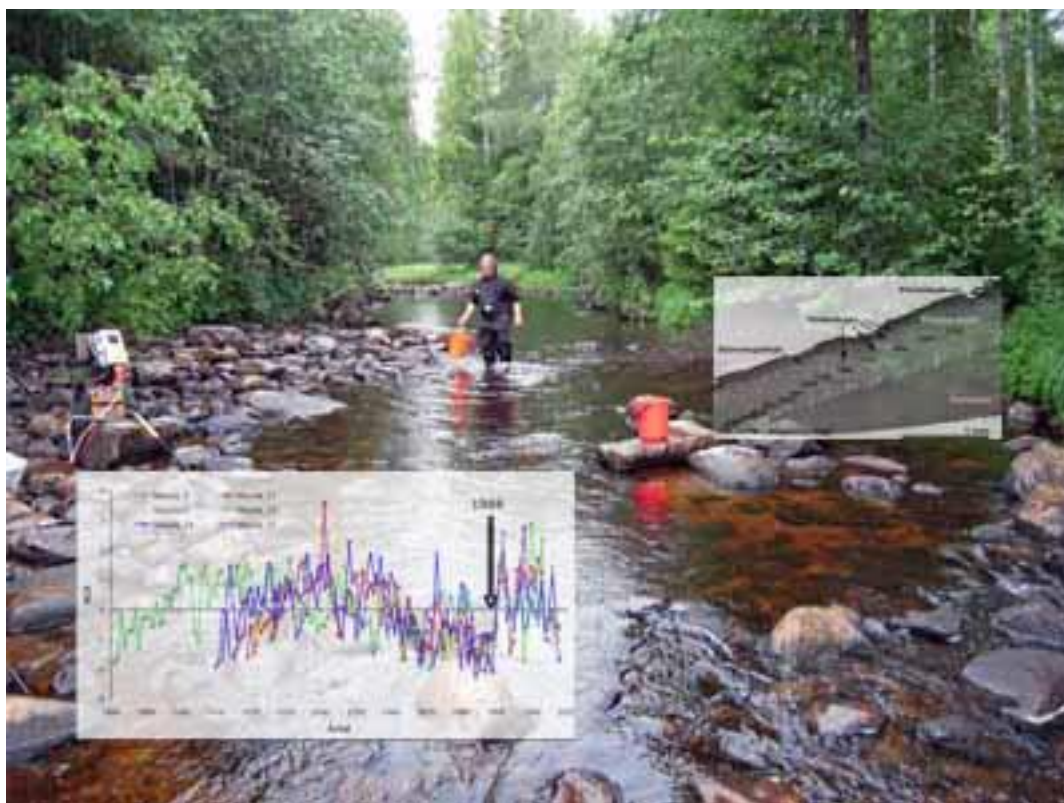




Skaltillväxt och kemisk undersökning av flodpärlmusslor från Kampåa, Norge



Producerad den 4 november 2009



Krympvägen 8
75597 UPPSALA

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

Orgnr: 6506292827
elena.dunca@nrm.se

QuickTime™ and a
TIFF (okomprimerat) 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 Kampåa, 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

Kjell Sandaas

Naturfaglige konsulenttenester, Norge

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	7
FÖRORD.....	7
INLEDNING	7
MATERIAL OCH METODER	8
RESULTAT	11
DISKUSSION.....	16
SAMMANSTÄLLNING.....	17
LITTERATURLISTA	18
BILAGA 1 METODBESKRIVNING	19
BILAGA 2 ÅLDERSBESTÄMNING, SKALMÅTT OCH ÅRLIG TILLVÄXT	22
BILAGA 3 RESULTAT FRÅN KEMISKA ANALYSER.....	24

Sammanfattning

Undersökningens målsättning är att utvärdera skaltillväxten hos nio flodpärlmusslor från Kampåa, Norge, och analysera den kemiska sammansättningen av ett skal för att utreda om det finns samband mellan skaltillväxten och vattenkvaliteten. Åldersbestämningen av de nio musslorna genomfördes enligt den metoden som utvecklades vid Naturhistoriska riksmuseet i Stockholm av Harry Mutvei och Elena Dunca och som innebär att man räknar musslornas årsrättillväxt i snittytor som behandlats med Mutvei-lösning. Skalens mått har uttryckts som en funktion av musslornas ålder i tillväxtdiagram och dessa diagram kan användas för att uppskatta musslornas ålder genom att mäta skallängden. Tillväxten har också jämförts med allmänna tillväxtkurvor för flodpärlmusslan.

Kemiska analyser har visat att det finns en förändring i skalets kemiska sammansättning från och med 1990-talet.

Förord

Undersökningen ”Skaltillväxt och kemiska analyser av flodpärlmusslor från Kampåa, 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 Kjell Sandaas och Jørn Enerud.

Inledning

Flodpärlmusslan, *Margaritifera margaritifera* (L), mest känd för sina värdefulla pärlor är idag klassat som utrotningshotad art och är rödlistad i alla europeiska länder. Pärlfisket har bidragit i hundratals år till att minska musselbeståndet men idag är det miljöförroreningar, försämrad vattenkvalité (t.ex. lågt pH värde), samt igenslamning av botten som är de främsta orsakerna till att musselbestånd minskar eller har försämrad fortplantning (Hastie et al., 2000, 2003; Geist, 1997; Wahlström, 2006).

Som exempel, har de senaste inventeringarna i Sverige 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 et al., 1998). Fynd av juvenila musslor (mindre än 20mm) har använts som ett mått på fungerande fortplantning (Eriksson et al., 1998).

Stora satsningar görs i alla de europeiska länder där flodpärlmusslan är rödlistad. I första hand satsar man på åtgärder för att bevara och föryngra de musselbestånd som finns.

Norge är ett av få europeiska länder som har mest livskraftiga flodpärlmusselbestånd (Larsen, 1998). Trots detta finns det tecken på att en försämrad vattenkvalité kan hota många musselpopulationer (Larsen, 2005).

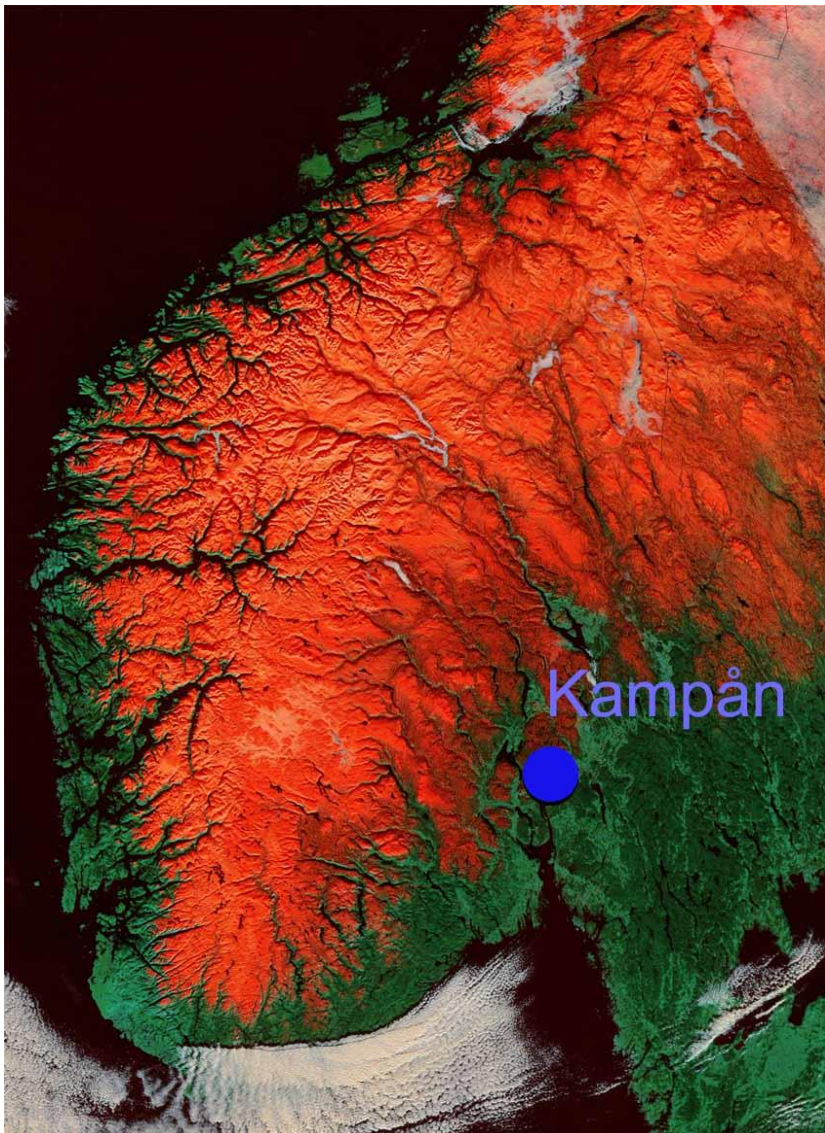
Kampåa är ett exempel på detta. Vattenkvaliteten i denna å har försämrats med åren eftersom berggrunden har en liten buffertkapacitet i detta område. För att motverka försurningen har Utsjøen som ligger uppströms Kampåa kalkats med olika mellanrum från 1970 fram till idag. I början har kalkningen varit sparsam och har inte haft större effekt. Från och med 1990 har Utsjøen kalkats i mera omfattande former och vattnets pH värdet har ändrats från 5 till ca 6,5 (Sandaas & Enerud, 2009). Hur har dessa förändringar i vattenkvaliteten har påverkat bottenfaunan är inte känd.

Syftet med denna undersökning är att undersöka musselskal av flodpärlmusslor och ta fram den information som finns lagrad i dem om miljöförändringarna som har skett i detta

vattendrag. Ett annat syfte är framställa ett tillväxtdiagram för musslorna i Kampåa där skallängden uttrycks som en funktion av musslornas ålder, samt att framställa ett diagram som visar den årliga tillväxten för de äldsta musslorna.

Material och metoder

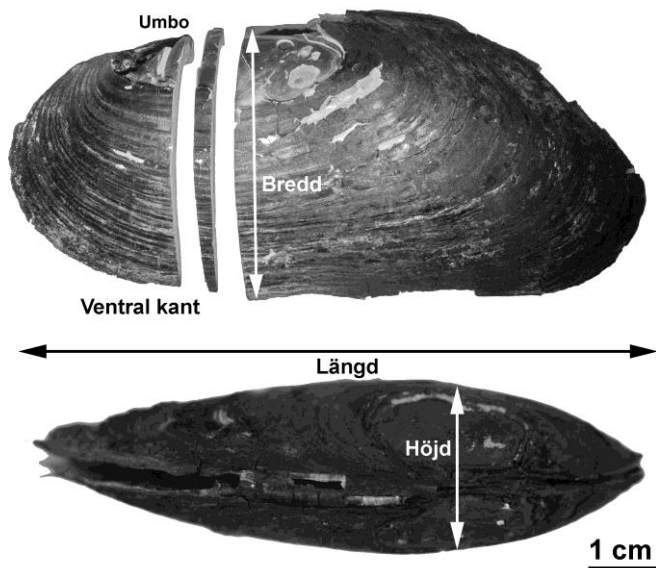
Totalt har nio musslor undersökts. Musslorna insamlades den 1a augusti 2008 i Kampåa (se figur 1).



Figur 1. Sattelitbild över området där musslorna samlades in.

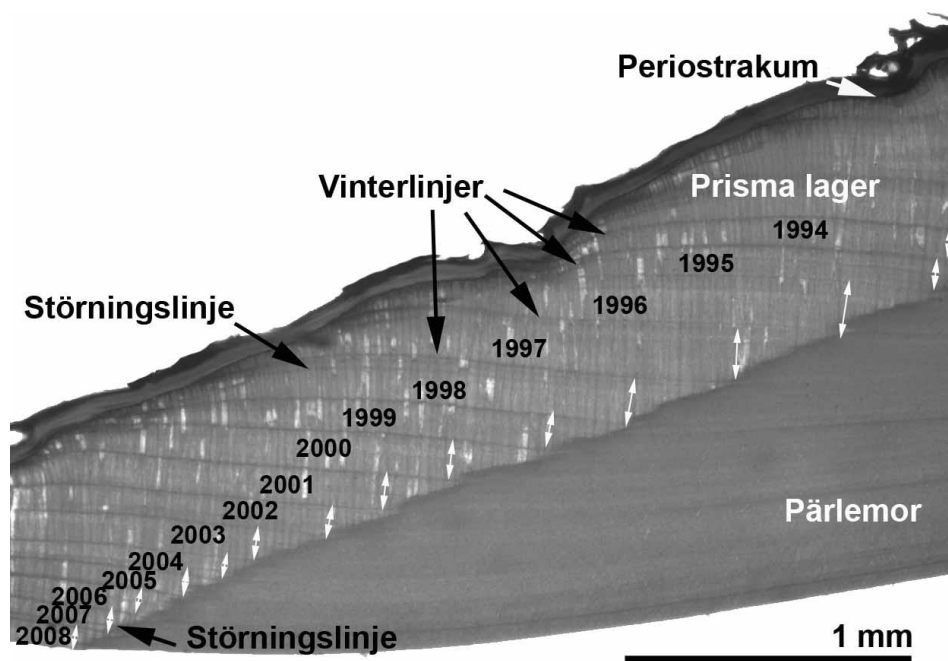
Preparationsteknik

Skalen rensades, etiketterades och mättes med hänsyn till deras längd, höjd och bredd (se figur 2 och tabell1 i bilaga 2).



Figur 2. Skalens olika mått.

En skalhalva har valts ut för var och en av de nio musslorna. Alla skalhalvor sågades från umbo till nedre skalkanten, vinkelrätt mot årsringarna (se figur 2). Snittytor genom skalet preparerades fram enligt en speciell metod som utvecklades under 90-talet vid Naturhistoriska riksmuseet i Stockholm (se bilaga 1 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. Denna lösning fixerar och färgar de organiska komponenter mellan kristallerna i skalen och samtidigt löser långsamt upp kristallerna på snittytan. Vinterlinjerna och tillväxtstörningslinjerna framträder i mörkblått och syns bäst i ljusmikroskop (figur 3).

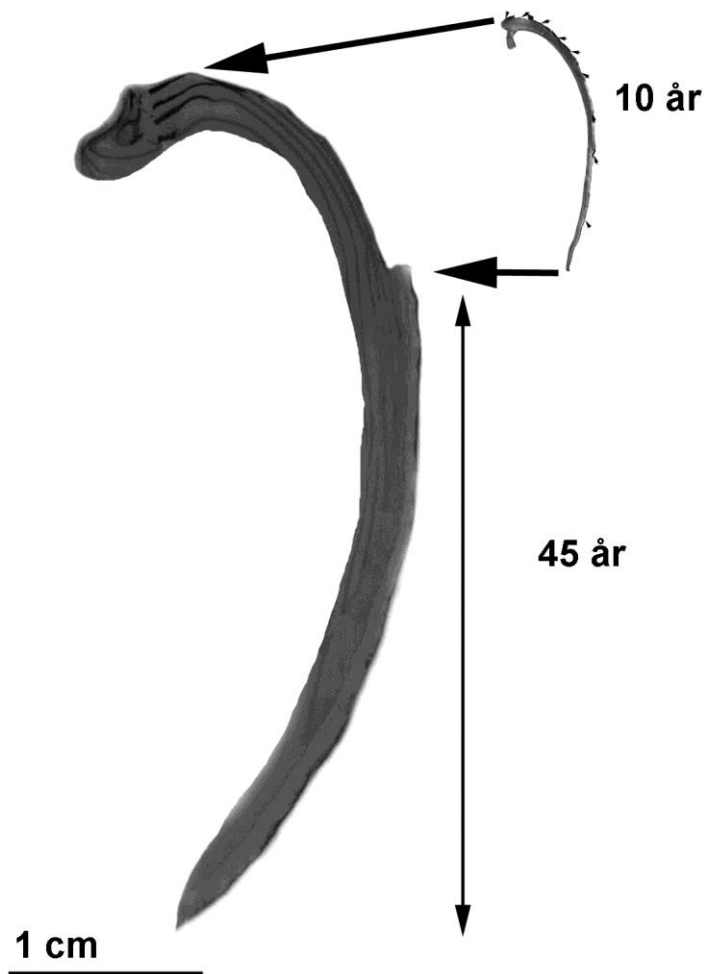


Figur 3. Tunnslip av musselskal nummer 5 som är etsat med Mutvei's blandning och fotograferad i ljusmikroskop. Vinterlinjer och tillväxtstörningslinjer är mörkare och är markerade med svarta pilar. De vita pilarna markerar avståndet mellan två vinterlinjer som ett mått på den årliga tillväxten.

Åldersbestämning

Den årliga tillväxten (årsringarna) hos en mussla är det skalmaterial som läggs till under tillväxtsäsongen (mellan april och oktober). I tvärsnitt är den årliga tillväxten representerad av det kortaste avståndet som finns mellan två vinterlinjer (markeras med vita pilar i figur 3).

Den årliga tillväxten räknades i tunnslip hos samtliga musslor. Den eroderade delen vid umbo uppskattades (se figur 4) enligt tidigare åldersbestämda yngre musslor från Numedalslågen (Dunca, 2008a) för musslor födda efter 1988 och den allmänna tillväxtkurvan för låg tillväxt Dunca et al., 2009) för musslor födda före 1988.



Figur 4. Uppskattning av den eroderade delen hos äldre musslor.

Årlig tillväxt

Det minsta avståndet mellan två vinterlinjer (figur 3) har använts som mått på den årliga tillväxten. Avståndet mättes vid gränsen mellan pärlemor och prisma (se figur 3).

I tvärsnitt sjunker den årliga tillväxten exponentiellt med åldern och för att kunna jämföra tillväxten hos musslor som är äldre med tillväxten hos musslor som är yngre behöver man standardisera mätningarna (figur 11 i bilaga 1). Standardiseringen görs med samma matematiska redskap som dendrokronologerna (trädkännarna) använder för årsringarna på ett träd (Dunca, 1999). En utförlig metodbeskrivning finns i bilaga 1.

Efter standardiseringen omvandlas mätningarnas värde till standardiserat tillväxtindex (SGI) som representerar förändringen i den årliga tillväxten och är jämförbar mellan alla musslor (se tabell 2 i bilaga 2).

Kemiska analyser

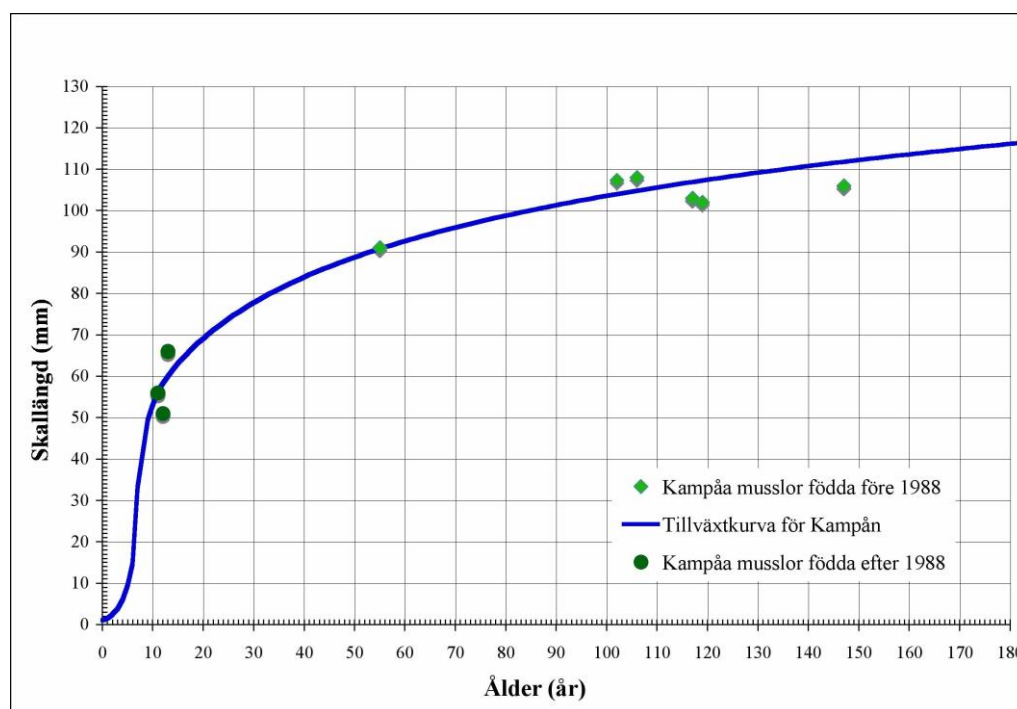
Mussla nummer 5 (55 år gammal och 91 mm lång) valdes ut för kemiska analyser. All organiskt material (periostrakum) och sekundär tillväxt har avlägsnats inför kemiska analyser. Från samma skalhalva som användes för tunnslipstillverkning har en 3mm tjock snitt sågats ut. Det har delats in i små bitar med bestämd årstillväxt. Skalbitarna vägdes och sedan löstes upp i kvävesyra. Kemiska analyser utfördes med hjälp av ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy) som kan mäta en bredd spektra av grundelement med väldigt låga koncentrationer (ppb nivå).

Resultat

De undersökta nio musslor med skallängd mellan 51 och 108 mm har en ålder som varierar mellan 11 och 147 år (tabell 1 i bilaga 2). Den minsta musslan är 12 år gammal och den största 106 år gammal.

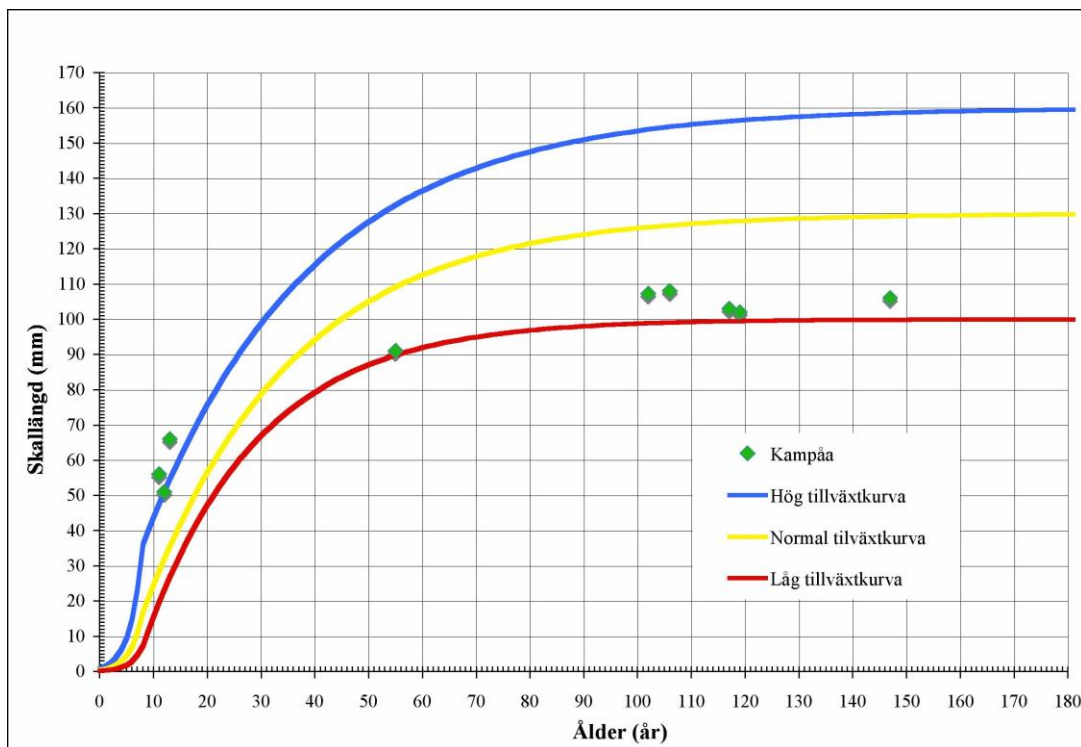
Åldersbestämning av musslor och relationen mellan skallängd och ålder

På de tre yngre musslor (mussla 3, 4 och 6) går det att se årstillväxten på utsidan av skalet. På äldre musslor däremot är det svårare att se och åldersbestämningen blir inte lika noggrann. Som hjälpmedel för åldersbestämning kan man då använda sig utav den allmänna tillväxtkurvan för Kampåa beräknad på förhållandet mellan musslornas ålder och skalens längd (figur 5). Dock musslor som är över 110 mm långa är svårt att åldersbestämma även med hjälp av tillväxtkurvan eftersom tillväxten avtar exponentiellt och en millimeter i längden kan motsvara allt från 10 till över 100 år. Den säkraste åldersbestämningsmetoden i detta fall är att räkna årstillväxten i tvärsnitt (bilaga 1).



Figur 5. Diagram som representerar tillväxtkurvan för musselpopulationen i Kampåa baserad på förhållandet mellan musslornas ålder och skalens längd.

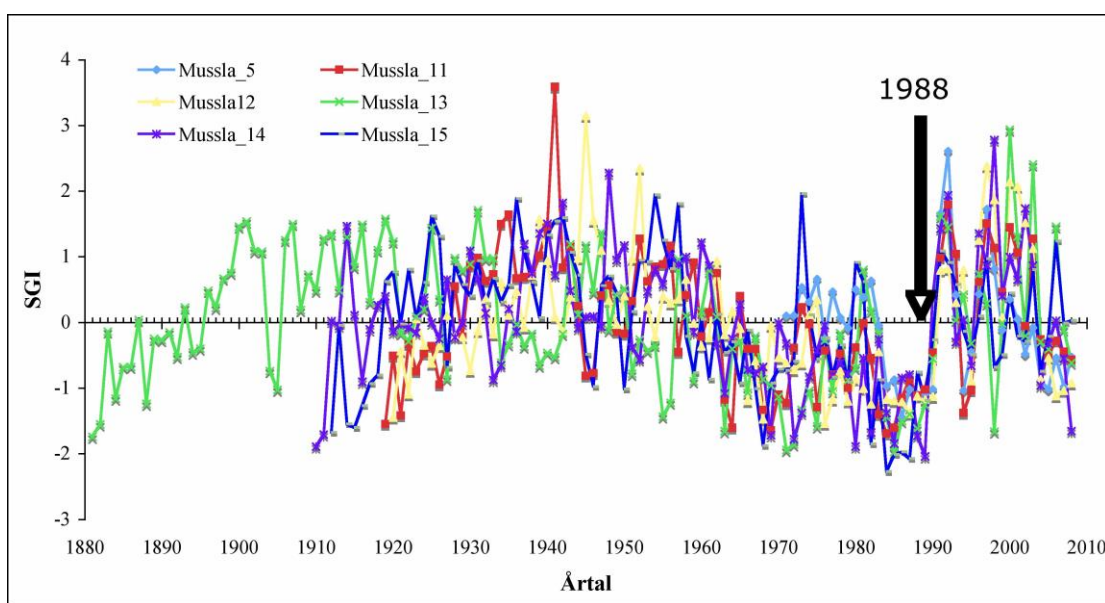
Musslorna i Kampå växer fort under de första 20 åren och om man jämför de med de allmänna tillväxtkurvorna framtagna för flodpärlmusslan (Dunca, 2008b) ligger de ovanför hög tillväxtkurvan. Musslor som är 50 år och äldre växer enligt låg tillväxtkurvan (figur 6).



Figur 6. Diagram som representerar förhållandet mellan musslornas ålder och skalens längd i bakgrunden av de tre allmänna tillväxtkurvorna framtagna för flodpärlmusslan.

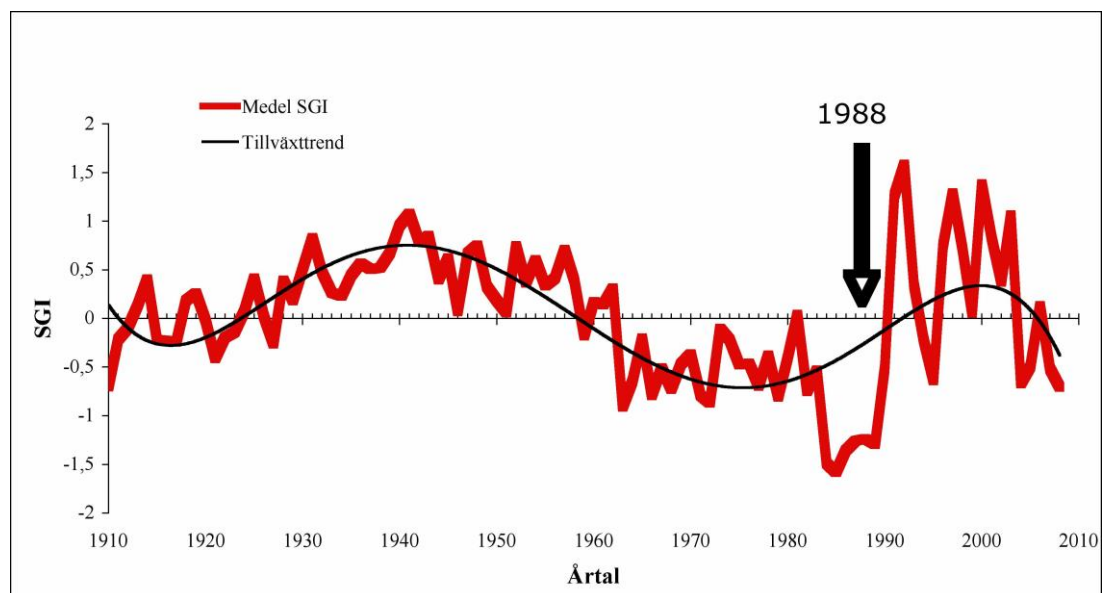
Årlig tillväxt

Musslornas årliga tillväxt är mycket varierande (se figur 7) men mellan 1960 och 1980-talet visar alla musslorna en kraftig nedgång i tillväxten.



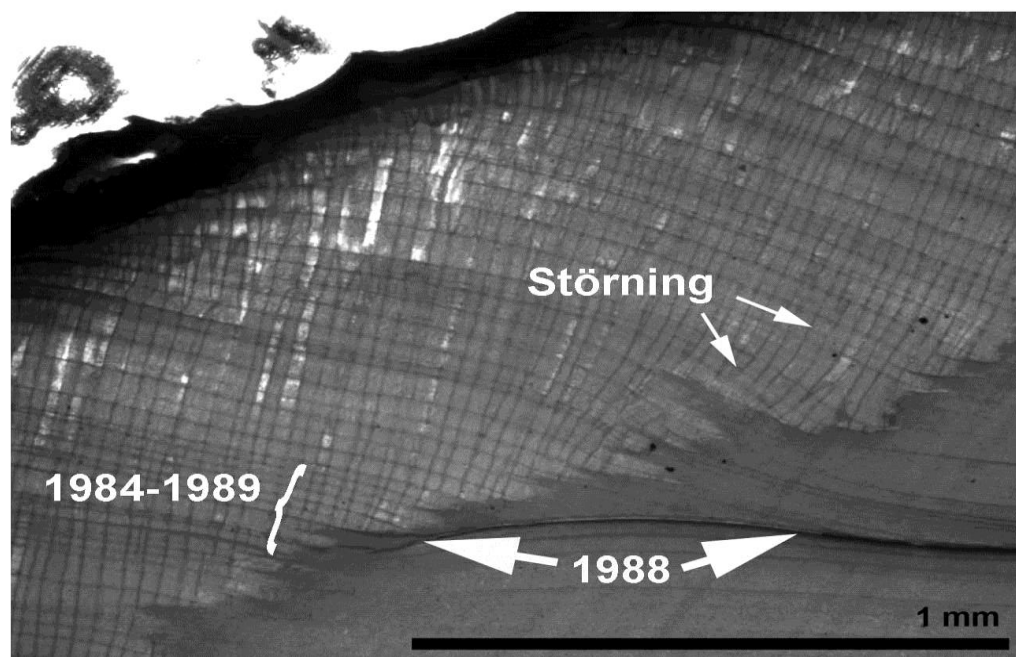
Figur 7. Diagram som representerar den årliga tillväxten för äldre musslor. Pilen visar då den kraftiga tillväxtstörningen har inträffat.

Medelvärdet av alla SGI ger en bättre bild av tillväxttrenden för musslorna i Kampåa (figur 8). Mellan 1930- och 1950- talet har tillväxten varit högre än förväntad (SGI =0). Under 1960, 1970 och 1980-talet har tillväxten varit lägre än förväntad med lägsta värdena mellan 1984 och 1989. Statistisk test (students t-test, $p < 0,05$) bekräftar att det finns en signifikant skillnad mellan den årliga tillväxten under dessa perioder samt att det finns en signifikant skillnad i tillväxten före och efter 1989. Sista årstillväxt har ett lägre SGI värde eftersom musslorna insamlades i juli vilket motsvarar ungefär mitten av tillväxtsåongen.



Figur 8. Medel SGI och tillväxttrenden för musslorna i Kampåa. Pilen visar då den kraftiga tillväxtstörningen har inträffat. Sista årstillväxt har ett lägre SGI värde eftersom musslorna insamlades ungefär i mitten av tillväxtsången.

Alla musslor uppvisar en kraftig tillväxtstörning vid 1988 årstillväxt ungefär mitt i tillväxtsången (figur 9). Även andra år (på ca 36% av alla undersökta år) förekommer tillväxtstörningar och de flesta förekommer mitt i sommaren (se tabell 2 i bilaga 2).

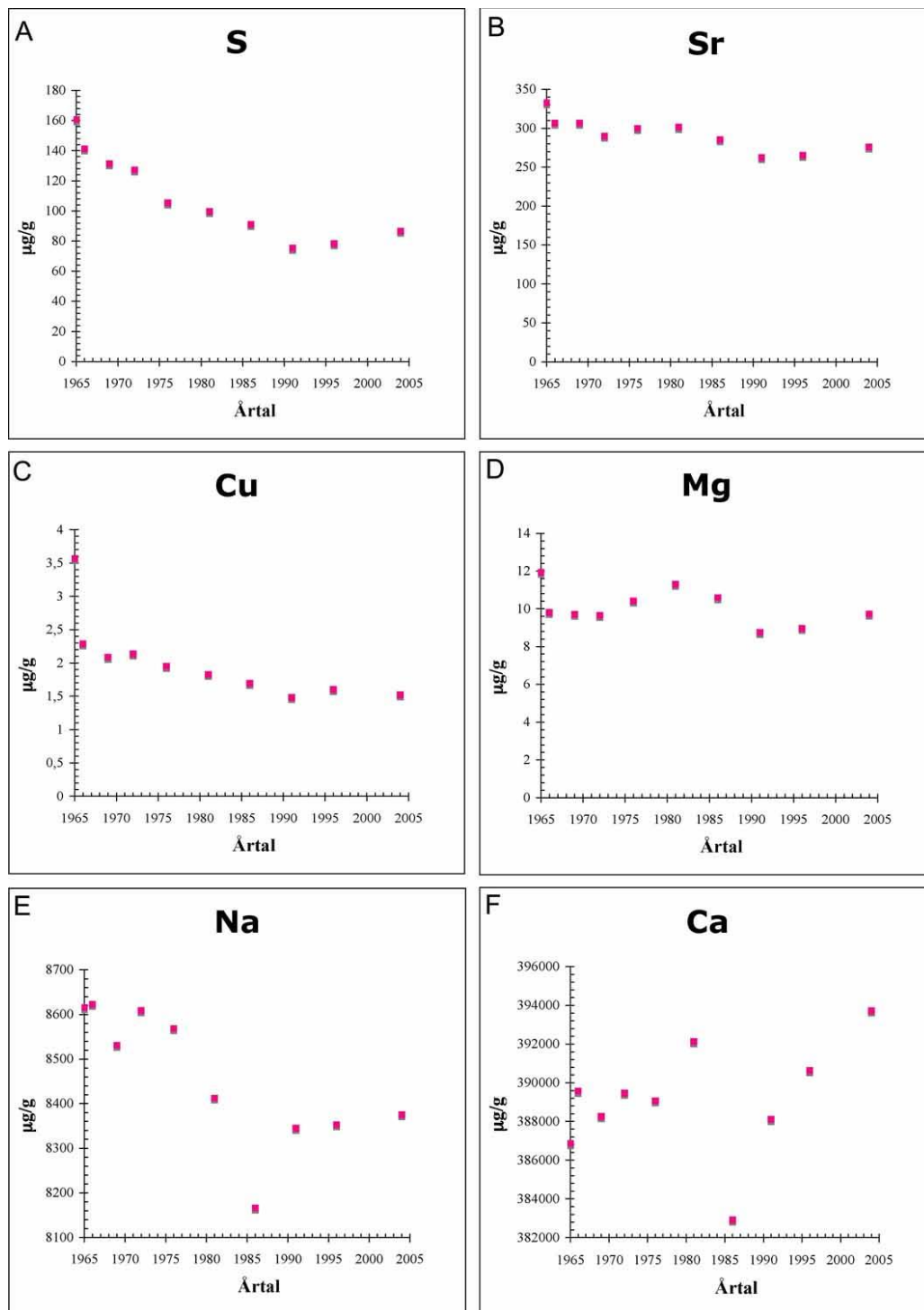


Figur 9. Ljusbild av mussla 5 som uppvisar exempel på tillväxtstörningar.

Kemiska analyser

Resultat från kemiska analyser är sammanställda i **bilaga 3**.

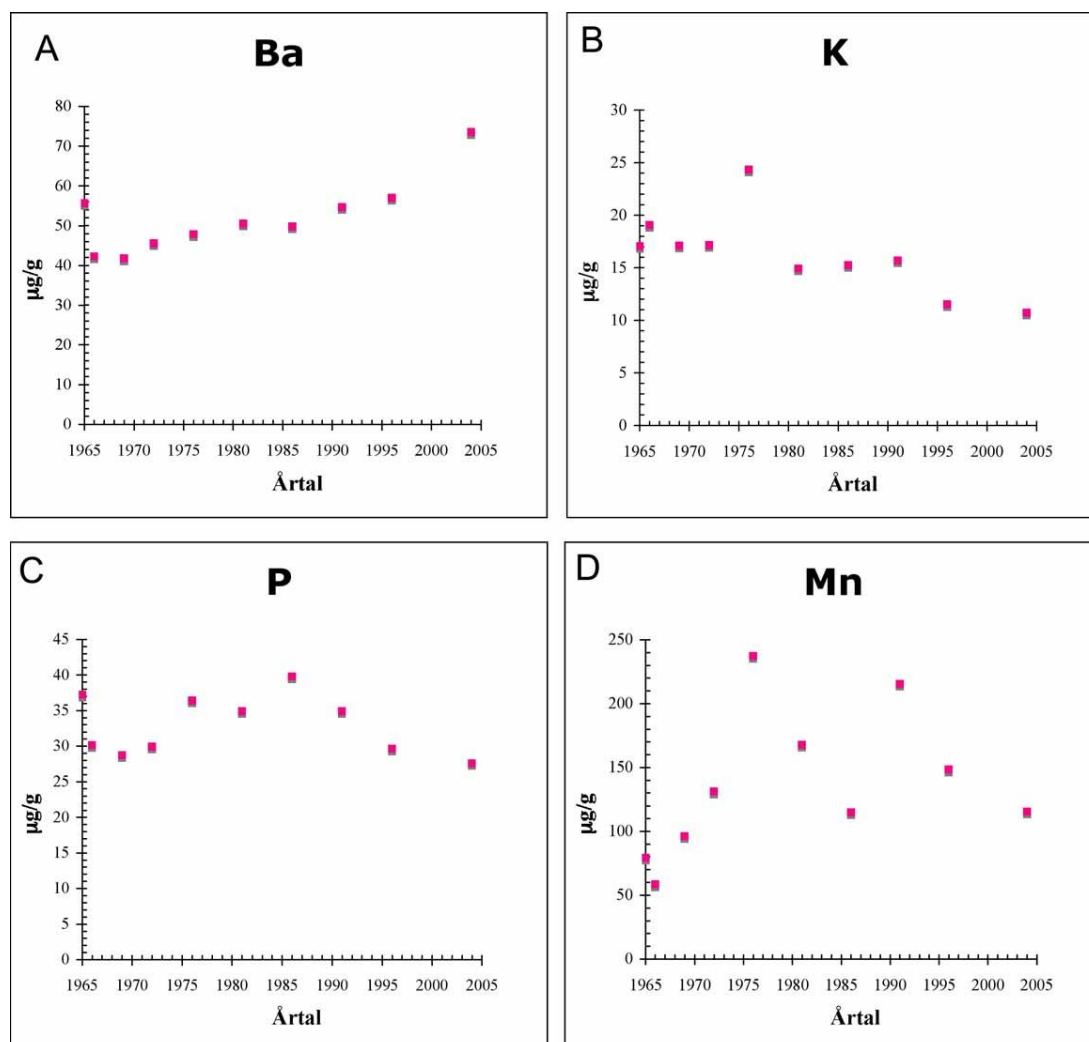
Skalets kemiska sammansättning skiljer sig om man jämför perioden före 1989 med perioden efter 1989. Ett exempel på detta är svavel (S), strontium (Sr), koppar (Cu), natrium (Na) och magnesium (Mg) vars halter sjunker fram till slutet av 1980 -talet för att sedan öka igen på 1990 -talet (figur 10). Ett annat exempel är kalcium (Ca) och natrium (Na) halterna som sjunker dramatiskt mellan 1984 och 1988 för att sedan öka på 1990 -talet (figur 10, tabell 1 i bilaga 3).



Figur 10. Diagram med resultat från kemiska analyser: A- svavel (S); B-strontium (Sr); C- koppar (Cu); D- magnesium (Mg); E- natrium (Na); F- kalcium (Ca).

Barium (Ba) halten visar en ökning från 1960 –talet med något kraftigare ökning på 1990 –talet och 2000 –talet (figur 11 A). Å andra sidan halten kalium (K) sjunker under samma tidsperioder (figur 11 B).

Högre halter av magnesium (Mg) och fosfor (P) registreras på 1970 och 1980 –talet (figur 10 D och 11 C).



Figur 11. Diagram med resultat från kemiska analyser: A- barium (Ba), B- kalium (K), C- magnesium (Mg) och D- fosfor (P).

Mangan halten har en stor variation (mellan 58 och 240 µm/g) men ligger på samma nivå som i flodpärlmusselskal från Hunnselva (Dunca et. al., 2009).

Halterna av arsenik (As), kadmium (Cd), kobolt (Co) och bly (Pb) är så små att de inte är mätbara (se tabell 1 i bilaga 3).

Ämnen som järn (Fe), nickel (Ni), sillika (Si), Zink (Zn) och titan (T) håller en konstant nivå genom åren (se tabell 1 i bilaga 3) och har liknande halter som i flodpärlmusselskal från Hunnselva, Norge (Dunca et. al., 2009).

Diskussion

Relationen mellan ålder och skaltillväxt hos musslor från Kampåa visar en stor variation beroende på om musslorna är födda före eller efter 1989. Unga musslor födda på 1990 –talet har en bättre tillväxt i jämförelse med äldre musslor. Detta kan innebära att livsvillkoren för musslorna har förändrats i slutet på 1980 –talet och början på 1990 –talet. Denna observation stöds av den årliga tillväxten som uppvisar dramatiska förändringar efter 1989. Anmärkbart är också att alla musslor har en kraftig tillväxtstörning år 1988, dock ingen sprickbildning. Den framställda tillväxtkurvan för flodpärlmusslor i Kampåa kan användas för att uppskatta musslornas ålder genom att mäta deras skallängd, men i framtiden då musslorna födda efter 1990 blir äldre behöver denna kurva justeras.

Den årliga tillväxten är bättre än förväntat ($SGI = 0$) fram till 1960-talet. På 1970 – och 1980 –talet sjunker den årliga tillväxten för att sedan öka igen efter 1989. En förklaring är att vattenkvalitén i ån har försämrats under 1970 – och 1980 –talet (Sandaas & Enerud, 2009). Tillväxtökningen på 1990 –talet i samtliga skal kan förklaras med att vattenkvalitén har förbättrats genom kalkningsåtgärder (Sandaas & Enerud, 2009).

Trender i den kemiska sammansättningen av musselskalen visar en förändring för S, Sr, Cu, Ca och Na halter från och med 1990 –talet. Halten av S och Sr kan ha en ontogenetisk variation och kan ha direkt koppling till tätheten av vinterlinjerna som påvisats i musselskal från Hunnselva (Dunca et al., 2009). Halterna av Cu, Ca och Na kan däremot ha en koppling till förändrad kemi i vattnet via kalkning.

Musselskalet från Kampåa visar lägre halter av P, Na, Co och As samt högre halt av Al än musslor från Hunnselva (Dunca et al., 2009). Detta kan bero på den kemiska sammansättningen som berggrunden/marken har och lokala kemiska förhållanden i vattnet. Fosfor kan också vara kopplad till ändringar i redox (tillgång på syre) och utsläpp från jordbruk. I och med att P halterna är lägre innebär att detta inte är fallet i Kampåa. Fe halten är 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 et al., 2009) 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 Kampåa har en konstant DOC. Mn har en liknande kemi som Fe men uppvisar ofta ett annat mönster, främst på grund av en annan retention (dvs bortförel från vattenfasen) där Mn uppvisar en större spridning än Fe på grund av att retentionen för Fe är högre än för Mn (Dunca et al., 2009).

Andra metaller som Ni, Zn och T har också konstanta halter genom åren och motsvarar de halter som finns i skal från Hunnselva.

Ba halten är beroende av varken pH eller DOC. Växande halter under de senaste åren kan orsakas av en ökad användning av Ba inom olika industrier som ger ett luftburet utsläpp i miljön (Davidson et al., 2005).

En ökad Ca och Mg halt kan betyda en ökad alkalinitet i vattnet som ett resultat av kalkningen.

Sammanställning

Skaltillväxten hos musslor från Kampåa visar en stor variation beroende på om musslorna är födda före eller efter 1989 vilket tyder på att livsvillkoren för musslorna har förändrats i slutet på 1980 –talet och början på 1990 –talet. Musslorna har en kraftig tillväxtstörning år 1988 och den årliga tillväxten uppvisar dramatiska förändringar efter 1989.

Den framställda tillväxtkurvan för flodpärlmusslor i Kampåa kan användas för att uppskatta musslornas ålder genom att mäta deras skallängd, men i framtiden då musslorna födda efter 1990 blir äldre behöver denna kurva justeras.

Trender i den kemiska sammansättningen av musselskalen visar en förändring i halten för vissa spårämnen från och med 1990–talet. Miljöpåverkan av jordbruk och industrier i trakterna nära vattendraget kan ha påverkat musslornas tillväxt och skalens kemiska sammansättning.

Litteraturlista

- Davidson C.M., Gibson M.D., Hamilton E., MacGillivray B.H., Reglinski J., Rezabal E. 2005. **The long-term environmental behaviour of strontium and barium released from former mine workings in the granites of the Sunart region of Scotland, UK.** Chemosphere, 58/6: 793-798.
- Dunca, E. 1999. **Bivalve shells as archives for changes in water environment.** Vatten no 55: 279-290.
- Dunca, E. 2008a. Rapport: Skaltillväxt och åldersbestämning av flodpärlmusslor från Numedalslågen, Norge.
- Dunca, E. 2008b. Rapport för WWF-projekt: **Åldersbestämning av unga flodpärlmusslor i Sverige.** I tryck.
- 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. 2009. 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
- Eriksson, M.O.G., Henrikson, L. & Söderberg, H. 1998. Flodpärlmusslan i Sverige. Rapport 4887 Naturvårdsverket.
- 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.
- 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. 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.
- Sandaas, K. & Enerud, J. 2009. Rapport: Elvemusling i Kampåa Nes kommune i Akershus 2008-2009. (Under tryck).
- Schöne, B.R., Dunca, E., Fiebig, J. & Pfeiffer, M. 2005. **Mutvei's solution: an ideal agent for resolving microgrowth structures of biogenic carbonates.** Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, BR Schöne & D Surge (eds) Special Issue: Looking back over Skeletal Diaries – High-resolution Environmental Reconstructions from Accretionary Hard Parts of Aquatic Organisms, (in print).
- Wahlström, K. 2006. **Sediment Requirements for Freshwater Pearl Mussel (*Margaritifera margaritifera*) Recruitment.** Degree Project, Biology, Karlstads universitet. Serial Number: 06:89.

Bilaga 1

Metodbeskrivning

Musslorna rensades i ultraljudbad med 95 % alkohol. Skalen etiketterades och mättes med hänsyn till deras längd, höjd och bredd (se tabell 1 i bilaga 2).

Sedan sågades musselskalen vinkelrätt mot vinterlinjerna från den yngsta, umbonala, delen till den äldsta, ventrala, delen med hjälp av en diamantklinga (figur 13 A).

Tunna slipsnitt tillverkades sedan enligt en speciell metod som utvecklades under 1990-talet och som används idag som standard metod vid Naturhistoriska riksmuseet (Dunca, 1999; samt se figur 13). Skalsnitten polerades (figur 13 B) och klistrades fast på objektglas med hjälp av tvåkomponentsplasten CaldoFix, Struers (figur 13 C). När plasten hade hårdnat sågades skalen så att ett tunt skalsnitt (ca 0,5 mm) blev kvar på objektglaset (figur 13 D).

Alla tunnslip polerades med tennoxid på en roterande platta Struers DP-U3 och etsades med Mutvei's blandning (Schöne et al, 2005) under 25 min (figur 13 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), medan i SEM syns de som upphöjda ryggar.

Tillväxtanalys

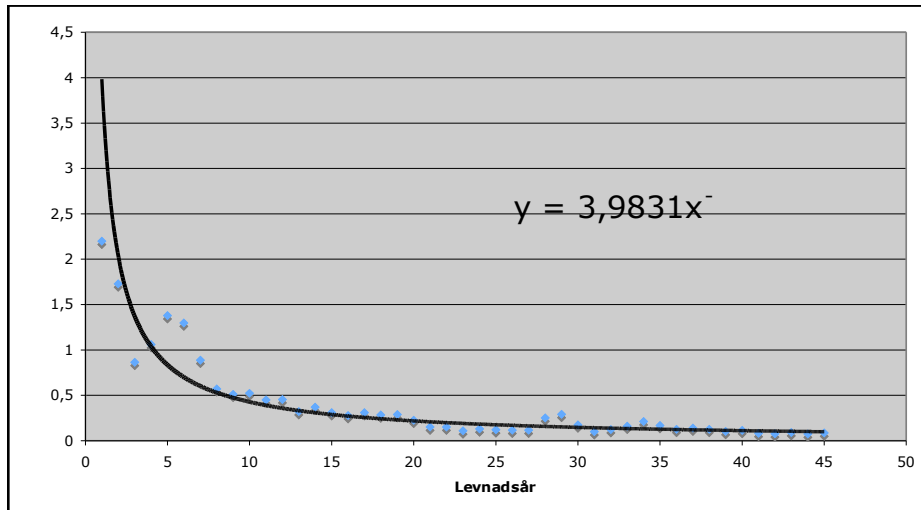
För att genomföra tillväxtanalysen har alla tunnslip fotograferats i ljusmikroskop med 100-gångers förstoring. Den årliga tillväxten mäts på dessa bilder med hjälp av programmet Panopea som har utvecklats speciellt för detta ändamål av Peinl & Schöne, vid Göthe Universitet, Frankfurt, Tyskland.

Mätningarna standardiserades för att kunna jämföra tillväxten hos äldre musslor med tillväxten hos yngre musslor. Standardiseringen kan göras med samma matematiska redskap som dendrokronologerna, trädkännarna, använder för årsringarna på ett träd.

För varje mussla anpassar man en potens kurva (figur 11) 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 11. Diagram som representerar årstillväxten (i mm) för de levnadsår som är synliga i tvärsnitt (för mussla 5). 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:

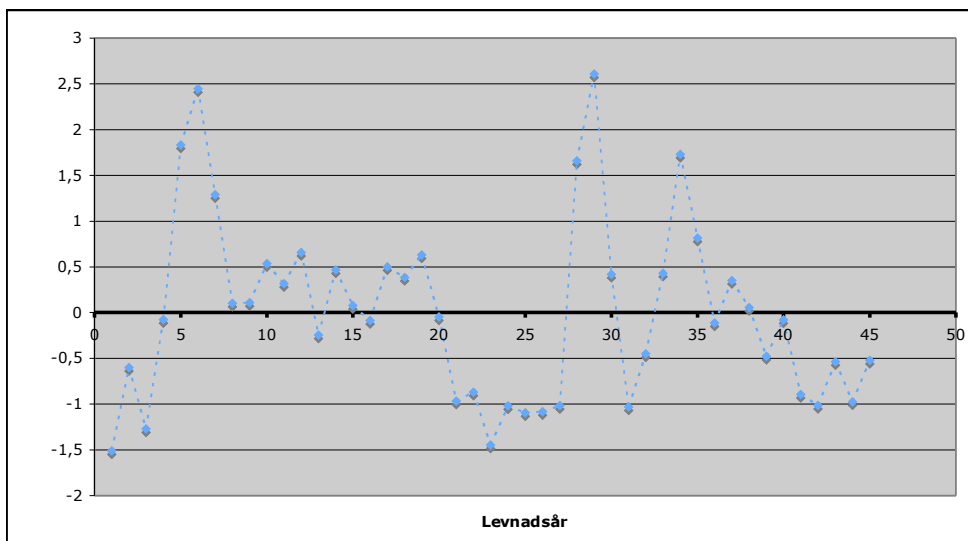
$F(t)$ = teoretiska tillväxten; $F(m)$ = tillväxtmätningar;

Standardiserat tillväxtindex SGI (figur 12) räknas fram med hjälp av följande formel:

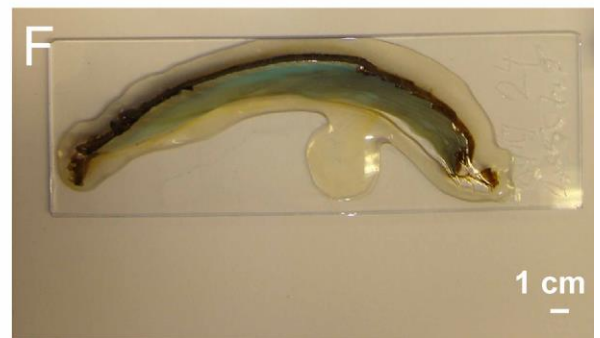
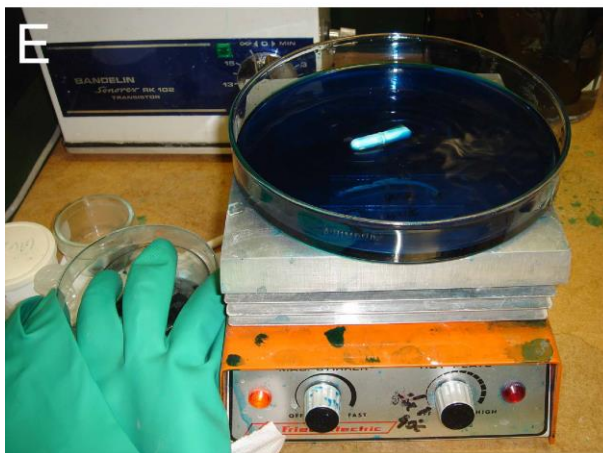
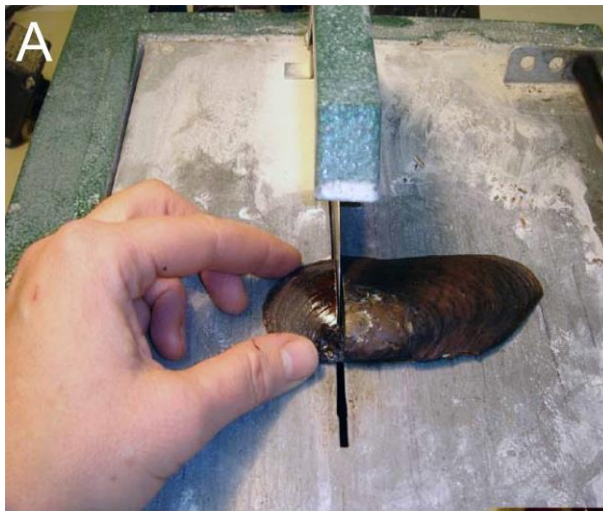
$$SGI = (GI - M_{(GI)}) / \sigma_{(GI)}$$

där:

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



Figur 12. Diagram som representerar standardiserade tillväxtindex (SGI) för samma mussla som i figur 11. SGI representerar förändringen i den årliga tillväxten och är jämförbar med SGI för andra musslor oberoende av deras ålder.



Figur 13. A- Musselskalen sågades vinkelrätt mot vinterlinjerna från den ventrala kanten till den yngsta, umbonala, delen med hjälp av en diamantklinga; B- Polering av skalsnitten; C- klistrades fast på objektglas; D- Skalen sågades så att ett tunt skalsnitt (ca 0,5 mm) är kvar på objektglaset; E- Etsning med Mutvei's blandning; F- Färdig slipsnitt.

Bilaga 2 Åldersbestämning, skalmått och årlig tillväxt

Tabell 1. Musslornas mått och ålder. I parantes är angivet antal år som är uppskattade i den borteroderade umbonala delen.

Ålder (år)	Längd (mm)	Bredd (mm)	Höjd (mm)	Mussla
11 (2)	56	28	14	3
12 (2)	51	26	13,5	6
13 (3)	66	31	15,8	4
55 (10)	91	42,5	27	5
102 (12)	107,3	45,5	30,6	11
106 (17)	108	45,3	28,2	12
117 (20)	103	46,5	26,5	15
119 (20)	102	47	28,8	14
147 (19)	106	48,8	33	13

Tabell 2. Mätningar av den årliga tillväxten (SGI-värden) och tillväxtstörningar som är markerade med ljusgrön färg och är betecknade med V om de inträffar på våren, S om de inträffar på sommaren, och med H om de inträffar på hösten. Kraftig tillväxtstörning är den markerad med mörkgrön färg. Ljusblå färg markerar estimerade mätningar i borteroderad skaldel.

Årtal	Mussla_5		Mussla_11		Mussla12		Mussla_13		Mussla_14		Mussla_15		Medel SGI
2008	-0,522		-0,566		-0,923		-0,612		-1,653		0,030		-0,708
2007	-0,974	SS	-0,443	S	-1,037	S	-0,107	S	-0,549	S	-0,008	S	-0,520
2006	-0,536		-0,277		-1,118		1,462		0,025	V	1,237	H	0,132
2005	-1,013		-0,494		-0,534	S	-0,408		-0,322		-0,209		-0,497
2004	-0,893	S	-0,254	S	-0,864	S	-0,298		-0,960		-0,743	S	-0,669
2003	-0,079		1,277		1,121		2,407		0,867		0,803	V	1,066
2002	-0,478	S	-0,051	V	1,519		-0,203	S	1,738	S	-0,285	S	0,373
2001	0,055	S	1,066		2,070		1,311		0,654		-0,204		0,825
2000	0,352	S	1,447		2,139		2,936		0,994	H	0,446		1,386
1999	-0,115	S	0,463	V	0,081		-0,011		0,399	S	-0,491	S	0,055
1998	0,816	V,S	1,134		1,867		-1,661		2,781		-0,682	V	0,709
1997	1,730	V	1,509		2,384	V,S	0,289		0,866	S	0,973	S	1,292
1996	0,431	V	0,618		1,251		0,739		1,355		0,101		0,749
1995	-0,451	S	-1,031		-0,892		-0,318		-0,656	S	-0,487	V	-0,639
1994	-1,032		-1,376		0,800		0,424		0,040	S	-0,133		-0,213
1993	0,419	V	1,041		0,300	S	0,040		-0,296	S	0,575	S	0,347
1992	2,609		1,798		0,814		1,449	S	1,937		0,913		1,587
1991	1,660	V	0,985		0,791		1,620		1,430		1,089		1,262
1990	-1,016		-0,458		-1,131		-0,548	S	0,374	S	-0,264	V,S	-0,507
1989	-1,083	V,SS	-1,021		-1,174		-1,256		-2,041		-1,188	S	-1,294
1988	-1,094	S	-1,111	S	-1,124	S	-1,615	S	-1,726	S	-0,756	S	-1,237
1987	-1,020		-0,876		-1,387		-1,396	V(S)	-0,794		-2,073		-1,258
1986	-1,448	SS	-1,151		-1,208		-1,502		-0,841	V	-1,971		-1,354
1985	-0,869		-1,600		-1,191	S	-1,971		-1,844		-2,012		-1,581
1984	-0,968		-1,690		-1,174		-1,437		-1,381	V	-2,274		-1,487
1983	-0,047		-1,397		-0,447	S	-0,172		-0,256	H	-0,871	S	-0,532
1982	0,633	V	-0,540	H	-1,243	S	0,176		-1,675		-1,850		-0,750
1981	0,384		-0,011	S	-1,006	S	0,799		-0,540	H	0,624	S	0,042
1980	0,503		-0,381	S	-0,861	S	-0,694		-1,887		0,914	S	-0,401
1979	-0,086	V	-0,994		-1,199	S	-0,879		-0,785	H	-0,909		-0,809
1978	0,076		-0,473		-0,738		-0,159		-0,613	S	-0,342	S	-0,375
1977	0,467	S	-0,794	V	-1,172	V,S	-1,048	S	-0,801		-0,832		-0,697
1976	-0,245	S	-0,425		-1,542		-0,273	S	-0,038	S	-0,237		-0,460
1975	0,660		-1,289		0,344		-1,584	S	-0,433	S	-0,557		-0,477
1974	0,316		-0,023	S	0,119	S	-1,040	S	-0,824	S	0,120	S	-0,222
1973	0,537	S	0,229	S	-0,620	S	-1,331		-1,378	S	1,961		-0,100
1972	0,109		-0,385	S	-0,722	H	-1,861		-1,776	S	-0,591	S	-0,871
1971	0,102	S	-1,228		-0,620	H	-1,942		-0,317	S	-0,729		-0,789
1970	1,290		-1,099	V,S	-0,538	V	-1,128	V(S)	-0,004	S	-0,711		-0,365
1969	2,447		-1,641	S	-0,046	S	-0,961		-1,717	S	-0,923	H	-0,473
1968	1,833		-1,329		-1,472		-0,863		-0,676		-1,876		-0,730
1967	-0,078		-0,400		-0,584	S	-0,210		-0,774	S	-1,006	S	-0,509
1966	-1,271		-0,398		-1,193		-1,071		-0,717		-0,114	S	-0,794
1965	-0,601		0,404	S	-0,092		-0,279		0,274		-0,922		-0,203
1964	-1,510		-1,601		0,171		-0,402	S	-0,250	S	-0,294	S	-0,648
1963			-1,175		-0,185		-1,655		-1,082		-0,456		-0,911
1962			0,750	S	0,941		0,085		-0,324		0,125	S	0,316
1961			0,152	S	-0,231	H	0,786		0,868		-0,865		0,142

1960			-0,212	S	-0,361		0,168		1,217	S	0,050		0,173
1959			0,913	S	-0,010		-0,896		-0,146	H	-0,764	H	-0,181
1958			0,417	S	0,653	H	0,103	S	0,995	S	-0,209	H	0,392
1957			-0,450		0,353	S	0,958	S	0,881	S	1,810		0,710
1956			1,165		0,291		-1,224	S	1,023	S	0,817		0,414
1955			0,886		0,396	H	-1,433		0,579	S	1,254		0,336
1954			0,847	S	-0,223	H	-0,346		0,803	S	1,945		0,605
1953			0,625	S	0,239	H	-0,434		0,474		0,924		0,366
1952			1,277	S	2,351	S	-0,263	S	-0,565		0,947		0,750
1951			0,325	S	0,969	S	-0,781		-0,380	S	0,165		0,060
1950			-0,171	H	0,402		0,516		1,172	S	-1,015	H	0,181
1949			-0,143	H	-0,031	H	0,414		0,952	S	0,444		0,327
1948			0,565	S	0,334	S,H	-0,117		2,278		0,709		0,754
1947			0,407	S	1,098	S	1,361	S	-0,063		0,560		0,673
1946			-0,772	S	1,551		0,458	S	0,094		-0,976	H	0,071
1945			-0,810	S	3,150		1,171	S	0,085	S	-0,483	S	0,622
1944			0,251	S	0,976		0,118	S	-0,082	S	0,721	H	0,397
1943			1,153	S	0,384		1,189	V	0,481	S	1,068		0,855
1942			0,836	S	-0,131	S	-0,174	V	1,821	S	1,596	S	0,790
1941			3,589		0,081	S	-0,529	V	0,717	H	1,545	S	1,081
1940			1,464		0,938	S	-0,462		1,505		1,332	S	0,955
1939			1,020	S	1,571		-0,658		1,354		0,076	S	0,673
1938			0,703	S	0,717		-0,172		0,745		0,613	S	0,521
1937			0,691	S	-0,076		-0,368		1,195		1,089		0,506
1936			0,671		0,466		-0,029	V	-0,138		1,888		0,572
1935			1,644		0,111		-0,330		0,210		0,567		0,440
1934			1,499	S	0,612		-0,609		-0,651	S	0,311		0,233
1933			0,735		-0,176		0,977		-0,875		0,672		0,267
1932			0,630		0,354		0,960	S	0,141		0,283		0,474
1931			0,983		-0,128		1,708		0,660		0,941		0,833
1930			0,866		-0,734		0,885		1,091		0,400		0,502
1929			-0,214		-0,222	S	0,787		-0,007		0,576		0,184
1928			0,550		-0,211	S	0,980		-0,224		0,880	S	0,395
1927			-0,517		0,108	S	-0,860		0,650		-0,684		-0,261
1926			-0,945		-0,354	S	0,351		-0,250		1,310	S	0,022
1925			-0,356		-0,624		1,439		-0,001		1,620		0,415
1924			-0,472		-0,349		0,199		0,373		0,607		0,072
1923			-0,742		0,055		0,091		-0,155		0,053		-0,140
1922			-0,331		-1,091		-0,285		-0,078	S	0,810		-0,195
1921			-1,414		-0,435		-0,164		-0,023		-0,024		-0,412
1920			-0,507		-1,447		1,231		-0,140		0,768		-0,019
1919			-1,545				1,576		0,399		0,621		0,263
1918							1,099		0,260		-0,803		0,185
1917							0,306		-0,103		-0,932		-0,243
1916							1,488		-0,904		-1,267		-0,227
1915							0,841		0,110		-1,600		-0,216
1914							1,298		1,469	H	-1,548		0,407
1913							0,489		-0,050		-0,042		0,132
1912							1,353		0,022		-1,674		-0,100
1911							1,274		-1,708				-0,217
1910							0,484		-1,889				-0,703
1909							0,730						
1908							0,190						
1907							1,499	H					
1906							1,254	V					
1905							-1,025						
1904							-0,737						
1903							1,078						
1902							1,086						
1901							1,539						
1900							1,460						
1899							0,756						
1898							0,667						
1897							0,223						
1896							0,483						
1895							-0,399						
1894							-0,458	V					
1893							0,228	S					
1892							-0,523						
1891							-0,147						
1890							-0,268						
1889							-0,249						
1888							-1,240						
1887							0,039						
1886							-0,676						
1885							-0,681						
1884							-1,158						
1883							-0,138						
1882							-1,553						
1881							-1,742						

Bilaga 3 Resultat från kemiska analyser

Tabell 1. Skalens kemiska sammansättningen (i µm/g) för mussla 5.

Prov/Element	2008-1999	1998-1994	1993-1989	1988-1984	1983-1979	1978-1974	1973-1971	1970-1968	1967-1966	1965-1964
Al	16,36	15,19	17,05	16,78	16,27	17,65	16,92	16,58	15,83	21,83
As	<1,3	<1,3	<1,3	<1,3	<1,3	<1,3	<1,3	<1,3	<1,3	<1,3
Ba	73,50	56,98	54,61	49,79	50,52	47,85	45,59	41,78	42,28	55,64
Be	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023
Ca	393712,55	390627,60	388111,90	382912,20	392132,95	389062,30	389464,90	388255,45	389569,40	386857,90
Cd	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022	<0,022
Co	0,24	0,25	<0,238	0,33	<0,238	0,39	<0,238	<0,238	<0,238	0,25
Cr	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	0,13	0,15	<0,12
Cu	1,52	1,60	1,48	1,69	1,83	1,95	2,14	2,09	2,29	3,57
Fe	18,91	17,69	18,19	18,44	18,70	19,01	18,83	18,82	20,01	31,77
K	10,71	11,52	15,69	15,25	14,93	24,34	17,16	17,10	19,07	17,06
Li	<0,444	<0,444	<0,444	<0,444	<0,444	<0,444	<0,444	<0,444	<0,444	<0,444
Mg	9,72	8,96	8,74	10,59	11,31	10,41	9,65	9,71	9,81	11,93
Mn	115,43	148,30	215,57	114,74	167,82	237,28	131,06	96,05	58,37	79,24
Na	8374,90	8352,78	8344,75	8165,98	8412,45	8568,30	8608,73	8530,95	8622,63	8615,23
Ni	0,96	1,16	1,11	1,14	0,91	1,09	1,11	1,46	1,03	1,09
P	27,59	29,65	34,90	39,80	34,90	36,40	29,92	28,74	30,15	37,23
Pb	<0,513	<0,513	<0,513	<0,513	<0,513	<0,513	<0,513	<0,513	<0,513	<0,513
S	86,47	78,19	75,24	91,09	99,75	105,38	127,21	131,39	141,15	160,55
Si	17,68	17,66	17,48	17,91	18,13	17,70	17,63	17,61	18,28	21,30
Sr	276,11	265,32	262,43	285,37	301,22	299,74	289,80	306,70	306,69	332,55
Ti	0,48	0,48	0,53	0,49	0,48	0,50	0,49	0,48	0,52	0,74
Zn	2,08	3,16	2,30	2,30	2,37	2,86	2,52	2,43	2,31	2,45

Producerad den 4 november 2009
elena.dunca@nrm.se



Krympvägen 8
75597 UPPSALA

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

Orgnr: 6506292827

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

Box 50007
10405 STOCKHOLM

Tel: 08-51954187
Fax: 08-51954184