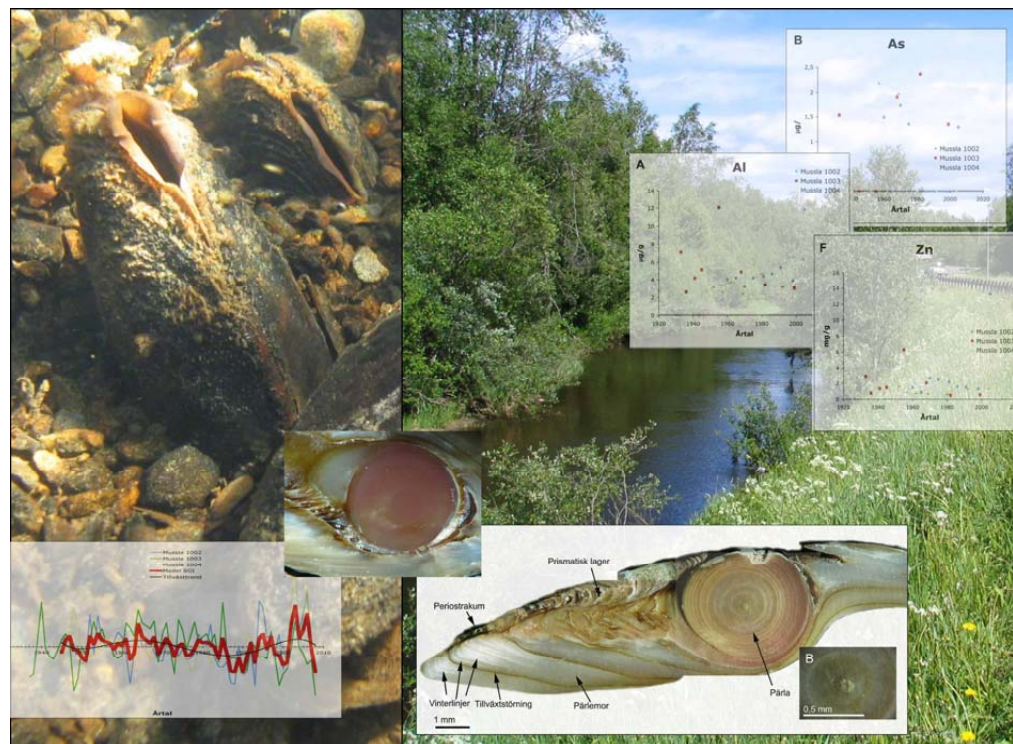


Flodpärlmusslan i Hunnselva – åldersbestämning och kemisk analys av musselskal

Elena Dunca
Bjørn Mejdell Larsen
Carl-Magnus Mörth



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er en ny, elektronisk serie fra 2005 som erstatter de tidligere seriene NINA Fagrapport, NINA Oppdragsmelding og NINA Project Report. Normalt er dette NINAs rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på annet språk når det er hensiktsmessig.

NINA Temahefte

Som navnet angir behandler temaheftene spesielle emner. Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. NINA Temahefte gis vanligvis en populærvitenskapelig form med mer vekt på illustrasjoner enn NINA Rapport.

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. De sendes til presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivå, politikere og andre spesielt interesserte. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

Annen publisering

I tillegg til rapporteringen i NINAs egne serier publiserer instituttets ansatte en stor del av sine vitenskapelige resultater i internasjonale journaler, populærfaglige bøker og tidsskrifter.

Norsk institutt for naturforskning

Flodpärlmusslan i Hunnselva – åldersbestämning och kemisk analys av musselskal

Elena Dunca
Bjørn Mejdell Larsen
Carl-Magnus Mörth

Dunca, E., Larsen, B.M. & Mörth, C.-M. 2009. Flodpärlmusslan i Hunnselva – åldersbestämning och kemisk analys av musselskal. - NINA Rapport 487. 28 s.

Trondheim, juni 2009

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-2059-0

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

[Åpen]

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

REDAKSJON

Bjørn Mejdell Larsen

KVALITETSSIKRET AV

Odd Terje Sandlund

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningssjef Odd Terje Sandlund (sign.)

OPPDRAGSGIVER(E)

Fylkesmannen i Oppland

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER

Ola Hegge

FORSIDEBILDE

Kjemisk analyse og aldersbestemmelse av muslingskall fra Hunnselva. Foto: Elena Dunca og Bjørn Mejdell Larsen

NØKKELOD

Elvemusling (flodpärlmussla) – aldersbestemmelse – skallkjemi – Hunnselva

KEY WORDS

Freshwater pearl mussel – age determination – chemical information in shells – River Hunnselva

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor

7485 Trondheim
Telefon: 73 80 14 00
Telefaks: 73 80 14 01

NINA Oslo

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon: 73 80 14 00
Telefaks: 22 60 04 24

NINA Tromsø

Polarmiljøsentret
9296 Tromsø
Telefon: 77 75 04 00
Telefaks: 77 75 04 01

NINA Lillehammer

Fakkeltgården
2624 Lillehammer
Telefon: 73 80 14 00
Telefaks: 61 22 22 15

www.nina.no

Sammandrag

Dunca, E., Larsen, B.M. & Mörth, C.-M. 2009. Flodpärlmusslan i Hunnselva – åldersbestämning och kemisk analys av musselskal. - NINA Rapport 487. 28 s.

Hunnselva är ett av flera vattendrag som ingår det nationala övervakningsprogrammet för flodpärlmusslan (= elvemusling) i Norge. Målet i handlingsplanen är att det skall finnas livskraftiga populationer genom att tillgodose en god vattenkvalité, en god ekologisk status och ta bort alla hinder för en naturlig rekrytering.

För att kunna få en uppfattning om hur vattenkvalitén i Hunnselva har förändrats över tiden och hur den har påverkat musslornas tillväxt, har tre musslor analyserats med avseende på deras skaltillväxt och kemiska sammansättning. Dessa tre musslor har insamlats den 7:e augusti 2008 från nedre del av Hunnselva. Åldersbestämning, samt tillväxt och kemiska analyser av dessa musslor, är grunden för att utreda om det finns ett samband mellan skaltillväxten och vattenkvalitén.

Skalens mått har uttryckts som en funktion av musslornas ålder i tillväxtdiagram och jämförts med allmänna tillväxtkurvor för flodpärlmusslan. Musslornas tillväxt relaterad till deras ålder ligger väldigt nära den normala tillväxtkurvan, vilket innebär att om man vill uppskatta åldern på musslor från Hunnselva utifrån deras skallängd fungerar detta samband bra.

Den årliga tillväxten hos de undersökta musslorna visar inga dramatiska förändringar. Något bättre tillväxt på 1960-talet jämfört med 1980-talet kan tolkas som naturlig tillväxtvariation.

Ett brett spektrum av grundelement i väldigt låga koncentrationer (på ppb nivå) har analyserats i musselskalen med hjälp av ICP-OES. Trender i den kemiska sammansättningen visar en ökning av mangan (Mn), barium (Ba) och strontium (Sr) från och med 1960-talet. Ökningen av Sr halten i Hunnselva musslorna kan vara kopplad till att skalens tillväxt sjunker på grund av ålder eftersom högre halter av Sr finns bara i vinterlinjer, samt tillväxtstörningslinjer. Järn (Fe) halterna visar väldigt stor variation mellan de tre analyserade musslorna. Samma typ av variation återfinns även i musslor från Imälven, Örebro län och Lärjeån, Göteborgs kommun, Sverige, och det finns ingen bra förklaring till denna variation.

Vissa ämnen som kalcium (Ca) och fosfor (P) håller en ganska konstant nivå genom åren medan andra ämnen som kobolt (Co), nickel (Ni), bly (Pb) och krom (Cr) visar variationer både mellan de olika musselskal som ingår i denna undersökning och mellan olika musselpopulationer. Variation kan bero på den kemiska sammansättningen av det substratet musslorna lever i och lokala kemiska förhållanden i vattnet.

Halterna av aluminium (Al), arsenik (As), koppar (Cu), kalium (K), titan (Ti) och zink (Zn) visar konstanta nivåer förutom tidsperioderna 1950-1961 och 2003-2008 då halterna är upp till tre gånger så höga. Dessa extrema värden kan vara resultaten av korta perioder med lägre pH värde i vattnet. Det kan dessutom vara ingrepp i och längs vattendraget som ger ökad avrinning till Hunnselva. Byggarbete längs älven mellan 2003-2006 kan ha påverkat vattnets kemi.

Elena Dunca, Naturhistoriska riksmuseet, Sektionen för paleozoologi, Box 50007, S-104 05 Stockholm, Sverige; elena.dunca@nrm.se
Bjørn Mejdell Larsen, Norsk institutt for naturforskning, N-7485 Trondheim, Norge; bjorn.larsen@nina.no
Carl-Magnus Mörth, Stockholm Universitet, Inst. för geologi och geokemi, S-10691 Stockholm, Sverige; magnus.morth@geo.su.se

Abstract

Dunca, E., Larsen, B.M. & Mörth, C.-M. 2009. Flodpärlmusslan i Hunnselva – åldersbestämning och kemisk analys av musselskal. – NINA Report 487. 28 pp.

Hunnselva is one of the water streams that are included in the national monitoring program for freshwater pearl mussel in Norway. The main target for this program is to have vital mussel populations with natural recruitment by improving the water quality and the ecological status of the streams.

In order to get a better picture of how the water quality in Hunnselva has changed over time and how this has influenced the shell growth three mussels have been analysed regarding their shell growth and chemical composition. The mussels were collected on 7th August 2008 from lower part of Hunnselva.

Age determination, together with growth and chemical analyses of the shells are helping tools to investigate the connection between shell growth and the quality of the stream water. The relationship between the shell length and age has been compared with the growth curves established for Swedish pearl mussels. The growth of these three mussels from Hunnselva follows the normal growth curve. This means that in order to estimate the age of the mussels from Hunselva by measuring their shell length, the curve for normal growth should be used.

The annual growth rate of the mussels does not show any dramatic changes. Slightly better growth rate during the 60s compared with 80s are to be considered as natural variations in shell growth.

A broad spectrum of elements in low concentration (ppb) were analysed using ICP-OES. Trends in the chemical composition show that the levels of Mn, Ba och Sr are increasing from the 1960s until present. The increase of Sr can be explained by the higher rate of winter lines as the mussels get older. Previous studies have shown that the level of Sr is higher on winter lines and disturbance lines. The level of Fe shows strong variations between the three analysed shells. These variations are found even in shells from Imälven, Örebro County and Lärjeån, Göteborgs kommun, Sweden. There is no god explanation to this variation.

Some of the elements as Ca and P have a constant level through time while other elements as Co, Ni, Pb, Cr, vary both between the three analysed shells and between different mussel populations. These variations might have to do with the chemical composition of the substrate and the local conditions of the water system.

The levels of Al, As, Cu, K, Ti and Zn are constant with the exception of the period 1950-1961 and 2003-2008 when the levels are three times higher. These extreme values may be the result of short periods with low pH values of the water. Other possible explanation could be the constructions during 2003 and 2006 along the riverside, which might influenced the water chemistry.

Elena Dunca, Swedish Museum of Natural History in Stockholm, Section of Palaeozoology, Box 50007, S-10405 Stockholm, Sweden; elena.dunca@nrm.se
Bjørn Mejdell Larsen, Norwegian Institute for Nature Research, N-7485 Trondheim, Norway; bjorn.larsen@nina.no
Carl-Magnus Mörth, Stockholm University, Department of geology and geochemistry, S-10691 Stockholm, Sweden; magnus.morth@geo.su.se

Innehåll

Sammandrag	3
Abstract	4
Innehåll	5
Förord	6
1 Inledning	7
2 Område	8
3 Metoder	9
3.1 Preparationssteknik.....	9
3.2 Åldersbestämning.....	9
3.3 Årlig tillväxt.....	11
3.4 Kemiska analyser.....	11
3.5 Vattenkvalitén.....	11
4 Resultat	11
4.1 Åldersbestämning av musslor och relationen mellan skallängd och ålder.....	12
4.2 Årlig tillväxt.....	13
4.3 Kemiska analyser.....	14
4.4 Vattenkvalitén.....	19
5 Diskussion	20
6 Referenser	22
7 Bilaga	24
Bilaga 1. Resultat från kemiska analyser.....	24
Bilaga 2. Metodbeskrivning.....	25

Förord

EUs rammedirektiv for vann har som hovedformål å sørge for at miljøstatus forbedres i alt ferskvann, brakkvann, kystnært vann og grunnvann. Direktivet forutsetter en nedbørfeltorientert og helhetlig forvaltning av vann og vassdrag, og setter som mål at det skal oppnås såkalt god tilstand i vannforekomstene.

Norge er delt inn i ni vannregioner, og Hunnselva hører til vannregion Glomma. Vannområde Hunnselva er valgt ut i første planperiode i forbindelse med Vanndirektivet. Vannområdeutvalget har identifisert flere hensyn/interesser som må tillegges særlig vekt i planarbeidet. Elvemusling er en av disse.

Hunnselva inngår i tillegg i det nasjonale overvåkingsprogrammet for elvemusling i Norge, og det er gjennomført undersøkelser i vassdraget i 1997, 2001 og 2008 (Larsen 1998, Larsen & Hårsaker 2002, Larsen & Berger 2009).

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 (Direktoratet for naturforvaltning 2006). Alle nåværende naturlige populasjoner skal opprettholdes eller forbedres. I et slikt perspektiv må problemene for elvemusling i Hunnselva identifiseres, og nødvendige tiltak settes i verk for å hindre at muslingen dør ut i vassdraget. En bestand av elvemusling som opprettholder naturlig rekruttering i Hunnselva vil være det synlige beviset på god vannkvalitet og god økologisk status.

I hele elvemuslingens levealder lagres informasjon i skallet om forholdene i vassdraget den lever i. Forskning har vist at muslingskall fungerer som miljøindikatorer (bl.a. Carell mfl. 1987, Dunca 1999, Dunca mfl. 2005). De registrerer aktivt forandringer i vannmiljøet; slik som vann-temperatur, pH og kjemisk sammensetning. Ved å analysere skall kan vi få en oppfatning av hvordan vannmiljøet har forandret seg over tid.

Norsk institutt for naturforskning (NINA) fikk gjennom Direktoratet for naturforvaltning og Vannområde Hunnselva i oppdrag av Fylkesmannen i Oppland å gjennomføre en problemkartlegging med tilknytning til elvemusling i Hunnselva. Ett av delprosjektene var aldersbestemmelse og kjemisk analyse av muslingskall. Dette arbeidet er gjennomført i samarbeid med Bivalvia konsulentfirma og Naturhistoriska Riksmuseet i Stockholm, avdeling for paleozoologi samt Stockholms Universitet, avdeling for geologi og geokjemi.

Tilvekstundersøkelse og aldersbestemmelse av muslinger ble gjennomført av Elena Dunca mens de kjemiske analysene av skallene ble gjennomført av Elena Dunca i samarbeid med Carl-Magnus Mörth. En stor takk til dem begge for et hyggelig og inspirerende samarbeid.

Trondheim, juni 2009

Bjørn Mejdell Larsen
Prosjektleder

1 Innledning

Flodpärlmusslan, *Margaritifera margaritifera* (L), som är väl känd för sina värdefulla pärlor är idag klassad som en utrotningshotad art i hela Europa (**figur 1**). Detta beror inte bara på hundratals år av pärlfiske utan också miljöföroreningar, försämrade vattenkvalité (t.ex. lågt pH-värde), samt igenslamning av strömmande vattens bottnar vilket medför att musselbestånd minskar på grund av försämrade fortplantning (Hastie mfl. 2000, Hastie & Young 2003, Wahlström 2006, Geist & Auerswald 2007).



Figur 1. Flodpärlmusslan *Margaritifera margaritifera* blir normalt 10-13 cm, men de största exemplaren kan bli 15-17 cm. Skalet är mörkt brunaktigt, nästan svart hos äldre individer, och oftast njurformat. Foto: Bjørn Mejdell Larsen.

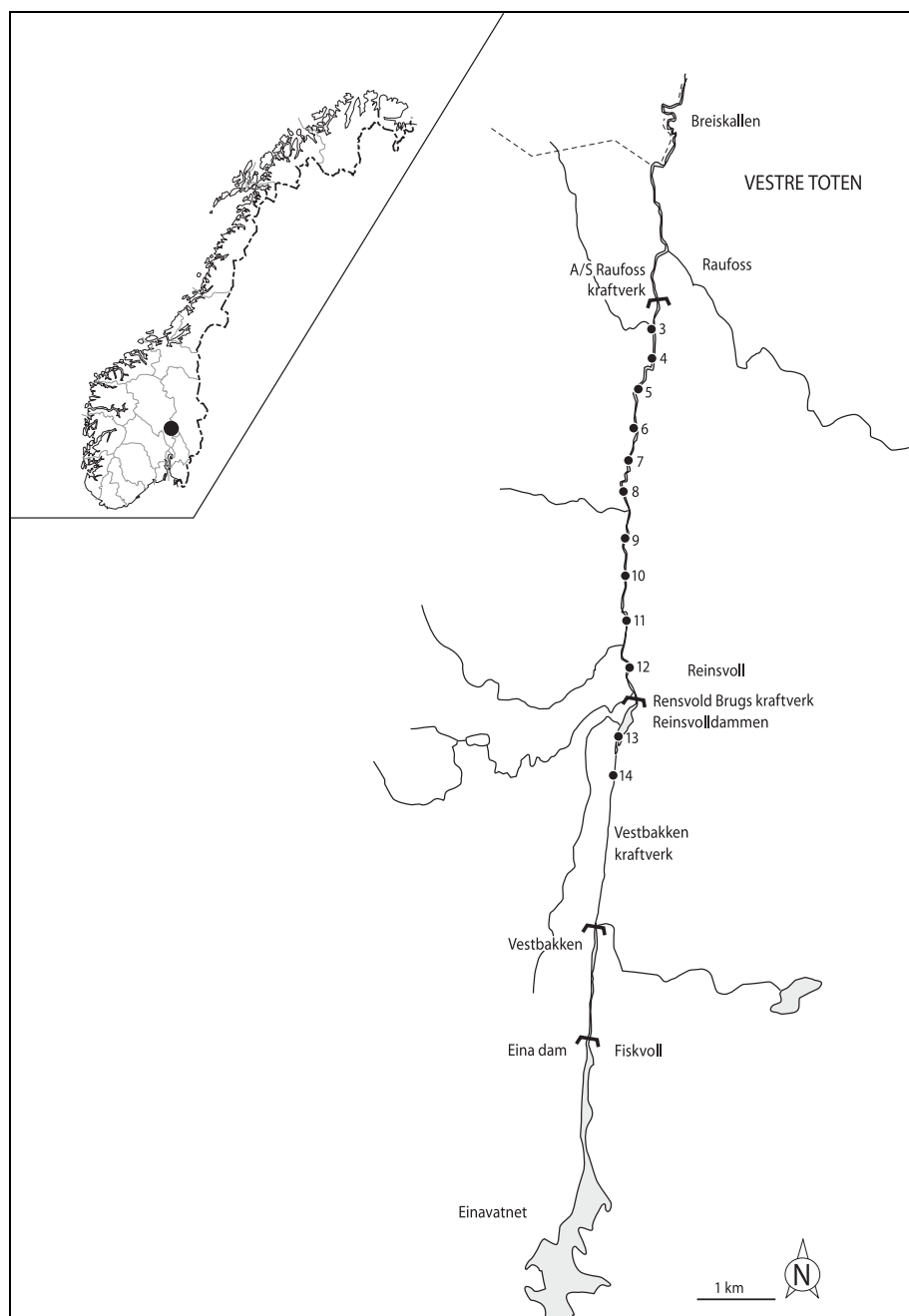
Om man tar som exempel Sverige, har de senaste inventeringarna visat att flodpärlmusslan har försvunnit i 35 % av de vattendrag som har haft musslor i början av 1900-talet och att fortplantningen fungerar bra endast i en tredjedel av de vattendrag där flodpärlmusslorna finns (Eriksson mfl. 1998). Som ett mått på fungerande fortplantning har man använt fynd av juvenila musslor som är mindre än 20 mm (Eriksson mfl. 1998).

I Norge är musselbestånden fortfarande livskraftiga, men tidigare undersökningar visar att även i Norge att musselbestånden minskar (Larsen 2005). Konventionen om biologisk mångfald rekommenderar att ha en förhöjd övervakning över rödlistade arter.

Syftet med denna undersökning är att åldersbestämma och analysera skaltillväxten hos musselskal från Hunnselva, samt att analysera den kemiska sammansättningen av dessa skal för att utreda om det finns ett samband mellan deras tillväxt och vattenkvaliteten.

2 Område

Hunnselva är en del av ett 378 km² avrinningsområde som huvudsakligen ligger i Vestre Toten kommun i Oppland fylke. Själva Hunnselva har sin källa i Einavatnet (398 m o.h., **figur 2**) och rinner ut i Mjøsa vid Gjøvik (123 m o.h., **figur 2** och **3**). Vattendraget har tidigare beskrivits av bl.a. Lien & Lindstrøm (1987), Larsen (1998), Larsen & Hårsaker (2002) och Larsen & Berger (2009). Också Gjøvik Historielag (1994) har grundligt beskrivit detta vattendrag och kan anbefallas för ytterligare information.



Figur 2. Hunnselva med lokalisering av stationer i förbindelse med övervakning av flodpärlmusslan (station 3-14). Musslorna till skalanalyser blev insamlade mellan station 4 och 5. Lägga märke till att Hunnselva rinner norrut, och att insamling av musslor gjordes ovanför Raufoss centrum.



Figur 3. Vägen längs Hunnselva ligger mellan flera städer ända ut till älven, och både anläggsarbetet och senare avrinning från vägen kan ha givit lokala påverkningar på flodpärlmusslorna som lever i älven. Insamling av musslor till åldersbestämning och skalanalyser gjordes här 1-2 km ovanför Raufoss centrum. Foto: Bjørn Mejdell Larsen.

3 Metoder

I undersökningen ingår tre musslor insamlade den 7:e augusti 2008 från nedre delen av Hunnselva, men ovanför Raufoss centrum (mellan station 4 och 5, **figur 2**).

3.1 Preparationsteknik

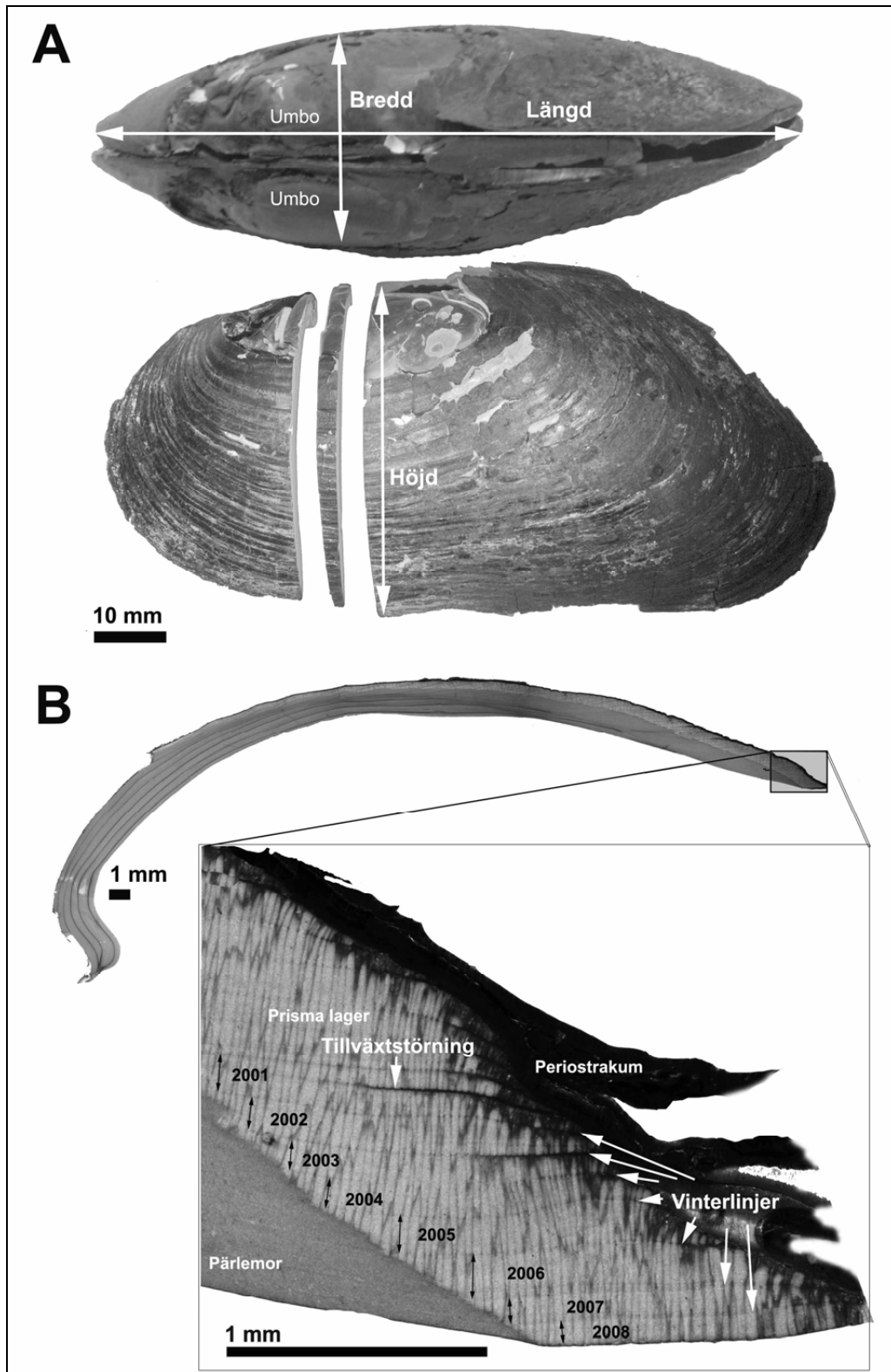
Skalen etiketterades och mättes med hänsyn till deras längd, höjd och bredd (**figur 4 A**).

En av skalhalvorna sågades från umbo till nedre skalkant, vinkelrätt mot årsringarna (**figur 4 A**). Snittytor genom skalet preparerades fram enligt en speciell metod som utvecklades under 1990-talet vid Naturhistoriska riksmuseet i Stockholm (se **bilaga 2** för en mer detaljerad metodbeskrivning). För att årsringar skall bättre framträda har snittytorna behandlats med Mutvei's lösning som är en blandning av glutardialdehyd, ättiksyra och elsassblått (**bilaga 2**). Denna lösning fixerar organiska komponenter i skalen, färgar glukoproteinerna mellan kristallerna i skalen och löser långsamt upp kristallerna på snittytan. Vinterlinjerna och tillväxtstörningslinjerna framträder i mörkblått och syns bäst i ljusmikroskop (**figur 4 B**).

3.2 Åldersbestämning

Skalens årliga tillväxt (årsringarna) representeras av det skalmaterial som musslan deponerar mellan två vinterlinjer (se **figur 4 B**).

I tvärsnitt synbara årsringarna räknades hos alla tre musslor. Åldern på den eroderade delen uppskattades enligt de tidigare åldersbestämda yngre musslor från Sverige (Dunca mfl. 2009b).



Figur 4. A. Skalens olika mått. **B.** Tunnslip av musselskal nummer 1002 som är etsat med Mutvei's blandning och fotograferad i ljusmikroskop. Vinterlinjer och tillväxtstörningslinjer är mörkare. En tydlig tillväxtstörning som går igenom hela skalet syns vid 2001 årstillväxt. De svarta pilarna markerar avståndet mellan två vinterlinjer som ett mått på den årliga tillväxten.

3.3 Årlig tillväxt

Avståndet mellan två vinterlinjer vid gränsen mellan prisma lagret och pärlemor (markerade av de svarta pilarna i **figur 4 B**) har använts som ett mått på den årliga tillväxten.

För att kunna jämföra tillväxten hos musslor som är äldre med musslor som är yngre behövs en standardisering av mätningarna eftersom i tvärsnitt sjunker den årliga tillväxten exponentiellt med åldern. Standardiseringen görs med samma matematiska redskap som dendrokronologerna (trädkännarna) använder för undersöka årsringarna på ett träd (Dunca 1999). En utförlig metodbeskrivning finns i **bilaga 2**.

3.4 Kemiska analyser

För kemiska analyser har all organiskt material (periostrakum) och sekundär tillväxt avlägsnats från samma skalhalvan som användes för tunnslipstillverkning. En 3 mm tjock snitt har delats in i små bitar med bestämd årstillväxt. Skalbitarna vägdes och sedan löstes upp i kvävesyra. För kemiska analyser användes ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy), Varian Vista Ax, som kan mäta ett flertal grundelement ned till väldigt låga koncentrationer (ppb nivå). Vid mätningarna användes certifierade standarder för att undersöka felet i analyserna (bl a SPS-SW1). Analysfelet var aldrig större än 5% för något element i jämförelse med de certifierade standarderna, i allmänhet bättre än 3%.

3.5 Vattenkvalitén

I samband med projektet är all tillgänglig information och data om vattenkvalitén insamlat från Hunnselva mellan Einavatn och Raufoss centrum. Detta omfattar rapporter, brev och notiser med data i förbindelse med föroreningsundersökningar i Hunnselva (Bergmann-Paulsen 1961, Iversen & Knudsen 1988, Stabell 2000), Mjøsaksjonen (Holtan & Nashoug 1971), åtgärdsorienterad övervakning (Lien & Lindstrøm 1987), undersökning i samband med A/L Settefisk (Bergheim 1979, Eikebrokk 1994, A/L Settefisk 1996), semesteruppgifter från Hunnselva (Eklund 1980, Kaste 1986), övervakning av flodpärlmusslor (Larsen 1998, Larsen & Hårsaker 2002, Larsen & Berger 2009) och diverse brev från Næringsmiddeltilsynet och Miljølaboratoriet till A/L Settefisk eller Vestre Toten och Gjøvik kommuner. Data från Byveterinären i Gjøvik från 1980-1985 som var som referens i Kaste (1986) har vi inte lyckats förvärva.

4 Resultat

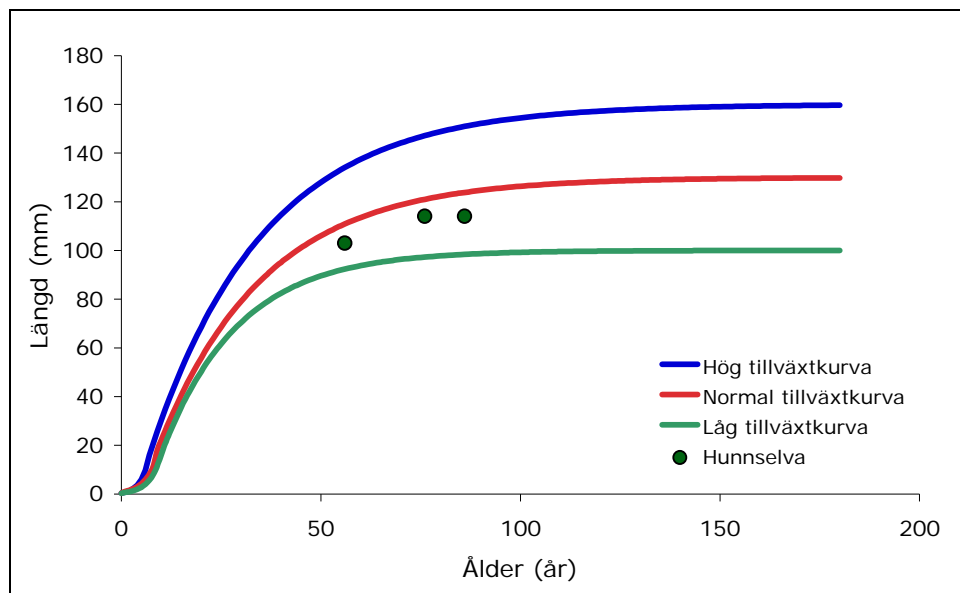
Musslornas ålder varierar mellan 56 och 86 år och skallängden mellan 103 och 114 mm (**tabell 1**). Den umbonala delen som är eroderad och inte uppvisar några årsringar har jämförts med yngre musslor från tidigare studier (Dunca mfl. 2009b) och på så sätt uppskattades antal årsringar som saknades till 6, 8 och respektive 10 år (som är inräknade i musslans ålder i **tabell 1**).

Tabell 1. Skalens mått och ålder (inklusive uppskattningen av borteroderad umbonal del).

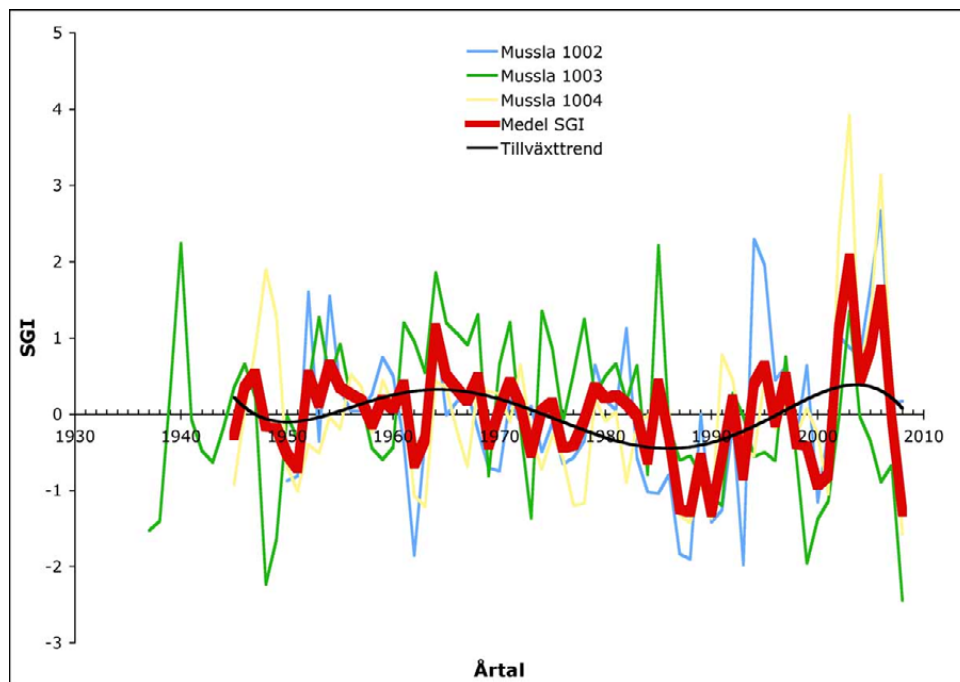
Mussla	Ålder (år)	Längd (mm)	Höjd (mm)	Bredd (mm)
1002	56 (6)	103	43	33
1003	86 (8)	114	47	33
1004	76 (10)	114	51	34

4.1 Åldersbestämning av musslor och relationen mellan skallängd och ålder

Om man jämför relationen mellan musslornas ålder och skallängden med de allmänna tillväxtkurvorna (Dunca 2007, Dunca mfl. 2009a) kan man konstatera att dessa musslor ligger väldigt nära den normala tillväxtkurvan (**figur 5**). Om man vill åldersbestämma musslorna i Hunnselva utifrån deras skallängd är det denna kurva som man kan använda sig utav.



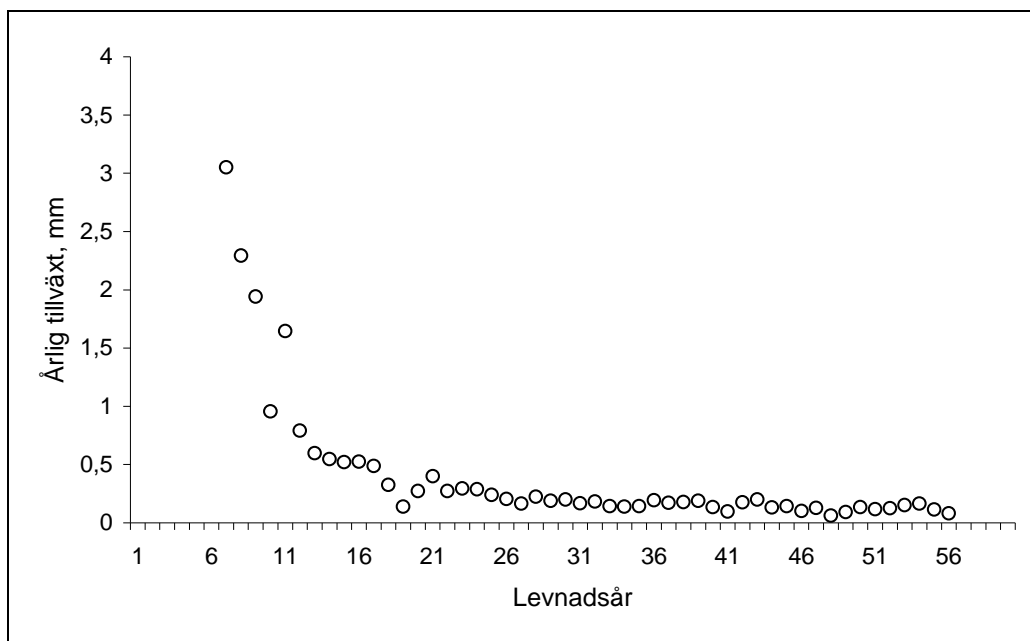
Figur 5. Diagram som representerar förhållandet mellan musslornas ålder och skalens längd.



Figur 6. Diagram som representerar den korrigerade årliga tillväxten för de tre musslorna från Hunnselva.

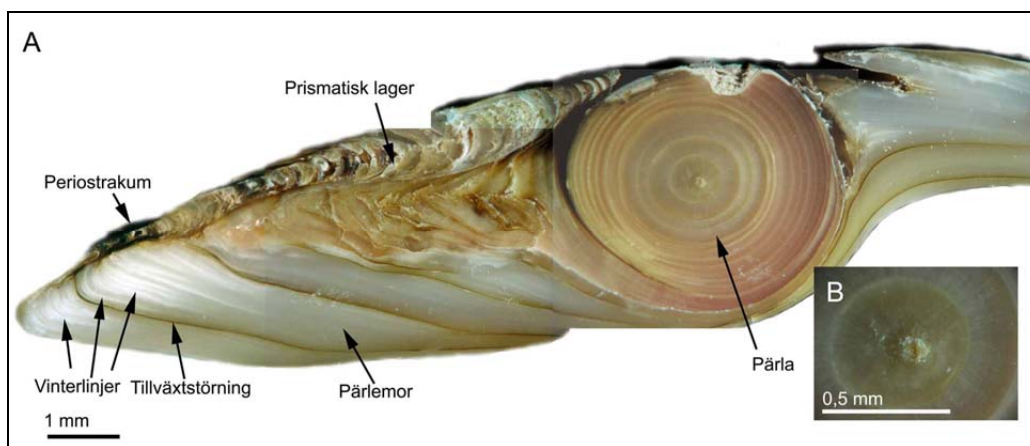
4.2 Årlig tillväxt

Musslornas årliga tillväxt samvarierar i stor grad (**figur 6**), men inte under alla tidsintervaller eftersom under vissa år förekommer tillväxtstörningar (se **figur 4 B**). Tillväxten de första levnadsåren är inte mätbara då de första vinterlinjerna inte längre är synliga i skalen på grund av slitage och erosion. Hos mussla 1002 (ålder 56 år) var tillväxten ca 3 mm i sjunde levnadsåret (**figur 7**). Tillväxten avtog emellertid snabbt, och var mindre än 1 mm redan från 10-års ålder. Från 20-års ålder var den årliga tillväxten mindre än 0,3 mm.



Figur 7. Flodpärlmusslans årliga tillväxt i Hunnselva (mussla 1002).

I mussla 1002 förekommer en sällsynt typ av pärla som har en prismatisk struktur (**figur 8**). Vanligtvis är pärlor byggda av pärlemor.



Figur 8. A. Obehandlat polerat skaltvårsnitt genom pärlans mittpunkt där vinterlinjerna syns som vita linjer. **B.** Detalj där prismorna som bygger pärlan syns samt partikeln som orsakade pärlbildningen.

4.3 Kemiska analyser

Resultat från kemiska analyser är sammanställda i **bilaga 1**.

Den kemiska sammansättningen visar samma trender i alla tre musselskal med undantag för järn (Fe). Mussla 1002 visar en ökning i Fe halt från 1960-talet medan mussla 1004 visar en minskning (**figur 9 A**). Mussla 1003 har en stor variation i Fe halt mellan 1920-talet och 2000-talet. Det finns ingen bra förklaring till denna variation.

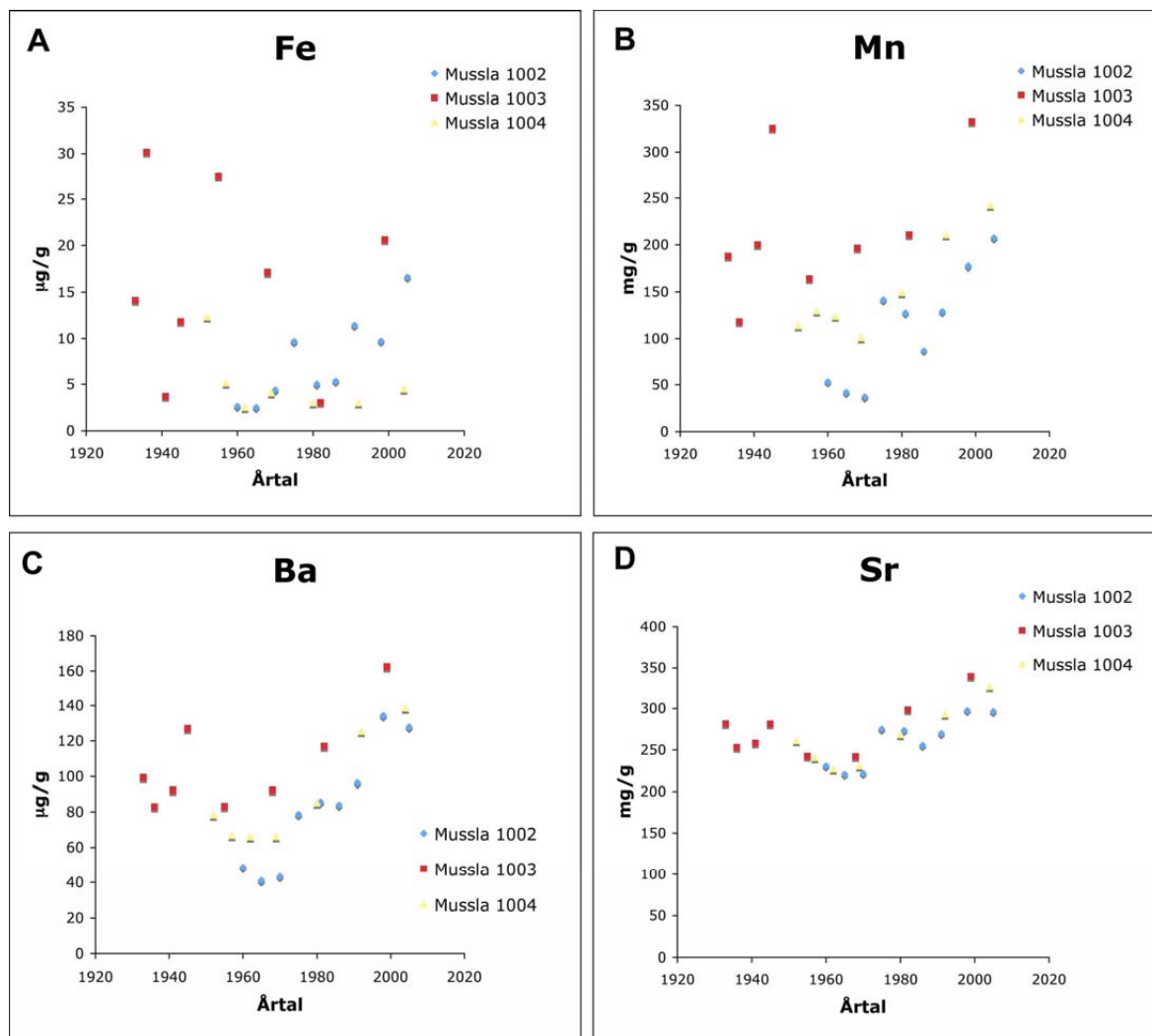
Halterna av barium (Ba), mangan (Mn) och strontium (Sr) är lägre under 1960-talet för att sedan öka från och med 1970-talet (**figur 9 B, 9 C och 9 D**).

Ämnen som kalcium (Ca) och fosfor (P) håller en konstant nivå genom åren och liknande halter som i flodpärlmusselskal från Imälven, Örebro län, Sverige (**figur 10 A och 10 C**; Dunca 2009a). Halten av natrium (Na) är också på samma nivå som i flodpärlmusselskal från Imälven (Dunca 2009a) men visar en linjär avtagande från 1930-talet fram till 2000-talet (**figur 10 B**). Musselskal från Kampåa och Leira visar dock lägre halter av både P och Na (Dunca 2009b; 2009c). Halten av svavel (S) visar en ontogenetisk variation då högre halter finns i de yngre delarna av musselskalen (**figur 10 D**).

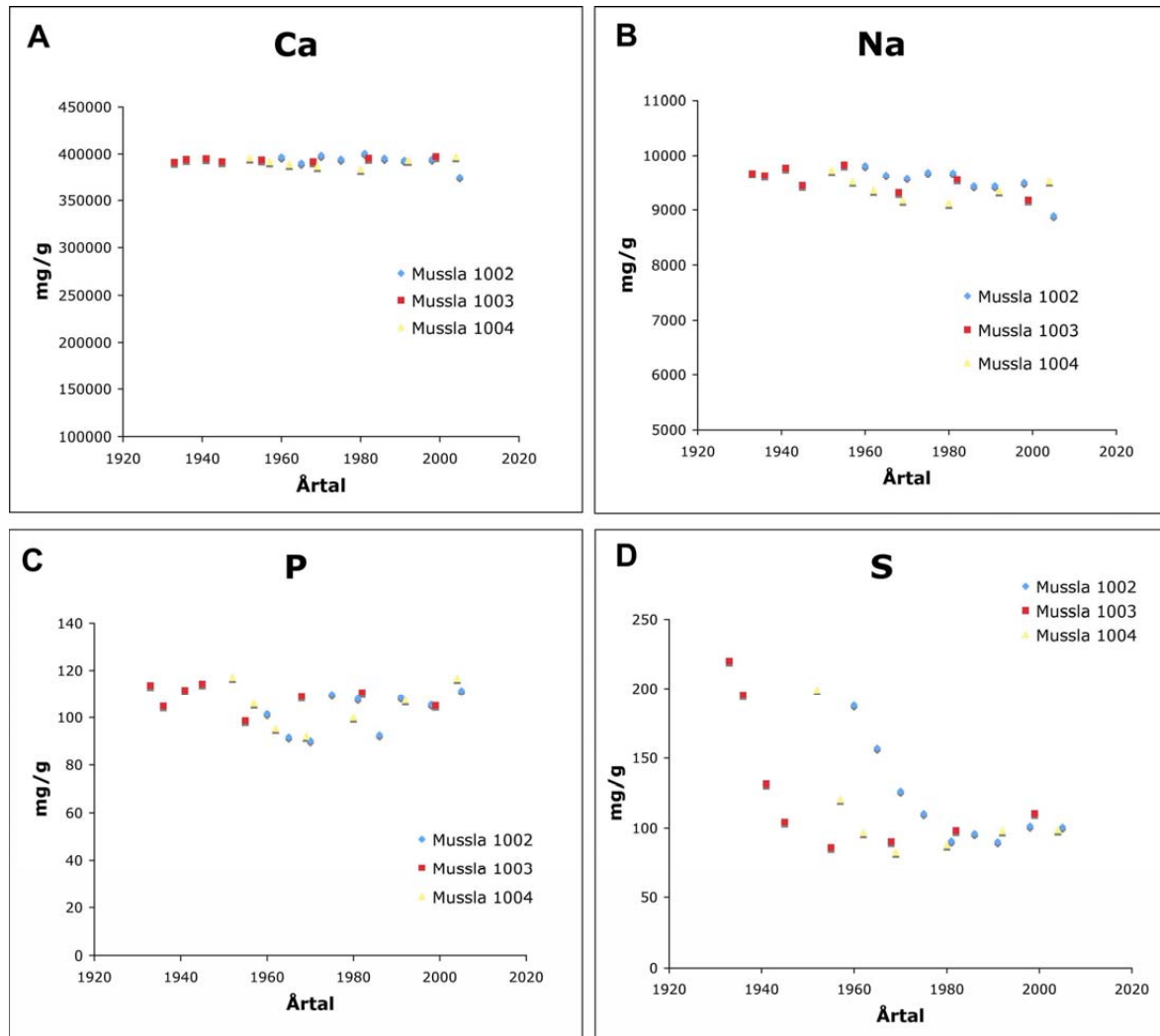
Halten av aluminium (Al), koppar (Cu), kalium (K), titan (Ti) och zink (Zn) visar konstanta nivåer förutom under två prover som motsvarar tidsperioderna 1950-1961 och 2003-2008 (**figur 11**). Halterna av arsenik (As) varierar mellan de tre musslorna och mellan de olika tidsintervallerna (**figur 11 B**).

Halten av kobolt (Co), nickel (Ni), bly (Pb) och krom (Cr) varierar mellan de olika musslorna (**figur 12**) men är högre än det som har mäts i flodpärlmusselskal från andra områden i Norge (Dunca 2009b; 2009c). Halten av Pb i dessa musslor är jämförbar med Pb halten i musslor från Imälven, Örebro län, Sverige - en mussel lokal som är påverkad av verksamhet i skjutbanor där ammunition med bly användes (Dunca 2009a).

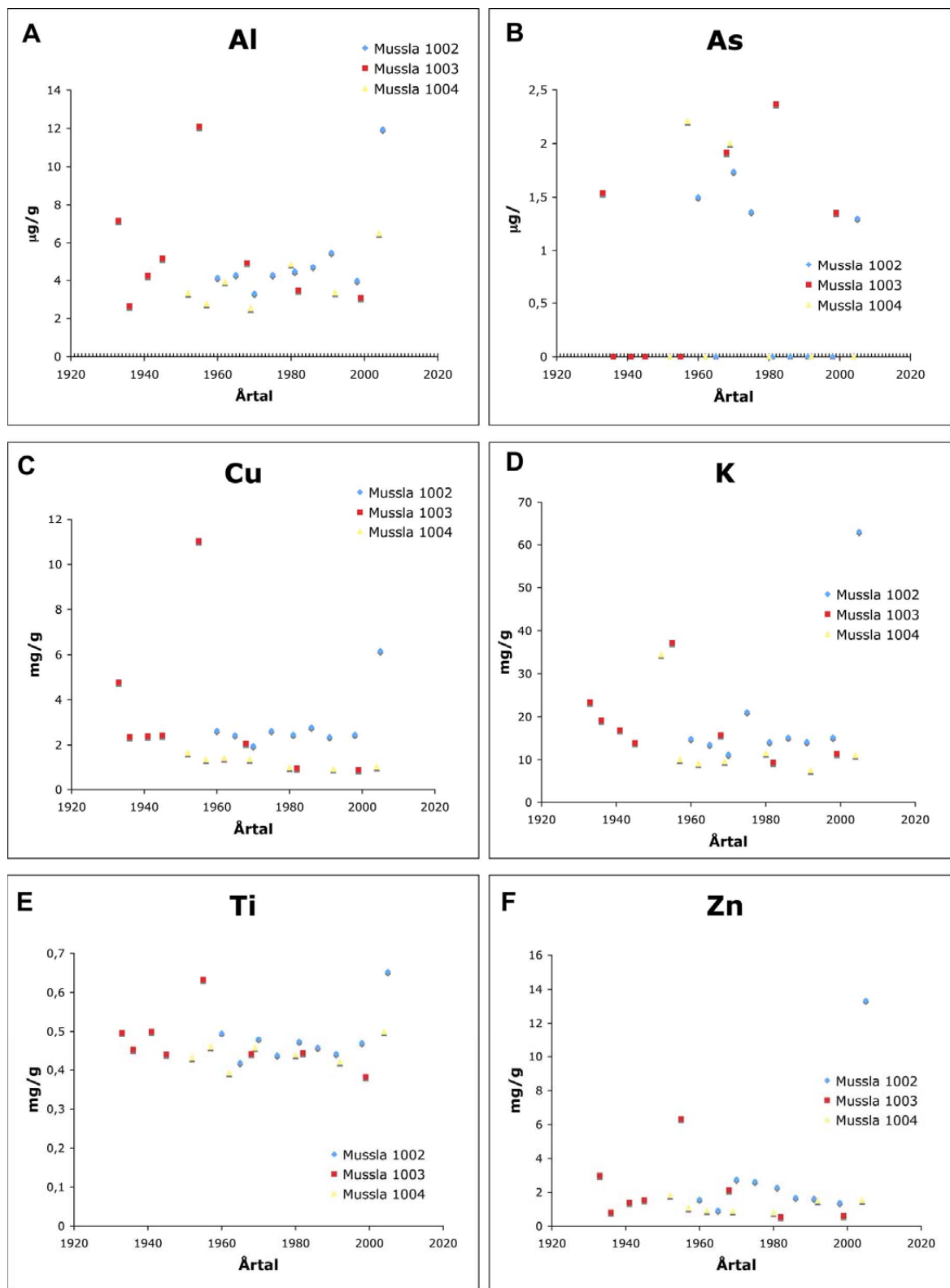
Halten av kisel (Si) och vanadin (V) är konstanta både mellan de olika musslorna och mellan de olika tidsintervall (**figur 13**). Si halten är lägre medan halten av V är högre än i musselskal från andra områden i Norge (Dunca 2009b; 2009c).



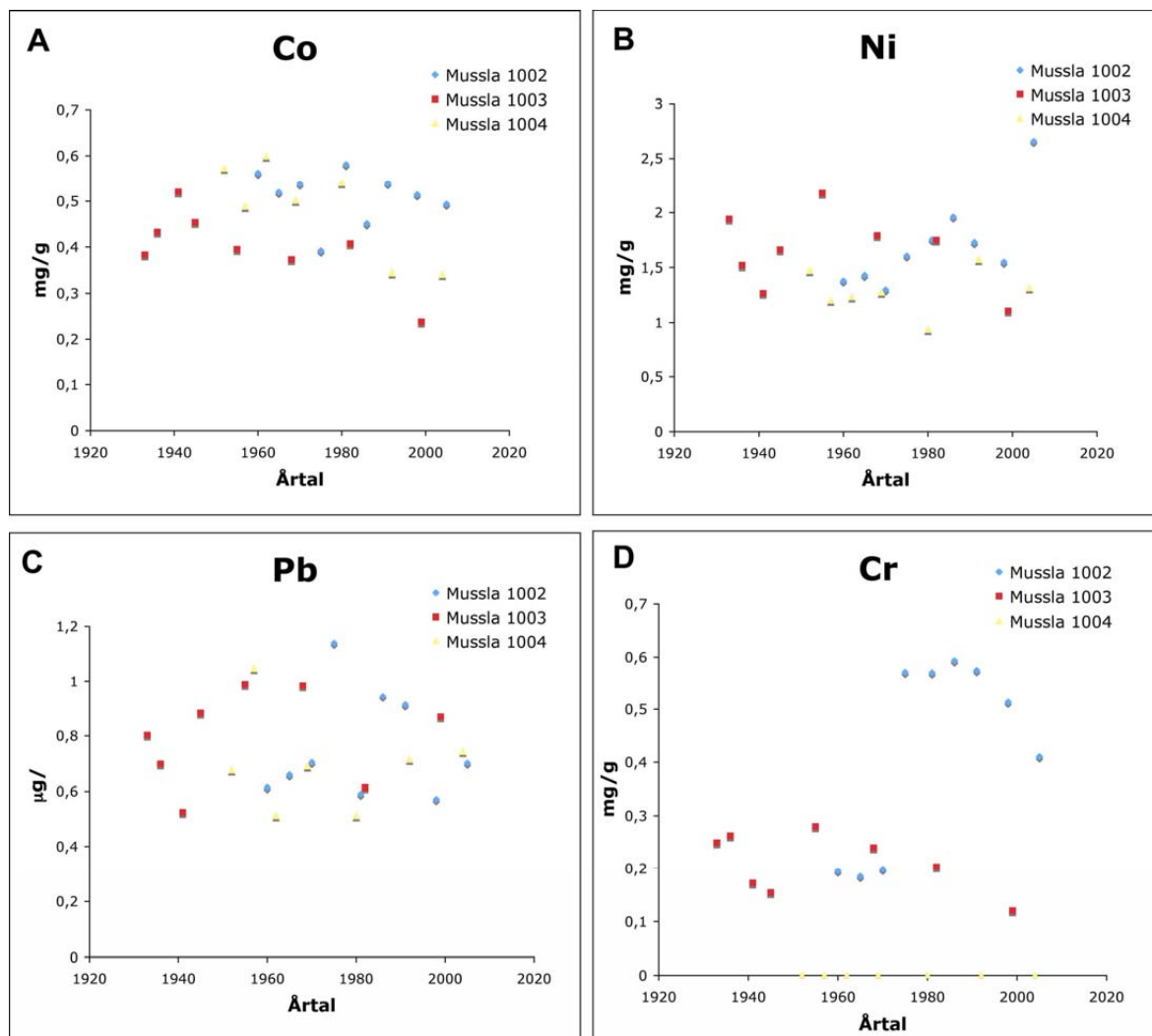
Figur 9. A. Järnhalterna visar en stor variation mellan de tre undersökta musslorna samt visar inga gemensamma trender; **B.** Manganhalterna varierar mellan de tre olika musslorna men visar samma trend: en ökning från 1960-talet till 2000-talet; **C.** Bariumhalterna sjunker från 1930-talet fram till 1960-talet för att sedan öka igen; **D.** Strontiumhalterna ökar från 1960-talet fram till 2000-talet.



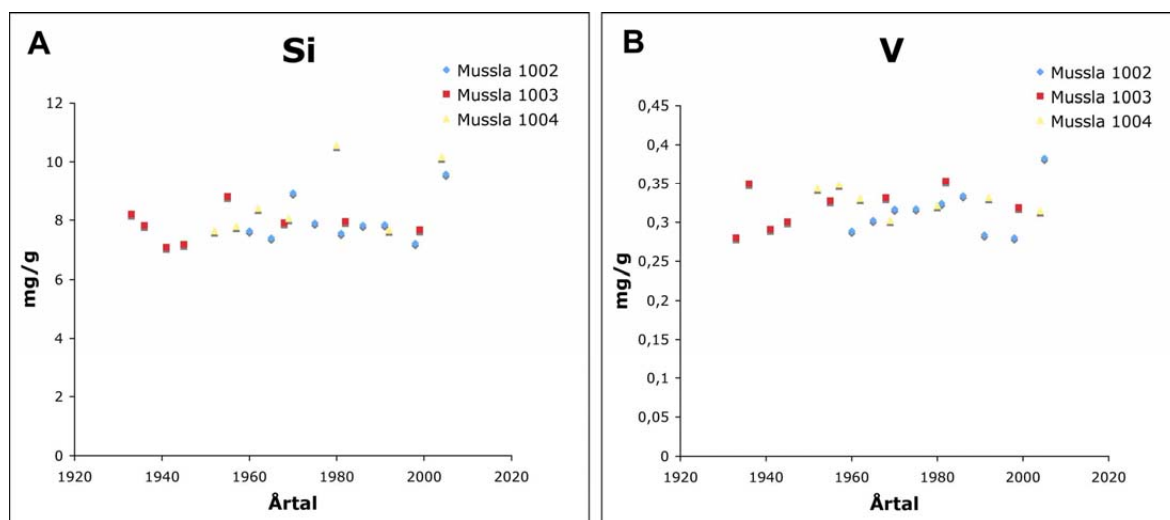
Figur 10. **A.** Kalcium har en konstant nivå; **B.** Natriumhalten avtar linjärt från 1930-talet till 2000-talet; **C.** Fosfor har en konstant nivå; **D.** Svavel visar en ontogenetisk variation med högre halter vid yngre stadier.



Figur 11. A. Aluminiumhalten visar en konstant nivå förutom under 1955 (± 5 år) och 2005 (± 3 år); B. Arsenikhalten varierar mellan de olika tidsintervaller från 0 till 2,5 $\mu\text{g/g}$; C. Kopparhalten, D. Kaliumhalten, E. Titanhalten och F. Zinkhalten visar en konstant nivå förutom under 1955 (± 5 år) och 2005 (± 3 år).



Figur 12. A. Kobolthalten, B. Nickelhalten och C. Blyhalten varierar mellan de olika tidsintervaller och mellan olika musslor; D. Kromhalten i mussla 1002 är två gånger högre från och med 1980-talet medan i mussla 1003 halten är konstant. Mussla 1004 har lägre halt än det som går att mäta.



Figur 13. A. Kiselhalten och B. Vanadinhalten visar en konstant nivå.

4.4 Vattenkvalitén

Hunnselva hade en moderat hög vattenfärg på 2000-tallet med ett genomsnitt på 36 mg Pt/l (**tabell 2**). Detta orsakades av humussyrer huvudsakligen från naturlig avrinning från myr och skogsmark i avrinningsområdet. Älven är i perioder oklar eller grumlig på grund av suspenderade partiklar, men turbiditeten har ändå sällan varit större än 1,5-2,0 FTU. Det har heller inte varit någon förändring från 1960-tallet till i dag (**tabell 2**). Etter store nederbörds mängder och översvämningar kan emellertid turbiditeten öka till >20 FTU (Larsen & Berger 2009). Detta visar att finpartikelmaterial förs ut i vattendraget i store mängder speciellt når vattenföringen i sidobäckarna ökar plötsligt. Sidobäckarnas bidrag, diffus avrinning från arealer längs älvens vattenväg och erosion i längs älvens ränna gör att Hunnselva till slut blir jordfärgat når vattnet passerar Raufoss.

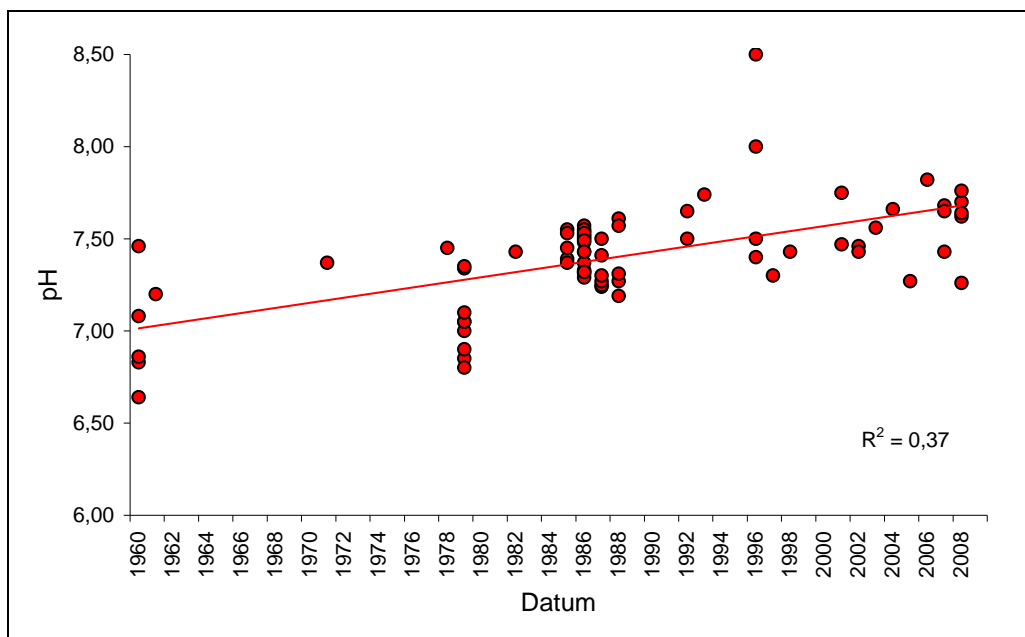
Tabell 2. Genomsnittvärden for ulike vannkemiske parametrar i 10-års perioder från 1960-tallet till 2000-tallet. Värden markerade med grå färg är baserade på fem eller färre mätningar.

Period	pH	Kond µS/cm	Turb FTU	Färg mg Pt/l	Tot-P µg/l	Nitrat µg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Fe mg/l
1960-1969	7,01	57,8	1,13	34	30,0	479	-	-	-
1970-1979	7,11	74,6	0,95	28	29,4	504	6,2	0,96	-
1980-1989	7,42	93,9	1,03	50	16,8	757	13,2	1,30	119
1990-1999	7,67	110,8	0,90	25	29,6	1123	18,1	-	123
2000-2009	7,57	115,0	0,92	36	11,1	818	16,0	1,68	107

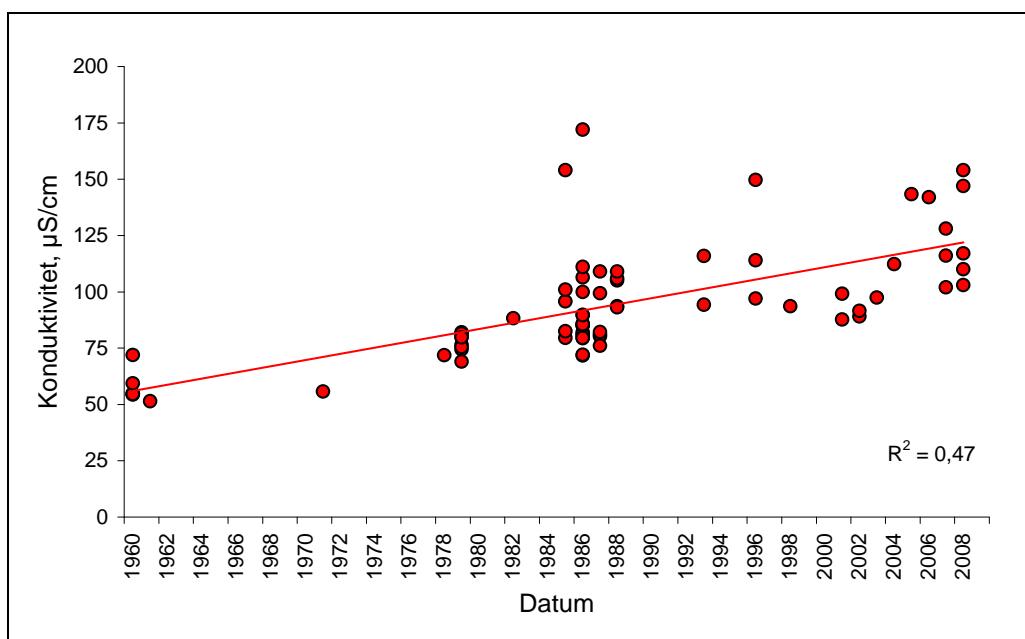
Det har varit ett svagt ökande pH i Hunnselva under de senaste 50 åren (**figur 14**). Den genomsnittliga pH-värdet har ökat från 7,0 till 7,5-7,6. Tidigare kunde pH gå ned mot 6,5 (**figur 14**). Vid A/L Settefisk blev pH på intagsvattnet mätt i perioder och data från 1970-1973 finns tillgängliga (E. Hagen pers. medd.). I dessa perioder varierar pH mellan 6,0 och 7,3, och årsgenomsnittet var 6,90-6,95. Efter mitten av 1980-tallet har ingen pH-värde varit lägre än 7,0 (**figur 14**). Detta hänger samman med hög och ökande koncentration av kalcium (**tabell 2**).

Det har också varit en ökning av magnesiumkoncentrationen från 1970-talet till 2000-talet (**tabell 2**), och detta tillsammans med en ökande koncentration av kalcium har gett en betydlig ökning av konduktiviteten under de sista 50 åren (**figur 15**).

Alla nitratvärden som blev mätta under 2001-2008 var högre än 580 µg/l (Larsen & Berger 2009), och föll in under tillståndsklassen "dålig" eller "mycket dålig" enligt klassificering av miljökvaliteter i sötvatten utgivet av Statens Forurensningstilsyn (Andersen mfl. 1997). Det har dessutom varit en svag tendens till att koncentrationen av nitrat har ökat sedan 1960-talet (**tabell 2**). På slutet av 1970-talet och begynnelsen av 1990-tallet har det registrerats högre koncentrationer av total fosfor i Hunnselva. Annars är det en svag nedgång i mängden fosfor på 2000-tallet (**tabell 2**). Dock, ovanför Raufoss var koncentrationen högre än 5 µg/l vid alla tidpunkter under 2001-2008 (Larsen & Berger 2009), men vattenkvaliteten faller ändå in under tillståndsklassen "god" med hänsyn till fosfor.



Figur 14. Vattenkvalitén i Hunnselva under perioden 1960-2008 uttryckt i pH-värde.



Figur 15. Vattenkvalitén i Hunnselva under 1960-2008 uttryckt i konduktivitet ($\mu\text{S/cm}$).

5 Diskussion

Den årliga tillväxten hos de undersökta musslorna från Hunnselva visar inga dramatiska förändringar. Det är något bättre tillväxt på 1960-talet jämfört med 1980-talet. Lägre tillväxt kan tolkas som naturlig tillväxtvariation, men både vattenkvalitén och vattentemperaturen kan inverka på den årliga tillväxten.

Trender i den kemiska sammansättningen av musselskalen visar en ökning av Mn, Ba och Sr från och med 1960-talet. Högre halter av Sr finns i vinterlinjer samt tillväxtstörningslinjer (Nyström mfl. 1996). Ökningen av Sr halten i Hunnselva musslorna kan vara kopplad till att skalens tillväxt sjunker på grund av ålder.

Fe halterna visar väldigt stor variation mellan de tre analyserade musslorna. Samma typ av variation återfinns även i musslor från Imälven, Örebro län (Dunca 2009a), och Lärjeån, Göteborgs kommun, Sverige (Dunca 2006). Det finns ingen bra förklaring till denna variation. Det som kontrollerar halten av Fe i vatten (vid en normal syrgashalt, redox) är en kombination av pH och koncentration av organiskt kol (DOC). Fe förekommer också i både partikulär (kolloider) och löst fas där den partikulära fasen alltid dominerar vid normala pH-värden. En möjlighet är därför att Fe-halten ökar p g a att halten DOC ökar. En ökning av DOC kan orsakas av t ex ändrat skogsbruk. Någon sådan förändring kan inte utläsas i vattenkemidata. Dock är det så att Fe transporteras episodiskt under korta perioder. Det är typiskt att en stor del av transporterad Fe i vattendrag kan komma under några dagar till någon vecka varifrån man oftast inte har några data. Det kan därför vara svårt att utifrån vattenkemidata provtagna t ex varje månad att uttala sig om hur Fe (och andra metaller) transporteras i vattendraget. Då behövs en mycket tätare provtagning under perioder med höga vattenflöden.

I stort sett alla metaller har det mönstret at pH och DOC bestämmer halten i vatten tillsammans med redox (låga halter syre ger ökad löslighet) och att den partikulära fasen alltid är den dominerade förutom då syrgashalten blir väldigt låg. Det finns dock en variation i metallernas egenskaper; pH har mer betydelse för några (t ex Pb) och DOC för några andra (t ex Fe). Några undantag finns, bl a Cr, As och U som kan finnas i vatten som anjoner (är då också mer oberoende av redox) och 'sprids' därför lättare än andra metaller i miljön. Man får inte heller glömma bort att halten av metaller i depositionen också har varierat som in sin tur har påverkat mängden metall i vatten. Här är ofta maxima under 1970-talet varefter halterna har minskat. Det är också så att halterna kan vara högre här p g a att berggrunden/marken innehåller mer av dessa element. En stor variation finns här mellan olika områden.

Förutom Mn beror Ba och Sr varken av pH eller DOC, Mn har en liknande kemi som Fe men uppvisar ofta ett annat mönster, främst p g a en annan retention (d v s bortförsel från vattenfasen där Mn uppvisar en större spridning än Fe (retentionen för Fe är högre än för Mn). Detta talar för att det är musslans tillväxtfaktorer som påverkar halterna av Mn, Ba och Sr.

Visa ämnen som Ca och P håller en ganska konstant nivå genom åren och liknande halter som i flodpärlmusselskal från andra områden i Sverige, medan andra ämnen som Co, Ni, Pb, Cr, m.m. visar variationer både mellan de olika musselskal som ingår i denna undersökning och mellan olika musselpopulationer. Denna variation kan bero på den kemiska sammansättningen av det substratet musslorna lever i och lokala kemiska förhållanden i vattnet. Fosfor är till största delen i organisk form i vattendrag och frigörelse i oorganisk form är i sin tur kopplat till ändringar i redox (tillgång på syre) och utsläpp från jordbruk/människor.

Halterna av Al, As, Cu, K, Ti och Zn visar konstanta nivåer förutom tidsperioderna 1950-1961 och 2003-2008 då halterna är upp till tre gånger så höga. Dessa extrema värden kan vara resultaten av korta perioder med lägre pH värde i vattnet. Det kan dessutom vara ingrepp i och längs vattendraget som ger ökad avrinning till Hunnselva. Utbyggnaden av ny Rv 4 öst for Hunnselva skedde exempelvis under åren 2003-2006. I 2004 och första delen av 2005 pågick det arbetet med sprängning, brytningar, massflyttning och rörläggning längs större delar av den 13 km långa vägsträckan mellan Reinsvoll och Hunddalen. En del av den utsprängda stenen blev brutet och använt som överbyggnad på vägen. Detta borde ha medfört en ökad belastning av sedimenttransport i vattendraget och eftersom Al och Ti är har sitt ursprung i mineral och mineralpartiklar är det högst troligt att detta är orsaken till de högre halterna observerade i musslorna.

Si återfinns som kiselsyra i vattendraget och är ett mått på vittringen av silikatmineral och eventuell bildning av diatomeer och bör inte uppvisa någon stor variation med tiden såvida inte ingrepp har gjorts i vattendraget. Typiska effekter av på Si-halten i vattnet fås vi anläggandet av dammar, då koncentrationen kan minska drastiskt.

De vattenkemidata som finns redovisade i Tabell 2 uppvisar en rätt dramatisk ökning av bl Ca och Mg. Alkaliniteten bör också därför ha ökat kraftigt under samma tid. Vattendraget bör därför vara påverkat och det mest troliga är att det är jordbruk som ger dessa höga halter i vattendraget. Det finns flera bevis för en ökad Ca, Mg och alkalinitet som ett resultat av jordbruk i litteraturen.

6 Referenser

- 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.
- A/L Settefisk 1996. Forstudie. Tiltak for å bedre overlevelsen av fiskematerialet på A/L Settefisk. - Rapport fra nedsatt utvalg. 16 s. + vedlegg.
- Bergheim, A. 1979. Undersøkelser over belastninger fra fiskeoppdrettsanlegg sommeren/høsten 1978. Settefiskanlegget på Hunderfossen. A/L Settefisk, Reinsvoll. - Direktoratet for vilt og ferskvannsfisk, Fiskeforskningen. Rapport 1979-1. 15 s.
- Bergmann-Paulsen, B. 1961. Undersøkelse av forurensningen i Hunnselva. - Rapport fra NIVA. 38 s. + vedlegg.
- Carell, B., Forberg, S., Grundelius, E., Henrikson, L., Johnels, A., Lindh, U., Mutvei, H., Olsson, M., Svärdström, K., Westermark, T. 1987. Can Mussel Shells Reveal Environmental History? - *Ambio* 16: 2-10.
- Direktoratet for naturforvaltning 2006. Handlingsplan for elvemusling, *Margaritifera margaritifera*. – DN-Rapport 2006-3: 1-24.
- Dunca, E. 1999. Bivalve shells as archives for changes in water environment. - *Vatten* 55: 279-290.
- Dunca, E. 2006. Flodpärlmusslor. En skalanalys av fem flodpärlmusslor från Lärjeån i Göteborg. – Göteborgs Stad Miljöförvaltningen. Rapport 2006-12. 20 s.
- Dunca, E. 2007. WWF-project: Åldersbestämning av unga flodpärlmusslor i Sverige [Age determination of juvenile freshwater pearl mussels in Sweden]. – WWF Report in print.
- Dunca, E. 2009a. Undersökning av två flodpärlmusselskal med hänsyn till tillväxt och kemisk sammansättning. - Länsstyrelsen i Örebro län.
- Dunca, E. 2009b. Undersökning av flodpärlmusselskal från Leira, Norge. - Bivalvia Rapport. Under utarbeidelse.
- Dunca, E. 2009c. Undersökning av flodpärlmusselskal från Kampaåa, Norge. - Bivalvia Rapport. Under utarbeidelse.
- Dunca, E., Schöne, R.B. & 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., Söderberg, H. & Norrgrann, O. 2009a. Skaltillväxten hos flodpärlmusslan i Västernorrlands län. – Länsstyrelsen Västernorrland. Natur- och Kulturavdelningen. Rapport under tryckning.
- Dunca, E., Söderberg, H. & Norrgrann, O. 2009b. Growth rates and age determination in the freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* in Sweden: natural versus limed streams. *Hydrobiologia*. In print.
- Eikebrokk, B. 1994. Demonstrasjon av resirkuleringssystemet Biofish som alternativ produksjonsform for settefisk. Resultater fra forsøk ved A/L Settefisk. Delrapport 3: Produksjon av ett-årig settefisk. - Rapport SINTEF, Norsk hydroteknisk laboratorium. 39 s. + vedlegg.
- Eklund, J. 1980. Undersøkelse av Hunnselva juli 1979. - Rogaland distriktshøgskole, Teknisk-naturvitenskapelig studieretning. Seminararbeid. 161 s.
- Eriksson, M.O.G., Henrikson, L. & Söderberg, H. 1998. Flodpärlmusslan i Sverige. - Naturvårdsverket. Rapport 4887. 138 s.
- Geist, J. & Auerswald, K. 2007. Physicochemical stream bed characteristics and recruitment of the freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*). - *Freshwater Biology*, 52: 2299-2316.
- Gjøvik Historielag 1994. Hunnselva fra Eina til Gjøvik. Natur og kultur. – Hefte utgitt av Gjøvik Historielag i samarbeid med Eiktunet kulturhistoriske museum. 80 s.
- Hastie, L.C., Young, M.R. & Boon, P.J. 2000. Growth characteristics of freshwater pearl mussels, *Margaritifera margaritifera* (L.). - *Freshwater Biology* 43: 243-256.
- 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.
- Holtan, H. & Nashoug, O. 1971. Mjøsprosjektet. Undersøkelser 1971. Resultater og kommentarer. - NIVA Rapport O-91/69. 181 s.
- Iversen, E. & Knudsen, C.H. 1988. Utslipp til Hunnselva fra Raufoss A/S. - Rapport fra NIVA. 22 s. + vedlegg.

- Kaste, Ø. 1986. Hunnselva, vannkvaliteten på strekningen Einavatn-Raufoss. - Telemark distriktshøgskole. Semesteroppgave. 53 s.
- Larsen, B.M. 1998. Utbredelse av elvemusling *Margaritifera margaritifera* i Østre og Vestre Toten kommuner, Oppland. - NINA Oppdragsmelding 570: 1-22.
- 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. & Hårsaker, K. 2002. Hunnselva, Oppland (vassdragsnr. 002.DCZ). - s. 7-16 i Larsen, B.M. (red.). Overvåking av elvemusling *Margaritifera margaritifera* i Norge. Årsrapport 2001. NINA Oppdragsmelding 762.
- Larsen, B.M. & Berger, H.M. 2009. Overvåking av elvemusling i Norge. Årsrapport for 2008: Hunnselva, Oppland. - NINA Rapport 443. 29 s.
- Lien, L. & Lindstrøm, E.-A. 1987. Tiltaksorientert overvåking i Hunnselva 1985-1987. - NIVA, Statlig program for forurensningsovervåking Rapport 302/88. 99 s.
- Nyström, J., Dunca, E., Mutvei, H. & Lindh, U. 1996. Environmental History as Reflected by Freshwater Pearl Mussels in the River Vramsån, Southern Sweden. - *Ambio* 25: 350-355.
- Schöne, B.R., Dunca, E., Fiebig, J. & Pfeiffer, M. 2005. Mutvei's solution: an ideal agent for resolving micro-growth structures of biogenic carbonates. - *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 228: 149-166.
- Stabell, T. 2000. Vurdering av tilførsler til Hunnselva på elvestrekningen langs industriområdet på Raufoss. Totalt løst fosfor. - Tellus Ferskvannundersøkelser. Rapport R-030100. 12 s.
- Wahlström, K. 2006. Sediment Requirements for Freshwater Pearl Mussel (*Margaritifera margaritifera*) Recruitment. - Karlstad University, Sweden. Degree Project 06:89. 16 pp.

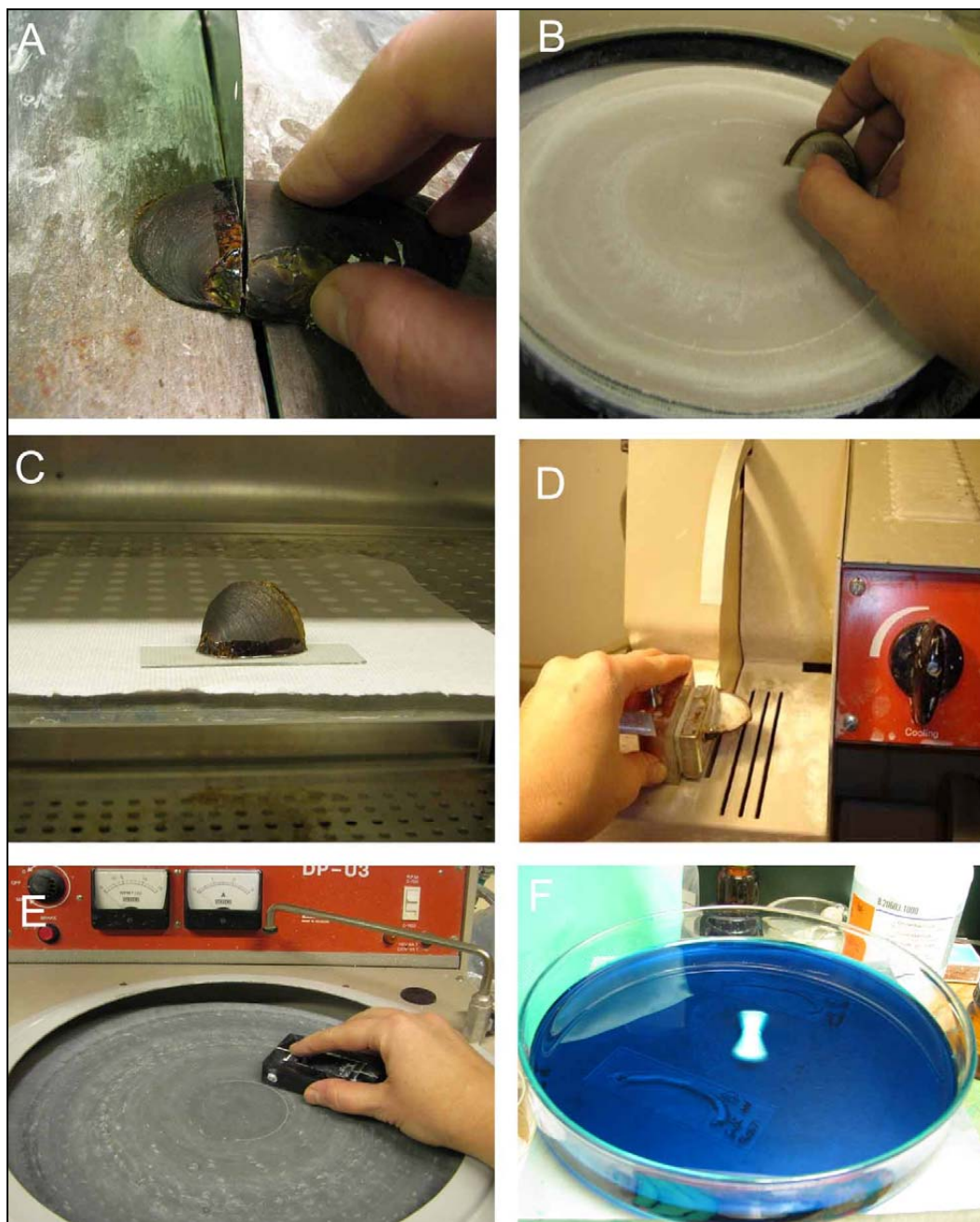
7 Bilaga

Bilaga 1. Resultat från kemiska analyser.

Musla	1002										1003							1004						
	2008-2003	2002-1995	1994-1989	1988-1984	1983-1979	1978-1973	1972-1968	1967-1963	1962-1959	2008-1990	1989-1974	1973-1962	1961-1950	1949-1944	1943-1939	1938-1935	1934-1932	2008-1999	1998-1986	1985-1975	1974-1965	1964-1960	1959-1955	1954-1949
Al	11,96	3,99	5,50	4,73	4,47	4,29	3,32	4,29	4,15	3,09	3,49	4,94	12,10	5,19	4,25	2,65	7,17	6,50	3,36	4,86	2,54	3,93	2,78	3,34
As	<1,3	<1,3	<1,3	<1,3	<1,3	1,36	1,74	<1,3	1,50	1,35	2,37	1,92	<1,3	<1,3	<1,3	<1,3	1,54	<1,3	<1,3	<1,3	2,00	<1,3	2,21	<1,3
Ba	127,87	134,27	96,39	83,95	85,67	78,68	43,37	40,99	48,65	162,45	117,03	92,36	83,17	127,00	92,36	82,94	99,43	138,70	125,51	85,15	66,18	66,10	66,86	78,43
Be	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023
Ca	375111	394851	393439	395493	400784	394614	398571	390352	396866	397327	395509	391889	393742	392042	395078	394368	391208	397367	393479	383904	386912	389016	391986	396013
Cd	<0,223	<0,223	<0,223	<0,223	<0,223	<0,223	<0,223	<0,223	<0,223	<0,223	<0,223	<0,223	<0,223	<0,223	<0,223	<0,223	<0,223	<0,223	<0,223	<0,223	<0,223	<0,223	<0,223	<0,223
Co	0,49	0,51	0,54	0,45	0,58	0,39	0,54	0,52	0,56	<0,2375	0,41	0,37	0,39	0,45	0,52	0,43	0,38	0,34	0,34	0,54	0,50	0,60	0,49	0,57
Cr	0,41	0,51	0,57	0,59	0,57	0,57	0,20	0,18	0,20	<0,12025	0,20	0,24	0,28	0,15	0,17	0,26	0,25	<0,120	<0,120	<0,120	<0,120	<0,120	<0,120	<0,120
Cu	6,17	2,46	2,36	2,79	2,46	2,63	1,96	2,44	2,64	0,90	0,97	2,07	11,02	2,43	2,40	2,36	4,77	1,04	0,95	1,01	1,38	1,42	1,37	1,65
Fe	16,64	9,73	11,44	5,32	5,01	9,69	4,39	2,53	2,65	20,63	3,07	17,13	27,57	11,84	3,72	30,16	14,13	4,50	3,02	3,02	4,09	2,53	5,13	12,33
K	63,02	15,20	14,19	15,22	14,17	21,12	11,23	13,54	14,88	11,40	9,34	15,75	37,20	13,93	16,92	19,16	23,41	11,04	7,53	11,53	9,63	9,14	10,08	34,46
La	<0,243	<0,243	<0,243	<0,243	<0,243	<0,243	<0,243	<0,243	<0,243	<0,243	<0,243	<0,243	<0,243	<0,243	<0,243	<0,243	<0,243	<0,243	<0,243	<0,243	<0,243	<0,243	<0,243	<0,243
Li	<0,444	<0,444	<0,444	<0,444	<0,444	<0,444	<0,444	<0,444	<0,444	<0,444	<0,444	<0,444	0,64	<0,444	<0,444	<0,444	<0,444	<0,444	<0,444	<0,444	<0,444	<0,444	<0,444	<0,444
Mg	17,21	13,57	12,55	14,68	11,32	10,44	11,24	16,01	18,23	12,57	13,58	33,90	18,72	9,01	13,31	29,12	23,92	12,47	11,18	11,08	13,14	14,15	15,33	11,86
Mn	207,35	177,46	129,00	86,71	127,56	141,50	37,14	41,76	53,04	332,60	210,68	196,47	164,24	325,53	200,21	118,15	187,72	242,10	210,56	149,21	100,80	123,94	129,65	113,75
Mo	<0,473	<0,473	<0,473	<0,473	<0,473	<0,473	<0,473	<0,473	<0,473	<0,473	<0,473	<0,473	<0,473	<0,473	<0,473	<0,473	<0,473	<0,473	<0,473	<0,473	<0,473	<0,473	<0,473	<0,473
Na	8894	9499	9439	9440	9685	9694	9593	9643	9817	9179	9565	9317	9830	9446	9774	9633	9671	9528	9346	9118	9175	9357	9521	9733
Ni	2,66	1,55	1,73	1,96	1,75	1,60	1,30	1,43	1,38	1,11	1,75	1,79	2,18	1,66	1,27	1,52	1,94	1,32	1,57	0,94	1,28	1,24	1,20	1,47
P	111,43	105,57	108,58	92,56	107,98	109,85	90,17	91,73	101,55	105,08	110,60	109,08	98,60	114,34	111,64	104,82	113,65	116,73	107,42	100,04	92,00	95,36	106,02	117,12
Pb	0,70	0,57	0,91	0,94	0,59	1,14	0,70	0,66	0,61	0,87	0,61	0,98	0,99	0,88	0,52	0,70	0,80	0,74	0,71	0,51	0,69	0,51	1,05	0,68
Rb	<2,81	<2,81	<2,81	<2,81	<2,81	<2,81	<2,81	<2,81	<2,81	<2,81	<2,81	<2,81	<2,81	<2,81	<2,81	<2,81	<2,81	<2,81	<2,81	<2,81	<2,81	<2,81	<2,81	<2,81
S	100,69	101,45	90,21	96,17	90,78	110,42	126,44	156,97	187,96	110,45	98,20	90,34	86,10	104,35	131,49	195,48	220,11	98,69	98,10	87,96	82,71	96,85	120,63	199,23
Sc	<0,042	<0,042	<0,042	<0,042	<0,042	<0,042	<0,042	<0,042	<0,042	<0,042	<0,042	<0,042	<0,042	<0,042	<0,042	<0,042	<0,042	<0,042	<0,042	<0,042	<0,042	<0,042	<0,042	<0,042
Si	9,58	7,21	7,85	7,82	7,55	7,90	8,92	7,39	7,63	7,67	7,95	7,91	8,81	7,17	7,08	7,82	8,20	10,16	7,66	10,56	8,06	8,40	7,79	7,64
Sn	<1,768	<1,768	<1,768	<1,768	<1,768	<1,768	<1,768	<1,768	<1,768	<1,768	<1,768	<1,768	<1,768	<1,768	<1,768	<1,768	<1,768	<1,768	<1,768	<1,768	<1,768	<1,768	<1,768	<1,768
Sr	296,07	297,40	269,57	255,18	273,35	275,08	221,60	220,45	230,62	339,87	298,30	241,83	242,13	281,35	258,26	252,91	281,42	327,42	293,06	268,27	230,58	226,87	240,49	261,08
Ti	0,65	0,47	0,44	0,46	0,47	0,44	0,48	0,42	0,50	0,38	0,44	0,44	0,63	0,44	0,50	0,45	0,50	0,50	0,42	0,44	0,46	0,39	0,46	0,43
V	0,38	<0,28	0,28	0,33	0,32	0,32	0,32	0,30	0,29	0,32	0,35	0,33	0,33	0,30	0,29	0,35	0,28	0,31	0,33	0,32	0,30	0,33	0,35	0,34
Y	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032
Yb	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022
Zn	13,34	1,39	1,64	1,70	2,29	2,64	2,77	0,94	1,58	0,62	0,55	2,13	6,33	1,55	1,40	0,82	2,98	1,53	1,49	0,80	0,90	0,93	1,08	1,83
Zr	<0,084	<0,084	<0,084	<0,084	<0,084	<0,084	<0,084	<0,084	<0,084	<0,084	<0,084	<0,084	<0,084	<0,084	<0,084	<0,084	<0,084	<0,084	<0,084	<0,084	<0,084	<0,084	<0,084	<0,084

Bilaga 2. Metodbeskrivning

Skalen mättes med hänsyn till deras längd, höjd och bredd. Ena skalhalvan sågades vinkelrätt mot vinterlinjerna från umbo till den ventrala delen. Sedan tillverkades tunnslip (**figur 1**) enligt metoden som används på Naturhistoriska riksmuseet (Dunca 1999). Skalsnittet polerades och klistrades fast på objektglas med hjälp av tvåkomponentsplasten CaldoFix (Struers). När plasten hade hårdnat (en timme i 70°C) sågades skalen så att ett tunt skalsnitt (ca 0,5 mm) blev kvar på objektglaset.

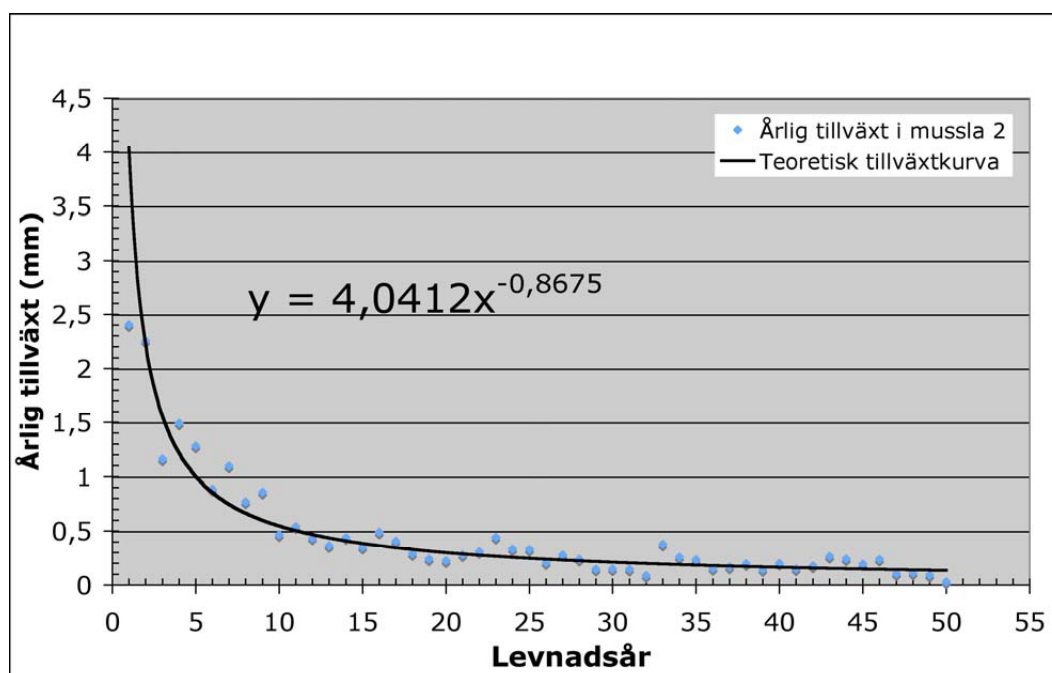


Figur 1. **A.** Musselskalen sågades vinkelrätt mot vinterlinjerna från den ventrala kanten till den yngsta, umbonala, delen med hjälp av en diamantklinga; **B.** Polering av skalsnittet; **C.** Skalen klistrades fast på objektglas; **D.** Sågades så att ett tunt skalsnitt (ca 0,5 mm) är kvar på objektglaset; **E.** Tunnslip polerades; **F.** Etsning och färgning med Mutvei's blandning.

Alla tvärsnitt (både av inbäddade skal och tunnslip) polerades med tennoxid på en roterande platta Struers DP-U3 och etsades med Mutvei's blandning (Schöne mfl. 2005) under 25 min. Mutvei's blandningen består av lika delar vattenlöslig glutardialdehyd 25 % och ättiksyra 1 % med tillsats av elsasblått (Alcian blue) pigment. Glutardialdehyden fixerar organiska komponenter i skalen, elsasblått både fixerar och färgar glukoproteinerna mellan kristallerna i skalen, medan den svaga ättiksyran långsamt löser upp ytkristallerna. På detta sätt bildas en relief som är synlig både i ljusmikroskop (LM) och svepelektronmikroskop (SEM). Vinterlinjerna och tillväxtstörningslinjerna framträder i mörkblått i LM, medan i SEM syns de som upphöjda ryggar.

Standardisering av den årliga tillväxtkurvan

En teoretisk kurva (en potens kurva) tas fram för varje mätserie (**figur 2**).



Figur 2. Diagram som representerar årstillväxten (i mm) för de levnadsår som är synliga i tvärsnitt. År noll i diagrammet motsvarar den tidigaste levnadsår som kunde mätas i tvärsnitt. Potens kurvan med formeln som är presenterad i diagrammet är anpassad för denna musslans mätvärden och representerar den teoretiska tillväxtkurvan.

Varje enskild mätning divideras sedan med motsvarande teoretisk värde. Dessa värden kallas tillväxtindex (GI). Samtidigt måste man ta hänsyn till den ontogenetiska variationen i tillväxten (tillväxtvariationen är större vid första levnadsåren än vid sista levnadsåren). Därför subtraherar man medelvärdet för tillväxtindexen (GI) från GI och delar det med standardavvikelsen för GI. Det resulterande värdet kallas standardiserat tillväxtindex (SGI, **figur 3**). SGI representerar förändringen i den årliga tillväxten och är jämförbar mellan alla musslor.

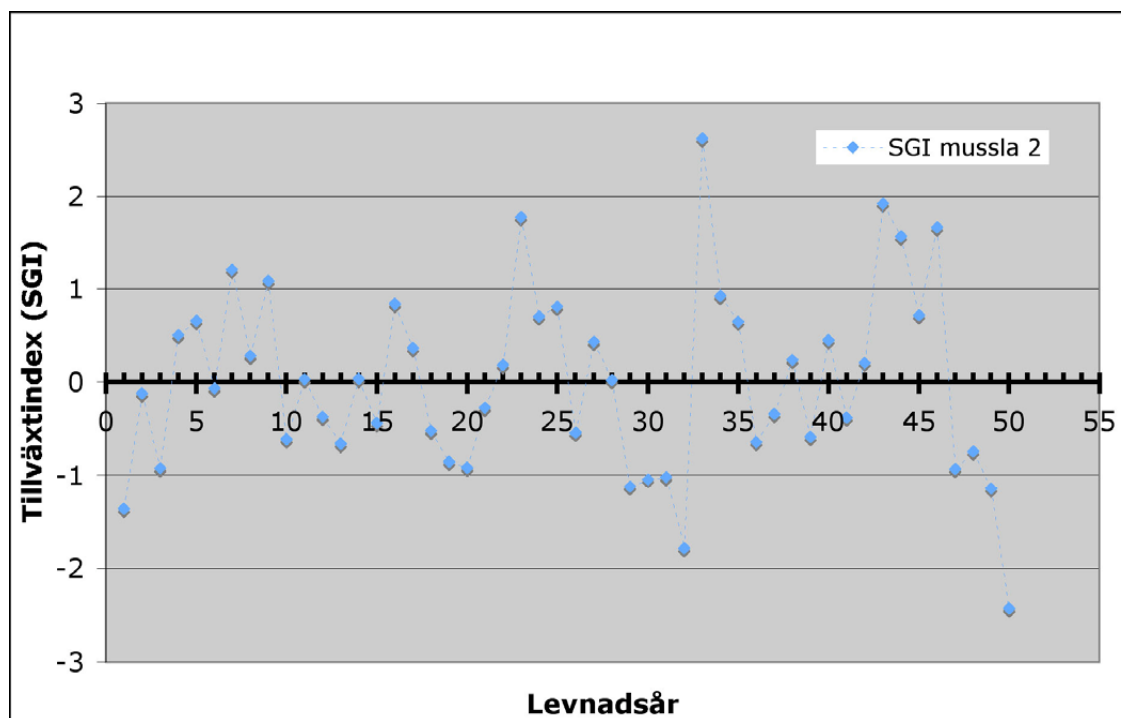
$$(1) F(t) = a \cdot t^b$$

$$(2) GI = F(m)/F(t)$$

$$(3) SGI = (GI - M_{(GI)}) / \sigma_{(GI)}$$

$F(t)$ = teoretiska tillväxten; $F(m)$ = tillväxtmätningar; a, b = konstanter; GI = tillväxtindex; SGI = standardiserat tillväxtindex; $M_{(GI)}$ = medelvärdet för tillväxtindexen; $\sigma_{(GI)}$ = standardavvikelsen för tillväxtindexen.

Standardiserat tillväxtindex (SGI) representerar förändringen i den årliga tillväxten och är jämförbar mellan alla musslor.



Figur 3. Diagram som representerar standardiserade tillväxtindex (SGI) för samma mussla som i figur 2. SGI representerar förändringen i den årliga tillväxten och är jämförbar med SGI för andra musslor oberoende av deras ålder.

En årlig tillväxtkurva som representerar populationens tillväxt framställs genom att räkna fram medelvärdet på SGI för varje år på samtliga mäta musslor inom respektive populationen.

Normal, hög och låg tillväxtkurvor

Relationen mellan skallängden och åldern på flodpärlmusslorna varierar starkt i tidig undersökta flodpärlmusslepopulationer från Sverige och Kolahalvön (Dunca mfl. 2009). För att kunna få en uppfattning om hur populationens skalstorlek förhåller sig till en vis ålder har tre olika kurvor framställs: kurva för normal tillväxt, kurva för hög tillväxt och kurva för låg tillväxt.

Kurvor har framställts med hjälp av von Bertalanffy formeln (4) för musslor äldre än ca 10 år. För musslor mellan 0-10 år är kurvorna exponentiella (5).

$$(4) H = L_{\max} (1 - e^{-(a-\lambda)t})$$

H = skallängd, L_{\max} = maximal skallängd, a = skallängd vid år noll, λ = specifik tillväxthastighet, t = tiden (åldern).

$$(5) H_j = a * e^{(\lambda t)}$$

H_j = skallängd hos juvenila musslor (0-10 år gamla), a = skallängd vid år noll, λ = specifik tillväxthastighet, t = tiden (åldern).

Dessa kurvor är anpassade till de mätningar och åldersbestämningar som finns tillgängliga för flodpärlmusslan i hela Sverige och Kolahalvön.

Den maximala skallängden, L_{max} för normal tillväxtkurvan är vald som 130mm, för hög tillväxtkurvan är 160 mm och för låg tillväxtkurvan är 100 mm. Den specifika tillväxthastigheten, λ variera så att man får den bästa anpassningen till de befintliga mätningarna.

Kurvorna har följande formler:

$$(6) H_{jh} = 1 * e^{(0,433 * t)}$$

$$(7) H_{jn} = 0,5 * e^{(0,438997 * t)}$$

$$(8) H_{jl} = 0,2 * e^{(0,449 * t)}$$

$$(9) H_n = 160 * (1 - e^{(0,05 - 0,034089 * t)})$$

$$(10) H_n = 130 * (1 - e^{(0,15 - 0,036 * t)})$$

$$(11) H_l = 100 * (1 - e^{(0,3 - 0,046923 * t)})$$

H_{jh} = skallängd hos juvenila musslor med hög tillväxt, H_{jn} = skallängd hos juvenila musslor med normal tillväxt, H_{jl} = skallängd hos juvenila musslor med låg tillväxt, H_n = skallängd hos musslor med hög tillväxt, H_n = skallängd hos musslor med normal tillväxt, H_l = skallängd hos musslor med låg tillväxt.

Musslorna som hamnar närmast normal tillväxtkurvan anses ha en normal tillväxt, runt hög tillväxtkurvan anses ha en hög tillväxt och runt låg tillväxtkurvan anses ha en låg tillväxt.

NINA Rapport 487

ISSN:1504-3312

ISBN: 978-82-426-2059-0



Norsk institutt for naturforskning

NINA hovedkontor

Postadresse: 7485 Trondheim

Besøks/leveringsadresse: Tungasletta 2, 7047 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 73 80 14 01

Organisasjonsnummer: NO 950 037 687 MVA

www.nina.no