Bivalvia). Biological Review 59: 189-207.
- Kiland, H. & Simonsen, J.H. 1999. Fisk og botndyr. Naturfaglege undersøkingar i samband med planlagt bygging av Omnesfossen kraftverk i Hjartdal kommune. – Telemarksforskning, Bø. Arbeidsrapport 11-1999. 47 s.
- Killeen, I.J. 2006. The freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* (L., 1758) in the River Ehen, Cumbria: Report on the 2006 survey. – Unpublished report to the Environment Agency, Penrith.
- Killeen, I. 2011. Monitoring substrate and interstitial quality of the River Our, Luxembourg. – EU-Project LIFE05Nat/L/000116 “Restauration des populations des moules perlières en Ardennes”. Unpublished report.

- Korbøl, A., Kjellekvold, D. & Selboe, O.-K. 2009. Kartlegging og dokumentasjon av biologisk mangfold ved bygging av småkraftverk (1-10 MW) – revidert utgave. Mal for utarbeidelse av rapport. – Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). Veileder 3-2009. 22 s.
- Korsen, I. 1980. Fiskeribiologiske undersøkelser i den lakseførende delen av Mossa, Mosvik kommune. – Direktoratet for vilt og ferskvannsfisk. Fiskerikonsulent i Midt-Norge. Rapport. 27 s. + vedlegg.
- Kålås, J.A., Viken, Å., Henriksen, S. & Skjelseth, S. (red.) 2010. Norsk Rødliste for arter 2010. – Artsdatabanken.
- Lange, M. & Selheim, H. 2011. growing factors of juvenile freshwater pearl mussels and their characteristics in selected pearl mussel habitats in Saxony (Germany). – *Ferrantia* 64: 30-37.
- Lange, M., Nagel, C. & Geist, J. 2008. Perle der Natur. – Schutz der Flussperlmuschel in Sachsen. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.
- Larsen, B.M. 1986. Vanlig dammusling, *Anodonta piscinalis*, Nilss. – populasjonsundersøkelse i Svartevja ved Jørstadmoen, Lillehammer kommune. – Hovedfagsoppgave i ferskvannsökologi, Zoologisk institutt, Universitetet i Trondheim. 119 s. + vedlegg.
- Larsen, B.M. 1999. Biologien til elvemusling *Margaritifera margaritifera* - en kunnskapsoversikt. – *Fauna* 52: 6-25.
- Larsen, B.M. 2000. Utbredelse og bestandsstatus for elvemusling *Margaritifera margaritifera* i Begna, Oppland. – Fylkesmannen i Oppland, Miljøvern-avdelingen. Rapport 5-2000. 19 s.
- Larsen, B.M. 2005. Handlingsplan for elvemusling *Margaritifera margaritifera* i Norge. Innspill til den faglige delen av handlingsplanen. – NINA Rapport 122. 33 s.
- Larsen, B.M. 2006. Laks, *Salmo salar* (L.), og ørret, *Salmo trutta* (L.), som vertsfisk for elvemusling, *Margaritifera margaritifera* (L.). – S. 43-44 i: Arvidsson, B. & Söderberg, H. (red.). Flodpärlmussla – vad behöver vi göra för att rädda arten? En workshop på Karlstads universitet. Karlstad University Studies 2006: 15.
- Larsen, B.M. 2008a. Elvemusling i Borråselva og Brekkelva, Nord-Trøndelag. Undersøkelser og bedømmelse av skadeomfang etter anleggsarbeid i 2008. – NINA Minirapport 243. 31 s.
- Larsen, B.M. 2008b. Overvåking av elvemusling i Ognå, Steinkjervassdraget i forbindelse med kjemisk behandling for å fjerne *Gyrodactylus salaris* fra vassdraget i 2006 og 2007. – NINA Rapport 352. 39 s.
- Larsen, B.M. 2009a. Kartlegging av elvemusling i Figgjovassdraget, Rogaland – utbredelse og bestandsstatus. – NINA Minirapport 274. 28 s.
- Larsen, B.M. 2009b. Forsøk med reetablering av elvemusling ved utsetting av ørret infisert med muslinglarver. – NINA Rapport 510. 18 s.

- Larsen, B.M. 2010a. Distribution and status of the freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*) in Norway. – S. 35-43 i: Ieshko, E.P. & Lindholm, T. (red.). Conservation of freshwater pearl mussel, *Margaritifera margaritifera* populations in Northern Europe. Proceedings of the International workshop. Karelien Research Centre of RAS.
- Larsen, B.M. 2010b. Problemkartlegging med tilknytning til elvemusling i Hunnselva og forslag til tiltaksplan for å ta vare på og reetablere elvemusling i vassdraget. – NINA Rapport 559. 39 s.
- Larsen, B.M. 2010c. Elvemusling i Begna. Befaringsundersøkelse i forbindelse med konsesjonssøknad for Kvennfossen kraftverk. – NINA Minirapport 299. 19 s.
- Larsen, B.M. 2011. Overvåking av elvemusling i Norge. Årsrapport 2010: Ereviksbekken og Svinesbekken, Rogaland. – NINA Rapport 691. 35 s.
- Larsen, B.M. 2012. Reetablering av elvemusling i Hammerbekken, Trondheim kommune. Resultater fra utsetting av ørret infisert med muslinglarver i 2008-2010. – NINA Rapport 807. 29 s.
- Larsen, B.M. & Aspholm, P.E. 2005. Skjellbekken (Skal'zujåkka), Finnmark (vassdragsnr. 246.E3Z). – S. 33-46 i Larsen, B.M. (red.). Overvåking av elvemusling *Margaritifera margaritifera* i Norge. Årsrapport 2003. NINA Rapport 37.
- Larsen, B.M. & Aspholm, P.E. 2011. Overvåking av elvemusling i Norge. Årsrapport 2010: Skjellbekken, Finnmark. – NINA Rapport 729. 26 s.
- Larsen, B.M. & Berger, H.M. 2007a. Hestadelva, Nordland (vassdragsnr. 154.2Z). – S. 28-39 i Larsen, B.M. (red.). Overvåking av elvemusling *Margaritifera margaritifera* i Norge. Årsrapport 2004. NINA Rapport 254.
- Larsen, B.M. & Berger, H.M. 2007b. Åelva (Roksdalsvassdraget), Nordland (vassdragsnr. 186.2Z). – S. 10-27 i Larsen, B.M. (red.). Overvåking av elvemusling *Margaritifera margaritifera* i Norge. Årsrapport 2005. NINA Rapport 309.
- Larsen, B.M. & Berger, H.M. 2009a. Overvåking av elvemusling i Norge. Årsrapport for 2008: Hunnselva, Oppland. – NINA Rapport 443. 29 s.
- Larsen, B.M. & Berger, H.M. 2009b. Overvåking av elvemusling i Norge. Årsrapport for 2008: Hoenselva, Buskerud. – NINA Rapport 454. 29 s.
- Larsen, B.M. & Berger, H.M. 2010. Overvåking av elvemusling i Norge. Årsrapport for 2008: Håelva, Rogaland. – NINA Rapport 565. 35 s.
- Larsen, B.M. & Hartvigsen, R. 1999. Metodikk for feltundersøkelser og kategorisering av elvemusling *Margaritifera margaritifera*. – NINA-Fagrapport 37: 1-41.
- Larsen, B.M. & Saksgård, R. 2010. Overvåking av elvemusling i Norge. Årsrapport 2009: Grytelvassdraget, Sør-Trøndelag. – NINA Rapport 581. 30 s.
- Larsen, B.M. & Saksgård, R. 2011. Overvåking av elvemusling i Norge. Årsrapport 2010: Aursunda, Nord-Trøndelag. – NINA Rapport 718. 29 s.
- Larsen, B.M. & Saksgård, R. 2012. Utsetting av laksengel i Figga og Oga, Nord-Trøndelag i 2010 – et tiltak for å øke rekrutteringen hos elvemusling. – NINA Minirapport 365. 15 s.

- Larsen, B. M., Hesthagen, T. & Lierhagen, S. 1992. Vannkvalitet og ungfisk av laks og aure i Ogna, Rogaland, før kalking. – NINA Oppdragsmelding 130. 37 s.
- Larsen, B.M., Hårsaker, K., Bakken, J. & Barstad, D.V. 2000. Elvemusling *Margaritifera margaritifera* i Steinkjervassdraget og Figga, Nord-Trøndelag. Forundersøkelse i forbindelse med planlagt rotenonbehandling. – NINA Fagrapport 39: 1-39.
- Larsen, B.M., Karlsen, L.R. & Eggen, J.-E. 2002. Enningdalselva, Østfold (vassdragsnr. 001.1Z). – S. 26-37 i: Larsen, B.M. (red.). Overvåking av elvemusling *Margaritifera margaritifera* i Norge. Årsrapport 2001. NINA Oppdragsmelding 762.
- Larsen, B.M., Eken, M., Tysse, Å. & Engen, Ø. 2007a. Overvåking av elvemusling i Simoa, Buskerud. Statusrapport 2006. – NINA Rapport 314. 45 s.
- Larsen, B.M., Aspholm, P.E., Berger, H.M., Hårsaker, K., Karlsen, L.R., Magerøy, J., Sandaas, K. & Simonsen, J.H. 2007b. Monitoring the freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* in Norway. – Universität Bayreuth: Pearl mussels in Upper Franconia and Europe – 3rd workshop. Bayreuth, desember 2007.
- Larsen, B.M., Sandaas, K., Enerud, J. & Magerøy, J. 2008a. Sørkedalselva, Oslo/Akershus (vassdragsnr. 007.Z). – S. 21-38 i: Larsen, B.M. (red.). Overvåking av elvemusling i Norge. Årsrapport for 2006 og 2007. NINA Rapport 417.
- Larsen, B.M., Berger, H.M. & Julien, K. 2008b. Borråselva i Grelvavassdraget, Nord-Trøndelag (vassdragsnr. 124.2Z). – S. 39-54 i: Larsen, B.M. (red.). Overvåking av elvemusling i Norge. Årsrapport for 2006 og 2007. NINA Rapport 417.
- Larsen, B.M., Dunca E., Karlsson, S. & Saksgård, R. 2011a. Elvemusling i Steinkjervassdragene: Status etter 30 år med *Gyrodactylus salaris* og flere forsøk på  utrydde lakseparasitten i Ogna og Figga. – NINA Rapport 730. 79 s.
- Larsen, B.M., Karlsson, S., Hindar, K. & Balstad, T. 2011b. Genetisk variasjon hos elvemusling *Margaritifera margaritifera* (L.) i Norge – en pilotstudie - NINA Minirapport 316. 20 s.
- Layzer, J.B. & Madison, L.M. 1995. Microhabitat use by freshwater mussels and recommendations for determining their instream flow needs. – Regulated rivers: Research & Management 10: 329-345.
- Layzer, J.B. & Scott, E.M. 2006. Restoration and colonization of freshwater mussels and fish in a southeastern United States tailwater. – River Res. Applic. 22: 475-491.
- Layzer, J.B., Gordon, M.E. & Anderson, R.M. 1993. Mussels: the forgotten fauna of regulated rivers. A case study of the Caney Fork River. – Regulated Rivers Research and Management 8: 63-71.
- Makhrov, A.A., Ieshko, E.P., Shchurov, I.L. & Shirokov, V.A. 2009. Freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera* (L. 1758)): Coverage by studies and options for conservation in rivers of Karelia. – Transactions of Karelian Research Centre of Russian Academy of Science. No 1. Biogeography. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2009: 101-113.

- McAllister, D., Craig, J., Davidson, N. & Seddon, M. 1999. The biodiversity impacts of large dams. – Report to IUCN, Gland.
- Meyers, T.R. & Millemann, R.E. 1977. Glochidiosis of salmonid fishes. I. Comparative susceptibility to experimental infection with *Margaritifera margaritifera* (L.) (Pelecypoda: Margaritanidae). – J. Parasitol. 63: 728-733.
- Moen, A., Lund, E. & Røkke, E. 2003. Konsekvensrapport for mikrokraftverk i Mæleselva. – Biosmart as. Rapport 1-2003. 7 s.
- Moles, K.R. & Layzer, J.B. 2008. Reproductive ecology of *Actinonaias ligamentina* (Bivalvia: Unionidae) in a regulated river. – J. N. Am. Benthol. Soc. 27: 212-222.
- Moog, O. Nesemann, H., Ofenböck, T. & Stundner, C. 1993. Grundlagen zum schutz der flussperlmuschel in Österreich. – Bristol-Stiftung (Ruth und Herbert Uhl); Forschungsstelle für Natur- und Umweltschutz 3: 1-233.
- Moorkens, E. 2011. *Margaritifera margaritifera*. – I: IUCN 2011. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2011.2. <www.iucnredlist.org.>
- Moorkens, E.A., Killeen, I.J. & Ross, E. 2007. *Margaritifera margaritifera* (the freshwater pearl mussel) conservation assessment. Backing document. – Report to the National Parks and Wildlife Service, Dublin. 42 s.
- Morales, J.J., Negro, A.I., Lizana, M., Martinez, A. & Palacios, J. 2004. Preliminary study of the endangered populations of pearl mussel *Margaritifera margaritifera* (L.) in the River Tera (north-west Spain): habitat analysis and management considerations. – Aquatic. Conserv.: Mar. Fresw. Ecosyst. 14: 587-596.
- Murphy, G. 1942. Relationship of the fresh-water mussel to trout in the Truckee River. – Calif. Fish Game 28: 89-102.
- Mutvei, H. & Westermark, T. 2001. How environmental information can be obtained from Naiad shells. – S. 367-379 i: Bauer, G. & Wächtler, K. (red.). Ecology and evolution of the freshwater mussels Unionoida. Ecological studies Vol. 145. Springer Verlag.
- Mutvei, H., Dunca, E., Timm, H. & Slepukhina, T. 1996. Structure and growth rates of bivalve shells as indicators of environmental changes and pollution. Bulletin de l'Institut océanographique, Monaco. Numéro spécial 14-4: 65-72.
- Naimo, T.J. 1995. A review of the effects of heavy metals on freshwater mussels. – Ecotoxicology 4: 341-362.
- Neves, R.J., Bogan, A.E., Williams, J.D., Ahlstedt, S.A. & Hartfield, P.W. 1997. Status of aquatic mollusks in the southeastern United States: a downward spiral of diversity. S. 53-85 i: Benz, G.W. & Collins, D.E. (red.). Aquatic fauna in peril: the southeastern perspective. Southeast Aquatic Research Institute, Special Publication 1, Decatur, Georgia.
- Oulasvirta, P. 2010. Freshwater pearl mussel: Distribution and state of the populations in Finland. – S. 54-63 i: Ieshko, E.P. & Lindholm, T. (red.). Conservation of freshwater pearl mussel, *Margaritifera margaritifera* populations in Northern Europe. Proceedings of the International workshop. Karelien Research Centre of RAS.

- Payne, B.S. & A.C. Miller, 2000. Recruitment of *Fusconaia ebena* (Bivalvia: Unionidae) in relation to discharge of the lower Ohio river. – American Midland Naturalist 144: 328-341.
- Porkka, M. 2003. Losing the last stronghold. The status of pearl mussels in northern Finland and a plausible reason for the radical decline of their populations. – Abstract Zweiter Workshop “Flussperlmuschel in Oberfranken und Europa” dezember 2003. Universität Bayreuth.
- Potts, W.T.W. 1954. The inorganic composition of the blood of *Mytilus edulis* and *Anodonta cygnea*. – J. Exp. Biol. 31: 376-385.
- Rikstad, A. & Grande, R. 1992. Laksesperra i Figga. Erfaringer etter 4 års drift. - Fylkesmannen i Nord-Trøndelag, Miljøvern avdelingen. Rapport 1992-1. 10 s.
- Rikstad, A. & Julien, K. 2009. Elvemusling i Lennaelva og Teigmoelva, Flatanger kommune – Nord-Trøndelag. – Fylkesmannen i Nord-Trøndelag, Miljøvern avdelingen. Rapport 6-2009. 13 s.
- Rikstad, A. & Julien, K. 2010. Elvemusling i Steinkjer kommune – Nord-Trøndelag. - Fylkesmannen i Nord-Trøndelag, Miljøvern avdelingen. Rapport 1-2010. 20 s.
- Rikstad, A., Gording, K., Julien, K. & Winje, B. 2004. Elvemusling (*Margaritifera margaritifera*) i Nord-Trøndelag. Utbredelse og status. – Fylkesmannen i Nord-Trøndelag, Miljøvern avdelingen. Rapport 3-2004. 32 s.
- Roscoe, E.J. & Redelings, S. 1964. The ecology of the fresh-water pearl mussel *Margaritifera margaritifera* (L.). – Sterkiana 16: 19-32.
- Saha, S. 2007. Behavioral and physiological responses of freshwater mussels (Bivalvia: Unionoida) to variations in stream discharge. – Faculty of the Graduate School, Tennessee Technological University. Dissertation.
- Saltveit, S.J. (red.) 2006. Økologiske forhold i vassdrag – konsekvenser av vannføringssendringer. En sammenstilling av dagens kunnskap. - Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). 152 s.
- Sandaas, K. & Enerud, J. 1998. Elvemusling *Margaritifera margaritifera* i Sørkedalselva, Oslo kommune 1995-1998. Utbredelse og bestandsstatus. – Oslo kommune, Miljø- og næringsmiddeletaten. Rapport 12-1998. 32 s.
- Sandaas, K. & Enerud, J. 2005. Flat dammusling *Pseudanodonta complanata* i Akershus – status 2005. Med kommentarer om andemusling *Anodonta anatina* i felles bestand. – Fylkesmannen i Oslo og Akershus, Miljøvern avdelingen. Rapport 2-2005. 26 s.
- Sandaas, K., Dolmen, D., Rikstad, A. & Riseth, T. 2003. Fugler fråtser i elvemusling tørkesommerne 2002 og 2003. – Fauna 56: 168-171.
- Schartau, A.K., Dolmen, D., Hesthagen, T., Mjelde, M., Walseng, B., Ødegård, F., Økland, J., Økland, K.A. & Bongard, T. 2008. Ferskvann – Miljøforhold og påvirkninger på rødlistearter. – Artsdatabanken, Norge.
<www.artsdatabanken.no>

- Scheder, C., Gumpinger, C. & Csar, D. 2011. Application of a five-stage field key for the larval development of the freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera* Linné, 1758) under different temperature conditions – a tool for the approximation of the optimum time for host fish infection in captive breeding. – *Ferrantia* 64: 13-22.
- Schlesinger, W.H. 1991. Biogeochemistry. – Academic Press, San Diego, CA.
- Schmidt, C. & Vandr , R. 2010. Ten years of experience in the rearing of young freshwater pearl mussels (*Margaritifera margaritifera*). – *Aquatic Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 20: 735-747.
- Schöne, B.R., Dunca, E., Mutvei, H. & Norlund, U. 2004. A 217-year record of summer air temperature reconstructed from freshwater pearl mussels (*M. margaritifera*, Sweden). – *Quaternary Science Reviews* 23: 1803-1816.
- Seed, R. 1980. Shell growth and form in the Bivalvia. – S. 23-67 i: Rhoads, D.C. & Lutz, R.A. (red.). Skeletal growth of aquatic organisms. Biological records of environmental change. Plenum Press, New York, London.
- Semenova, M.N., Karpycheva, L.A., Voloshenko, B.B. & Bugaev, V.F. 1992. Comparative analysis of growth rates of the freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* (Bivalvia, Margaritiferidae) in different water bodies. *Zoologicheskii Zhurnal* 71: 19-27.
- Simonsen, L. 2005. Elvemusling i Numedalslågen, Daleelva og Herlandselva. – Naturplan. Rapport. 16 s.
- Skinner, A., Young, M. & Hastie, L. 2003. Ecology of the Freshwater Pearl Mussel. – *Conserving Natura 2000 Rivers Ecology Series No. 2 English Nature, Peterborough.* 16 s.
- Spring Rivers 2007. Reproductive timing of freshwater mussels and potential impacts of pulsed flows on reproductive success. – California Energy Commission, PIER Energy-Related Environmental Research Program. CEC-500-2007-097. 86 s.
- Sundt-Hansen, L., Forseth, T., Kvingedal, E., Thorstad, E., Larsen, B.M., Hvidsten, N.A. & Fiske, P. 2012. Laksen i Numedalslågen – evaluering av man vreringsreglement. NINA Rapport 793. 91 s.
- Söderberg, H. 2006a. Har flodp rlmusslornas status f r ndrats i Västernorrlands län? – S. 75-82 i: Arvidsson, B. & Söderberg, H. red. Flodpärlmussla – vad beh ver vi göra för att r dde arten? En workshop på Karlstads universitet. Karlstad University Studies 2006, 15.
- Söderberg, H. 2006b. Enkel statusbeskrivning av flodp rlmusslebest nd – en metodbeskrivning. – S. 101-109 i: Arvidsson, B. & Söderberg, H. red. Flodpärlmussla – vad beh ver vi göra för att r dde arten? En workshop på Karlstads universitet. Karlstad University Studies 2006, 15.
- Söderberg, H., Karlberg, A. & Norrgrann, O. 2008a. Status, trender och skydd för flodpärlmusslan i Sverige. – Länsstyrelsen Västernorrland. Kultur- och naturavdelningen. Rapport 12-2008. 80 s.

- Söderberg, H., Norrgrann, O., Törnblom, J., Andersson, K., Henrikson, L. & Degerman, E. 2008b. Vilka faktorer ger svaga bestånd av flodpärlmussla? En studie av 111 vattendrag i Västernorrland. – Länsstyrelsen Västernorrland. Kultur- och naturavdelningen. Rapport 8-2008. 28 s.
- Tankersley, R.A. & Dimock, R.V. 1993. The effect of larval brooding on the filtration-rate and particle-retention efficiency of *Pyganodon cataracta* (Bivalvia, Unionidae). – Canadian Journal of Zoology 71: 1934-1944.
- Thomas, R. & Hoey, J. 2006. Geomorphological assessment of the River Kerry Special Area of Conservation. Scottish Natural Heritage Commissioned Report No. 182.
- Torgersen, P. & Ebne, I. 2011. Bedre bruk av fiskeressursene i regulerte vassdrag i Oppland - Fagrapport 2010. Fylkesmannen i Oppland, miljøvernavdelingen. Rapport 8-2011. 77 s.
- Tudorancea, C. 1972. Studies on Unionidae populations from the Crapina-Jijila complex of pools (Danube zone liable to inundation). - Hydrobiol. 39: 527-561.
- Valovirta, I. 1990. Conservation of *Margaritifera margaritifera* in Finland. - Counc. Eur. Environm. Encount. Ser. 10: 59-63.
- Vaskinn, K.A. 2010. Temperaturforhold i elver og innsjøer. Tiltak for regulering av temperatur. Simuleringsmodeller. – NVE, Miljøbasert vannføring. Rapport 3-2010. 89 s.
- Vaughn, C.C. & Taylor, C.M. 1999. Impoundments and the decline of freshwater mussels: a case study of an extinction gradient. - Conservation Biology 13: 912-920.
- Walker, K.F., Byrne, M., Hickey, C.W. & Roper, D.S. 2001. Freshwater mussels (Hyriidae) of Australasia. - S. 5-31 i: Bauer, G. & Wächtler, K. (red.). Ecology and evolution of the freshwater mussels Unionoida. Ecological studies Vol. 145. Springer Verlag.
- Water Frame Directive Ireland 2010. Freshwater pearl mussel sub-basin management plans. Background documentation. Literature review. <www.wfdireland.ie>
- Watters, G.T. 1996. Small dams as barriers to freshwater mussels (Bivalvia, Unionoida) and their hosts. Biological Conservation 75: 79-85.
- Watters, G.T. 2000. Freshwater mussels and water quality: A review of the effects of hydrologic and instream habitat alterations. – Proceedings of the first freshwater mollusk conservation society symposium, 1999: 261-274.
- Watters, G.T. & O'Dee, S.H. 2000. Glochidial release as a function of water temperature: beyond bradyticity and tachyticity. Proceedings of the Conservation, Captive Care, and Propagation of Freshwater Mussels Symposium. – S. 135-140 i: Tankersley, R.A., Warmolts, D.I., Watters, G.T., Armatage, B.J., Johnson, P.D. & Butler, R.S. (red.). Freshwater Mollusk Symposia Proceedings. Ohio Biological Survey, Columbus, Ohio.
- Westly, T. & Rustadbakken, A. 2003. Fagutredning, Fisk og ferskvannsökologi Fallselva, Søndre Land kommune 2002. Naturkompetanse AS. Rapport 2-2003. 31 s.

- Williams, J.D., Warren Jr., M.L., Cummings, K.S., Harris, J.L. & Neves, R.J. 1993. Conservation status of freshwater mussels of the United States and Canada. – Fisheries 18: 6-22.
- Woodward, F.R. 1995. Thoughts on *Margaritifera* conservation: Is it too little too late? - S. 113-118 i: Valovirta, I., Harding, P.T. & Kime, D. (red.). Proceedings of the 9th international colloquium of the European Invertebrate Survey, Helsinki, 3-4 September 1993. WWF Finland Report No 7.
- Woody, C.A. & Holland-Bartels, L. 1993. Reproductive characteristics of a population of the washboard mussel *Megalonaias nervosa* (Rafinesque, 1820) in the upper Mississippi River. – Journal of Freshwater Ecology 8: 57-66.
- Yokley, P. 1972. Life history of *Pleurobema cordatum* (Rafinesque 1820) (Bivalvia: Unionacea). – Malacologia 11: 351-364.
- Young, M. & Williams, J. 1984a. The reproductive biology of the freshwater mussel *Margaritifera margaritifera* (Linn.) in Scotland. I. Field studies. – Arch. Hydrobiol. 99: 405-422.
- Young, M. & Williams, J. 1984b. The reproductive biology of the freshwater mussel *Margaritifera margaritifera* (Linn.) in Scotland. II. Laboratory studies. – Arch. Hydrobiol. 100: 29-43.
- Young, M., Hastie, L. & al-Mousawi, B. 2001a. What represents an “ideal” population profile for *Margaritifera margaritifera*? – S. 35-44 i: Wasserwirtschaftsamt Hof & Albert-Ludwigs Universität Freiburg. Die Flussperlmuschel in Europa – Bestandssituation und Schutzmassnahmen.
- Young, M., Cosgrove, P.J. & Hastie, L. 2001b. The extent of, and causes for, the decline of a highly threatened naiad: *Margaritifera margaritifera* – S. 337-357 i: Wasserwirtschaftsamt Hof & Albert-Ludwigs Universität Freiburg. Die Flussperlmuschel in Europa – Bestandssituation und Schutzmassnahmen.
- Young, M.R., Hastie, L.C. & Cooksley, S.L. 2003. Monitoring the Freshwater Pearl Mussel *Margaritifera margaritifera*. – Conserving Natura 2000 Rivers Monitoring Series No. 2 English Nature, Peterborough. 18 s.
- Zale, A.V. & Neves, R.J. 1982. Fish hosts of four species of lampsiline mussels (Mollusca: Unionidae) in Big Moccasin Creek. Canadian Journal of Zoology 60: 2535-2542.
- Ziuganov, V.V., Nezlin, L.P., Starostin, V.I., Zotin, A.A. & Semenova, M.N. 1988. Ecology and strategy for protection and reproduction of vanishing species of pearl-bearing molluscs with European wing-shell taken as an example. – Zh. Obshch. Biol. 49: 801-812.
- Ziuganov, V., Zotin, A., Nezlin, L. & Tretiakov, V. 1994. The freshwater pearl mussels and their relationships with salmonid fish. - VNIRO Publishing House, Moscow. 104 s.
- Øi, K.F. 2006. Forekomst av elvemusling, *Margaritifera margaritifera*, i Elstadelva – strekningen Hervollhøla-Rossetnes. – Upublisert rapport. 11 s.
- Økland, J. 1963. Notes on population density, age distribution, growth, and habitat of *Anodonta piscinalis* Nilss. (Moll., Lamellibr.) in a eutrophic Norwegian lake. – Nytt Mag. Zool. 11: 19-43.

- Økland, J. 1975. Vassdragsreguleringer og andre påvirkninger. Miljøproblemer i innsjøer og elver. Del IV. – Naturen 99: 75-83.
- Økland, J. & Økland, K.A. 1998. Vann og vassdrag 3. Kjemi, fysikk og miljø. – Vett & Viten as. Nesbru. 200 s.
- Österling, M., 2006. Ecology of freshwater mussels in disturbed environments. Dissertation, Karlstad University studies 2006: 53. 31 s.
- Österling, M.E., Arvidsson, B.L. & Greenberg, L.A. 2010. Habitat degradation and the decline of the threatened mussel *Margaritifera margaritifera*: influence of turbidity and sedimentation on the mussel and its host. – Journal of Applied Ecology 47: 759-768.
- Aaestad, I. & Simonsen, L. 2008. Elvemusling i Numedalslågen. Hvitvingfoss til Larvik by. – Naturplan. Rapport. 27 s.

Utgitt i rapportserien Miljøbasert vannføring, fase II

- Nr. 1-09 Evaluering av ordningen med prøvereglement. Brian Glover, John Brittain, Svein Jakob Saltveit (49 s.)
- Nr. 2-09 Pilotstudie tilsigstyrt minstevassføring. Knut Alfredsen, Tommi Linnansaari, Atle Harby, Ola Ugedal (41 s.)
- Nr. 3-09 Miljøvirkninger av vannkraft - forslag til undersøkelsesmetodikk. Lars Størset (51 s.)
- Nr. 4-09 Hvor viktig er vatn og vassføring for friluftsliv? Brukerstudier om aktiviteter, opplevelser, holdninger, kraftutbygging og konsesjonsvilkår. Odd Inge Vistad, Joar Vittersø, Oddgeir Andersen, Hogne Øian, Tore Bjerke (84 s.)
- Nr. 5-09 Modeller for simulering av miljøkonsekvenser av vannkraft. Atle Harby (red.) (51 s.)
- Nr. 1-10 Ål og konsekvenser av vannkraftutbygging - en kunnskapsoppsummering. Eva B. Thorstad (red.) (135 s.)
- Nr. 2-10 Etterundersøkelser ved små kraftverk. Sumvirkninger på landskap. Botaniske verdier og småkraft, Bunndyr og småkraft, Konsesjonsfrie mikro- og minikraftverk. Gunn E. Frilund (red.) (113 s.)
- Nr. 3-10 Temperaturforhold i elver og innsjøer. Tiltak for regulering av temperatur. Simuleringsmodeller. Kjetil Vaskinn (89 s.)
- Nr. 1-11 Vassdrag, vannføring og landskap. Trond Simensen, Priska Helene Hiller, Kjetil Vaskinn (55 s.)
- Nr. 2-11 Blodsugende knott og vassdragsreguleringer: Kan masseforekomst predikeres? Åge Brabrand, Trond Bremnes, Henning Pavels (34 s.)
- Nr. 3-11 Fossefall og småkraftverk. Bjørn Walseng, Kurt Jerstad (35 s.)
- Nr. 1-12 Miljøkonsekvenser av raske vannstandsendringer. Atle Harby, Jim Bogen (82 s.)
- Nr. 2-12 Kriterier for bruk av omløpsventil i små kraftverk. Lars Størset (red.) (57 s.)
- Nr. 3-12 Er det mulig å bli kvitt krypsivproblemene på Sørlandet? Torbjørn Danielsen, Edgar Vegge, Per Øyvind Grimsby (33 s.)
- Nr. 4-12 Suksesser i et terskelbasseng. Langtidstrender i utvikling av bunndyrsamfunn. Arne Fjellheim, Godtfred A. Halvorsen (37 s.)
- Nr. 5-12 Konsekvenser og avbøtende tiltak for ørret i forbindelse med utbygging av små kraftverk. Svein Jakob Saltveit, Ragnhild Wendelbo (40 s.)
- Nr. 6-12 Evaluering av celleterskler som avbøtende tiltak. Jo Vegar Arnekleiv (red.) (74 s.)
- Nr. 7-12 Vanntemperatur i kraftverksmagasiner. Ånund Kvambekk, Norges vassdrags- og energidirektorat (31 s.)
- Nr. 8-12 Elvemusling og konsekvenser av vassdragsreguleringer - en kunnskapsoppsummering. Bjørn Mejdell Larsen, Norsk institutt for naturforskning (165 s.)



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no

