

# 912 Skaltillväxt och kemiska analyser av flodpärlmusslor från Simoa, Norge

NINA Rapport

Elena Dunca  
Bjørn Mejdell Larsen



## **NINAs publikasjoner**

### **NINA Rapport**

Dette er en 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.

# Skaltillväxt och kemiska analyser av flodpärlmusslor från Simoa, Norge

Elena Dunca  
Bjørn Mejdell Larsen

Dunca, E. & Larsen, B. M. 2012. Skaltillvæxt och kemiska analyser av flodpärlmusslor från Simoa, Norge - NINA Rapport 912. 29 s.

Stockholm, december 2012

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-2516-8

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

REDAKSJON

Bjørn Mejdell Larsen

KVALITETSSIKRET AV

Elisabet Forsgren

ANSVARLIG SIGNATUR

Assisterende forskningssjef Elisabet Forsgren (sign.)

OPPDRAGSGIVER(E)

Fylkesmannen i Buskerud, Miljøvernavdelingen

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER

Åsmund Tysse

FORSIDEBILDE

Simoa ved Solemoa. Foto: Bjørn Mejdell Larsen

NØKKELORD

Buskerud fylke – Simoa - flodpärlmussla, *Margaritifera margaritifera*, Bivalvia - tillväxtanalys av skal - kemiska analyser av skal

KEY WORDS

Buskerud county - River Simoa - freshwater pearl mussel, *Margaritifera margaritifera*, Bivalvia - shell growth analysis - chemical analyses on shells

KONTAKTOPPLYSNINGER

**NINA hovedkontor**

Postboks 5685 Sluppen  
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**

Framsenteret  
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

## Sammanfatning

Dunca, E. & Larsen, B. M. 2012. Skaltillväxt och kemiska analyser av flodpärlmusslor från Simoa, Norge – NINA Rapport 912. 29 s.

Målet med denna studie var att undersöka om ändringar i vattenmiljön påverkar flodpärlmusslan i en älv i södra Norge. Undersökningen baseras på tillväxt och kemiska analyser på skal från tio musslor insamlade under 2010 vid stationerna Kolsrud och Solemoa i Simoa.

Musslorna åldersbestämdes genom att räkna årsvarv i tunnslip av skalens tvärsnitt, en metod utvecklad vid Naturhistoriska riksmuseet (NRM) i Stockholm. Skalens längd uttrycktes som en funktion av musslornas ålder i tillväxtdiagram och jämfördes med allmänna tillväxtkurvor för flodpärlmusslan.

Simoa-musslorna visade sig vara stora i relation till deras ålder och ligger därför väldigt nära en hög tillväxtkurva för arten. Detta innebär att den bästa uppskattningen av musslornas ålder utifrån deras skallängd fås genom att följa denna höga tillväxtkurva.

Den årliga tillväxten hos de undersökta musslorna visade en nedåtgående trend under 1970- och 1980- talet samt på senare år, efter 2007, som tillsammans med hög frekvens av tillväxtstörningar pekar på att musslorna i Simoa är påverkade av försurning och kalkning

Ett brett spektrum av ämnen analyserades i musselskalen med hjälp av en högupplösningspektrometer (HR-ICP-MS). Trender i den kemiska sammansättningen visade förändringar till exempel under 1970- och 1980-talet med högre halter av metaller som Cd, Cr, Fe, Al, Ni och Zn. Dessa förändringar kan troligen förklaras med att vattnets pH har varit låg. Vissa ämnen som Ba, Mn, Ca, P och Sr har ökat från 1945 och framåt i nästan alla analyserade musslor, speciellt vid Kolsrud. Andra ämnen som S, Cu och Pb har sjunkit under samma tidsperiod, speciellt vid Solemoa. Flera olika faktorer och människans påverkan på miljön kan troligen förklara dessa ändringar i musslornas skal, t.ex. vattnets pH-värde, sediment, bergart och vegetationen längs vattendraget, jordbruk, utsläpp från industrier och även kalkningsåtgärder.

Som slutsats kan man säga att musslorna från båda lokalerna i Simoa visade en bra tillväxt och svarade bra på kalkningsåtgärderna. Kemiska analyserna pekade på att det förekommer ett visst läckage av näringsämnen från landbruk och skogsdrift samt att vattnets pH-värde var låg på 70- och 80-talet. En tydlig ökning av Ba- och Mn-halter från 1945 till idag stämmer överens med ökningen av världsproduktionen av Ba och Mn men hur dessa ämnen hamnar i vattendrag är oklart.

Elena Dunca, NRM, Box 50007, 10405 Stockholm, Sverige; [elena.dunca@nrm.se](mailto:elena.dunca@nrm.se);  
Bjørn Mejdell Larsen, NINA, Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim; [bjorn.larsen@nina.no](mailto:bjorn.larsen@nina.no)

## Abstract

Dunca, E. & Larsen, B.M. 2012. Shell growth and chemical analyses of freshwater pearl mussels from Simoa, Norway – NINA Report 912. 29 pp.

The aim of this study was to investigate how changes in the water may affect fresh water pearl mussels in a river in Southern Norway. The study is based on analyses of growth and chemical composition of shells from ten freshwater pearl mussels collected in 2010 from Simoa at two stations: Kolsrud and Solemoa.

The age determination of the bivalves was done by counting the annual growth increments in transversal thin sections prepared from shells using the method developed Swedish Museum of Natural History (NRM), Stockholm, Sweden. The shell length of the bivalves was expressed as a function of their age in growth diagrams and then compared with general growth curves for the species.

Simoa mussels followed a high growth rate curve. In order to estimate the age of the mussels in Simoa by the length of their shells the values along the high growth curve would therefore give the best fit.

The annual growth rate of the mussels in this study decreased during the 70s and the 80s as well as after 2007. This together with a high rate of growth disturbances indicates that Simoa bivalves are affected by acidification.

A broad spectrum of trace elements were analyzed in mussel shells using a high resolution spectrometer (HR-ICP-MS). The chemical composition of the shells showed some changes for instance during the 1970s and the 1980s with higher levels of metals such as Cd, Cr, Fe, Al, Ni, and Zn. These changes in chemical composition can be explained by changes in the pH of the water system due to acidification. Some elements, such as Ba, Mn, Ca, P and Sr, increased from 1945 until present in almost all analyzed shells and this was most evident at Kolsrud. Some other elements, such as S, Cu, and Pb, decreased during the same period of time but this was most evident at Solemoa. Multiple factors including different human activities influence the environment around the bivalves and can probably explain these changes in the shells of the mussels.

In conclusion the freshwater pearl mussel in both localities in Simoa River showed a high growth rate and responded well for liming of the water system. The chemical analyses indicated some leakage of nutrients from agriculture and forest areas as well as pH changes of the water due to acidification during 70-s and 80-s and liming. An increase in Ba and Mn levels between 1945 and present is congruent with the increase of world production of these elements, but it is unclear how they get into the water system.

Elena Dunca, NRM, Box 50007, S-10405 Stockholm, Sweden; [elena.dunca@nrm.se](mailto:elena.dunca@nrm.se);  
Bjørn Mejdell Larsen, NINA, P.O.Box 5685 Sluppen, N-7485 Trondheim, Norway;  
[bjorn.larsen@nina.no](mailto:bjorn.larsen@nina.no)

# Innehåll

<b>Sammanfatning</b> .....	<b>3</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>4</b>
<b>Innehåll</b> .....	<b>5</b>
<b>Förord</b> .....	<b>6</b>
<b>1 Inledning</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Område</b> .....	<b>7</b>
<b>3 Material och metoder</b> .....	<b>12</b>
3.1 Preparationssteknik .....	12
3.2 Åldersbestämning .....	12
3.3 Årlig tillväxt.....	13
3.4 Kemiska analyser .....	13
<b>4 Resultat</b> .....	<b>13</b>
4.1 Ålder.....	13
4.2 Skaltillväxt.....	14
4.3 Kemiska analyser .....	15
<b>5 Diskussion</b> .....	<b>19</b>
<b>6 Referenser</b> .....	<b>22</b>
<b>7 Bilaga</b> .....	<b>24</b>
7.1 Vattenkvalitet i Simoa .....	24
7.2 Metodbeskrivning.....	25
7.2.1 Preparationssteknik .....	25
7.2.2 Tillväxtanalys och standardisering av mätningar .....	26
7.2.3 Normal, hög och låg tillväxtkurva.....	27
7.3 Resultat från kemiska analyser .....	29

## Förord

Undersökningen "Skaltillväxt och kemiska analyser av flodpärlmusslor från Simoa, Norge" har som mål att ta reda på om förändringar i miljön påverkar musslornas status och genomfördes av Elena Dunca, i regi av Bivalvia konsultföretag i samarbete med Naturhistoriska riksmuseet i Stockholm, enheten för paleozoologi, och av Bjørn Mejdell Larsen, Norsk institutt for naturforskning (NINA) i Trondheim, som också har samlat in allt musselmateriale. Kemiska analyser genomfördes av Syverin Lierhagen, Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet i Trondheim på Fakultet for naturvitenskap og teknologi, Institutt for kjemi.

Undersökningen är finansierad av Fylkesmannen i Buskerud, Miljøvernavdelingen, och vi passer på att tacka Åsmund Tysse för det fina samarbetet och för tålmodet i samband med rapporteringen.

Trondheim, december 2012

Bjørn Mejdell Larsen  
Prosjektledare



# 1 Inledning

Sötvattenmusslor bygger upp sina skal av kalk under den varmaste perioden av året (maj till och med oktober i nordiska länder). Under den kallare delen av året växer inte musslorna och en linje bildas som avgränsar tillväxten mellan två olika år. Man kan säga att musslorna växer i "årsringar" på ett liknande sätt som träd. Årstillväxten är olika från år till år beroende på klimatförhållandena och vattenkvaliteten under respektive år. Detta betyder även att de flesta musslorna i en och samma population växer lika mycket under samma år eftersom skaltillväxten påverkas av vattnets temperatur, pH-värde, tillgång på näring mm. Att skalarna har en kompakt struktur av kalk medför att de anrikade grundämnena från vattnet stannar kvar i skalarna 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, framställning av metall, gruvhantering m.m. (bl.a. Carell m.fl. 1987; Mutvei m.fl. 1994; 1996, Dunca 1999, Dunca m.fl. 2005).

## 2 Område

Simoa ligger i Sigdal och Modum kommuner, Buskerud fylke. Det är berggrunden, jordmånen, vegetationen och aktivitet i avrinningsområdet som tillsammans med nederbörd påverkar vattenkvaliteten i Simoa. Ovanför utloppet av Soneren dominerar avrinningsområdet av kalkfattiga bergarter som i kombination med sur nederbörd har påverkat vattenkvaliteten och fiskbestånden (stark reduktion eller försvunna fiskbestånd har förekommit). Under 1988 inhämtades information om fiskbestånden från 57 insjöar i Sigdal (SFT 1989, Tysse 1989). Omkring halva antalet insjöar hade förlorat eller fått ett reducerat bestånd av öring (vid pH <5,5). Man kunde påvisa ett klart samband mellan fiskestatus och vattenkvaliteten.

På kort sikt var kalkning den enda åtgärden som kunde återställa försurningsskadorna. Kalkningsarbetet i Sigdal kom i gång på mitten av 1980-talet. Under åren 1988-1993 blev det kalkat med ca 50 ton kalkstensmjöl per år (4-6 insjöar). Detta ökade under 1994 då kalkningen blev utvidgad till 17 insjöar och det blev ett ytterligare uppsving under 1995 då 57 små och stora insjöar blev kalkade med 321 ton kalkstensmjöl (**tabell 1**). Fem år senare, under 2000, blev det kalkat i 71 insjöar med 301 ton, och under 2006 blev det utspritt 202 ton kalk i 70 insjöar. Senare har kalkningen trappats ner ytterligare, och i 2011 spreds 141 ton kalk i 67 insjöar (**tabell 1**).

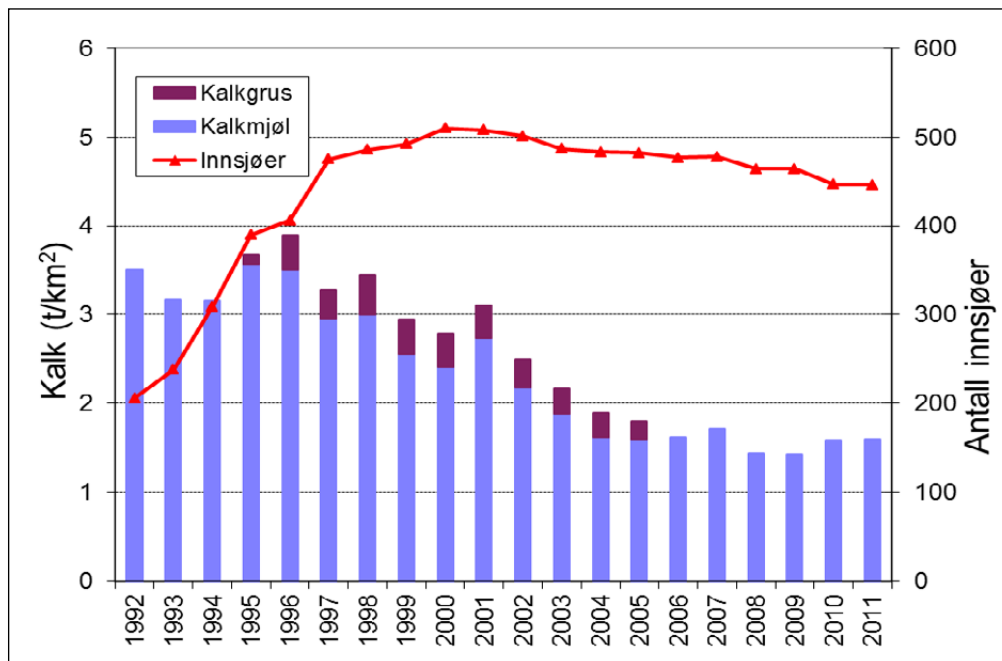
**Tabell 1.** Utvecklingen i kalkningsarbetet i Simoas avrinningsområde från 1995 till 2011. Uppdaterat från Larsen m.fl. (2007). Nye data från Åsmund Tysse, Fylkesmannen i Buskerud.

År	Antal insjöar	Kalk (t)	Areal (km <sup>2</sup> )	t/km <sup>2</sup>
1995	57	321	84	3,8
2000	71	301	101	2,9
2006	70	202	105	1,9
2011	67	141	95	1,5

De allra flesta lokaliteterna som kalkades i Simoas avrinningsområde är högre liggande insjöar. Söder om Prestfoss och ner mot Simostranda påverkas vattenkvaliteten av tjock jordmån under marina gränsen, som i Sigdal går vid inloppet till Solevatn ca 170 m ö.h. De marina avsättningarna påverkar både pH, kalciuminnehåll, fosfornivå, konduktivitet och turbiditet (grumlighet), och skapar på många sätt en helt annan vattenkvalité än norr om Solevatn.

Under 1995 har 3,8 t kalk per km<sup>2</sup> lagts ut i Simoas avrinningsområde. Under 2000 har kalkbehovet reducerats till 2,9 t/km<sup>2</sup> och 2006 till 1,9 t/km<sup>2</sup> (**tabell 1**). Reducerad kalkning avspeglar

mindre sur nederbörd, och att insjöarna som kalkades senare har kommit till ett «bra tillstånd». **Figur 1** visar kalkförbruket över tid för hela Buskerud där kalkdosen var på topp under 1995-1996, för att därefter bli halverad fram till 2006/2007. Det är ett samband mellan försurningssituationen i Simoa och resten av Buskerud. Efter 2006 har kalkförbruket stabiliserat sig.



**Figur 1.** Utvecklingen i kalkförbruk och antal insjøer som är kalkade i Buskerud under perioden 1992-2011. Data från Åsmund Tysse, Fylkesmannen i Buskerud.

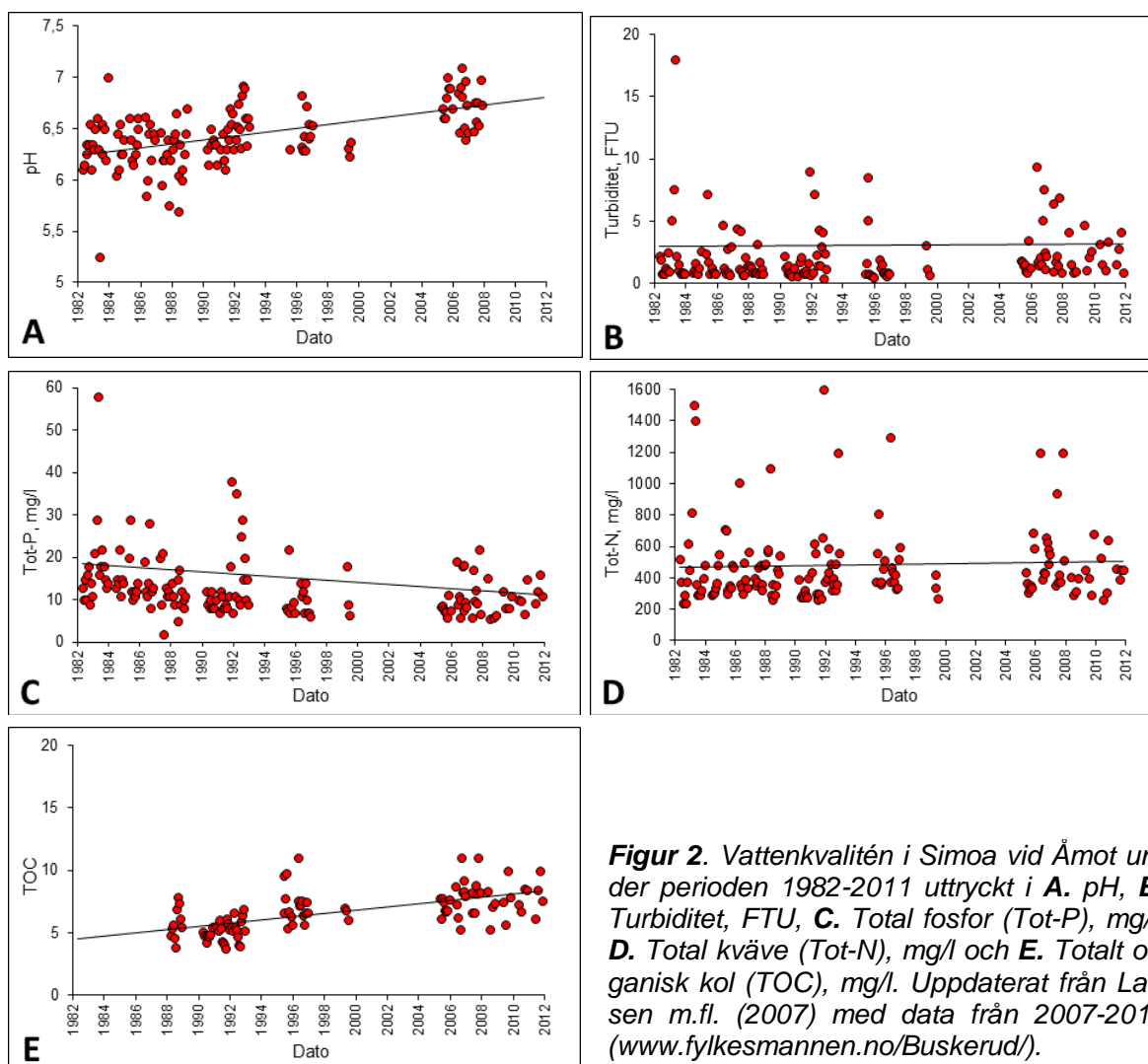
Det er tidligere gjort en sammanställning av alla kända data om vattenkvaliteten från Simoa fram till och med 2006 (Larsen m.fl. 2007). Data från Tysse (1990; 1994), Larsen m.fl. (1995), Alsaker-Nøstdahl (1997), Garnås (2005), Anonym (2006) och Modum kommun (opublicerat material) er supplerat här med data från Fylkesmannen i Buskerud för perioden 2007-2011 (se [www.fylkesmannen.no/Buskerud/](http://www.fylkesmannen.no/Buskerud/)).

Simoa var tidigare förorenad av sur nederbörd vid utloppet av Solevatn och inloppet till Soneren (SIM2 och SIM3 på **figur 5**; Tysse 1994, Larsen m.fl. 2007), men lite till moderat påverkad när det gäller turbiditet och mängd näring. I genomsnitt var vattnets pH-värde nära 6,2 under 1982-1992 vid inloppet till Soneren, men med episoder där pH-värdena gick ner mot 5,0. En svag ökning i pH registrerades under 1990-tallet (Alsaker-Nøstdahl 1997, Modum kommun opublicerat material) och i tillägg avtog de suraste episoderna.

I nedre del av Simoa, vid Bakke bro och Åmot (SIM5 på **figur 5**) var vattnets pH i genomsnitt mellan 6,3 och 6,4 under 1982-1992 (Tysse 1994, Larsen m.fl. 2007, jfr **tabell 2** och **bilaga 7.1**), och episoder med lägre pH-värden än 6,0 var väsentligt färre än vid inloppet till Soneren. Men vattenkvaliteten var moderat till markant påverkat av kväve, total fosfor och finpartikelmaterial (turbiditet). När data fram till och med 2011 inkluderas kan man se hur pH har ökat under den sista 30-årsperioden i nedre del av Simoa (**tabell 2**, **figur 2A**). Turbiditeten var stabil under samma period (**figur 2B**), och det var bara små ändringar i mängd kväve (**figur 2D**). Koncentrationen av total fosfor var betydligt högre vid Åmot än vid inloppet till Soneren (Tysse 1994, Larsen m.fl. 2007). Det blev mätt något högre fosforvärden i början på 1990-talet, men tendensen över tid (1982-2011) är svagt avtagande (**figur 2C**, **tabell 2**). Bland alla typer av föroreningar framstår försurning, erosion och innehåll av bakterier som de största belastningarna i Simoa. Mängden TOC (totalt organisk kol) har visat ökande halter under de sista åren (**figur 2E**).

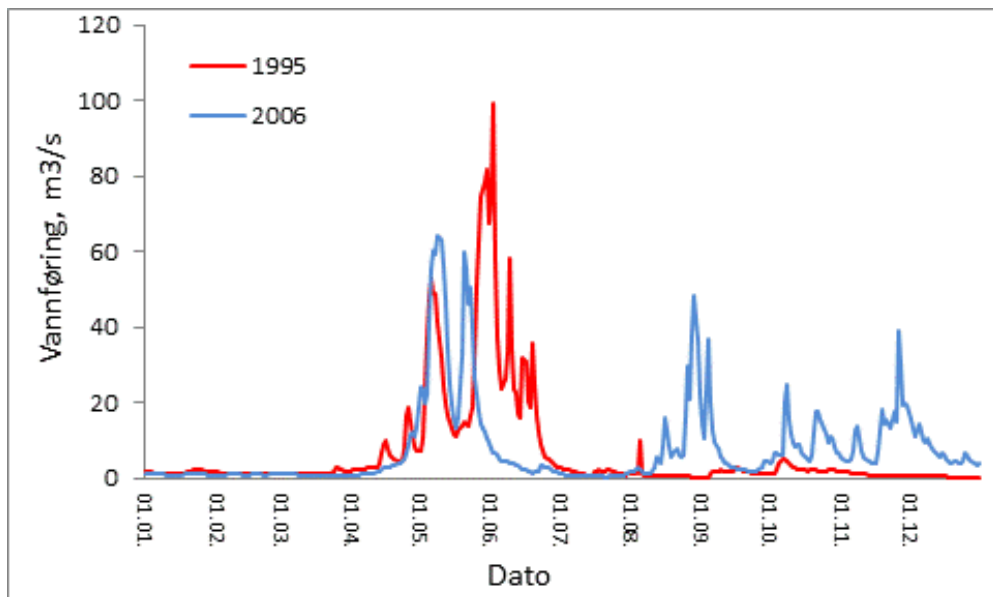
**Tabell 2.** Genomsnittsvärden för olika vattenkemiska parametrar i Simoa vid Åmot i 10-års perioder från 1982 till 2011. Värden baserade på <5 mätningar är angivet i parentes. Se **bilaga 7.1** för detaljer.

Periode	Farge mg Pt/l	Kond mS/m	pH	Turb FTU	Tot-P, mg/l	Tot-N, mg/l	TOC, mg/l	Ca, mg/l
1982-1991	42	2,5	6,31	2,2	15,0	454	5,3	2,3
1992-2001	47	3,1	6,51	5,9	23,9	539	6,6	2,5
2002-2011	(62)	(2,2)	6,73	2,6	10,3	492	7,7	(2,2)



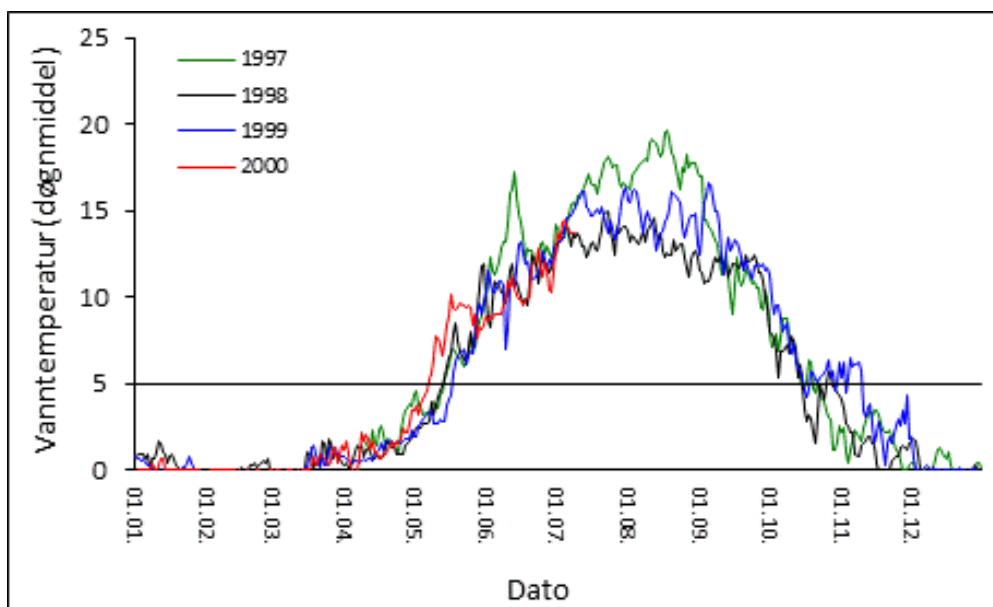
**Figur 2.** Vattenkvalitén i Simoa vid Åmot under perioden 1982-2011 uttryckt i **A.** pH, **B.** Turbiditet, FTU, **C.** Total fosfor (Tot-P), mg/l, **D.** Total kväve (Tot-N), mg/l och **E.** Totalt organisk kol (TOC), mg/l. Uppdaterat från Larsen m.fl. (2007) med data från 2007-2011 ([www.fylkesmannen.no/Buskerud/](http://www.fylkesmannen.no/Buskerud/)).

Simoa har en medelvattenföring på 18 m<sup>3</sup>/sek, och ett årligt utlopp på 560 mill. m<sup>3</sup> vid Åmot (Horgen 1984). Soneren är reglerad med 1,7 m, men förutom vattenkraftsregleringen i Horgavassdraget (110 km<sup>2</sup>) är resten av avrinningsområdet icke-reglerat. Detta leder till att älven har en starkt varierande naturlig vattenföring (jfr **figur 3**). Lågst vattenföring är det om vintern vid Eggedal, och högst vattenföring är det i april, maj och juni i samband med vårfloeden. På hösten är det normalt högst vattenföring i oktober månad.



**Figur 3.** Vattenföring (dygnsmedelvärde) i Simoa, Eggedal (Vannmerke12.178) under 1995 och 2006. Data från NVE. Från Larsen m.fl. (2007).

Vattentemperaturmätningar i Simoa finns från Solemoa under åren 1997-2000 (Larsen m.fl. 2007, Larsen 2012). Vattentemperaturen var högre än 5°C från början av maj till slutet av oktober (**figur 4**). Vattentemperaturen under denna period visade markanta årliga variationer. Under 1998 var den högst uppmätta temperaturen vid Solemoa bara lite över 16°C i några dagar i mitten av augusti. I 1997 och 1999 var det däremot längre perioder med temperaturer högre än 20°C från mitten av juli och hela augusti. Högst uppmätt dygnsmedeltemperatur var 22,3 respektive 21,1 °C under 1997 och 1999.

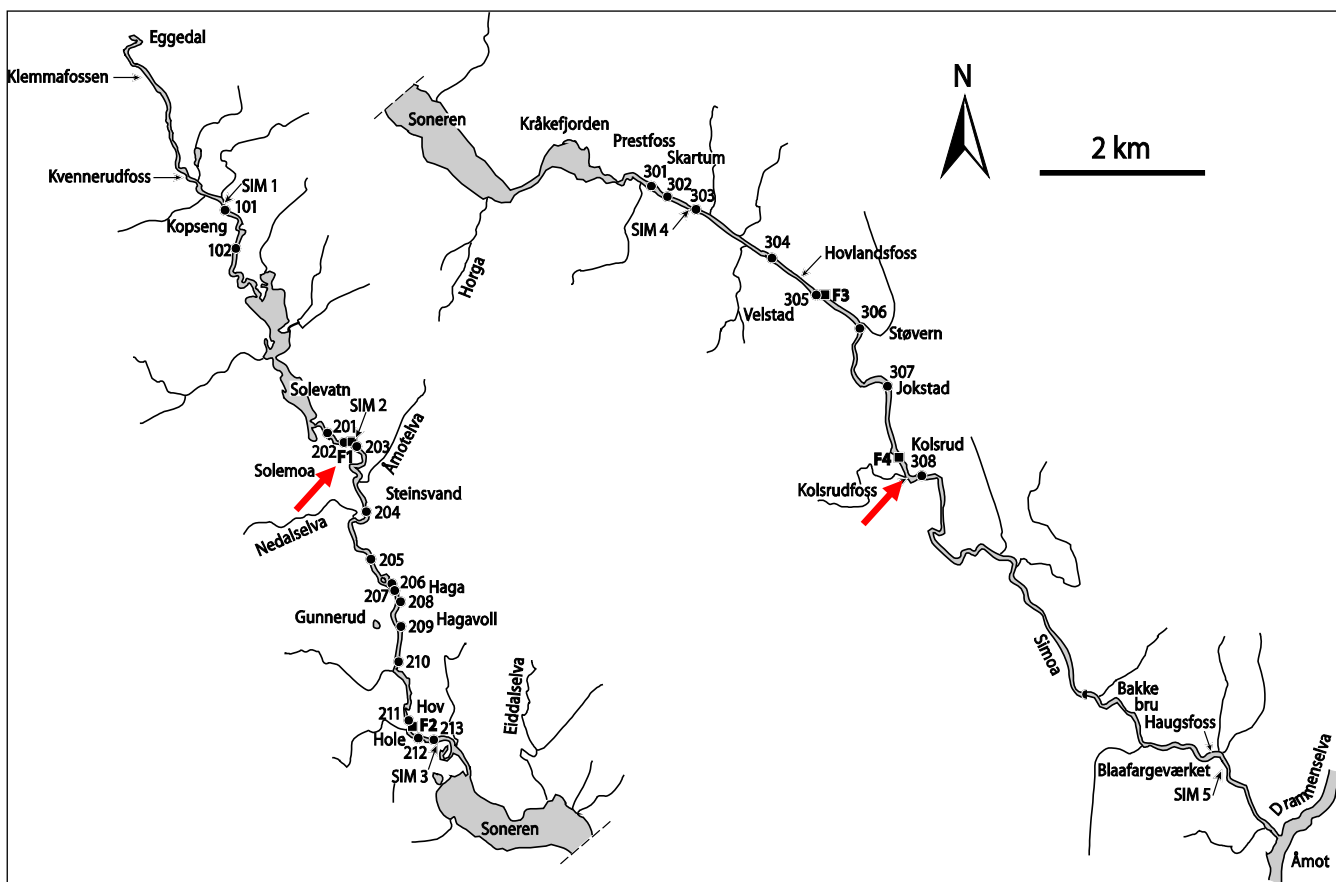


**Figur 4.** Vattentemperatur (dygnsmedelvärde) i Simoa vid Solemoa under 1997-2000. Från Larsen m.fl. (2007)

Tillväxtsåongen, definierad som antal dagar med temperatur  $\geq 5$  °C, varierade bara lite mellan åren, men temperatursumman varierade från 1995 dygngrader (1998) till 2369 dygngrader (1997). Genomsnittstemperaturen under perioden 1 maj-1 november skiljde sig med två grader mellan 1998 (11,3°C) och 1997 (13,2°C). Under 1999 och 2000 var genomsnittstemperaturen 12,3-12,4 °C. Vattentemperaturen har en stor betydelse för tillväxthastigheten hos flodpärlmusslan, och skalltillväxten beror bland annat på om sommaren är varm eller kall, och sättet temperaturen under tillväxtsåongen varierar.

Flodpärlmusslan utbreder sig i Simoa från inloppet till Solevatn och nästan ner till Åmot (Blaafargeverket), en älvsträcka på ca 39 km om man utesluter insjöarna (**figur 5**). Det viktigaste utbredningsområdet är emellertid den 12 km långa sträckan mellan Solevatn och Soneren (Larsen m.fl. 2007). Simoa blev undersökt både under 1995 och 2006, och det var bara små skillnader i musslornas fördelning i vattendraget mellan dessa år. Den största skillnaden mellan de två åren var att andelen unga musslor hade ökat. Rekryteringen 2006 var fortfarande för liten till att upprätthålla bestånden på lång sikt, men det var positivt att man hade funnit musslor yngre än tio år på hela sträckan från utloppet av Solevatn till Kolsrud. Den minsta funna musslan vid undersökningen 1995 var 69 mm lång, medan den minsta funna musslan 2006 bara var 10 mm lång och tre år gammal. Det blev också uppskattat att cirka 5 % av musslorna i Simoa var yngre än 20 år i 2006 (Larsen m.fl. 2007).

Vi undersökte mussleskal från två stationer på sträckan mellan Solevatn och Soneren, vid Solemoa och vid Kolsrud (se **figur 5**). Tillväxt och kemiska analyser genomfördes i syfte att undersöka förändringar i miljön som direkt eller indirekt kan påverka musslornas status.



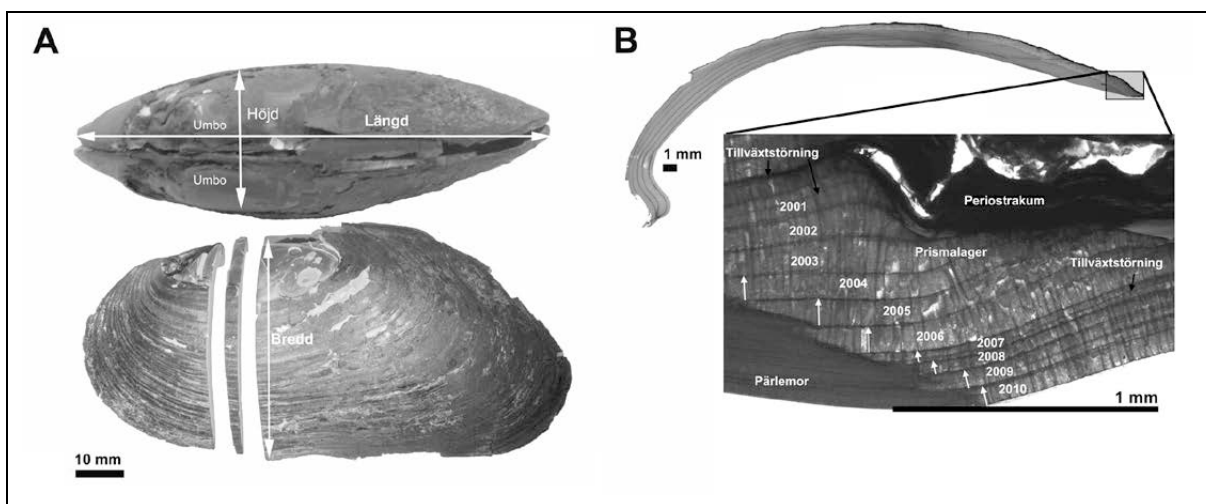
**Figur 5.** Simoa med insamlingsstationer för flodpärlmusslan: Solemoa (station 202 och 203) och Kolsrud (station 308) markerat med röda pilar. Från Larsen m.fl. (2007).

### 3 Material och metoder

Från Simoa insamlades 10 musslor under 2010 vid stationerna Solemoa och Kolsrud (station 202, 203 och 308 på kartan i **figur 5**).

#### 3.1 Preparationsteknik

Skalen etiketterades och mättes med hänsyn till deras längd, höjd och bredd (**figur 6A**). En av skalhalvorna sågades vinkelrätt mot årsringarna från nedre skalkant till umbo (**figur 6A**). Snittytor genom skalet preparerades fram enligt en speciell metod som utvecklades under 1990-talet vid Naturhistoriska riksmuseet i Stockholm (se **bilaga 7.2** för en mer detaljerad metodbeskrivning). För att årsringar skall framträda bättre behandlas snittytorna med Mutvei's lösning som är en blandning av glutardialdehyd, ättiksyra och elsassblått (**bilaga 7.2**). Denna lösning fixerar och färgar organiska komponenter i skalen (glukoproteiner mellan kalkkristallerna) och samtidigt löser den långsamt upp kalkkristallerna på snittytan. Vinterlinjerna och tillväxstörningslinjerna framträder i mörkblått och syns bäst i ljusmikroskop (**figur 6B**).



**Figur 6.** Skal från flodpärlmussla. **A.** Skalens olika mått: längd, bredd och höjd. **B.** Tunnslip av musselskal nummer 403 från Kolsrud som är etsat med Mutvei's blandning och fotograferat i ljusmikroskop. Vinterlinjer och tillväxstörningslinjer är mörkare. Tydliga tillväxstörningar som går igenom hela skalet syns vid 2000, 2001 och 2007 års tillväxt (visas med svarta pilar). De vita pilarna markerar avståndet mellan två vinterlinjer som ett mått på den årliga tillväxten.

#### 3.2 Åldersbestämning

Den årliga tillväxten (årsringarna) hos en mussla är det skalmaterialet som byggs på under tillväxtsäsongen 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 vita pilar i **figur 6B**).

För åldersbestämning räknades den årliga tillväxten i tunnslip hos samtliga musslor. Äldre musslor har oftast eroderad umbo och den årliga tillväxten syns inte där. Åldern på den eroderade delen (umbonala år) uppskattades med hjälp av åldersbestämda yngre musslor som växer enligt samma tillväxtkurva (Dunca m.fl. 2011).

### 3.3 Årlig tillväxt

Det minsta avståndet mellan två vinterlinjer (den årliga tillväxten) mättes vid gränsen mellan pärlemor och prismalager (se **figur 6B**). 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 7.2**). Standardiseringen gjordes med samma matematiska redskap som dendrokronologerna (trädkännarna) använder för årsringarna på träd (Dunca 1999). En utförlig metodbeskrivning finns i **bilaga 7.2**.

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

### 3.4 Kemiska analyser

Totalt valdes sex musselskal ut (de äldsta) för kemiska undersökningar: skal nr 2, 13 och 15 från station Solemoa och skal nr 401, 403 och 404 från station Kolsrud. För kemiska analyser avlägsnades allt organiskt material (periostrakum) och sekundär tillväxt från samma skalhalva som användes för tunnslipstillverkning. Ett 3 mm tjock snitt av skalet delades sedan in i små bitar med bestämd årstillväxt. Skalbitarna vägdes och löstes sedan upp i kvävesyra. För kemiska analyser användes en högupplösningsspektrometer, ICP-MS (Inductive Coupled Plasma – Mass Spectrometry, från Thermo Electronics) på 'Element 2', som kunde mäta en mängd spektra av grundelement med väldigt låga koncentrationer.

## 4 Resultat

### 4.1 Ålder

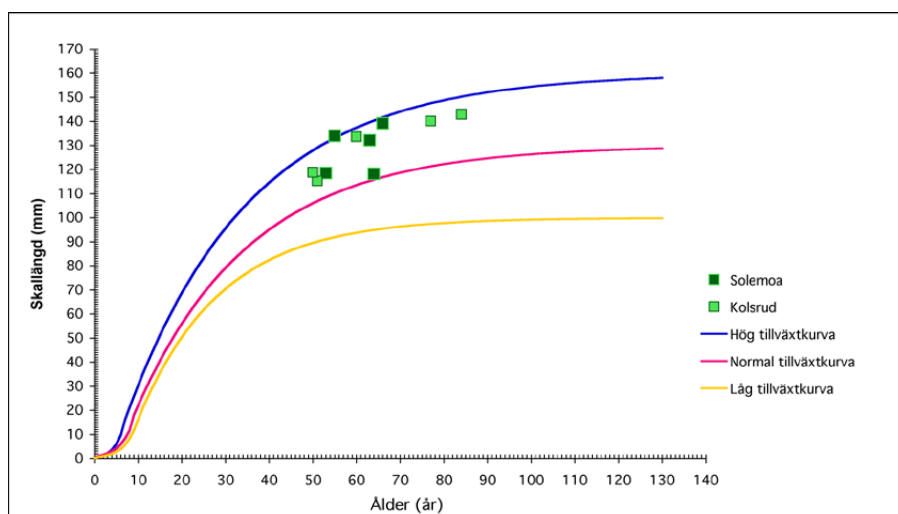
Den yngsta musslan var 50 år och den äldsta 84 år (**tabell 3**). Skallängden varierade mellan 115,3 och 143,0 mm.

**Tabell 3.** Skallängd och ålder (inklusive uppskattade umbonala år) hos flodpärlmusslor insamlade 4 augusti 2010 från Simoa, Buskerud.

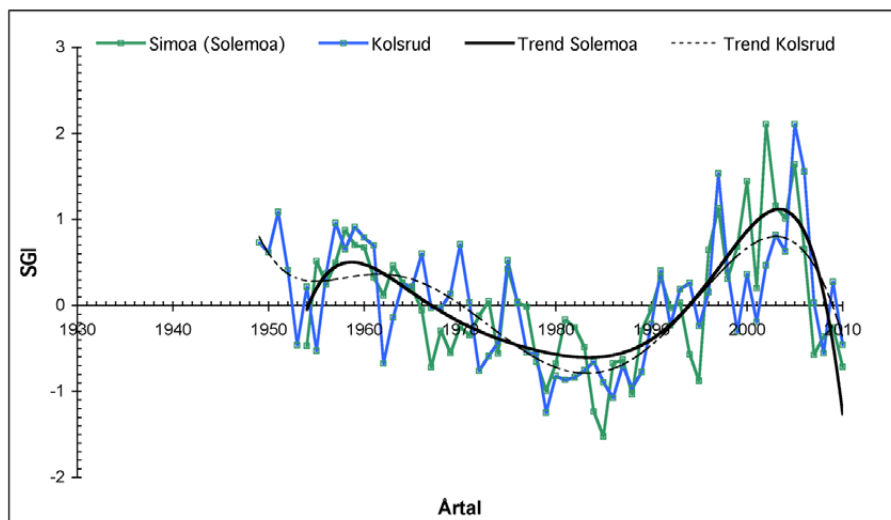
Mussla	Station	Skallängd (mm)	Umbonala år	Ålder (år)
1	Solemoa	134,0	6	55
2	Solemoa	132,3	7	63
8	Solemoa	118,5	6	53
13	Solemoa	139,2	7	66
15	Solemoa	118,2	7	64
401	Kolsrud	133,7	7	60
402	Kolsrud	115,3	6	51
403	Kolsrud	140,1	6	77
404	Kolsrud	143,0	7	84
405	Kolsrud	118,8	6	50

## 4.2 Skaltillväxt

Musslornas tillväxt hamnade mellan den höga och normala tillväxtkurvan för arten (**figur 7**). Simoa är ett icke-reglerat vattendrag, men är påverkat av försurning och kalkning. Musslorna från Simoa hade en liknande årlig tillväxt på båda stationerna, med lägre tillväxt mellan 1975 och 1990, samt efter 2007 (**figur 8**). Det var högre tillväxt mellan 1995 och 2005 då de högsta doserna av kalk användes i kalkningsåtgärder. Larsen m.fl. (2007) fann också att tillväxthastigheten hade ökat i Simoa på 2000-talet, och tio år gamla musslor var i genomsnitt 22 mm längre år 2006 jämfört med beräkningar gjorda 1995. Musslorna från Simoa visade en hög frekvens av tillväxtstörningar (**tabell 4**). Den högsta frekvensen av tillväxtstörningar registrerades i musselskal från Solemoa (mer än dubbelt så hög som hos skalerna från Kolsrud; **tabell 4**).



**Figur 7.** Diagram som visar förhållandet mellan Simoa-musslornas ålder och skalens längd från två stationer i Simoa (gröna kvadrater) och de tre allmänna tillväxtkurvorna för flodpärlmusslan.



**Figur 8.** Genomsnittlig årlig tillväxt (SGI) för flodpärlmusslor i Simoa insamlade vid Solemoa (grön linje) och Kolsrud (blå linje). Trendkurvorna (svarta) är 6:e grads polynom.

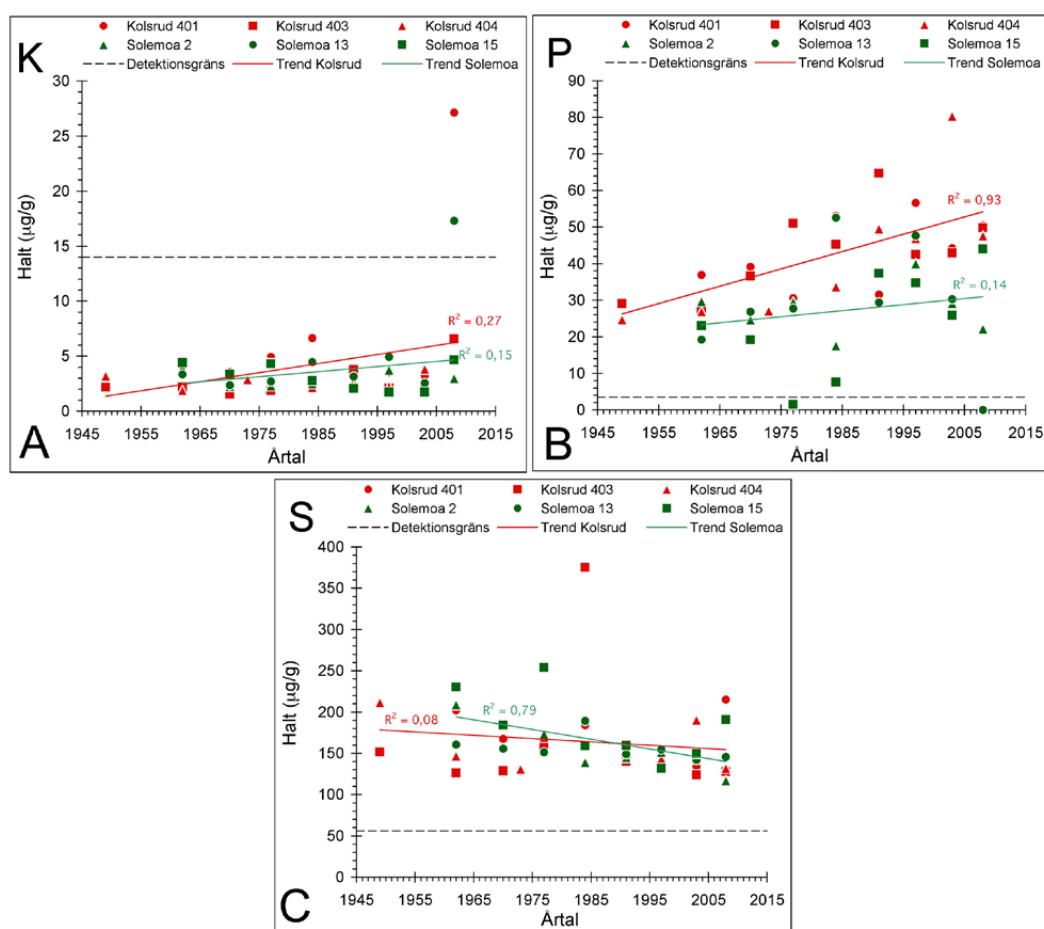


**Tabell 4.** Tillväxtstörningar hos flodpärlmusslor från två stationer i Simoa (Solemoa och Kolsrud). Värdena representerar andel tillväxtstörningar i procent av alla värderade år.

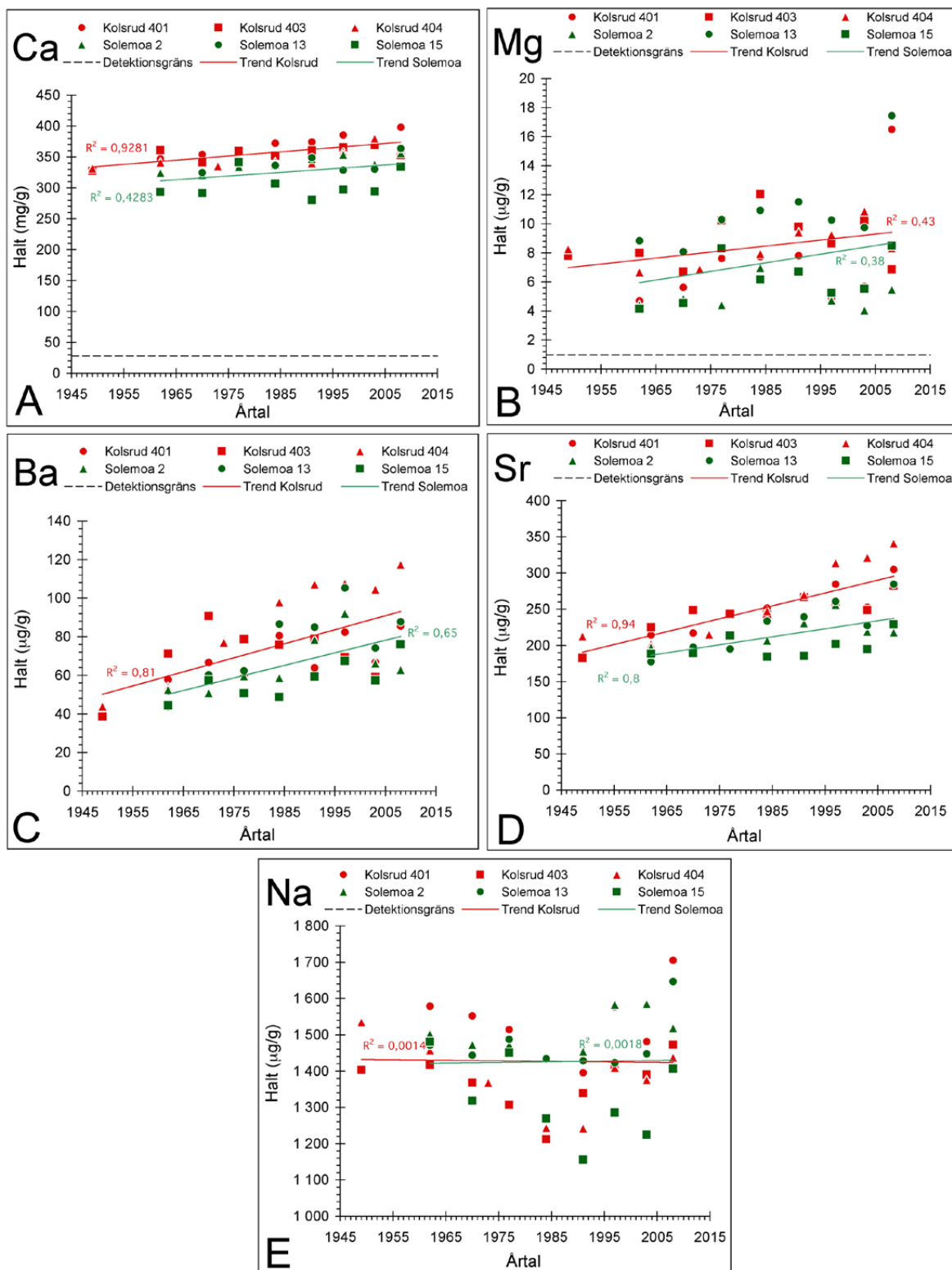
Mussla	Station	Andel tillväxtstörningar (%)
1	Solemoa	76,6
2	Solemoa	55,6
8	Solemoa	74,0
13	Solemoa	41,7
15	Solemoa	56,1
401	Kolsrud	21,4
402	Kolsrud	23,9
403	Kolsrud	44,9
404	Kolsrud	16,9
405	Kolsrud	20,4
Medelvärde	Solemoa	60,8
Medelvärde	Kolsrud	25,5
<b>Medelvärde</b>	<b>Simoa</b>	<b>43,2</b>

### 4.3 Kemiska analyser

De kemiska analysresultaten är sammanställda i **bilaga 7.3**. Ämnen som har ett samband med hantering av jordbruksmark som kalium (K) och fosfor (P) visade en ökning från 1945 fram till 2010 i alla analyserade musslor med något högre halter i skal från Kolsrud (**figur 9**). Svavel (S) däremot visade en minskning på båda lokalerna under samma tidsperiod (**figur 9**).



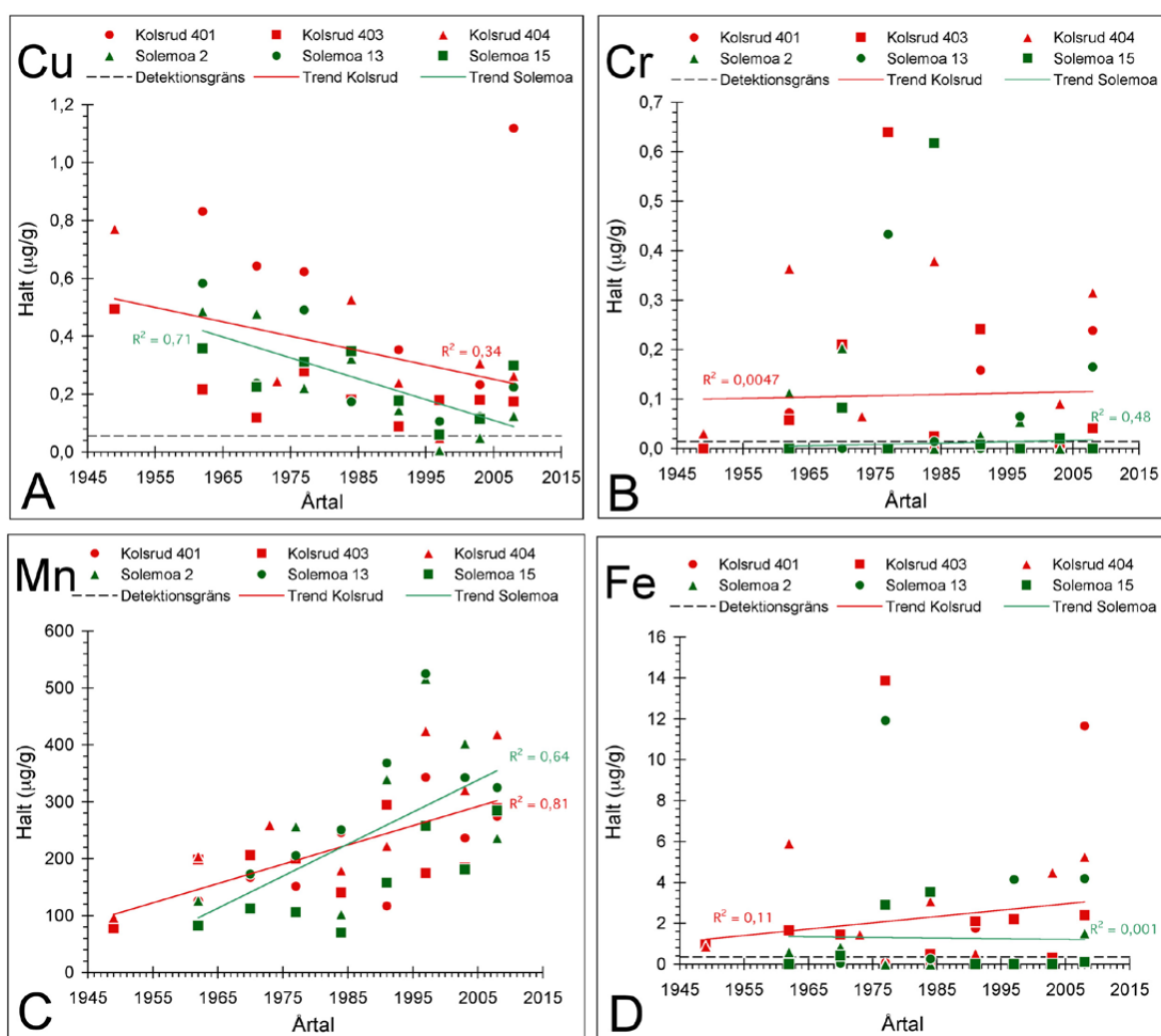
**Figur 9.** Resultat från kemiska analyser som visar halten av **A.** kalium (K); **B.** fosfor (P) och **C.** svavel (S) i perioden 1945-2010 på de olika stationerna i Simoa. Heldragna linjer visar linjära trender. Den horisontella streckade linjen visar detektionsgränsen för ämnena.



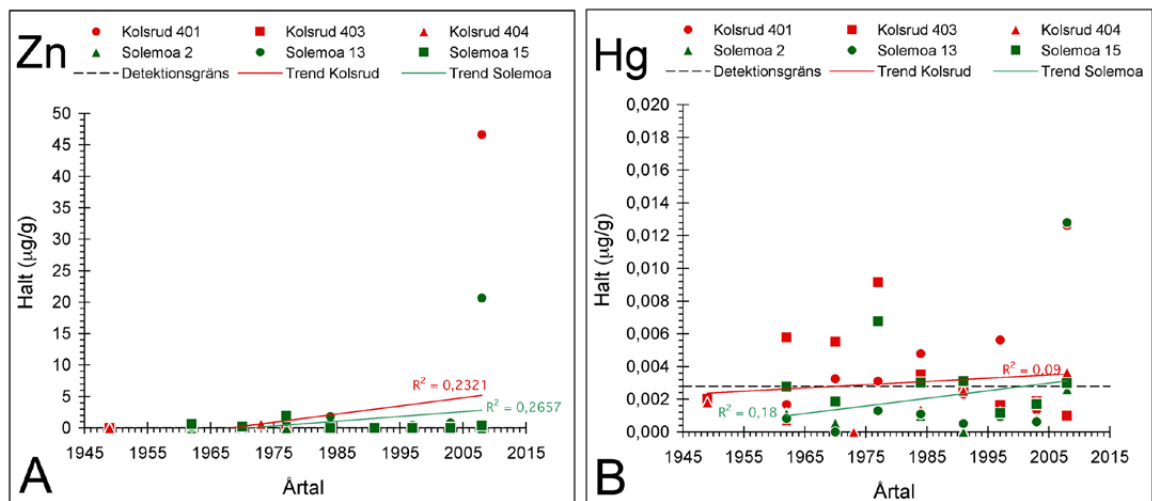
**Figur 10.** Resultat från kemiska analyser som visar halten av **A.** kalcium (Ca); **B.** magnesium (Mg); **C.** barium (Ba); **D.** strontium (Sr) och **E.** natrium (Na) i perioden 1945-2010 på de olika stationerna i Simoa. Heldragna linjer visar linjära trender. Den horisontella streckade linjen visar detektionsgränsen för ämnena.

Kalcium (Ca), magnesium (Mg), barium (Ba) och strontium (Sr) fanns i något högre halter i skalen från Kolsrud och ökade över tid (**figur 10**). Natrium (Na) fanns i samma utsträckning på båda lokalerna, och visade nedåtgående trender fram till början av 1990- talet och uppåtgående från 1990- talet till 2000-talet (**figur 10**).

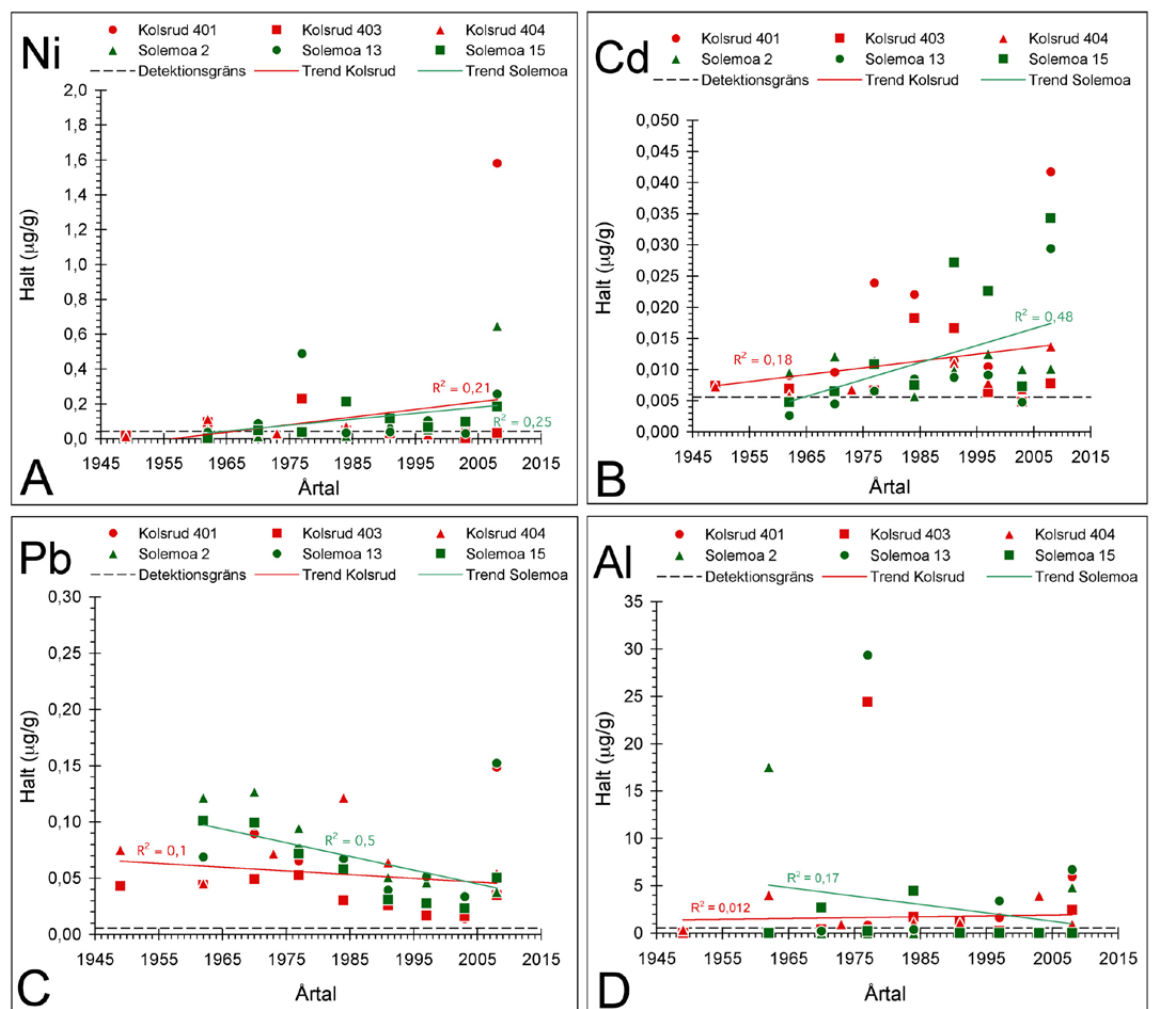
Tungmetaller och andra metaller som koppar (Cu), krom (Cr), mangan (Mn), järn (Fe), zink (Zn), kvicksilver (Hg), nickel (Ni), kadmium (Cd), bly (Pb) och aluminium (Al) visade olika trender mellan 1945 och 2010, men i flera fall fanns det toppar med högre halter under perioden 1975-1980 och 2007-2010. Skal från Kolsrud innehöll något högre halter Cu, Cr och Fe (**figur 11**). Halten av Cu visade nedåtgående trender på båda lokalerna medan Mn visade uppåtgående trender (**figur 11**). Halterna av Zn, Hg, Ni och Al var nära detektionsgränsen men visade högre halter i vissa perioder, till exempel 2007-2010 (**figur 12, 13**). Blyhalten visade en nedåtgående trend under perioden 1945-2010 (**figur 13**). Arsenik fanns bara i låga halter; lägre än den angivna detektionsgränsen (se **bilaga 7.3**).



**Figur 11.** Resultat från kemiska analyser som visar halten av **A.** koppar (Cu); **B.** krom (Cr) **C.** mangan (Mn) och **D.** järn (Fe) i perioden 1945-2010 på de olika stationerna i Simoa. Heldragna linjer visar linjära trender. Den horisontella streckade linjen visar detektionsgränsen för ämnen.



**Figur 12.** Resultat från kemiska analyser som visar halten av **A.** zink (Zn) och **B.** kvicksilver (Hg) i perioden 1945-2010 på de olika stationerna i Simoa. Helt dragna linjer visar linjära trender. Den horisontella streckade linjen visar detektionsgränsen för ämnena.



**Figur 13.** Resultat från kemiska analyser som visar halten av **A.** nickel (Ni); **B.** kadmium (Cd); **C.** bly (Pb) och **D.** aluminium (Al) i perioden 1945-2010 på de olika stationerna i Simoa. Helt dragna linjer visar linjära trender. Den horisontella streckade linjen visar detektionsgränsen för ämnena.

## 5 Diskussion

Flodpärlmusslorna från Simoa växte bra i förhållande till deras ålder, men skalen visade en hög andel tillväxtstörningar speciellt i övre del, vid Solemoa. Tidigare studier har visat att kraftiga pH-förändringar i vattendraget i samband med försurning, kalkning och gödsling kan orsaka tillväxtstörningar hos flodpärlmusslan speciellt i vattendrag med låg buffertkapacitet (Mutvei m.fl. 1996, Dunca m.fl. 2011). Detta är troligen fallet för musslorna i Simoa trots att även naturligt låg vattenföring och tillfälligt torka, samt sena frostperioder på våren och tidig frost på hösten också kan orsaka dessa störningar (Dunca m.fl. 2011).

Den årliga tillväxten visade liknande trender i alla musslorna från både Kolsrud och Solemoa vilket kan tyda på att båda stationerna har liknande förhållanden. Vi såg en lägre tillväxt på 1970- och 1980-talet vilket troligen beror på försurning, eftersom flodpärlmusslan växer dåligt i vattendrag med låga pH värden (Mutvei m.fl. 1996, Dunca m.fl. 2011). När kalkningen kom igång på 1990-talet som åtgärd mot försurningen svarade musslorna med ökad skaltillväxt. Efter 2006 då kalkningen trappades ner så gick även musslornas tillväxt ner. Att tillväxten efter 2006 gått ner igen behöver inte vara allvarligt för musslorna eftersom den är innanför normala nivåer.

Lägre skaltillväxt under 1998, samt högre tillväxt under 1997, 1999 och 2000 kan bero på att vattentemperaturen under hela tillväxtsången 1998 var låg i jämförelse med de andra åren (se **figur 4** och **8**).

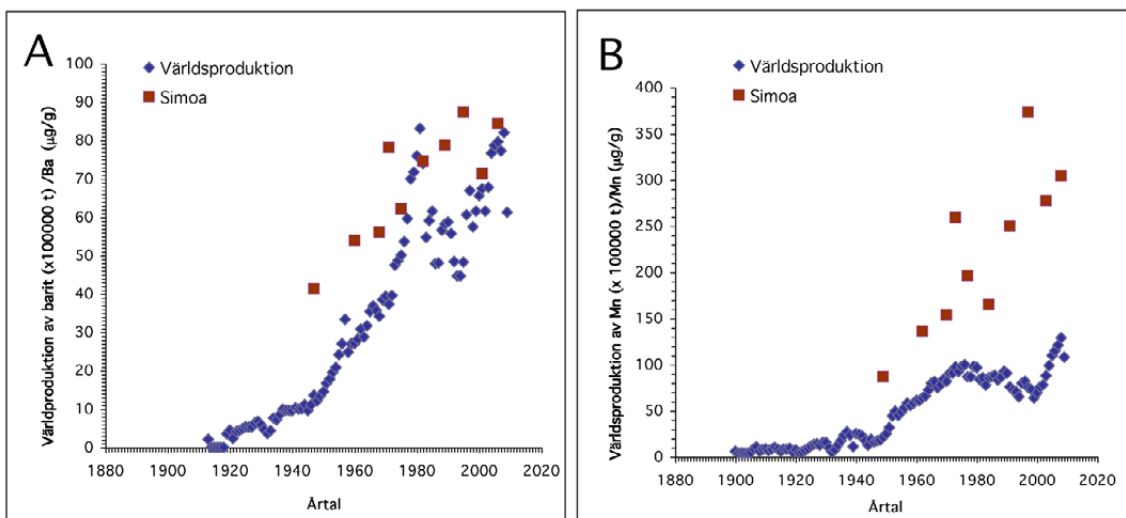
Den kemiska sammansättningen av de analyserade musselskalen visade förändringar över tid. Till exempel så fann vi högre halter av metaller som Cd, Cr, Fe, Al, Ni och Zn under 1970- och 1980-talet och under de senaste tio åren. Detta motsvarar tiden innan kalkningen samt efter mitten av 2000-talet då kalkningen trappades ner igen. Vid låga pH-värden löses metaller upp från berggrunden i vattnet och högre koncentrationer av dessa metaller deponeras i musselskalen (Mutvei m.fl. 1994). Halterna av både As, som var lägre än detektionsgränsen i Simoa, och av Co var lägre än i musselskal från andra vattendrag som till exempel i Trøndelag (Dunca m.fl. 2010). Halten av vissa element som Ba, Mn, Ca, P och Sr ökade från 1945 och framåt i alla analyserade musslor, och ökningen var starkast vid Kolsrud. Andra element som S, Cu och Pb minskade under samma tidsperiod, speciellt vid Solemoa. Multipla faktorer som vattnets pH-värde, sedimentets egenskaper, bergart och vegetationen längs vattendraget, samt människans påverkan på miljön genom till exempel jordbruk, utsläpp från industrier och även kalkning, speglas i dessa trender.

Vi fann en tydlig ökning i skalens Ba- och Mn-halter i Simoa från 1945 till idag. I samma tidsperiod så har världsproduktionen av Ba och Mn ökat kraftigt (U.S. Geological Survey 2009a;b) (**figur 14A** och **B**). Varför Ba- och Mn- produktionen ökat så och hur dessa element hamnar i våra vattendrag är oklart, men mest troligt är att industrin sprider dessa ämnen framförallt via luftburna partiklar och inte i lika stor grad genom direkt utsläpp i vattendrag (bl.a. No & Patterson 1982; Frančišković-Bilinski m.fl. 2007).

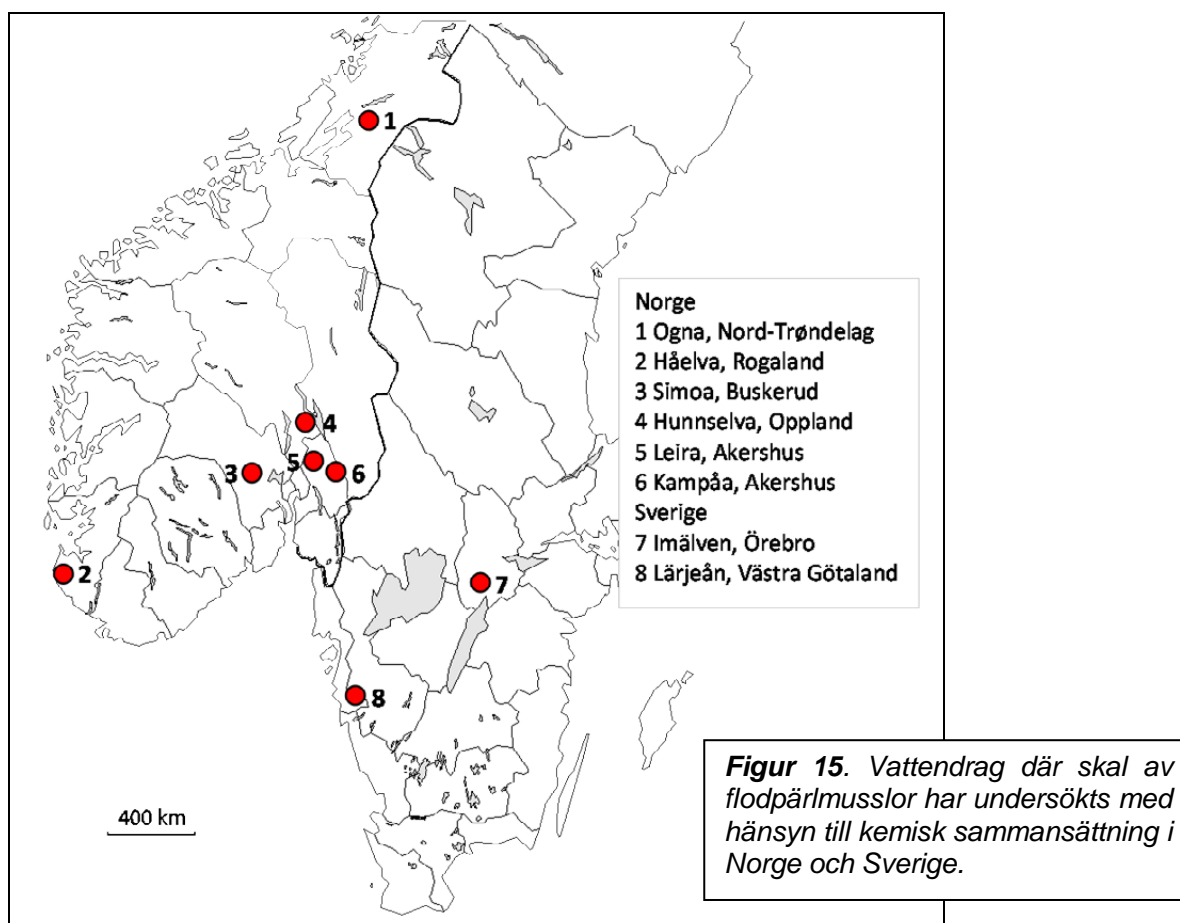
För att kunna jämföra resultat från olika kemiska undersökningar i olika vattendrag i Norge och Sverige (**figur 15**) så räknade vi ut medelvärde för flera mätningar under samma tidsperiod (1960-1970 och 1990-2000) för varje lokal och sammanställde dem i **tabell 5** och **6**.

Generellt så är metallhalterna i musselskal från Simoa lägre än i skal från andra undersökta vattendrag med undantag av Ba och Mn. Ba-halten är högst i musselskal från Hunnselva under perioden 1986-2008 och även i detta vattendrag ökar halterna av Ba. Näst högst Ba-halt finns i Simoamusslorna under perioden 1988-2000. Al halten är genomgående låg i Simoamusslorna, men högre än normalt i musslorna från Solemoa under perioden 1958-1974. När det gäller S-halten ligger Simoa musslorna bland de med högst uppmätta värden. Dock har halten av S sjunkit från mitten av 1970-tallet till nutiden i Simoa, och kan vara ett tecken på att svaveldepositionen reducerats. P halten däremot har ökat från 1945 till nutiden, och kan förkla-

ras med ökad ytavrinning och läckage av näringsämnen från landbruksarealer och skogsdrift, men halterna är inte så höga om man jämför med andra vattendrag.



**Figur 14.** Världproduktionen av **A. Barium (Ba)** och **B. Mangan (Mn)** över tid, samt Ba och Mn-halten (medelvärden) i de analyserade flodpärlmusslorna från Simoa.



**Figur 15.** Vattendrag där skal av flodpärlmusslor har undersökts med hänsyn till kemisk sammansättning i Norge och Sverige.

**Tabell 5.** Resultat från kemiska analyser av musselskal i olika vattendrag i Norge och Sverige (se karta i **figur 15**) angivna som genomsnitt av mätningar genomförda i de delar av skal som er daterade till perioden (1956)1960-1970(1974). Det finns inte data från Oгна, Håelva och Leira från denna tidsperiod.

	Antal analyserade musslor	Tidsperiod (år)	Antal mätningar	Al µg/g	Ba µg/g	Ca mg/g	Co µg/g	Cu µg/g	Fe µg/g	K µg/g	Mg µg/g
3.1 Simoa Solemoa	3	1958-1974	6	3,4	51,5	308	<0,1	0,4	0,3	3,3	5,8
3.2 Simoa Kolsrud	3	1958-1974	5	0,9	68,1	349	<0,1	0,4	1,8	2,7	6,3
4 Hunnselva	3	1959-1974	6	3,9	59,6	392	0,5	2,0	5,6	12,4	17,8
6 Kampåa	1	1964-1970	3	18,1	46,6	388	<0,3	2,7	23,5	17,7	10,5
7 Imälven	2	1960-1968	3	4,0	28,8	398	0,6	2,2	13,5	12,3	9,2
8 Lärjeån	1	1956-1970	1	2,4	53,5	440	-	0,9	2,5	9,9	11,6

	Mn µg/g	Ni µg/g	P µg/g	Pb µg/g	S µg/g	Sr µg/g	Zn µg/g	Källa
3.1 Simoa Solemoa	114	<0,1	23,8	0,1	187	191	0,2	Denne rapporten
3.2 Simoa Kolsrud	180	0,1	33,4	0,1	154	221	<0,1	Denne rapporten
4 Hunnselva	92,2	1,4	96,6	0,7	124	229	1,5	Dunca mfl. 2009c
6 Kampåa	77,9	1,2	32,0	<0,5	144	315	2,4	Dunca mfl. 2009a
7 Imälven	115	1,5	106	0,8	116	219	1,6	Dunca & Lind 2009
8 Lärjeån	348	1,3	30,6	-	66,0	302	2,3	Dunca 2006

Ca halten har ökat något till nutiden, och kan vara en effekt av kalkningsåtgärden. I jämförelse med skal från andra vattendrag är halten av Ca i Simoa-musslorna bland de lägsta.

**Tabell 6.** Resultat från kemiska analyser av musselskal i olika vattendrag i Norge och Sverige (se karta i **figur 15**) angivna som genomsnitt av mätningar genomförda i de delar av skal som er daterade till perioden (1985)1990-2000(2008).

	Antal analyserade musslor	Tidsperiod (år)	Antal mätningar	Al µg/g	Ba µg/g	Ca mg/g	Co µg/g	Cu µg/g	Fe µg/g	K µg/g	Mg µg/g
1.1 Oгна Hyllbrua	2	1990-1999	4	8,4	10,5	516	<0,4	3,2	6,2	21,5	11,4
1.2 Oгна Brandsegg	2	1990-1999	4	8,6	10,0	515	<0,4	3,4	6,6	21,5	11,2
2.1 Håelva Grødem	3	1988-2001	11	1,9	10,5	358	<0,1	0,7	2,1	4,4	17,9
2.2 Håelva Hå	2	1988-2002	6	1,9	9,1	363	<0,1	0,8	0,8	5,0	16,9
3.1 Simoa Solemoa	3	1988-2000	6	0,6	81,3	326	<0,1	0,1	0,7	3,0	7,5
3.2 Simoa Kolsrud	3	1988-2000	6	0,7	84,9	364	<0,1	0,2	1,1	3,0	8,3
4 Hunnselva	3	1986-2008	5	4,5	131	395	0,4	1,5	9,9	11,9	12,5
5 Leira	1	1990-2002	3	15,3	61,9	381	<0,3	1,5	19,0	10,2	9,1
6 Kampåa	1	1989-1998	2	16,1	55,8	389	<0,3	1,5	17,9	13,6	8,9
7 Imälven	2	1985-2000	3	3,8	27,9	389	0,5	1,6	28,0	18,8	8,2
8 Lärjeån	2	1989-2005	3	1,7	31,7	437	-	1,0	7,0	10,8	10,2

**Tabell 6** fortsätter

	Mn µg/g	Ni µg/g	P µg/g	Pb µg/g	S µg/g	Sr µg/g	Zn µg/g	Källa
1.1 Oгна Hyllbrua	170	5,5	-	3,1	73,7	246	6,6	Dunca mfl. 2010
1.2 Oгна Brandsegg	169	4,6	-	3,7	92,5	234	9,0	Dunca mfl. 2010
2.1 Håelva Grødem	233	0,1	40,6	<0,1	137	309	0,1	Dunca & Larsen 2012
2.2 Håelva Hå	251	0,1	47,6	<0,1	150	285	<0,1	Dunca & Larsen 2012
3.1 Simoa Solemoa	361	0,1	37,9	<0,1	149	229	0,1	Denne rapporten
3.2 Simoa Kolsrud	263	<0,1	48,6	<0,1	143	272	<0,1	Denne rapporten
4 Hunnselva	218	1,5	109	0,8	99,8	305	1,3	Dunca mfl. 2009c
5 Leira	204	1,1	36,7	<0,5	94,0	248	1,9	Dunca mfl. 2009b
6 Kampåa	182	1,1	32,3	<0,5	76,7	264	2,7	Dunca mfl. 2009a
7 Imälven	210	1,6	107	0,8	130	150	2,1	Dunca & Lind 2009
8 Lärjeån	182	1,2	35,9	-	71,1	226	2,0	Dunca 2006

Som slutsats kan man säga att musslorna från båda lokalerna i Simoa visade en bra tillväxt och svarade bra på kalkningsåtgärderna. Kemiska analyserna pekade på att det förekommer ett visst läckage av näringsämnen från landbruk och skogsdrift samt att vattnets pH-värde var låg på 70- och 80-talet. En tydlig ökning av Ba- och Mn-halter från 1945 till idag stämmer överens med ökningen av världsproduktionen av Ba och Mn men hur dessa ämnen hamnar i vattendrag är oklart.

## 6 Referenser

- Alsaker-Nøstdahl, B. 1997. Kartlegging av tilstand og utvikling av vannkvaliteten i Simoa 1996. - Fylkesmannen i Buskerud, Miljøvernavdelingen. Rapport nr.3-1997. 34 s. + vedlegg.
- Anonym 2006. Resultater fra vassdragsovervåking i Drammensvassdraget 2006. – Fylkesmannen i Buskerud, Miljøvernavdelingen. 5 s. [www.fylkesmannen.no/Buskerud]
- Carell, B., Forberg, S., Grundelius, E., Henrikson, L., Johnels, A., Lindh, U., Mutvei, H., Olsson, M., Svårdström, K., Westermark, T. 1987. Can Mussel Shells Reveal Environmental History? *Ambio*, 16/1: 2-10.
- 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. R 2006:12. 20 s.
- Dunca, E. & Larsen, B.M. 2012. Skaltillväxt och kemiska analyser av flodpärlmusslor från Håelva, Norge. – *Bivalvia Rapport* 2012. 32 s.
- Dunca, E. & Lind, J. 2009. Undersökning av två flodpärlmusselskal med hänsyn till tillväxt och kemisk sammansättning. – Länsstyrelsen Örebro län. Publikasjon nr. 2009-14. 24 s.
- 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., Mörth, C.-M. & Sandaas, K. 2009a. Skaltillväxt och kemiska analyser av flodpärlmusslor från Kampåa, Norge. – *Bivalvia Rapport* 2009. 24 s.
- Dunca, E., Mörth, C.-M. & Sandaas, K. 2009b. Skaltillväxt och kemiska analyser av flodpärlmusslor från Leira, Norge. – *Bivalvia Rapport* 2009. 26 s.
- Dunca, E., Larsen, B.M. & Mörth, C.-M. 2009c. Flodpärlmusslan i Hunnselva – åldersbestämning och kemisk analys av musselskal. – NINA Rapport 487. 28 s.
- Dunca, E., Mörth, C.-M. & Larsen, B.M. 2010. Skaltillväxt och kemiska analyser av flodpärlmusslor från Oгна och Figga, Norge. – *Bivalvia Rapport* 2010. 28 s.



- Dunca, E., Söderberg, H. & Norrgrann, O. 2011. Shell growth and age determination in the freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* in Sweden: natural versus limed streams. - *Ferantia* 64: 48-58.
- 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.
- Garnås, E. 2005. Vannkvalitet i nedre deler av Drammensvassdraget 2005. – Fylkesmannen i Buskerud, Miljøvernavdelingen. Notat. 3 s.
- Larsen, B.M. 2012. Vanntemperaturens betydning for livssyklus hos elvemusling. – s. 66-92 i: Larsen, B.M. (red.). Elvemusling og konsekvenser av vassdragsreguleringer – en kunnskapsoppsummering. Rapport Miljøbasert Vannføring 8-2012.
- Larsen, B.M., Eken, M. & Tysse, Å. 1995. Elvemusling, *Margaritifera margaritifera*, i Simoa, Buskerud – Utbredelse og bestandsstatus. – NINA Oppdragsmelding 380: 1-17.
- Larsen, B.M., Eken, M., Tysse, Å. & Engen, Ø. 2007. Overvåking av flodpärlemusla i Simoa, Buskerud. Statusrapport 2006. - NINA Rapport 314. 45 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
- 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.
- SFT (Statens forurensningstilsyn) 1989. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport 1988. - Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 375/89. 274 s.
- Tysse, Å. 1989. Forsuring, fiskestatus og kalkingsplan for Buskerud 1989. - Fylkesmannen i Buskerud, Miljøvernavdelingen. Rapport nr.5-1989. 62 s.
- Tysse, Å. 1990. Vassdragsovervåking i Simoa 1982-1989. - Fylkesmannen i Buskerud, Miljøvernavdelingen. Rapport nr.5-1990. 34 s.
- Tysse, Å. 1994. Overvåking av vannkvaliteten i Simoa i 1990-1992. - Fylkesmannen i Buskerud, Miljøvernavdelingen. Rapport nr.5-1994. 36 s.
- U.S. Geological Survey. 2009 a. Barite statistics, in Kelly, T.D., and Matos, G.R., comps., Historical statistics for mineral and material commodities in the United States: U.S. Geological Survey Data Series 140, accessed 2012, at <http://pubs.usgs.gov/ds/2005/140/>.
- U.S. Geological Survey. 2009 b. Manganese statistics, in Kelly, T.D., and Matos, G.R., comps., Historical statistics for mineral and material commodities in the United States: U.S. Geological Survey Data Series 140, accessed 2012, at <http://pubs.usgs.gov/ds/2005/140/>.

## 7 Bilaga

### 7.1 Vattenkvalitet i Simoa

En sammanställning av alla kända data om vattenkvaliteten från Simoa fram till och med 2006 gjordes av Larsen m.fl. (2007). Data från Tysse (1990; 1994), Larsen m.fl. (1995), Alsaker-Nøstdahl (1997), Garnås (2005), Anonym (2006) och Modum kommun (opublicerat material) er supplerat här med data från Fylkesmannen i Buskerud för perioden 2007-2011 (se [www.fylkesmannen.no/Buskerud/](http://www.fylkesmannen.no/Buskerud/)) för provlokalen vid Åmot (station SIM5 på figur 5).

	Akalitet µekv/l	Farge mg Pt/l	Kond mS/m	Turb FTU	pH	Tot-P µg/l	Tot-N µg/l	Nitrat µg/l	TOC mg/l	Al µg/l	Sulfat mg/l	Fe µg/l	Mn mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Ka mg/l	Cl mg/l	Na mg/l
1982-1991																		
Gj.snitt	61	42	2,5	2,2	6,31	15,0	454	254	5,3	183	4,7	257	28,2	2,3	0,6	0,5	1,5	1,0
SD	43	11	0,8	3,7	0,25	12,0	261	299	1,0	89	0,8	138	8,7	0,8	0,3	0,2	0,6	0,4
Min	5	11	1,3	0,6	5,25	2,0	240	40	3,7	60	3,7	70	20,0	1,4	0,4	0,4	0,9	0,6
Maks	330	76	5,0	27,0	7,00	98,0	1600	1400	7,9	430	6,7	600	50,0	4,8	1,3	1,1	3,2	1,9
N	80	81	81	81	80	81	81	26	29	26	11	11	11	40	11	11	11	11
1992-2001																		
Gj.snitt	74	47	3,1	5,9	6,51	23,9	539	224	6,6		4,5		2,5	0,7	0,7	1,8	1,3	
SD	39	11	0,6	13,5	0,21	37,2	373		1,5				0,7					
Min	30	25	2,4	0,4	6,23	6,0	270		3,9				1,7					
Maks	200	66	4,1	65,0	6,92	160,0	2200		11,0				4,2					
N	26	26	5	34	26	33	33	1	33	0	1	0	0	16	1	1	1	1
2002-2011																		
Gj.snitt	66	62	2,2	2,6	6,73	10,3	492	205	7,7	135			2,2	0,5	0,5	1,6	1,1	
SD	23	27	0,3	2,0	0,19	4,1	215	35	1,3	23			0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	
Min	50	43	2,0	0,9	6,40	5,6	260	180	5,3	119			2,2	0,5	0,4	1,6	0,9	
Maks	82	81	2,4	9,4	7,10	22,0	1200	230	11,0	151			2,2	0,5	0,6	1,6	1,3	
N	2	2	2	41	25	41	40	2	40	2	0	0	0	2	2	2	2	2

## 7.2 Metodbeskrivning

### 7.2.1 Preparationsteknik

Musslorna rensades i ultraljudbad med 95 % alkohol. Skalen etiketterades och mättes med hänsyn till deras längd, höjd och bredd. Ena skalhalvan sågades vinkelrätt mot vinterlinjerna från den äldsta, ventrala delen till den umbonala, yngsta delen med hjälp av en diamantklinga (figur 3.1A).



**Figur 3.1.** **A.** Skalen från flodpärlmusslorna sågades vinkelrätt mot vinterlinjerna från den ventrala kanten till umbo med hjälp av en diamantklinga; **B.** Polering av skalsnitten; **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.** Färdigt slipsnitt.

Tunna slipsnitt tillverkades sedan enligt en speciell metod som utvecklades under 1990-talet och som idag används som standardmetod vid Naturhistoriska riksmuseet i Stockholm (Dunca 1999; samt se **figur 3.1**). Skalsnitten polerades (**figur 3.1B**) och klistrades fast på objektglas med hjälp av tvåkomponentsplasten SpeciFix-40, Struers (**figur 3.1C**). 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 3.1D**).

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 3.1E** och **3.1F**). 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, medan de syns som upphöjda ryggar i SEM.

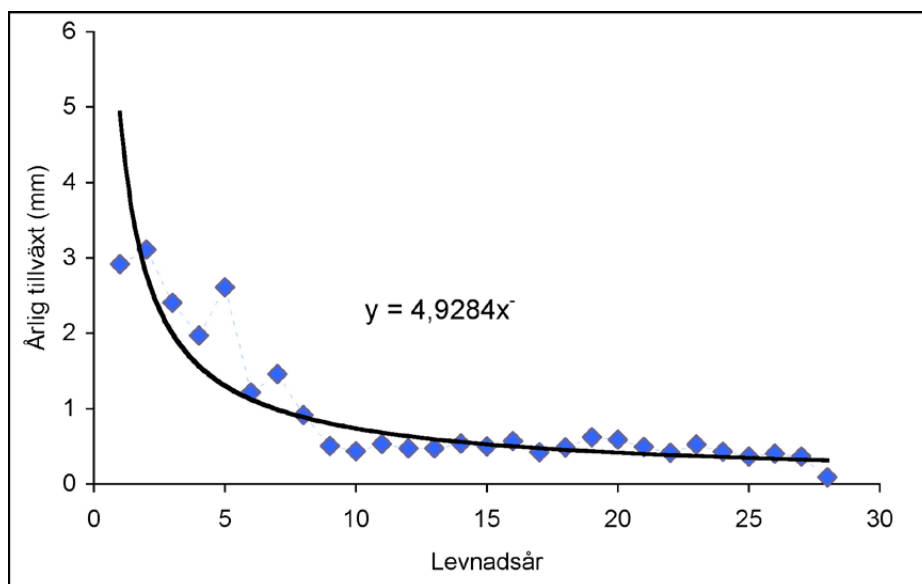
## 7.2.2 Tillväxtanalys och standardisering av mätningar

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 potenskurva (**figur 3.2**) 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 3.2.** Diagram som visar årstillväxten (i mm) hos flodpärlmusslan för de levnadsår som är synliga i tvärsnitt. År noll i diagrammet motsvarar det tidigaste levnadsår som kunde mätas i tvärsnitt. Potenskurvan 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 mätta tillväxten med den teoretiska tillväxten för varje levnadsår. Detta uttrycks i följande formel:

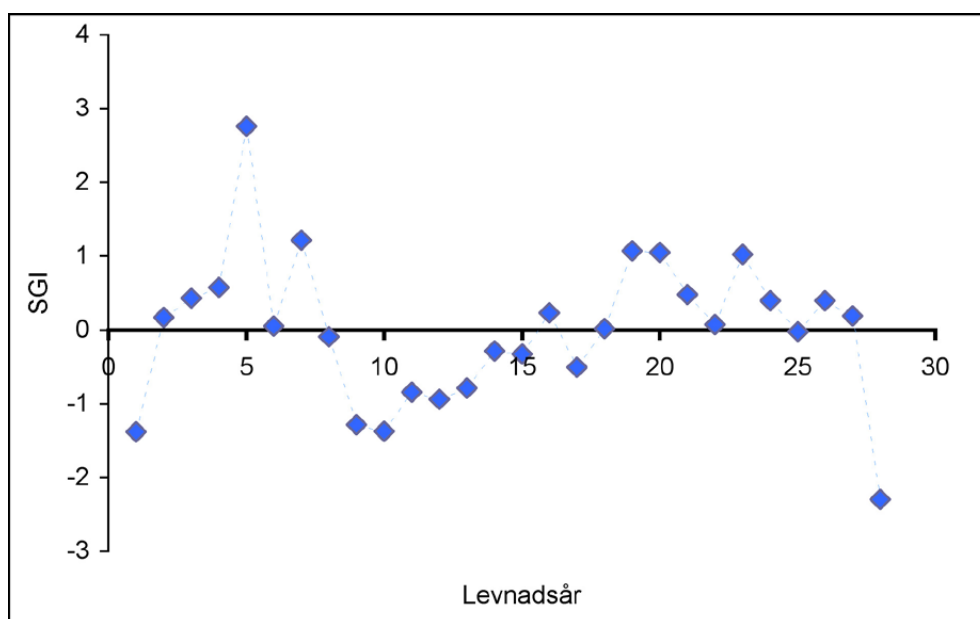
$$GI = F(m)/F(t)$$

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

Standardiserat tillväxtindex SGI (**figur 3.3**) 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 3.3.** Diagram som visar 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 mätta musslor inom respektive populationen.

### 7.2.3 Normal, hög och låg tillväxtkurva

Relationen mellan skallängden och åldern på flodpärlmusslorna varierar starkt i tidigare undersökta flodpärlmusselpopulationer från Sverige, Norge och Kolahalvön (Dunca m.fl. 2010, 2011). För att kunna få en uppfattning om hur populationens skalstorlek förhåller sig till en viss ålder har tre olika kurvor framställs: kurva för normal tillväxt, kurva för hög tillväxt och kurva för låg tillväxt (se **figur 3.4**). Kurvorna har framställts med hjälp av von Bertalanffy-formeln (1) för musslor äldre än ca 10 år. För musslor mellan 0-10 år är kurvorna exponentiella (2).

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

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

$$(2) H_j = a * e^{(\lambda t)}$$

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

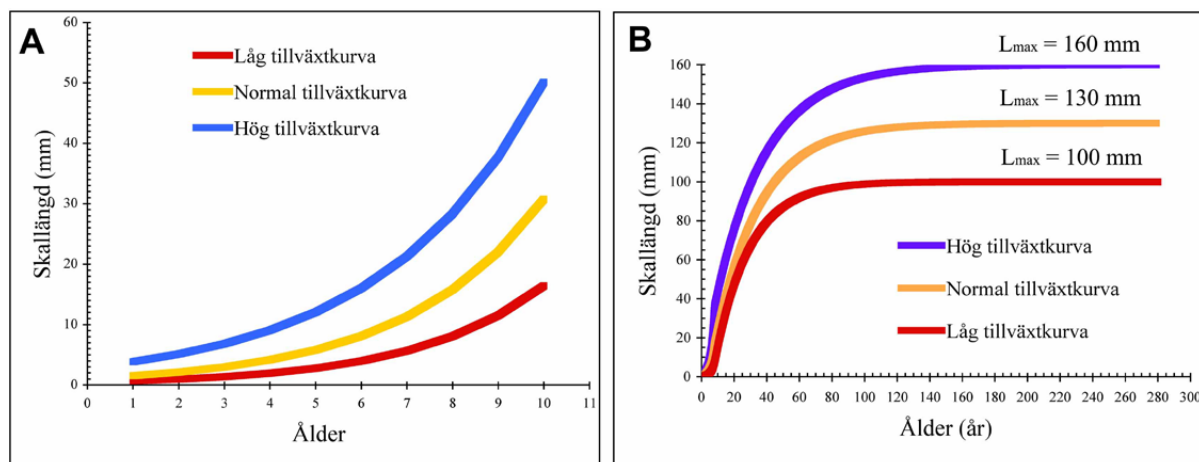
Dessa kurvor är anpassade till de mätningar och åldersbestämningar som finns tillgängliga för flodpärlmusslan i hela Sverige och Kolahalvön.

Den maximala skallängden,  $L_{\max}$  för den normala tillväxtkurvan är vald som 130 mm, för den höga tillväxtkurvan är den 160 mm och för den låga tillväxtkurvan är 100 mm (**figur 3.4B**). Den specifika tillväxthastigheten,  $\lambda$  variera så att man får den bästa anpassningen till de befintliga mätningarna.

Kurvorna har följande formler:

$$\begin{aligned} H_{jh} &= 1 * e^{(0,433*t)} \\ H_{jn} &= 0,5 * e^{(0,438997*t)} \\ H_{jl} &= 0,2 * e^{(0,449*t)} \\ H_h &= 160 * (1 - e^{(0,05 - 0,034089*t)}) \\ H_n &= 130 * (1 - e^{(0,15 - 0,036*t)}) \\ H_l &= 100 * (1 - e^{(0,3 - 0,046923*t)}) \end{aligned}$$

där  $H_{jh}$  = 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 och  $H_l$  = skallängd hos musslor med låg tillväxt.



**Figur 3.4. A.** Allmänna tillväxtkurvor för flodpärlmusslor yngre än 10 år; **B.** Allmänna tillväxtkurvor för flodpärlmusslor äldre än 10 år.

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

## 7.3 Resultat från kemiska analyser

Primärdata från kemiska analyser av musselskal från Simoa angivna i µg per g prov med undantag av Ca som anges i mg. Värden i tabellen som är under detektionsvärdet är angivna med röd färg.

Mussla	Årtal	Al µg/g	As µg/g	Ba µg/g	Ca mg/g	Cd µg/g	Co µg/g	Cr µg/g	Cu µg/g	Fe µg/g	Hg µg/g	K µg/g	Li µg/g	Mg µg/g	Mn µg/g	Na µg/g	Ni µg/g	P µg/g	Pb µg/g	S µg/g	Sr µg/g	Zn µg/g
Kolsrud 401	2010-2007	5,95	0,018	85,5	398	0,0417	0,0203	0,239	1,118	11,65	0,0126	27,12	0,103	16,49	274,34	1 706	1,581	50,5	0,149	214,9	305	46,63
	2006-2001	0,00	0,001	66,8	367	0,0048	0,0009	0,000	0,232	0,00	0,0014	3,24	0,059	5,69	236,49	1 482	0,005	44,2	0,014	134,6	252	0,00
	2000-1995	1,63	0,002	82,4	385	0,0105	0,0011	0,004	0,102	0,01	0,0056	3,54	0,094	4,87	342,87	1 577	0,023	56,6	0,021	132,0	284	0,00
	1994-1988	0,00	0,004	63,9	374	0,0115	0,0051	0,158	0,353	1,75	0,0023	3,74	0,065	7,80	116,76	1 395	0,046	31,5	0,036	145,3	238	0,00
	1987-1981	0,14	0,006	80,6	372	0,0220	0,0019	0,000	0,178	0,00	0,0048	6,63	0,078	7,74	246,00	1 435	0,036	53,1	0,067	183,9	251	0,00
	1980-1975	0,82	0,005	59,4	359	0,0239	0,0025	0,000	0,622	0,06	0,0031	4,93	0,065	7,62	151,22	1 514	0,032	30,6	0,065	166,2	212	0,00
	1974-1967	0,00	0,005	66,7	354	0,0096	0,0010	0,000	0,643	0,00	0,0033	3,55	0,063	5,62	166,83	1 552	0,018	39,1	0,090	167,6	217	0,00
1966-1958	0,12	0,008	57,8	347	0,0090	0,0018	0,072	0,831	0,00	0,0017	4,23	0,055	4,70	126,27	1 579	0,061	36,9	0,100	202,0	214	0,00	
Kolsrud 403	2010-2007	2,43	0,006	76,4	353	0,0078	0,0038	0,040	0,174	2,40	0,0010	6,56	0,063	6,86	288,76	1 472	0,032	49,8	0,035	127,9	282	0,00
	2006-2001	0,00	0,001	59,0	369	0,0048	0,0020	0,010	0,180	0,31	0,0019	2,35	0,060	10,21	184,01	1 390	0,004	42,9	0,016	123,7	248	0,00
	2000-1995	0,24	0,004	69,4	365	0,0064	0,0330	0,000	0,179	2,20	0,0017	2,09	0,060	8,64	174,63	1 408	0,057	42,5	0,017	135,4	258	0,00
	1994-1988	1,17	0,005	78,8	361	0,0166	0,0047	0,241	0,088	2,10	0,0027	3,79	0,054	9,79	294,33	1 339	0,030	64,7	0,026	139,9	266	0,00
	1987-1981	1,72	0,008	75,8	352	0,0182	0,0019	0,024	0,181	0,50	0,0035	2,47	0,056	12,04	140,47	1 212	0,048	45,3	0,030	375,4	242	0,00
	1980-1975	24,40	0,007	78,8	359	0,0067	0,0060	0,639	0,278	13,87	0,0091	1,86	0,059	10,22	199,81	1 307	0,229	51,0	0,053	156,9	243	0,00
	1974-1967	0,38	0,004	90,7	341	0,0065	0,0060	0,210	0,118	1,44	0,0055	1,53	0,057	6,71	206,00	1 368	0,052	36,6	0,049	128,7	248	0,00
1966-1958	0,00	0,002	71,3	361	0,0069	0,0017	0,057	0,216	1,65	0,0058	2,22	0,047	7,99	197,93	1 417	0,096	27,5	0,044	126,1	225	0,09	
1957-1942	0,00	0,002	38,7	327	0,0074	0,0027	0,000	0,494	0,97	0,0020	2,19	0,037	7,78	77,13	1 403	0,018	29,1	0,043	151,7	182	0,00	
Kolsrud 404	2010-2007	0,95	0,017	117,4	364	0,0137	0,0119	0,315	0,263	5,26	0,0036	3,14	0,039	8,31	418,52	1 438	0,196	47,5	0,054	131,9	340	0,49
	2006-2001	3,97	0,009	104,5	380	0,0069	0,0021	0,091	0,307	4,49	0,0008	3,82	0,051	10,86	320,28	1 376	0,080	80,3	0,028	190,3	321	0,15
	2000-1995	0,00	0,006	107,6	359	0,0079	0,0000	0,000	0,049	0,05	0,0011	2,26	0,036	9,25	424,35	1 409	0,025	46,9	0,045	143,2	313	0,00
	1994-1988	1,10	0,011	107,2	340	0,0111	0,0027	0,028	0,240	0,52	0,0025	2,64	0,026	9,42	222,33	1 243	0,054	49,5	0,064	161,2	269	0,00
	1987-1981	1,14	0,006	97,8	342	0,0088	0,0052	0,379	0,528	3,08	0,0014	2,17	0,034	7,95	179,41	1 244	0,071	33,6	0,121	139,4	247	0,00
	1980-1967	0,98	0,007	77,1	335	0,0068	0,0027	0,065	0,246	1,45	0,0000	2,87	0,037	6,88	259,25	1 368	0,031	27,1	0,072	130,7	214	0,65
	1966-1958	4,05	0,006	54,1	341	0,0058	0,0047	0,364	0,354	5,91	0,0007	1,89	0,030	6,68	203,97	1 458	0,114	26,9	0,045	146,5	202	0,00
1957-1942	0,37	0,013	43,8	332	0,0073	0,0012	0,031	0,770	0,86	0,0018	3,21	0,024	8,26	96,32	1 535	0,014	24,7	0,075	211,6	212	0,00	
Solemoa 2	2010-2007	4,85	0,003	62,9	357	0,0101	0,0021	0,000	0,125	1,52	0,0026	2,97	0,069	5,47	236,43	1 518	0,648	22,2	0,038	117,0	218	0,00
	2006-2001	0,00	0,000	66,3	338	0,0101	0,0014	0,000	0,049	0,00	0,0018	2,30	0,064	4,05	402,24	1 585	0,052	29,2	0,036	143,1	219	0,00
	2000-1995	0,00	0,005	92,0	353	0,0125	0,0019	0,054	0,006	0,00	0,0012	3,75	0,062	4,74	516,09	1 583	0,052	40,0	0,046	151,3	256	0,00
	1994-1988	0,00	0,001	78,5	347	0,0099	0,0010	0,027	0,144	0,00	0,0000	2,17	0,059	6,80	339,92	1 454	0,080	38,0	0,051	144,9	230	0,33
	1987-1981	0,00	0,002	58,7	337	0,0057	0,0007	0,000	0,322	0,00	0,0010	2,50	0,060	6,96	102,27	1 268	0,017	17,5	0,059	139,1	206	0,00
	1980-1975	0,00	0,001	59,6	334	0,0114	0,0012	0,005	0,221	0,00	0,0014	2,31	0,051	4,41	256,60	1 472	0,055	29,5	0,094	173,2	197	0,02
	1974-1967	0,00	0,002	50,8	321	0,0121	0,0029	0,203	0,478	0,84	0,0005	2,25	0,052	4,83	111,51	1 473	0,013	24,6	0,127	182,9	194	0,00
1966-1958	17,55	0,003	52,5	324	0,0095	0,0024	0,112	0,486	0,59	0,0011	3,94	0,051	4,42	126,20	1 502	0,052	29,7	0,122	208,9	197	0,00	
Solemoa 13	2010-2007	6,70	0,017	87,8	364	0,0294	0,0134	0,165	0,224	4,18	0,0128	17,28	0,073	17,44	324,69	1 647	0,257	0,0	0,152	145,6	284	20,66
	2006-2001	0,00	0,003	74,1	330	0,0048	0,0017	0,019	0,123	0,03	0,0006	2,55	0,036	9,75	342,24	1 447	0,031	30,3	0,034	142,0	227	0,83
	2000-1995	3,40	0,002	105,3	328	0,0091	0,0027	0,065	0,106	4,15	0,0009	4,94	0,044	10,26	524,73	1 423	0,104	47,7	0,051	154,4	260	0,44
	1994-1988	0,00	0,008	85,1	349	0,0087	0,0034	0,000	0,171	0,00	0,0005	3,15	0,049	11,51	367,99	1 429	0,040	29,4	0,039	149,1	239	0,00
	1987-1981	0,39	0,002	86,5	336	0,0085	0,0023	0,014	0,174	0,25	0,0011	4,46	0,059	10,92	250,59	1 434	0,034	52,5	0,067	189,4	233	1,82
	1980-1975	29,37	0,003	62,4	343	0,0066	0,0054	0,433	0,491	11,92	0,0013	2,70	0,040	10,30	205,16	1 488	0,488	27,8	0,076	151,3	195	0,99
	1974-1967	0,23	0,003	60,3	325	0,0045	0,0005	0,000	0,238	0,05	0,0000	2,36	0,044	8,08	172,72	1 444	0,087	26,8	0,097	155,5	197	0,00
1966-1958	0,00	0,003	43,6	295	0,0026	0,0003	0,000	0,582	0,00	0,0008	3,36	0,035	8,83	80,74	1 471	0,037	19,3	0,069	160,4	177	0,21	
Solemoa 15	2010-2007	0,00	0,007	76,1	334	0,0343	0,0058	0,000	0,299	0,10	0,0030	4,65	0,043	8,49	284,06	1 407	0,184	44,0	0,050	190,9	229	0,40
	2006-2001	0,00	0,005	57,4	294	0,0073	0,0029	0,020	0,115	0,00	0,0017	1,73	0,040	5,52	180,91	1 225	0,099	25,8	0,023	149,6	194	0,00
	2000-1995	0,00	0,001	67,5	297	0,0226	0,0022	0,000	0,060	0,00	0,0011	1,74	0,037	5,24	257,17	1 286	0,066	34,7	0,028	131,8	201	0,00
	1994-1988	0,00	0,006	59,3	280	0,0272	0,0027	0,008	0,177	0,00	0,0031	2,07	0,039	6,71	157,39	1 156	0,117	37,4	0,031	159,4	185	0,00
	1987-1981	4,46	0,004	48,7	307	0,0075	0,0082	0,617	0,348	3,54	0,0030	2,77	0,052	6,16	70,07	1 269	0,213	7,6	0,058	159,2	184	0,00
	1980-1975	0,23	0,005	50,7	342	0,0109	0,0057	0,000	0,312	2,90	0,0067	4,30	0,038	8,29	105,37	1 450	0,040	1,5	0,072	254,0	213	1,92
	1974-1967	2,69	0,063	57,3	291	0,0065	0,0029	0,082	0,224	0,42	0,0019	3,34	0,033	4,55	112,19	1 318	0,047	19,2	0,099	184,2	189	0,18
1966-1958	0,00	0,007	44,4	293	0,0048	0,0043	0,000	0,358	0,00	0,0028	4,41	0,022	4,15	82,24	1 481	0,003	23,1	0,101	230,1	188,	0,63	
Detektionsgräns		0,56	0,070	0,036	28,0	0,0056	0,0112	0,0140	0,056	0,358	0,0028	14,0	0,084	0,98	0,0168	28,0	0,042	3,5	0,0056	56	0,07	0,070









*Norsk institutt for naturforskning (NINA) er et nasjonalt og internasjonalt kompetansesenter innen naturforskning. Vår kompetanse utøves gjennom forskning, utredningsarbeid, overvåking og konsekvensutredninger.*

*NINAs primære aktivitet er å drive anvendt forskning. Stikkord for forskningen er kvalitet og relevans, samarbeid med andre institusjoner, tverrfaglighet og økosystemtilnærming. Offentlig forvaltning, næringsliv og industri samt Norges forskningsråd og EU er blant NINAs oppdragsgivere og finansieringskilder.*

*Virksomheten er hovedsakelig rettet mot forskning på natur og samfunn, og NINA leverer et bredt spekter av tjenester gjennom forskningsprosjekter, miljøovervåking, utredninger og rådgiving.*

ISSN:1504-3312  
ISBN: 978-82-426-2516-8

## Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Sluppen, NO-7485 Trondheim

Besøks/leveringsadresse: Tungasletta 2, NO-7047 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01

E-post: [firmapost@nina.no](mailto:firmapost@nina.no)

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>

Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger