



Bottenundersökningar i Upplands, Stockholms, Södermanlands och Östergötlands skärgårdar 2008-2009

Återbesök i 1990-talets
studieområden

Magnus Karlsson och Mikael Malmaeus, IVL
Emil Rydin, Uppsala universitet
Per Jonsson, Stockholms universitet
B1928
November 2010

Rapporten godkänd
2010-11-15

Lars-Gunnar Lindfors
Forskningsdirektör

<p>Organisation</p> <p>IVL Svenska Miljöinstitutet AB</p>	<p>Rapportsammanfattning</p>
<p>Adress</p> <p>Box 21060 100 31 Stockholm</p>	<p>Projekttitel</p> <p>Har skärgårdens botten tillfrisknat</p>
<p>Telefonnr</p> <p>08-598 563 00</p>	<p>Anslagsgivare för projektet</p> <p>Svenskt Vatten Utveckling, Regionplanekontoret Stockholms läns landsting via Svealands kustvattenvårdsförbund, Länsstyrelsen i Östergötlands län via Motala ströms vattenvårdsförbund, Naturvårdsverket</p>
<p>Rapportförfattare</p> <p>Magnus Karlsson och Mikael Malmaeus, IVL Emil Rydin, Uppsala universitet och Per Jonsson Stockholms universitet</p>	
<p>Rapporttitel och undertitel</p> <p>Bottenundersökningar i Upplands, Stockholms, Södermanlands och Östergötlands skärgårdar 2008-2009 Återbesök i 1990-talets studieområden</p>	
<p>Sammanfattning</p> <p>När sedimentundersökningar av ett stort antal fjärdar i Östersjöns skärgårdsområden genomfördes under 1990-talet konstaterades att högre djurliv saknades i en majoritet av de undersökta områdenas djupare liggande botten och att detta sannolikt hade sin förklaring i syrgasbrist. Detta tolkades huvudsakligen som en effekt av den storskaliga övergödningen av Östersjön som orsakat en förhöjd tillförsel av organiskt material till bottenarna. I denna studie har ett antal av de fjärdar som undersöktes under 1990-talet återbesökts och nya sedimentkärnor har insamlats under 2008 och 2009. Resultaten visar att i ett antal av de fjärdar där förekomsten av laminerade (varviga) sediment var påtaglig under 1990-talet, indikerande avsaknad av bottenfauna, har det skett en övergång till bioturberade och oxiderade sediment. Förändringen av redoxförhållandena skulle kunna förklaras av en eller flera av följande faktorer 1) successiv nedbrytning av historiska utsläpp av organiskt material, 2) minskad lokal tillförsel av näringsämnen resulterande i en minskad primärproduktion och sedimentation av organiskt material, 3) bioturbation genom kolonisation av den syretåligen och invaderande havsborstmasken <i>Marenzelleria</i>. Förändringarnas geografiska fördelning, samvariationen med bottenfaunans sammansättning och det faktum att inga betydande förändringar noterats i den överliggande vattenmassans syrgaskoncentrationer, där sådana data funnits att tillgå, talar för att expansionen av <i>Marenzelleria</i> är den viktigaste orsaken bakom förändringarna.</p>	
<p>Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren</p> <p>sediment, syrgasbrist, laminering, bottenfauna, <i>Marenzelleria</i>, fosfor, Östersjön, skärgårdar</p>	
<p>Bibliografiska uppgifter</p> <p>IVL Rapport B1928</p>	
<p>Rapporten beställs via</p> <p>Hemsida: www.ivl.se, e-post: publicationservice@ivl.se, fax 08-598 563 90, eller via IVL, Box 21060, 100 31 Stockholm</p>	

Förord

Under 1990-talet genomfördes omfattande sedimentologiska karteringar och undersökningar av ett femtiotal fjärdar längs den svenska Östersjökusten från Höga kusten i norr till Gryts skärgård i söder. Undersökningarna visade att bottenarna i Egentliga Östersjöns skärgårdsområden var kraftigt påverkade av övergödning. Syrgasfattiga bottenar med avsaknad av högre djurliv påträffades i de djupare delarna av i stort sett alla undersökta fjärdar. Under 2008 och 2009 har ett trettiotal av de tidigare karterade områdena återbesökts i syfte att undersöka om några förändringar av bottenförhållandena inträffat under det senaste decenniet. Föreliggande rapport är en sammanställning av dessa undersökningar.

Rapporten har sammanställts vid IVL Svenska Miljöinstitutet av professor Per Jonsson, Institutionen för tillämpad miljövetenskap, Stockholms universitet, tekn. lic. Magnus Karlsson och tekn. Dr Mikael Malmaeus, IVL. Sedimentkemiska analyser har utförts vid Erkenlaboratoriet, Uppsala universitet.

Vi vill tacka Hannes Elving och Dan Lindgren, Uppsala universitet för kartframställning, Tomas Viktor IVL för bottenfaunabestämningar och Anna-Lisa Broström, IVL för layout.

Följande personer har tillgängliggjort bottenfaunadata och till dem vill vi rikta ett stort tack:

Therese Jost, Hallsta pappersbruk
Sarah Josefsson, Umeå universitet
Anders Stehn, Eurofins Environment

Christer Lännergren, Stockholm Vatten tackas för tillhandahållande av vattenkemisk/fysikalisk databas från Stockholms skärgård.

Vi vill också tacka besättningen på R/V Sunbeam för goda insatser i samband med fältarbetet.

Studien har genomförts med ekonomiskt stöd från Naturvårdsverket, Svenskt Vatten Utveckling, Regionplanekontoret Stockholms läns landsting via Svealands kustvattenvårdsförbund, Länsstyrelsen i Östergötlands län via Motala ströms vattenvårdsförbund och Stiftelsen Institutet för Vatten och Luftvård.

Fotografiet på framsidan är taget från däck av R/V Sunbeam under en natt till ankars i Sankt Anna skärgård i augusti 2009.

Stockholm i november 2010.

Innehållsförteckning

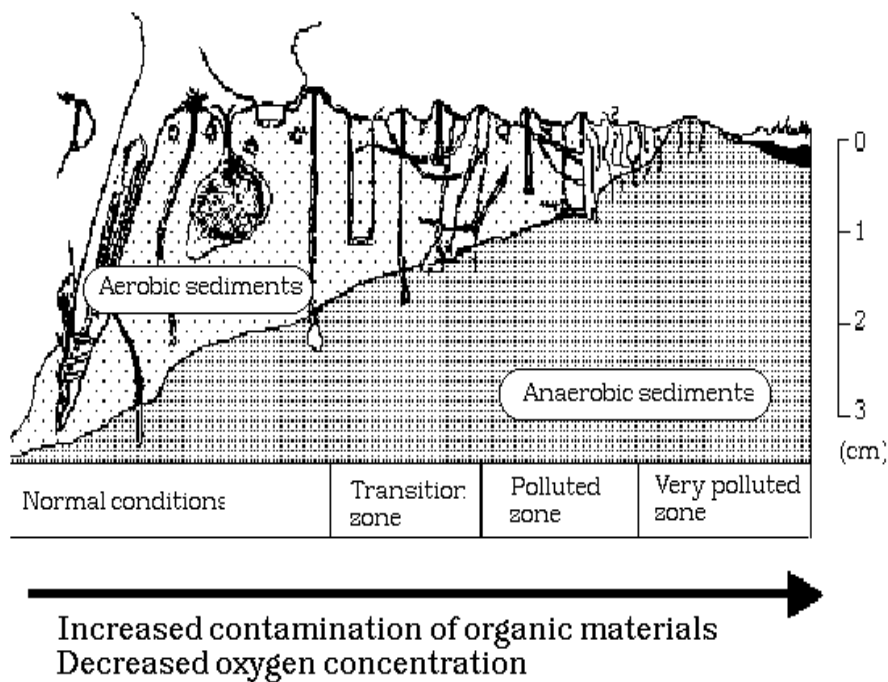
1	Bakgrund.....	3
2	Material och Metoder	6
2.1	Sedimentprovtagning.....	6
2.2	Bottenfauna.....	8
2.3	Fosfor.....	8
3	Upplandskusten	9
3.1	Kallrigafjärden	9
3.2	Singöfjärden	11
3.2.1	Norra Singöfjärden.....	12
3.2.2	Södra Singöfjärden	14
3.3	Norrtäljeviken.....	17
4	Stockholms skärgård.....	21
4.1	Strömmen (Saltsjön)	23
4.2	Lilla och Stora Värtan.....	25
4.3	Askrikefjärden.....	26
4.4	Torsbyfjärden & Solöfjärden.....	27
4.5	Trälhavet och Östra Saxarfjärden.....	28
4.6	Baggensfjärden.....	30
4.7	Erstaviken.....	32
4.8	Sandemarsfjärden.....	33
4.9	Träsköfjärden/Edöfjärden.....	33
4.10	Gälnan.....	34
4.11	Älgöfjärden.....	35
4.12	Möja Söderfjärd	37
4.13	Norrfjärden/Pilkobbsfjärden	38
4.14	Bulleröfjärden	39
5	Södermanlandskusten.....	40
5.1	Näslandsfjärden	40
5.2	Himmerfjärden	43
5.3	Tvären	47
5.4	Stussviken	49
6	Sankt Anna och Gryts skärgårdar.....	53
6.1	Lönshuvudfjärden	53
6.2	Slätbaken.....	55
6.3	Aspöfjärden.....	58
6.4	Trännöfjärden.....	60
6.5	Kärrfjärden och Hafjärden	63
6.6	Hålfjärden.....	65
6.7	Gropviken och Lindersfjärden.....	67
6.8	Kullskärsdjupet.....	70
6.9	Orren och Dalvåmmen	72
6.10	Bondekrok.....	76
7	Sammanfattande diskussion och slutsatser	79
8	Referenser.....	86
9	Termlista och introduktion till sedimentförhållanden i Östersjön.....	88
Bilaga 1	Bottenfaunadata	92
Bilaga 2	Sedimentkemiska analyser	96

1 Bakgrund

Den av övergödning betingade syrgasbristen som drabbat ett stort antal kust- och havsområden utgör ett av de allvarligaste hoten mot de marina ekosystemen (Diaz & Rosenberg, 2008). Under 1990-talet konstaterades att på betydande arealer av bottenarna i egentliga Östersjöns skärgårdsområden avsattes laminerade sediment (Jonsson et al., 2003). Detta är vanligtvis en indikation på ansträngda syrgasförhållanden. Varviga (laminerade) sediment avsätts när det bottenlevande djursamhället inte förmår blanda om lagerföljden så att årstidsskillnader i sedimentationen jämnas ut (**Fig. 1**). De ansträngda syrgasförhållandena beror i sin tur av att produktionen av organiskt material ökat till följd av övergödningen i Östersjön. När det organiska materialet sjunker till botten och börjar brytas ned konsumeras syrgas i sådan omfattning att syrgasförrådet i bottenvattnet utarmas och den makroskopiska bottenfaunan slås ut (**Fig. 2**).



Figur 1 Laminerad sedimentkärna från Gårdsfjärden 2002. Från Jonsson (2002).



Figur 2 Principskiss över bottenfaunans förändring när redoxpotentialen i sedimenten sjunker. Från Pearson och Rosenberg (1976).

När studien av skärgårdarnas botten längs den svenska ostkusten inleddes 1992 var hypotesen att situationen i kustområdena skulle vara avsevärt bättre än i öppet hav tack vare de omfattande reningsåtgärderna i svenska kommunala reningsverk och industrier under de senaste decennierna. De studier som genomfördes vid Uppsala universitet under 1990-talet visade emellertid på motsatsen. Omfattande förändringar hade skett i stort sett i alla de undersökta 51 fjärdarna från Höga kusten i norr till Gryt i söder (Jonsson et al., 2003). I samband med undersökningarna genomfördes karteringar med sidtittande sonar och sedimentekolod samt sedimentprovtagning från fler än 400 stationer. Utifrån detta beräknades utbredningen av olika botten typer och bedömningar gjordes av hur stora områden som vid tiden för undersökningarna hade ansträngda syrgasförhållanden liksom hur detta varierat ur ett historiskt perspektiv. Sedimenttillväxten bestämdes genom dateringar med radiocesium-aktiviteter respektive mätning av varvtjocklekar där laminerade sediment förelåg. I **Tabell 1** redovisas en sammanställning av botten dynamiska data från respektive fjärdområde. Områdesindelningen följer i stort den officiella havsindelningen från SMHI men mindre avvikelser förekommer. I kapitel 9 ges en allmän introduktion till sedimentförhållanden i Östersjön där även de termer som används i **Tabell 1** förklaras.

Under 2008 och 2009 har ett trettiotal av de tidigare karterade områdena återbesökts i syfte att undersöka om några förändringar av bottenförhållandena inträffat under det senaste decenniet. Föreliggande rapport utgör en sammanställning av de nya undersökningar som genomförts samt jämförelser med historiska data.

Tabell 1 Bottendynamiska data från 43 skärgårdsfjärdar från den svenska Östersjökusten. Från Jonsson et al. (2003).

Område/Fjärd	Andel A-bottnar (%)	Sediment-fokuseringsfaktor	Sedimenttillväxt i ytsediment (0-5 cm) (mm år ⁻¹)	ts-deposition (g m ⁻² år ⁻¹ A-botten)	ts-deposition (g m ⁻² år ⁻¹ fjärddyta)	Koldeposition (g m ⁻² år ⁻¹ fjärddyta)	Antal kärnor
Ångermanfjorden	71	1,4	7 (5-34)	2500	1800	60	16
N. Singöfjärden	48	2,1	27 (18-38)	4100	1950	120	4
S. Singöfjärden	15	6,7	30 (5-50)	2950	440	20	5
Norrhåljeviken	38	2,6	28 (5-50)	4190	1610	75	5
Ö Saxarfjärden	58	1,7	10-30	3740	2160	120	5
Trälhavet	24	4,2	11 (5-17)	2890	690	40	2
V Saxarfjärden	41	2,4	17 (15-19)	3360	1400	90	2
Vaxholmsfjärden	33	3,1	10	650	210	15	2
Solöfjärden	79	1,3					
Höggarnsfjärden	36	2,8					
Torsbyfjärden	50	2	11 (7-24)		1000	50	8
Lilla Värtan	49	2,1					
Halvkakssundet	44	2,3					
Saltsjön	50	2	37	800	400	35	1
Älgöfjärd	48	2,1	17 (5-30)	1550	740	40	3
Farstaviken	39	2,5					
Baggensfjärden	45	2,2	19 (10-31)				3
Erstaviken	45	2,2	10-30	2900	1320	120	10
Skatfjärden	41	2,4					
Gälnan	51	1,9	12 (7-16)	1830	940	50	3
Edöfjärden	40	2,5	20 (11-35)	2080	830	60	4
Träsköfjärden	39	2,6					
Nassarfjärden	42	2,4	14 (7-23)	2900	1200	68	5
Skagsfjärden	32	3,2					
Möja Söderfjärd	47	2,1					
Kanholmsfjärden	47	2,1	5-15				5
Bulleröfjärden	38	2,6	18 (13-29)	2500	960	60	3
Näslandsfjärden	49	2	10-30	3180	1570	80	4
Himmerfjärden	21	4,8	10-70	4000	830	40	4
Tvären	59	1,7					
Stussviken	66	1,5					
Slätbaken	57	1,7					
Lönshuvudfjärden	29	3,5	8 (1-25)	1240	360	20	4
Aspöfjärden	32	3,2	4 (1-10)	850	270	19	4
Trännöfjärden	48	2,1	8 (4-30)	1770	840	55	5
Kärrfjärden	15	6,7	(3-10)	501	70	40	3
Hålfjärden	27	3,7	(1-5)	760	200	60	1
Gropviken	51	2	16 (2-37)	1650	840	110	5
Lindersfjärden	59	1,7					
Kullskärsdjupet	32	3,2	17 (8-40)	2260	720	50	8
Orren	38	2,7					
Dalvämnen	42	2,4					
Bondekrok	34	3					
Medelvärde	43	2,6	17	2300	930	60	
SD (%)	31	44	51	50	61	53	

2 Material och Metoder

2.1 Sedimentprovtagning

I denna studie har följande definition av botten typer enligt Håkanson & Jansson (1983) använts:

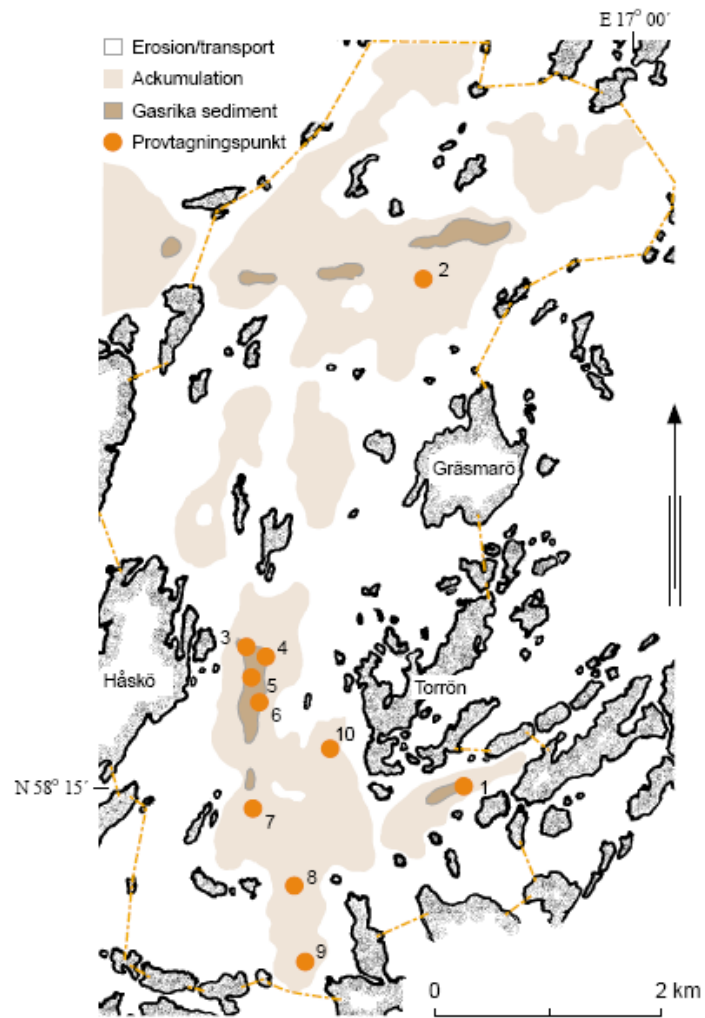
- **Akkumulationsbottnar** är bottnar där finmaterial kontinuerligt deponeras.
- **Transportbottnar** är bottnar med oregelbunden deposition och borttransport av finmaterial och blandade sediment.
- **Erosionsbottnar** är bottnar där grövre material (> 0,06 mm) dominerar.

Sedimentprovtagning har företrädesvis genomförts på akkumulationsbottnar. Akkumulationsbottnar består av finmaterial som gyttjelera och leryttja och har höga vattenhalter. Ibland kan gränsen mellan sediment och vatten vara svår att avgöra på grund av den höga vattenhalten i ytsedimentet. Vanligen finner man de högsta halterna av de flesta substanser i akkumulationsbottnarna. Dessa bottnar innehåller även naturligt hög halt organiskt material. Hög halt av organiskt material kräver mycket syrgas vid nedbrytningsprocesserna vilket innebär att områden med stor andel akkumulationsbottnar är särskilt känsliga för extra belastning av syrgaskrävande organiskt material.

Sedimentprovtagning har till största delen utförts vid stationer som tidigare undersökts och där de bottedynamiska förhållandena är kända. I samband med undersökningarna på 1990-talet genomfördes kartering av de studerade fjärdarna med hydroakustiska instrument (sidtittande sonar, sedimentekolod och navigationsekolod) och så kallade bottedynamiska kartor upprättades (**Fig. 3**). Verifierande sedimentprovtagning utfördes också i de flesta områden för att kontrollera och eventuellt justera gränserna mellan olika botten typer.

För insamling av sedimentkärnor användes huvudsakligen en Geminihämtare (**Fig. 4**). Denna provtagare utvecklades under början av 1990-talet av den finske sedimentologen Lauri Niemistö. Hämtaren består av ett metallskelett i vilken man fäster två plaströr som medger fri vattenpassage på nedvägen. Två utfällda armar fungerar som låsmekanismer och slår igen då provtagaren tas upp. Detta förhindrar att sedimenten rinner ur provtagaren. Den är lätt att använda, framförallt på mjukbottnar, men kan även nyttjas på något hårdare sediment då det går att hänga på extra vikter. Provtagningsrören är genomskinliga, vilket medger en första kontroll av sedimentpropparnas utseende på plats i fält. Rören är 80 cm långa och har en innerdiameter på 80 mm, vilket medger att relativt stora mängder prov kan tas ut för analys. Den stora fördelen med Geminihämtaren är att den tar två sedimentproppar samtidigt. Därmed kan en propp snittas direkt i fält och den andra kan tas med hem till laboratoriet och användas för beskrivning av lagerföljder etc. Därutöver användes en mindre rörprovtagare av typen Willner samt en modifierad ponarhämtare respektive Ekmanhuggare för ytsedimentprovtagning.

Insamlade kärnor förvarades intakta i kyl +4°C. I laboratoriet placerades kärnorna i frysbox i cirka två timmar innan de klövs i två vertikala halvkor. Därefter beskrevs och fotograferades halvorna med digitalkamera (4 mega pixlars upplösning). Lamineringsmönster och övriga egenskaper (färg, textur, struktur, lukt m.m.) jämfördes sedan med motsvarande protokoll och bilder från 1990-talet.



Figur 3 Exempel på botten-dynamisk karta visande fördelningen mellan olika botten-typer. Från Jonsson et al. (2003).



Figur 4 Geminihäm-taren redo att firas ned.

2.2 Bottenfauna

För insamling av bottenfauna användes Ekmanhuggare med känd öppningsarea. Proverna sållades genom 1 mm såll innan djur avlägsnades och konserverades i sprit med tillsats av bengalrosa. I laboratoriet bestämdes, taxa, individtäthet och biomassa i g våtvikt (vv)/m². Samtliga egna analyser av bottenfauna redovisas i **Bilaga 1**.

2.3 Fosfor

I de flesta insamlade sedimenten har fosfor analyserats dels i ytsediment (0-2 cm) och dels på en eller flera djupare nivåer (ner till 70 cm). Rörlig fosfor, som förr eller senare återförs till vattenmassan, återfinns normalt ovanför 10 cm sedimentdjup. Studier har visat att fosforhalten i djupsediment varierar tämligen lite runt medelvärdet 1000 mg/kg TS (torrsubstans), och att den del av fosforinnehållet i ytligare sediment som överstiger 1000 mg/kg TS generellt utgörs av rörlig fosfor (Malmaeus et al., in review). Endast i enstaka prover (exempelvis Strömmen) avviker halten i djupsediment påtagligt ifrån 1000 mg/kg TS. Malmaeus et al. (in review) har vidare visat att det finns ett statistiskt (linjärt) samband mellan den totala rörliga fosformängden och halten i ytsediment (0-2 cm), vilket gör att vi grovt kan uppskatta förrådet av rörlig fosfor utifrån analyser av ytsediment från provtagningslokalerna. Sammanfattande statistik för fosforhalter i de ytsediment som insamlats från Svealands och Östergötlands kuster under 2008-2009 visas i **Tabell 2**. Sedimentkemiska analysdata inklusive totalfosfor, vattenhalt och glödförlust redovisas i **Bilaga 2**.

Tabell 2 Statistik för fosforhalter i ytsediment (normalt 0-2 cm) från Svealands och Östergötlands kuster insamlade under 2008-2009.

	Totalfosfor (mg/kg TS)
Median	1100
Medel	1380
Min	600
Max	7100
Stdav	910
n	215

3 Upplandskusten

Längs Upplandskusten har tre fjärdar studerats, nämligen Kallrigafjärden, Singöfjärden och Norrtäljeviken (Fig. 5).

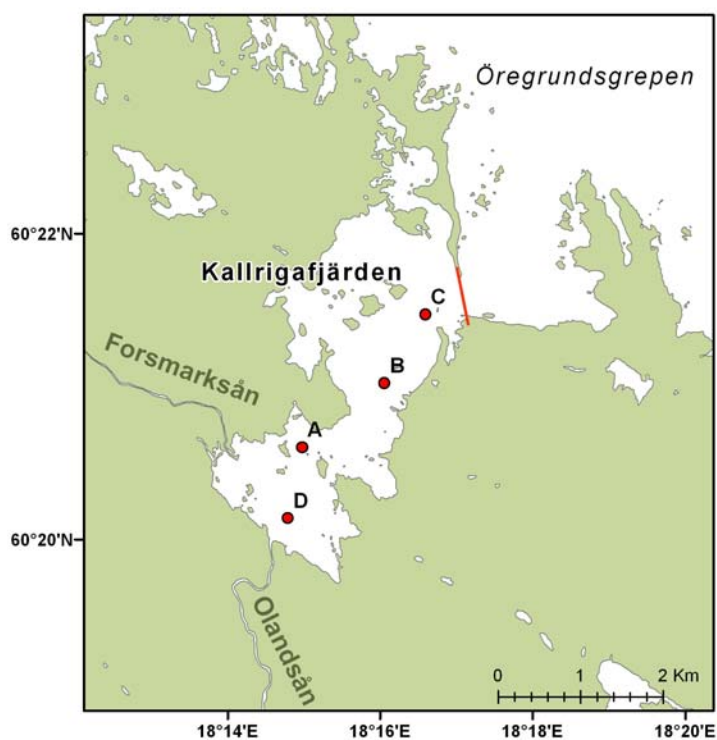


Figur 5 Undersökningsområden längs Upplandskusten

3.1 Kallrigafjärden

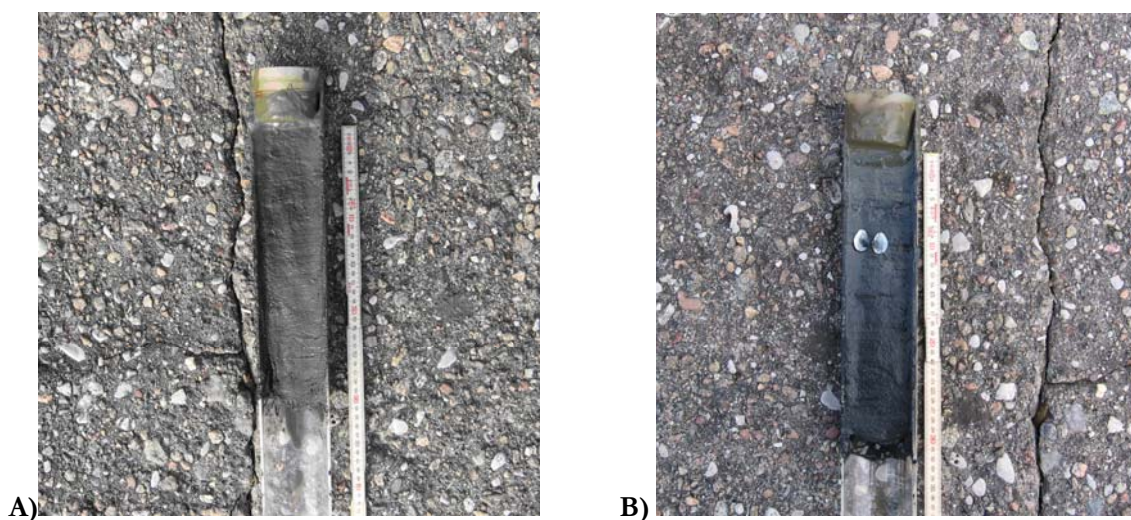
Kallrigafjärden är belägen mellan Forsmark och Öregrund längs den norduppländska kusten och gränsar mot Öregrundsgrepen, en trattliknande bukt mellan fastlandet och Gräsö (Fig. 6). Kuststräckan karakteriseras som relativt öppen, stenig och exponerad mot Bottenhavet i norr. Kallrigafjärden utgör ett av relativt få inneslutna kustområden i regionen med en tydlig avgränsning mot utanförliggande hav. Landhöjningen i området uppgår till ca 6 mm/år. Kusten är relativt flack, vilket medför att landhöjningen ger upphov till en betydande strandlinjeförskjutning. Kallrigafjärden är relativt grund med ett medeldjup på ca 2 m. Området är välundersökt beträffande vattenomsättning och sedimentförhållanden (Håkanson et al., 1984). Bottenarealen utgörs av hårdbottnar 52 %, transportzoner 42 % och 6 % av finsedimentbottnar. I Kallrigafjärden mynnar Forsmarksån och Olandsån. Fram till 1960-talet bedrevs timmerflottning i dessa vattendrag. I inre delarna av Kallrigafjärden låg ett skilje. Under flottningsepoken var den organiska belastningen på området sannolikt betydande. Under 2007 och 2008 genomfördes en studie av omsättningen av

dioxiner i Kallrigafjärdens vatten, sediment och fisk (Malmaeus & Karlsson, 2009). I samband med dessa undersökningar genomfördes sedimentprovtagning vid fyra stationer (Fig. 6).



Figur 6 Sedimentprovtagningsstationernas läge i Kallrigafjärden (A-D).

I **Figur 7** visas fotografier av sedimentkärnor från station A och B. Bägge kärnorna hade tydligt oxiderade sediment i de översta centimetrarna av kärnorna. Längre ned i kärnorna förekom dock antydning till lamineringar, vilket tyder på att syrgasförhållandena historiskt sett varit ansträngda. En möjlig förklaring till detta kan vara att den organiska belastningen sannolikt var avsevärt högre under flottningsepoken.



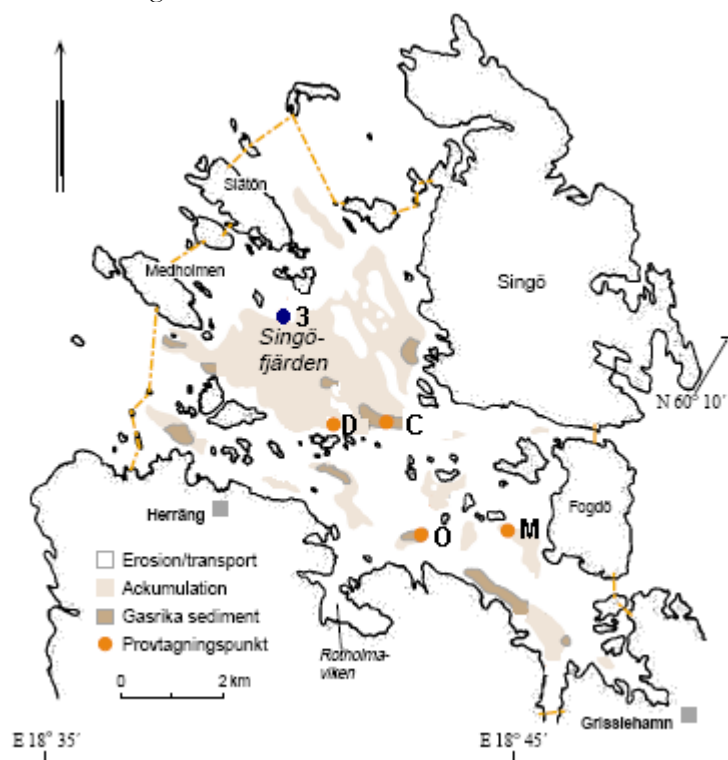
Figur 7 Foto av sedimentkärna från station A respektive B i Kallrigafjärden

Kopplat till studierna av dioxinomsättningen i Kallrigafjärden genomfördes en bottenfaunaundersökning av Umeå universitet våren 2008 (Sarah Josefsson, pers. komm.) Prover insamlades från stationerna A-C. Biomassan varierade mellan 17 och 38 g/m² medan abundansen varierade mellan 1 900 och 2 700 individer/m². Största biomassorna och högsta individtäteterna uppmättes vid station C. Vanligt förekommande taxa var havsborstmask (*Marenzelleria*), vandrarsnäcka (*Potamopyrgus antipodarum*), östersjömussla (*Macoma baltica*) och fjädermygglarv (*Chironomus*) (Sarah Josefsson, opublicerade data).

I Kallrigafjärden har två kärnor analyserats med avseende på fosfor. Till skillnad från alla övriga analyser i studien så har ytsedimenten bestått av ytskiktet 0-5 cm vilket möjligen påverkar resultaten. Eftersom fosforhalten normalt avtar nedåt i en profil så är det tänkbart att de angivna värdena är lägre än vad som skulle ha uppmätts ifall 0-2 cm analyserats. Oavsett detta så ligger halterna i ytsedimenten något under genomsnittet för området. Djupsedimenten ligger klart under genomsnittet, vilket skulle kunna tyda på att bottenarna inte är rena ackumulationsbottenar

3.2 Singöfjärden

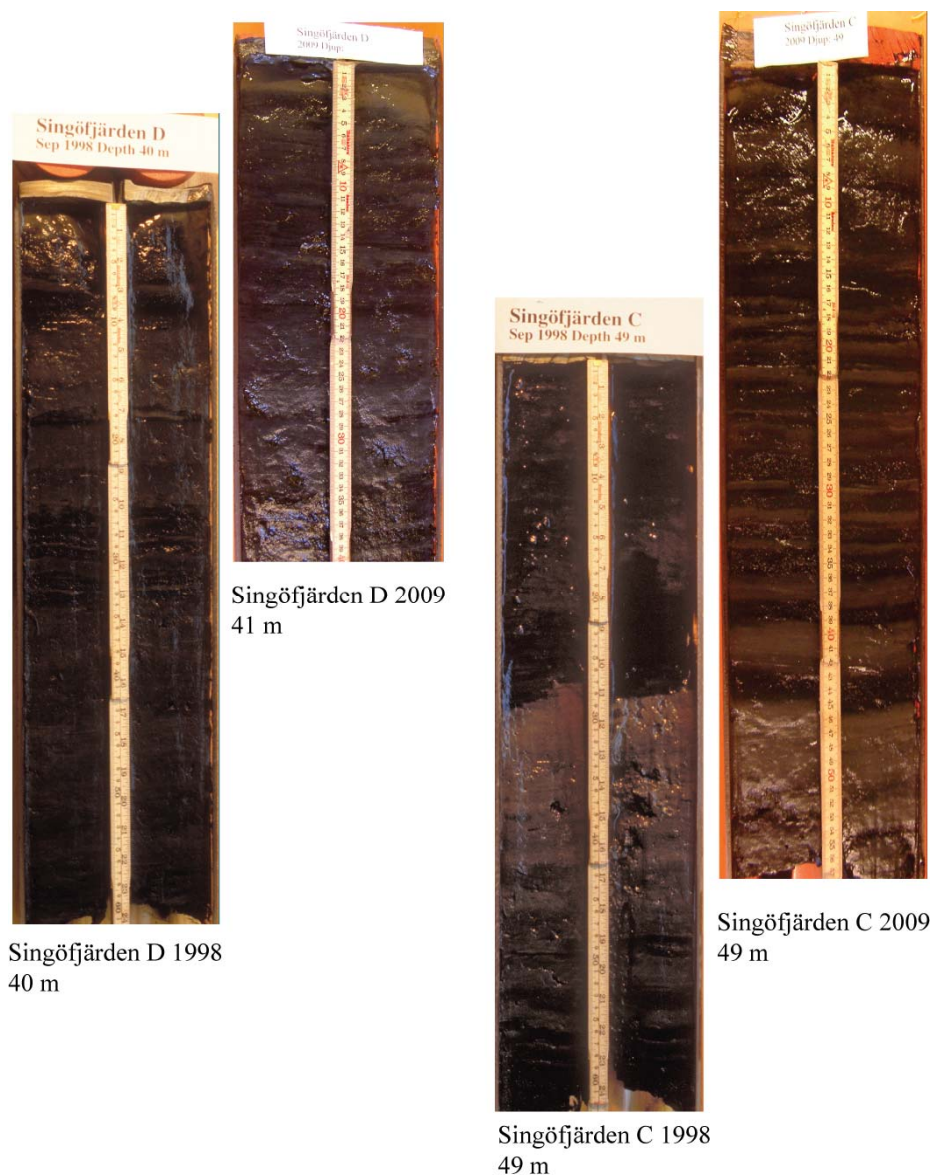
Singöfjärden kan indelas i en nordlig del med ett maximalt djup på ca 50 meter och en sydlig del som avgränsas av en rad öar mellan Fogdö och Rörskäret och som djupast är 34 m. Den landbaserade näringstillförseln till området domineras av utsläppen från Hallstaviks kommun (5400 invånare 2005) Hallsta pappersbruk, Herrängs kommunala reningsverk (840 personekvivalenter). Merparten av Norra Singöfjärden utgörs av ackumulationsbottenar medan Södra Singöfjärden karakteriseras av betydligt mindre A-bottenar. 32 % av hela Singöfjärden består av A-bottenar (Tabell 1). Gasrika sediment utgör 12 % av ackumulationsbottenarna.



Figur 8 Bottendynamisk karta över Singöfjärden med provtagningsstationer för sediment (C-M) samt bottenfauna i Hallsta pappersbruks recipientkontrollprogram (3).

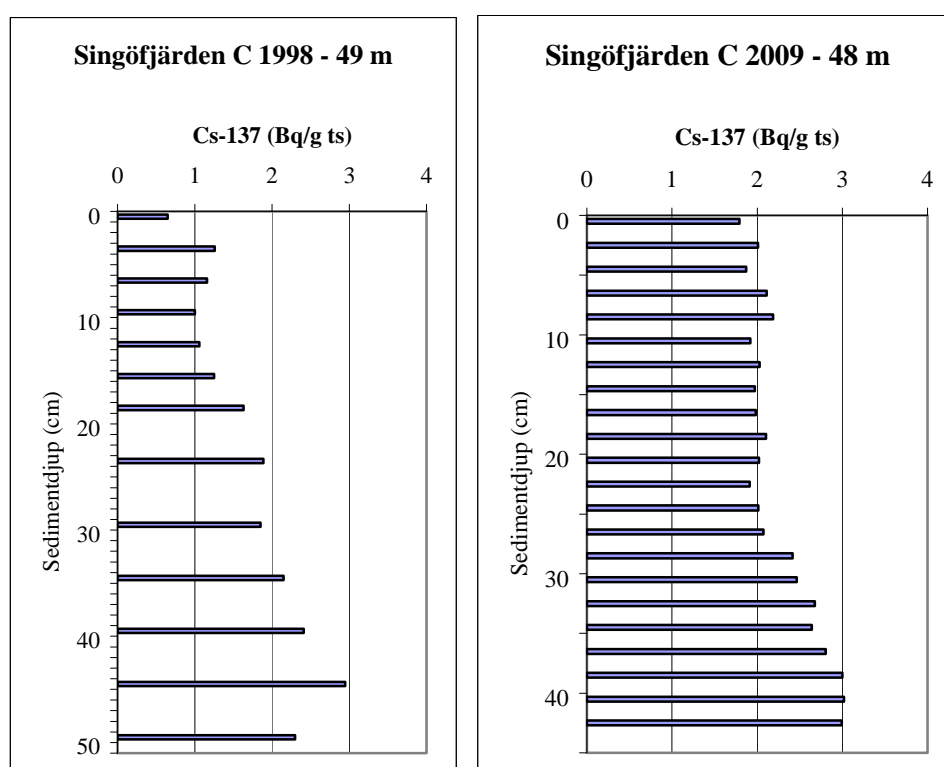
3.2.1 Norra Singöfjärden

Sedimentkärnor togs på två stationer 2009 som även provtagits 1998 (**Fig. 8**). Kärnorna från station C har ett karaktäristiskt utseende med en tydlig färgförändring vid 28-29 cm i kärnan från 1998 och vid 45 cm i kärnan från 2009. I kärnan från 1998 analyserades bland annat glödningsförlust (GF) och vattenhalt (W). I det ljusa skiktet är GF 12-13 % men ökar till drygt 16 % ovanför detta skikt. Det är också tydligt att i såväl station C som D är den översta delen av sedimentpelaren mer eller mindre omblandad (bioturberad). Det omblandade skiktet i station C har en mäktighet på 8-10 cm och i station D 5-6 cm. I Singöfjärden C är den övre delen av sedimentpelaren mörk och diffusa varvstrukturer framträder. I kärnorna från station D är de översta 5-6 cm omblandade i såväl kärnan från 1998 och kärnan från 2009. En klar förbättring av syresituationen tycks sålunda ha inträffat på djup större än 40 m sedan 1998.



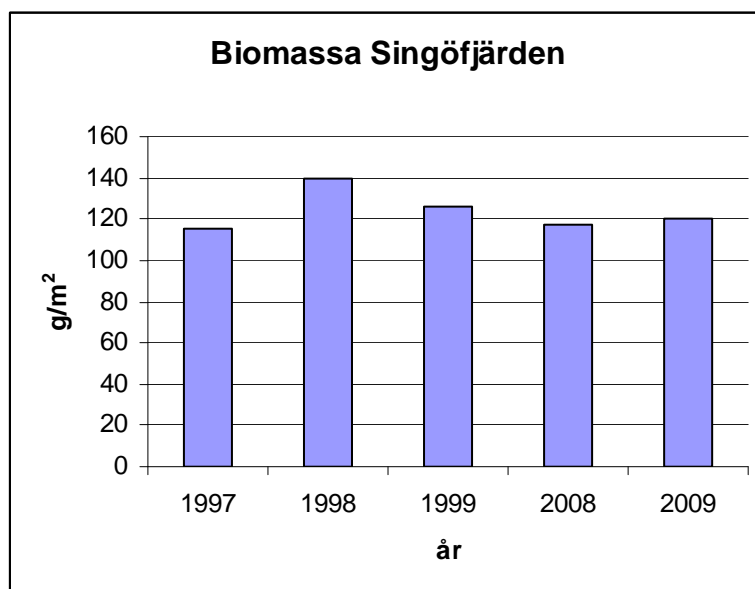
Figur 9 Jämförelse mellan kärnor i Norra Singöfjärden från provtagningar 1998 och 2009. Kärnorna har konnekterats tidsmässigt genom identifierbara sedimenthorisonter och antal årsvarv.

Sedimenttillväxten är mycket hög på station C vilket framgår tydligt av cesiumprofilerna i **Figur 10**. Piken som motsvarar Chernobylutsläppet 1986 tycks i kärnan från 1998 ligga på 44 cm eller mer vilket motsvarar en genomsnittlig sedimenttillväxt på 37 mm eller mer vilket i jämförelse med andra fjärdområden längs den svenska ostkusten (**Tab. 1**) är mycket högt. Högre eller likvärdig tillväxttakt har endast noterats i en handfull fjärdar av totalt 43 undersökta. Det är därför inte förvånande att Chernobylpiken inte nås i kärnan från 2009. Den ligger sannolikt på större sedimentdjup än 60 cm. Om vi förutsätter att övergången från ljus till mörkt sediment som noterades i kärnorna från station C är samtidig i de båda kärnorna, har 16-17 cm avsatts sedan 1998, vilket motsvarar en sedimenttillväxt på 15-16 mm/år, vilket är avsevärt lägre än vad cesiumdateringen 1998 visade. Anledningen till detta är högst osäker men kan ha klimatologiska orsaker. Det har tidigare för öppna Östersjön visats att tillväxten till stor dels styrs av frekvensen kulingstyrkor (≥ 14 m/s) under ett år och kan variera mellan år med en faktor av 5 eller mer (Eckh ell et al., 2000). Likartade resultat har erhållits vid studier i Stockholms skärgård (Andersson, 2000) men då för vindstyrkor ≥ 6 m/s.



Figur 10 Aktivitetsprofiler för Cs-137 i sedimentkärnor från Norra Singöfjärden C. Provtagningsår 1998 från Anon. (1998). Provtagningsår 2009 från denna undersökning.

Bottenfaunans täthet och sammans tning undersöktes i juli 2009 vid station C (50 meters djup). Enbart ett replikat insamlades. I provet påträffades havsborstmask (*Marenzelleria neglecta*) med en individtäthet på 2840 djur/m² och en biomassa på ca 37 g vv/m². Bottenfaunan i Singöfjärden och angränsade fjärdar undersöks också årligen genom Hallsta pappersbruks recipientkontrollprogram. I **Figur 11** jämförs uppmätta biomassor vid station. 3 i Singöfjärden (**Fig. 8**) f r åren 1997-199 samt 2008-2009. station 3 ligger på ca 20 meters vattendjup och h r förefaller inte ansträngda syrgasförhållanden ha rätt vare sig under slutet av 1990-talet eller under de senaste åren. Den sammanlagda biomassan av bottenfauna har vid samtliga redovisade provtagningsstillfällen legat runt 120 g vv/m².



Figur 11 Bottenfaunans biomassa vid årliga undersökningar inom recipientkontrollprogram för Hallstapappersbruk i norra Singöfjärden (station 3) på 20 meters vattendjup. Data från Odelström (1997; 1998; 1999), Gustafsson & Arvidsson (2008) och Arvidsson (2009).

3.2.2 Södra Singöfjärden

Två sedimentstationer från 1998 återbesöktes 2009. Lagerföljderna visar laminerade förhållanden mer eller mindre hela vägen ned genom kärnorna (**Fig. 12**). Kärna O 39 m från 1998 är laminerad mer eller mindre kontinuerligt från 1 meters sedimentdjup fram till 1998. I den övre delen av kärnan är det dock svårt att urskilja varven, troligen främst beroende på ljusblänk. I kärnan från samma plats tagen 2009 är lamineringen tydlig hela vägen upp till ytan. Kärnorna har konnekterats med hjälp av varvräkning och det är tydligt att inga förbättringar noterats på detta djup i fjärden.



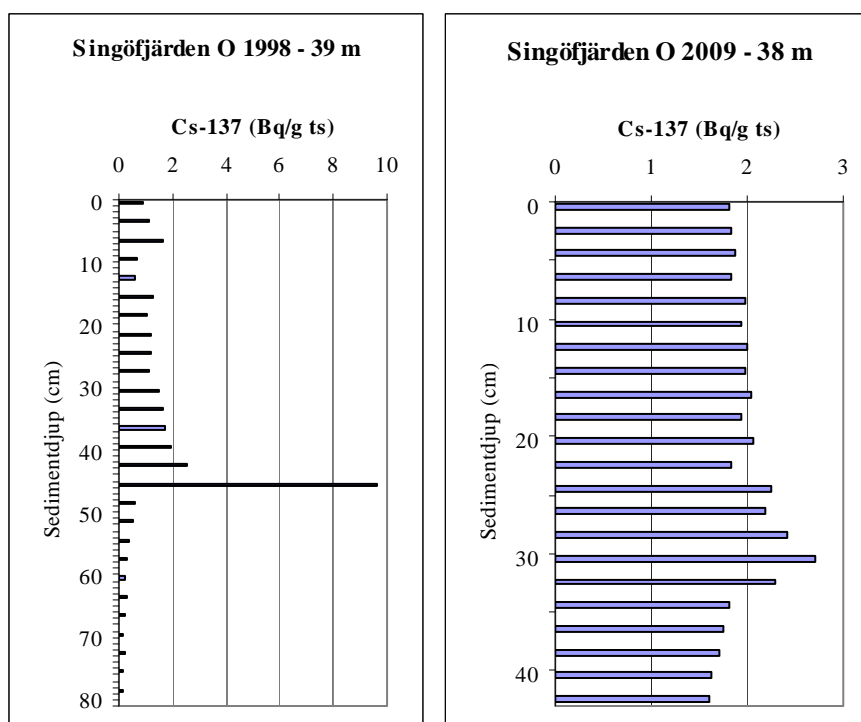
Figur 12 Jämförelse mellan sedimentkärnor från Södra Singöfjärden 1998 och 2009. Kärnan från Singöfjärden O 1998 var 115 cm och i figuren är denna kärna ett fotomontage av två bilder.

Sedimentkärnorna från station M avviker påtagligt från station O på det viset att ett parti med avsevärt mäktigare varv än både över och under kan iakttas 12-29 cm och 15-36 cm ned i kärnorna från 1998 resp. 2009. I det underliggande skiktet i kärna M från 1998 kan ett femtontal

drygt centimetertjocka varv noteras. Ovanför dessa ökar varvtjocklekarna plötsligt till 3-5 cm, vilket är svårt att förklara. Antingen har en reell snabb ökning av sedimentackumuleringen inträffat eller också är de iaktagna varven inte årsvarv utan representerar längre perioder. I den närbelägna kärnan från station O kan en ökning av varvtjocklekarna noteras från ca 35 cm. I underliggande sedimentlager är varvens mäktighet knappt centimetertjock medan minst fyra varv ovanför 35-centimetersnivån har i runda tal dubbelt så mäktiga varv.

En tänkbar förklaring är att förbättrade syreförhållanden tidvis har börjat uppträda på 35 m djup i fjärden och att bottenfauna snabbt koloniserat, men ett eller annat år senare åter slagits ut. Likartade lagerföljder med alternerande bioturbation och bottenfaunautslagning har noterats i många sedimentkärnors djupare delar i samband med att syrebrist börjat uppstå i en fjärd.

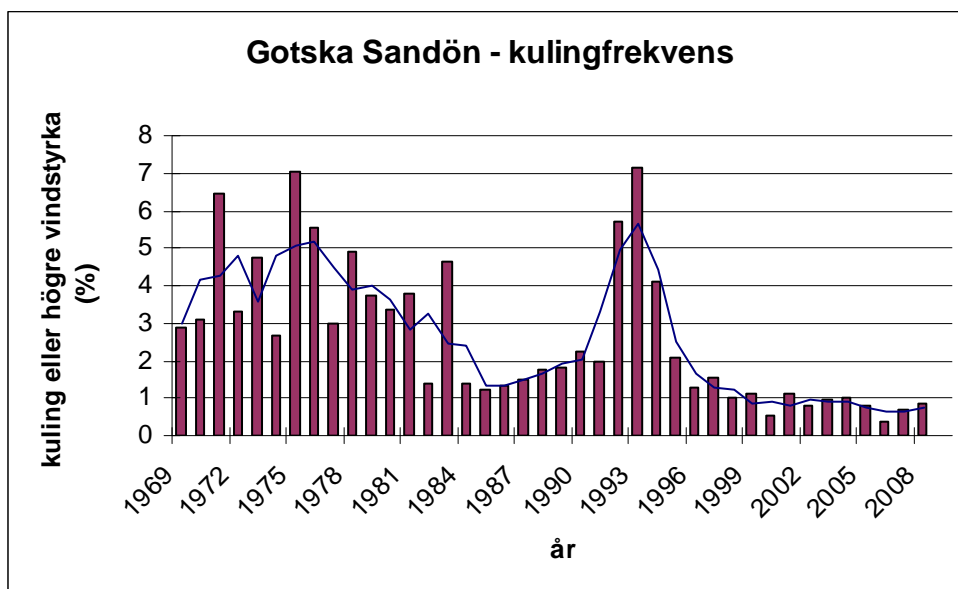
Dateringen med Cs-137 (**Fig. 13**) visar dock i kärnan från 1998 en mycket klar pik på 45 cm som distinkt visar utsläppet av radiocesium från Chernobyl 1986. Aktivitetsfördelningen i kärnan från 2009 visar även den att Chernobylpiken ligger djupare än 43 cm. Vi kan sålunda efter varvräkning från 45 cm djup i kärnan från 1998 räkna till 10-15 mer eller mindre tydliga varv, vilket styrker att en betydande ökning av sedimentackumuleringen skedde i södra Singöfjärden i början av 1990-talet.



Figur 13 Aktivitetsprofiler för Cs-137 i sedimentkärnor från södra Singöfjärden O. Provtagningsår 1998 från Anon.(1998). Provtagningsår 2009 från denna undersökning.

Vid Gotska Sandön har vinddata samlats in på ett likvärdigt sätt under lång tid (**Fig. 14**). Diagrammet visar mycket tydligt stora förändringar under senare decennier i frekvensen kulingvindar. Eckhéll et al. (2000) visade på ett linjärt samband mellan ökande frekvens kulingvindar och ökande sedimentackumulering i nordvästra egentliga Östersjön. 1980-talet karaktäriserades av mycket lugnare förhållanden än 1960- och 1970-talen. Efter det extremt lugna 1980-talet ökar kulingfrekvensen dramatiskt i början på 1990-talet och når kulmen 1993 samtidigt som det största uppmätta inflödet till Östersjön av saltvatten från Kattegatt i modern tid skedde. Under 2000-talet har åter allt lugnare förhållanden etablerats och den lägsta kulingfrekvensen sedan

1950 noterades 2006. Andersson (2000) fann ett liknande samband för skärgårdsfjärdar i Stockholms skärgård. Slutsatsen var att endast svaga samband kunde noteras i de enskilda fjärdarna, men att sambandet ökade markant om man inkluderade ett tiotal fjärdar i regressionen. Södra Singöfjärden tycks dock vara en fjärd som klart svarat på förändrade vindförhållanden med en kraftigt ökad sedimentation som följd under början av 1990-talet.

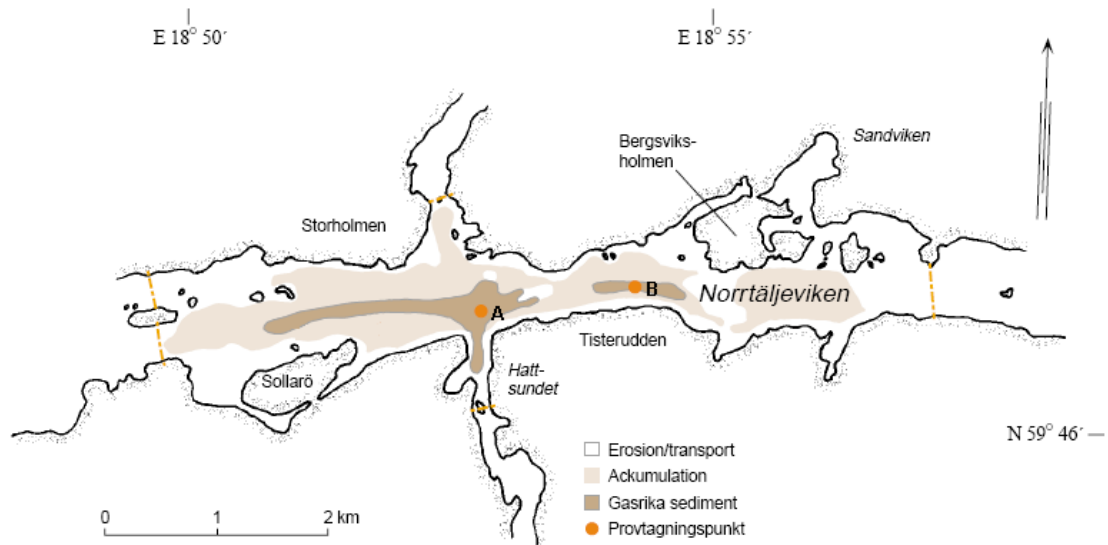


Figur 14 Frekvens av vindstyrkor ≥ 14 m/s vid Gotska Sandön. Blå linje indikerar treårsmedelvärden. (Data från SMHI).

Fosforhalterna i Singöfjärden hör till de högsta uppmätta i denna studie, i Singöfjärden C rentav det allra högsta värdet. Singöfjärden D har analyserats i detalj i en parallell studie (Malmaeus et al., in press) och där har konstaterats att ca 80 % av totalfosformängden i ytsedimentet består av redoxkänslig järnbunden fosfor. Som diskuteras ovan har sannolikt bottenvattnet i delar av Singöfjärden relativt nyligen övergått från anoxisk till oxisk miljö vilket möjliggjort fastläggning av fosfor i ytsedimentet. Vad som kommer att ske med dessa fosformängder när systemet stabiliseras är en synnerligen intressant fråga som väntar på sitt svar. Mönstret liknar det som observerats i Torsbyfjärden (se längre fram i denna rapport). Även i Singöfjärden O ligger halterna i ytan klart högre än i djupsedimentet trots att ytan bedömdes vara reducerad. Sannolikt fanns ett tunt oxiderat skikt i ytan med hög fosforhalt.

3.3 Norrtäljeviken

Undersökningsområdet sträcker sig från en gräns mellan Enholmen och Mörjarudden i väster till en linje mellan Alskär och Marboviken i öster (**Fig. 15**). Det maximalt uppmätta djupet i området är 34 m. Norrtäljeviken mottager en hel del näringsämnen från Norrtälje stad och Norrtäljeån. Bottendynamiken är okomplicerad med A-bottnar som dominerar på djup större än ca 10 meter (**Fig. 15**). A-bottnar utgör 45 % av undersökningsområdet 20 % av A-bottenarean har gasrika sediment i områdets djupaste partier.



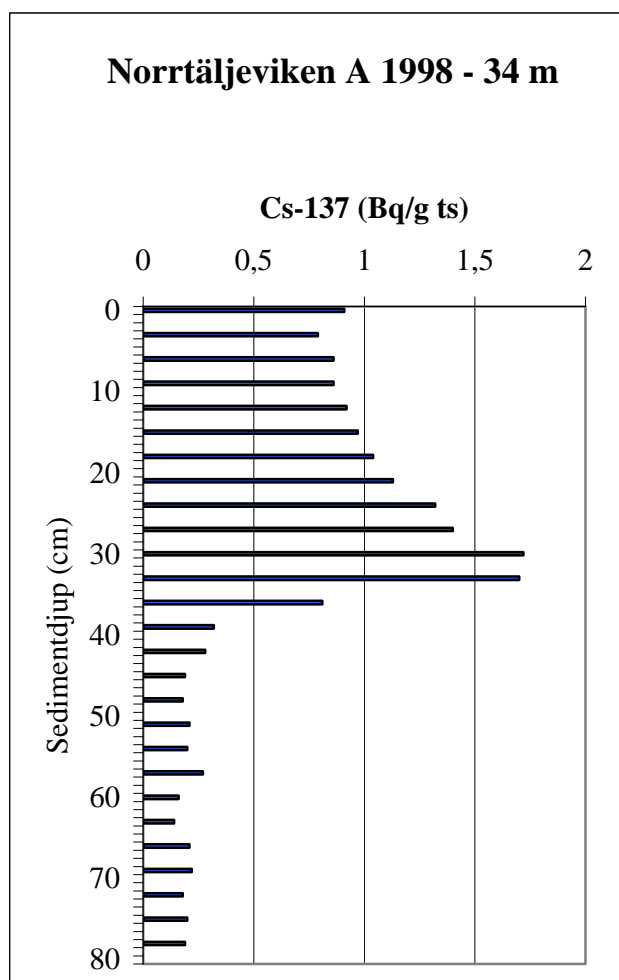
Figur 15 Bottendynamisk karta över Norrtäljeviken med provtagningsstationer för sediment (A-B)

Lagerföljderna på de båda sedimentprovtagningsstationerna domineras av laminerade sediment med varvtjocklekar på 20-50 mm, vilket är bland det högsta som uppmätts i skärgårdarna längs den svenska ostkusten (Jfr **Tab. 1**). Den höga sedimenttillväxten konfirmeras av radiocesiumprofilen för station A 1998 (**Fig. 16**). Sedan 1986 har ca 35 cm sediment avsatts, vilket ger en genomsnittlig tillväxt på 29 mm/år. Utifrån data från 1998 (Anon., 1998) rörande kärna A uppstod laminering på detta djup första gången i mitten av 1950-talet. Tidigare var sedimentet "en brungrå till mörkgrå lergyttja utan tydliga strukturer".

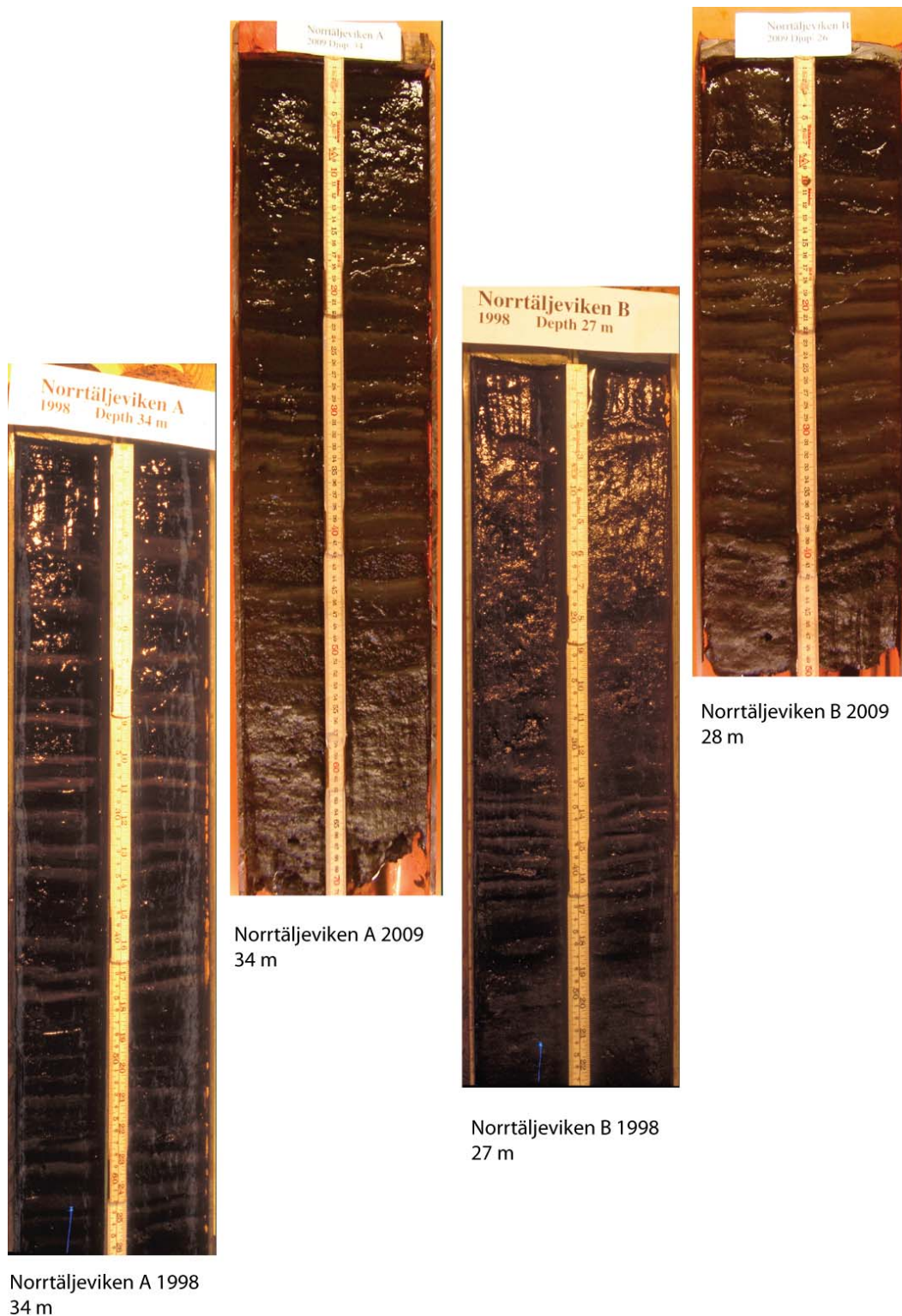
Sedimentkärna A var vid provtagningsstillfället i juni 2009 reducerad hela vägen upp till ytan medan kärna B var oxiderad i ytskiktet och visar på bioturberade förhållanden i de översta 8-10 cm av profilen (**Fig. 17**). Detta innebär att förbättrade förhållandena sannolikt har inträffat de senaste tre åren på djup åtminstone ned till 28 m men inte så djupt som 34 m (kärna A).

Denna slutsats styrks av analys av bottenfaunaprover som togs samtidigt på tre punkter i närheten av station B med djup mellan 26 och 28 m. I ett triplikat bestämdes den genomsnittliga biomassan till ca 4 g/m². Dominerande taxa var havsborstmask (350 ind/m²) respektive fjädermygglarver (370 ind/m²).

Fosforanalyserna visar att halterna i ytan i station A ligger något över genomsnittliga halter medan station B ligger nära genomsnittet. Resultatet är något oväntat eftersom sedimentet var reducerat i station A men oxiderat i station B. Sannolikt fanns ett tunt oxiderat ytskikt i station A med relativt hög fosforhalt.



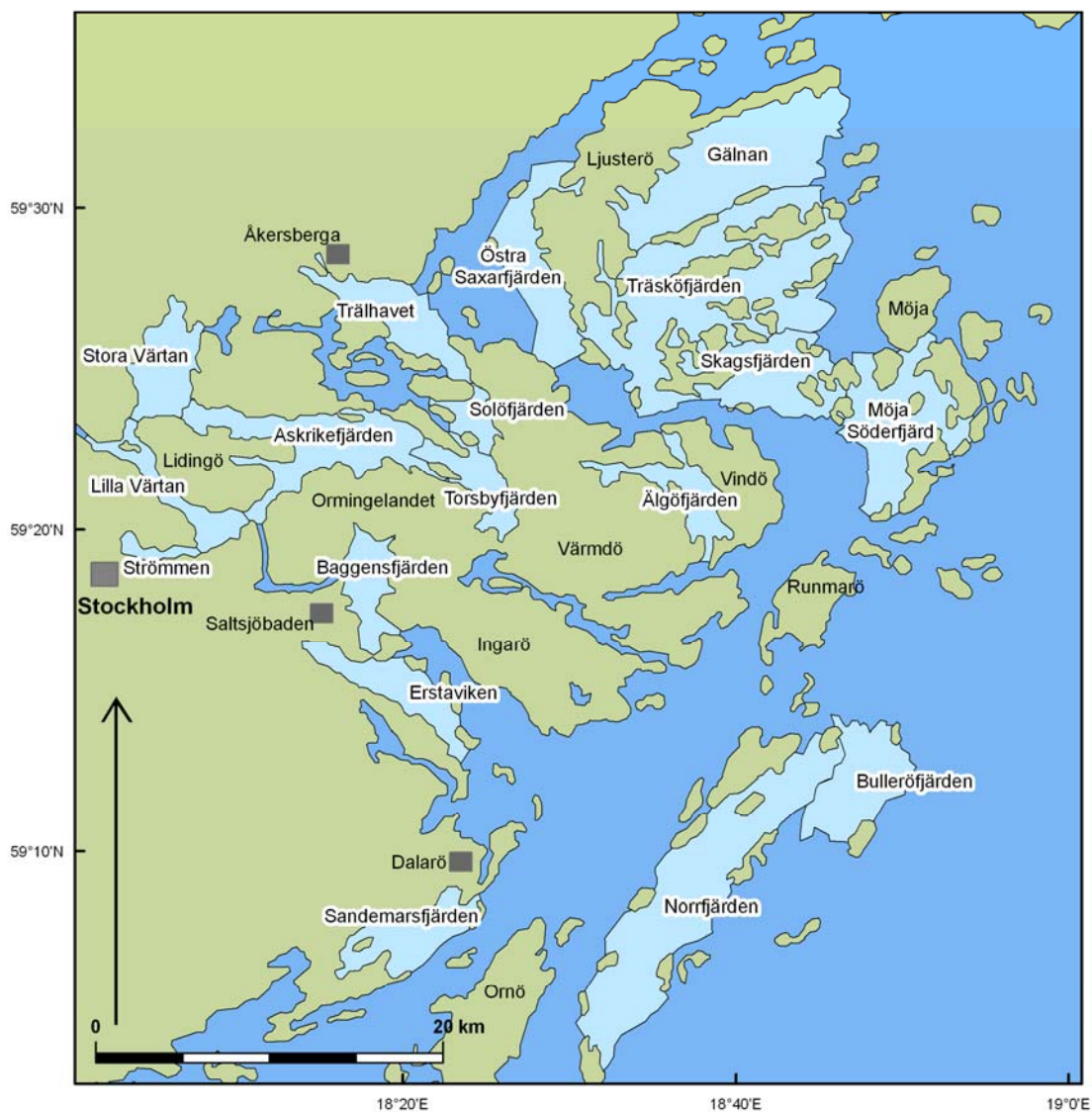
Figur 16 Aktivitetsprofil för Cs-137 i sedimentkärna A från Norrtäljeviken. Provtagningsår 1998. (Från Anon., 1998).



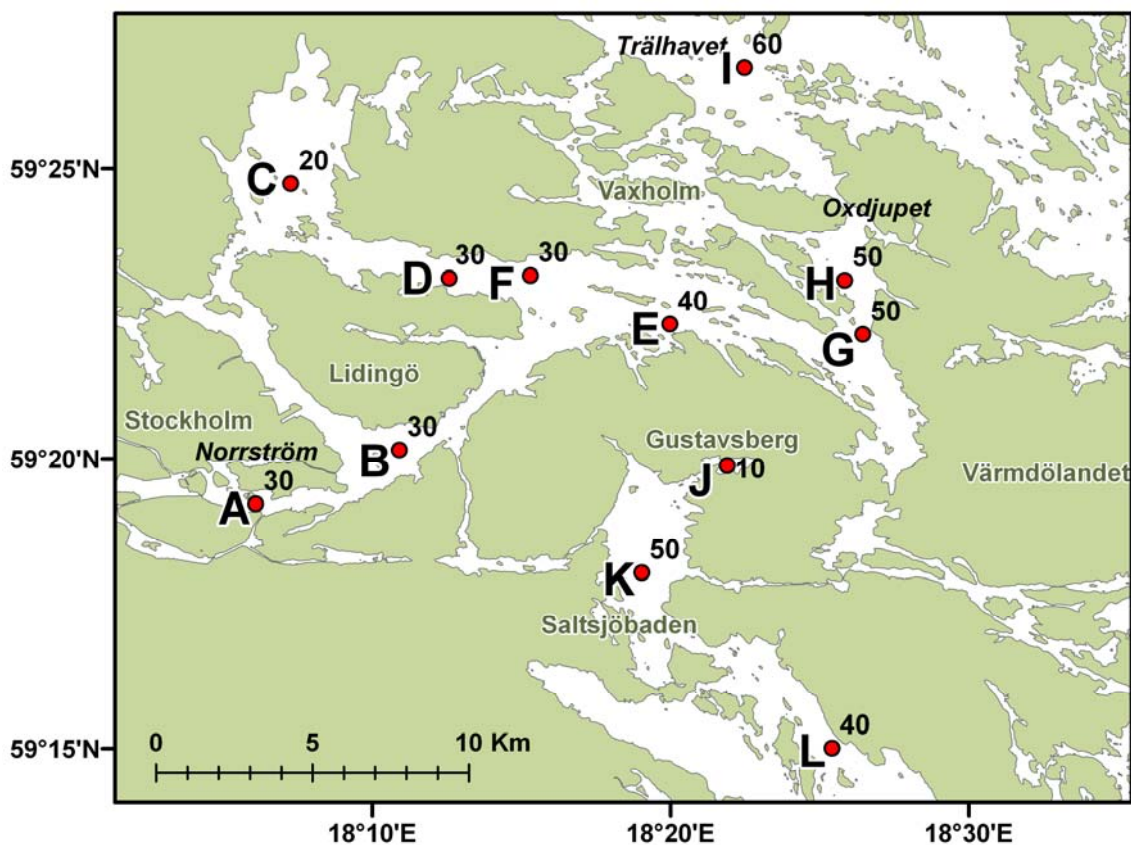
Figur 17 Jämförelse mellan kärnor provtagna i Norrtäljeviken 1998 och 2009. Kärnorna har konnekterats tidsmässigt genom identifierbara sedimenthorisonter och antal årsvarv.

4 Stockholms skärgård

De fjärdar som undersökts i Stockholms skärgård visas i **Figur 18**. I några av fjärdarna i Stockholms innerskärgård har provtagningen utförts vid stationer som ingår i Stockholm Vattens recipientkontrollprogram för bottenfauna (**Fig. 19**). Jämförelser mellan bottenfauna och sedimentdata i dessa områden har tidigare presenterats i Karlsson et al. (2009) och redovisas översiktligt nedan (**Tab. 3**).



Figur 18 Undersökta områden i Stockholms skärgård



Figur 19 Provtagningsstationer i Stockholms innerskärgård med botten djup i m.

Tabell 3 Jämförelse mellan undersökningar av sediment och bottenfauna 2008 med motsvarande undersökningar under slutet av 1990-talet. Data från denna undersökning, Lännergren et al., 2009 och Jonsson et al., 2003.

Område	Djup (m)	Ytsediment		Bottenfauna	
		1996-1999	2008	1998	2008
A (Waldemarsudde)	30	Reducerat	Oxiderat	0*	+
B (Lilla Värtan)	30	Reducerat	Oxiderat	0	+
C (Stora Värtan)	20	-	Reducerat	0	0
D (Askrikefjärden)	30	Reducerat	Oxiderat	0	+
E (Höggarnsfjärden)	40	Reducerat	Oxiderat	0**	+
F (Långholmsfjärden)	30	Reducerat	Oxiderat	0	+
G (Torsbyfjärden)	50	Reducerat	Oxiderat	0	+
H (Solöfjärden)	50	Reducerat	Oxiderat	0	+
I (Trälhavet)	60	Oxiderat	Oxiderat	+	+
J (Farstaviken)	10	Reducerat	Reducerat	0***	0
K (Baggensfjärden)	50	Reducerat	Reducerat	0	0
L (Ågnöfjärden)	40	-	Oxiderat	+	+

+ Abundant, 0 frånvarande (biomassa < 0.5 g/m²), - Inga data

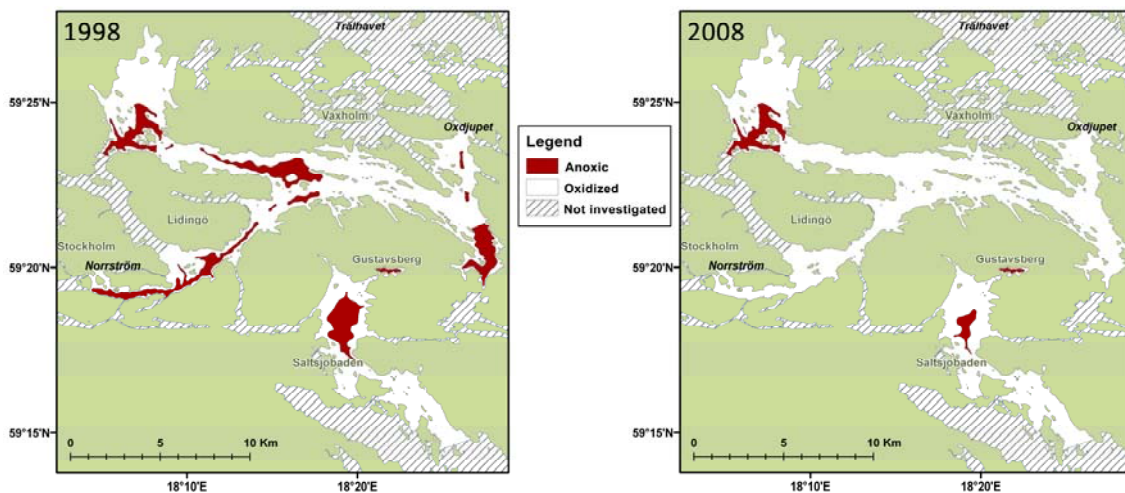
* 20 m vatten djup

** 30 m vatten djup

*** Data från år 2000.

Av **Tabell 3** framgår att 9 av 10 stationer hade reducerade ytsediment under slutet av 1990-talet. 2008 hade enbart 3 av 12 stationer reducerade ytsediment. Ett i det närmaste identiskt mönster framgår också när bottenfaunautbredning mellan motsvarande tidsperioder jämförs. I **Figur 20** jämförs den beräknade utbredningen av anoxiska botten 1998 respektive 2008 baserat på extrapolation av våra egna sedimentundersökningar och Stockholms Vattens

bottenfaunaundersökningar i kombination med djupkurvor från aktuella sjökort. I det undersökta området beräknas arealen anoxiska bottenar minskat från 17 till 4 % av den totala bottenarean mellan de studerade perioderna.



Figur 20 Beräknad utbredning av anoxiska bottenar 1998 respektive 2008 i Stockholms innerskärgård.

4.1 Strömmen (Saltsjön)

Fjärdens botten-topografi är flack under vattenytan med ett jämnt djupområde på mer än 20 m från Slussen i väster till Blockhusudden i öster. Grundare områden finns på båda sidor av Skeppsholmen i nordväst. Fjärden står i förbindelse med Lilla Värtan via sundet mellan Blockhusudden och Augustendal som saknar tröskel (Fig. 18). Mälaren har sitt utlopp i området och bidrar till en vanligtvis mycket tydlig skiktning mellan det västerifrån från Mälaren inkommande, ytliga färskvattnet och den botten nära kompensationsströmmen av brackvatten från mellan- och innerskärgården. Vattenomsättningen är snabb. Ungefär 50 % av bottenarean utgörs av A-bottenar, varav gasrika sediment står för huvuddelen. De två avloppsreningsverken Brommaverket och Henriksdal släpper ut renat avloppsvatten i Saltsjön. Under hösten 2009 genomfördes en omfattande sedimentundersökning varvid 46 sedimentkärnor togs i området från Slussen till Blockhusudden (Jonsson, 2010 manuskript). Nedanstående redovisning av sedimentationsförhållandena härrör sig från denna rapport.

Sedimenttillväxten i Saltsjön är i medeltal 12 mm/år i de övre 20 cm av sedimentpelaren, vilket är ca 30 % lägre än genomsnittet för Stockholms och Roslagens skärgårdar. Detta kan dock till största delen förklaras av att undersökningsmaterialet i Jonsson et al. (2003) hänför sig till de övre 5 centimetrarna av sedimentpelaren. Ytsedimenten har normalt en låg torrsubstanshalt i de övre sedimentlagren och den ökar successivt nedåt i sedimentpelaren på grund av den så kallade kompaktionen (sammanpressning av sedimentpelaren på grund av tyngdlagen) i takt med att nytt sedimentmaterial lagras på ovanifrån.

Jonsson et al. (2003) fann att sedimenttillväxten i 27 fjärdområden från den svenska ostkusten varierade mellan 1 och 70 mm per år med ett medelvärde på 17 mm/år. Detta är ca 40 % högre än i Saltsjön, 12 mm/år. Torrsubstanshalten är dock genomgående högre i Saltsjön/Lilla Värtanområdet (medel 16,6 %, 36 kärnor) än i Stockholms skärgård i stort (Medel 8,7 %, 39 kärnor, 9 fjärdar; Jonsson, opublicerat material). Detta leder till att skillnaderna i torrsubstansdeposition utjämnas och

depositionen är till och med blir högre i Saltsjön än i Stockholms och Roslagens skärgårdar i stort (**Tab. 4**).

I **Tabell 4** redovisas de uppmätta medelvärdena för Saltsjön tillsammans med medelvärden från 17 fjärdar i Roslagens och Stockholms skärgård, dels beräknat som årlig deposition per kvadratmeter A-bottenyta (g/m^2 A-botten/år), dels som årlig deposition per kvadratmeter fjäradyta (g/m^2 vattenyta/år). Torrsubstansdepositionen per kvadratmeter A-botten i Saltsjön är tämligen lik medeldepositionen i Stockholms och Roslagens skärgårdar. Om dessa värden sedan normeras till att gälla deposition per kvadratmeter fjäradyta är dock depositionen i Saltsjön ca 50 % större än medeldepositionen för de 17 fjärdarna i tabellen. Orsaken till detta är svår att definitivt fastställa men faktorer som tillförsel från Mälaren och högre erosion i gamla glacial- och postglacialeror i de inre delarna av skärgården, jämfört med de yttre, kan ha betydelse i sammanhanget.

Tabell 4 Jämförelse av fjärdkaraktäristika, årlig genomsnittlig torrsubstansdeposition och årlig genomsnittlig koldeposition ($\text{g}/\text{m}^2/\text{år}$) för perioden 1980-2005 i Saltsjön jämfört med genomsnittet för 17 fjärdar i Stockholms skärgård och Roslagen (beräknat från Jonsson et al., 2003).

	<i>Saltsjön</i> <i>Medel</i>	<i>Stockholms skärgård och Roslagen</i> <i>Medel</i> <i>Standardavvikelse</i>	
Antal studerade fjärdar	1	17	
A-bottenarea (% totalarea)	52	42	± 10
Sedimentfokuseringsfaktor	1,9	2,6	± 1,2
Torrsubstansdeposition (g/m^2 A-botten/år)	2930	2600	±1110
(g/m^2 fjäradyta/år)	1540	1060	± 560
Koldeposition (g/m^2 A-botten/år)	180	154	± 84
(g/m^2 fjäradyta/år)	95	64	± 35

Vid undersökningarna på 1990-talet var de undersökta sedimentkärnorna kraftigt reducerade. Ett tydligt resultat som noterades vid 2009 års undersökning var att samtliga besökta stationer utom en (omedelbart utanför Henriksdals reningsverksutsläpp) uppvisar oxiska förhållanden i de översta 2-5 cm av sedimentpelaren (**Fig. 21**). Sedimenttillväxten i området är i genomsnitt 12 mm/år med en variation på 4-24 mm. Förbättringarna skulle i så fall ha inträffat för i genomsnitt 2-4 år sedan, med extremvärden mellan 1 och 12 år sedan.

Detta kan dock delvis tolkas som en fiktiv och för tidig förbättring, som beror på att när bottenfaunan ett visst år åter koloniserar ett tidigare utslaget område, bioturberar (blandar om) den inte bara detta års avlagringar utan även tidigare års avsatta sediment beroende på hur stor sedimenttillväxten per år är. Med detta i åtanke kan vi konstatera att förbättringen har inträffat under senare delen av 2000-talet i undersökningsområdet.



Figur 21 Typisk sedimentkärna (Beck 12) från Saltsjön sydväst Manillaskolan, djup 27,5 m. Oxiderat ytskikt på några cm överlagrande mörkt reducerat sediment. Notera djurgångarna i ytskiktet. Till höger redovisas samma kärna i snittat skick.

Fosforhalten i Saltsjöns oxiderade sediment ligger relativt högt jämfört med studiens medel- och medianvärden. Den uppmätta halten på 20-25 cm sedimentdjup är påfallande hög och en klar uteliggare i sammanhanget. Det är dock möjligt att 3000 mg/kg TS inte representerar den slutligt begravda halten utan att en del rörlig fosfor finns kvar på detta sedimentdjup.

4.2 Lilla och Stora Värtan

I Lilla Värtan (station B, **Fig. 19**) har en sedimentkärna från 30 meters djup analyserats. De översta centimetrarna var oxiderade medan lamineringar förekom längre ned i kärnan (**Fig. 22**). I Stora Värtan som har ett mer instängt läge (station C, **Fig. 19**) och därmed sannolikt långsammare vattenutbyte var däremot sedimentytan reducerad på 20 meters vattendjup (**Fig. 22**).

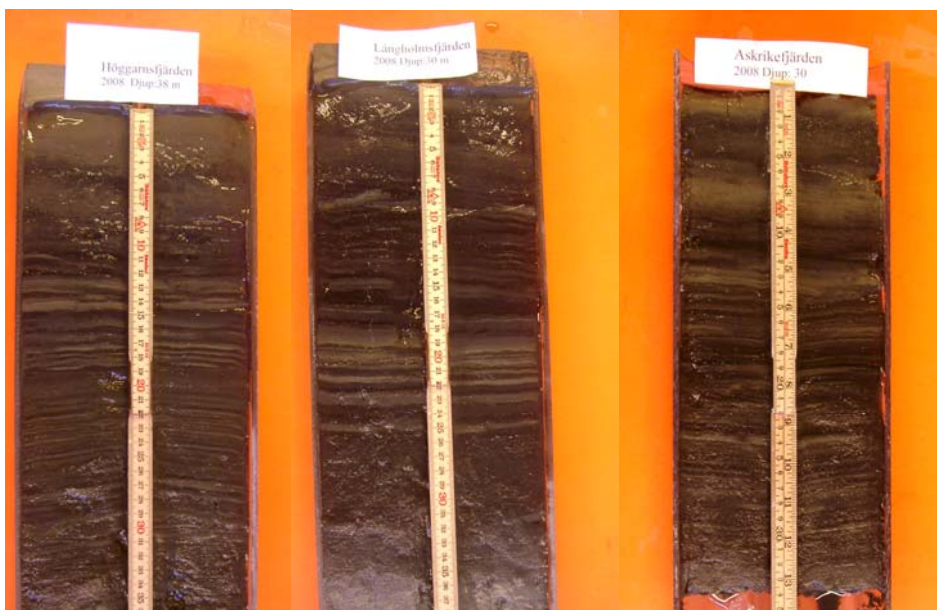
Fosforhalten i Lilla och Stora Värtan var typiska för oxiderade respektive reducerade förhållanden.



Figur 22 Sedimentkärnor från Lilla respektive Stora Värtan insamlade under 2008.

4.3 Askrikefjärden

Askrikefjärdens avgränsning enligt SMHIs havsområdesregister medför att stationerna D-F i **Figur 19** ligger inom fjärdområdet. Samtliga insamlade kärnor hade oxiderade ytsediment medan lamineringar förekom längre ned i kärnorna. Bottendjupet vid provtagningsstationerna varierade mellan 30 och 38 m.



Figur 23 Sedimentkärnor från Askrikefjärden insamlade under 2008.

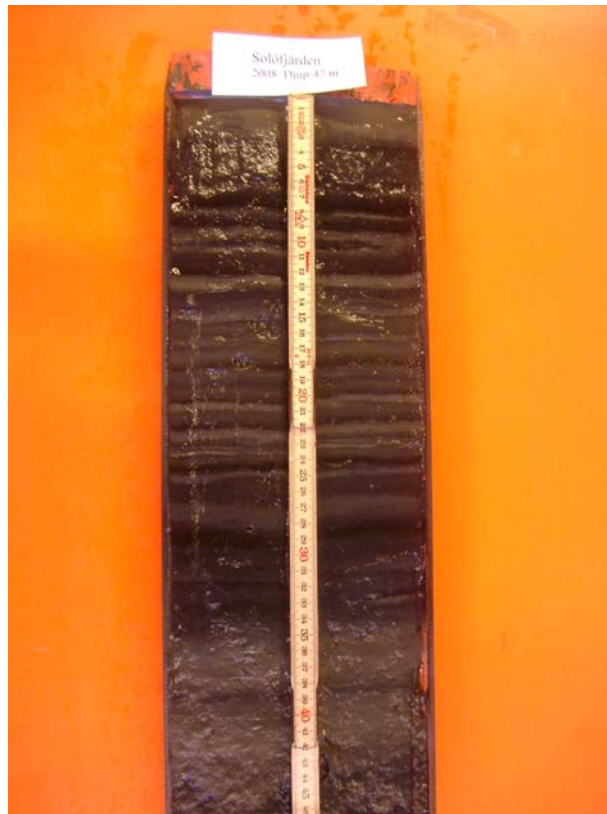
I Askrikefjärden analyserades sex provpunkter med avseende på fosforhalt i ytsediment (förutom D-F ovan också innanför Tegelön (16 m djup), utanför Käppalaverket (45 m djup) samt ytterligare en position i Höggarnsfjärden (30 m djup) och i fyra av dessa även i djupsediment. Det föreföll finnas mobil fosfor i flertalet av dessa sediment vilket är rimligt med tanke på att sedimenten var syresatta.

4.4 Torsbyfjärden & Solöfjärden

En tydlig förändring av redoxsituationen konstaterade i de djupaste delarna av Torsbyfjärden (station G, **Fig. 19**). 1996 var ytsedimentet reducerat och sedimentkärnan laminerad medan de övre 5-6 centimetrarna var oxiderad 2008 (**Fig. 24**). Liknande förhållanden rådde på 40 meters vattendjup. Även i de djupaste delarna av den intilliggande Solöfjärden (station H, **Fig. 19**) var ytsedimentet oxiderat. Tidsserier från bottenfaunastudier visar att förbättringen av syrgassituationen i de djupaste delarna av fjärdarna inträffade mellan 2004 och 2006.



Figur 24 Foto av sedimentkärnor från Torsbyfjärden från vänster till höger 1/2008 50 meters djup, 2/ 1996 46,5 meters djup.

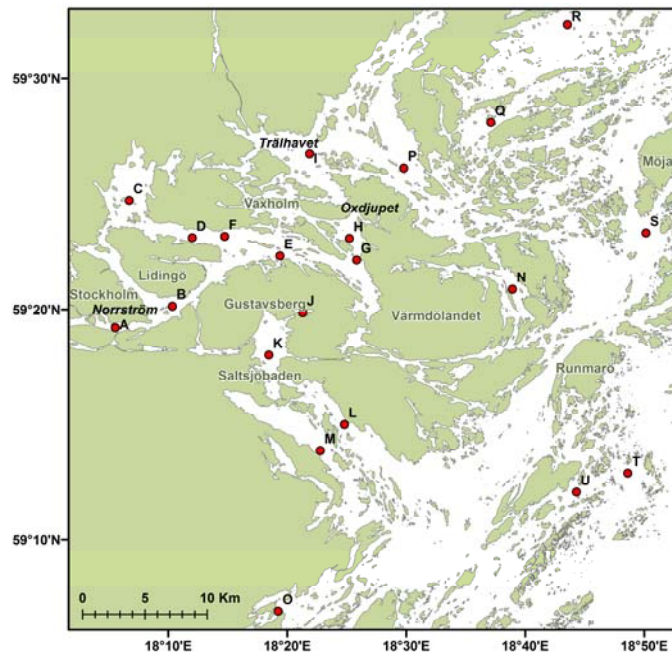


Figur 25 Foto av sedimentkärna från Solöfjärden 2008, 46 meters vattendjup

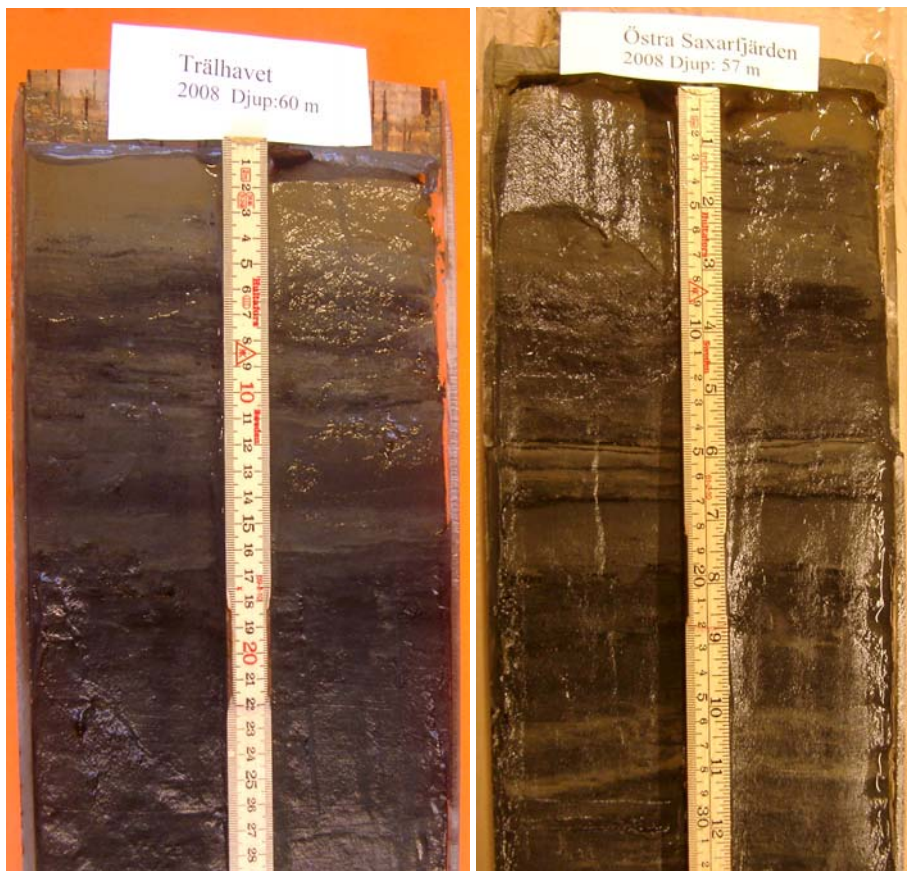
I Solöfjärden analyserades fosforhalten på två nivåer i en provpunkt, och i Torsbyfjärden analyserades tre provpunkter varav två djupprofiler. Den djupaste provpunkten - Tor P - uppvisar bland de högsta halterna av fosfor i ytsediment i hela denna studie. På samma sätt som i Singöfjärden uppvisar de ytligaste sedimentskikten kraftigt förhöjda fosforhalter. Detta förklaras sannolikt av de relativt nyligen förbättrade syreförhållandena som möjliggjort ackumulering av fosfor i ytsedimentet.

4.5 Trälhavet och Östra Saxarfjärden

Sedimenten i Trälhavet och Östra Saxarfjärden är generellt sett svårtolkade med diffusa lamineringar kombinerat med tjocka svarta respektive ljusa partier. Detta indikerar en variabel bottenmiljö med perioder av anoxiska/hypoxiska förhållanden omväxlande med syrerikare perioder. Provtagningsstationernas läge (I, P) vid 2008 års undersökning framgår av **Figur 26**. Vid undersökningen 2008 var ytsedimenten oxiderade och bioturberade i de djupare delarna av bägge fjärdarna (60 m Trälhavet respektive 57 m Östra Saxarfjärden, **Fig. 27**). Liknande förhållanden har även rått vid tidigare undersökningar.



Figur 26 Karta med provtagningsstationer i Stockholms skärgård.

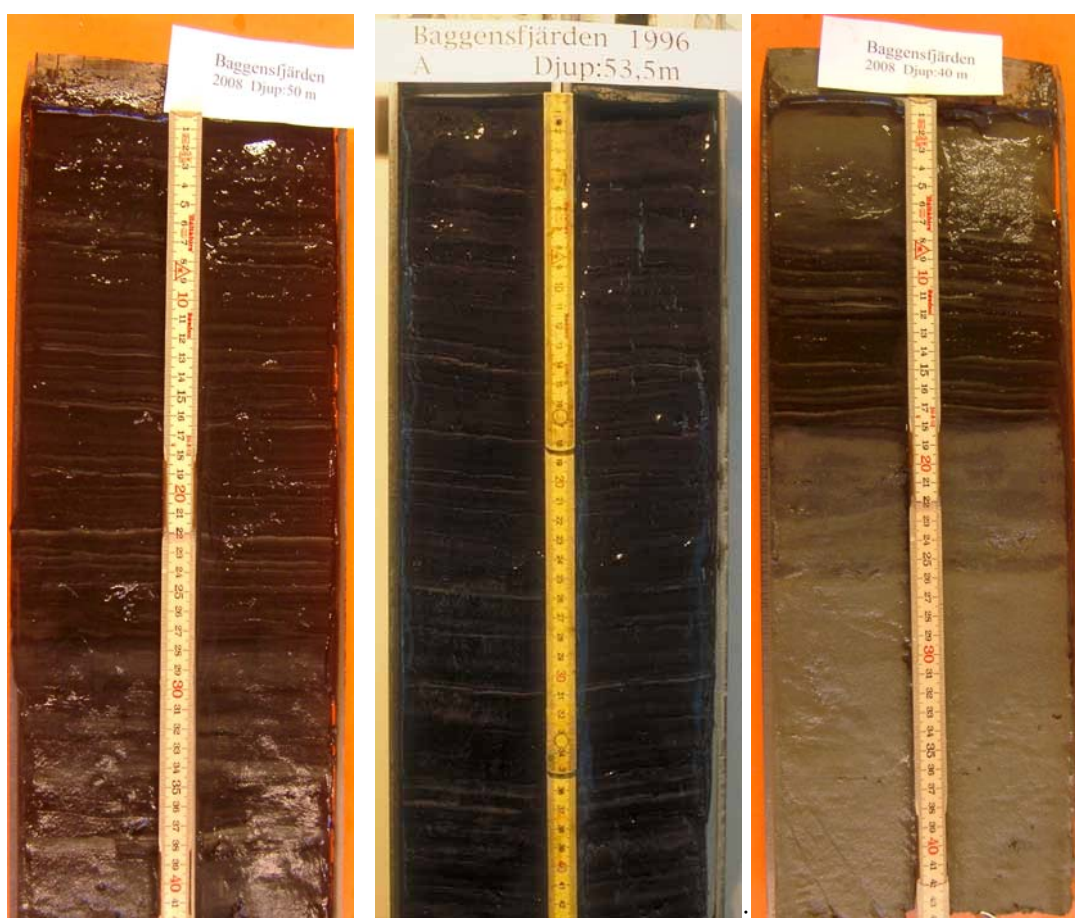


Figur 27 Foto av sedimentkärnor från Trälhavet (60 m djup) respektive Östra Saxarfjärden (57 m djup).

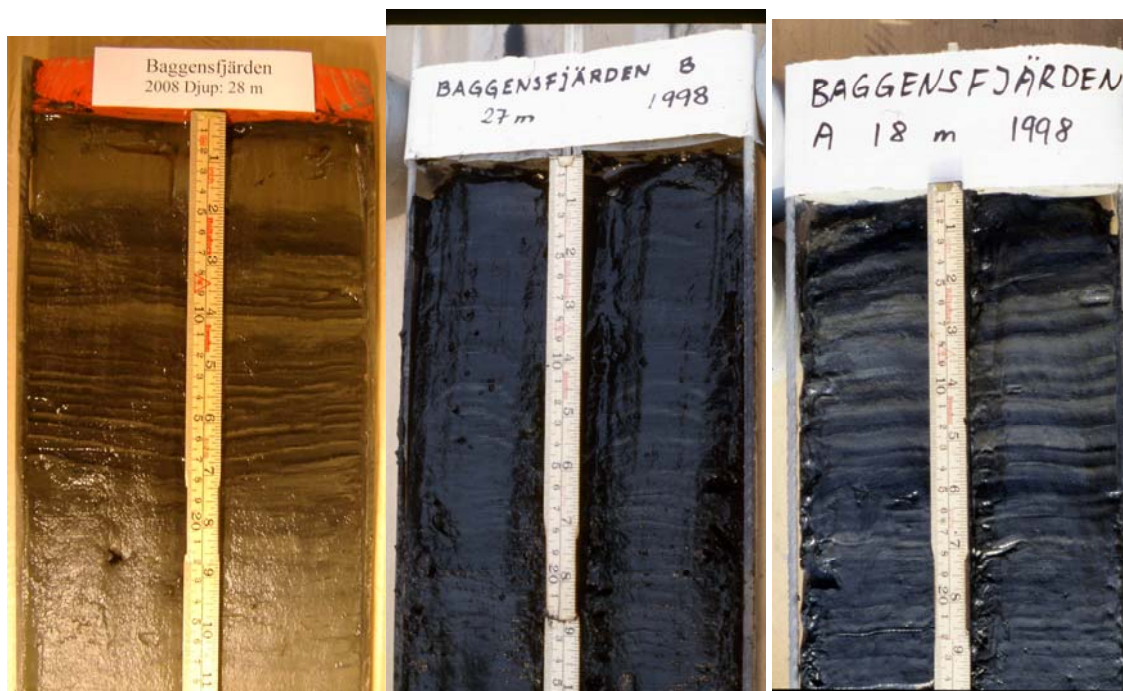
Fosforhalten i Trälhavets sediment analyserades i en punkt på två djupnivåer. Halterna var höga, i synnerhet i ytskiktet. I Östra Saxarfjärden analyserades sedimentens fosforinnehåll på två djupnivåer i två provpunkter. Där var halterna i ytskiktet är på samma nivå som i djupsedimenten vilket tyder på att det inte fanns mer än marginella mängder av mobil fosfor. Sammantaget kan detta tolkas som att syreförhållandena i dessa två fjärdar är variabla. Den höga halten i Trälhavets ytsediment leder tanken till hur det ser ut i Singöfjärden och Torsbyfjärden där ett skifte från reducerade till oxiderade förhållanden resulterat i exceptionellt höga fosforhalter i ytsedimenten.

4.6 Baggensfjärden

I Baggensfjärden (station K, **Fig. 26**) har tydliga förbättringar av syrgassituationen inträffat mellan mitten av 1990-talet och 2008. I den djupaste delen av fjärden (50 m) förekommer dock fortfarande reducerade ytsediment vilket även var fallet 1996 (**Fig. 28**). På 40 meters vattendjup var emellertid de översta 6-7 centimetrarna oxiderade och bioturberade (**Fig. 28**). På 1990-talet påträffades reducerade och laminerade ytsediment på så pass grunt som 18 meters vattendjup (**Fig. 29**). Stationen från 18 m är dock lokaliserad i den nordöstra delen av fjärden och representerar sannolikt situationen i en mer avgränsad del av fjärden. Området har inte återbesökts 2008. Tillfriskningsförloppet följer i stora drag den utvecklingen som kan utläsas från tidsserien från Stockholm Vattens bottenfaunaundersökningar (Lännergren et al., 2009) även om avvikelser mellan enskilda provtagningslokaler förekommer.



Figur 28 Foto av sedimentkärnor från Baggensfjärden från vänster till höger 1/ 2008 50 m djup 2/ 1996 53.5 m djup 3/ 2008 40 m djup.



Figur 29 Foto av sedimentkärnor från Baggensfjärden från vänster till höger 1/ 2008 28 m djup 2/ 1998 27 m djup 3/ 1998 18 m djup.

Längst in i Baggensfjärden ligger den avsnörda Farstaviken (station J, **Fig. 26**). Vid undersökningen 2008 konstaterades att ytsedimenten var reducerade och laminerade på så pass grunt som 10 m vattendjup (**Fig. 30**)

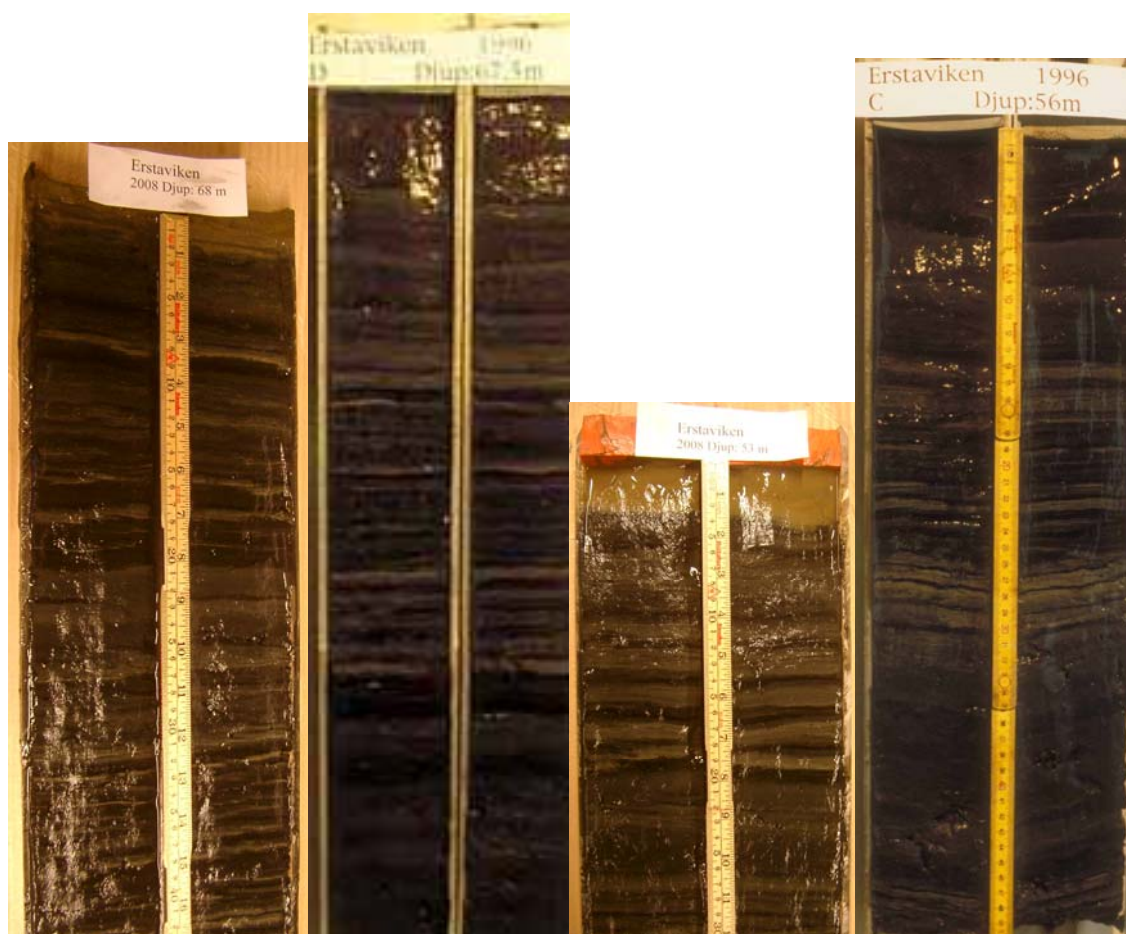


Figur 30 Foto av sedimentkärna från Farstaviken 2008, 10 m djup

Från Baggensfjärden finns fosforanalyser i sediment från tre punkter, på två respektive tre djupnivåer. Mobil fosfor bedömdes förekomma på 28 och 40 meters vattendjup, medan ytsedimentet på 50 meters vattendjup höll samma totalhalt som djupsedimentet och således väsentligen kan antas sakna mobil fosfor.

4.7 Erstaviken

Även i Erstaviken (station M, **Fig. 26**) har en tydlig förändring av redoxförhållandena i ytsedimenten registrerats. På 53 m djup var sedimentkärnans översta 4 cm oxiderade och bioturberade (**Fig. 31**), vilket inte var fallet 1996. På 68 meters djup var emellertid sedimenten fortfarande laminerade upp till sedimentytan (**Fig. 31**)

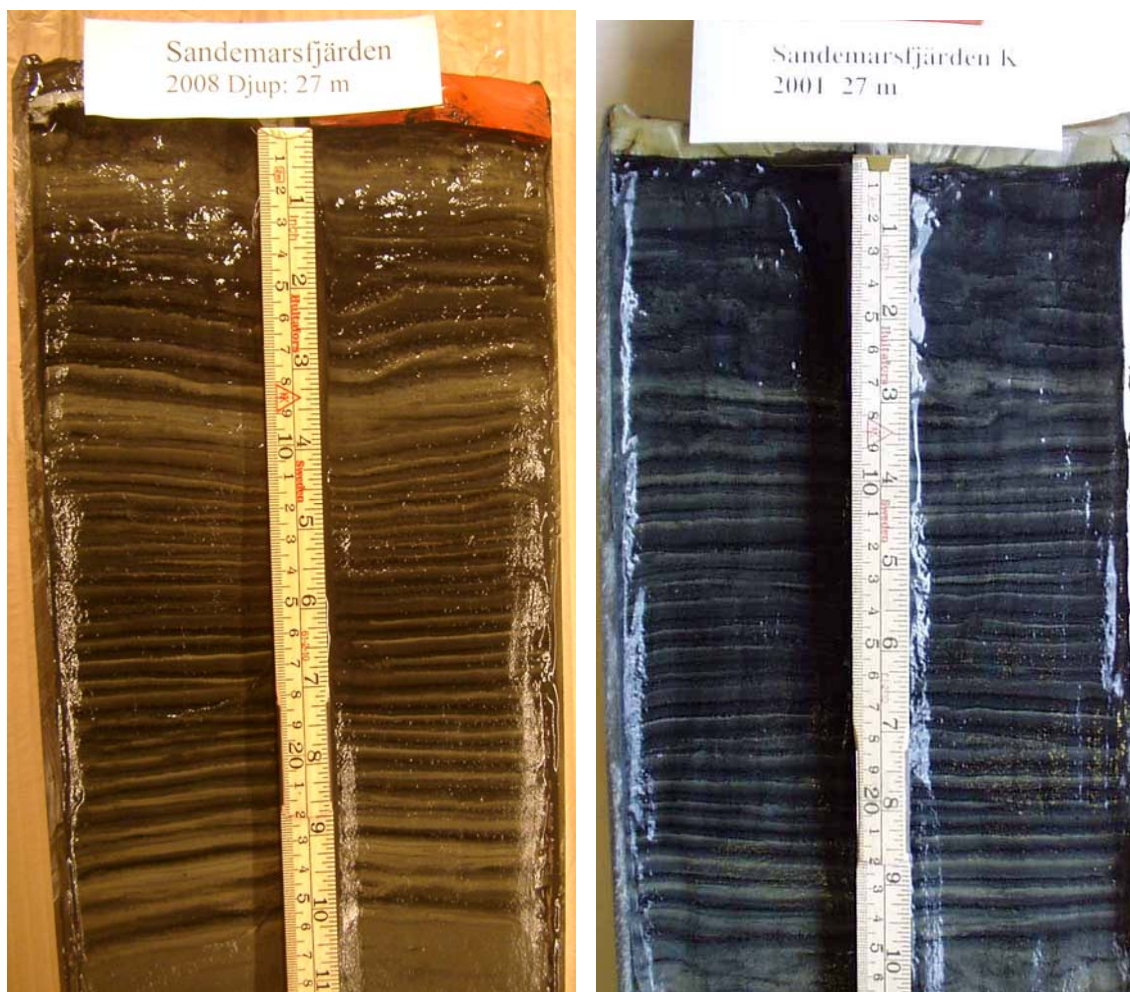


Figur 31 Foton av sedimentkärnor från Erstaviken från vänster till höger 1/ 2008 68 m djup, 2/ 1996 67.5 m djup, 3/ 2008 53 m djup, 4/ 1996 56 m djup.

Från Erstaviken finns fosforanalyser i sediment från två punkter, på två respektive tre djupnivåer. Mobil fosfor bedömdes förekomma i ytsedimenten ner till 68 m vattendjup.

4.8 Sandemarsfjärden

I Sandemarsfjärden (station O, **Fig. 26**) var ytsedimentet oxiderat de översta 2-3 centimetrarna, följt av ett distinkt laminerat parti innehållande 31 årsvarv (**Fig. 32**). Vid undersökningar 2001 var en sedimentkärna från samma position och djup laminerad hela vägen upp till ytan och 27 årsvarv kunde räknas in (**Fig. 32**). Detta indikerar att en förbättring av syreförhållandena på 27 m:s djup i Sandemarsfjärden ägt rum under de senaste åren. På 31 meters djup var situationen mer svårtolkad 2008 med ett tunt oxiderat skikt och troligtvis laminerat hela vägen upp till sedimentytan.



Figur 32 Foton av sedimentkärnor från Sandemarsfjärden från vänster till höger 1/ 2008 27 m djup, 2/ 2001 27 m djup.

I Sandemarsfjärden analyserades fosfor i ytsediment och djupsediment i två provpunkter. Halterna i ytsedimenten, 1000 mg/kg TS, är typiska begravningskoncentrationer och tyder på att mobil fosfor saknades. Den höga fosforhalten på 50-55 cm sedimentdjup i den andra provpunkten är otypisk.

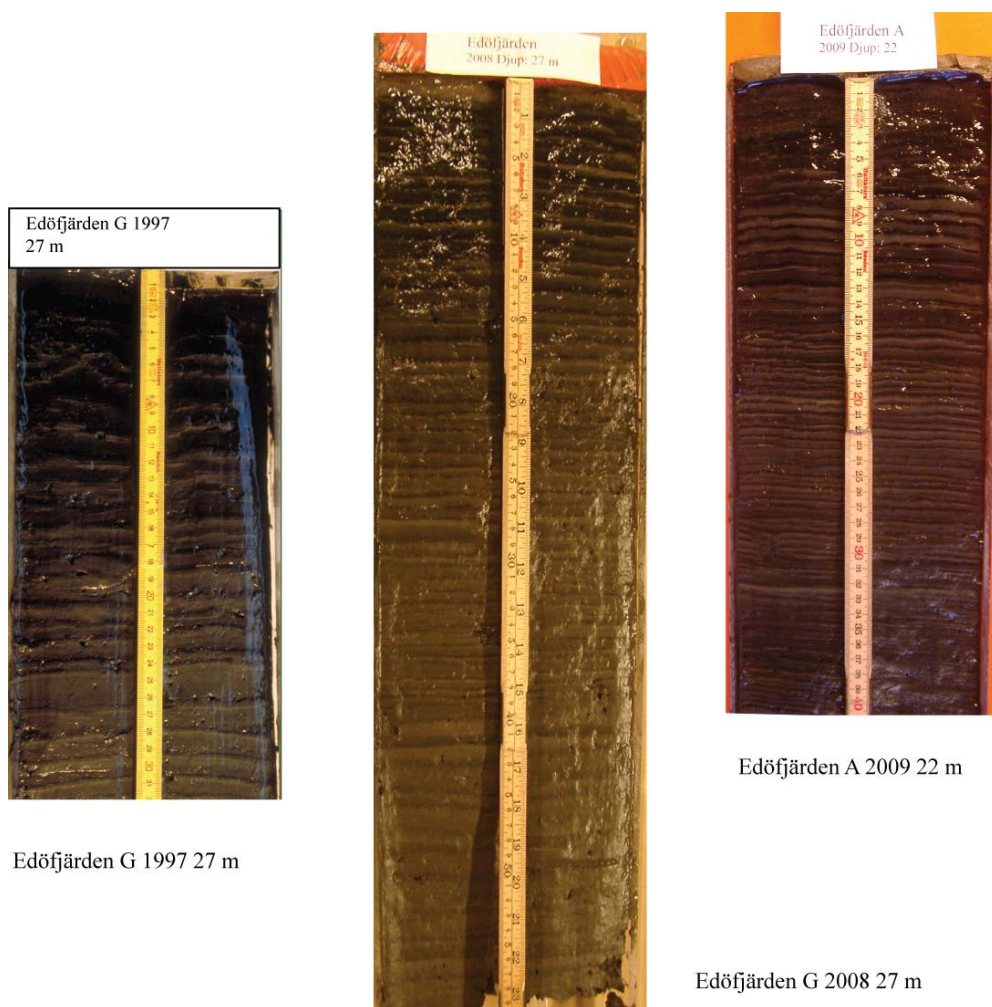
4.9 Träsköfjärden/Edöfjärden

Edöfjärden i den västra delen av Träsköfjärden (**Fig. 18**) har varierad topografi och normalt inte djupare än ca 20 meter. Det största uppmätta djupet (drygt 38 m) finns i den sydvästra delen. A-

bottenarean är fördelad på en stor och några mindre ytor, vilka tillsammans utgör 40 % av vattenytarean. Gasrika sediment utgör 1 å 2 % av fjärdytan och återfinns i sydväst.

Edöfjärdens sediment uppvisar mycket tydliga lamineringar (**Fig. 33**). På station Edö G som återbesöktes har laminerade sediment avsatts kontinuerligt sedan 1997. Den översta centimetern av kärnan från 2008 var oxiderad. Detta betyder dock inte att någon påtaglig förbättring inträffat här sedan 1997. Av bilden på kärnan från Edö A från 22 m:s djup framgår att lamineringen varit kontinuerlig även på detta förhållandevis ringa djup. Här har sedimenten varit laminerade under en period av minst 75-80 år och inga tecken på förbättringar kan iakttas.

Halterna av fosfor i ytsediment i Edöfjärden tyder på att tämligen små mängder av mobil fosfor förekommer i dessa bottnar, vilket också stöder slutsatsen att inga tydliga förbättringar har inträffat vad gäller syresituationen i Edöfjärden.

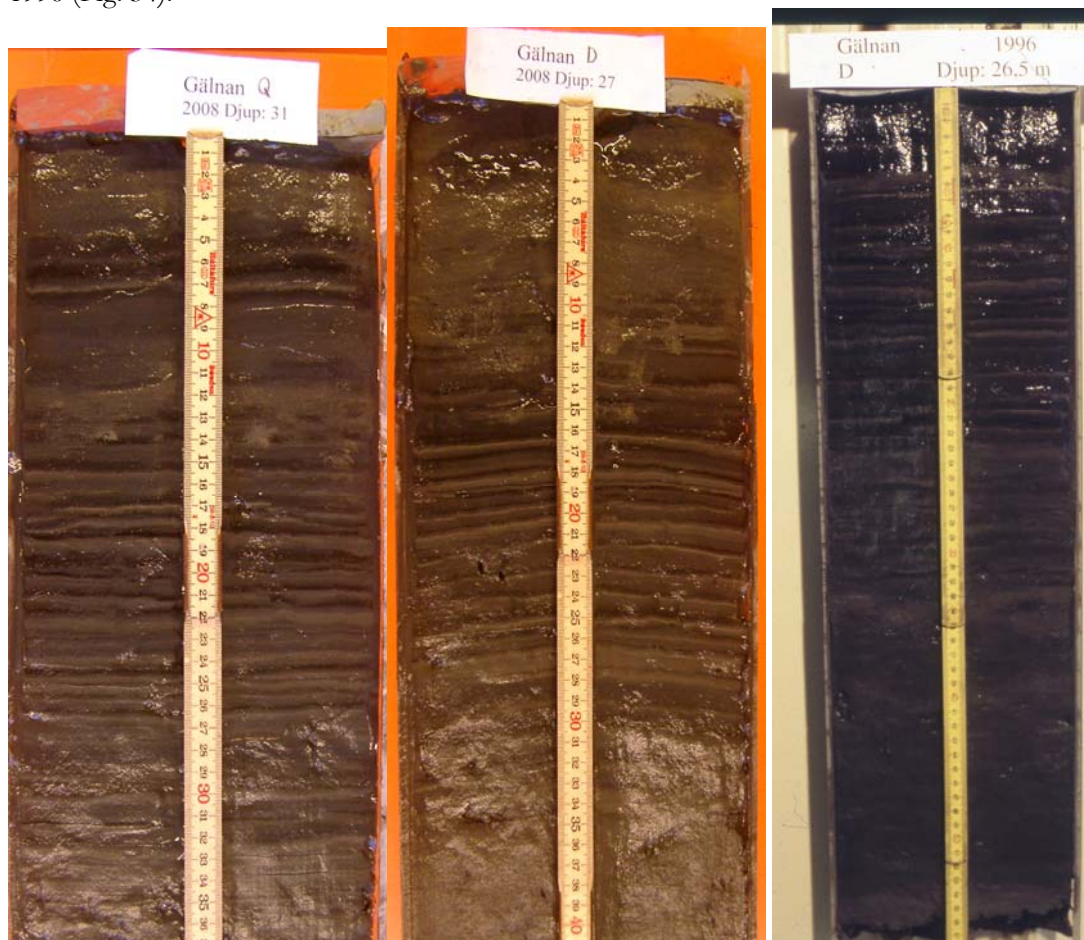


Figur 33 Jämförelse mellan kärnor i Edöfjärden från provtagningar 1997 och 2008/2009. Kärnorna har konnekterats tidsmässigt genom antal årsvarv.

4.10 Gälnan

I Gälnan (station R, Fig. 26), har det skett förbättringar av redoxpotentialen i sedimenten under senare år. I den djupaste delen av fjärden (31 m) var de översta 5 cm av sedimentkärnan oxiderad

(Fig. 34.). Vid 27 meters djup var de översta 10 centimetrarna bioturberade, vilket inte var fallet 1996 (Fig. 34).



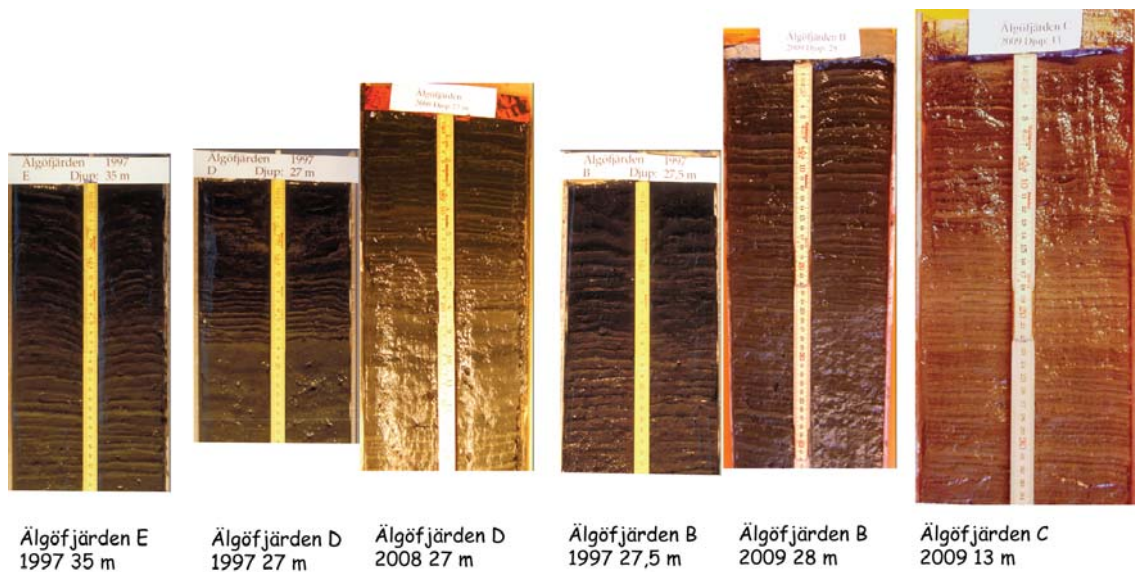
Figur 34 Foto av sedimentkärnor från Gälnan från vänster till höger 1/ 2008 31 m djup, 2/ 2008 27 m djup, 3/ 1996 26,5 m.

I Gälnan genomfördes analyser av fosforinnehållet i två djupprofiler. Den mobila fosformängden var tämligen liten. I både Gäl D och Gäl Q återfanns den mesta mobila fosfor i skiktet 0-2 cm.

4.11 Älgöfjärden

Den egentliga Älgöfjärden (**Fig. 18**) har en ganska komplicerad topografi. Väster om Stora Älgön är bottenprofilen mycket varierad med många grynnor och däremellan djup ner mot 16 m. Öster om öarna är fjärdens botten mjukt kuperad med det största uppmätta djupet på 40 m strax norr om Svartklippan i fjärdens sydöstra del.

I den öppna östra delen av Älgöfjärden tycks lamineringen ha uppstått för i runda tal 30-50 år sedan; 1960-1980 ända nere på 27-35 m:s djup (**Fig. 35**). I den västra delen, som representeras av Älgöfjärden C, har laminerade sediment avsatts på mycket grundare djup (13 m) i minst 60 år. Inga indikationer finns på att förbättringar skulle ha inträffat på senare år.



Figur 35 Jämförelse mellan kärnor i Älgöfjärden från provtagningar 1998 och 2009. Kärnorna har konnekterats tidsmässigt genom antal årsvarv.

Fosforanalyser finns från tre provpunkter i Älgöfjärden på två nivåer. Utifrån dessa bedömdes att endast mycket små mängder mobil fosfor förekom i sedimentet.

4.12 Möja Söderfjärd

I Möja Söderfjärd (station S, **Fig. 26**) togs en kärna från 105 meters djup 2008. Kärnan var laminerad hela vägen upp till sedimentytan (**Fig. 36**) indikerande att ingen förändring av syrgassituationen i djupvattnet skett under senare år.

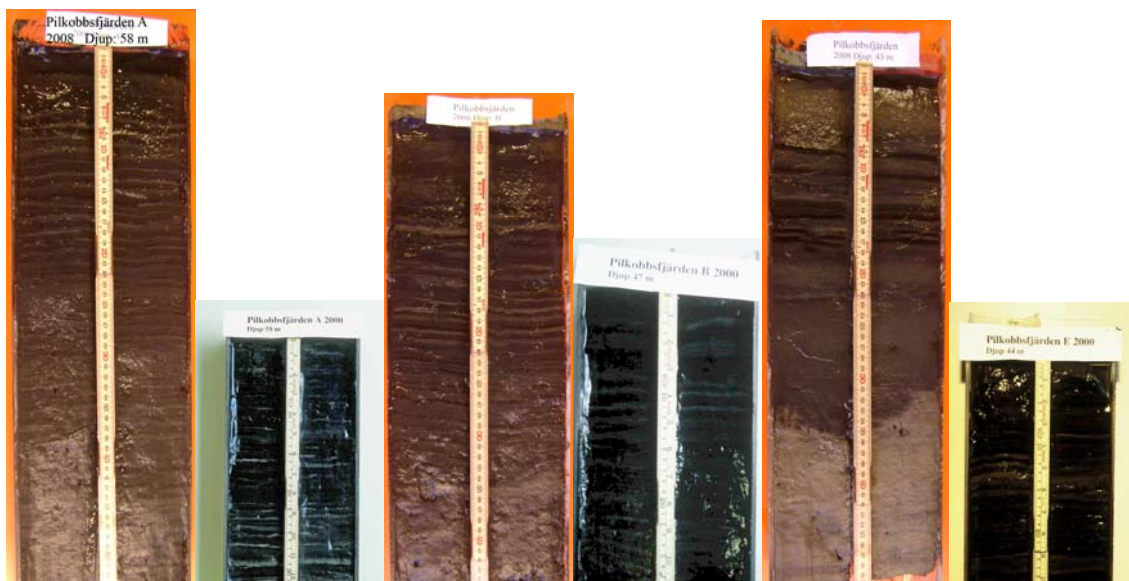


Figur 36 Foto av sedimentkärna från 105 m djup i Möja Söderfjärd 2008.

Fosforhalten var tämligen låg i ytsedimentet även om den översteg halten i djupsediment. Med tanke på de reducerade förhållandena förväntas den mobila mängden fosfor vara liten.

4.13 Norrfjärden/Pilkobbsfjärden

I Norrfjärdens norra del som också benämns Pilkobbsfjärden (station U, **Fig. 26**) var alla kärnor som undersöktes år 2000 laminerade upp till sedimentytan (**Fig. 37**). Även vid undersökningen 2008 var flertalet insamlade kärnor laminerade upp till sedimentytan (**Fig. 37**). Undantag var en kärna från 43 meters djup vars lagerföljd var svårtolkad och eventuellt utgör en lutningsbetingad transportbotten. Resultaten indikerar att de förbättringar av redoxförhållandena som skett i de inre delarna av Stockholms skärgård inte tycks ha skett i ytterskärgården.

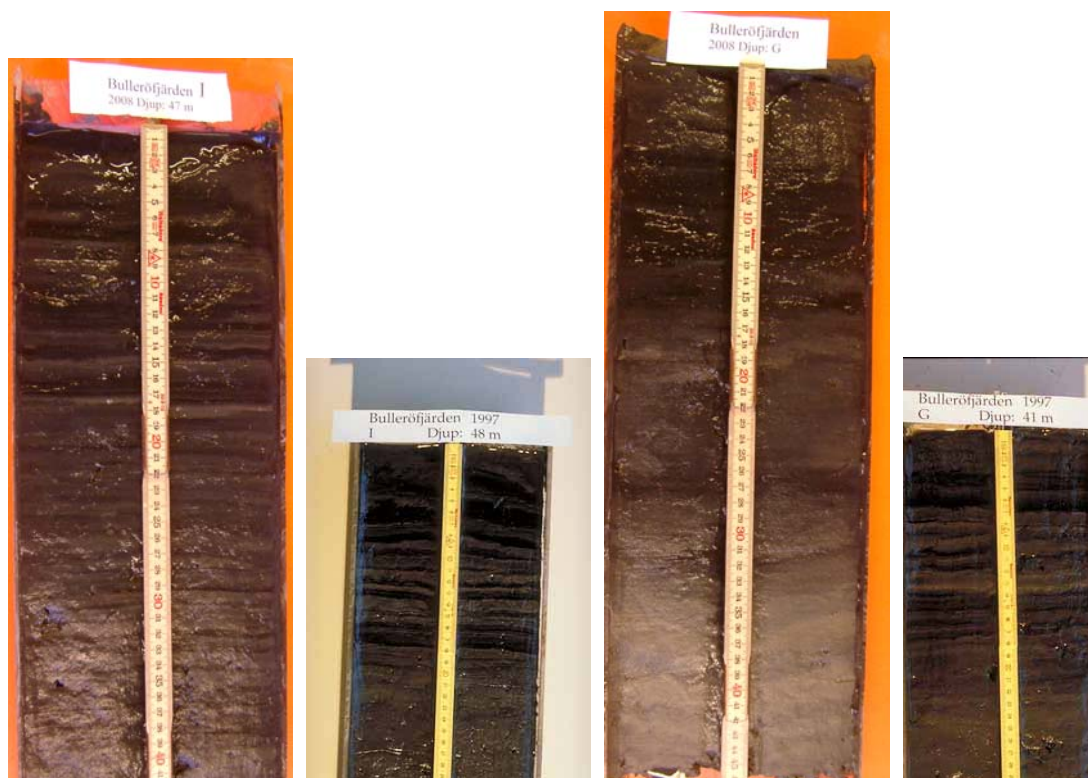


Figur 37 Foton av sedimentkärnor från Pilkobbsfjärden från vänster till höger 1/ 2008 djup 58 m, 2/ 2000 djup 58 m, 3/ 2008 djup 47 m, 4/ 2000 djup 47 m, 5/ 2008 djup 43 m, 6/2000 djup 44 m.

Fosforanalyser genomfördes i tre provpunkter i Pilkobbsfjärden. De ansträngda syreförhållandena i Pilkobbsfjärden förklarar de blygsamma mobila fosformängderna i sedimenten.

4.14 Bulleröfjärden

I Bulleröfjärden (station T, **Fig. 26**) varierar de botten dynamiska förhållandena kraftigt. Även på stora djup förekommer ET-bottnar i områden exponerade mot havet medan A-bottnar finns i topografiskt skyddade lägen. Vid 2008 års undersökning konstaterades att vid en station på 47 meters djup var sedimentytan laminerad (**Fig. 38**), vilket även var fallet 1997. En sedimentkärna från 41 meters djup hade störd lagerföljd och är därmed svårtolkad. Resultaten från Bulleröfjärden indikerar hur som helst att någon påtaglig förändring av syrgassituationen i området inte har skett.



Figur 38 Foton av sedimentkärnor från Bulleröfjärden från vänster till höger 1/ 2008 48 m djup, 2/ 1997 48 m djup, 3/ 2008 41 m djup, 4/ 1997 41 m djup.

De mobila fosformängderna var tämligen variabla med relativt höga halter indikerande förekomst av mobil fosfor i ett par ytsediment och mer blygsamma mängder i övriga punkter.

5 Södermanlandskusten

Fyra kustområden har studerats i Södermanlands skärgård (**Fig. 39**)

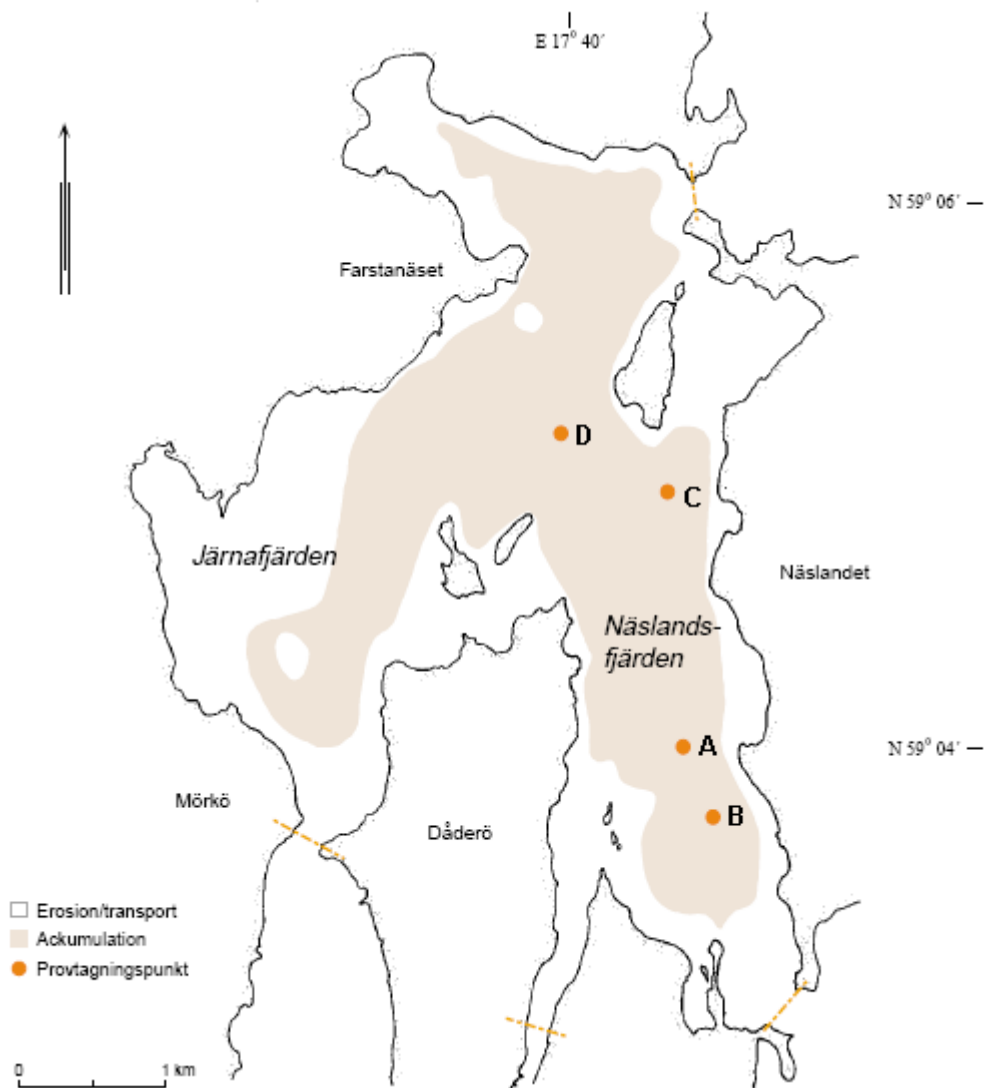


Figur 39 Undersökta områden längs Södermanlandskusten.

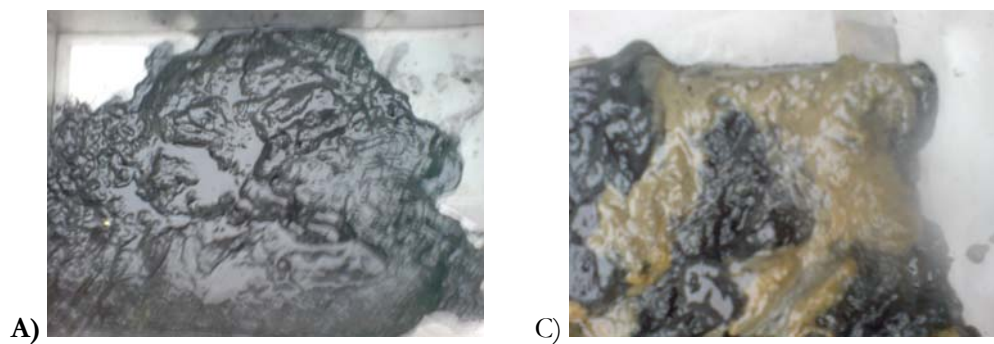
5.1 Näslandsfjärden

Den västra delen av Näslandsfjärden, benämnd Järnafjärden, är förhållandevis grund (som mest 10–12 m) medan den östra delen karakteriseras av stora områden med djup som överstiger 30 meter. Det maximalt uppmätta djupet i fjärden är 39 meter. Topografin i fjärden är tämligen okomplicerad och domineras av ett stort och sammanhängande område med A-bottnar (49 %). Näslandsfjärden belastas indirekt av tillförsel från dels Södertäljeområdet (industrier och kommunala reningsverk), dels från det kommunala reningsverket vid Himmerfjärden.

I Näslandsfjärden har sedimentprover insamlats från fyra stationer (**Fig. 40**). Vid station A (39 m djup, **Fig. 41**) och B (36 m djup) insamlades även prover för utsällning av bottenfauna. Inga djur påträffades dock, vilket sannolikt beror på låga syrgashalter. Det konstaterades även att ytsedimenten var svarta och reducerade. Vid station C (27 m djup, **Fig. 41**) och D (20 m djup) var dock ytsedimenten täckta av ett tunt oxiderat skikt.

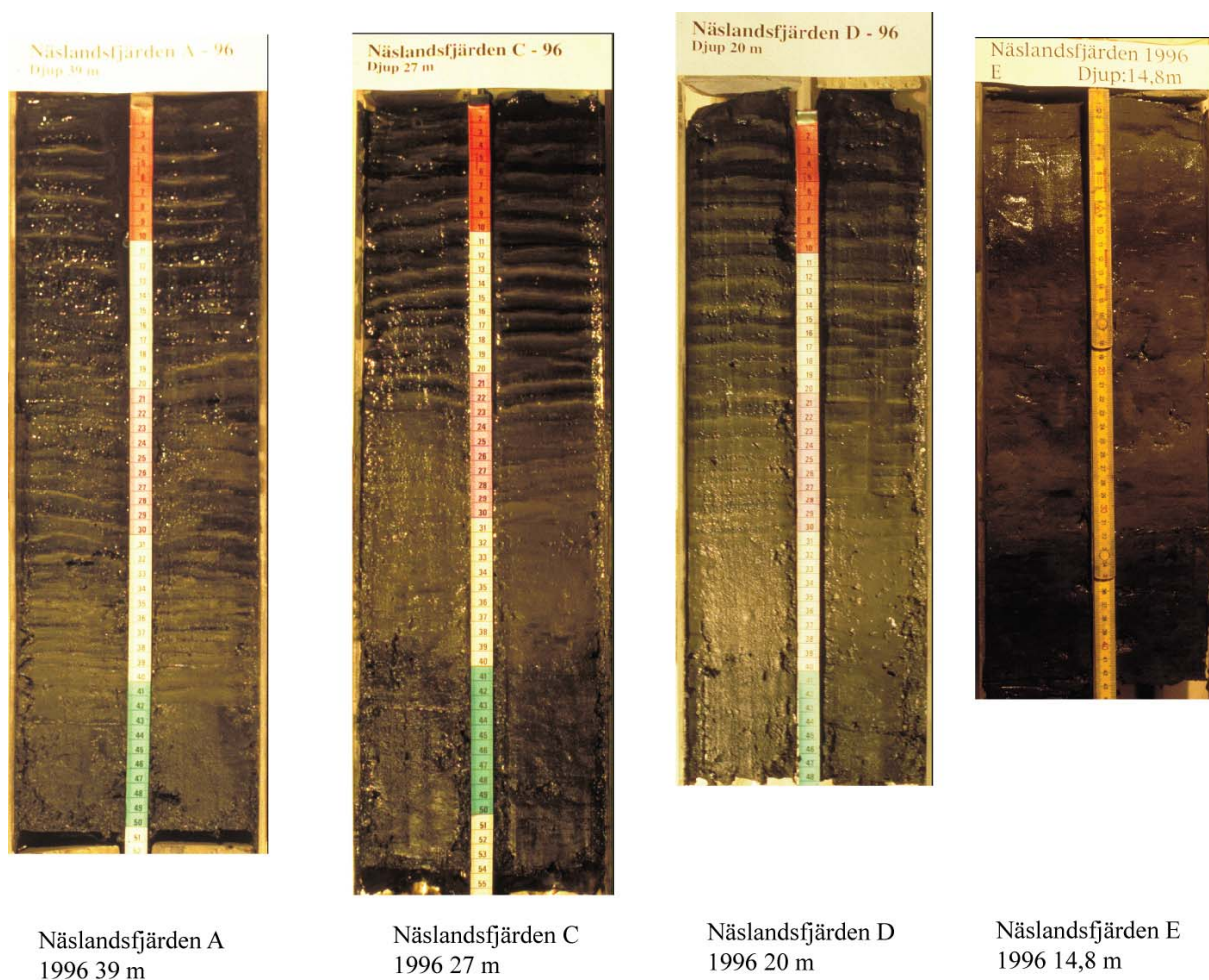


Figur 40 Bottendynamisk karta över Näslandsfjärden med provtagningsstationer



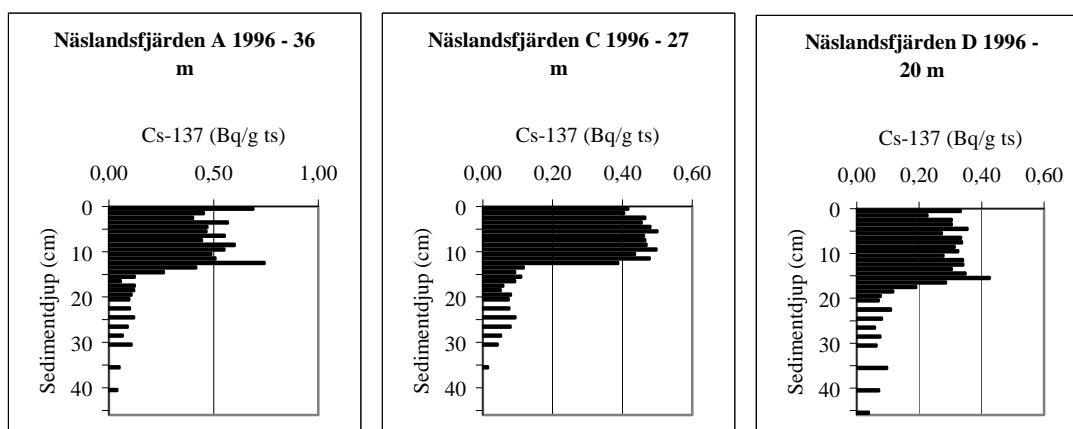
Figur 41 Foto av sedimentprov från station A respektive C i Näslandsfjärden juni 2009.

Näslandsfjärdens sediment undersöktes också 1996 (Jonsson et al., 2003). Vid detta tillfälle var sedimenten vid samtliga stationer laminerade upp till sedimentytan (**Fig. 42**). Från en jämförelse av lagerföljderna på noterades att lamineringen hade ett klart djupberoende. I kärna A kan man räkna till 26 å 27 varv, i C 18-19 varv och i D 15 varv. Den helt igenom mer eller mindre bioturberade kärnan E från 14,8 m visar att gränsen för laminerade bottenar 1996 gick på ett djup mellan 15 och 20 m. I alla de laminerade kärnorna föregicks de överst mycket tydliga varven av 5-6 mer diffusa som antyder de allt kärvare villkoren för bottenfaunan. Lamineringen uppstod sålunda på 39 meters djup omkring 1970, nådde 27 m 1977-78 och 20 m i början av 1980-talet.



Figur 42 Sedimentkärnor från Näslandsfjärden 1996 i en djupgradient från 39-14,8 m. (Jonsson, opubl. material).

Datering med radiocesium bekräftar att lamineringen är årlig (Jfr **Fig. 42** med **Fig. 43**)



Figur 43 Datering av sedimentkärnor från Näslandsfjärden med radiocesium. (Jonsson, opubl. material)

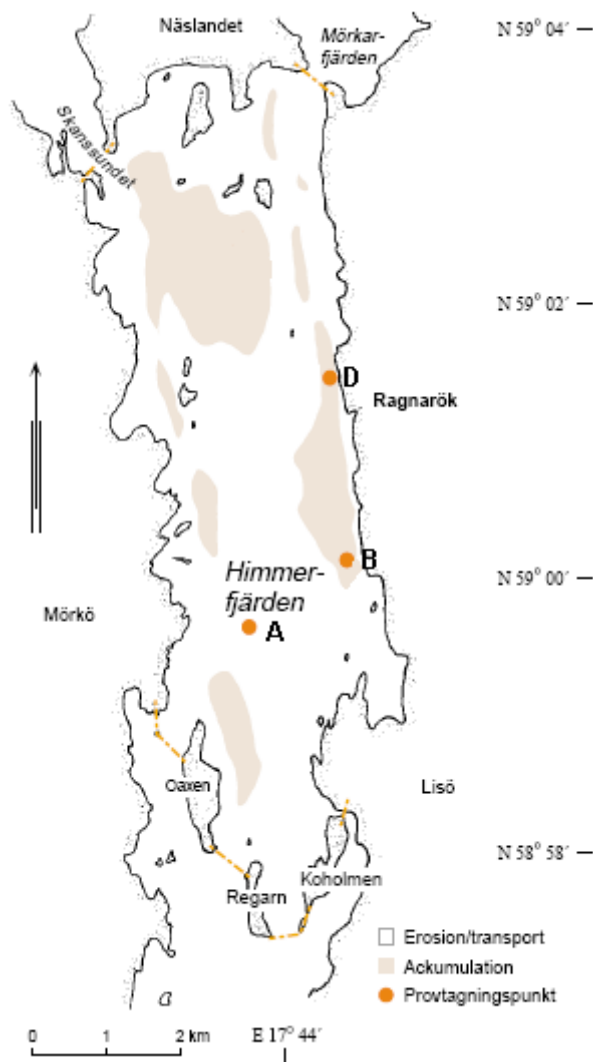
Det är möjligt att en viss förbättring av syrgasförhållandena skett mellan undersökningstillfällena eftersom oxiderade skikt påträffades i proven från 27 och 20 meters djup. Det oxiderade skiktet var emellertid tunt och bestod till stor del av ävja så det kan inte uteslutas att sedimentytan reducerades längre fram under produktionsperioden. På djup större än 30 m visar hur som helst både sediment- och bottenfaunaprovtagning att syrgashalterna är fortsatt låga.

Fosforhalten i ytsediment ovanför 27 m vattendjup översteg den typiska halten i djupsediment (1000 µg/g TS) vilket tyder på förekomst av mobil fosfor, medan de djupare liggande punkterna hade låga fosforhalter och sannolikt ingen mobil fosfor. Här förefaller således ett samband mellan redoxpotential och fosforfastläggning att föreligga.

5.2 Himmerfjärden

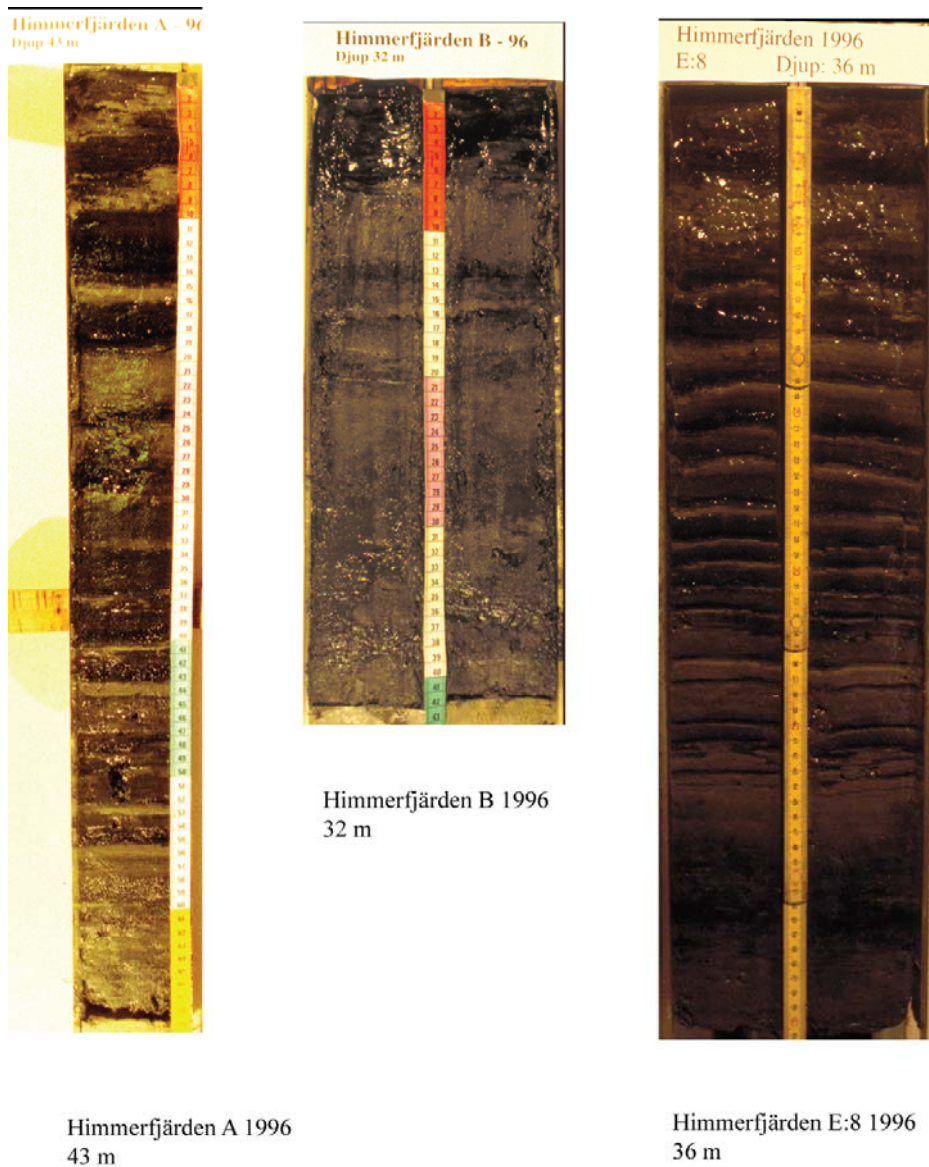
Topografen i området är relativt komplicerad med såväl stora och djupa partier som öar och grynnor (**Fig. 44**). Stora delar av den förhållandevis stora fjärden karaktäriseras av djup på 25–30 m, och det maximalt uppmätta djupet 46 m återfinns strax norr om ön Oaxen. Stora sammanhängande ackumulationsbottenområden finns i den norra delen och längs ostsidan i de mellersta delarna. Totalt utgörs 21 % av fjärden av A-bottnar. Himmerfjärdsverket, som sedan 1974 renar en stor del av Stockholms avloppsvatten (258 000 p.e. 2010), har sin utsläppspunkt i den norra delen av fjärden.

I Himmerfjärden pågår två vetenskapliga experiment. För att utvärdera nyttan av kväveavskiljningen vid Himmerfjärdsverket, har man under en försöksperiod stängt av denna funktion i reningsverket för att studera hur ekosystemet i primärrecipienten svarar på en högre kvävetillförsel. I det andra projektet studerar man om det är möjligt att med biomanipulation stimulera förekomsten av rovfisk, i detta fall gös, och därigenom åstadkomma ett klarare vatten. Hypotesen är att man genom öka andelen rovfisk erhåller ett högre predationstryck på planktivora fiskar, vilket i sin tur gynnar bestånden av zooplankton, vilket i sin tur ökar betningen av växtplankton vilket slutligen resulterar i ett klarare vatten. I **Figur 44** redovisas den bottendynamiska kartan över Himmerfjärden samt de stationer som undersöktes i juni 2009



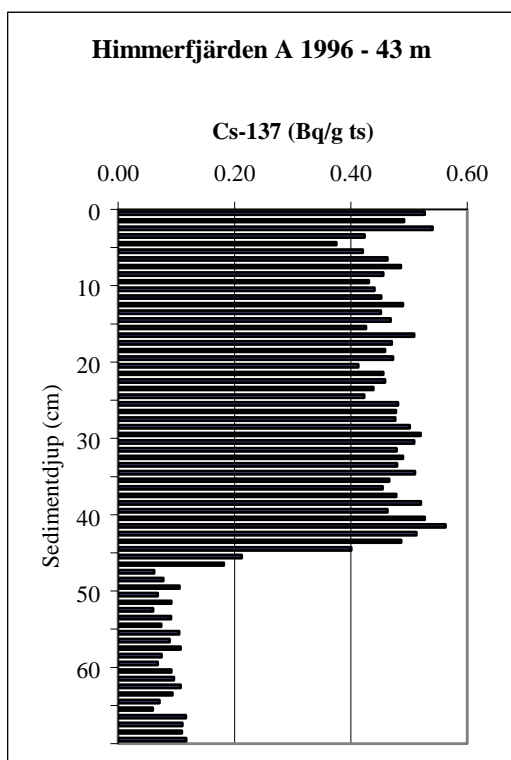
Figur 44 Bottendynamisk karta över Himmerfjärden med provtagningsstationer

Sommaren 1996 togs 14 sedimentkärnor på Himmerfjärden varav tre visas i **Fig. 45**. Kärnorna A och E:8 som är tagna från 43 resp. 36 m är mycket tydligt laminerade och varven är genomgående tjocka, speciellt i kärna A där de översta 30 cm utgörs av 5 varv. Detta är de mäktigaste varven som noterats i skärgårdarna längs Sveriges ostkust (Jfr Tabell 1). I den bottendynamiska kartan har inte området kring stn A noterats som ackumulationsområde vilket det förvisso är. Cesiumdateringen av denna kärna (**Fig. 46**) visar på perfekt överensstämmelse mellan varvräkning (10 varv) och Chernobylpiken på 41 cm. I den norra delen av Himmerfjärden där utsläppspunkten från Himmerfjärdsverket ligger kan man i kärna E:8 räkna 19-21 varv, vilket innebär att den lamineringen uppstod omedelbart efter att Himmerfjärdsverket började släppa ut avloppsvatten i fjärden.



Figur 45 Sedimentkärnor från Himmerfjärden tagna 1996.

I **Figur 47** visas foto från 2009 av oxiderat ytsediment från station A, på 43 meters vattendjup. 1996 var denna station tydligt laminerad ända upp till sedimentytan och det kan således konstateras att det skett en väsentlig förbättring av syrgasförhållandena mellan undersökningstillfällena. Vid station A insamlades även ett triplikat av prover för bottenfaunabestämning. Havsborstmask (*Marenzelleria*) dominerade med ett individantal på ca 2 200 djur/m². Även Östersjömussla (*Macoma baltica*) påträffades. Den sammanlagda genomsnittliga biomassan uppgick till ca 22 g vv/m². I **Figur 47** visas också foto av sedimentkärna från station B (32 m djup). Ytsedimentets översta centimeter var tydligt oxiderat och bioturberat, vilket inte var fallet vid undersökningen 1996 då diffusa lamineringar påträffades i de övre sedimentlagren. Sammantaget tyder resultaten på att skett en förbättring av syrgasförhållandena i Himmerfjärdens djupare delar mellan de bägge provtagningstillfällena.



Figur 46 Aktivitetsprofil för sedimentkärna Himmerfjärden A från 43 m. (Jonsson, opubl. material).



Figur 47 Foton av ytsediment från station A, 43 m vattendjup i Himmerfjärden i juni 2009. Det gulbruna ytskiktet utgörs sannolikt av nyligen sedimenterat material från vårbloomingen. I provet förekom också skal och levande individer av Östersjömussla (*Macoma baltica*) sedimentkärna från station B Himmerfjärden, 32 m djup i juni 2009

I tre platser i Himmerfjärden kartlades fosforinnehållet i ytsediment. Ytskiktet förefaller innehålla mobil fosfor i alla provpunkter (totalfosforhalten > 1000 mg/kg TS).

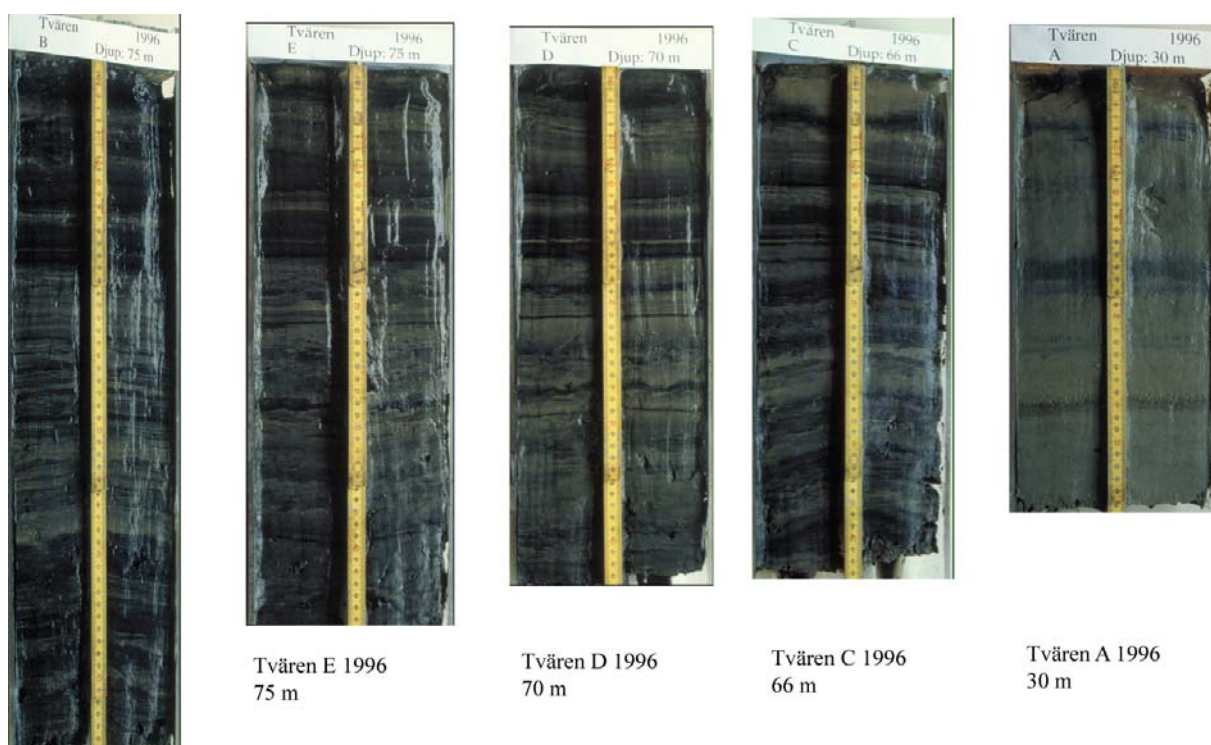
5.3 Tvären

De centrala delarna av den kraterformade fjärden Tvären är mycket djupa, med stora arealer som är djupare än 50–60 meter och ett maximalt djup på 76 meter. Den bottendynamiska kartan över Tvären visar att större delen (59 %) utgörs av A-bottnar (**Fig. 48**) Tvären anses ha bildats genom ett nedslag av en meteor för cirka 450 miljoner år sedan. På botten finns kalksten som avlagrats i sänkan efter nedslaget.



Figur 48 Bottendynamisk karta över Tvären med provtagningspunkter vid 2009 års provtagning.

Tvärens sediment uppvisar mycket karaktäristiska lagerföljder med ljusare partier omväxlande med mörka (**Fig. 49**) som bildar tydliga lednivåer vilka lätt kan kännas igen i de olika kärnorna. Cesiumaktivitetsprofilerna har dock ett något annorlunda utseende än vad man normalt finner i djupa skärgårdsfjärdar. På de djupaste stationerna B och E finns någorlunda markerade aktivitetspikar vid 8 resp. 7 cm. medan de något grundare stationerna D och C har profiler som indikerar bioturbation, speciellt i C (**Fig. 50**).



Tvären B 1996
75 m

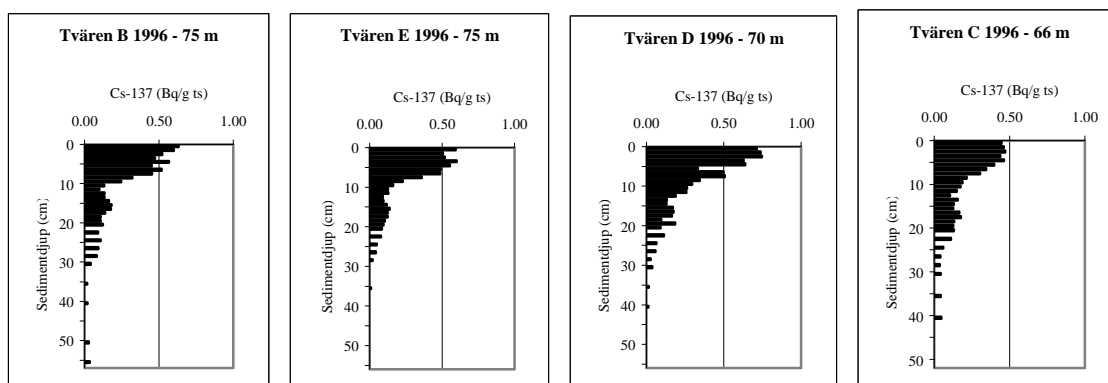
Tvären E 1996
75 m

Tvären D 1996
70 m

Tvären C 1996
66 m

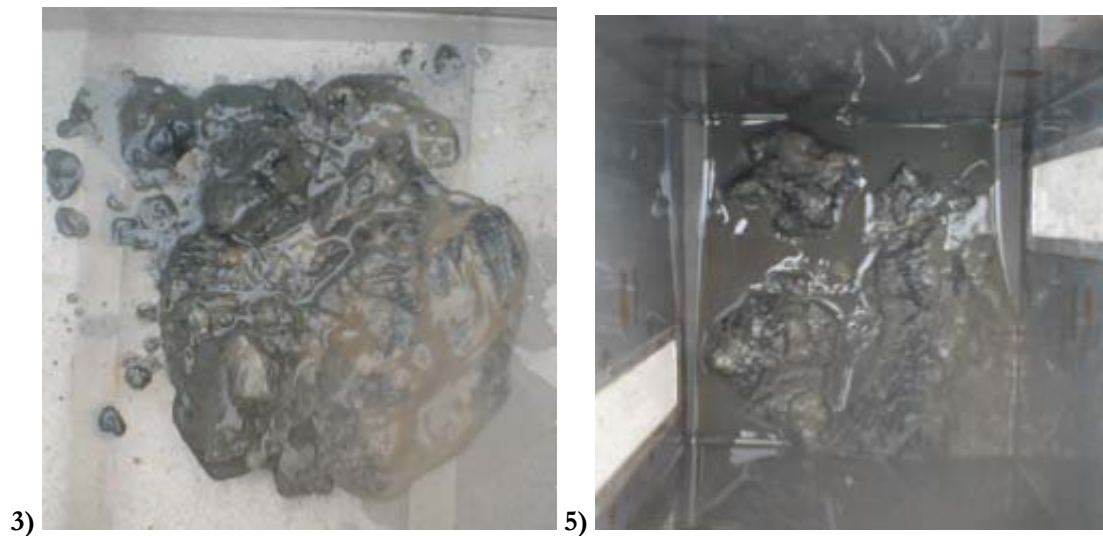
Tvären A 1996
30 m

Figur 49 Sedimentkärnor från Tvären 1996. station B = station 5, station C = station 3, station A = station 6.



Figur 50 Cs-137 aktivitetsprofiler för fyra sedimentkärnor från Tvären 1996.

Vid 2009 års undersökning i juni månad var de översta centimetrarna av ytsedimenten oxiderade vid station 3 och 5 (Fig. 51). Det var de även när sedimenten undersöktes 1996 (Jonsson et al., 2003). Ytsedimenten vid station 6 hade inslag av grövre material (silt) samt relativt låga vatten- och organiska halter, vilket klassificerar den som transportbotten



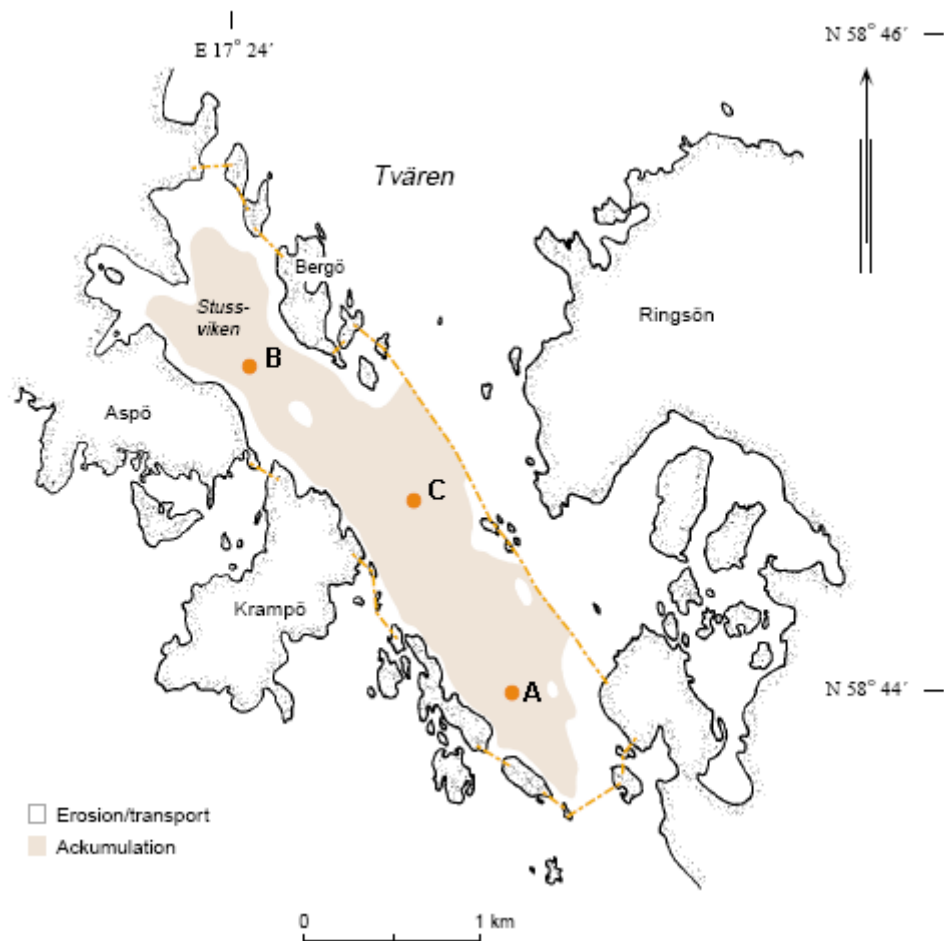
Figur 51 Foto av ytsediment från station 3, 66 m djup respektive station 5, 75 m djup i Tvären i juni 2009. Det gulbruna ytskiktet utgörs sannolikt av nyligen sedimenterat material från vårbloomingen.

Bottenfaunaprovtagning genomfördes vid station 3 (66 m djup). Medelbiomassan i triplikatet uppgick till ca 8 g vv/m². Havsborstmask (*Marenzelleria*) dominerande individmässigt.

Ytsedimenten i Tvären innehöll låga halter av fosfor, sannolikt var denna mängd endast till liten del mobil. I punkten 6 var vattenhalt och glödningsförlust så låga att det sannolikt rör sig om en transportbotten, vilket gör att fosforhalten inte kan mätas med samma måttstock som övriga sediment.

5.4 Stussviken

A-bottnar dominerar i fjärden (**Fig. 52**) som har en relativt enkel bottentopografi med 15-20 meters vattendjup i den nordvästra halvan av fjärden och 25 -30 meter i den sydöstra.



Figur 52 Bottendynamisk karta över Stussviken med provtagningspunkter.

I samband med en doktorandkurs vid Stockholms universitet 2006 insamlades sedimentkärnor från detta område. På 25-27 meters djup var sedimenten 2006 (**Fig. 53**) laminerade. Lamineringen är dock tämligen diffus och tyder på viss bioturbation. I juni-september 2009 insamlades tre sedimentprov, ett ytsedimentprov och två kärnor (B, C, **Fig. 54**). I februari 2010 återbesöktes de tre stationerna. I samtliga fall var ytsedimenten oxiderade.



Stussviken 2 2006 27,3 m



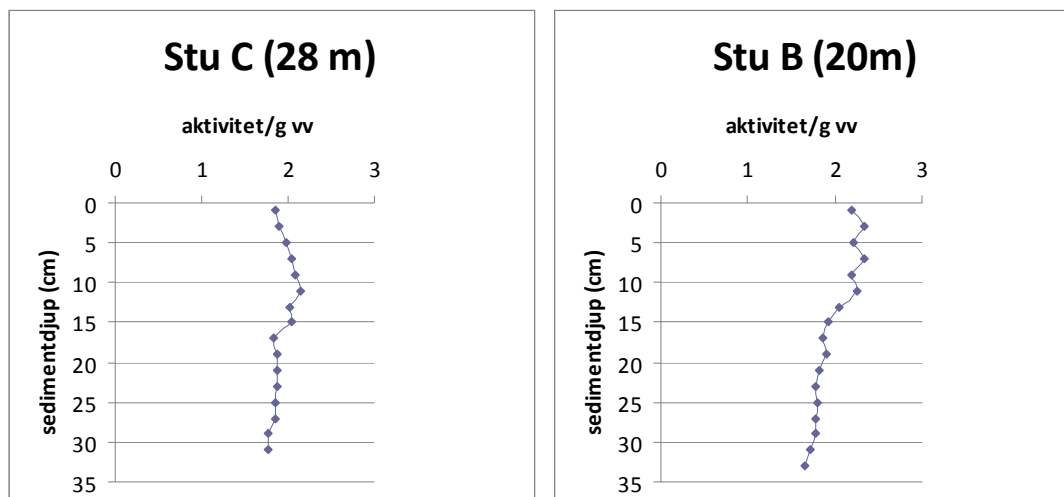
Stussviken 2009 25 m

Figur 53 Jämförelse mellan sedimentkärnor från Stussviken tagna 2006 och 2009. Kärnorna har konnekterats genom identifierbara lednivåer.



Figur 54 Foto av sedimentkärna B från Stussviken, 20 meters vattendjup, juni 2009.

Vid undersökningen i februari cesiumdaterades två kärnor för att undersöka sedimenttillväxten (**Fig. 55**). Dateringen visar på en förhållandevis låg sedimenttillväxt (0,5-0,7 cm/år), och att de undersökta bottenarna ligger på gränsen mellan transport- och ackumulationsförhållanden. Bottenfaunaprov insamlades från station A. Ett fåtal individer av havsborstmask (*Marenzelleria*) och fjädermygglarver (*Chironomider*) påträffades. Detta pekar också mot att denna station ligger på gränsen mellan ackumulations- och transportförhållanden i och med att det inte sker någon betydande deposition av organiskt material som gynnar utbredning av detrivor mjukbottenfauna.



Figur 55 Cs-137 aktivitetsprofiler i sedimentkärnor från Stussviken

Fosforhalten analyserades i en profil och ett ytsediment i Stussviken. Relativt hög fosforhalt uppmättes i ytsedimentet på 20 m vattendjup medan ytsedimentet på 30 m vattendjup innehöll låg fosforhalt och sannolikt ingen mobil fosfor.

6 Sankt Anna och Gryts skärgårdar

Sedimentprovtagning genomfördes från forskningsfartyget R/V Sunbeam i augusti 2009 på 1-4 stationer i vardera av 12 fjärdområden (**Fig. 56**). Samtliga undersökta stationer hade besökts tidigare (1995, 1996 och/eller 1999).



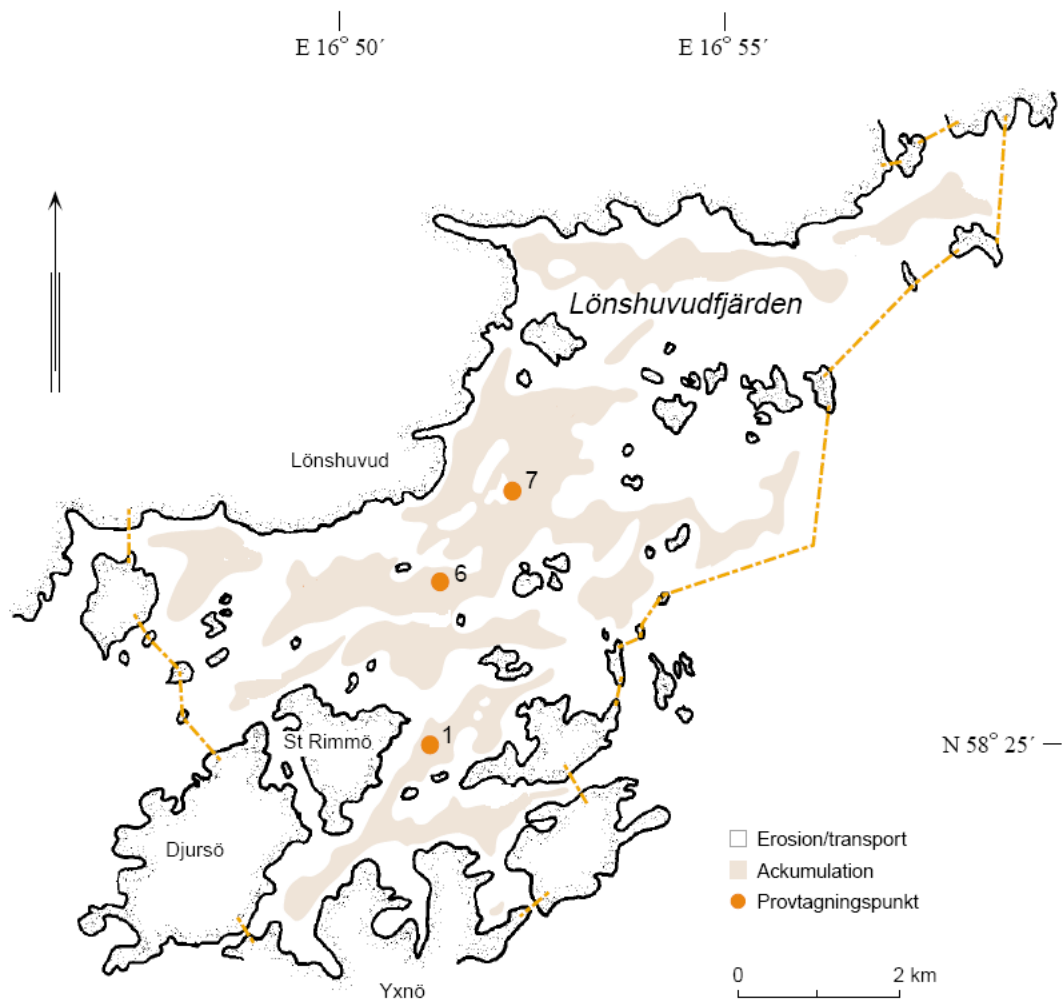
Figur 56 Studieområden i Sankt Anna och Gryts skärgårdar.

6.1 Lönshuvudfjärden

Lönshuvudfjärden karaktäriseras av en relativt komplicerad topografi med många grynnor men även stora arealer bottenar djupare än 10–15 m med goda förutsättningar för sedimentation av finmaterial. Fjärdens djupaste del (44 m) ligger strax söder om Arkö där Lönshuvudfjärden angränsar mot öppna havet.

Den brutna topografin i Lönshuvudfjärden ger upphov till relativt mosaikartade sedimentförhållanden, vilket tydligt framgår av den bottendynamiska kartan (**Fig. 57**). Akkumulationsbottnarna utgör 29 % av fjärdytan.

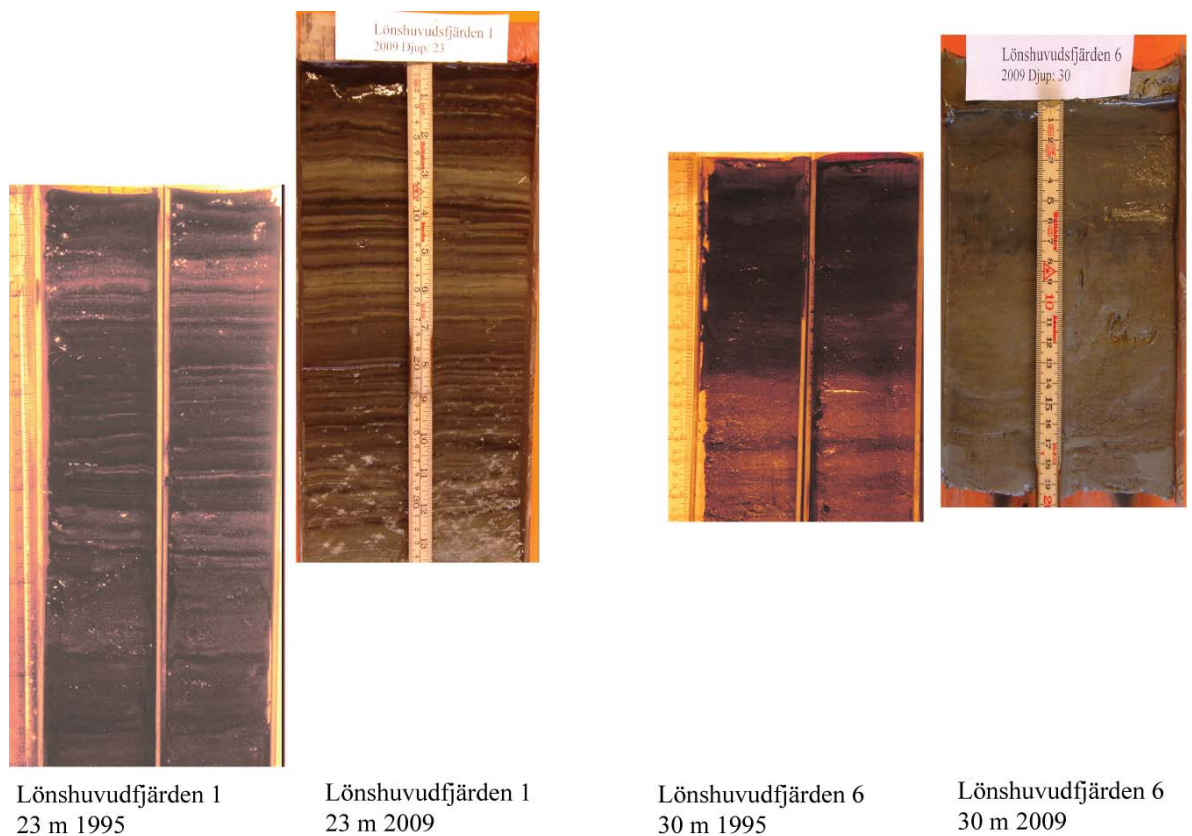
Tre av provtagningsstationerna från 1996 återbesöktes 2009. Dessa stationer ligger alla i den sydvästra halvan av fjärden där det 1996 fanns områden med tydligt laminerade sediment på 17–32 meters djup. I den nordostliga delen av fjärden förekommer erosions- och transportbottnar på 40–50 meters djup, sannolikt som en följd av den nära kontakten med öppet hav.



Figur 57 Bottendynamisk karta över Lönshuvudfjärden med 2009 års provtagningsstationer.

En jämförelse mellan sedimentkärnornas lagerföljder vid provtagningarna 1996 och 2009 (**Fig. 58**) visar tydlig kontinuitet i sedimenttillväxten i det topografiskt förhållandevis inneslutna området som representeras av station 1. Ett tydligt ljusare parti på 4-5 cm:s djup i kärnan från 1996 återfinns även i kärnan från 2009 och visar på kontinuerliga ackumulationsförhållanden. Sedan 1996 har 8-9 cm avsatts vilket innebär ca 6-7 mm/år, vilket är förhållandevis lågt i jämförelse med andra skärgårdsfjärdar. Denna låga sedimentackumulering räknat i mm/år stämmer överens med slutsatsen att torrsedimentdepositionen i Lönshuvudfjärden endast är lite drygt en tredjedel av medelvärdet för 25 skärgårdsfjärdar längs ostkusten (se **Tabell 1**).

Lagerföljderna på station 6 från 1996 och 2009 indikerar bioturberade förhållanden och inga lednivåer har kunnat identifieras i kärnorna. Glödningsförlusten är låg (3,2 %) liksom vattenhalten (40,4) vilket visar på en lagerföljdslucka mellan ytsedimentet med hög GF och vattenhalt, 14,1 % resp. 82,2.

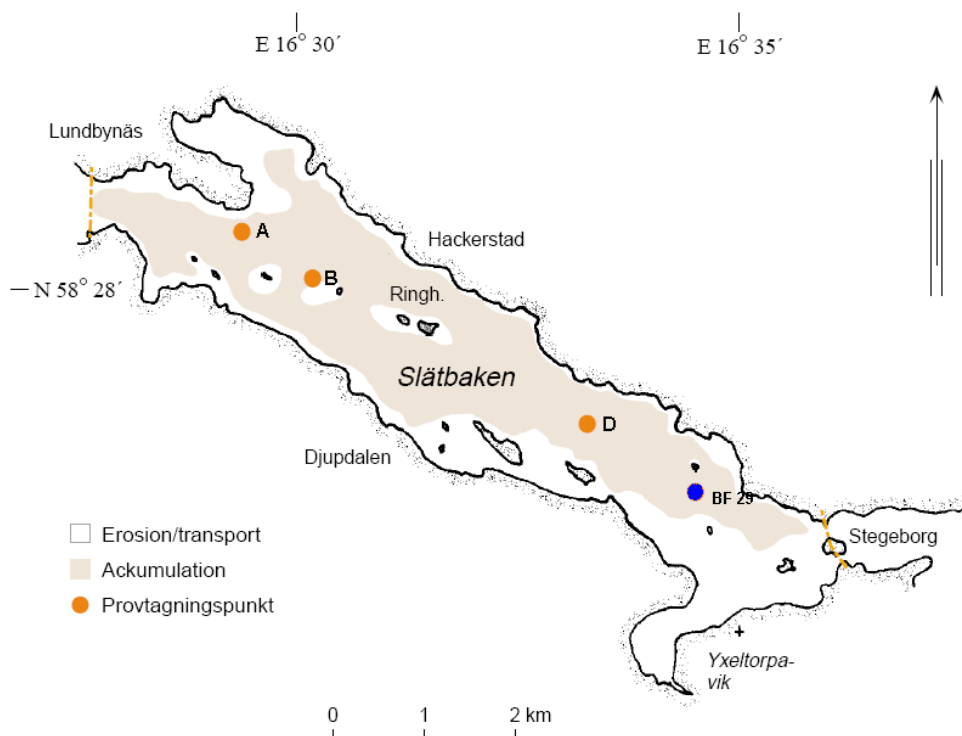


Figur 58 Jämförelse mellan sedimentkärnor från Lönshuvudfjärden tagna 1995 och 2009. Kärnorna från Lönshuvudfjärden 1 har konnekterats tidsmässigt genom identifierbara sedimenthorisonter.

Fosfor har analyserats i tre provpunkter i yt- och djupsediment. Ytsedimenten förefaller innehålla mobil fosfor. Den mycket låga fosforhalten i djupsedimentet i lp 6 indikerar ett helt annat sediment än i ytan, vilket troligen beror på en lagerföljdslucka som medför att denna botten är att karaktärisera som transportbotten (se ovan).

6.2 Slätbaken

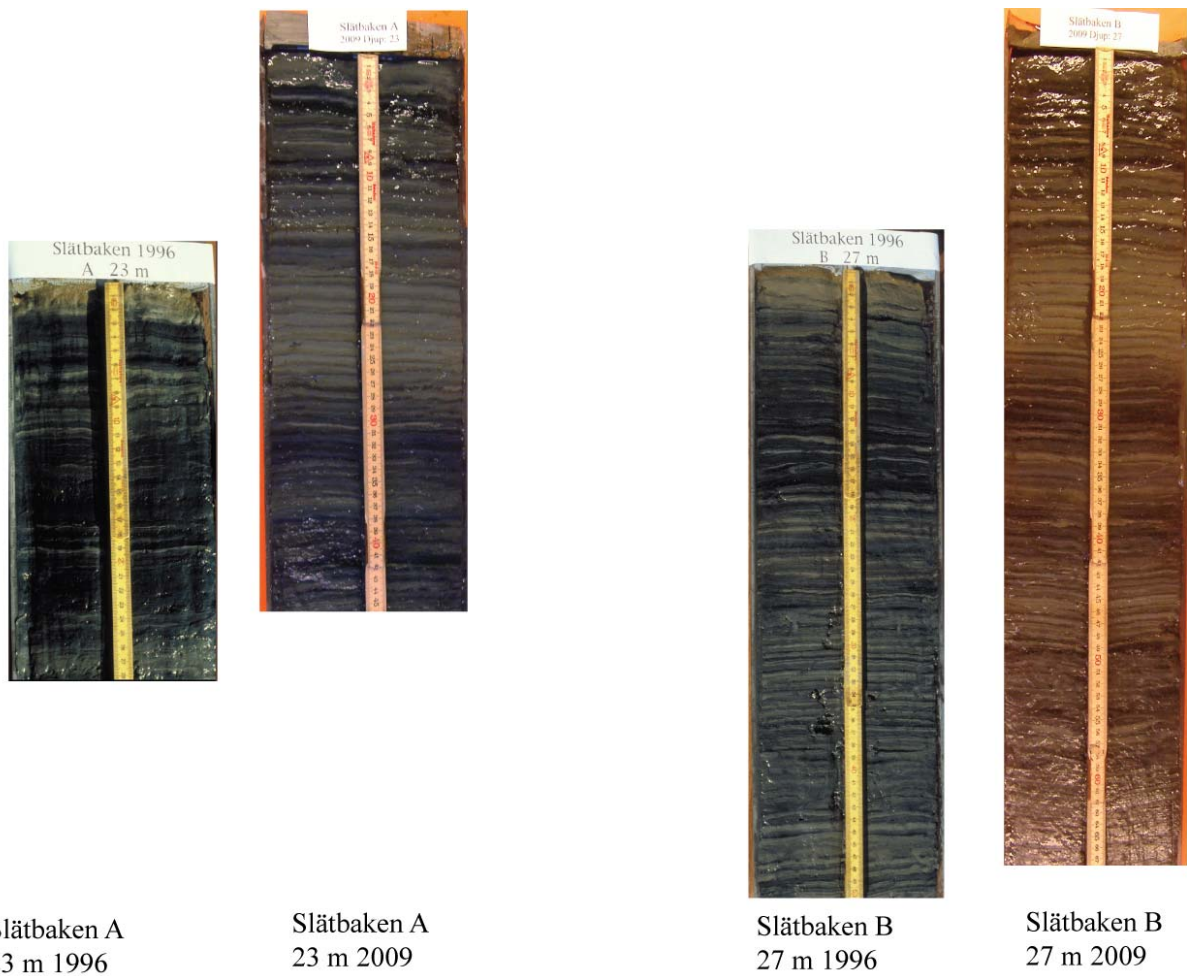
Slätbaken (50 m max. djup) är belägen allra längst upp i den nordvästra delen av S:t Annas innerskärgård. Fjärden har en mycket smal och grund (6–7 m) tröskel vid Stegeborg. På djup större än ca 10–15 meter återfinns ackumulationsbottnar, som utgör så mycket som 57 % av fjärdarean (**Fig. 59**).



Figur 59 Bottendynamisk karta över Slätbaken med orangea provtagningsstationer för sediment (A-C) samt blå provtagningsstation för bottenfauna (BF 29) inom recipientkontrollprogrammet markerade.

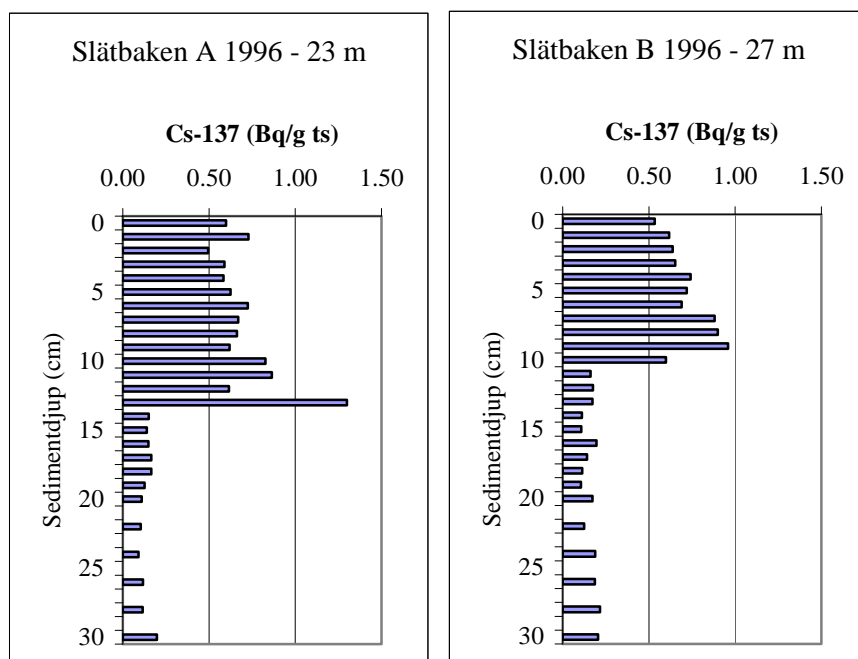
Vid sedimentprovtagningen i juni 1996, togs fem sedimentkärnor varav tre i nordväst och två i sydost. Kärnorna togs på 23 - 42 m djup och längden varierade mellan 52 och 77 cm, d v s förhållandevis långa. Den generella bilden var att, trots att alla kärnorna vid provtagningsstillfället hade ett 0,5-1,5 cm tjockt oxiderat ytskikt, var de därunder laminerade hela vägen ned igenom kärnorna. I de tre grundaste (23, 26,5 och 27 m) återfanns mycket tydlig laminering med respektive 58, 67 och 56 varv. I de djupare delarna (40 och 42 m) var lagerföljden generellt sett mörk och det var i delar av kärnorna svårt att räkna varv.

I **Figur 60** visas en jämförelse av lagerföljderna från två sedimentkärnor som provtogs både 1996 och 2009. Lagerföljderna är kontinuerliga och tydliga varv med likartade identifierbara horisonter finns på båda provtagningsstationerna. I den längsta av kärnorna från 1996 (station B) kan man tydligt se ett 60-tal årsvarv, vilket indikerar att laminerade sediment funnits på 27 m:s djup i Slätbaken redan på mitten av 1930-talet. Fjärdens tillstängda läge i kombination med att den sedan länge utsatta för ett betydande tillskott av näringsämnen via Söderköpingsån är den troliga orsaken till de ansträngda syreförhållandena i djupområdena. Den ljusare färgtonen i de översta centimetrarna av sedimentpelarna visar dock på oxiska förhållanden vid sedimentytan både vid provtagningen 1996 och 2009.



Figur 60 Jämförelse mellan kärnor provtagna i Slätbaken 1996 och 2009. Kärnorna har konnekterats tidsmässigt genom identifierbara sedimenthorisonter och antal årsvarv.

Utifrån såväl varvräkning som cesiumdatering var sedimenttillväxten i den nordvästra delen av Slätbaken 1996 10-13 mm/år (**Fig. 61**). De distinkta topparna på 9-10 resp. 13 cm:s djup antyder också liten bioturbation som följd av avsaknad av bottenfauna. Sedan 1996 har 13 varv avsatts på 18 cm i kärna A och 17 cm i kärna B vilket motsvarar en sedimenttillväxt på 14 resp. 13 mm/år. Detta är en förhållandevis hög sedimenttillväxt om man tar i beaktande att andelen A-bottnar är så stor som 57 % och att sedimentfokuseringen är så låg som 1,7 (jfr **Tabell 1**).



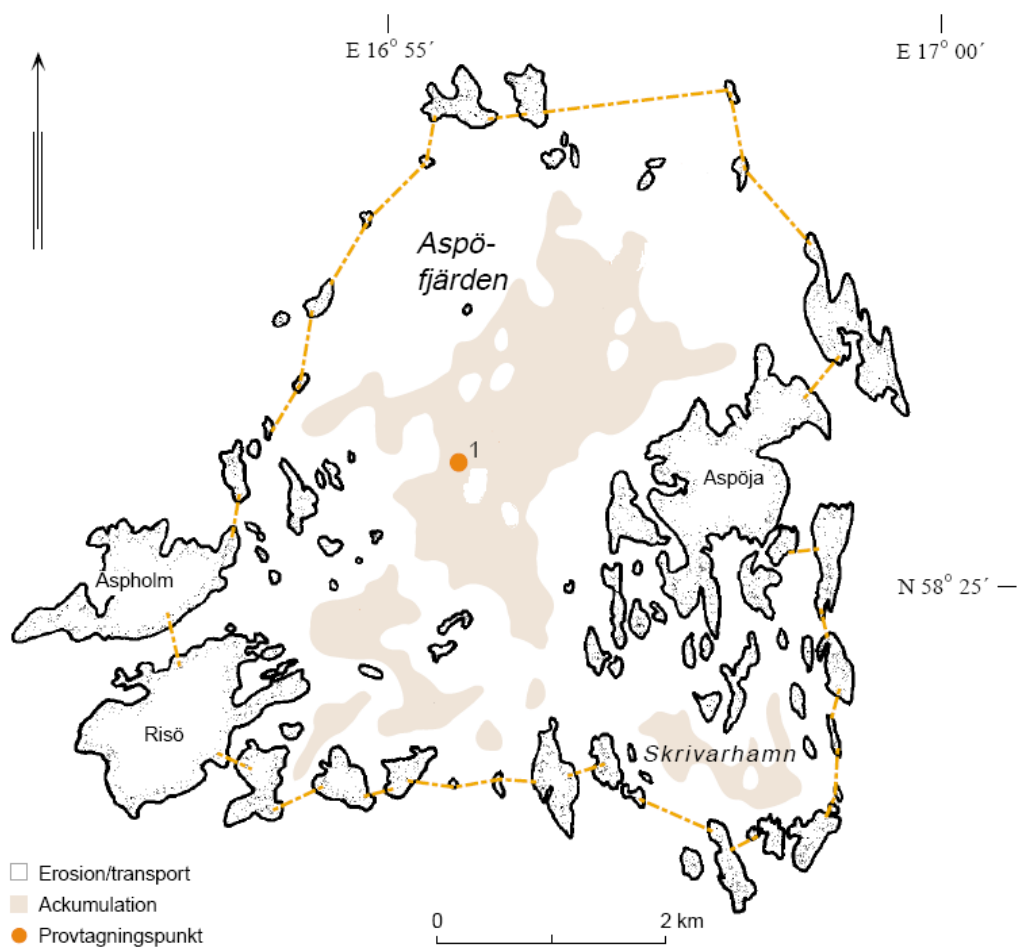
Figur 61 Aktivitetsprofiler för Cs-137 i sedimentkärnorna A och B från Slätbaken. Provtagningsår 1996.

Utifrån sedimentlagerföljderna kan inga påtagliga förbättringar utläsas under senare år. Bottenfaunans utbredning i Slätbaken undersöks vart tredje år inom recipientkontrollprogrammet för Motala ströms vattenvårdsförbund vid stationen BF 29 (**Fig. 59**) på ca 40 meters djup. Högre makroskopisk bottenfauna har saknats eller varit starkt utarmad vid samtliga undersökningar sedan åtminstone 1997 (Alcontrol, 2006).

Fosfor analyserades i tre provpunkter i yt- och djupsediment. Ytsedimenten förefaller innehålla mobil fosfor. Endast ett tunt ytskikt föreföll oxiderat vilket sannolikt är tillräckligt för att kvarhålla mobil fosfor.

6.3 Aspöfjärden

Aspöfjärden har en komplicerad småskuren topografi och det maximala uppmätta djupet 28 meter är beläget i den norra delen. Den centrala delen av fjärden utgörs till större delen av ackumulationsbottnar (**Fig. 62**) men i den norra delen av fjärden (nordost Jungfrusalen) dominerar erosions- och transportbottnar trots djup som ofta överstiger 20 meter. Den totala andelen A-bottnar i för hela fjärdområdet är 32 %. Endast i fjärdens sydvästra delar hittades 1995 tydliga lamineringar på några nivåer med varvtjocklekar på 2–5 mm. I övrigt var sedimenten genomgående bioturberade.



Figur 62 Bottendynamisk karta över Aspöfjärden med 2009 års provtagningsstation.

Vid provtagningen 2009 togs endast en kärna från den öppna delen av Aspöfjärden (**Fig. 62**). Ett försök har gjorts att koppla lagerföljderna från 1995 och 2009 (**Fig. 63**). Ett mörkt parti återfanns på 4-6 cm i kärnan från 1995. Även i 2009 års kärna syns tydligt ett mörkare parti på 8-11 cm:s djup. Om dessa antas vara tidsmässigt synkrona har 4-5 cm deponerats mellan 1996 och 2009. Detta motsvarar en sedimentackumuleringshastighet på 2-4 mm, vilket är i god överensstämmelse med genomsnittet 4 mm/år som anges i Jonsson et al. (2003).

I de övre delarna på kärnan från 2009 finns antydningar till laminering som indikerar att syreförhållandena vid botten på 24 m djup i alla fall tidvis kan leda till ansträngda förhållanden för bottenfauna. Svaga varv kan iakttagas ända ned till ca 20 cm:s sedimentdjup vilket leder till slutsatsen att inga påtagliga förändringar har skett i Aspöfjärden sedan 1995.



Aspöfjärden 1 1995 23 m



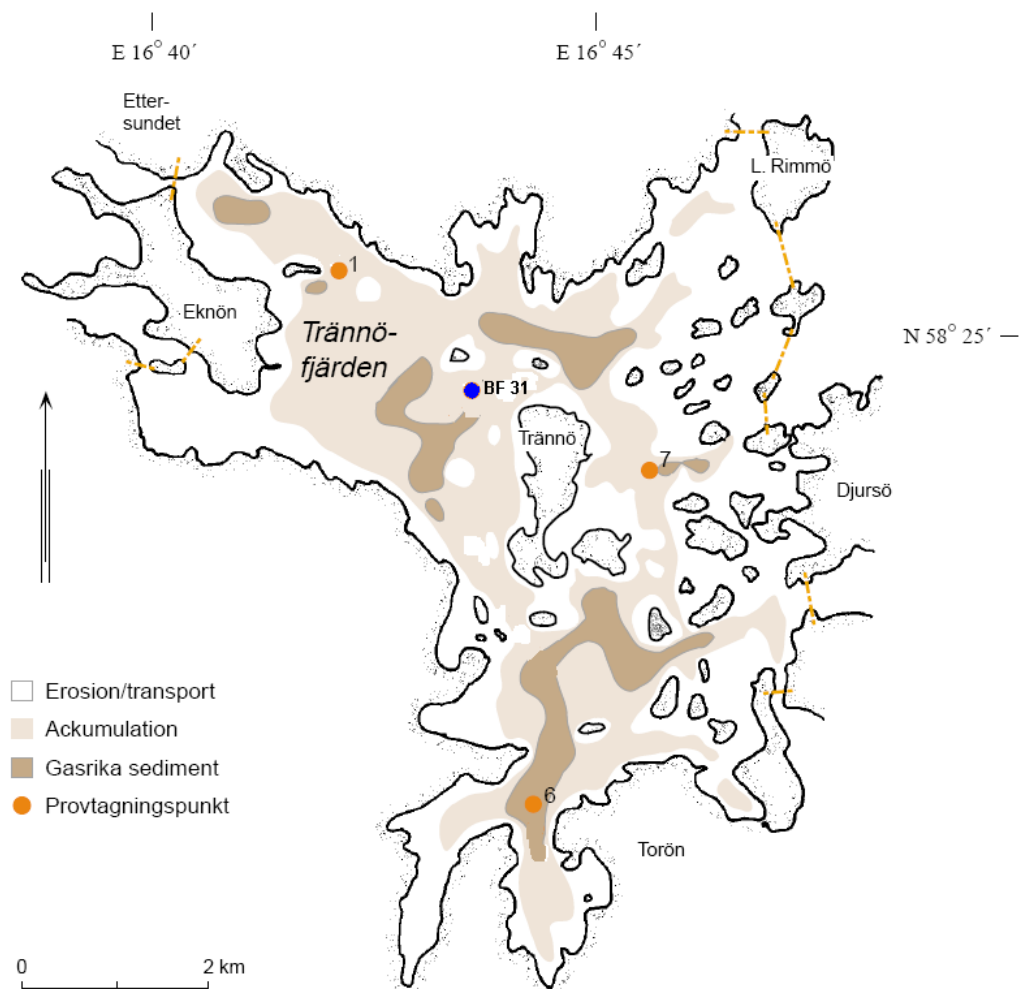
Aspöfjärden 1 2009 24 m

Figur 63 Sedimentkärnor från Aspöfjärden 1995 och 2009.

Fosfor har analyserats på två sedimentdjup i en provpunkt. Halten i ytsedimentet ligger nära medianvärdet i denna studie och utgörs troligen till en del av mobil fosfor.

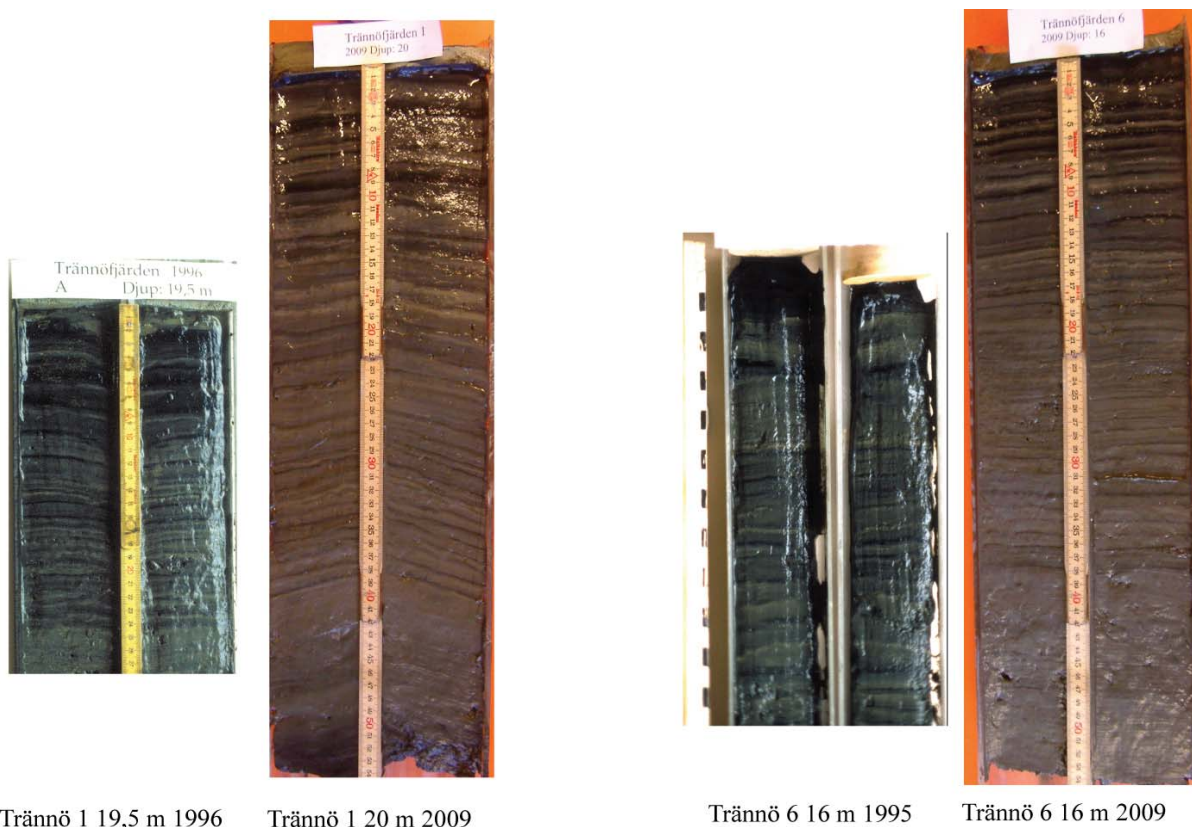
6.4 Trännöfjärden

Trännöfjärden är en relativt stor tröskelfjärd som är recipienter för Söderköpingsåns som avvattnar jordbruksbygder varför transporten av näringsämnen tidvis kan vara betydande. Området avgränsas österut av en relativt tät skärgård som fungerar som ett effektivt energifilter, vilket troligen medför en begränsad vattenomsättning och därmed goda betingelser för sedimentation av finmaterial. Fjärden är tämligen grund med ett maximalt djup på 19 meter och topografin är förhållandevis okomplicerad. Den bottenodynamiska kartan (**Fig. 64**) visar att ackumulationsbottenarean är betydande (48; **Tabell 1**)



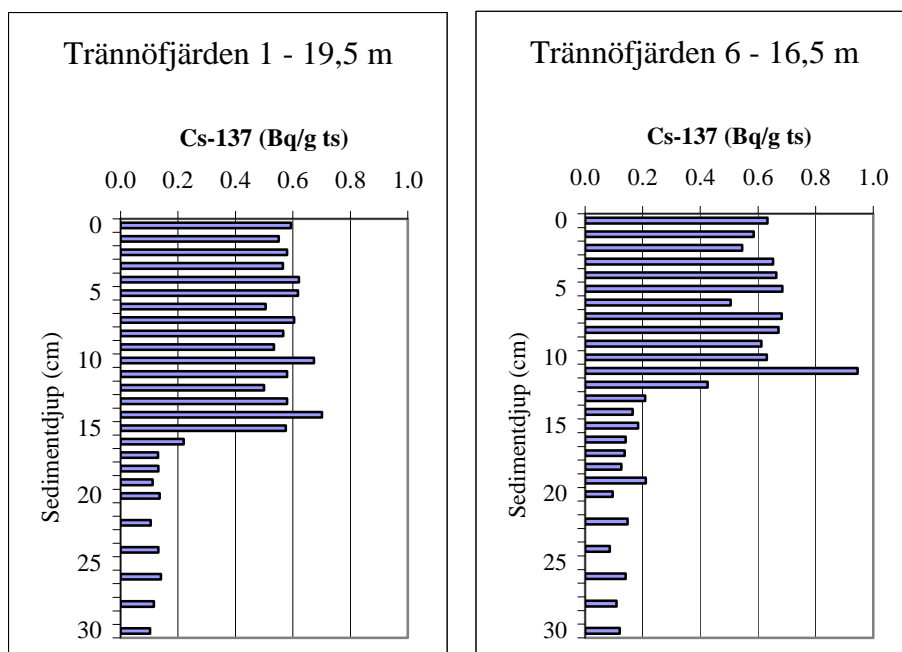
Figur 64 Bottendynamisk karta över Trännöfjärden med provtagningsstationer för sediment (1,6,7) samt provtagningsstation för bottenfauna (BF 31) inom recipientkontrollprogrammet markerade.

Vid provtagningen 2009 återbesöktes tre stationer från 1996. Den ena av dem, station 7, hade ett djup på endast 12,5 m och hela kärnan var bioturberad. De övriga två stationerna var tydligt laminerade och en jämförelse mellan lagerföljderna visas i **Figur 65**. I båda kärnorna från 2009 kan man räkna ca 30 varv. Detta visar att så ansträngda syreförhållanden att bottenfaunan slogs ut, åtminstone till dels, uppstod för första gången omkring 1980. Lamineringen uppstår plötsligt och har inte ett förlopp som man vanligen finner i andra skärgårdsfjärdar. Normalt kan man urskilja ett eller annat varv som överlagras av ett bioturberat skikt. Ovanför detta ser man ofta fler varv som åter överlagrats av ett bioturberat skikt innan kontinuerlig laminering uppstår. Detta har tolkats som att syrebrist gradvis uppstår i djupvattnet och att bottenfaunan vid de första lamineringarna slås ut, men att syresituationen därpå på grund av klimatologiska orsaker förbättras och bottenfaunan återkoloniserar den utslagna bottnen innan den slutligen slås ut permanent. I såväl norra som södra Trännöfjärden uppträdande syrebristen plötsligt och samtidigt. Ett liknande förlopp har noterats i Himmerfjärden där avloppsvatten från det kommunal Himmerfjärdsverket började släppas ut i norra Himmerfjärden 1974. Året efter var sedimenten i norra Himmerfjärden laminerade. En tänkbar orsak till den plötsligt uppträdande syrebristen i Trännöfjärdens djupvatten är etableringen av en betydande fiskodling i fjärden vid denna tid. Laminerade sediment har kontinuerligt avsatts på dessa stationer sedan dess och inga förändringar till det bättre kan noteras



Figur 65 Jämförelse mellan kärnor provtagna i Trännöfjärden 1995-1996 och 2009. Kärnorna har konnekterats tidsmässigt genom identifierbara sedimenthorisonter och antal årsvarv.

Sedimenttillväxten från 1986 till 1996 var 15 cm i station 1 och 11 cm i station 6, vilket motsvarar 15 resp. 11 mm/år (**Fig. 66**). De distinkta topparna motsvarande Chernobyl-utsläppet 1986 visar att ingen märkbar bioturbation förekommit fram till 1996. Utifrån den konnektering som gjorts mellan kärnorna (**Fig. 65**) har den fortsatta sedimenttillväxten varit i det närmaste identisk, 14 resp. 12 mm/år. Även sedan 1996 har bioturbationen varit marginell och slutsatsen blir att inga påtagliga förbättringar av syresituationen i det botten nära vattnet har skett på senare år.



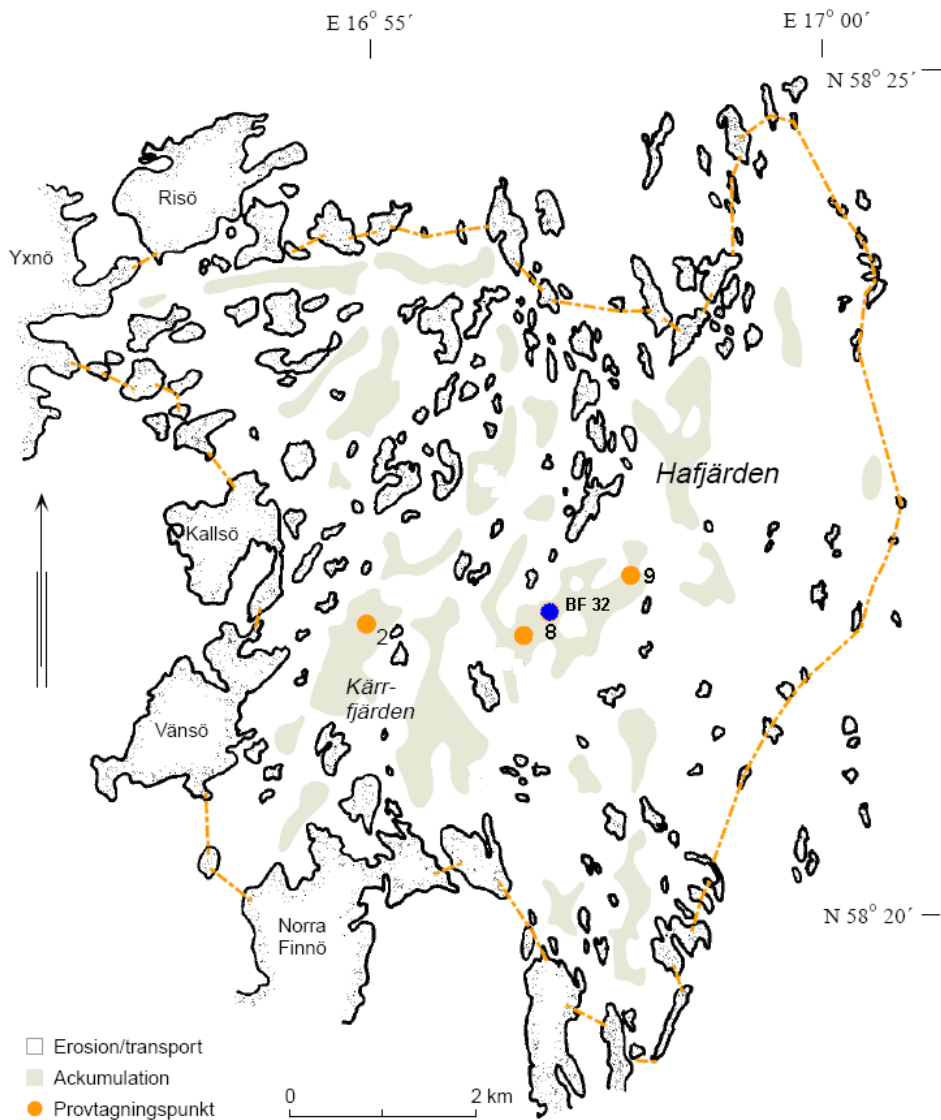
Figur 66 Aktivitetsprofiler för Cs-137 i sedimentkärnorna 1 och 6 från Trännöfjärden. Provtagningsår 1996.

Bottenfaunaprovtagning inom recipientkontrollprogrammet utförs vid station BF 31 på 16 meters djup. Bottenfaunan har varit gles och utarmad sedan åtminstone 1994. Vid några undersökningstillfällen har djur påträffats exempelvis 2003 då biomassan uppgick till 10 g vv/m².

I tre provpunkter där fosfor i sedimenten analyserats i Trännöfjärden ligger halterna i ytsediment blygsamt över halterna i djupsediment vilket tyder på begränsat innehåll av mobil fosfor vilket stämmer med bilden av ansträngda syrgasförhållanden.

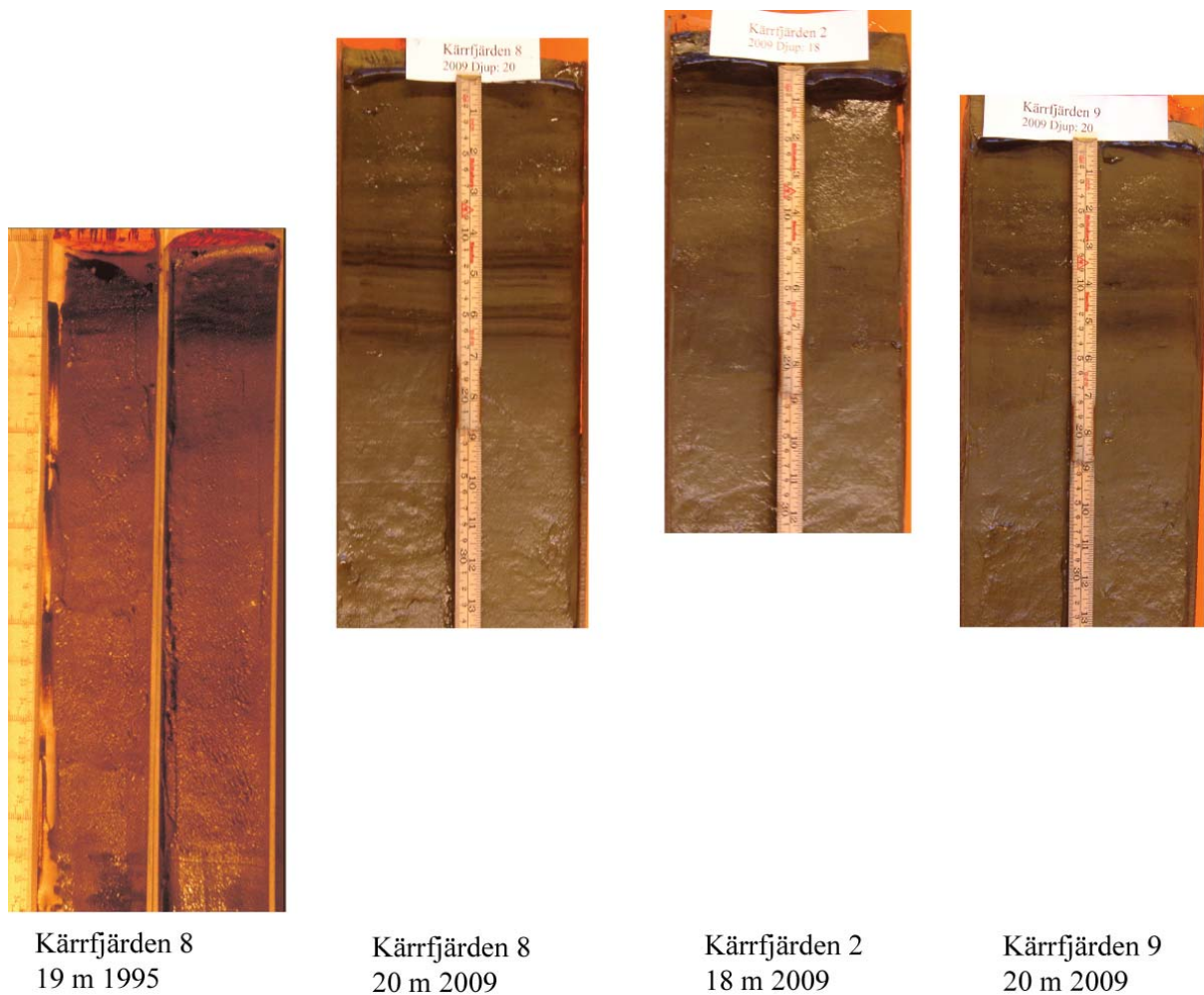
6.5 Kärrfjärden och Hafjärden

Fjärdarnas topografi är komplicerad med en mängd delbassänger och hundratals små öar och grynnor. Trots att fjärdarna ligger långt ut i havsbandet är läget skyddat på grund av den täta utanförliggande skärgården. Den totala andelen ackumulationsbottnar i Kärrfjärden och Hafjärden har beräknats till 15 %. Den närmast fastlandet belägna Kärrfjärden är relativt grund med största djup på 16–18 m. Ackumulationsbottnar uppträder på flera håll men inga riktigt stora sammanhängande arealer finns (**Fig. 67**). Hafjärden är trots läget i ytterskärgården mycket skyddad av den täta utanförliggande skärgården. Fjärden präglas av en mycket varierad topografi med flera mindre isolerade djuphålor med maximala djup runt 18–20 m. Liksom i Kärrfjärden finns ackumulationsbottnar på flera håll, även här med ett mosaikartat utseende utan några större sammanhängande ytor.



Figur 67 Bottendynamisk karta över Hafjärden med provtagningsstationer för sediment (2,8,9) samt provtagningsstation för bottenfauna (BF 32) inom recipientkontrollprogrammet markerade.

Endast en fotodokumenterad kärna finns från 1995 (station 8) och den jämförs i **Figur 68** med en kärna tagen på samma plats 2009. Tack vare identifierbara sedimenthorisonter kan dessa kärnor jämföras med två kärnor tagna i närheten. De mörka skikt som fanns överst i kärnan från 1995 och representerar tiden slutet av 1980-talet fram till slutet av 1990-talet korresponderar sannolikt med de mörka skikt som i kärnorna från 2009 kan noteras på 11-17, 12-19 och 9-13 cm i station 8, station 2 och 9-13. Med detta som utgångspunkt kan sedimenttillväxten översiktligt beräknas till 8, 9 och 6 mm/år i dessa stationer. Detta överensstämmer väl med den tidigare angivna sedimenttillväxten på 3-10 mm/år (Jonsson et al., 2003). Utifrån utseendet på sedimentkärnorna 8 och 9 förefaller syresituationen i djupvattnet ha förbättrats från slutet av 1990-talet. Detta motsägs dock av de indikationer som finns på 5-7 mer eller mindre tydliga varv i de översta centimetrarna i kärna 2.



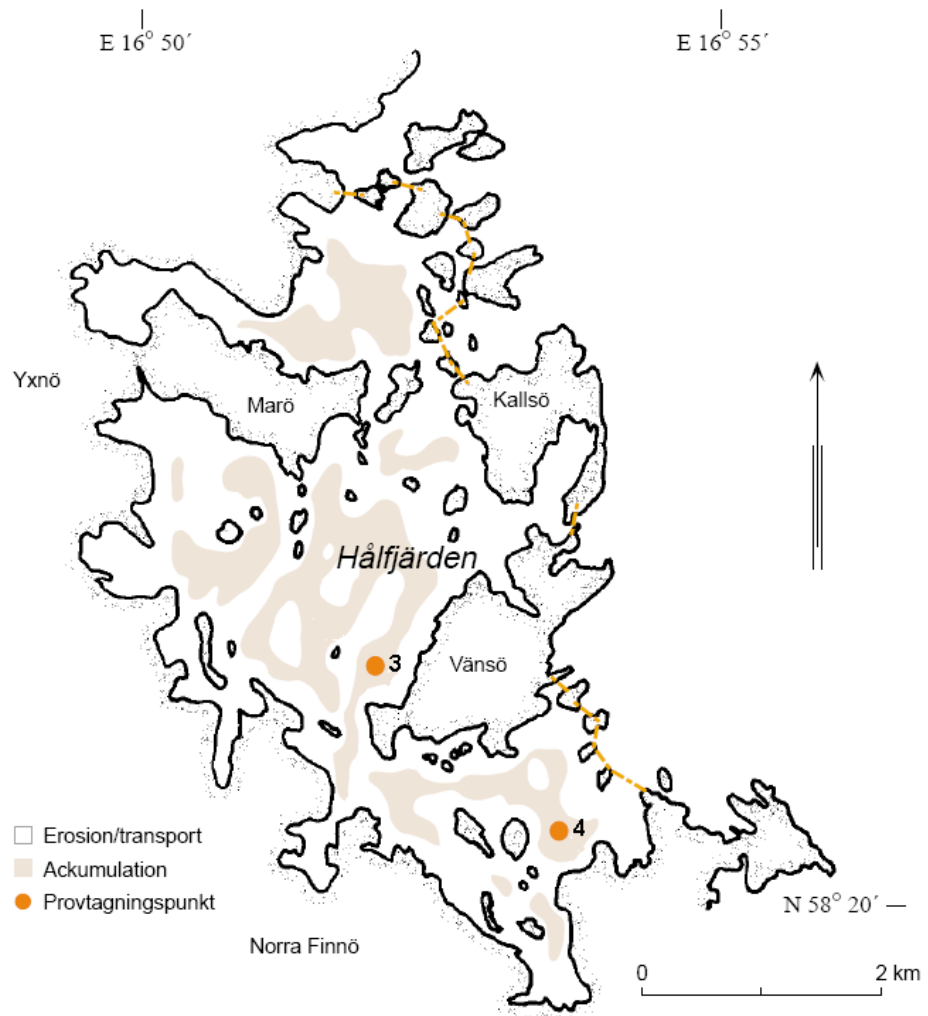
Figur 68 Jämförelse mellan sedimentkärnor provtagna 1995 och 2009. Kärnorna har konnekterats tidsmässigt genom identifierbara sedimenthorisonter.

Bottenfaunans sammansättning i Hafjärden undersöks inom recipientkontrollprogrammet vid station BF 32 på 18 meters vattendjup (Fig. C). Här har relativt diversifierad och individrik bottenfauna påträffats vid samtliga undersökningar sedan 1994 (Alcontrol, 2006).

Tre punkter i Kärrfjärden har analyserats med avseende på fosfor i yt- och djupsediment. Halterna ligger nära medianvärden för studien som helhet.

6.6 Hålfjärden

Hålfjärden är mycket skyddad och har grunda trösklar mot de utanföriggande Kärr- och Hafjärdarna (Fig. 59, Fig. 69). Dessa trösklar torde effektivt dämpa utbytet av vatten med utanföriggande områden. Fjärden är grund med ett maximalt uppmätt djup på 12 m. 27 % av Hålfjärdens botten utgörs av A-botten.



Figur 69 Bottendynamisk karta över Hålfjärden med 2009 års provtagningsstationer inlagda.

Två av de stationer som undersöktes 1995 återbesöktes 2009 (**Fig. 70**). På båda noterades bioturberade förhållanden och inga tendenser till recent laminering.



Hålfjärden 1 1995
11 m

Hålfjärden 1 2009
12 m

Hålfjärden 4 2009
16,5 m

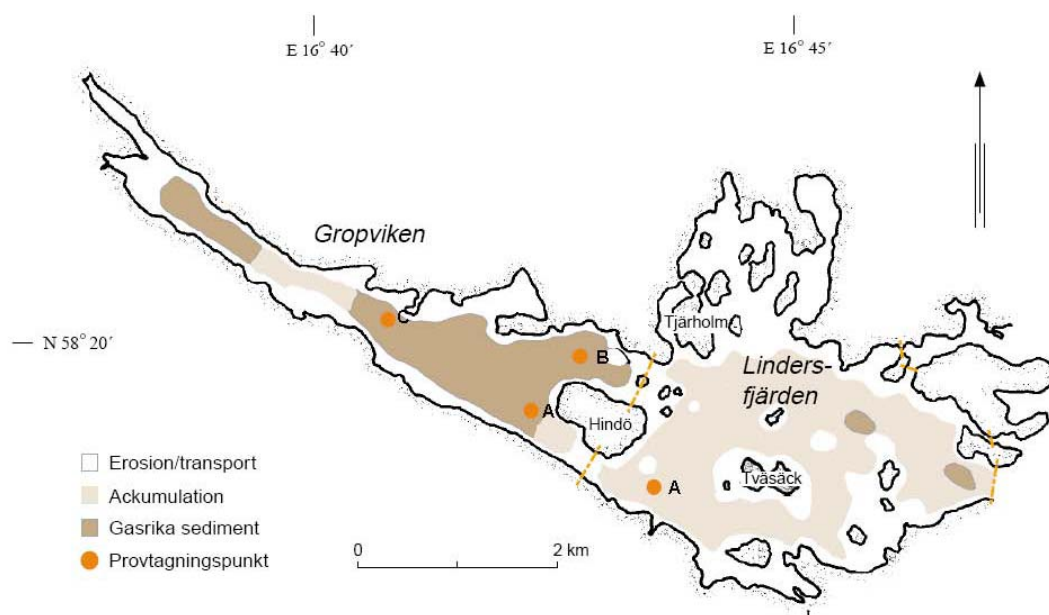
Figur 70 Sedimentkärnor från Hålfjärden tagna 1995 och 2009.

I Hålfjärden har fosfor analyserats på två sedimentdjup i två provpunkter med likartade resultat. Fosforhalterna är typiska för oxiska sediment med normala halter av mobil fosfor.

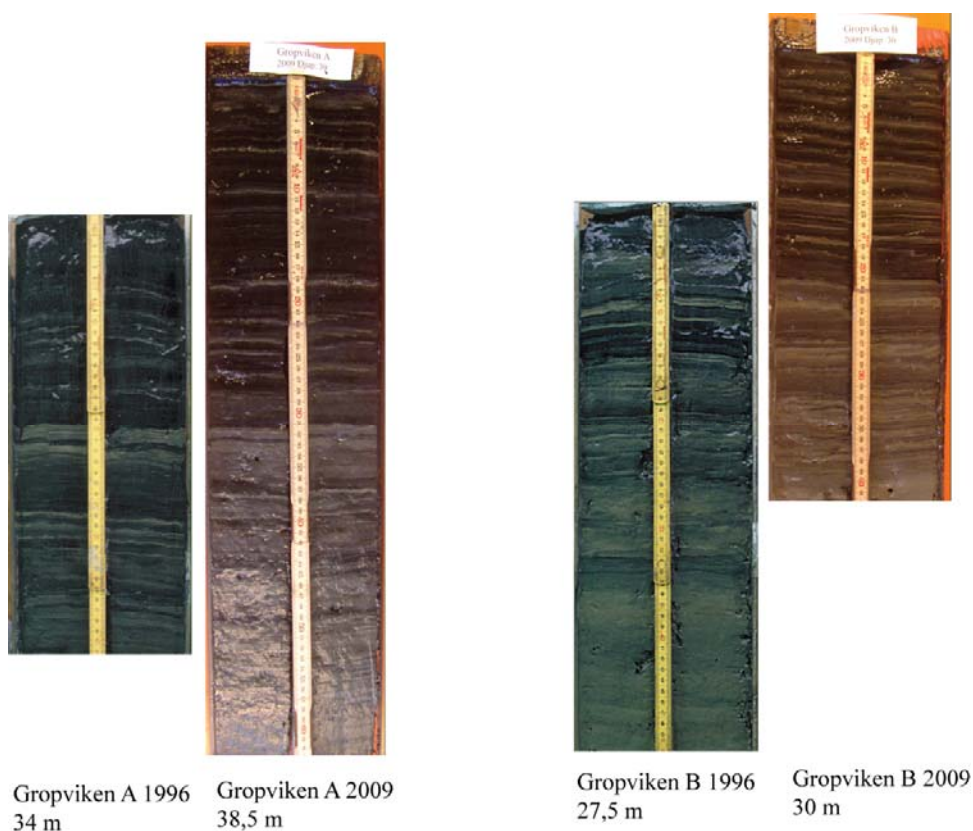
6.7 Gropviken och Lindersfjärden

Gropviken har ett maximalt djup på 37 meter och tröskeldjupet är som mest. ca 19 meter. Längst in i vikens västra del mynnar två mindre åar, vilka transporterar en näringsämnen från de omgivande jordbruksmarkerna. En stor del (51 %) av fjärden utgörs av A-bottnar (**Fig. 71**). Omedelbart öster om Gropviken ligger Lindersfjärden, med ett maximalt djup på 30 meter. Öppningen ut mot de angränsande Kors- och Finnfjärdarna är både relativt bred och djup, varför man kan anta att vattenomsättningen är betydligt snabbare i Lindersfjärden än i Gropviken. 59 % av fjärden utgörs av ackumulationsbottnar. På två mindre partier i den östra delen återfinns gasrika bottnar, i övrigt dominerar bioturberade A-bottnar (**Fig. 71**).

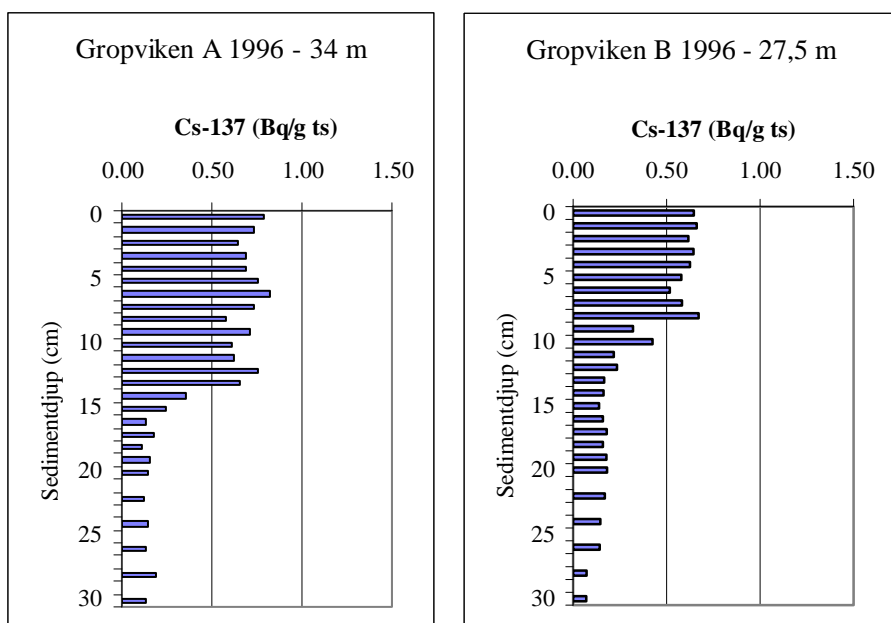
1995 konstaterades att merparten (87 %) av Gropvikens A-bottnar utgjordes av gasrika bottnar vilket visade att stora delar av Gropviken hade ansträngda syrgasförhållanden. Detta konstaterande styrks av undersökningarna 2009. En jämförelse mellan sedimentkärnornas utseende på stationerna A och B (**Fig. 72**) mellan 1995 och 2009 visar att det fortsätter att vara ansträngda syreförhållanden fram till 2009. Kärnorna uppvisar tydligt laminerade sediment med flera tydligt identifierbara lednivåer som framträder på likartat sätt i båda kärnorna. Sedimenttillväxten i Gropviken beräknades 1995 utifrån varvräkning av 5 sedimentkärnor till i genomsnitt 16 mm/år (**Tab. 1**). Vid en provtagning på samma stationer 1996 utfördes cesiumdatering som resulterade i en något lägre sedimenttillväxt på 13 resp. 8-10 mm/år för station A resp. B (**Fig. 73**). Utifrån konnektering av lednivåer i kärnorna har sedan 1996 sedimenttillväxten varit 12-13 och 18-19 cm i station A resp. B. Detta motsvarar 9-10 resp. 14-15 mm/år, således något annorlunda än tidigare beräkningar. Den troliga anledningen kan vara dels att sedimenttillväxten varierar i tiden, vilket visats av Eckhéll et al. (2000) för öppna Östersjön, dels att provtagningen inte genomförts på exakt samma ställe.



Figur 71 Bottendynamisk karta för Gropviken och Lindersfjärden med provtagningsstationer för sediment från 2009 inlagda.

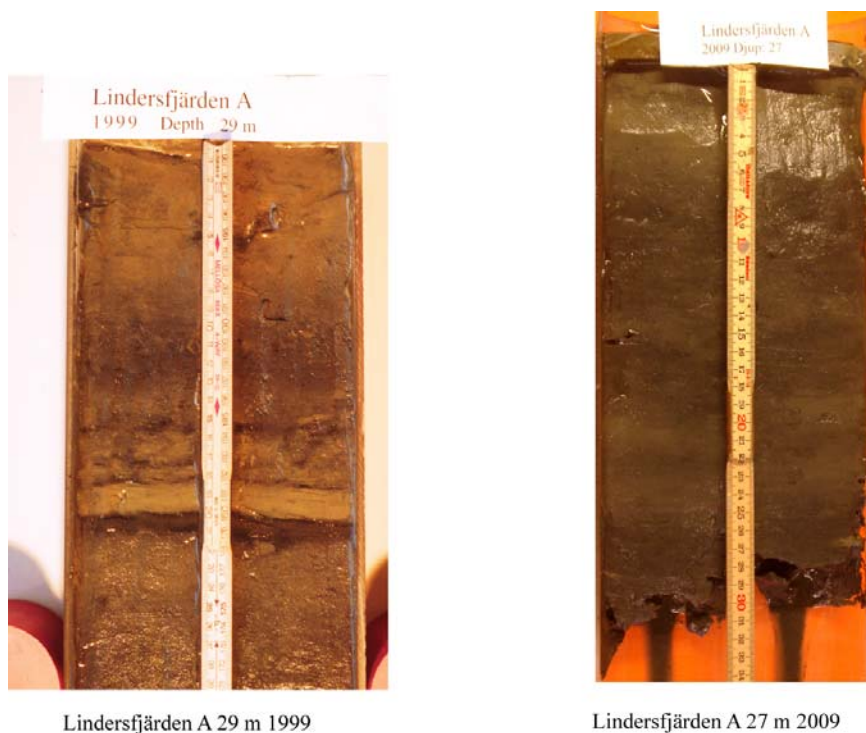


Figur 72 Jämförelse mellan kärnor provtagna i Gropviken 1996 och 2009. Kärnorna har konnekterats tidsmässigt genom identifierbara sedimenthorisonter och antal årsvarv.



Figur 73 Aktivitetsprofiler för Cs-137 i sedimentkärnorna A och B från Gropviken. Provtagningsår 1996.

Vid provtagning i Lindersfjärden 1999 noterades ett avsnitt på 15-22 cm:s sedimentdjup med skikt som tydligt avvek från såväl underliggande som överlagrande bioturberade sedimentnivåer (**Fig. 75**). Detta skikt, som förmodligen var mycket lokalt, återfanns inte vid den förnyade provtagningen 2009. Sedimentet på 29 m är fortfarande oxiderat och bioturberat och indikerar att inga större förändringar i sedimentdynamiken har skett de senaste 10 åren.

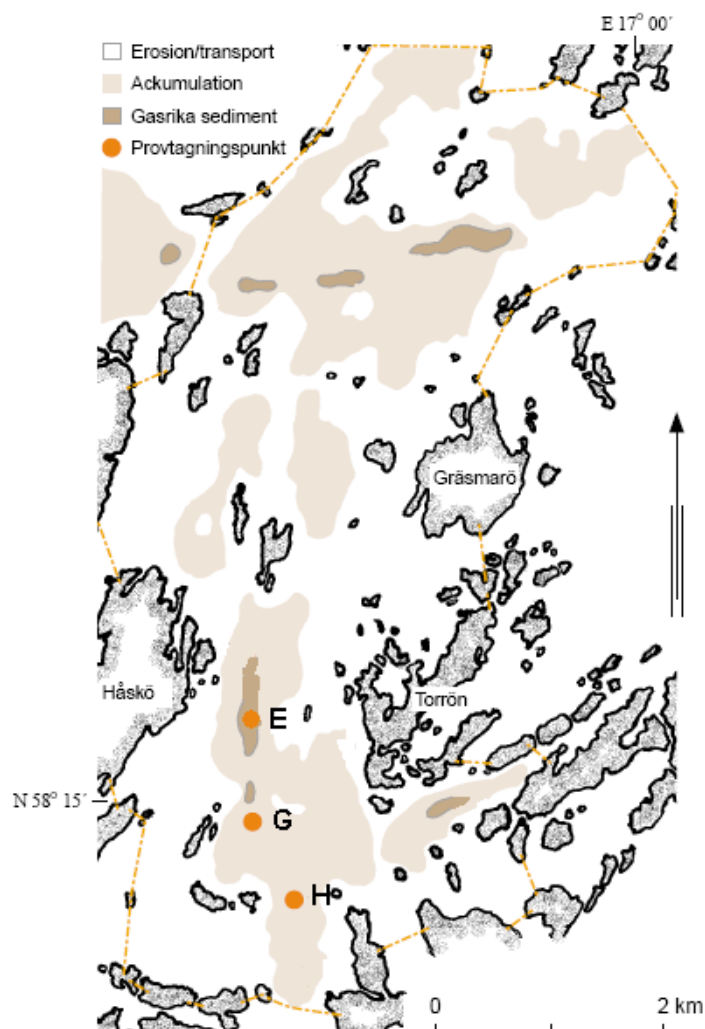


Figur 74 Jämförelse mellan sedimentkärnor från Lindersfjärden tagna 1999 och 2009.

Fosfor har analyserats i tre punkter på två djup i Gropviken. En stor andel av fosfor i ytsediment i Grop C är sannolikt mobil, medan halten i ytsedimentet i Grop A och Grop B endast marginellt överstiger den fastlagda halten i djupsediment och indikerar reducerade förhållanden. I Lindersfjärden analyserades fosfor i en punkt på två djup i Lindersfjärden. Liksom i Grop C förefaller en stor andel av fosfor i ytsedimentet vara mobil då den kraftigt överstiger den fastlagda halten i djupsedimentet.

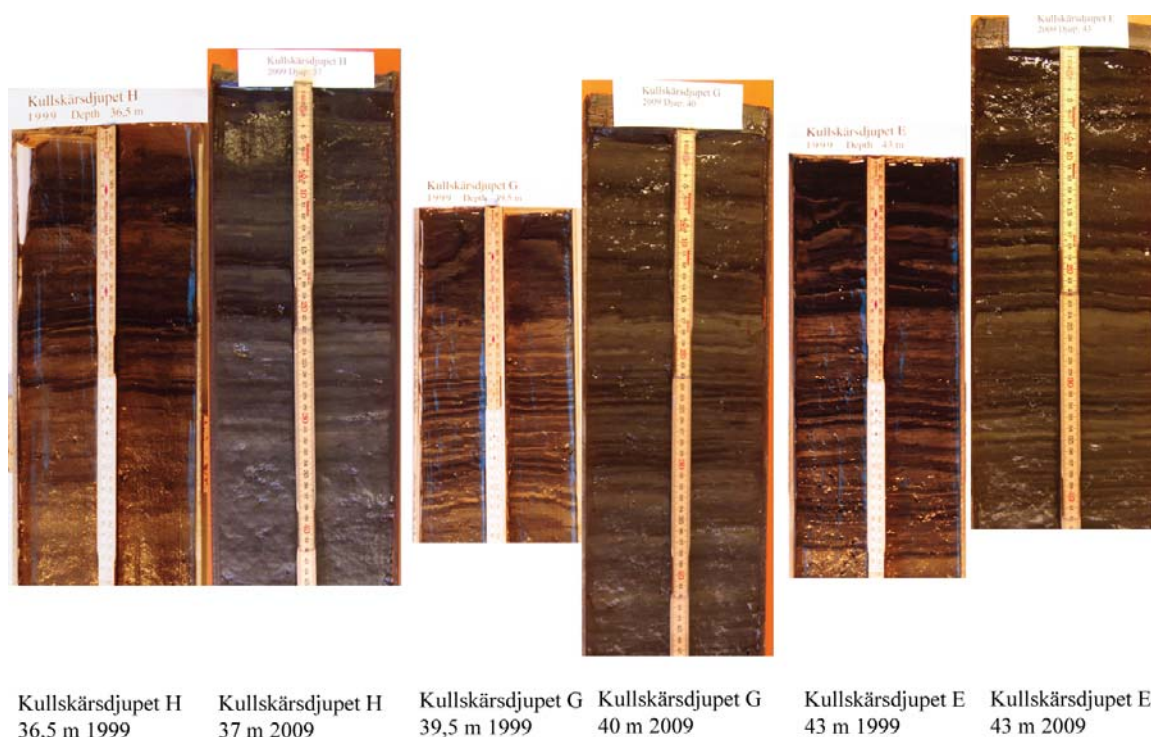
6.8 Kullskärddjupet

Kullskärddjupet är exponerat med breda och djupa öppningar, både österut och västerut. Dessa öppningar är 40–50 meter djupa, vilket också utgör områdets största uppmätta djup. Den stora öppenheten innebär sannolikt att vattenomsättningen är relativt snabb. Den lokala påverkan är sannolikt mycket liten. 32 % utgörs av ackumulationsbottnar. Gasrika sediment noterades på 6 % av arealen, vilket är anmärkningsvärt med tanke på områdets förhållandevis exponerade läge i nära anslutning till öppna havet (**Fig. 75**).



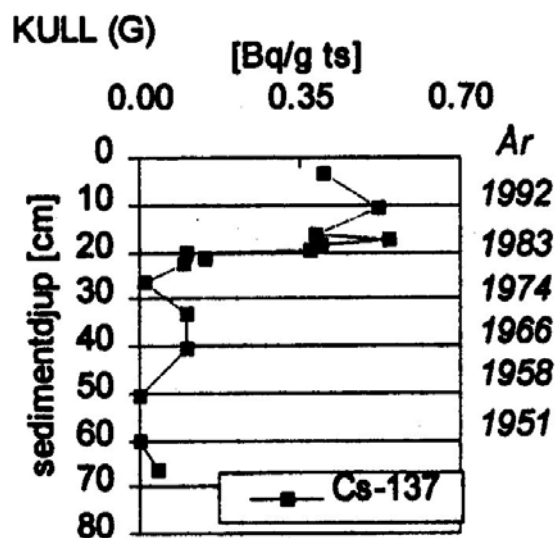
Figur 75 Bottendynamisk karta för Kullskärddjupet med provtagningsstationer för sediment från 2009 inlagda.

I fjärdområdet har tre stationer från 1999 återbesökts och genomgående är att tydliga lednivåer kan iakttagas i sedimenten från alla tre stationerna (**Fig. 76**). Det är vidare från provtagningen 2009 tydligt att på alla stationer är de översta 10-15 centimetrarna mer eller mindre bioturberade. På några nivåer finns mer eller mindre tydliga varvstrukturer. Det genomgående intrycket är dock att syresituationen var påtagligt mer ansträngd under 1970- och 1980-talen än den är under 1990- och 2000-talen. Förbättringen noterades i rapporteringen från undersökningen 1999 (Anon., 1999) och det är tydligt att förbättringen kvarstår under 2000-talet.



Figur 76 Jämförelse mellan sedimentkärnor från Kullskärsdjupet tagna 1999 och 2009. Kärnorna har konnekterats tidsmässigt genom identifierbara sedimenthorisonter.

Sedimenttillväxten undersöktes med radiocesium på Kullskärsdjupet G 1999 (Fig. 77). En tydlig aktivitetstopp erhöles på 18-20 cm vilket innebär att tillväxten var 14-15 mm/år. Om hänsyn tas till sedimentkompaktionen är tillväxten ungefär densamma idag eller något lägre.



Figur 77 Aktivitetsprofil för Cs-137 i sedimentkärnan *Kullskärsdjupet G* (Från Anon., 1999).

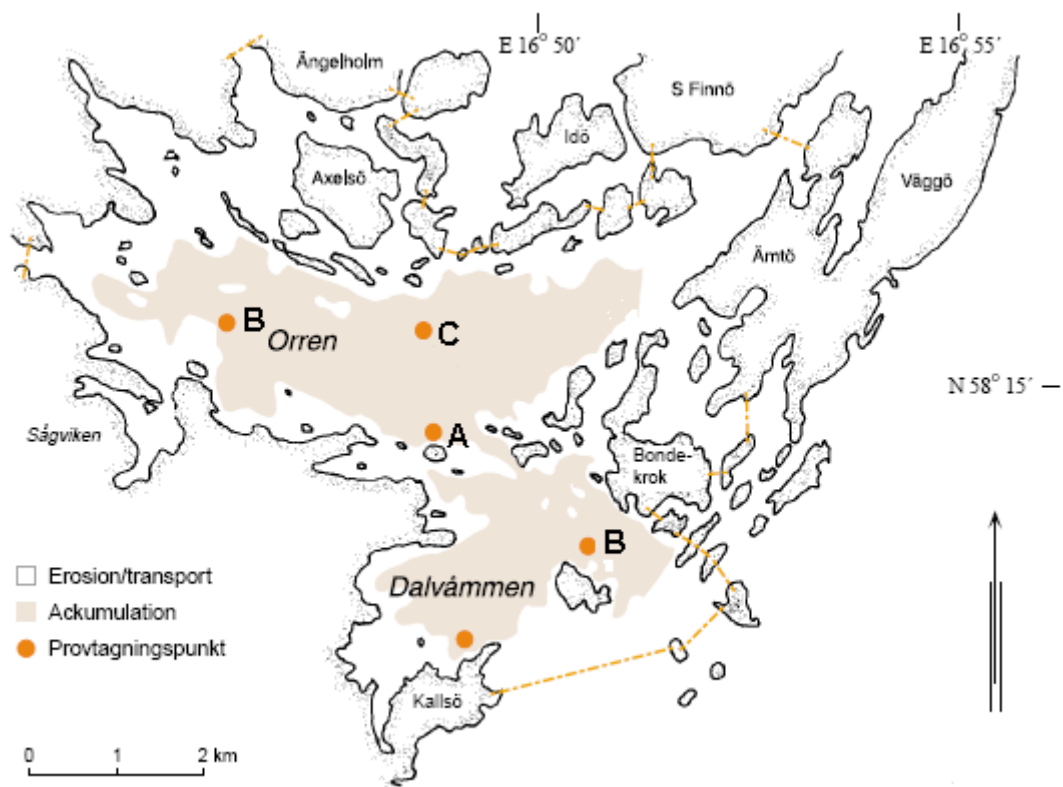
Fosfor i sediment har analyserats på två djupnivåer i tre provpunkter. Halten i ytsediment är 30 % högre än i djupsedimentet vilket tyder på att omkring 30 % av fosforinnehållet i skiktet 0-2 cm är mobilt.

6.9 Orren och Dalvåmmen

Orren karaktäriseras av en stor öppen vattenyta med stora arealer med djup överstigande 40 meter. Största uppmätta djupet (77 m) finns i den södra delen. Viss bebyggelse finns i området och ett litet antal mindre vattendrag mynnar på fastlandssidan. Den bottenodynamiska kartan (Fig. 78) visar att en stor del av fjärden utgörs av ackumulationsbottnar (38 %). Dalvåmmen karaktäriseras av en relativt kuperad topografi med öar och grynnor belägna mellan förhållandevis stora djuphålur (Fig. 78). Det maximalt uppmätta djupet är 57 meter. En relativt stor andel av Dalvåmmens bottnar utgörs av A-bottnar (42 %) i fjärdens centrala delar.

Vid provtagningen 2009 togs 3 sedimentkärnor. Avsikten var att återbesöka stationerna från 1996, men de uppmätta djupen överensstämmer dåligt vilket antyder att kärnorna inte är tagna på exakt samma platser. Orsaken är troligen att man före 1996 använde sig av RT90 som positioneringssystem medan WGS-84 användes 2009. Under slutet av 1990-talet infördes WGS-84 i allt fler sjökort längs den svenska ostkusten. Det är sålunda möjligt att man i dessa två fjärdar, som är de sydligaste i undersökningen, använde ett annat system än i övriga fjärdar som undersöktes samma år. Felet i position kan vara av storleksordningen 150-200m. Vi har inte funnit några andra stora avvikelser i positioneringen i andra fjärdar och antar att dessa positioner är riktiga.

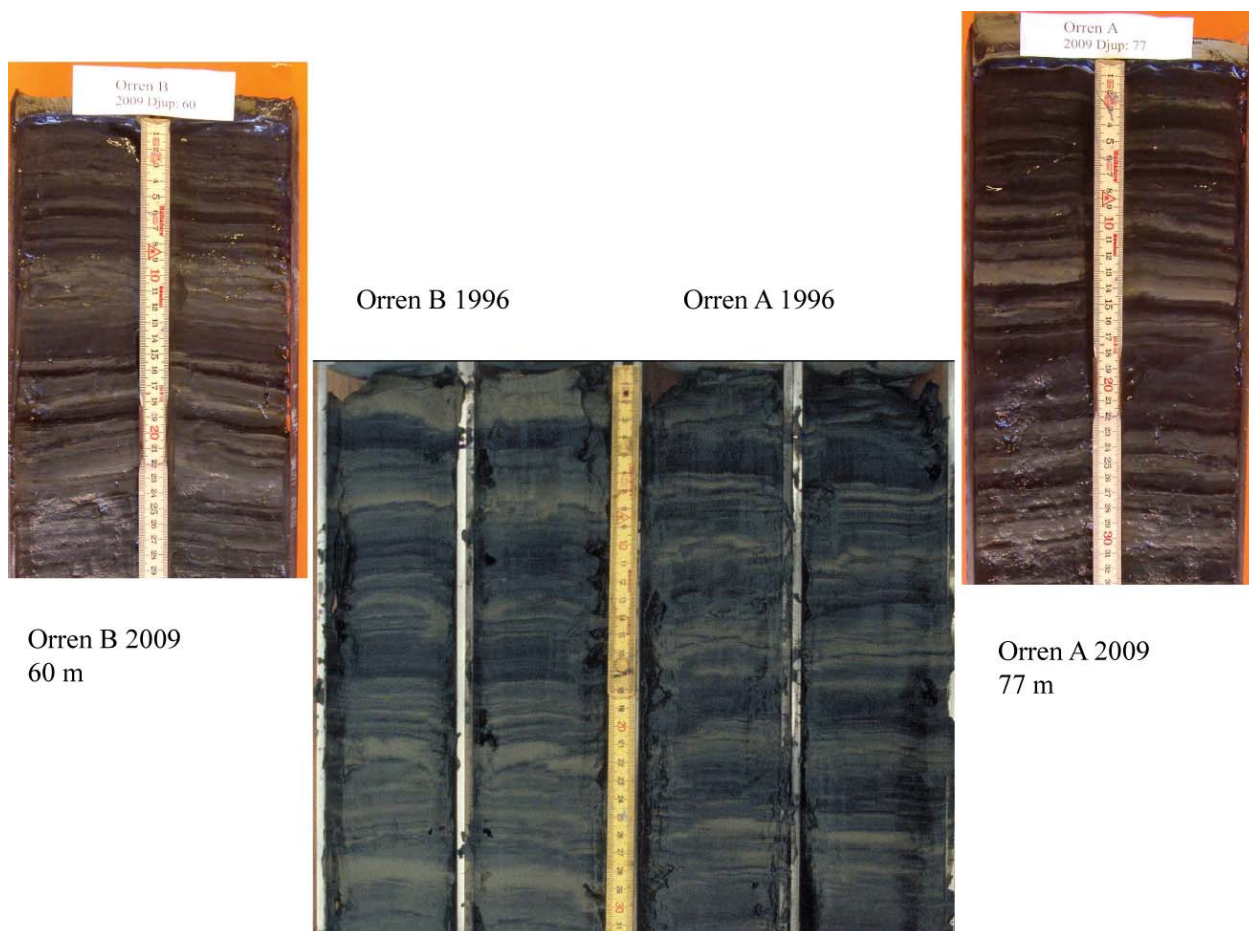
Sedimentstrukturerna i Orren är karaktäristiska (Fig. 79) och det tycks finnas en periodicitet i uppträddandet av perioder med mer reducerade förhållanden. Sålunda framträder tydligt sådana nivåer på 4-6, 8-9, 11-13, 18-21 och 22-24 cm i Orren A och på 3-4, 9-11 och 16-18 cm i Orren B. Samma periodicitet fortsätter även i de nytagna kärnorna och mörkare partier finns på 4-8 och 4-7 i Orren A resp. B. Orsaken till dessa variationer kan inte uttolkas utifrån våra resultat.



Figur 78 Bottendynamisk karta för Orren och Dalvåmmen med provtagningsstationer för sediment från 2009 inlagda.

Sedimenttillväxten uppmättes med radiocesium 1996 till ca 8 mm/år i såväl Orren A som Orren B (**Fig. 80**). Det är dock tydligt utifrån aktivitetsprofilerna att en viss bioturbation har påverkat aktivitetsfördelningen. Speciellt Orren B har en profil som indikerar detta. Sedimenttillväxten i Orren A utifrån varvräkning visar att ca 18 cm har avsatts under 13 år, vilket motsvarar ca 14 mm/år, vilket är avsevärt mer än vad som noterades 1996. Orsaken kan dock vara att kärnan från 2009 är tagen från avsevärt större djup, 77 m istället för 64 m 1996. Det är högst sannolikt att sedimentackumuleringen är högre på större djup.

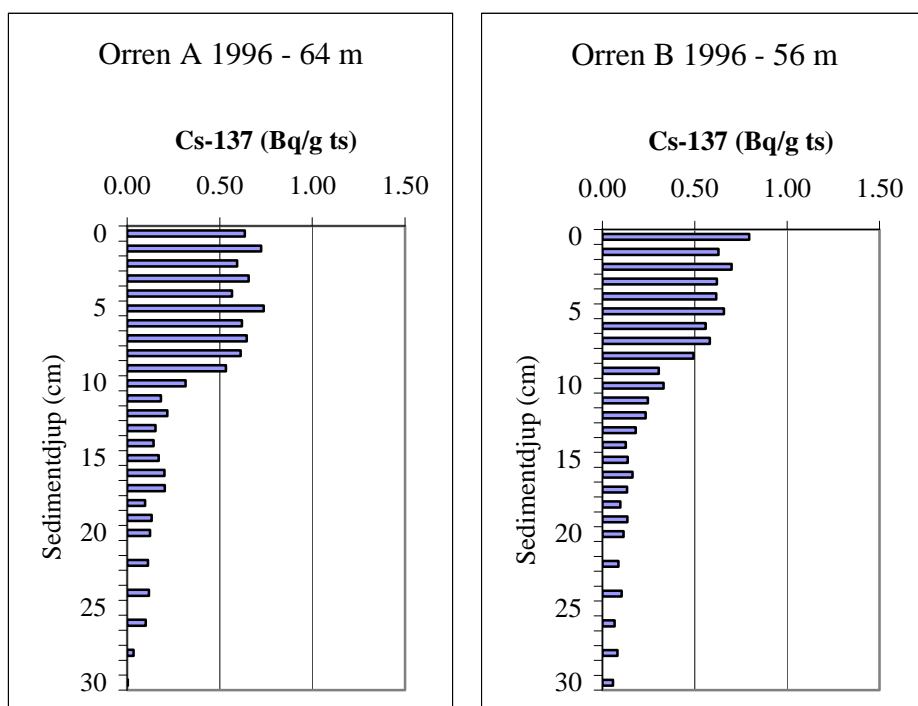
Inga påtagliga förbättringar kan noteras i Orren på senare år. Varvstrukturerna är tydliga i de översta 10-15 centimetrarna av lagerföljden i Orren B 2009 som är tagen från 60 m.



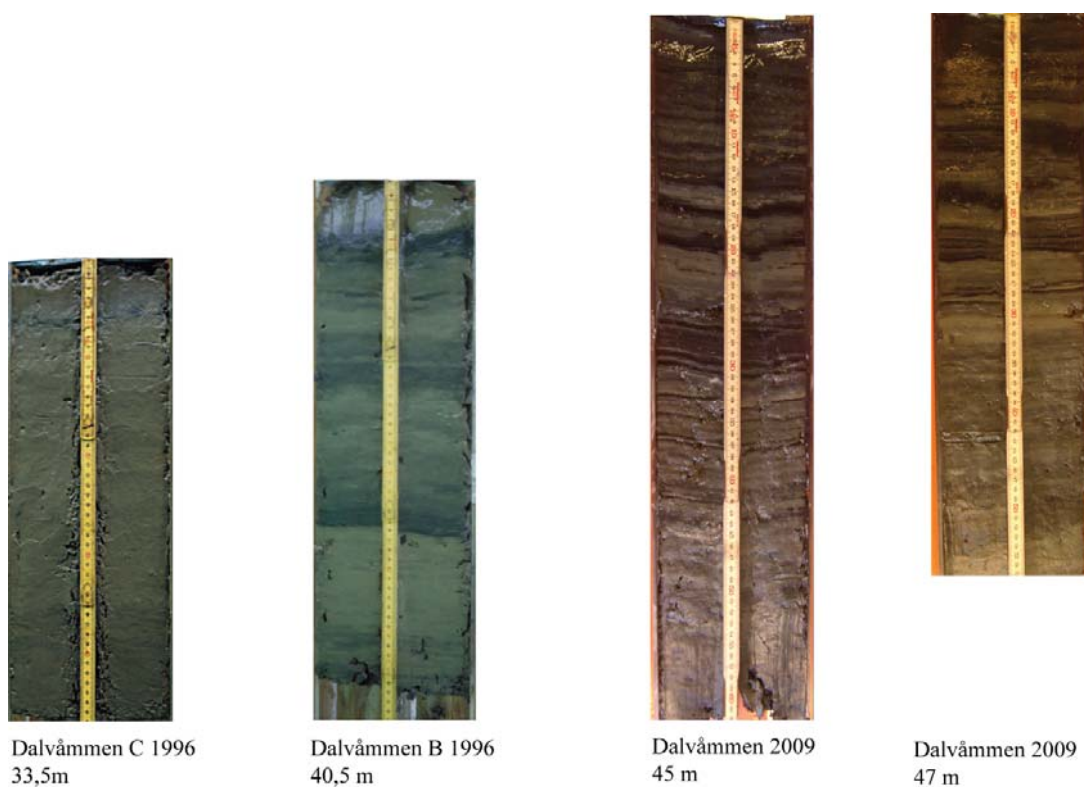
Figur 79 Jämförelse mellan sedimentkärnor från Orren tagna 1996 och 2009. Kärnorna har konnekterats tidsmässigt genom identifierbara sedimenthorisonter.

Två sedimentkärnor togs i Dalvåmmen 2009. Den ena var tänkt att överensstämma med Dalvåmmen B, men djupet skiljer sig åt mycket och lagerföljderna ser ganska olika ut (**Fig. 81**). Anledningen till skillnaderna är troligen densamma som för Orren, nämligen skilda positioneringssystem vid de olika provtagningarna. Kärnorna som togs 1996 visar båda upp aktivitetsprofiler för Cs-137 som tyder på olika grad av bioturbation, mest i den grundaste av stationerna, Dalvåmmen C. Sedimenttillväxten på dessa stationer är så blygsam som några få millimeter per år (**Fig. 82**). I Kärnan från 45 m 2009 framgår tydliga centimetertjocka varv i de översta 12 centimetrarna av kärnan indikerande en påtagligt större sedimentackumulation på större djup.

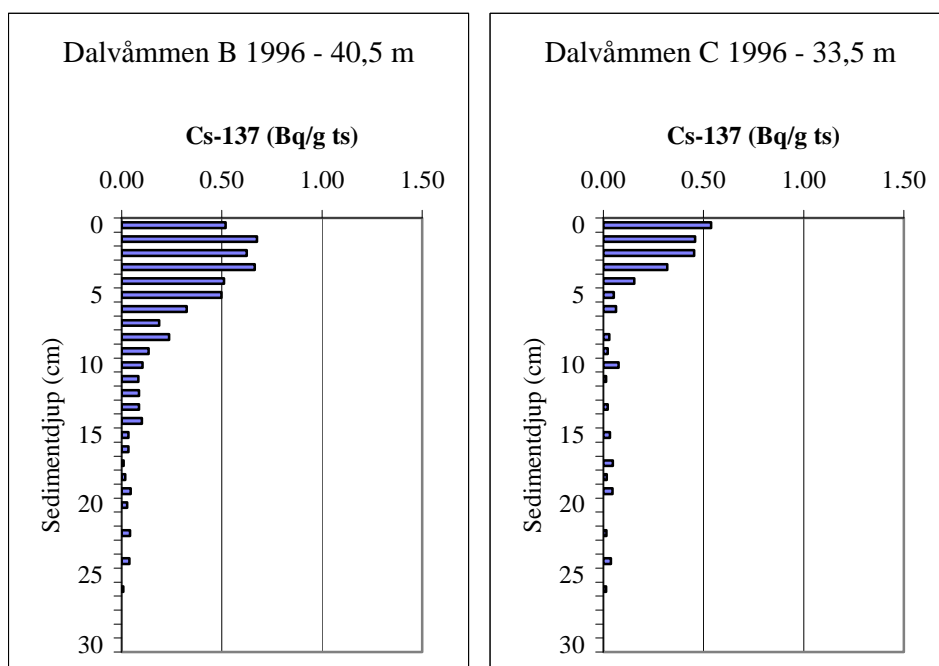
Förekomsten av tydliga varv i den övre delen av sedimentkärnan från 45 m visar att inga förbättringar inträffat under senare år på detta djup.



Figur 80 Aktivitetsprofiler för Cs-137 i sedimentkärnorna från Orren A och B (Jonsson, opublicerat material).



Figur 81 Sedimentkärnor från Dalvåmmen tagna 1996 och 2009.

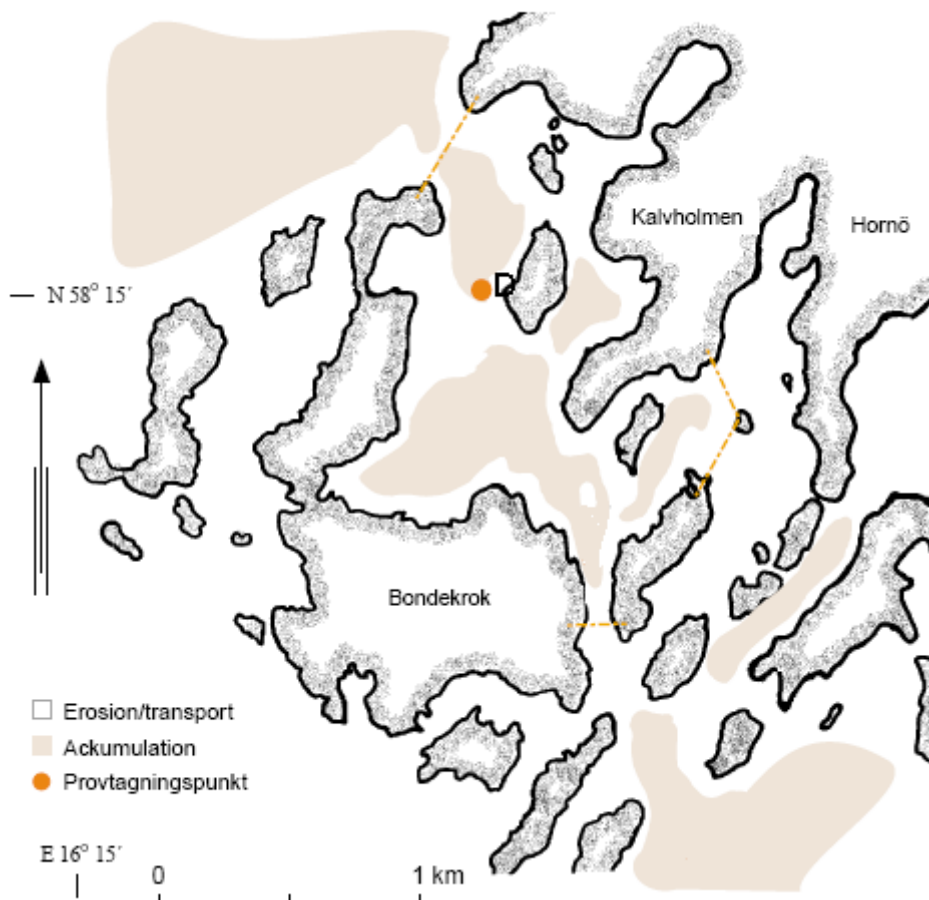


Figur 82 Aktivitetsprofiler för Cs-137 i sedimentkärnorna från Dalvåmmen B och C (Jonsson, opublicerat material)

Fosfor i sediment har analyserats i två punkter på två nivåer vardera i Orren och Dalvåmmen. Trots reducerade förhållanden i Orren var halterna i ytsedimenten något högre än halterna i djupsediment. I de oxiderade ytsedimenten i Dalvåmmen var halterna tydligt högre än i djupsediment, vilket talar för att en relativt hög andel mobil fosfor.

6.10 Bondekrok

Akkumulationsbottenarean utgör ca 34 % (**Fig. 83**). En sedimentstation från 1999 återbesöktes 2009 och sedimentstrukturerna från 1999 och 2009 är likartade med diffusa varvstrukturer omväxlande med bioturberade förhållanden. Två ljusare partier kan iaktas i 2009 års kärna på 15-18 och 23-25 cm:s sedimentdjup (**Fig. 84**). Motsvarande ljusare partier finns även i 1999 års kärna. Under förutsättning att dessa strukturer är samtidiga kan sedimenttillväxten grovt uppskattas till 5 mm/år.



Figur 83 Bottendynamisk karta för Bondekrok med provtagningsstation för sediment från 2009 inlagda.

Såsom vi har noterat i flera andra fjärdar i de yttre delarna av St. Anna skärgård tycks en förbättring ha inträffat under 1990-talet då bioturberade förhållanden avlöst en period under 1970- och 1980-talen som karakteriseras av mer eller mindre tydliga årsvarv och samtidig mörk (reducerad) färgton i sedimenten. Situationen med bioturberade förhållanden står sig även under 2000-talet.



Bondekrok D 1999 32 m



Bondekrok D 2009 32 m

Figur 84 Sedimentkärnor från Bondekrok 1999 och 2009

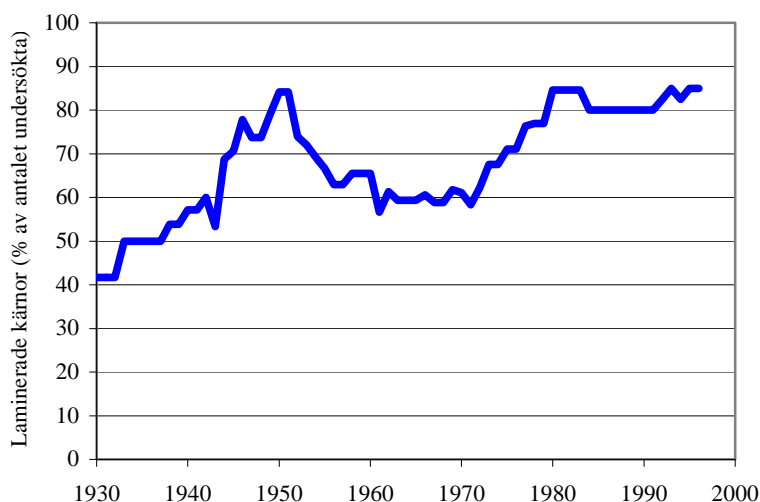
Fosforhalten i det analyserade ytsedimentet i Bondekrok är avgjort högre än i djupsedimentet vilket talar för en hög andel mobil fosfor i skicket 0-2 cm.

7 Sammanfattande diskussion och slutsatser

Vid undersökningarna under 1990-talet konstaterade man utifrån ett inventeringsunderlag med data från Baggensfjärden, Solöfjärden, Torsbyfjärden, Östra Saxarfjärden och Erstaviken att redan på 1930-talet var hälften av sedimentkärnorna laminerade (**Fig. 85**). Detta ansågs inte vara särskilt anmärkningsvärt eftersom Stockholm redan vid denna tid var en förhållandevis stor stad. I centrala Stockholm har sedimenten under många sekel varit mer eller mindre reducerade vilket bland annat skapat förutsättningar för att regalskeppet *Wasa* bevarades så väl i sedimenten utanför Beckholmen.

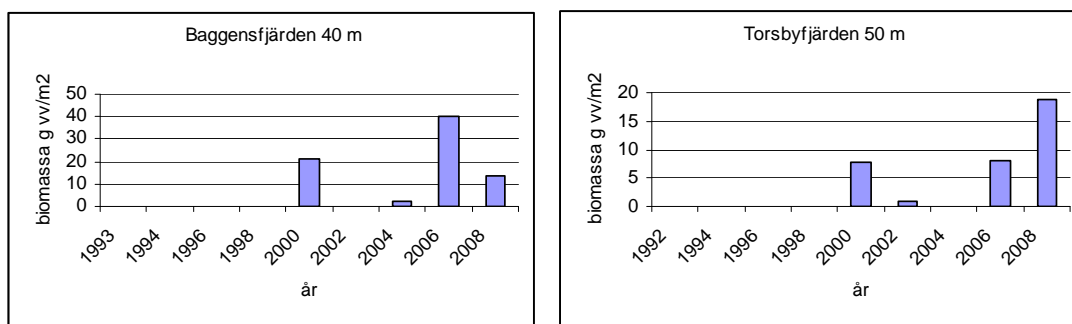
Stockholms innerskärgård

(n=12-40)



Figur 85 Den historiska utvecklingen av andelen laminerade sedimentkärnor i förhållande till totalantalet undersökta i Stockholms skärgård fram till slutet av 1990-talet (från Jonsson et al., 2003).

Från 1930 och framåt har andelen laminerade bottenar ökat och i slutet av 1990-talet var 80-85 % av de undersökta kärnorna laminerade (**Fig. 85**). När dessa fjärdar återbesöktes 2008-2009 hade dramatiska förändringar inträffat i alla fjärdar innanför Ox- och Kodjupen samt på Baggensfjärden och i Erstaviken. På Baggensfjärden och Torsbyfjärden var ytsedimenten under 1990-talet laminerade ända upp till djup runt 15-18 m. 2008-2009 hade en stor förändring inträtt och ytsedimenten var oxiderade ända nere på 40 m i Baggensfjärden och på 50 m i Torsbyfjärden. Samma förlopp om än inte lika dramatiskt kan urskiljas i tidsserier från bottenfaunaundersökningar från samma områden (**Fig. 86**).



Figur 86 Tidsserier för bottenfaunans biomassa i Baggensfjärden respektive Torsbyfjärden 1992-2008. Från Lännergren et al. (2009).

Vid utvärderingen av undersökningarna från 2008 (Karlsson et al., 2009) diskuterades tänkbara orsaker till de registrerade förändringarna. Följande faktorer ansågs kunna påverka lamineringsutvecklingen: 1/ Minskad tillförsel av näringsämnen från land, 2/ minskad tillförsel av näringsämnen från hav och skärgård, 3/ successiv avklingning av historisk belastning lagrade i sedimenten, 4/ ändrade vindförhållanden och 5/ förändrad isläggning. Nykolonisering av bottenarna av den på senare år i Östersjön introducerade nordamerikanska havsborstmasken *Marenzelleria* kunde också tänkas ha påverkat lamineringsutvecklingen.

Genomgång av befintliga vind- och isläggningsdata resulterade i att ändrade vindförhållanden och förändrad isläggning förkastades som förklaringsgrund för förbättringarna. Bedömningen gjordes att de observerade förbättringarna i första hand kunde förklaras av nedbrytning av historiskt deponerat organiskt material i likhet med vad som observerats i flera pappers- och massaindustrirecipienter (Lindeström, 1995; Afzelius, 1996; Karlsson et al., 2005, Bernes, 2006; Grahn et al., 2006, **Fig. 87**). Karakteristiskt för denna typ av tillfriskningsförlopp är att det tar förhållandevis lång tid för djupsedimenten att respondera på en minskad tillförsel av gödande ämnen jämfört med vattenmassan. I Stockholms innerskärgård kunde en förbättring av vattenkvaliteten konstateras relativt snabbt efter reningsverksutbyggnaden i början av 1970-talet (Brattberg, 1986).

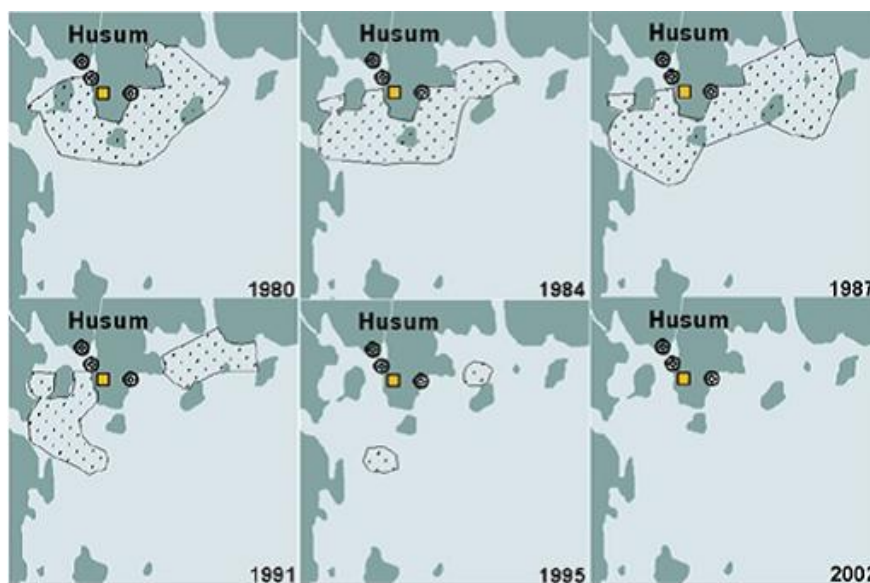
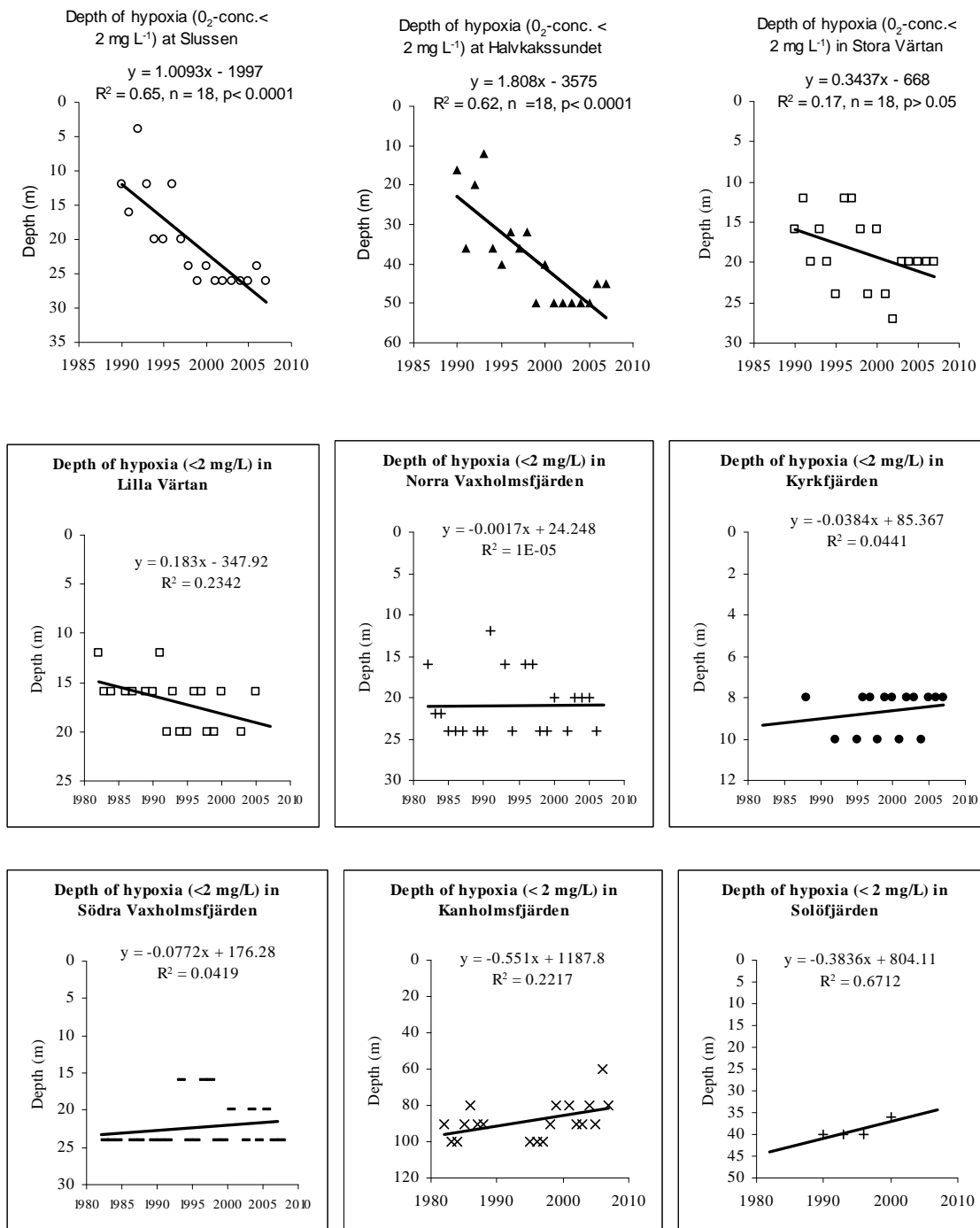


Figure 87 Successiv reduktion av utbredningen av reducerade ytsediment (prickade) utanför Husums massafabrik i norra Bottenhavet. Från Karlsson et al. (2005).

När nu ett större undersökningsmaterial insamlats även under 2009 kan några alternativa förklaringsmodeller förkastas. Eftersom den förbättring vi noterat inte är generell utan begränsad till vissa områden är det osannolikt att det är en storskalig förbättring av vattenkvaliteten i utsjön som är den bakomliggande faktorn. I Stockholms innerskärgård finns tidsserier avseende syrgaskoncentrationen i vattenmassan från ett antal stationer (Lännergren et al., 2009) som i stort sett sammanfaller med de områden som här undersökts. Det går att skönja en viss förbättring av syrgassituationen i några av punkterna (se Karlsson et al., 2009; Karlsson et al., 2010) men det är inte frågan om en tydlig och allmän förbättring av syrgasförhållandena i bottenvattnet (**Fig. 88**). Med tanke på det mycket snabba förbättringsförloppet i sedimenten längs djupbottenarna i Stockholms innerskärgård och speciellt i Stockholms hamnområde mellan slutet av 1990-talet och slutet av 2000-talet är det därför osannolikt att de under senare tid insatta åtgärderna ensamma förklarar de registrerade förändringarna. Situationen är idag till och med bättre i de innersta delarna av Stockholms skärgård än vad långa sedimentkärnor ger vittnesbörd om i början av 1900-talet.

Däremot framstår betydelsen av nykoloniseringen av havsborstmask, *Marenzelleria* som alltmer betydelsefull. En påfallande samstämmighet har kunnat noteras i tolkningen av sedimentens status jämfört med förekomsten av bottenfauna. I de sedimentkärnor där ytsedimentet var svart och reducerat påträffades inga makroskopiska djur medan det i de kärnor där ytsedimentet var oxiderat fanns djur i de fall bottenfaunaprover sällades ut. I de områden där de tydligaste förbättringarna av redoxförhållandena i sedimenten konstaterats (Stockholms innerskärgård, Himmerfjärden, Singöfjärden) dominerar bottenfaunan av *Marenzelleria*. Detta taxa är vanligt förekommande också i Sankt Anna och Gryts skärgårdar (Cederwall & Fornander, 2009a), längs Södermanlandskusten (Cederwall & Fornander, 2009b) samt i de yttre delarna av Stockholms skärgård (Gunnarsson et al., 2010) men intar inte alls samma dominerande ställning som i Stockholms innerskärgård. *Marenzelleria* har ganska nyligen etablerat sig i Östersjön och tros ursprungligen ha kommit med barlastvatten från Nordamerika. Släktet har ibland helt kommit att dominera bottenfaunan på mjuka bottnar (Zettler et al., 1996; Cedervall et al., 1999; Laine et al., 2003; Perus & Bonsdorff, 2004). *Marenzellerias* stora tolerans mot låga syrgaskoncentrationer har gynnat dess möjlighet att etablera sig i Östersjön syrefattiga bottnar. I övergödda havsområden, där syrehalten ofta är låg nära botten, är detta en viktig konkurrensfördel. *Marenzelleria* har visat sig bioturbera (blanda om) sediment ned till 10-40 cm under sedimentytan vilket leder till en ökad syresättning av sedimenten vilket i sin tur resulterar i en ökad nedbrytning av organiskt material (Hietanen et al., 2007). Vad känt är har expansionen av *Marenzelleria* inte medfört några negativa ekologiska konsekvenser.



Figur 88 Djup där hypoxi råder (årligt syreminimum <math>< 2 \text{ mg/l}</math>) vid nio stationer i Stockholms skärgård. Data från Stockholm Vattens databas.

Avseende fosforsituationen i de undersökta områdena bör det poängteras att de allra flesta prover har tagits på ackumulationsbottnar med höga vattenhalter (>75 %) och glödförluster (10-25 %) i ytsediment vilket gör att vi främst kan uttala oss om fosfordynamiken i ackumulationsmiljöer i de undersökta kustområdena. Min-, medel- och maxvärden framgår inledningsvis i **Tabell 2**. Där framgår att variationen är stor mellan olika bottenar. Den genomsnittliga fosforhalten 1380 $\mu\text{g/g}$ TS

är avgjort högre än koncentrationen i djupsediment och indikerar att mobil fosfor i stor utsträckning förekommer i de undersökta sedimenten. Sammantaget kan vi också konstatera att oxiderade sediment dominerar bland de undersökta proverna även om en stor andel reducerade sediment också återfanns.

Fosforhalten är typiskt sett högre i syresatta sediment än där reducerande förhållanden råder, men sambanden är ingalunda enkla. I de flesta fall är fosforkoncentrationen i oxiderade ytsediment åtminstone 1300 µg/g TS och i de flesta reducerade ytsediment är fosforkoncentrationen lägre än 1300 µg/g TS, men undantagen är relativt många. Det är emellertid mindre troligt att stora mängder mobil fosfor förekommer vid reducerade förhållanden men i några fall ser det faktiskt ut att göra det. I de fjärdar där detta tycks vara fallet (Singöfjärden station O, Norrtäljeviken) finns sannolikt ett tunt oxiderat ytskikt där fosfor kan kvarhållas, vilket också indikerats genom att närliggande provpunkter visat på oxiderade förhållanden.

Exceptionellt höga fosforhalter i ytsediment påträffades i ett antal provpunkter i Singöfjärden, Torsbyfjärden och Trälhavet. Dessa fjärdar har relativt nyligen övergått till oxiska förhållanden och en hypotes är att detta resulterat i en snabb ackumulation av fosfor i ytsedimenten. I Sankt Anna och Gryts skärgårdar var fosforhalten i ytsedimenten generellt lägre jämfört med undersökta områden längs Svealandskusten. Detta skulle kunna förklaras med att Östgötakusten i mindre grad påverkats av utsläpp från punktkällor. En annan möjlig förklaring är att samtliga prover från detta område insamlades i augusti när syrgashalterna i vattenmassan i regel är som lägst. Bli sedimentytans syrgashalt låg i slutet på sommaren, vilket är ett vanligt fenomen i näringsrika, skiktade sjöar löses den järnbundna fosfor med lägre totalfosforhalter i ytsedimenten som följd. Det föreligger dock inget enkelt samband mellan säsong och syresättning. Temporala studier i det pågående EU-projektet SEABED (Karlsson, opublicerade data) pekar exempelvis på att halterna i Singöfjärden är extremt höga oberoende av säsong.

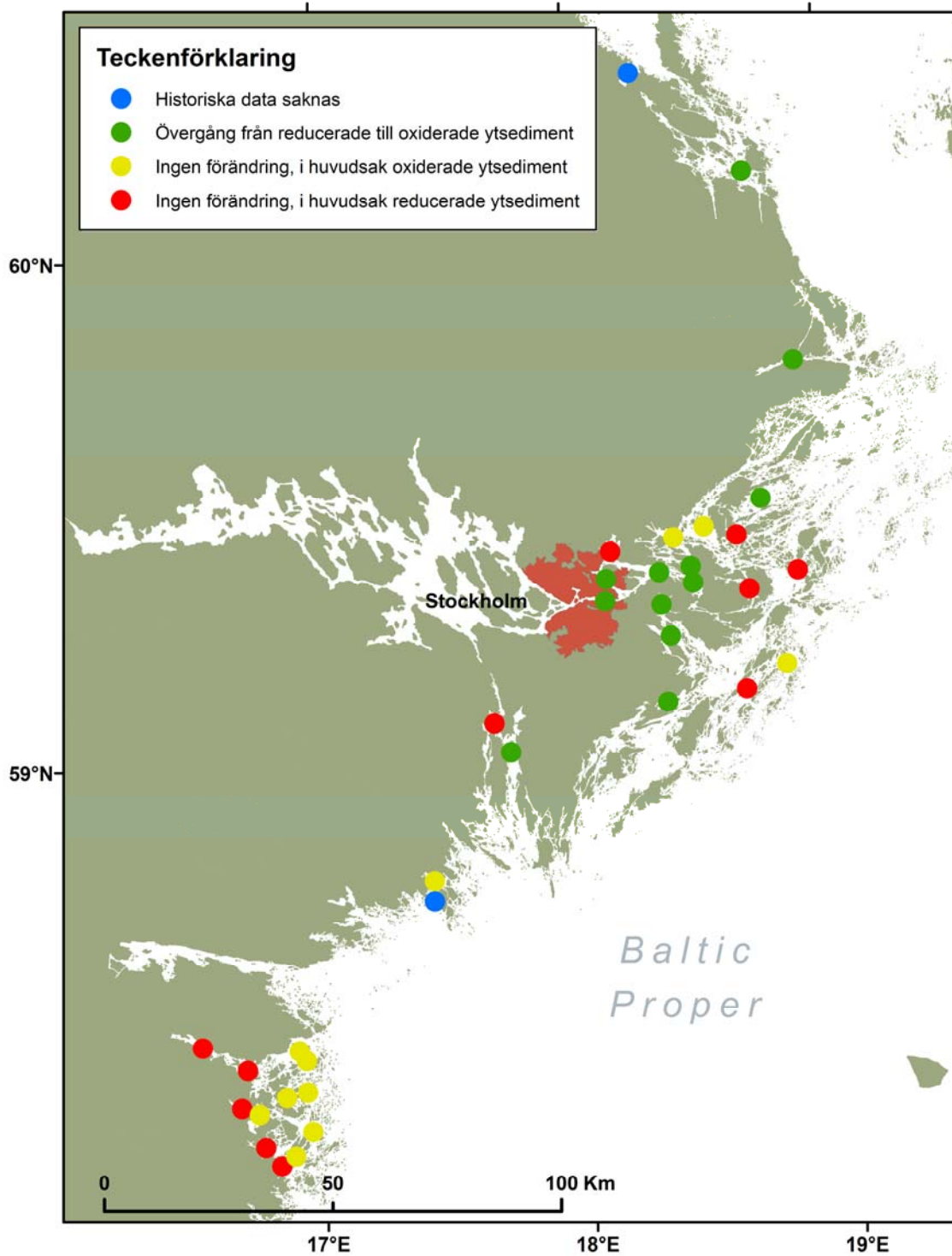
I **Tabell 5** sammanfattas ovan redovisade sedimentologiska undersökningar av kustområden längs Svealands- och Östgötakusten som genomförts 2008-2009. Jämförelser görs mot historiska sedimentdata samt i de fall data funnits tillhanda även bottenfaunaundersökningar. Baserat på detta görs en bedömning om det skett någon förändring av bottenförhållandena i respektive område (**Fig. 89**) Det bör återigen poängteras att våra resultat generellt speglar förhållandena i de djupare delarna av respektive område och således inte utgör en bedömning av områdenas ekologiska status i sin helhet. Därutöver vill vi också framhålla följande slutsatser från den genomförda studien:

- I tolv av totalt 36 undersökta fjärdar längs Svealands- och Östgötakusten har det under det senaste decenniet skett en övergång från reducerade och laminerade ytsediment till oxiderade och bioturberade förhållanden.
- Kustområden där förändringar ägt rum i Stockholms inner- och mellanskärgård, Roslagen och Södermanland karaktäriseras av att det sker/skett en förhållandevis hög landbaserad tillförsel av gödande ämnen.
- Det råder en god samstämmighet mellan resultat från bottenfaunaundersökningar från olika recipientkontrollprogram och den visuella tolkningen av lagerföljden i sedimenten.
- Tre faktorer bedöms kunna vara av betydelse för de registrerade förändringarna, 1) nedbrytning/borttransport av historiskt deponerat organiskt material, 2) recenta utsläppsminskningar av gödande ämnen, 3) invasion av havsborstmask, *Marenzelleria*.

- *Marenzelleria* dominerar i högre grad bottenfaunans sammansättning i de områden där förbättringar konstaterats jämfört med övriga kustområden i regionen där vi haft tillgång till bottenfaunadata.
- Fördelningen av fosfor i sedimenten följer i stora drag redoxförhållandena i de undersökta områdena. Höga fosforhalter återfinns i de oxiderade ytsedimenten, pga. ackumulation av järnbunden fosfor.

Tabell 5 Sammanställning av sedimentstatus och biomassor av makroskopisk bottenfauna i undersökta områden.

	Djup (m)	Ytsediment (lagerföljd)		Bottenfauna		Dominerande taxa	Referens
		1995-2000	2008-2009	1995-2000	2006-2009		
				(biomassa g m ⁻² vv)			
Kallrigafjärden	4-10	-	bioturberade		17-38	<i>Marenzelleria</i> , <i>Potamopyrgus</i> , <i>Macoma</i> , <i>Chironomus</i>	Sarah Josefsson, opubl. data
Singöfjärden	40-49	laminerade	bioturberade		37	<i>Marenzelleria</i>	Denna undersökning
Norrtäljeviken	28	laminerade	bioturberade		9	<i>Marenzelleria</i> , <i>Chironomus</i>	Lännergren et al., 2009
Strömmen	30	laminerade	bioturberade	0.5	65	<i>Marenzelleria</i> , <i>Saduria</i>	Lännergren et al., 2009
Lilla Värtan	30	laminerade	bioturberade	0	48	<i>Marenzelleria</i> , <i>Saduria</i>	Lännergren et al., 2009
Stora Värtan	20	-	laminerade	0	0		Lännergren et al., 2009
Askrikefjärden	30	laminerade	bioturberade	0.8	8	<i>Marenzelleria</i>	Lännergren et al., 2009
Torsbyfjärden	50	laminerade	bioturberade	0	6	<i>Marenzelleria</i>	Lännergren et al., 2009
Solöfjärden	50	laminerade	bioturberade	0	19	<i>Marenzelleria</i>	Lännergren et al., 2009
Trälhavet	60	bioturberade	bioturberade	18	39	<i>Macoma</i> , <i>Marenzelleria</i>	Lännergren et al., 2009
Östra Saxarfjärden	57	bioturberade	bioturberade				
Baggensfjärden	40	laminerade	bioturberade	0	13	<i>Marenzelleria</i>	Lännergren et al., 2009
Erstaviken	53	laminerade	bioturberade				
Sandemarsfjärden	31	laminerade	laminerade				
Träsköfjärden	27	laminerade	laminerade				
Gälnan	27	laminerade	bioturberade				
Älgöfjärden	13	laminerade	laminerade				
Möja Söderfjärd	105	laminerade	laminerade				
Norrfjärden	47	laminerade	laminerade				
Bulleröfjärden	41	bioturberade	bioturberade				
Himmerfjärden	43	laminerade	bioturberade		22	<i>Marenzelleria</i>	Denna undersökning
Näslandsfjärden	36	laminerade	laminerade		0		
Tvären	75	bioturberade	bioturberade		8	<i>Marenzelleria</i>	Denna undersökning
Stussviken	25	-	bioturberade		2	<i>Marenzelleria</i>	Denna undersökning
Lönshuvudsfjärden	30	bioturberade	bioturberade				
Slätbaken	23	laminerade	laminerade	0	0		Alcontrol, 2006
Aspöfjärden	24	bioturberade	bioturberade				
Trännöfjärden	16	laminerade	laminerade	0	0		Alcontrol, 2006
Kärrfjärden/Hafjärden	18	bioturberade	bioturberade	77	130	<i>Macoma</i>	Alcontrol, 2006
Hålfjärden	12	bioturberade	bioturberade				
Gropviken	30	laminerade	laminerade				
Lindersfjärden	29	bioturberade	bioturberade				
Kullskärsdjupet	43	bioturberade	bioturberade				
Orren	60	laminerade	laminerade				
Dalvåmmen	45	laminerade	laminerade				
Bondekrok	32	bioturberade	bioturberade				



Figur 89 Sammanställning av bottenstatus i undersökta områden

8 Referenser

- Afzelius, L., 1996. Idefjorden tillfrisknar snabbt. In: Havsmiljön 1996.
- Alcontrol, 2006. Bedömningsgrunder, fältprotokoll, artlistor samt biomassa för bottenfaunaundersökningar 2006. Bilaga 9 till årsrapport 2006 från Motala ströms vattenvårdsförbund, sid 375-508.
- Andersson, C., 2000. The influence of wind-induced resuspension on sediment accumulation rates. A study of archipelago and offshore areas in the NW Baltic proper. Master thesis, Uppsala University, Dept. of Earth Sciences, 34 p.
- Anonymous, 1998. Rapport från kursen: Östersjön från kust till hav 1998. Uppsala universitet, Inst. for Geovetenskaper, Uppsala (stencil), 84 sid.
- Anonymous, 1999. Rapport från kursen: Östersjön från kust till hav 1999. Uppsala universitet, Inst. for Geovetenskaper, Uppsala (stencil), 87 sid.
- Arvidsson, M., 2009. Bottenfaunaundersökning i Hallstaviksområdet 2009. Naturvatten i Roslagen AB rapport 2009:28, 30 sid.
- Bernes, C., 2006. Förändringar under ytan. Sveriges havsmiljö granskad på djupet. Naturvårdsverket monitor 19. ISBN 91-620-1245-2, 192 p.
- Brattberg, G., 1986. Decreased phosphorus loading changes phytoplankton composition and biomass in the Stockholm archipelago, Vatten 42: 141–152.
- Cederwall, H. & Fornander, G., 2009a. Rapport från undersökningar av makroskopisk mjukbottenfauna i Östergötlands skärgård år 2008. Inst. för systemekologi, Stockholms universitet. Stencil, 10 sid.
- Cederwall, H. & Fornander, G., 2009b. Rapport från undersökningar av mjukbottenfauna i Askö-Landsortsområdet år 2008. Länsstyrelsen Södermanlands län. Rapport nr 2009:10. ISSN 1400-0792, 45 sid.
- Cederwall, H., Jermakovs, V. & Lagzdins, G., 1999. Long-term changes in the soft-bottom macrofauna of the Gulf of Riga. *ICES J. Mar. Sci., Suppl.* 56, 41–48.
- Diaz, R. J. & Rosenberg, R., 2008. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science* 321, 926-929.
- Eckhéll, J., Jonsson, P., Meili, M. & Carman, R., 2000. Storm influence on the accumulation and lamination of sediments in deep areas of the northwestern Baltic proper. *Ambio* 29:238-245.
- Grahn, O., Sandström, O., Härdig, J., Notini, M. & Sangfors, O., 2006. Undersökning av strandzonens växt- och djursamhällen samt tillväxt och fortplantning hos fisk i recipienten till Norrsundets Bruk 2005. SKUTAB & Nordmiljö AB rapport för Norrsundets Bruk. 2006-05-09.
- Gunnarsson, J., Raymond, C, Fornander, G. & Cederwall, H., 2010. Regional miljöövervakning av mjukbottenfauna i Stockholms skärgård 2009. Länsstyrelsen i Stockholms län. Stencil, 22 sid.
- Gustafsson, A. & Arvidsson, M., 2009. Bottenfaunaundersökning i Hallstaviksområdet 2008. Naturvatten i Roslagen AB rapport 2009:7, 28 sid.
- Hietanen, S., Laine, A. O. & Lukkari, K., 2007. The complex effects of the invasive polychaetes *Marenzelleria* spp. on benthic nutrient dynamics. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 352: 89–102.

- Håkanson, L. & M. Jansson. 1983. Principles of lake sedimentology. Springer-Verlag, Berlin, 316 p.
- Håkanson, L., Kulinski, I., Kvarnäs, H., 1984. Vattendynamik och bottenodynamik i kustzonen. Statens naturvårdsverk PM 1905.
- Jonsson, P., 2002. Bottenundersökningar i Gårdsfjärden 2002. JP Sedimentkonsult Rapport. Stencil, 12 sid.
- Jonsson, P., Persson, J. & Holmberg, P., 2003. Skärgårdens bottenar. Naturvårdsverket rapport 5212.
- Karlsson, M., Grotell, C. & Malmaeus, M., 2005. Miljökonsekvenser av utsläpp till vatten. ÅF-Process rapport för M-real Sverige AB, Husums Fabrik.
- Karlsson, M., Malmaeus, M., Jonsson, P. & Rydin, E. 2009. Sediment studies in the Stockholm archipelago 2008. IVL Swedish Environmental Research Institute report B1894. www.ivl.se
- Karlsson, O.M., Jonsson, P.O., Lindgren, D., Malmaeus, J.M. & Stehn, A., 2010. Indications of recovery from hypoxia in the inner Stockholm archipelago. *Ambio* DOI 10.1007/s13280-010-0079-3
- Laine, A.O., Luodekari, K., Poikonen, M. & Viitasalo, M., 2003. A comparison between 1928 and 2000 indicates major changes in macrozoobenthos species composition and abundance on the SW coast of Finland (Baltic Sea). *Proc. Est. Acad. Sci., Biol. Ecol.* 52, 3–16.
- Lindström, L., 1995. Sedimentkartering i norra Väneren 1994. Förekomst av cellulosafibrer och organiskt material. Swedish Environmental research group Report No: F94/045.
- Lännergren, C., Eriksson, B., & Stehn, A., 2009. Undersökningar i Stockholms skärgård 2008. Stockholm Vatten rapport, Diare Nr: 09SV139, 243 sid. www.stockholmvattnen.se/Stockholmvattnen/commondata/rapporter/vattenvard/Skargarden/Skargardsrapport%202008.pdf
- Malmaeus, M. & Karlsson, M., 2009. Dioxinflöden i Kallrigafjärden. IVL rapport B1836. www.ivl.se
- Malmaeus, M., Rydin, E., Lindgren, D., Jonsson, P. & Karlsson, M. Estimating the amount of mobile phosphorus in Baltic coastal soft sediments of central Sweden. Submitted to *Marine Geology*.
- Odelström, T., 1997. Bottenfaunaundersökning i Hallstaviksområdet våren 1997. Uppsala universitet, Erkenlaboratoriet, 7 sid
- Odelström, T., 1998. Bottenfaunaundersökning i Hallstaviksområdet våren 1998. Uppsala universitet, Erkenlaboratoriet, 7 sid.
- Odelström, T., 1999. Bottenfaunaundersökning i Hallstaviksområdet våren 1999. Uppsala universitet, Erkenlaboratoriet, 10 sid.
- Pearson, T. H. & R. Rosenberg. 1976. A comparative study on the effects on the marine environment of wastes from cellulose industries in Scotland and Sweden. *Ambio* 16: 20-31.
- Perus, J., Bonsdorff, E., 2004. Long-term changes in macrozoobenthos in the Åland archipelago, northern Baltic Sea. *J. Sea Res.* 52, 45–56.
- Zettler, M.L., 1996. Successful establishment of the spionid polychaete, *Marenzelleria viridis* (Verrill, 1873), in the Darss-Zingst estuary (southern Baltic) and its influence on the indigenous macrozoobenthos. *Arch. Fish. Mar. Res.* 43, 273–284.

9 Termlista och introduktion till sedimentförhållanden i Östersjön

A-botten	Botten där det sker en kontinuerlig deposition av kohesivt finmaterial (mjåla och mindre kornstorlekar), brukar ibland även benämnas sedimentationsbotten eller mjukbotten
Abundant	vanligt förekommande
Akkumulationsbotten	se A-botten
Bioturbation	bottendjurs omblandning av sedimentlagren
E-botten	hårdbotten, ofta grunt belägen, ingen deposition av finmaterial
Ekmanhuggare	Sediment och bottenfaunaprovtagare
Erosionsbotten	se E-botten
ET-botten	erosions- och transportbotten, ofta är gränsen mellan E och T svår att dra varvid samlingsbegreppet ET används, funktionellt områden där det inte sker någon nettosedimentation av finmaterial
Gasrika sediment	gasrika sediment är indikatorer på hög organisk halt. Gasen utgörs huvudsakligen av metan som bildas vid nedbrytning av organiskt material.
GF	glödningsförlust eller LOI (<u>L</u> oss <u>O</u> n <u>I</u> gnition), ett mått på den organiska halten
Laminerat	varvigt sediment med tydlig lagerföljd
Lednivå	samtidigt avsatta sedimentnivåer som uppvisar stora likheter i utseende
Mobil fosfor	den sedimentfosfor som med tiden kommer mineraliseras/lösas upp och transporteras ut från sedimenten som fosfat. Nedbrytbar organiskt bunden fosfor och järnbunden fosfor är de två dominerande formerna
Resuspension	uppvirvling av sediment till vattenmassan genom ström eller vågverkan
Sedimentfokuseringsfaktor	se nedan introduktion till sedimentförhållanden
SPM	suspenderat partikulärt material
T-botten	botten med oregelbunden deposition av finmaterial, sedimentation förekommer men med tiden sker resuspension, ingen sedimenttillväxt
Transportbotten	se T-botten
ts	torrs substans

Omsättningen och depositionen av finmaterial i akvatiska miljöer är en av nyckelfaktorerna i ekologiska sammanhang eftersom finmaterialet har stor inverkan på såväl funktionen som karaktären hos ett akvatiskt ekosystem. Då man definierar fördelningen mellan olika botten typer (=bottendynamiska förhållanden) utgår man normalt från det mest lätttrörliga finmaterialet (med partikelstorlek $< 0,006$ mm, eller medium silt), som också är viktigt i ekologiska sammanhang eftersom det generellt har stor förmåga att binda olika typer av föroreningar. Vid denna undersökning har följande definition av botten typer använts:

- **Akkumulationsbottnar** är bottnar där finmaterial kontinuerligt deponeras.
- **Transportbottnar** är bottnar med oregelbunden deposition och borttransport av finmaterial och blandade sediment.
- **Erosionsbottnar** är bottnar där grövre material ($> 0,06$ mm) dominerar.

Eftersom det oftast är mycket svårt att dra gränsen mellan erosions- och transportbottnar har vi i denna undersökning enbart skiljt mellan erosions-/transportbottnar å den ena sidan och akkumulationsbottnar å den andra.

De flesta sedimentparametrar uppvisar samma mönster om man jämför de tre botten typerna: Låga halter i erosionsbottnar, höga halter i akkumulationsbottnar medan transportbottnar karaktäriseras av varierande halter. Erosionsbottnar utgörs av sten, grus och sand, ibland överlagrande en glacial eller postglacial lera, och har låga vattenhalter och organiska halter. Eftersom det hela tiden sker en borttransport av material från erosionsbottnar är halterna av näringsämnen och metaller normalt låga.

Akkumulationsbottnarna däremot består av finmaterial som lera och lergyttja och har höga vattenhalter. Ibland kan gränsen mellan sediment och vatten vara svår att avgöra pga. den höga vattenhalten i ytsedimentet. Vanligen finner man de högsta halterna av de flesta substanser i akkumulationsbottnarna. Dessa bottnar innehåller även naturligt hög halt organiskt material. Hög halt av organiskt material kräver mycket syrgas vid nedbrytningsprocesserna vilket innebär att områden med stor andel akkumulationsbottnar är särskilt känsliga för extra belastning av syrgas krävande organiskt material. Näring som ansamlas på botten binds till stor del i sedimentet så länge ytsedimentet är syresatt. Vid syrgasfattiga förhållanden förändras de kemiska egenskaperna hos ytsedimentet och näringsämnen, främst fosfor, frigörs från botten till vattnet. I och med att sedimentytan hela tiden pålagras nytt material från omgivande vatten blockeras syrgastillförseln till djupare liggande sedimentskikt. Endast några centimeter ner i sedimentpelaren är bottnarna därför ofta naturligt syrgasfria, vilket ger en karakteristisk svavelvätehaltig lukt vid omrörning av sedimentet. Så länge ytsedimentet är syresatt fungerar det som ett lock vilket hindrar näringsläckage från underliggande sedimentlager. I gränsskiktet mellan syrgasrika och syrgasfattiga skikt sker denitrifikation vilket innebär att oorganiskt kväve omvandlas till kvävgas genom bakterieaktivitet. Denitrifikationsprocesserna minskar på detta sätt kväveförrådet i sedimenten.

Transportbottnar kännetecknas av mycket varierande halter vilket beror på att dessa bottnar periodvis fungerar som akkumulationsbottnar. Vid ett stormtillfälle kan dock det tidigare ackumulerade materialet resuspenderas och förflyttas nedåt mot akkumulationsbottnarna.

I de allra flesta havsområden finns ett betydande djurliv i gränsskiktet mellan sediment och vatten. Dessa djur har en förmåga att blanda om sedimentet så att eventuella årstidsskillnader i sedimentationen jämnas ut. Genom bioturbationen (d.v.s. sedimentomblandning av bottenfauna) omblandas även nysedimenterat kraftigt förorenat material med underliggande preindustriella sediment, vilket leder till att snabba förändringar i föroreningsbelastning suddas ut. Detta leder också till att dessa bioturberade sediment är svåra att använda i miljökontrollen för beskrivning av

tidsutvecklingen. Således tar det många år innan en eventuell belastningsminskning ger sig till känna i form av minskande ytsedimenthalter.

Betydande arealer av egentliga Östersjöns ackumulationsbottnar har under de senaste decennierna övergått från att vara bioturberade till att där i dag avsätts laminerade sediment (d.v.s. varviga sediment som avsätts där bottendjur saknas). Detta tycks ha inneburit stora effekter på sedimentens förmåga till fastläggning av såväl organiska miljögifter som metaller. I samband med övergång från bioturberat sediment till laminerat ökar halterna påtagligt av många föroreningar. Orsaken till att metaller som t ex kadmium och koppar numera tycks fastläggas mer effektivt är sannolikt kopplad till dessa metallers benägenhet att bilda olösliga sulfidkomplex vid syrgasfria förhållanden, vilket numera ofta råder i egentliga Östersjöns djupa botten nära vatten. När det gäller persistenta miljögifter som PCB, DDT och klorerade dioxiner/furaner kan faktorer som ökad sedimentation, sämre mineralisering av det organiska materialet i ytsedimentet och därtill kopplat ändrad lipid-pool vara av betydelse i sammanhanget.

På i stort sett alla ackumulationsbottnar för finsediment belägna djupare än 75 m i öppna egentliga Östersjön avsätts laminerade sediment, som en följd av utslagning av bottenfaunan. Lamineringen, som av flera skäl anses vara årlig, har utnyttjats för översiktlig beräkning av depositionen av torrsbstans, organiskt material och oorganiska närsalter samt klorerade ämnen och metaller.

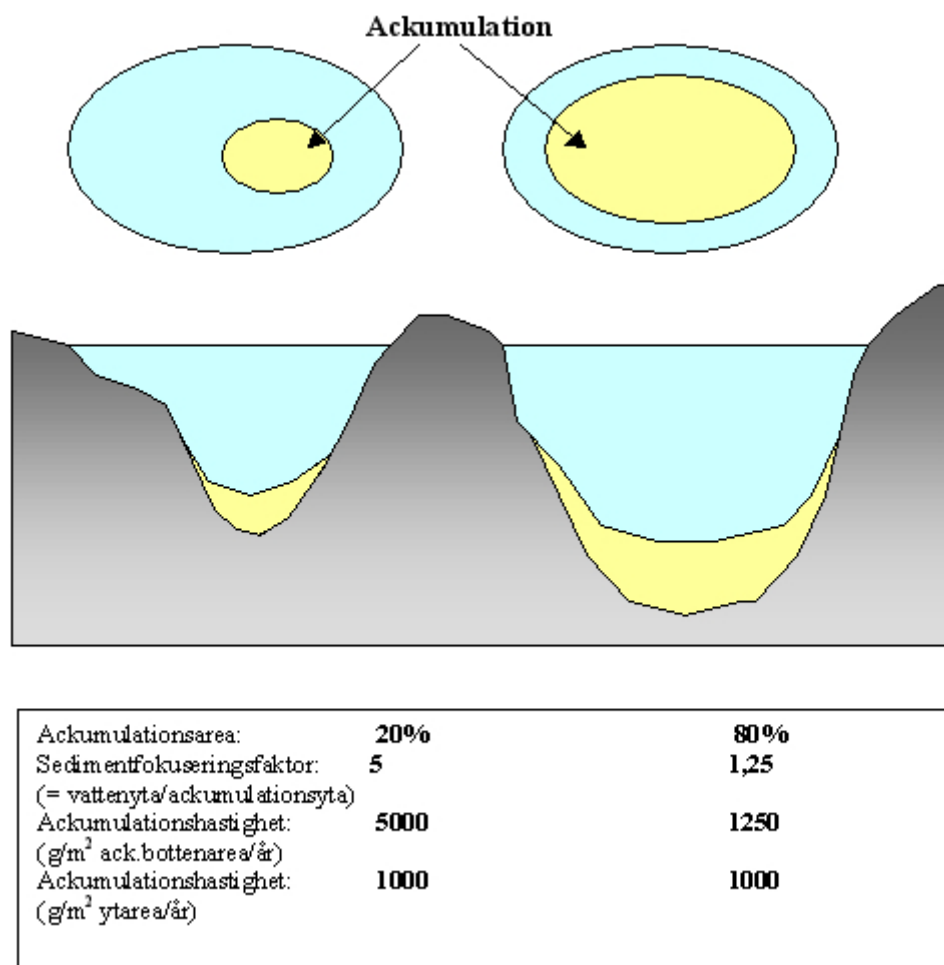
Laminerade ytsediment är ett välkänt fenomen i sjöar, i Bottenvikens och Bottenhavets kustområden, i Egentliga Östersjöns och Skagerraks kustområden liksom i dess öppna delar. Orsaken till bildningen av laminerade sediment har för svenska sjöar befunnits vara årstidsväxlingarna under ett år. Växlingar i sammansättning och sedimentationshastighet för det sedimentande materialet i kombination med förändringar i diagenetiska processer är några av de viktigare förutsättningarna för uppkomsten av laminerade sediment. Den allra viktigaste är dock avsaknaden av makroskopisk bottenfauna. Under goda syrgasförhållanden blandas sedimentet om genom bioturbation av bottendjuret och eventuella årstidsgenererade strukturer i sedimentet försvinner.

Under tiden efter den senaste nedisningen har denna typ av homogen lera eller leryttja dominerat i alla Östersjöns delbassänger. I vissa områden och under vissa perioder har dock laminerade sediment bildats naturligt i Östersjöbäckenet. Ytan där denna sedimenttyp deponeras synes ha fyrdubblats sedan 1940-talet och täcker idag ca en tredjedel av egentliga Östersjöns bottnar.

Sedan 1992 har undersökningar av skärgårdsbottnar genomförts vid Institutionen för geovetenskaper vid Uppsala universitet och Institutionen för Geologi och geokemi vid Stockholms universitet. De genomförda studierna visar att laminerade sediment avsätts idag även i Östersjöns kustområden. I vissa områden finner man laminering flera hundra år tillbaka vilket har tolkats så att inom dessa områden råder naturlig syrgasbrist. I andra fjärdssystem har lamineringen uppstått de senaste decennierna vilket indikerar recenta eutrofieringsproblem. Sedimentationshastigheterna är oftast höga i skärgårdarna, normalt 5-20 mm år⁻¹ med uppmätta extremvärden på 70 mm år⁻¹. Detta innebär att sedimentationen vanligen är 5-10 gånger högre i skärgårdarna än i öppet hav.

Sedimentackumulationshastigheten i marina miljöer varierar naturligt beroende på ett antal faktorer, främst A-bottenandel, topografi, vindförhållanden och landhöjning. För att kunna göra en jämförelse av fastläggning i sediment mellan två fjärdområden måste hänsyn tas till sedimentfokuseringen, vare sig det gäller den totala sedimentackumuleringen eller rör sedimentfastläggning av enskilda ämnen (t.ex. metaller eller organiska miljögifter). Grundförutsättningen för att jämförelser skall kunna göras är att bottenytan där ackumulation av fina (< 0,006 mm) partiklar sker, den s.k. ackumulationsbottenarean, bestäms, vilket kan ske med olika tekniker.

Principen för normalisering för sedimentfokusering illustreras i **Figur 90** och går helt enkelt ut på att omräkna sedimentackumuleringen i ackumulationsområdena till att gälla för hela fjärddyten. I det illustrerade exemplet är sedimentackumuleringen per kvadratmeter ackumulationsbotten mycket högre i den djupa fjärden jämfört med den grunda. Om hänsyn tas till fokuseringseffekten och sedimentackumuleringen beräknas per kvadratmeter fjärddyta är det dock möjligt att göra jämförelser av sedimentfastläggningen. I det illustrerade exemplet är den totala sedimentackumuleringen lika i de båda fjärdarna.



Figur 90 Principskiss för att illustrera begreppet sedimentfokusering (Från Jonsson et al., 2003).

Bilaga 1 Bottenfaunadata

stationer Område	station	Lat (WGS-84)	Long (WGS-84)	Djup (m)
Tvären	3	58° 46,04	17° 25,34	66
Stussviken	A	58° 43,98	17° 25,34	25
Himmerfjärden	A	58° 59,61	17° 43,36	43
Norrtäljeviken	B	59° 46,70	18° 54,31	26-28
Singöfjärden	C	60° 09,07	18° 42,14	49

Antal individer

Tvären 3

Replikat	laera	Polychaete	Pontoporeia	Chironomid	Macoma
A		1	9	1	0
B		0	6	0	0
C		0	11	0	0
Medel		0,33	8,67	0,33	
SD		0,58	2,52	0,58	
95 % KI		0,65	2,85	0,65	

Stussviken A

Replikat	laera	Polychaete	Pontoporeia	Chironomid	Macoma
1		0	2	0	1
2		0	2	0	0
3		0	3	0	0
medel			2,33	0	0,33
SD			0,58	0	0,58
95 % KI			0,65	0,65	

Himmerfjärden A

Replikat	laera	Polychaete	Pontoporeia	Chironomid	Macoma
1		0	132	0	0
2		0	19	0	0
3		0	42	0	1
medel			64,33	0	0,33
SD			59,72	0	0,58
95 % KI			67,58		0,65

Norrtäljeviken B

Replikat	laera	Polychaete	Pontoporeia	Chironomid	Macoma
1 (26 m)		0	5	0	7
2 (27 m)		0	20	0	14
3 (28 m)		0	1	0	7
medel			8,67	0	9,33
SD			10,02	0	4,04
95 % KI			11,33	4,57	

Singöfjärden C

Replikat	laera	Polychaete	Pontoporeia	Chironomid	Macoma
1		0	71	0	0

Antal individer/m²

Tvären 3

Replikat	Iaera	Polychaete	Pontoporeia	Chironomid	Macoma
A	40	360	40	0	0
B	0	240	0	0	0
C	0	440	0	0	0
medel	13,33	346,67	13,33	0	0
SD	23,09	100,66	23,09	0	0
95 % KI	26,13	113,91	26,13		

Stussviken A

Replikat					
1	0	80	0	40	0
2	0	80	0	0	0
3	0	120	0	0	0
Medel	0	93,333	0	13,333	0
SD	0	23,094	0	23,094	0
95 % KI		26,133		26,133	

Himmerfjärden A

Replikat					
1	0	5280	0	0	0
2	0	760	0	0	0
3	0	1680	0	0	40
Medel	0	2 573,33	0	0	13,33
SD	0	2 388,75	0	0	23,09
95 % KI					

Norrtäljeviken B

Replikat					
1 (26 m)	0	200	0	280	0
2 (27 m)	0	800	0	560	0
3 (28 m)	0	40	0	280	0
Medel	0	346,67	0	373,33	0
SD	0	400,67	0	161,66	0
95 % KI		453,38		182,92	

Singöfjärden C

Replikat					
1	0	2840	0	0	0

Biomassa våtvikter (g vv/m²)*g vv/m²***Tvären 3**

Replikat	Iaera	Polychaete	Pontoporeia	Chironomus	Macoma
A	0,42	7,12	0,65	0	0
B	0	1,99	0	0	0
C	0	13,56	0	0	0
medel	0,14	7,56	0,22	0	0
SD	0,24	5,80	0,38	0	0
95 % KI					

Stussviken A

Replikat					
1	0	2,44	0	1,26	0
2	0	1,8	0	0	0
3	0	2,54	0	0	0
medel	0	2,26	0	0,42	0
SD	0	0,40	0	0,73	0
95 % KI					

Himmerfjärden A

Replikat					
1	0	46,68	0	0	0
2	0	6,14	0	0	0
3	0	12,6	0	0	1,4
medel	0	21,81	0	0	0,47
SD	0	21,78	0	0	0,81
95 % KI					

Norrtäljeviken B

Replikat					
1 (26 m)	0	3,05	0	4,29	0
2 (27 m)	0	11,24	0	5,78	0
3 (28 m)	0	0,60	0	1,76	0
medel	0	4,96	0,00	3,94	0
SD	0	5,57	0,00	2,03	0
95 % KI					

Singöfjärden C

Replikat					
1	0	37,12	0	0	0

Biomassa torr vikter (g ts/m²)

Tvären 3

Replikat	Iaera	Polychaete	Pontoporeia	Chironomid	Macoma
A	0,08	0,796	0,084	0	0
B	0	0,216	0	0	0
C	0	0,716	0	0	0
Medel	0,027	0,576	0,028	0	0
SD	0,046	0,314	0,048	0	0
95 % KI					

Stussviken A

Replikat					
1	0	0,156	0	0,12	0
2	0	0,144	0	0	0
3	0	0,124	0	0	0
Medel	0	0,141	0,000	0,040	0
SD	0	0,016	0,000	0,069	0
95% KI					

Himmerfjärden A

Replikat					
1	0	3,672	0	0	0
2	0	0,62	0	0	0
3	0	1,22	0	0	0,08
Medel	0	1,84	0	0	0,03
SD	0	1,62	0	0	0,05
95% KI					

Norrtäljeviken B

Replikat					
1 (26 m)	0	0,21	0	0,49	0
2 (27 m)	0	0,93	0	0,89	0
3 (28 m)	0	0,04	0	0,27	0
Medel	0	0,39	0	0,55	0
SD	0	0,47	0	0,32	0
95% KI		0,54		0,36	

Singöfjärden 1

Replikat					
1	0	3,54	0	0	0

Bilaga 2 Sedimentkemiska analyser

Provpunkt	Område	nivå	djup	latitud WGS 84	longitud WGS 84	Vattenhalt (%)	Glöd,- förlust (%)	Totalfosfor (µg/g TS)	Anmärkning sedimentyta
Kallriga B	Kallrigafjärden	0-5	7	602091	181600	84,4	14,4	1200	Oxiderad
Kallriga B	Kallrigafjärden	30-35		602091	181600	73,0	10,2	780	
Kallriga A	Kallrigafjärden	0-5	4	602051	181489	83,1	14,2	1000	Oxiderad
Kallriga A	Kallrigafjärden	27-29		602051	181489	63,7	7,5	640	
Singöfjärden C	Singöfjärden	0-2	49	600907	184214	94,9	17,8	7100	Oxiderad
Singöfjärden C	Singöfjärden	0-2		600907	184214	87,6	17,0	6700	Oxiderad
Singöfjärden C	Singöfjärden	30-32		600907	184214	85,1	12,4	1000	
Singöfjärden C	Singöfjärden	38-40		600907	184214	85,2	14,0	1400	
Singöfjärden D	Singöfjärden	0-1	41	600900	184115	93,5	17,8	5200	Oxiderad
Singöfjärden D	Singöfjärden	0-2		600900	184115	86,8	13,7	5100	Oxiderad
Singöfjärden D	Singöfjärden	28-30		600900	184115	77,6	10,7	990	
Singöfjärden D	Singöfjärden	38-40		600900	184115	85,8	11,3	1000	
Singöfjärden Z	Singöfjärden	0-2	12	600777	184133	78,8	9,4	1100	Oxiderad
Singöfjärden M	Singöfjärden	0-2	35	600744	184537	86,8	15,1	2500	Oxiderad
Singöfjärden M	Singöfjärden	0-2		600744	184537	85,2	15,8	1900	Oxiderad
Singöfjärden M	Singöfjärden	29-31		600744	184537	82,8	11,7	950	
Singöfjärden M	Singöfjärden	38-40		600744	184537	84,1	14,1	1000	
Singöfjärden O	Singöfjärden	0-2	38	600718	184492	97,1	21,3	1900	Reducerad
Singöfjärden O	Singöfjärden	0-2		600718	184492	86,2	16,5	1400	Reducerad
Singöfjärden O	Singöfjärden	30-32		600718	184492	90,7	14,0	1200	
Singöfjärden O	Singöfjärden	38-40		600718	184492	78,7	13,7	990	
Norr B	Norrtäljeviken	0-1	28	594670	185431	95,5	22,9	3500	Oxiderad
Norr b	Norrtäljeviken	0-2		594670	185431	87,1	17,8	1200	Oxiderad
Norr B	Norrtäljeviken	28-30		594670	185431	82,2	14,4	1100	
Norr b	Norrtäljeviken	38-40		594670	185431	81,3	16,2	1100	
Norr A	Norrtäljeviken	0-2	34	594663	185278	97,9	22,7	1900	Reducerad
Norr A	Norrtäljeviken	0-2		594663	185278	91,6	17,5	1100	Reducerad
Norr A	Norrtäljeviken	28-30		594663	185278	90,7	16,3	1100	
Norr A	Norrtäljeviken	38-40		594663	185278	84,6	15,3	1100	
Ask 30	Askrikefjärden	0-2	30	592291	181322	85,7	14,2	2600	Oxiderad
Ask 30	Askrikefjärden	30-35		592291	181322	80,9	11,7	880	
Hög 30	Askrikefjärden	0-2	30	592190	182023	83,0	13,1	1300	Oxiderad
Hög 30	Askrikefjärden	40-45		592190	182023	85,2	14,9	1000	
Hög 38	Askrikefjärden	0-2	38	592198	182059	84,7	12,4	1700	
Hög 38	Askrikefjärden	50-55		592198	182059	83,6	14,0	1000	Oxiderad
Kåp	Askrikefjärden	0-5	45	592120	181440	82,7	11,3	1100	
Lång 30	Askrikefjärden	0-2	30	592291	181596	84,5	13,2	1200	Oxiderad
Lång 30	Askrikefjärden	30-35		592291	181596	83,0	13,0	890	
Lång 30	Askrikefjärden	55-60		592291	181596	69,4	9,1	960	
Teg	Askrikefjärden	0-3	16	592150	181950	97,4	15,8	830	
Bagg 28	Baggensfjärden	0-2	28	591753	181991	80,7	14,3	1600	Oxiderad
Bagg 28	Baggensfjärden	40-45		591753	181991	74,3	13,4	1100	

Provpunkt	Område	nivå	djup	latitud WGS 84	longitud WGS 84	Vatten- halt (%)	Glöd,- förlust (%)	Totalfosfor (µg/g TS)	Anmärkning sedimentyta
Bagg 40	Baggensfjärden	0-2	40	591776	181952	84,2	14,5	2200	Oxiderad
Bagg 40	Baggensfjärden	40-45		591776	181952	73,1	12,8	1000	
Bagg 50	Baggensfjärden	0-2	50	591771	181933	87,4	16,3	990	Reducerad
Bagg 50	Baggensfjärden	30-35		591771	181933	79,6	91,6	910	
Bagg 50	Baggensfjärden	65-70		591771	181933	71,1	11,5	1100	
Far 10	Baggensfjärden	0-2	10	591950	182234	90,0	18,6	1300	Reducerad
Far 10	Baggensfjärden	30-35		591950	182234	81,0	15,4	1500	
Far 10	Baggensfjärden	60-65		591950	182234	71,1	12,8	820	
Bull 47	Bulleröfjärden	0-2	47	591152	184952	86,8	18,5	1300	
Bull 47	Bulleröfjärden	50-55		591152	184952	76,1	14,0	1100	
Bull G	Bulleröfjärden	0-2	41	591195	184921	84,2	17,3	1300	
Bull G	Bulleröfjärden	40-45		591195	184921	67,9	9,1	860	
Bull I	Bulleröfjärden	0-2	47	591152	184952	92,0	18,7	1800	
Bull I	Bulleröfjärden	28-30		591152	184952	80,9	16,9	1100	
Bull I	Bulleröfjärden	38-40		591152	184952	79,7	15,2	1100	
Bull J	Bulleröfjärden	0-2	44	591157	184941	83,6	18,4	1300	
Bull J	Bulleröfjärden	0-2		591157	184941	90,5	19,4	1900	
Bull J	Bulleröfjärden	28-30		591157	184941	79,6	14,3	890	
Bull J	Bulleröfjärden	38-40		591157	184941	75,6	12,9	1000	
Bull J	Bulleröfjärden	45-50		591157	184941	73,3	12,7	980	
Bull J	Bulleröfjärden	48-50		591157	184941	74,0	12,4	960	
Ers 53	Erstaviken	0-2	53	591413	182205	83,4	13,9	2200	Oxiderad
Ers 53	Erstaviken	55-60		591413	182205	76,4	12,0	1100	
Ers 68	Erstaviken	0-2	68	591349	182337	83,6	14,4	1800	Oxiderad
Ers 68	Erstaviken	20-25		591349	182337	81,3	13,6	1000	
Ers 68	Erstaviken	65-70		591349	182337	75,4	12,1	1100	
Gäl 27	Gälnan	0-2	27	593130	184535	85,8	15,8	1300	Oxiderad
Gäl 27	Gälnan	50-55		593130	184535	74,8	12,3	1200	
Gäl D	Gälnan	0-2	27	593130	184535	87,7	16,4	2000	Oxiderad
Gäl D	Gälnan	28-30		593130	184535	78,2	13,1	1100	
Gäl D	Gälnan	38-40		593130	184535	75,6	12,9	1100	
Gäl Q	Gälnan	0-2	31	593150	184581	84,6	15,4	1100	Oxiderad
Gäl Q	Gälnan	0-2		593150	184581	88,3	16,6	1300	Oxiderad
Gäl Q	Gälnan	28-30		593150	184581	78,8	13,0	1000	
Gäl Q	Gälnan	38-40		593150	184581	79,4	13,2	1100	
Gäl Q	Gälnan	45-50		593150	184581	76,0	12,5	1000	
Gäl Q	Gälnan	48-50		593150	184581	78,1	12,8	1000	
Gäl Q	Gälnan	58-60		593150	184581	76,6	12,1	1100	
L Vä	Lilla Värtan	0-2	30	591998	181133	85,1	14,6	1600	Oxiderad
L Vä	Lilla Värtan	30-35		591998	181133	86,2	18,0	1200	
Möjs 105	Möja Söderfjärd	0-2	105	592231	185167	90,7	19,7	1300	Reducerad
Möjs 105	Möja Söderfjärd	50-55		592231	185167	80,8	16,0	1100	
Pil 43	Norrjärden	0-2	43	591109	184429	87,0	18,4	1300	
Pil 43	Norrjärden	45-50		591109	184429	70,5	10,7	950	
Pil A	Norrjärden	0-2	58	591132	184521	89,5	21,6	1200	Reducerad
Pil A	Norrjärden	0-2		591132	184521	91,3	22,7	1400	Reducerad

Provpunkt	Område	nivå	djup	latitud WGS 84	longitud WGS 84	Vatten- halt (%)	Glöd,- förlust (%)	Totalfosfor (µg/g TS)	Anmärkning sedimentyta
Pil A	Norrjärden	25-30		591132	184521	83,7	17,3	1100	
Pil A	Norrjärden	30-32		591132	184521	83,0	17,5	1100	
Pil A	Norrjärden	40-42		591132	184521	80,8	16,5	1100	
Pil A	Norrjärden	50-52		591132	184521	78,8	15,7	950	
Pil A	Norrjärden	60-62		591132	184521	76,8	14,1	1000	
Pil A	Norrjärden	60-65		591132	184521	77,1	14,1	1000	
Pil B	Norrjärden	0-2	47	591123	184482	88,1	20,5	1300	
Pil B	Norrjärden	25-30		591123	184482	83,5	16,8	1000	
Pil B	Norrjärden	55-60		591123	184482	75,0	14,3	990	
Sand 27	Sandemarsjärden	0-2	27	590684	182005	83,2	13,8	1000	
Sand 27	Sandemarsjärden	50-55		590684	182005	59,7	6,3	710	
Sand 31	Sandemarsjärden	0-2	31	590660	181931	86,8	15,0	1000	
Sand 31	Sandemarsjärden	50-55		590660	181931	71,8	9,3	1700	
Sol 47	Solöfjärden	0-2	47	592262	182654	83,5	12,9	2000	Oxiderad
Solö	Solöfjärden	50-55		592262	182654	78,4	10,7	1000	
S Vä	Stora Värtan	0-2	20	592464	180799	86,0	13,5	870	Reducerad
S Vä	Stora Värtan	38-32		592464	180799	84,6	12,3	830	
Wal	Strömmen	0-2	32	591907	180652	75,0	14,6	2300	Oxiderad
Wal 30	Strömmen	0-2	30	591914	180643	83,3	17,7	2200	
Wal 30	Strömmen	20-25		591914	180643	88,2	25,4	3000	
Tor	Torsbyfjärden	0-2	31	591937	182726	79,2	10,6	1300	Oxiderad
Tor 40	Torsbyfjärden	0-2	40	592156	162674	83,1	12,6	2400	Oxiderad
Tor 40	Torsbyfjärden	50-55		592156	162674	80,2	12,8	900	
Tor 50	Torsbyfjärden	0-2	50	592167	182707	86,3	13,6	4400	Oxiderad
Tor 50	Torsbyfjärden	30-35		592167	182707	80,7	10,0	820	
Tor 50	Torsbyfjärden	60-65		592167	182707	76,7	11,4	980	
Tor C	Torsbyfjärden	0-2	31	592040	182776	88,2	13,8	2800	Oxiderad
Tor C	Torsbyfjärden	28-30		592040	182776	84,7	13,6	980	
Tor C	Torsbyfjärden	38-40		592040	182776	78,0	9,4	700	
Tor C	Torsbyfjärden	48-50		592040	182776	76,8	9,3	810	
Tor C	Torsbyfjärden	58-60		592040	182776	71,4	9,3	980	
Tor P	Torsbyfjärden	0-2	52	592168	182704	87,6	15,8	5600	Oxiderad
Tor P	Torsbyfjärden	28-30		592168	182704	85,6	13,6	1000	
Tor P	Torsbyfjärden	38-40		592168	182704	81,4	12,8	1000	
Tor P	Torsbyfjärden	48-50		592168	182704	77,3	13,4	2200	
Tor P	Torsbyfjärden	58-60		592168	182704	78,9	11,9	1000	
Träl 60	Trälhavet	0-2	60	592636	182344	83,9	13,7	4900	Oxiderad
Träl 60	Trälhavet	60-65		592636	182344	73,9	12,5	1500	
Edö 27	Träsköfjärden	0-2	27	592756	184044	86,6	15,5	1300	
Edö 27	Träsköfjärden	25-30		592756	184044	74,3	11,8	970	
Edö 27	Träsköfjärden	55-60		592756	184044	78,5	12,4	930	
Edö 31	Träsköfjärden	0-2	31	592740	183893	87,0	15,4	1100	
Edö 31	Träsköfjärden	55-60		592740	183893	75,3	12,2	1000	
Edö C	Träsköfjärden	0-2	31	592738	1836906	88,1	13,8	1100	
Edö C	Träsköfjärden	38-40		592738	183691	78,5	10,7	980	
Edö A	Träsköfjärden	0-2	21	592897	184474	88,9	18,3	1100	

Provpunkt	Område	nivå	djup	latitud WGS 84	longitud WGS 84	Vatten- halt (%)	Glöd,- förlust (%)	Totalfosfor (µg/g TS)	Anmärkning sedimentyta
Edö A	Träsköfjärden	28-30				80,6	14,5	940	
Edö b	Träsköfjärden	0-2	27	592759	184040	86,9	16,4	1100	
Edö b	Träsköfjärden	28-30				79,7	13,4	1000	
Älg b	Älgöfjärden	0-2				86,9	17,0	1100	Reducerad
Älg b	Älgöfjärden	28-30				80,7	13,8	920	
Älg c	Älgöfjärden	0-2				87,3	16,2	970	Reducerad
Älg c	Älgöfjärden	28-30				81,8	14,7	830	
Älg 27	Älgöfjärden	0-2	27	592013	184016	89,5	18,0	1000	Reducerad
Älg 27	Älgöfjärden	50-55		592013	184016	78,1	13,7	980	
Ö sax 67	Östra saxarfjärden	0-2	67	592551	183239	88,6	13,4	1000	
Ö sax 67	Östra saxarfjärden	38-40		592551	183239	79,3	10,8	1000	
ÖSax	Östra saxarfjärden	0-2	57	592559	183138	84,0	14,9	1100	
ÖSax	Östra saxarfjärden	40-45		592559	183138	72,2	10,0	1100	
Näs D	Näslandsfjärden	0-3	20	590513	173943	80,9	54,7	1800	Oxiderad
Näs C	Näslandsfjärden	0-3	27	590495	174064	82,6	10,3	1300	Oxiderad
Näs A	Näslandsfjärden	0-3	39	590403	174086	82,7	9,3	850	Reducerad
Näs B	Näslandsfjärden	0-3	36	590379	174104	84,2	29,1	920	Reducerad
Him D	Himmerfjärden	0-1	30	590157	174470	82,8	9,7	1800	Oxiderad
Him B	Himmerfjärden	0-1	32	590021	174496	85,0	11,3	2800	Oxiderad
Him B	Himmerfjärden	22-24		590021	174496	66,0	8,0	930	
Him A	Himmerfjärden	0-3	43	585961	174336	74,8	8,5	1200	
Tvär 42	Tvären	0-3	42	584671	172614	62,0	5,1	600	T-botten
Tvär 5	Tvären	0-3	75	584664	172613	81,9	13,3	1100	Oxiderad
Tvär 3	Tvären	0-3	66	584604	172534	81,4	13,1	1100	Oxiderad
Stu B	Ringsöfjärden	0-1	20	584493	172403	85,9	16,4	2400	Oxiderad
Stu B	Ringsöfjärden	20-22		584493	172403	75,3	12,0	850	
Stu C	Ringsöfjärden	0-2	28	584443	172495	85,7	18,8	1200	Oxiderad
Stu C	Ringsöfjärden	23-25		584443	172495	78,6	14,7	950	
Stu A	Ringsöfjärden	0-3	25	584398	172534	83,4	13,9	960	Oxiderad
ap 1	Aspöfjärden	0-2	24	582556	165544	83,9	17,4	1300	Oxiderad
ap 1	Aspöfjärden	28-30		582556	165544	74,5	13,3	970	
Grop A	Gropviken	0-2	39	581913	164221	87,7	12,8	1100	Reducerad
Grop A	Gropviken	38-40		581913	164221	81,2	10,7	1000	
Grop b	Gropviken	0-2	30	581945	164263	85,8	15,0	1000	Reducerad
Grop b	Gropviken	38-40		581945	164263	77,4	12,5	900	
Grop C	Gropviken	0-2	25	582014	164061	84,8	12,5	2700	Oxiderad
Grop C	Gropviken	38-40		582014	164061	72,5	8,5	960	
Dalvä 45	Hesselöfjärden	0-2	45	581357	164951	87,1	17,0	2200	Oxiderad
Dalvä 45	Hesselöfjärden	38-40		581357	164951	80,8	13,3	1100	
Dalvä B	Hesselöfjärden	0-2	47	581397	165096	87,6	17,0	1400	Oxiderad
Dalvä B	Hesselöfjärden	38-40		581397	165096	78,0	12,0	1000	
hp 3	Hålfjärden	0-2	12	582121	165187	86,8	18,9	1400	Oxiderad
hp 3	Hålfjärden	28-30		582121	165187	79,3	17,2	1100	
hp 4	Hålfjärden	0-2	17	582037	165324	87,9	21,2	1400	Oxiderad
hp 4	Hålfjärden	28-30		582037	165324	79,0	18,3	1200	
kull e	Kullskärsdjupet	0-2	43	581566	165665	88,8	20,3	1500	Oxiderad

Provpunkt	Område	nivå	djup	latitud WGS 84	longitud WGS 84	Vatten- halt (%)	Glöd,- förlust (%)	Totalfosfor (µg/g TS)	Anmärkning sedimentyta
kull e	Kullskärsdjupet	38-40		581566	165665	81,5	17,5	1100	
kull g	Kullskärsdjupet	0-2	40	581498	165665	86,4	20,6	1300	Oxiderad
Kull H	Kullskärsdjupet	0-2	37	581449	165688	87,5	18,0	1300	
Kull H	Kullskärsdjupet	38-		581449	165688	77,3	13,1	1000	
kp 2	Kärrfjärden	0-2	18	582181	165468	89,9	21,3	1300	Oxiderad
kp 2	Kärrfjärden	28-30		582181	165468	78,5	16,6	1100	
kp 8	Kärrfjärden	0-2	20	582146	165623	89,8	20,9	1200	Oxiderad
kp 8	Kärrfjärden	28-30		582146	165623	78,9	16,3	1100	
kp 9	Kärrfjärden	0-2	20	582197	165770	88,1	20,6	1300	Oxiderad
kp 9	Kärrfjärden	28-30		582197	165770	79,6	17,3	1100	
Lind A	Lindersfjärden	0-2	27	581944	164620	82,9	15,3	2100	Oxiderad
Lind A	Lindersfjärden	28-30		581944	164620	73,9	14,0	1000	
lp 1	Lönshuvudfjärden	0-2	23	582499	165091	87,2	17,6	1100	Reducerad
lp 1	Lönshuvudfjärden	28-30		582499	165091	79,8	13,9	960	
lp 6	Lönshuvudfjärden	0-2	35	582720	165284	82,2	14,1	1300	Oxiderad
lp 7	Lönshuvudfjärden	0-2	33	582664	165203	82,6	16,7	1300	Oxiderad
lp 7	Lönshuvudfjärden	28-30		582664	165203	74,6	14,0	1100	
Bond	Orren	0-2	32	581500	165117	86,6	16,4	1400	Oxiderad
Bond	Orren	38-40		581500	165117	76,0	11,4	960	
Orr A	Orren	0-2	77	581464	164894	88,7	17,2	1300	Reducerad
Orr A	Orren	38-40		581464	164894	83,4	14,5	1100	
Orr B	Orren	0-2	60	581518	164651	87,5	16,5	1200	Reducerad
Orr B	Orren	38-40		581518	164651	81,9	13,2	1100	
Slät A	Slätbaken	0-2	23	582832	162933	84,0	12,4	1500	Oxiderad
Slät A	Slätbaken	38-40		582832	162933	76,0	10,2	970	
Slät b	Slätbaken	0-2	27	582781	162994	81,6	13,0	1400	Oxiderad
Slät b	Slätbaken	38-40		582781	162994	75,6	10,0	1200	
Slät d	Slätbaken	0-2	42	582717	163340	80,4	13,3	1200	Oxiderad
Slät d	Slätbaken	38-40		582717	163340	80,4	11,7	970	
tp 1	Trännöfjärden	0-2	20	582534	164194	85,3	13,9	1100	Oxiderad
tp 1	Trännöfjärden	28-30		582534	164194	78,4	11,1	920	
tp 6	Trännöfjärden	0-2	17	582223	164388	86,6	16,8	960	Reducerad
tp 6	Trännöfjärden	28-30		582223	164388	78,0	12,1	810	
tp 7	Trännöfjärden	0-2	13	582423	164530	82,0	13,8	1100	Oxiderad
tp 7	Trännöfjärden	28-30		582423	164530	75,7	12,2	910	