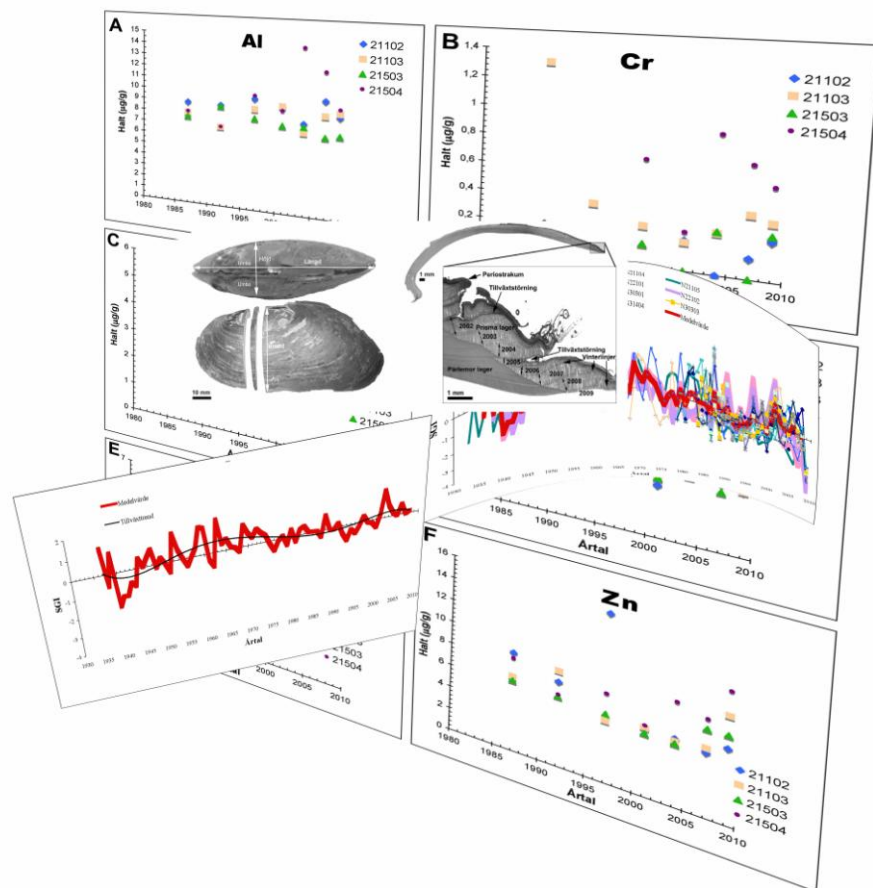




Skaltillväxt och kemiska analyser av flodpärlmusslor från Oгна och Figga, Norge



2010

Producerad den 29e juli 2010



Krympvägen 8
75597 UPPSALA

Tel: 018-36 38 09
Mobil: 0709-423209

Orgnr: 6506292827
elena.dunca@nrm.se

QuickTime™ and a
TIFF (okomprimerad) decompressor
are needed to see this picture.

Box 50007
10405 STOCKHOLM

Tel: 08-51954187
Fax: 08-51954184

Rapport: Skaltillväxt och kemiska analyser av flodpärlmusslor från Oгна och Figga, Norge

av

Elena Dunca

Bivalvia konsultföretag

i samarbete med Naturhistoriska riksmuseet, enheten för paleozoologi, Sverige

Carl-Magnus Mörth

Stockholm Universitet, Avdelningen för geologi och geokemi, Sverige

och

Bjørn Mejdell Larsen, Norge

Norsk institutt for naturforskning, Trondheim, Norge

Innehållsförteckning

FÖRORD.....	6
SAMMANFATTNING	7
ABSTRACT	8
INLEDNING	9
MATERIAL OCH METODER	10
RESULTAT	12
DISKUSSION.....	19
SAMMANSTÄLLNING.....	21
LITTERATURLISTA	21
BILAGA 1 RESULTAT FRÅN KEMISKA ANALYSER.....	23
BILAGA 2 ÅRLIG TILLVÄXT	24
BILAGA 3 METODBESKRIVNING.....	25

Förord

Musslorna bygger upp sina skal av kalk och har en kompakt struktur vilket medför att de anrikade grundämnena från vattnet stannar kvar i skalet även efter musslans död. Denna egenskap gör att musselskal kan användas som miljöindikatorer. Föregående studier av musselskal har avslöjat effekter av försurning och eutrofiering av sötvatten, jordbrukshistoria och konsekvenser av övergödning, industriella utsläpp, metallframställning, gruvhantering, m m.

Undersökningen ” Skaltillväxt och kemiska analyser av flodpärlmusslor från Ognå och Figga, Norge” genomfördes av Elena Dunca, i regi av Bivalvia konsultföretag i samarbete med Naturhistoriska riksmuseet i Stockholm, avd för paleozoologi.

Kemiska analyserna genomfördes i samarbete med Carl-Magnus Mörth, Stockholm Universitet, Avdelningen för geologi och geokemi.

Musselmaterialet insamlades av Bjørn Mejdell Larsen Norsk institutt for naturforskning, Trondheim, Norge.

Sammanfattning

Dunca, E., Mörth, C.-M., & Larsen, B.M. 2010. Skaltillväxt och kemiska analyser av flodpärlmusslorn från Ognå och Figga, Norge.

Åldersbestämning, skaltillväxt och kemiska analyser av flodpärlmusslor från Ognå och Figga, hjälper att utreda om det finns ett samband mellan skaltillväxten och vattenkvalitén, samt om rotenon- och aluminiumsulfatbehandlingar av dessa vattendrag har påverkat skalets tillväxt.

Skalens mått har uttryckts som en funktion av musslornas ålder i tillväxtdiagram och jämförts med allmänna tillväxtkurvor för flodpärlmusslan. Ognå-musslornas tillväxt relaterad till deras ålder ligger väldigt nära den höga tillväxtkurvan förutom musslorna vid Skillegrind vars tillväxt ligger på den låga tillväxtkurvan. Detta innebär att om man vill uppskatta åldern på musslor från Ognå utifrån deras skallängd behöver man använda hög tillväxtkurvan för vissa populationer och lågtillväxtkurvan för andra. I Skillegrind har flodpärlmusslan öringen som värd fisk medan i de andra Ognå-stationerna laxen. Detta antyder att öring-musslor växer mindre än lax-musslor för samma ålder.

Figga-musslorna har en hög till normal tillväxt om man relaterar deras skallängd till deras ålder. För att uppskatta åldern genom att mäta skallängden på dessa musslor behöver man använda antingen hög- eller normaltillväxtkurvan. En viss underskattning eller respektive överskattning måste man räkna med.

Den årliga tillväxten hos de undersökta musslorna visar inga dramatiska förändringar. Något bättre tillväxt på 1960-talet jämfört med 1990-talet kan tolkas som naturlig tillväxtvariation.

Ett brett spektrum av grundelement i väldigt låga koncentrationer ($\mu\text{g/g}$) har analyserats i musselskalen med hjälp av ICP-OES.

Trender i den kemiska sammansättningen visar förändringar efter år 2000 med högre halter av S, Sr, K, Fe, Cu och Zn och lägre halter av Mn, B, Ba och V. Dessa förändringar kan förklaras dels med att vattnets pH har blivit lägre än tidigare och dels med tillförsel av olika kemiska substanser (som rotenon och aluminiumsulfat) i vattendraget.

Visa tungmetaller (Cu, Zn, Pb, Ni och Cd) och grundämnen K, Na, Be och As finns i högre halter än i musselskal från andra vattendrag i Norge (Hunnselva, Kampåa och Leira) och Sverige (Imälven och Lärjeån).

Vidare undersökningar krävs för att framställa ett exakt förhållande mellan rotenon- och aluminiumsulfatbehandlingar och musslornas tillväxt.

Abstract

Dunca, E., Mörth, C.-M., & Larsen, B.M. 2010. Shell growth and chemical analyses of freshwater pearl mussel from Ognå and Figga, Norway.

Age determination, analyses of growth and chemical composition in shells of freshwater pearl mussel from Ognå and Figga, Norway, enable to investigate if there is a relationship between shell growth and water quality, as well as if treatments with rotenone and aluminium sulphate have an impact on shell growth.

The shell length of the bivalves in study was expressed as a function of their age in growth diagrams and then compared with general growth curves for freshwater pearl mussel species. Ognå mussels grow fast for their age and align on the high growth curve except for the mussels at Skillegrind observational station. These mussels align with the low growth curve. As result, in order to estimate the age of the mussels in Ognå by the length of their shells it for some populations would fit the high growth curve and for some the low growth curve. In Skillegrind the host fish for larval stages of freshwater pearl mussel is brown trout while in other stations on Ognå the host fish is salmon. This indicates that brown trout mussels grow slower than salmon mussels at the same age.

Figga bivalves have a normal to high growth if shell length is related to the age of the mussel. In order to estimate the age by measuring the shell length it is possible to use high or normal growth curve, but some under- or respectively overestimations will occur.

The annual growth rate of the mussels does not show any dramatic changes. Slightly better growth rate during the 60s compared with 90s are to be considered as natural variations in shell growth.

A broad spectrum of trace elements of low concentrations ($\mu\text{g/g}$) were analysed using ICP-OES. Trends in the chemical composition show that there are some changes after year 2000 with higher levels of S, Sr, K, Fe, Cu and Zn and lower levels of Mn, B, Ba and V. These changes in chemical composition can be explained partly by lower water pH and partly by chemical treatments (rotenone and aluminium sulphate) of the water system.

Some heavy metals (Cu, Zn, Pb, Ni och Cd) and elements such as: K, Na, Be och As have higher levels in Ognå shells than shells from other rivers in Norway (Hunnselva, Kampåa and Leira) and Sweden (Imälven and Lärjeån).

Farther investigations are needed in order to demonstrate the relationship between rotenone and aluminium sulphate treatments and the shell growth of the bivalves.

Inledning

Flodpärlmusslan, *Margaritifera margaritifera* (L), är idag klassat som utrotningshotad art i hela Europa. De främsta orsakerna till att musselbestånd minskar eller har försämrad fortplantning är miljöföroreningar, försämrad vattenkvalité (t.ex. lågt pH värde), samt igenslamning av botten som (Hastie m.fl. 2000, 2003; Geist 1997; Geist & Auerswald 2007; Wahlström 2006).

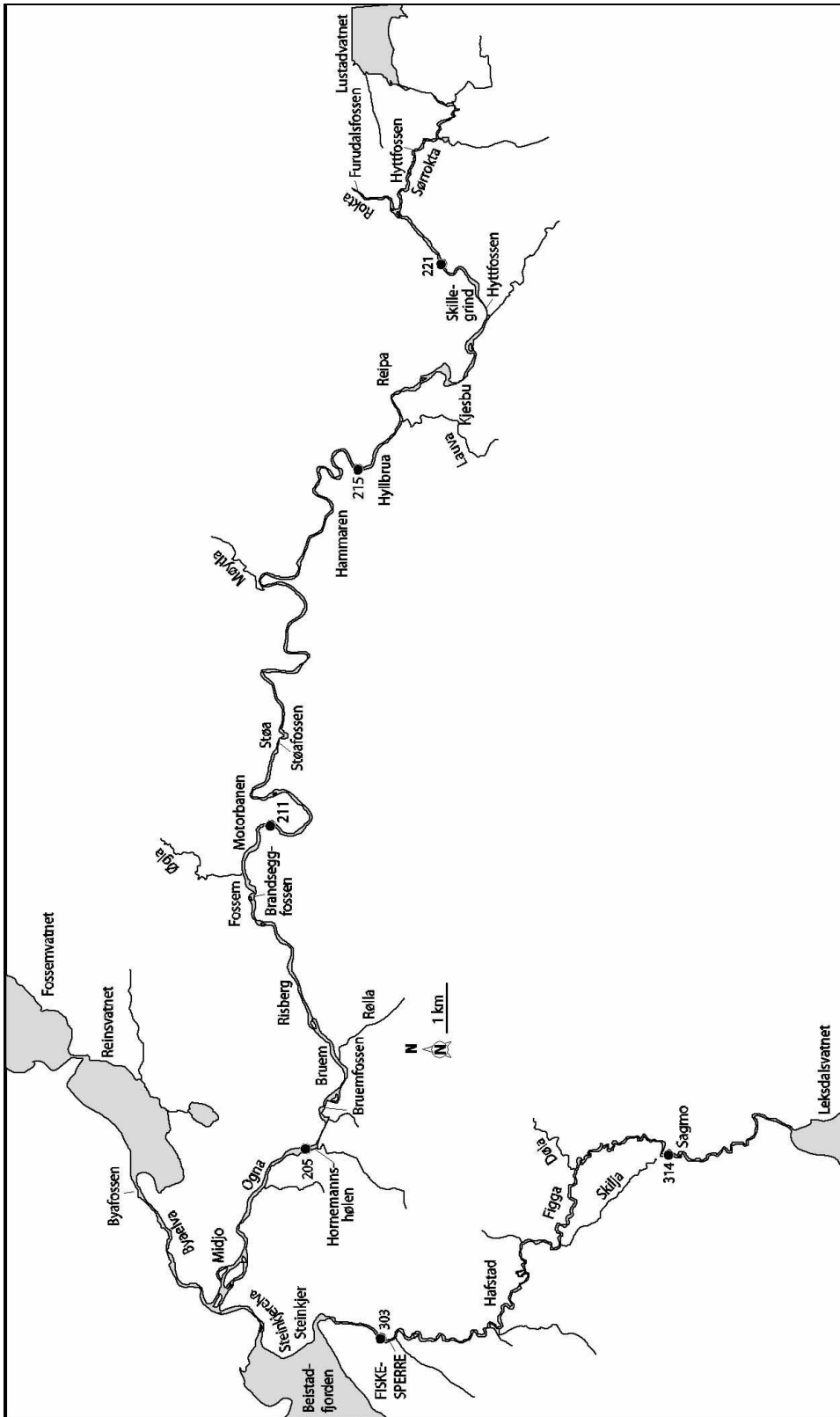
Norge är ett av få europeiska länder som har mest livskraftiga flodpärlmusselbestånd men trots detta finns det tecken på en försämrad vattenkvalité som kan hota många musselpopulationer (Larsen 2005). Kampåa och Leira är exempel på detta. Vattnets låga pH-värden har orsakat dålig skaltillväxt för flodpärlmusslor och en minskning av beståndet (Dunca m.fl. 2009b, c; Sandaas & Enerud 2009; Dolmen & Kleiven 2004).

Infektionen med *Gyrodactylus salaris* på lax, som är värdfisk för flodpärlmusslornas juvenila stadier, har åkallad drastiska åtgärder i de drabbade vattendrag, som t.ex. Oгна. Vattendraget behandlades under flera omgångar från och med början på 1990 –talet med gifter (rotenon och aluminiumsulfat) för att slå ut den infekterade fisken. I samband med dessa behandlingar slogs det också ut flodpärlmusslans unga stadier (glochidielarver) som parasiterar på värdfiskens gälar (Larsen 2008).

Syftet med denna undersökning är att åldersbestämma och analysera skaltillväxten hos musselskal från Oгна och Figga, samt att analysera den kemiska sammansättningen av utvalda skal för att utreda om det finns ett samband mellan deras tillväxt och förändringar i vattenkvalitén (orsakad bl.a. av rotenon och aluminiumsulfat).

Material och metoder

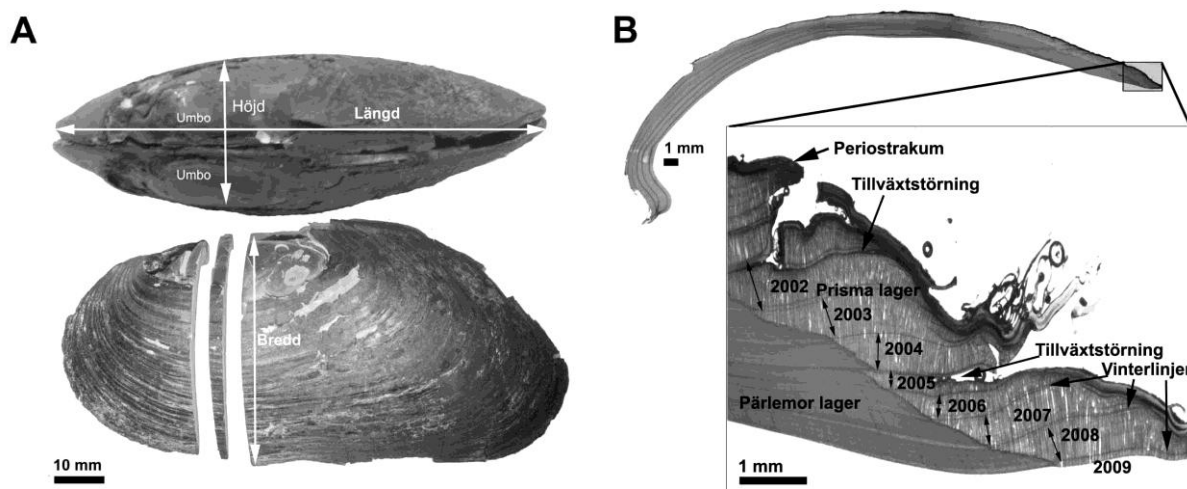
I undersökningen ingår 25 musslor insamlade under juni 2009 från både Oгна och Figga vid 6 olika stationer: 205, 211, 215, 221, 303 och 314 (se figur 1).



Figur 1. Oгна och Figga med övervakningsstationer för flodpärlmusslan.

Preparationsteknik

Skalen etiketterades och mättes med hänsyn till deras längd, höjd och bredd (figur 2 A).



Figur 2. A. Skalens olika mått. B. Tunnslip av musselskal nummer 200920502 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 2005 årstillväxt (på våren), samt på hösten 2002 och 2001. De svarta pilarna markerar avståndet mellan två vinterlinjer som ett mått på den årliga tillväxten.

En av skalhalvorna sågades vinkelrätt mot årsringarna från nedre skalkant till umbo (figur 2 A). Snittytor genom skalet preparerades fram enligt en speciell metod som utvecklades under 90-talet vid Naturhistoriska riksmuseet i Stockholm (se bilaga 3 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 3). Denna lösning fixerar och färgar organiska komponenter i skalen (glukoproteiner mellan kalkkristallerna) och samtidigt löser långsamt upp kalkkristallerna på snittytan. Vinterlinjerna och tillväxtstörningslinjerna framträder i mörkblått och syns bäst i ljusmikroskop (figur 2 B).

Åldersbestämning

Den årliga tillväxten (årsringarna) hos en mussla är det skalmaterial 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 2 B).

För åldersbestämning räknades den årliga tillväxten i tunnslip hos samtliga musslor. Äldre musslor har ofta borteroderad umbo. Åldern på den eroderade delen uppskattades med hjälp av åldersbestämda yngre musslor som växer enligt samma tillväxtkurva (Dunca m.fl. 2010a).

Årlig tillväxt

Det minsta avståndet mellan två vinterlinjer har använts som mått på den årliga tillväxten. Avståndet mättes vid gränsen mellan pärlemor och prisma (se figur 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 (se bilaga 3). Standardiseringen gjordes med samma matematiska redskap som dendrokronologerna (trädkännarna) använder för årsringarna på träd (Dunca 1999). En utförlig metodbeskrivning finns i bilaga 3.

Efter standardiseringen den årliga tillväxten är representerad av en standardiserat tillväxtindex (SGI) som är ett mått på förändringen i den årliga tillväxten och är jämförbar mellan alla musslor (se tabell i bilaga 2 och bilaga 3).

Kemiska analyser

Totalt fyra musselskal valdes ut för kemiska undersökningar: skal nr 2 och 3 från station 211 och skal nr 3 och 4 från station 215, i Oгна. 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) som kan mäta en bredd spektra av grundelement med väldigt låga koncentrationer.

Resultat

Musslornas ålder varierar mellan 17 och 87 år och skallängden mellan 83 och 130 mm (tabell 1). Åldern på den umbonala delen som var eroderad och inte uppvisade några årsringar uppskattades och inräknades i musslans ålder (se tabell 1).

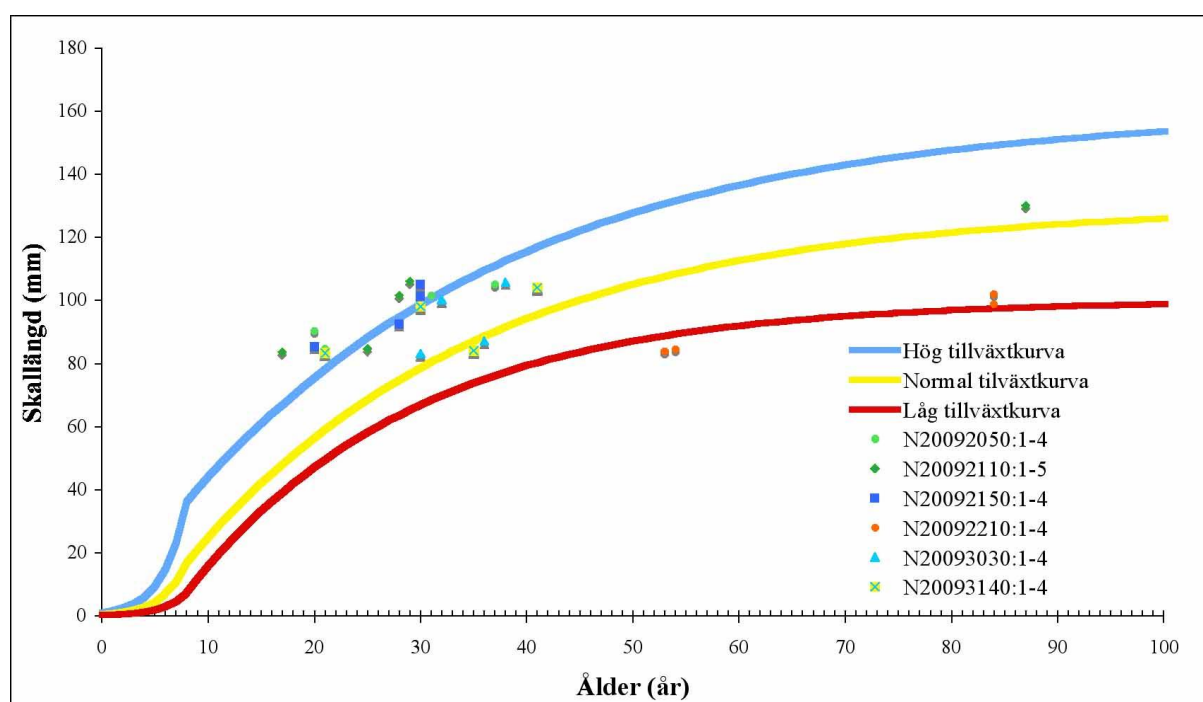
Tabell 1. Skalens mått och ålder (*inklusive uppskattningen av bortroderad umbonal del som anges i parantes).

Vattendrag	Station	Mussla	Ålder (år)*	Längd (mm)	Bredd (mm)	Höjd (mm)
Oгна	205	200920501	21 (4)	84,6	39,2	23,8
		200920502	37 (8)	105	46	32,5
		200920503	20 (5)	90,2	42,5	24,5
		200920504	31 (7)	101,5	46,5	29
Oгна	211	200921101	17 (3)	83,5	38,5	22,2
		200921102	28 (6)	101,5	46	26
		200921103	29 (3)	106	48	29
		200921104	32 (7)	84,5	37	24
		200921105	87 (10)	130	58,6	39,5
Oгна	215	200921501	20 (4)	85,2	37,8	23,5
		200921502	28 (5)	92,5	43	24
		200921503	30 (5)	101,3	45,5	28
		200921504	30 (5)	105	44,5	28,5
Oгна	221	200922101	84 (11)	98,8	44,5	26
		200922102	84 (12)	102	44,4	27
		200922103	53 (11)	83,8	39	22,2
		200922104	54 (10)	84,5	38,5	22,5
Figga	303	200930301	38 (7)	105,8	45,5	30
		200930302	30 (8)	83	42	23,5
		200930303	32 (6)	100	45,8	27,8
		200930304	36 (8)	87	30	25
Figga	314	200931401	21 (4)	83,2	40	21
		200931402	35 (7)	84	38	23,5
		200931403	30 (6)	98	45	27,3
		200931404	41 (10)	104	44,5	28

Åldersbestämning av musslor och relationen mellan skallängd och ålder

Musslornas ålder relaterad till skallängden varierar bland olika stationer i Oгна. Musslor från stationerna 205, 211 och 215 växer stora i förhållande till deras ålder medan musslor från station 221 är mycket mindre vid samma ålder.

Om man jämför med allmänna tillväxtkurvorna för flodpärlmusslan (se bilaga 3 för en detaljerad beskrivning av dessa kurvor) ligger musslorna från stationerna 205, 211 och 215 väldigt nära den höga tillväxtkurvan medan de från station 221 ligger nära lågtillväxtkurvan (figur 3). I Figga är musslornas tillväxt hög till normal i relation till deras ålder (figur 3). Om man vill åldersbestämma musslorna utifrån deras skallängd är det dessa kurvor som man skall använda sig utav.

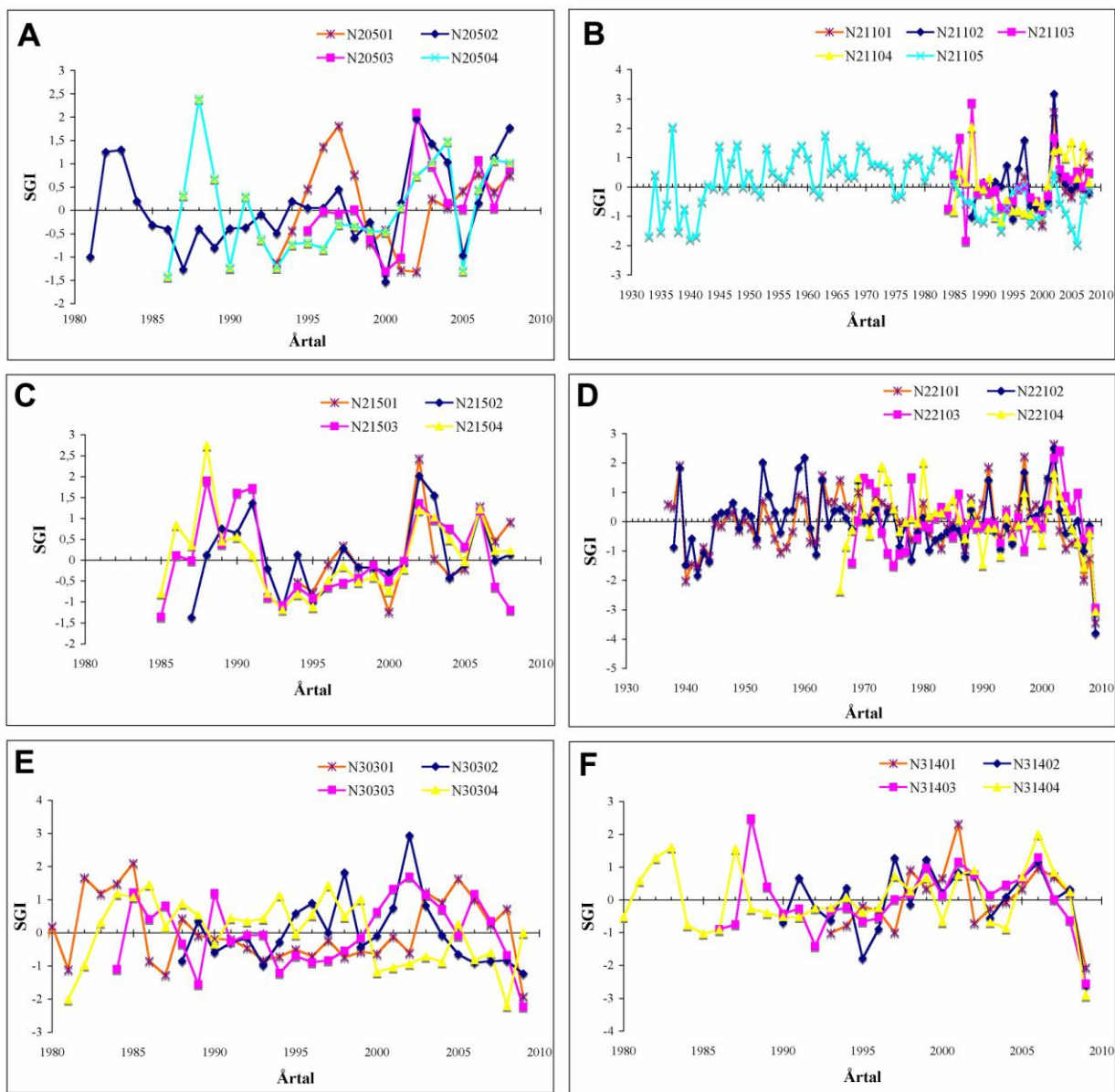


Figur 3. Diagram som representerar förhållandet mellan musslornas ålder och skalens längd och de tre allmänna tillväxtkurvorna för flodpärlmusslan.

Årlig tillväxt

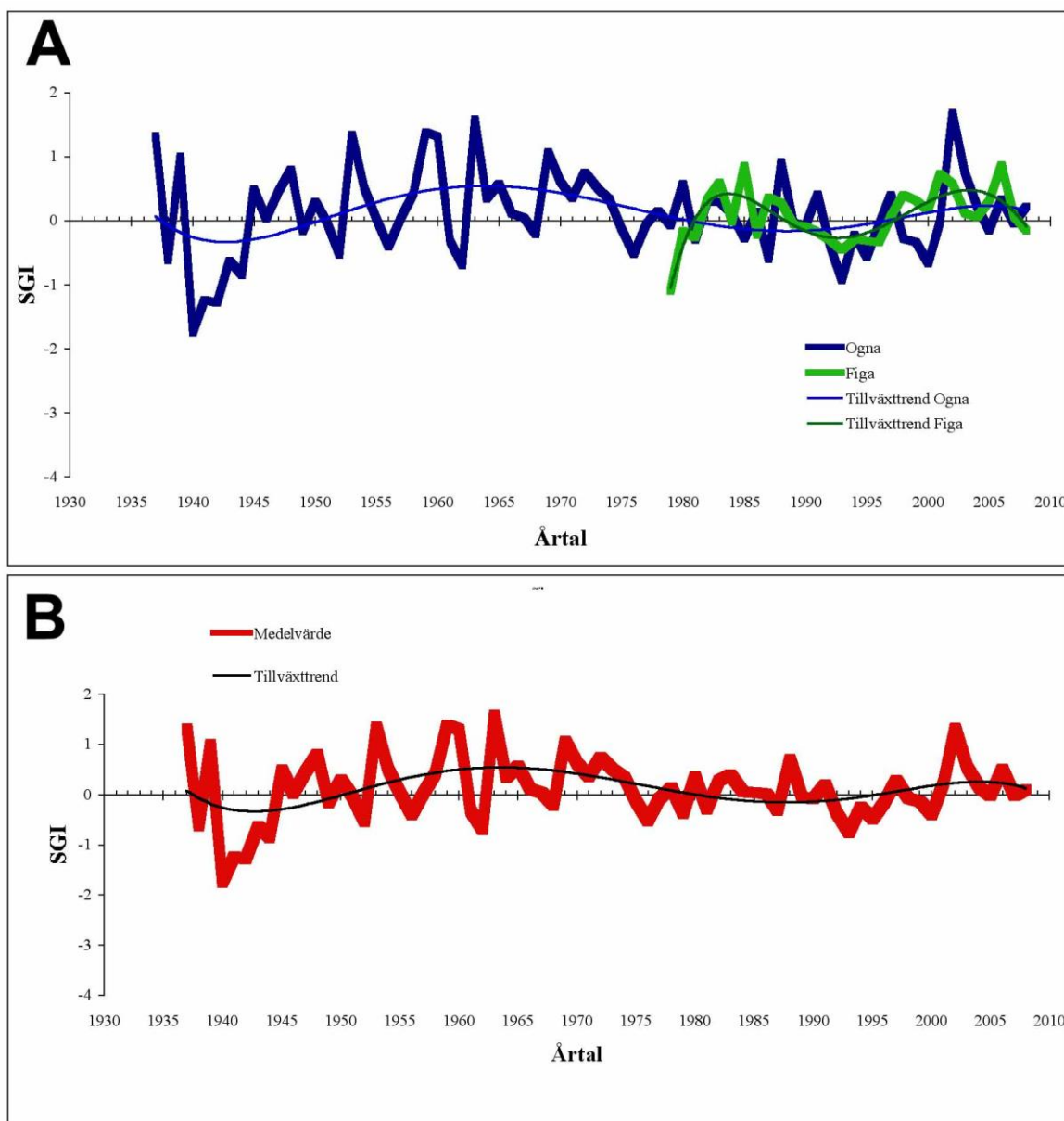
Musslornas årliga tillväxt varierar något (se figur 4). På 1960-talet visar alla musslorna en lätt uppgång i tillväxten.

De små variationerna i skaltillväxt med lite högre tillväxt än förväntat (SGI=0) på 1960-talet och lägre på 1990-talet är inte signifikanta (students t-test; $p < 0,05$) och kan förklaras som naturliga tillväxtvariationer.



Figur 4. Diagram som representerar den årliga tillväxten för alla studerade musslor från fyra stationer i Oгна och två i Figga. Sista årstillväxt har ett lägre SGI värde eftersom musslorna insamlades i juli vilket motsvarar ungefär mitten av tillväxtsången.

Medelvärden av alla SGI ger en bättre bild av tillväxttrenden för musslorna (figur 5 A och B). Eftersom tillväxttrenden är liknande för både Oгна och Figga-musslorna kan man använda sig utav en enda medelvärde för alla musslor (figur 5 A och B).



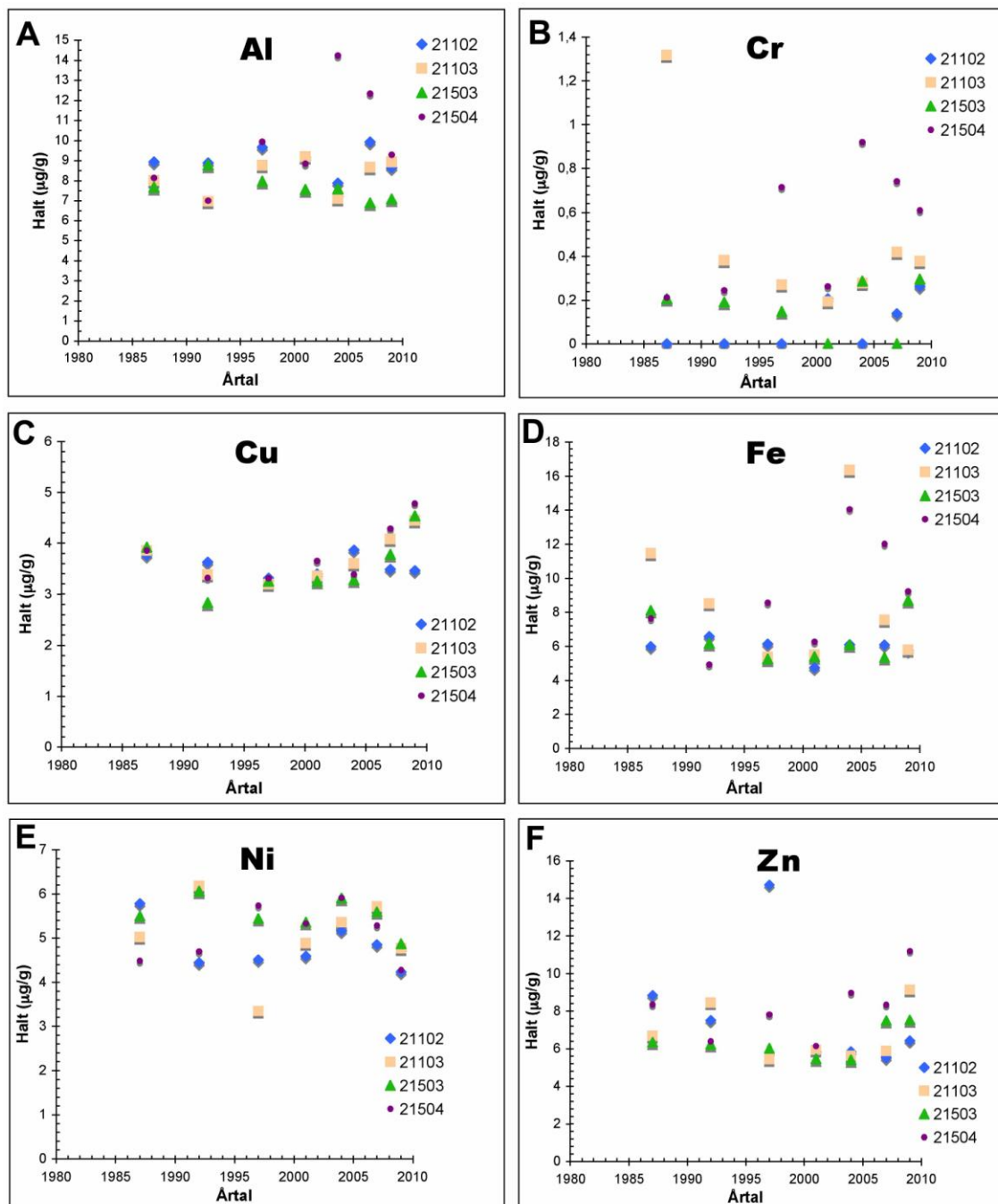
Figur 5. Medel SGI och tillväxttrenden (femtegradspolynom) för musslorna i Oгна and Figga. Sista årstillväxt har ett lägre SGI värde eftersom musslorna insamlades ungefär i mitten av tillväxtsäsongen och har därför uteslutits från diagrammet.

Alla musslor uppvisade tillväxtstörningar som förekom på vår , sommar eller höst. Musslorna från station 211 i Oгна and 314 i Figga hade flest störningar (ca 21% av alla mätta årstillväxt hade tillväxtstörningar) medan musslorna från station 221 i Oгна hade minst tillväxtstörningar (ca 6% av alla mätta år). Station 205 och 215 i Oгна hade ca 13%, respektive 16% tillväxtstörningar och station 303 i Figga hade ca 18%.

Kemiska analyser

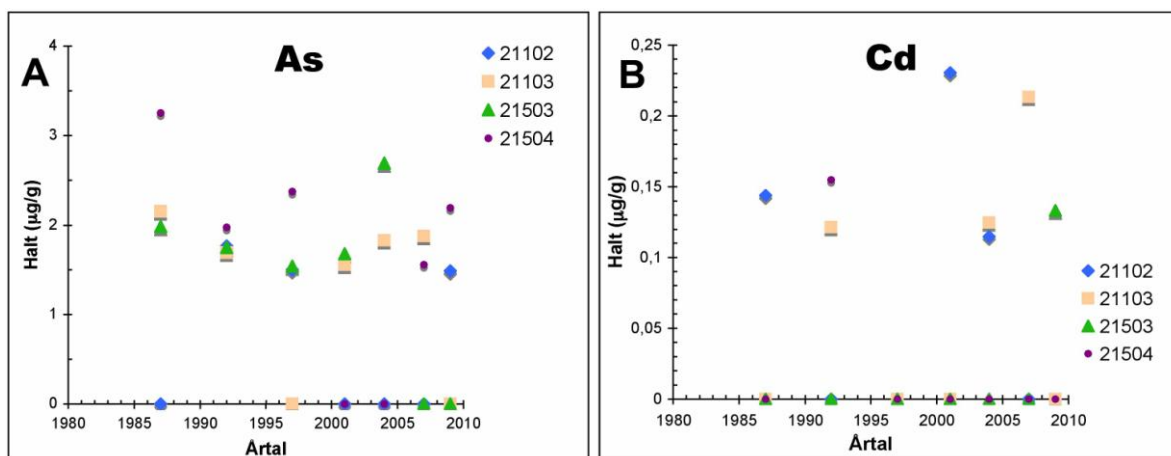
Kemisk analysresultat av fyra musselskal från Oгна är sammanställda i bilaga 1. Den kemiska sammansättningen visar varierande trender i alla fyra musselskal även mellan skal som kommer från samma station. Det finns ingen bra förklaring till denna variation.

Halterna av metaller som aluminium (Al), krom (Cr), koppar (Cu), järn (Fe), nickel (Ni) och zink (Zn) är högre runt 2005 (figur 6).



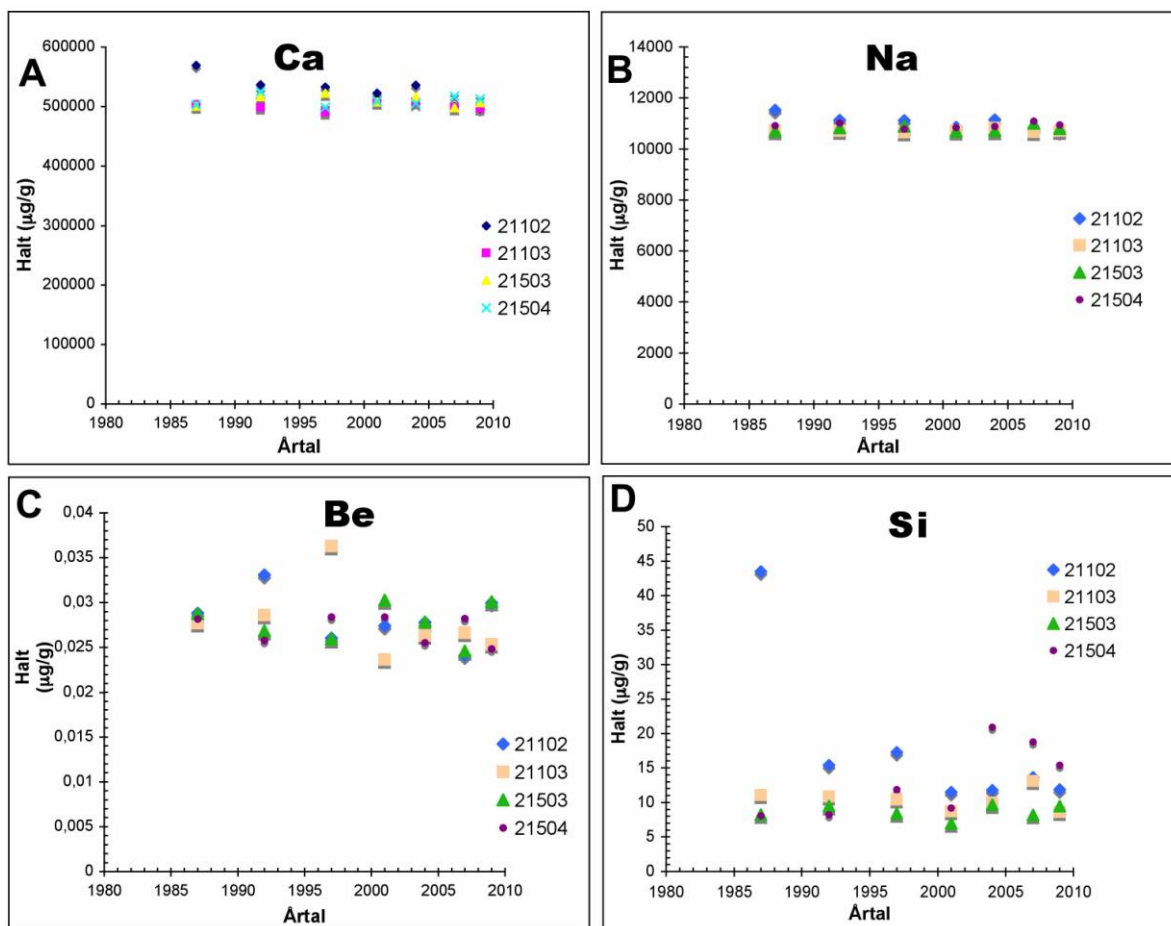
Figur 6. Diagram med resultat från kemiska analyser genomförda på fyra musselskal från Oгна. A- aluminium (Al); B- krom (Cr); C- koppar (Cu); D- järn (Fe); nickel (Ni) och zink (Zn).

Arsenikhalten (As) och kadmium (Cd) är lite högre i slutet av 1980 -talet och runt 2005 (se figur 7).



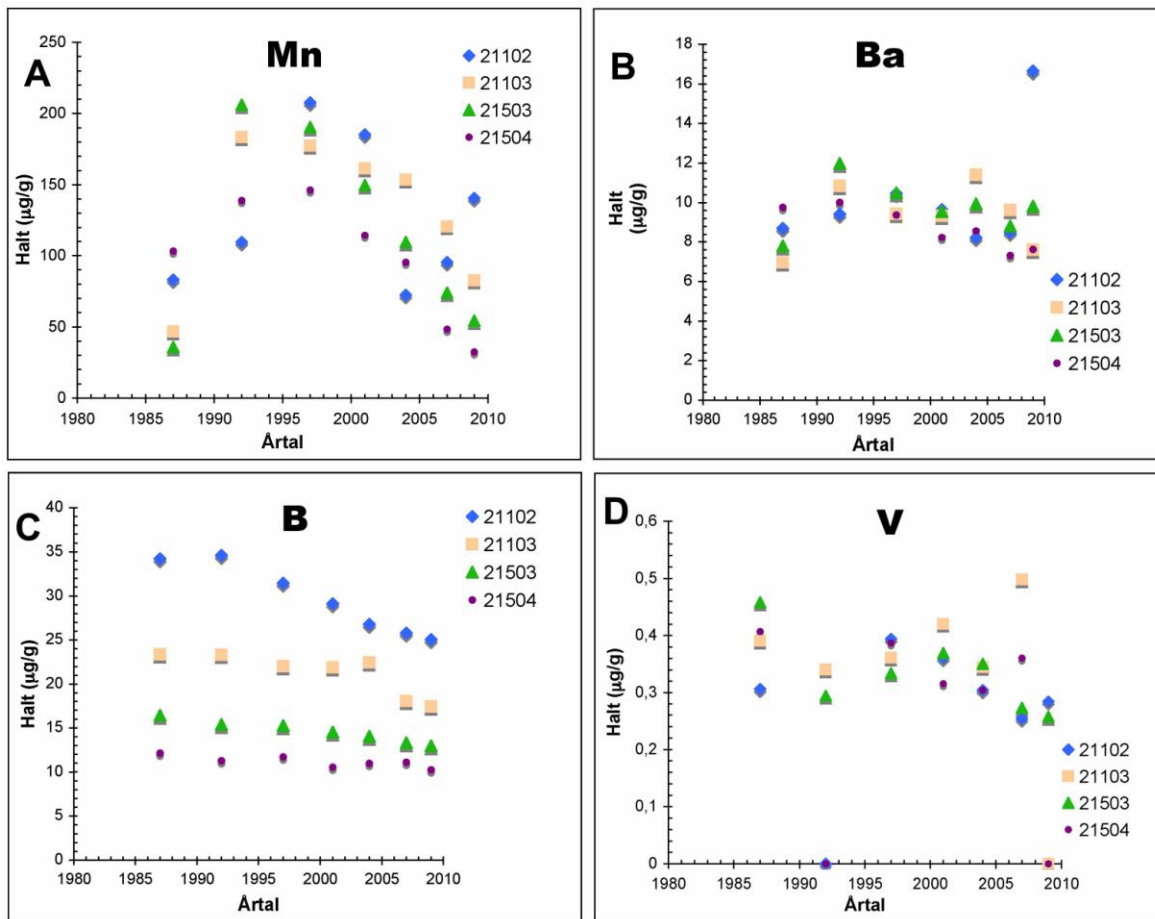
Figur 7. Diagram med halter av: A- arsenik (As) och B- kadmium (Cd).

Ämnen som kalcium (Ca) natrium (Na), beryllium (Be) och kisel (Si) håller en konstant nivå genom åren (figur 8).



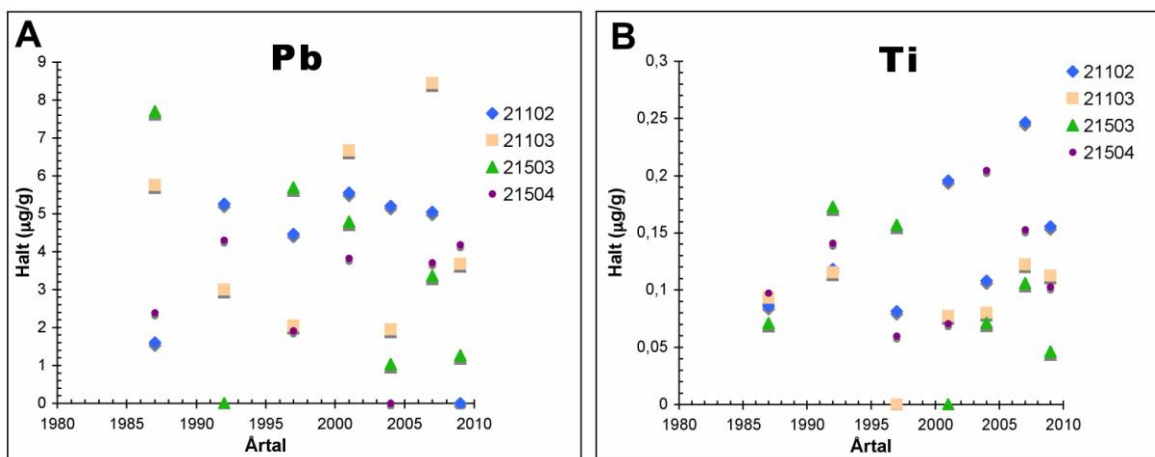
Figur 8. Diagram med halter av: A- kalcium (Ca); B- natrium (Na); C- beryllium (Be) och D- sillika (Si).

Halterna av mangan (Mn), barium (Ba), bor (B) och vanadin (V) sjunker efter år 2000 med undantag i mussla nr 3 från station 211. B halten varierar mellan de olika musslorna (figur 9).



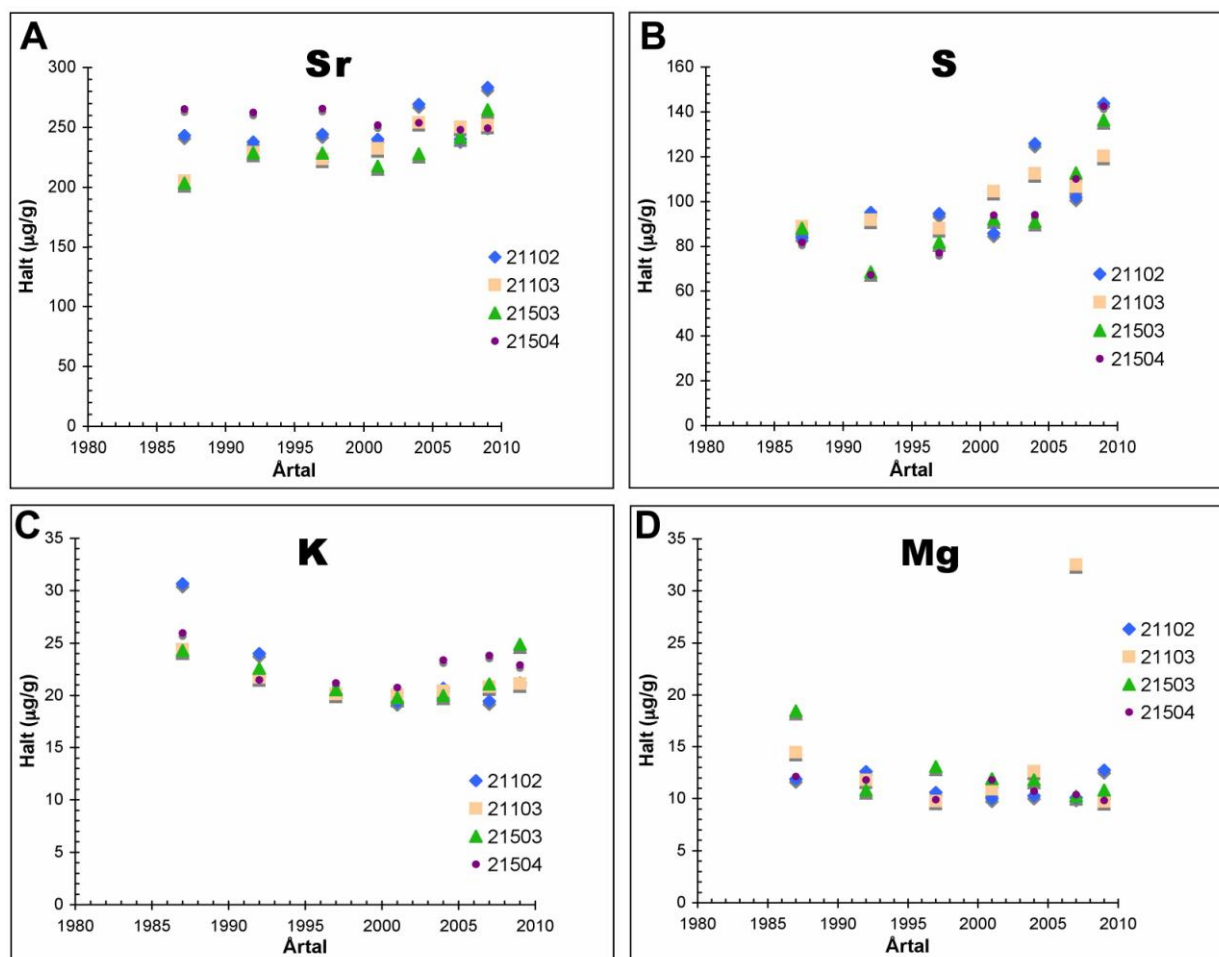
Figur 9. Diagram med halter av: A- mangan (Mn); B- barium (Ba); C- bor (B) och D- vanadin (V).

Tungmetallerna bly (Pb) och titan (Ti) finns i varierande halter i alla fyra musselskal och visar inga tydliga trender (figur 10).



Figur 10. Diagram med halter av: A- bly (Pb) och B- titan (Ti).

Grundämnen som strontium (Sr) och svavel (S) finns i högre halter efter år 2000 i samtliga musselskal (figur 11 A och B). Kalium (K) och magnesium (Mg) halterna är också något högre efter år 2000 men om man jämför med 1980-talet är det ett neråtgående trend (figur 11 C och D).



Figur 11. Diagram med halter av: A- strontium (Sr); B- svavel (S); C- kalium (K) och D- magnesium (Mg).

Diskussion

Relationen mellan ålder och skaltillväxt hos musslor från Oгна och Figga visar en bra tillväxt med undantag för musslorna från station 221. Detta kan bero på att musslorna från station 221 är s.k. öring-musslor d.v.s. musslor som har som fiskvärd öring medan i de andra stationerna har musslorna laxen som fiskvärd.

Den årliga tillväxten visar liknande trender i de flesta musslorna. Musslor från både Oгна och Figga har liknande variation i årstillväxt vilket kan tyda på att det är temperaturen som är den styrande faktorn för deras skaltillväxt. Musslorna från Figga är yngre än de som kommer från Oгна och därför är det bara en 30 år period som tillväxttrender kan jämföras på. En ökad tillväxt på 1960 –talet i jämförelse med 1990 –talet är inte signifikant och kan klassas som naturlig variation i skaltillväxt.

När det gäller frekvensen av tillväxtstörningar visar musslorna från station 221 (öring-musslorna) minst påverkan. Att de beror på miljön eller på arvsmassan är svårt att bedöma. Även om musslorna från de andra stationerna har en högre frekvens av tillväxtstörningar (visa även sprickor) så är det inom ramen för normal förekommande om man jämför med tidigare undersökningar på musslor från Sverige (Dunca m.fl. 2010b). I tidigare studier har påvisats att kraftiga pH förändringar i vattendraget i samband med kalkning och gödsling kan orsaka tillväxtstörningar hos flodpärlmusslan speciellt i vattendrag med låg buffertkapacitet (Mutvei

m.fl. 1996; Dunca m.fl. 2010b; Dunca m.fl. 2010a). Eftersom behandling med aluminiumsulfat kan förändra vattnets pH är det mycket möjligt att det kan orsaka tillväxtstörningar om behandlingarna görs under tillväxtperioden (april-oktober). Även rotenonbehandlingar kan ha påverkat musslornas skaltillväxt eftersom de flesta tillväxtstörningar förekommer efter 1993 då rotenonbehandlingarna hade börjat (Larsen 2008). Dock, kan tillväxtstörningar orsakas också av låg vattenföring och tillfälligt torka samt av sena frostperioder på våren och tidig frost på hösten (Dunca m.fl. 2010b).

Trender i den kemiska sammansättningen av de analyserade musselskalen visar förändringar efter år 2000 när det gäller S, Sr, K, Fe, Cu och Zn med högre halter och Mn, B, Ba och V med lägre halter. Dessa förändringar kan förklaras dels med att vattnets pH har blivit lägre än tidigare (Mutvei m.fl. 1994) möjligen på grund av tillförsel av aluminiumsulfat i vattendraget.

Halten av Al, Cr och Fe är högst i musslan 4 från station 215 mellan 2003 och 2009. Det är oklart varför mussla 3 från samma station inte visar samma trend i sammansättningen. Denna station är uppströms rotenonbehandling.

Fe halten är relativt konstant och om man jämför med halterna i andra undersökta musslor från Imälven, Örebro län (Dunca, 2009), Lärjeån, Göteborgs kommun, Sverige (Dunca, 2006) och Hunnselva, Norge (Dunca m.fl. 2009a) är det rätt ovanligt. Halten av Fe i vatten kontrolleras av en kombination av pH och koncentration av organiskt kol (DOC) vilket kan innebära att i Oгна har en konstant DOC.

Halterna av Ba är nästan en potens lägre än i musselskal från andra vattendrag vilket antyder att påverkan från industrier är mindrepåtaglig i Oгна (bl.a. No & Patterson 1982; Frančišković-Bilinski m.fl. 2007).

Musselskal från Oгна visar liknande kemisk sammansättning som musslor i Kampåa, Leira och Hunnsälva när det gäller Mn och Sr (Dunca m.fl. 2009a; Dunca m.fl. 2009b; Dunca m.fl. 2009c). Halten av Mn i musselskal påverkas av både redox processer och vattnets pH medan Sr halten av tillväxthastigheten (Nyström m.fl. 1996). Däremot metaller som Cu, Zn, Pb, Ni och Cd finns i högre halter än i musselskal från de andra vattendragen. Halten av Pb är två till fyra gånger större än i musselskal från Imälven, Örebro län, Sverige - en mussellokal som var påverkad av verksamhet i skjutbanor där ammunition med bly användes under 1980-talet (Dunca 2009a).

Andra grundämnen som finns i högre halter i musselskal från Oгна är K, Na, Be och As. Detta kan bero på berggrundens/markens kemiska sammansättning, på pH och buffertkapaciteten i Oгна och/eller de olika behandlingar som medför förändringar i den lokala kemiska sammansättningen i vattnet.

Sammanställning

Skaltillväxten hos musslor från Oгна och Figga visar en stor variation beroende på om musslorna har som värd lax eller öring. För att kunna uppskatta musslornas ålder genom att mäta deras skallängd behöver man skilja på musselpopulationerna som har de olika värdfiskar.

Den årliga tillväxten hos de undersökta musslorna från Oгна visar inga dramatiska förändringar. Det är något bättre tillväxt på 1960 –talet jämfört med 1990 –talet. Lägre tillväxt kan tolkas som naturlig tillväxtvariation, men både vattentemperatur, vattenkvaliteten och olika kemiska behandlingar kan ha inverkat på den årliga tillväxten.

Kemiska analyser av fyra skal från Oгна visar att halten av vissa spårämnen förändras från och med år 2000. Enligt denna undersökning tillförsel av olika kemiska substanser i vattendraget och temperaturen är de starkaste faktorerna som har påverkat musslornas tillväxt och skalens kemiska sammansättning. Vidare undersökningar krävs för att framställa ett exakt förhållande mellan rotenon- och aluminiumsulfatbehandlingar och musslornas tillväxt.

Litteraturlista

- 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.
- 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.
- Dunca, E. 1999. **Bivalve shells as archives for changes in water environment.** - *Vatten* 55: 279-290.
- 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. 2006. **Flodpärlmusslor. En skalanalys av fem flodpärlmusslor från Lärjeån i Göteborg.** – Göteborgs Stad Miljöförvaltningen. Rapport 2006-12. 20 s.
- Dunca, E. 2009. **Undersökning av två flodpärlmusselskal med hänsyn till tillväxt och kemisk sammansättning.** - Länsstyrelsen i Örebro län.
- Dunca, E., Larsen, B.M. & Mörth C-M. 2009a. Rapport: **Flodpärlmusslan i Hunnselva – åldersbestämning och kemisk analys av musselskal.** - NINA Rapport 487, s 28. www.nina.no/archive/nina/PppBasePdf/rapport/2009/487.pdf
- Dunca, E., Mörth, C.-M. & Sandaas, K. 2009b. **Rapport Bivalvia: Skaltillväxt och kemiska analyser av flodpärlmusslor från Kampåa, Norge.**
- Dunca, E., Mörth, C.-M. & Sandaas, K. 2009b. **Rapport Bivalvia: Skaltillväxt och kemiska analyser av flodpärlmusslor från Leira, Norge.**
- Dunca, E., Söderberg, H. & Norrgrann, O. 2010a. **Shell growth and age determination in the freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* in Sweden: natural versus limed streams.** *Ferrantia* (i tryck).
- Dunca, E., Söderberg, H. & Norrgrann, O. 2010b. Rapport: **Skaltillväxten hos flodpärlmusslan i Västernorrlands län.** Länsstyrelsen i Västernorrland (i tryck).
- Frančičković-Bilinski, S., Grbac, R., Žunić, J., Nečemer, M., Hanžel, D. 2007. **Multidisciplinary work on barium contamination of the karstic upper Kupa River drainage basin (Croatia and Slovenia); calling for watershed management.** *Environmental Geochemistry and Health*, 29/1: 69-79.

- Geist, J. 1997. **Ecological studies on the effects of fine sediment illuviation in the interstices of Northern Bavarian freshwater pearl mussel brooks.** Technische Universitaet Muenchen, Germany.
- Geist, J. Auerswald, K. 2007. **Physicochemical stream bed characteristics and recruitment of the freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*).** Freshwater Biology, 52: 2299-2316.
- Hastie, L.C. Boon P.J. & Young M.R. 2000. **Physical microhabitat requirements of freshwater pearl mussels, *Margaritifera margaritifera* (L.).** Hydrobiologia 429: 59-71.
- Hastie, L.C., Cooksley, S.L., Scougall, F., Young, M.R., Boon, P.J. & Gaywood M.J. 2003. **Characterization of freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*) riverine habitat using River Habitat Survey data.** Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 13-3: 213-224.
- Larsen, B.M. 2008. **Overvåking av elvemusling i Ogna, 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. 2005. **Handlingsplan for elvemusling *Margaritifera margaritifera* i Norge.** Innspill til den faglige delen av handlingsplanen. – NINA Rapport 122. 33 s.
- Mutvei, H., Westermark, T., Dunca, E., Carell, B., Forsberg, S. and Bignert, A. 1994. **Methods for the study of environmental changes using the structural and chemical information in molluscan shells.** Past and Present Biomineralization Processes, Considerations about the Carbonate Cycle; Bulletin de l'Institut océanographique, Monaco. Numéro spécial 13: 163-191.
- 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.
- No, A., Patterson, C.C. 1982. **Changes of lead and barium with time in California off-shore basin sediments.** Geochimica et Cosmochimica Acta, 46/11: 2307-2321
- Nyström, J., Dunca, E., Mutvei, H. & Lindh, U. 1996. **Environmental History as Reflected by Freshwater Pearl Mussels in the River Vramsån, Southern Sweden.** AMBIO, A Journal of the Human Environment, 15/5: 350-355.
- Sandaas, K. & Enerud, J. 2009. Rapport: **Elvemusling i Kampåa Nes kommune i Akershus 2008-2009.** (I tryck).
- Schöne, R.B., Dunca, E., Fiebig, J. & Pfeiffer, M. 2005. **Mutvei's solution: an ideal agent for resolving microgrowth structures of biogenic carbonates.** Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 228: 149-166.
- Wahlström, K. 2006. **Sediment Requirements for Freshwater Pearl Mussel (*Margaritifera margaritifera*) Recruitment.** Degree Project, Biology, Karlstads universitet: 06:89.

Bilaga 1

Resultat från kemiska analyser.

Tabell med resultat från kemiska analyser angivna i µg per g prov.

Mussla	µg/g Årtal	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	Pb	S	Si	Sr	Ti	V	Zn	Zr
21102	1989-1985	8,93	-	34,21	8,69	0,029	569078	0,14	-	-	3,76	5,98	30,68	5,51	11,86	83,17	-	11519	5,78	1,60	83,95	43,50	243,30	0,086	0,306	8,84	1,23
	1994-1990	8,88	1,76	34,60	9,41	0,033	536491	-	-	-	3,62	6,58	23,99	5,82	12,61	109,33	-	11140	4,44	5,27	95,24	15,40	237,64	0,118	-	7,51	0,21
	1999-1995	9,67	1,50	31,44	10,46	0,026	532698	-	-	-	3,31	6,13	20,19	5,82	10,61	207,72	-	11120	4,51	4,47	94,66	17,28	244,03	0,081	0,394	14,70	0,14
	2002-2000	9,17	-	29,10	9,64	0,027	522636	0,23	-	0,21	3,39	4,74	19,39	5,78	10,02	185,25	0,88	10850	4,59	5,55	85,89	11,50	240,16	0,196	0,360	5,82	0,15
	2005-2003	7,87	-	26,78	8,21	0,028	536230	0,11	-	-	3,86	6,10	20,68	5,68	10,28	72,32	-	11152	5,16	5,20	125,92	11,75	269,09	0,108	0,304	5,84	0,09
	2007-2006	9,93	-	25,80	8,49	0,024	500118	-	-	0,14	3,48	6,07	19,45	5,77	10,09	95,44	-	10754	4,85	5,05	101,97	13,65	240,13	0,247	0,254	5,50	0,11
	2009-2008	8,66	1,49	25,04	16,65	0,030	496439	-	-	0,26	3,46	5,76	21,21	5,39	12,76	140,57	0,66	10701	4,23	-	143,87	11,84	283,29	0,156	0,284	6,43	0,14
21103	1989-1985	8,02	2,15	23,38	6,97	0,028	503032	-	-	1,32	3,86	11,47	24,42	5,08	14,45	46,79	0,67	10727	5,02	5,76	88,89	11,08	205,25	0,093	0,391	6,67	-
	1994-1990	6,97	1,69	23,31	10,84	0,029	499101	0,12	-	0,38	3,38	8,51	21,71	5,67	11,81	183,47	-	10714	6,18	3,00	91,84	10,83	229,01	0,115	0,340	8,45	-
	1999-1995	8,77	-	22,02	9,43	0,036	490761	-	-	0,27	3,19	5,36	20,15	5,78	9,78	177,31	-	10660	3,35	2,04	88,19	10,41	223,55	-	0,361	5,45	-
	2002-2000	9,20	1,56	21,88	9,34	0,024	507068	-	-	0,19	3,36	5,51	20,05	5,76	10,89	161,43	0,47	10727	4,88	6,68	104,73	8,69	232,27	0,077	0,420	5,94	0,14
	2005-2003	7,10	1,83	22,44	11,40	0,026	507767	0,12	-	0,28	3,60	16,37	20,42	5,90	12,62	153,69	0,44	10829	5,36	1,94	112,57	9,91	254,04	0,080	0,345	5,62	-
	2007-2006	8,67	1,88	18,05	9,63	0,027	498380	0,21	-	0,42	4,08	7,54	20,84	6,05	32,51	120,78	-	10674	5,72	8,45	106,72	13,11	250,39	0,122	0,498	5,87	0,21
	2009-2008	8,94	-	17,41	7,60	0,025	497158	-	-	0,38	4,44	5,78	21,14	5,87	9,72	82,58	-	10716	4,77	3,68	120,33	8,59	251,76	0,113	-	9,14	0,16
21503	1989-1985	7,67	1,99	16,41	7,79	0,029	500778	-	-	0,21	3,92	8,11	24,31	5,79	18,46	35,76	-	10707	5,50	7,70	88,16	8,21	203,28	0,071	0,458	6,34	0,09
	1994-1990	8,79	1,74	15,37	11,97	0,027	517057	-	-	0,19	2,83	6,17	22,58	5,81	10,81	206,16	-	10826	6,06	-	68,50	9,44	228,77	0,173	0,294	6,23	0,09
	1999-1995	7,99	1,54	15,27	10,50	0,026	522467	-	-	0,15	3,25	5,25	20,55	5,76	13,09	190,38	0,83	10882	5,44	5,70	81,96	8,38	228,44	0,157	0,334	6,02	-
	2002-2000	7,57	1,68	14,53	9,55	0,030	507966	-	-	-	3,25	5,39	19,79	5,81	11,91	149,75	-	10700	5,36	4,79	92,20	6,92	217,60	-	0,369	5,45	0,10
	2005-2003	7,61	2,69	14,03	9,94	0,028	516236	-	-	0,29	3,28	6,10	19,99	5,75	11,79	109,50	-	10710	5,90	1,02	91,06	9,66	227,74	0,071	0,351	5,40	-
	2007-2006	6,89	-	13,30	8,82	0,025	498228	-	-	-	3,78	5,36	21,07	5,96	10,23	73,96	-	10996	5,59	3,36	112,69	8,17	241,73	0,106	0,273	7,50	0,20
	2009-2008	7,09	-	12,96	9,82	0,030	506645	0,13	-	0,30	4,53	8,70	24,87	6,03	10,80	54,44	-	10802	4,87	1,26	136,33	9,44	264,67	0,046	0,257	7,52	0,11
21504	1989-1985	8,15	3,25	12,12	9,76	0,028	503324	-	-	0,21	3,85	7,65	25,97	5,86	12,13	103,28	-	10914	4,48	2,39	81,91	8,05	265,34	0,097	0,407	8,35	-
	1994-1990	7,00	1,98	11,26	10,02	0,026	525313	0,15	-	0,25	3,32	4,94	21,48	5,88	11,82	139,02	0,47	11022	4,70	4,30	67,28	8,23	262,62	0,141	-	6,39	0,14
	1999-1995	9,94	2,37	11,69	9,37	0,028	498906	-	-	0,71	3,31	8,58	21,21	5,97	9,91	146,37	-	10789	5,74	1,91	77,05	11,84	265,65	0,060	0,387	7,82	-
	2002-2000	8,85	-	10,55	8,23	0,028	509372	-	-	0,26	3,65	6,27	20,77	6,04	11,79	114,48	0,57	10839	5,33	3,83	93,99	9,19	251,95	0,071	0,316	6,14	0,16
	2005-2003	14,23	-	10,99	8,57	0,026	504914	-	-	0,92	3,39	14,05	23,40	5,98	10,71	95,39	0,53	10891	5,92	-	94,20	20,91	253,66	0,205	0,304	8,97	0,14
	2007-2006	12,35	1,55	11,09	7,31	0,028	517198	-	-	0,74	4,29	12,03	23,80	6,04	10,38	48,35	0,57	11086	5,28	3,71	110,12	18,74	247,87	0,153	0,361	8,34	0,11
	2009-2008	9,30	2,19	10,22	7,63	0,025	512619	-	-	0,61	4,78	9,23	22,91	5,71	9,83	32,31	-	10942	4,27	4,18	142,60	15,36	249,35	0,103	-	11,19	-

Bilaga 3

Metodbeskrivning

Preparationsteknik

Musslorna rensades i ultraljudbad med 95 % alkohol. Skalen etiketterades och mättes med hänsyn till deras längd, höjd och bredd (se tabell 1 i texten).

Ena skalhalvan sågades vinkelrätt mot vinterlinjerna från den äldsta, ventrala delen till den umbonala, yngsta delen med hjälp av en diamantklinga (figur 3 A).

Tunna slipsnitt tillverkades sedan enligt en speciell metod som utvecklades under 1990-talet och som idag används som standard metod vid Naturhistoriska riksmuseet i Stockholm (Dunca 1999; samt se figur 3). Skalsnittet polerades (figur 3 B) och klistrades fast på objektglas med hjälp av tvåkomponentsplasten Specifix-40, Struers (figur 3 C). När plasten hade hårdnat (4 timmar i vid 55°C) sågades skalen så att ett tunt skalsnitt (ca 0,5 mm) blev kvar på objektglaset (figur 3 D).

Alla tunnslip polerades med tennoxid på en roterande platta Struers DP-U3 och etsades med Mutvei's blandning (Schöne m.fl. 2005) under 25 min (figur 3 E och F). Mutvei's blandning består av lika delar vattenlöslig glutardialdehyd 25% och ättiksyra 1 % med tillsats av elsassblått (Alcian blue) pigment. Glutardialdehyden fixerar organiska komponenter i skalen, elsassblått 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 (figur 3 i texten), medan i SEM syns de som upphöjda ryggar.

Tillvästanalys och standardisering av mätningar

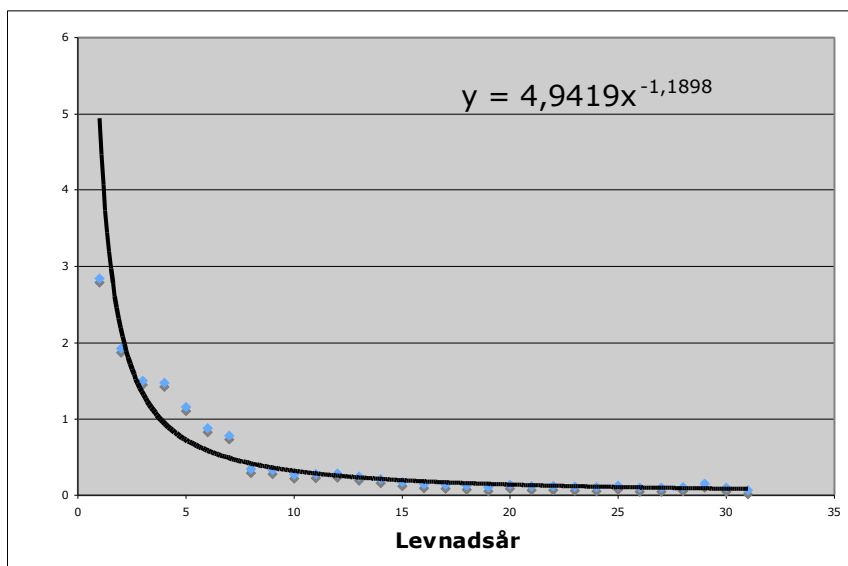
För att genomföra tillväxtanalysen har alla tunnslip fotograferats i ljusmikroskop med 30 till 100-gångers förstoring. Den årliga tillväxten mäts på dessa bilder med hjälp av programmet Panopea som har utvecklats speciellt för detta ändamål av Peinl & Schöne, vid Göthe Universitet, Frankfurt, Tyskland.

För att kunna jämföra tillväxten hos äldre musslor med tillväxten hos yngre musslor behövs en standardisering av mätningarna. Detta kan göras med samma matematiska redskap som dendrokronologerna, trädkännarna, använder för årsringarna på träd.

För varje mussla anpassar man en potens kurva (figur 1) med följande formel:

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

där a och b är konstanter som avgör kurvans utseende och t är tiden (levnadsåret).



Figur 1. 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 musslans mätvärden och representerar den teoretiska tillväxtkurvan.

Tillväxtindexet GI räknas fram genom att dela den mäta tillväxten med den teoretiska tillväxten för varje levnadsår. Detta uttrycks i följande formel:

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

där:

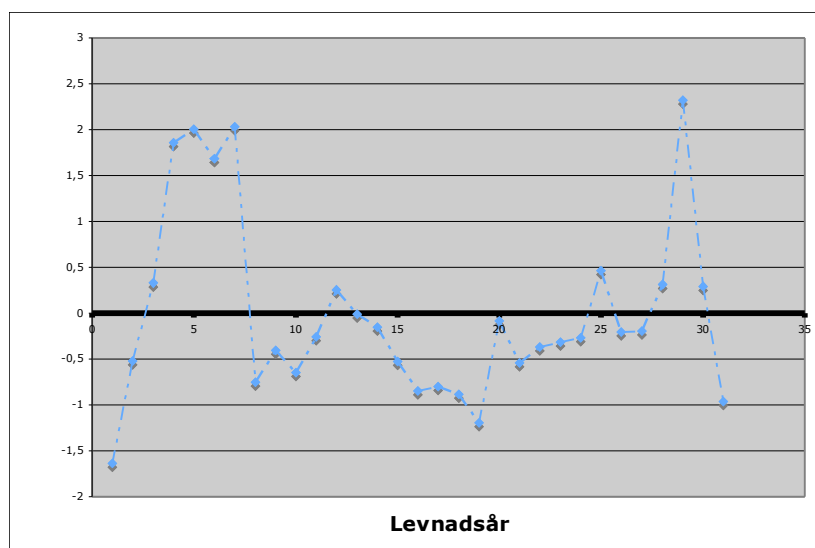
$F(t)$ = teoretiska tillväxten; $F(m)$ = tillväxtmätningar;

Standardiserat tillväxtindex SGI (figur 2) räknas fram med hjälp av följande formel:

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

där:

$M_{(GI)}$ = medelvärdet för tillväxtindexen och $\sigma_{(GI)}$ = standardavvikelsen för tillväxtindexen.



Figur 2. Diagram som representerar standardiserade tillväxtindex (SGI) för samma mussla som i figur 1. 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.



Figur 3. A- Musselskalen sågades vinkelrätt mot vinterlinjerna från den ventrala kanten till umbo med hjälp av en diamantklinga; B- Polering av skalsnittet; C- Skalbitarna klistrades fast på objektglas; D- Skalen sågades så att ett tunt skalsnitt (ca 0,5 mm) blev kvar på objektglaset; E- Etsning med Mutvei's blandning; F- Färdig slipsnitt.

Normal, hög och låg tillväxtkurvor

Relationen mellan skallängden och åldern på flodpärlmusslorna varierar starkt i tidigare undersökta flodpärlmusselpopulationer från Sverige och Kolahalvön (Dunca mfl. 2010 a, b). 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 (se figur 4). Kurvorna 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).

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

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

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

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 (figur 4 B). Den specifika tillväxthastigheten, λ variera så att man får den bästa anpassningen till de befintliga mätningarna.

Kurvorna har följande formler:

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

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

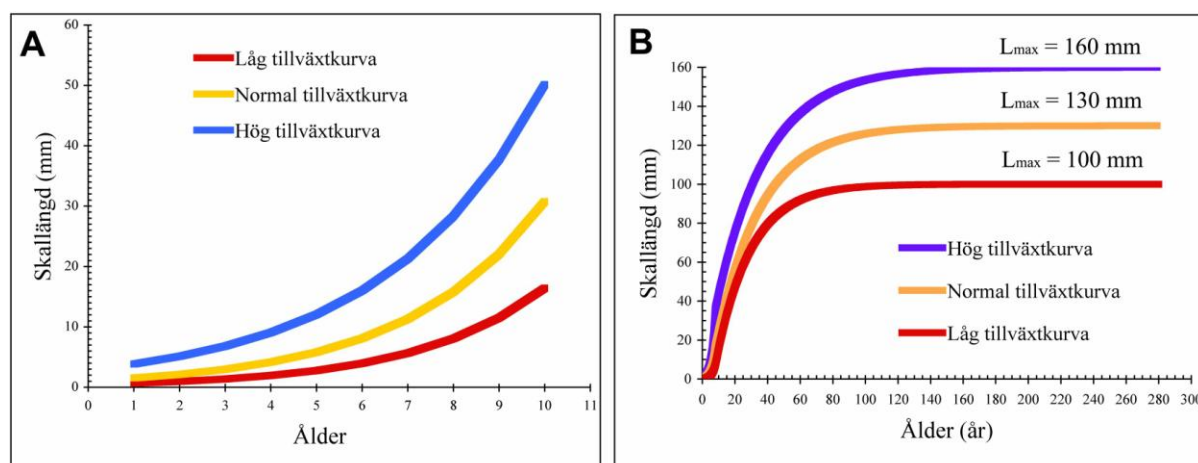
$$(8) H_{jl} = 0,2 \cdot e^{(0,449 \cdot t)}$$

$$(9) H_h = 160 \cdot (1 - e^{(0,05 - 0,034089 \cdot t)})$$

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

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

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_h = skallängd hos musslor med hög tillväxt, H_n = skallängd hos musslor med normal tillväxt, H_l = skallängd hos musslor med låg tillväxt.



Figur 4. A- Allmänna tillväxtkurvor för flodpärlmusslor yngre än 10 år; B- Allmänna tillväxtkurvor för flodpärlmusslor äldre än 10 år.

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.

Producerad den 29e juli 2010
elena.dunca@nrm.se



Krympvägen 8
75597 UPPSALA

Tel: 018-36 38 09
Mobil: 0709-423209

Orgnr: 6506292827

QuickTime™ and a
TIFF (okomprimerad) decompressor
are needed to see this picture.

Box 50007
10405 STOCKHOLM

Tel: 08-51954187
Fax: 08-51954184