

# Undersökningar i Gårdsfjärden, Iggesund



**Per Jonsson**  
JP Sedimentkonsult HB  
Västernäsvägen 17, 130 40 Djurhamn  
[per@jpsedimentkonsult.se](mailto:per@jpsedimentkonsult.se)

# Förord

På uppdrag av ÅF IPK AB genomfördes den 8 september 2002 en kartering av bottarna i Gårdsfjärden utanför Iggesund.

I denna rapport redovisas resultat från karteringar med side scan sonar och sedimentekolod. Utbredning av olika bottentyper och bedömningar av hur stora områden som under 2002 hade ansträngda syrgasförhållanden vid bottarna presenteras.

Sedimentprovtagning genomfördes på 5 stationer. Tidsutvecklingen i bottarna beskrivs vad avser syresituationen och fastläggning av organiskt kol under de senaste decennierna.

Sollenkroka den 22 november 2002

Per Jonsson  
JP Sedimentkonsult HB

## Innehållsförteckning

Förord	
Bakgrund	3
Syfte	3
Resultat och diskussion	4
Bottendynamik	4
Historisk utveckling i Gårdsfjärdens sediment	6
Sedimentackumulationshastighet	9
Sammanfattande tillståndsbedömning	12
Referenser	13
APPENDIX 1 Allmän introduktion till Östersjöns sedimentförhållanden	
APPENDIX 2 Material och metoder	
APPENDIX 3 Fotografier på sedimentkärnor IGG 1 - 5	
APPENDIX 4 Beskrivning av sedimentkärnor	
APPENDIX 5 Analysdata	

# Bakgrund

I Appendix 1 ges en allmän introduktion till Östersjöns sedimentförhållanden.

I Appendix 2 redovisas material och metoder.

I Appendix 3 redovisas bilder på sedimentkärnorna IGG 1-5

I Appendix 4 redovisas beskrivning av sedimentkärnor

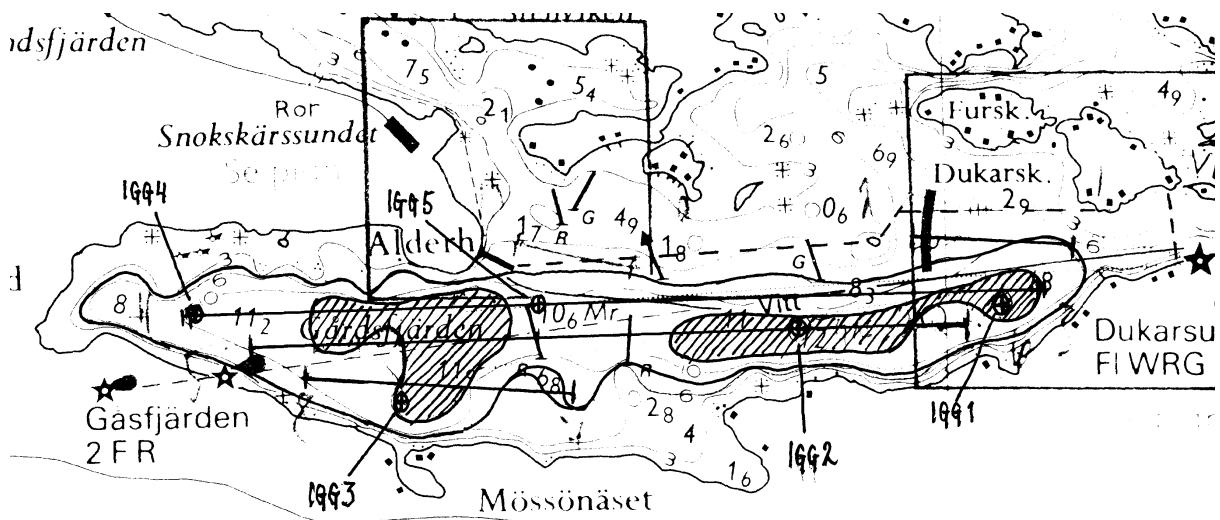
I Appendix 5 redovisas analysdata

# Syfte

Syftet med denna undersökning är att:

- översiktligt bestämma den areella utbredningen och djuputbredningen av olika botten typer (ackumulationsbottnar, erosions- och transportbottnar, bioturberade resp. laminerade sediment, gasrika bottenar),
- fastställa den historiska utvecklingen av laminerade sediment,
- genom varvräkning och radiocesiumdatering bestämma sedimentationshastigheten,
- bestämma halten organiskt kol (glödförlust), totalfosfor, och totalkväve i ytsedimenten från 3 proppar,
- utifrån ett sedimentologiskt perspektiv bedöma tillståndet i Gårdsfjärden i jämförelse med andra skärgårdsområden i Bottenhavet, specifikt om tillförseln av organiskt material är ett problem, om det går åt rätt håll i recipienten, jämföra med tidigare studier etc.
- förvara ytsediment för eventuella framtida kemiska analyser av exempelvis vedspecifika ämnen.

Fältarbetet utfördes den 8 september från undersökningsfartyget R/V Sunbeam. Kartering har skett längs 5 transekter med en sammanlagd längd av 8,2 km (Fig. 1).



Figur 1 Undersökningsområdet med inlagda begränsningslinjer. Helt dragen linje är yttre begränsningslinje för ackumulationsbottnar. Skuggat område indikerar gasrika sediment. Positioner för sedimentprovtagningsstationerna IGG 1-5 anges.

# Resultat och diskussion

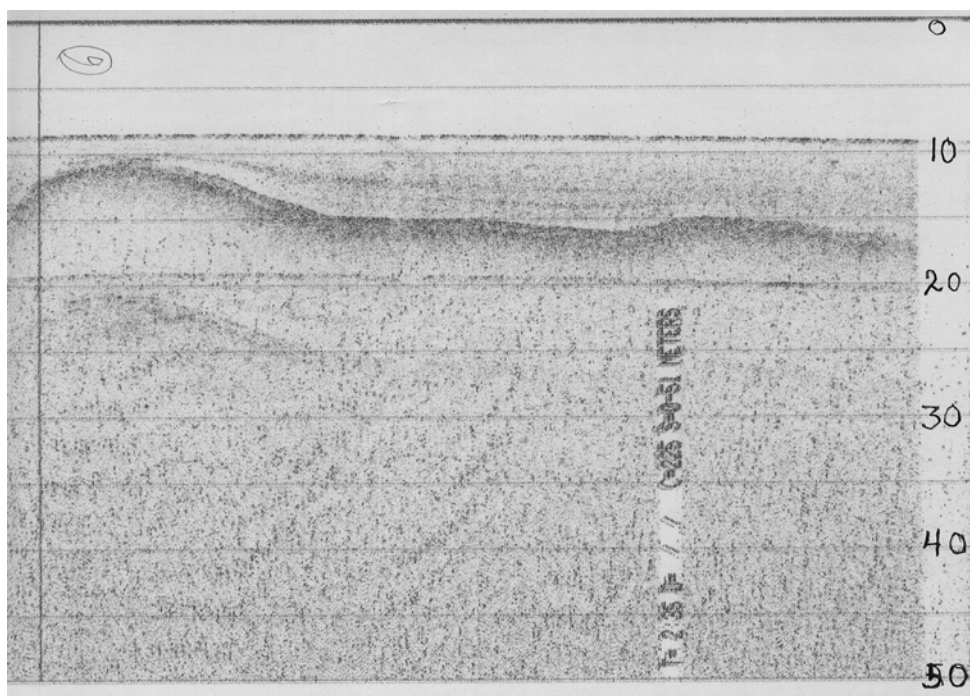
## Bottendynamik

Utifrån resultaten från karteringarna med sedimentekolod, side-scan sonar samt vanligt ekolod framställdes en bottendynamisk karta över undersökningsområdet (Fig. 1). På kartan har vi skiljt mellan ackumulationsbottnar och erosions-/transportbottnar och areor och andelar redovisas i Tabell 1. Andelen A-bottnar har beräknats till 56 %, varav 28 % täcks av gasrika sediment (Fig. 1). I områdets västra del går gränsen för A-bottnar sannolikt så grunt som vid 4-5 m. Djupet för A-bottengränsen ökar sakta mot öster och i det för strömmar utsatta Dukarsundet finns denna botten typ endast på djup större än 10 m.

Tabell 1. Arealer, andelar ackumulationsbottnar och gasrika sediment samt sedimentfokuseringsfaktor i den undersökta delen av Gårdsfjärden.

	Areal (km <sup>2</sup> )	Andel (% av vattenytans area)
Vattenytans area	2,55	100
Akkumulationsbottnar	1,43	56
Erosions- och transportbottnar	1,12	44
Gasrika sediment	0,40	16
Sedimentfokuseringsfaktor	1,8	

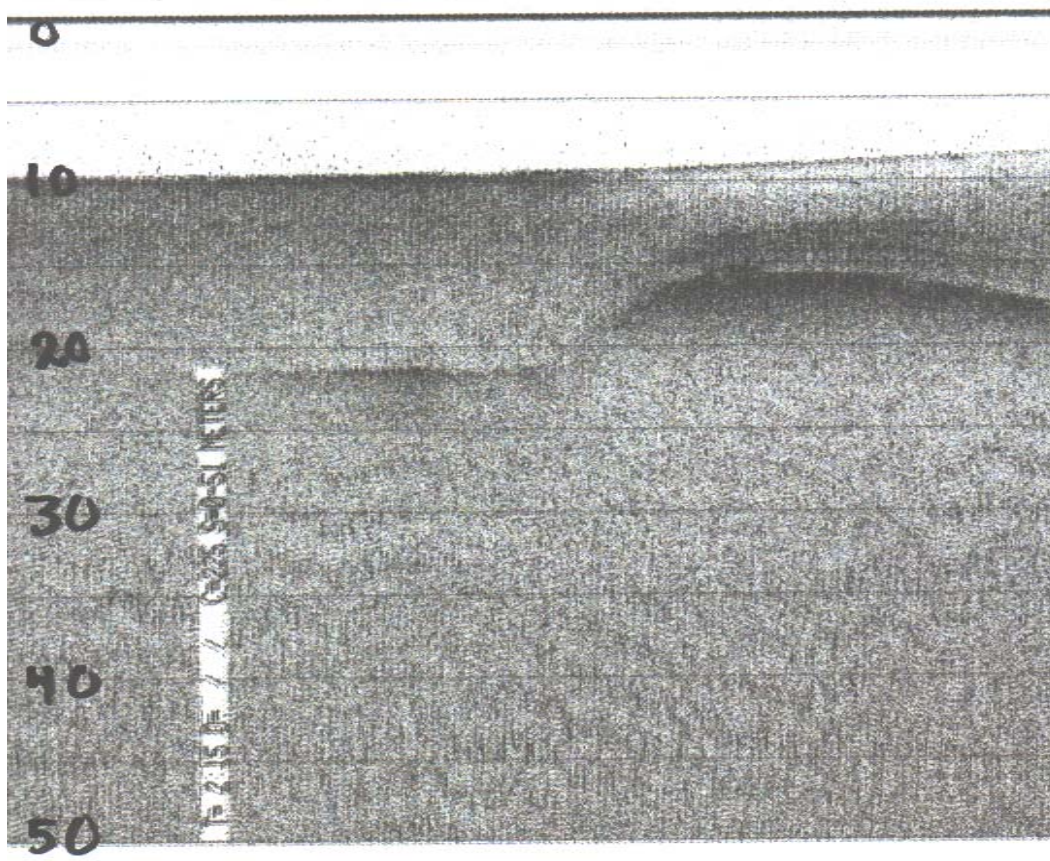
Det undersökta fjärdområdet karaktäriseras av förhållandevis jämn topografi. Det största djupet (18 m) finns i en begränsad djuphåla i områdets östra del strax innanför Dukarsundet. I övriga delar av undersökningsområdet upptar vattendjup på > 10 m ca 40 % av vattenarean. Tämligen mäktiga sedimentpackar finns på större vattendjup än ca 10 meter. Här finner man ofta glaciala och postglaciala sediment, som varierar från en eller annan meter till 10-15 m som mest.



Figur 2 Exempel på ekogram från sedimentekolod i Gårdsfjärden nära slutet på transekt 5-6. Djupet i meter under ekolodsfisken anges till höger i ekogrammet. Fisken bogserades på ca 3 meters djup.

I Figur 2 ges ett exempel på hur jämn bottenstrukturen oftast är, trots att undergrunden har en mer bruten topografi. Den största sedimentmäktigheten i Figur 2 är 7-8 meter, varav det senaste århundradets sediment utgör högst 0,5-1 meter.

I Figur 1 har även markerats områden med gasrika sediment. De gasrika sedimenten täcker ca 16 % av bottenarealen, vilket motsvarar knappt 30 % av A-bottenarean. Detta är en påtagligt högre andel än vad man vanligen finner i Östersjöns kustområden. Gasrika sediment återfinns ända upp till ca 10-11 m, vilket är bland det grundaste vi hittills har funnit i Östersjöns kustområden, där i dagsläget ett 60-tal fjärdområden har karterats med denna metodik (Jonsson Red., in press).



Figur 3 Ekogram från Gårdsfjärden nära punkt 5 på transekt 5-6. Gasrika sediment finns i den vänstra halvan av ekogrammet.

I Figur 3 visas hur gasrika sediment ger sig tillkänna på sedimentekolodet. Fartyget rörde sig från vänster till höger i diagrammet och den tillryggalagda sträckan längs x-axeln är ca 200 meter. Till en början syntes tydligt de glaciala och postglaciala sedimentstrukturerna med mäktigheter på åtskilliga meter. Ungefär i mitten av diagrammet blir ekot från ytsedimentet mycket kraftigare samtidigt som den kraftiga gasreflektorn i de ytliga sedimentlagren så småningom gör att inga signaler reflekteras från djupare sedimentlager. Som framgår av diagrammet har djupet ökat mindre än en meter från att strukturerna tydligt framgår tills att de är helt utsläckta.

Normalt brukar ytliga gasrika sediment även ses som mörkare områden på side scan sonarplotten, vilket dock inte var fallet i Gårdsfjärden. Orsaken till detta är att sannolikt att de gasrika sedimenten ligger en eller annan decimeter under sedimentytan, vilket inte registreras

av sonaren eftersom den höga frekvensen leder till att sonarsignalerna bara penetrerar några centimeter ned i sedimentet. Denna sedimentlagerföljd kan konstateras i de sedimentkärnor som tagits från olika delar av fjärden (se nedan). Gasrika ytliga sediment är oftast en indikation på ansträngda syrgasförhållanden på grund av en hög organisk belastning på bottenarna. Resultaten från den akustiska karteringen tyder således på att syrgassituationen genomgått en påtaglig förbättring på senare år.

## Historisk utveckling i Gårdsfjärdens sediment

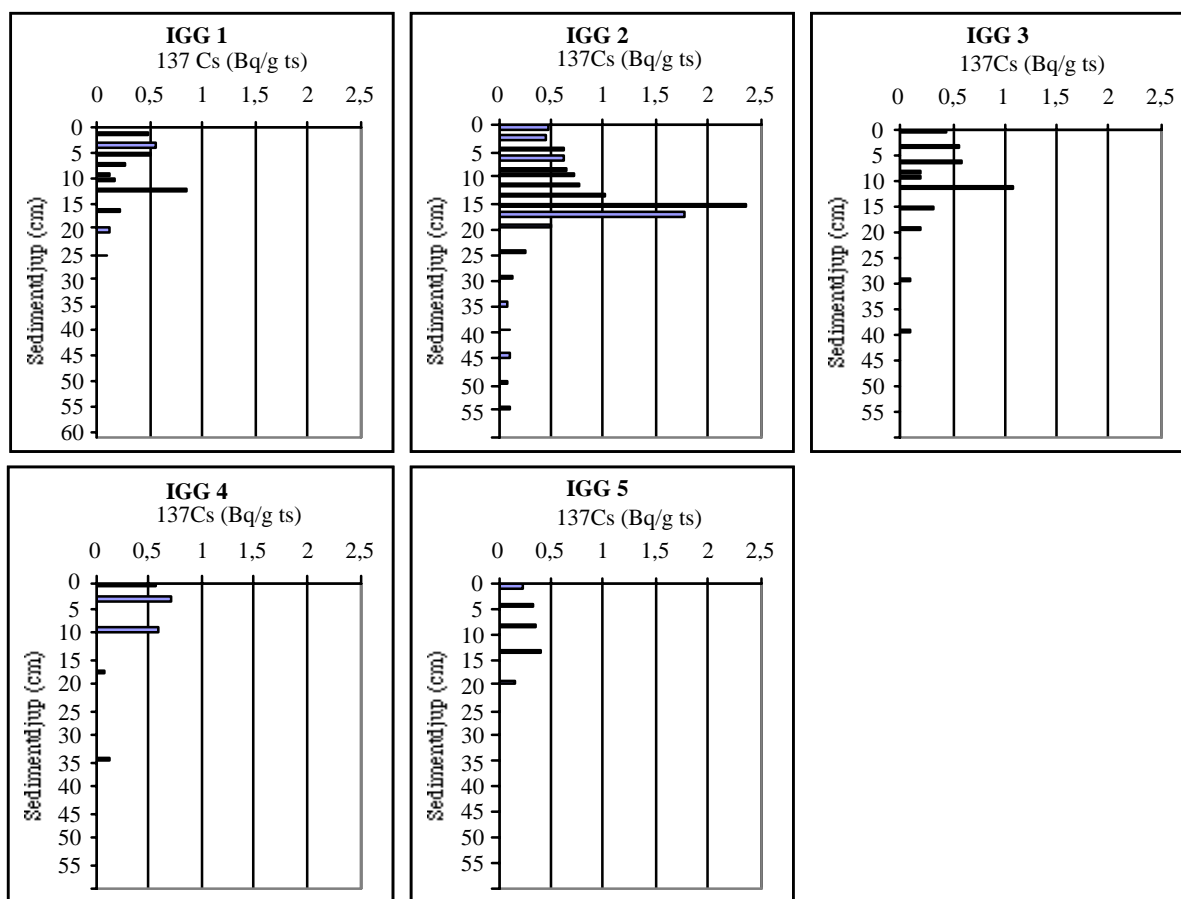
De fem sedimentkärnor som undersökts från Gårdsfjärden är samtliga tagna på 10-12 meters djup. Kärnorna från 12 m djup är tydligt laminerade (IGG1-3), medan IGG 4 och IGG 5 som tagits på 10 resp 11 m är mer diffust laminerade eller i stort sett saknar varvstrukturer. Samtliga kärnor kommer från goda ackumulationsbottenar och uppvisar en eller flera lednivåer som återkommer i de olika kärnorna (Appendix 3 och 4). Det mest karaktäristiska är ett mörkt skikt som återkommer i alla sedimentkärnorna på mellan 6-15 cm som grundast i IGG5 till 20-26,5 som djupast i IGG2. Ett ljus skikt, med högt inslag av lerpartiklar och låg vattenhalt återfinns ungefär på halva sedimentdjupet i alla kärnor utom IGG5.

Tabell 2 Karaktäristiska lednivåer i sedimentkärnor från Gårdsfjärden

Lednivå	IGG1	IGG2	IGG3	IGG4	IGG5
Ljust skikt	7,5-8,5	12-14	7,5-9,5	4-5	-
Mörkt skikt, ”skogsind.doft”	12,5-23	20-26,5	13,5-24	7,5-14	6-15

Samtliga 5 kärnor har daterats med  $^{137}\text{Cs}$  (figur 4). I kärnan IGG2 finns en mycket tydlig aktivitetsuppgång på 17-18 cm:s sedimentdjup (Appendix 34) indikerande 1986-1987, vilket stämmer väl överens med datering med varvräkning, förutsatt att det diffust laminerade avsnittet på 14-18 cm motsvarar ca 5 år.





Figur 4 Radiocesiumprofiler (<sup>137</sup>Cs) för de undersökta kärnorna i Gårdsfjärden.

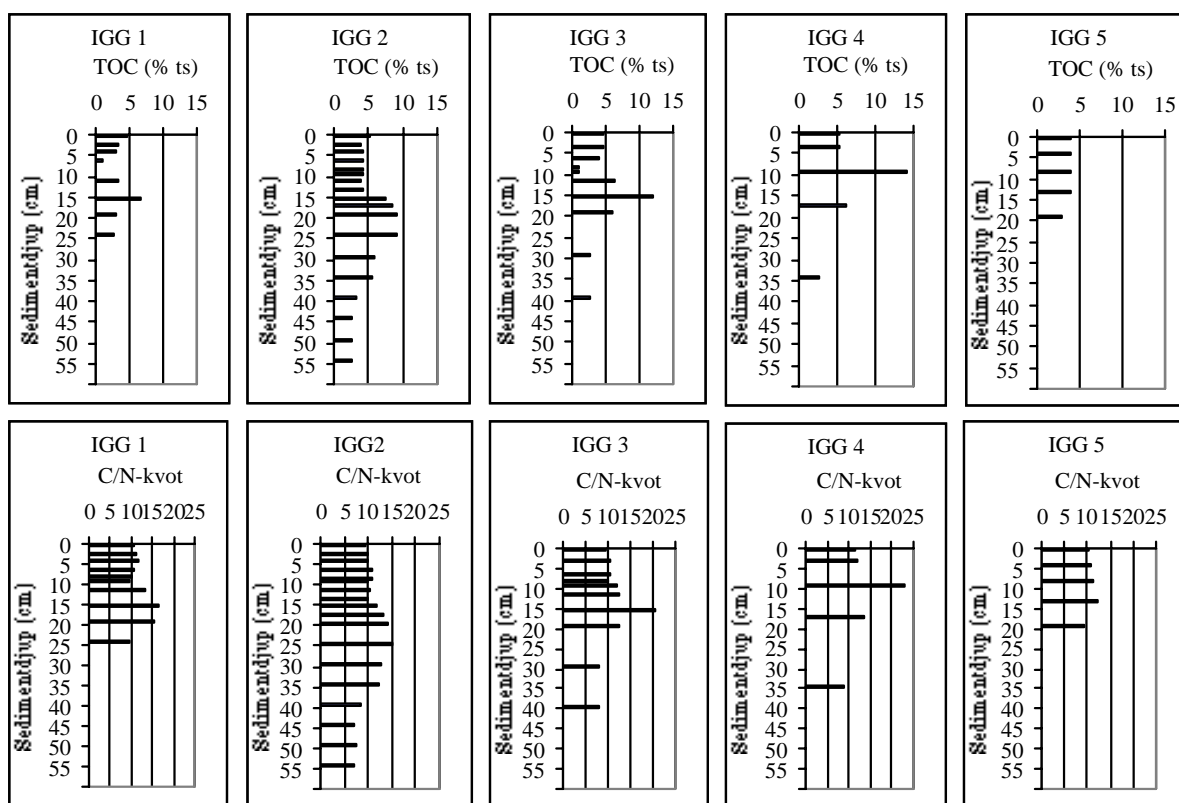
Radiocesiumprofilerna i IGG 1 och IGG 3 är mycket lika och visar påtagliga uppgångar från 15 cm och uppåt med markerade aktivitetsspicar på 11-12 cm sedimentdjup. Därefter sker en markant nedgång i skiktet med hög lerhalt och låg vattenhalt mellan 7 och 10 cm.

Varvräkning av kärnorna IGG 1-3 ger samstämmiga resultat som visar att lerskiktet är avsatt under perioden 1991-1994 med det mäktigaste skiktet gällande för år 1994.

Cesiumprofilerna för IGG 4 och 5 visar påtagliga uppgångar i de övre 8-13 cm, men inga tydliga picar erhöles som i övriga kärnor. Profilernas utseende indikerar visst mått av biotubation, vilket framgår av avsaknaden av varvighet i IGG 5, liksom den diffusa lamineringen i IGG 4.

Dateringen av lerskikten till perioden 1991-94 stämmer väl i tiden med muddringar som genomfördes i Dukarsundet just under denna period; 1991, 1992 och 1994. Det största ingreppet skedde 1994 då 240.000 m<sup>3</sup>, huvudsakligen lermaterial, muddrades bort i Dukarsundet (Bergerståhl, pers. medd.). Farleden fördjupades till 8,7 m. Detta är endast en fördjupning på 0,5 m, men leden gjordes avsevärt bredare (90 m) och i genomsnitt togs de övre 3,2 m bort i sundet. Muddringsarbetena har gjort tydliga avtryck i sedimenten i form av ovannämnda ljusa och lerhaltiga sedimentskikt.

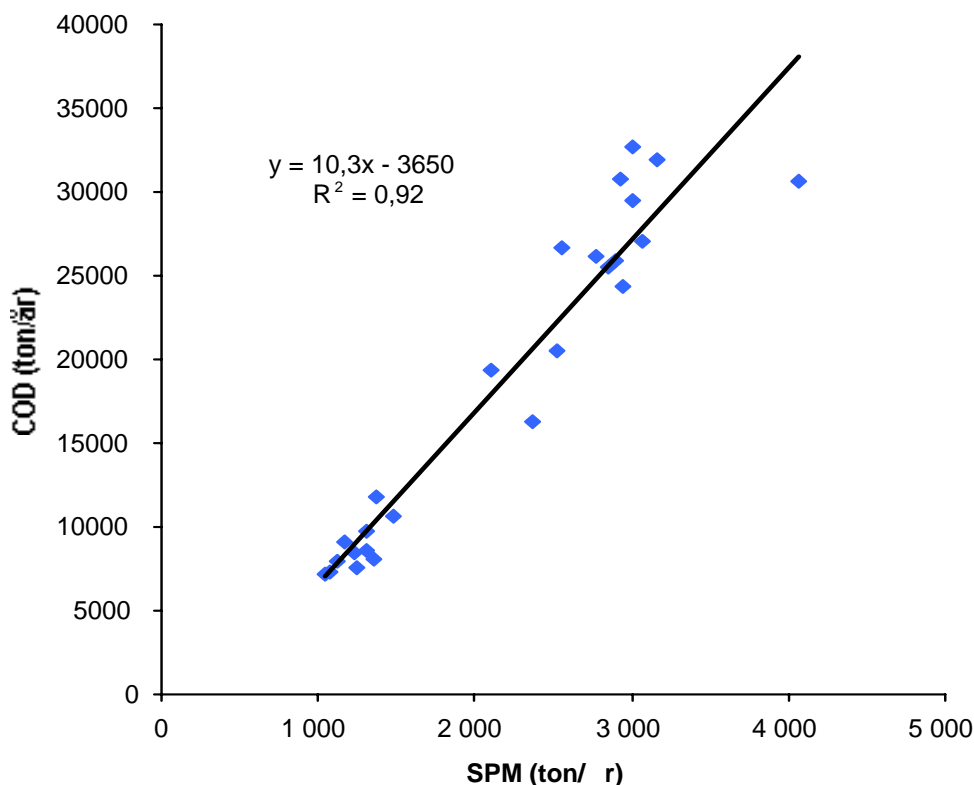
Utgående från varvräkning, radiocesiumdatering och datering av muddringsskiktet har tidsskalor kunnat appliceras på sedimentkärnorna IGG 1-3 (Appendix 3). Den övre delen på det mörka skiktet i IGG 2 motsvarar ungefär 1980, och sedimentackumuleringen vid denna tid är 3-5 mm/år i fjärdens ackumulationsbottnar.



Figur 5 TOC-halter och kol/kväve-kvoter i de undersökta kärnorna från Gårdsfjärden

TOC-halten har genomgått stora förändringar med tiden (Figur 5). I de djupaste bioturberade skikten är halten låg (2,5-3 % ts) men ökar successivt och når maximum i de mörka skikten vilket motsvarar tidsperioden 1965-1980. Under början av 1980-talet sker en snabb TOC-minskning och under perioden från slutet av 1980-talet fram till idag ligger TOC-halten stadigt kring 4 % i samtliga kärnor, vilket är normalt för Bottenhavets fjärdområden (Jonsson, in press). Detta är i runda tal 2 procentenheter lägre än i Stockholms skärgård.

Torrsubstanshalten visar en i det närmaste spegelvänd bild i förhållande till TOC med en markerad minskning i samband med ökande andel organiskt material fram till omkring 1980. Kol/kvävekquoterna har en likartad utveckling som TOC, vilket indikerar att det organiska materialet i sedimenten har en annan sammansättning under den högst belastade perioden under 1960- och 70-talen än under den mer opåverkade tiden i början av 1900-talet och tiden efter 1994.

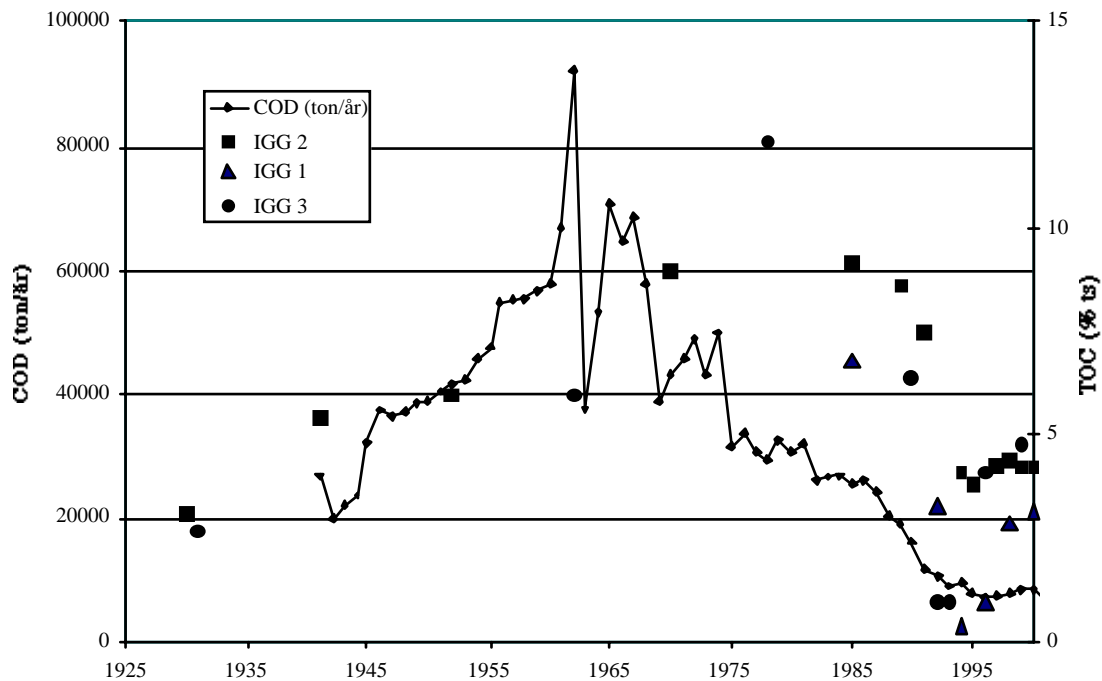


Figur 6 Samband mellan belastning av COD (Chemical Oxygen Demand) och SPM (Suspended Particulate Matter) i utsläpp från Iggesunds Bruk (Bergerståhl, pers.medd.).

Under perioden 1977-2002 har både SPM och COD mätts i utsläppen (Bergerståhl, pers.medd.), men dessförinnan endast SPM. Sambandet mellan SPM och COD är dock högt (Figur 6) och COD-utsläppen har därför kunnat beräknas utifrån denna regression tillbaka till 1941.

I Figur 7 har TOC-halterna i sedimenten satts i relation till utsläppshistoriken i form av COD-utsläpp från Iggesunds bruk. Kolhalten i sedimenten visar en likartad bild som COD-utsläppen, men med den skillnaden att sedimenthalterna når maximal-värden i runda tal 10 år efter utsläppsmaximum som inträffar i början av 1960-talet.

Om orsaken till den registrerade förskjutningen i tid kan för närvarande endast spekuleras. En tänkbar orsak till detta skulle kunna vara felaktig datering av sedimentkärnorna. Det skulle dock förutsätta att den i figuren använda ackumulationshastigheten på sediment skulle ha överskattats under perioden före 1986-87. Chernobyl-piken är som tidigare nämnts distinkt i IGG 1-3 varför datering med  $^{137}\text{Cs}$  kan anses säker. Utifrån nedanstående diskussion om sedimentackumulationshastigheten är det därför inte troligt att denna överskattats.



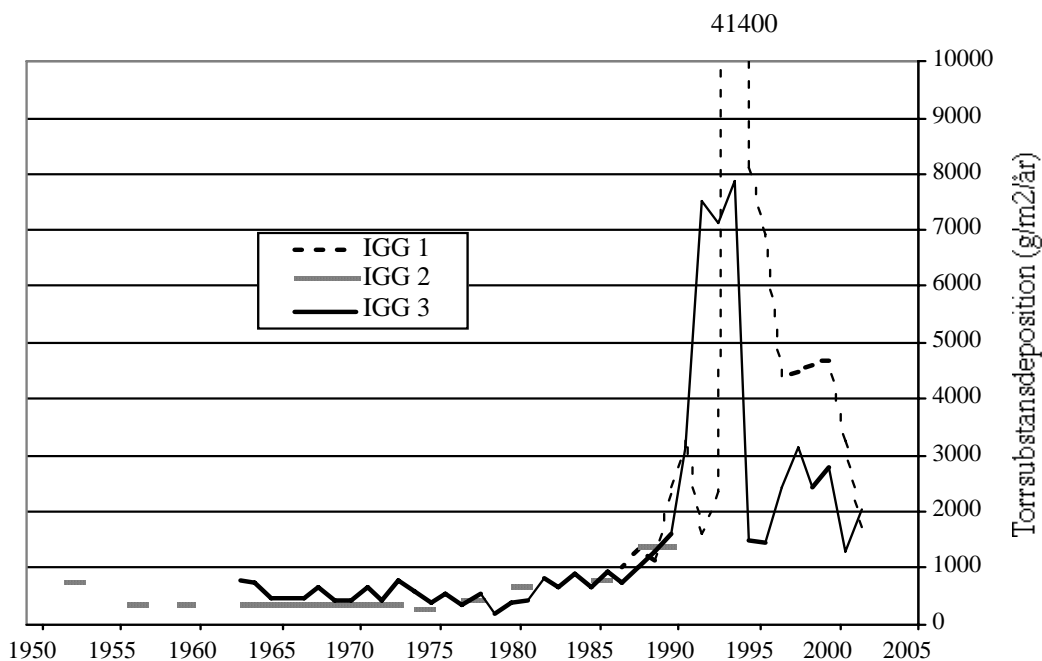
Figur 7 Utsläppshistorik av COD-utsläpp från Iggesunds bruk samt TOC-halter i daterade sedimentkärnor från Gårdsfjärden.

En annan tänkbar, men inte trolig, förklaring är att det inte finns någon koppling mellan COD-utsläpp och kolhalt i sedimenten. En liknande beräkning, där man relaterat BOD-utsläpp till andelen laminerade sedimentkärnor, har genomförts i Ångermanfjorden (Persson et al., 1999) på ett betydligt större sedimentunderlag (23 sedimentkärnor). Ett tydligt tidsmässigt samband registrerades mellan såväl TOC-halt som utbredningen av laminerade sediment i fjorden.

## Sedimentackumulationshastighet

Utifrån gjorda dateringar av de olika nivåerna i sedimentkärnorna har den historiska utvecklingen av sedimentackumulationen kunnat beskrivas (Figur 8). Det i särklass mest slående är att sedimentackumulationen har dramatiskt förändrats på senare år. Under 1980-talet, som kan anses representativt för tiden 1950-1990, var den genomsnittliga årliga sediment-ackumulationen (medel av IGG 1-3)  $1090 \text{ g m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ . Under perioden 1995-2001 hade den i det närmaste fyrdubblats till  $4000 \text{ g m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ . Inga signifikanta förändringar i material- och ämnestransporten i Delångersån har registrerats under denna tid.

Akkumulationshastigheten i Gårdsfjärden under 1980-talet var förhållandevis låg i jämförelse med medelvärdet för andra fjärdområden i Östersjön (Tabell 3). Emellertid finns många fjärdar med liknande och lägre sedimentackumulation vare sig den uttrycks per kvadratmeter ackumulationsbotten eller per kvadratmeter fjärdyta. Medelvärdet för perioden 1995-2001 hamnar dock i den absoluta toppen jämfört med andra fjärdar, och uttryckt per kvadratmeter fjärdyta har Gårdsfjärden den högsta sedimentackumulationen.



Figur 8 Torrsubstansdeposition i tre sedimentkärnor från Gårdsfjärden.

Det är anmärkningsvärt med en sådan skillnad i sedimentationshastighet inom sedimentkärnor. Ingenstans i de undersökta fjärdarna i Tabell 3 har så stora variationer noterats. Man vet att vattenutbytet i en fjärd till stor del bestäms av fjärdens topografiska öppenhet (Håkanson et al., 1984). Topografiska öppenheten, beskriver exponeringsgraden mot öppna havet eller mot omgivande kustområden, och definieras som kvoten mellan tvärsnittsarean och bottenarean. Denna har ändrats påtagligt i samband med muddringen av Dukarsundet 1991-1994, vilket har inneburit att tillförseln av resuspenderade partiklar till Gårdsfjärden från utanför liggande kustområden har kunnat öka. Å andra sidan har det ökade vattenutbytet sannolikt även medfört att partikeltransporten ut från fjärden kan ha ökat. Nettot av den förändrade utbytessituationen ligger utanför denna undersökning att beräkna.

En annan tänkbar orsak till den dramatiskt ökade sedimentationen i Gårdsfjärden kan kopplas till muddringsarbetena i Dukarsundet. En eroderad glacial- och/eller glacialera i kustzonen brukar normalt vara täckt av ett skyddande lager sand eller grus som till en betydande del skyddar mot snabb erosion av lermaterialet. I Dukarsundet, som muddrats endast för 8 år sedan, är det mycket möjligt att de vid muddringen blottlagda lerytorna i det strömutsatta sundet ger ifrån sig betydande mängder lerpartiklar, som sedan kan sedimentera inne i fjärden. Hur lång tid det tar innan ett skyddande sand/grus-skikt ånyo täcker bottenarna i Dukarsundet är inte möjligt att uppskattas för närvarande.

Nilsson (2001) gjorde omfattande studier av såväl vatten-, partikel- som föroreningsutbytet i Gårdsfjärden under perioden maj 1992 till juni 1993. Dessa mätningar har uppenbarligen skett under den mest ogynnsamma perioden under och strax efter muddringsarbetena i Dukarsundet, vilket med föreliggande sedimentundersökning som facit innebär att representativiteten för dessa mätningar starkt kan ifrågasättas. De kan under alla förhållanden inte anses vara representativa för perioden före 1991 då sedimentationsförhållandena i fjärden var radikalt annorlunda.

Tabell 3 Sedimentdata från Gårdsfjärden i relation till 43 andra fjärdar i Östersjön

Område/Fjärd	Andel A-bottnar (%)	Sediment- fokuserings- faktor	Sedimenttillväxt i ytseed. (0-5 cm) (mm/år)	ts-deposition (g m-2 år -1 A-botten)	ts-deposition (g m-2 år -1 fjärdyta)	koldeposition (g m-2 år -1 fjärdyta)	Antal kärnor (n)
<b>GÅRDSFJÄRDEN</b>							
1995-2001	56	1,8	12 (6-23)	4000	2200	130	3
1980-talet	56	1,8	4 (2-7)	1090	610	80	3
<b>ÖVRIGA ÖSTERSJÖN</b>							
<b>Bottenhavet</b>							
Ångermanfjorden	71	1,4	7 (5-34)	2500	1800	60	16
<b>Roslagen</b>							
N. Singöfjärden	48	2,1	27 (18-38)	4100	1950	120	4
S. Singöfjärden	15	6,7	30 (5-50)	2950	440	20	5
Norräljeviken	38	2,6	28 (5-50)	4190	1610	75	5
<b>Stockholm</b>							
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					
Nassafjärden	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
<b>Södermanland</b>							
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					
<b>S:t Anna/Gryt</b>							
Slätbaken	57	1,7					
Lönshuvudfjärden	29	3,5	8 (1-25)	1240	360	80	4
Aspöfjärden	32	3,2	4 (1-10)	850	270	60	4
Trännöfjärden	48	2,1	8 (4-30)	1770	840	100	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					
<b>ÖVRIGA ÖSTERSJÖN</b>							
<b>Medelvärde</b>	<b>43</b>	<b>2,6</b>	<b>17</b>	<b>2300</b>	<b>930</b>	<b>66</b>	
<b>Standardavv. (%)</b>	<b>31</b>	<b>44</b>	<b>51</b>	<b>50</b>	<b>61</b>	<b>46</b>	

# Sammanfattande tillståndsbedömning

Karteringsunderlaget är en god bas för att göra en bedömning av sedimentutbredning och sedimenthistorik i Gårdsfjärden. Den akustiska undersökningen visar att gasrika sediment finns en bit ned under sedimentytan. Kolhalten i sedimenten ökar successivt under 1900-talet och når en markerad topp (ca 9 %) under perioden 1965-1980, för att därefter snabbt sjunka till ca 4 % under slutet av 1980-talet och därefter ligga kvar på denna nivå. Såväl de akustiska undersökningarna som sedimentkärnestudierna indikerar klart förbättrade recipientförhållanden efter 1980, och dramatiskt bättre efter 1994. Situationen med laminerade sediment på så ringa vattendjup som 11-12 m tyder dock på att syrgassituationen i det botten nära vattnet fortfarande är ansträngd.

Laminerade sediment är ofta en indikation på utslagning av bottenfaunan till följd av ansträngda syrgasförhållanden i det botten nära skiktet. Det är dock viktigt att klargöra att även på laminerade botten kan det finnas botten djur. Om det finns tillräckligt med botten djur för att fullständigt blanda om det sedimenterade materialet uppstår ett homogent sediment utan synliga strukturer. Den andra extremen är att det inte finns några högre botten djur över huvudtaget. Då uppstår mycket tydligt laminerade sediment. Men om det finns en liten mängd botten djur kan dessa inte fullständigt blanda om vad som ”regnar ned” till botten från ovanför liggande vattenmassa, varvid diffust laminerade sediment uppstår. Är sedimentackumuleringen låg, som den normalt är ute i öppet hav, räcker det med en betydligt mindre mängd botten djur för att totalt blanda om sedimentet än inne i skärgården med en oftast mycket högre årlig sedimentackumulering (Jonsson, Red., in press). I extremfallet med mycket hög ackumulationshastighet kan inte ens ett tämligen normalt bottenfaunasamhälle hinna med att blanda om det senaste årets sedimenterade material, varför laminerade sediment kan uppstå även vid denna situation (Shaffner et al., 1992).

I Gårdsfjärden avsätts för närvarande tydligt laminerade sediment, årsvarven är tjocka och den årliga sedimentackumuleringen är mycket hög per kvadratmeter jämfört med övriga fjärdområden i Östersjön (Tabell 3). Även i av direktutsläpp opåverkade fjärdområden längs bottenhavskusten avsätts dock idag laminerade sediment (Meili et al., 1998, 2000), varför förekomsten av sådana sediment i Gårdsfjärden idag inte nödvändigtvis behöver vara orsakade av utsläpp av syrekrävande substans till Gårdsfjärden. Exempel på sådana fjärdar är Arnövikens norr om Hornslandet och Trödjefjärden mellan Norrsundet och Gävle. TOC-halterna i Gårdsfjärden ligger idag genomgående på ca 4 % i ytsedimenten, vilket är av samma storleksordning som i opåverkade fjärdsediment i Bottenhavet (Jonsson, opubl. material).

Den sammanfattande tillståndsbedömningen är således att Gårdsfjärdens sediment reflekterar en utveckling från normala biotuberade sediment vid det förra sekelskiftet fram till laminerade sediment vid millenieskiftet. Under tiden fram till början av 1960-talet förändrades sedimenten successivt till att bli laminerade i takt med att halten organiskt material ökade till i storleksordningen 3-5 gånger den för området normala. Efter mitten på 1980-talet har TOC-halterna börjat sjunka. Den stora förändringen inträffade efter muddringarna av Dukarsundet i början av 1990-talet, då sedimentationshastigheten fyrdubblades inne i Gårdsfjärden och TOC-halterna i sedimenten mer än halverades.

Den ökade öppenheten mot utanför liggande fjärdområden i kombination med blottlagda lerytor som en följd av muddringarna i Dukarsundet kan mycket väl ha förorsakat den registrerade ökade sedimentationen i Gårdsfjärden. De stora fysiska förändringarna i recipientmiljön gör det svårt att jämföra dagens belastningssituation med tidigare

förhållanden, men Gårdsfjärdens sedimentförhållanden idag avviker inte påtagligt från andra fjärdområden i Bottenhavets kustområden.

Som nämnts redan i inledningen har partikeltransport och sedimentation stor betydelse för miljöföroreningars omsättning i ett vattenområde, speciellt i en recipient som Gårdsfjärden. De genomförda muddringarna i Dukarsundet har således dramatiskt förändrat recipientförhållandena i fjärden, vilket sannolikt även lett till helt andra förutsättningar för spridning av utsläppta ämnen från Iggesunds bruk till omgivande kustområden.

## 6. Referenser

- Anderson, R.Y. and Dean, W., 1988. Lacustrine varve formation through time. *Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol.* 62:215-235.
- Axelsson, V., 1983. The use of X-ray radiographic methods in studying sedimentary properties and rates of sediment accumulation. *Hydrobiologia* 103, 65-69.
- Axelsson, V., 1987. Sedimentary structures and rates of sedimentation in some bays and basins of the western Baltic Sea. In: *Proceedings from The Baltic, Marine Geological Colloquium, Parainen, Finland, May 27-24, 1987.*
- Bergerståhl, Olle, Iggesunds Bruk AB, pers. medd
- Borg, H. and Jonsson, P., 1996. Large-scale Metal Distribution in Baltic Sea Sediments. *Marine Pollution Bulletin* 32:8-21.
- Cato, I., 1987. On the definitive connection of the Swedish time scale with the present. *Sver. Geol. Unders., Ser Ca nr 68.* Uppsala. 55 pp.
- Eckhäll, J., Jonsson, P., Meili, M. and Carman, R., 2000. Storm influence on the accumulation and lamination of sediments in deep areas of the northwestern Baltic proper. *Ambio* 29:238-245.
- Heikkilä, R., 1986. Recent sedimentation in the delta of the Kyrönjoki, western Finland. In: *Proceedings of the third Finnish-Swedish seminar on the Gulf of Bothnia. Publications of the Water Research Institute 68, Helsinki, Finland. p. 24-28.*
- Håkanson, L. and Jansson, M., 1983. *Principles of lake sedimentology.* Springer-Verlag, Berlin, 316 p.
- Håkanson, L., Kulinski, I. och Kvarnäs, H., 1984. Vattendynamik och bottedynamik i kustzonen. *SNV PM 1905, Solna, 228 sid.*
- Jonsson, P., Carman, R. and Wulff, F., 1990. Laminated sediments in the Baltic - A tool for evaluating nutrient mass balances. *Ambio* 19:152-158.
- Jonsson, P and Carman, R., 1994. Changes in deposition of organic matter and nutrients in the Baltic Sea during the twentieth century. *Mar. Poll. Bull.* 28:417-426.
- Jonsson, P. och Persson, J., 1996. Bottenförhållanden som eutrofieringsindikator i S:t Anna skärgård. *Länsstyrelsen i Östergötlands län, Rapport 1996:8, (Stencil), 63 sid.*
- Jonsson, P., 1992. Large-scale changes of contaminants in Baltic Sea sediments during the twentieth century. Doctoral thesis at Uppsala University. *Acta Univ. Ups., Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science 407.* Uppsala.
- Jonsson, P., 2000. Sediment burial of PCBs in the offshore Baltic Sea. *Ambio* 29:260-267.
- Jonsson, P., Eckhäll, J. and Larsson, P., 2000. PCB and DDT in laminated sediments from offshore and archipelago areas of the NW Baltic Sea. *Ambio* 29:268-276.
- Jonsson (Red.), in press. Skärgårdens bottenar – En sammanställning av sedimentundersökningar gjorda mellan 1992 och 1999 i skärgårdsområden längs den svenska ostkusten. *Naturvårdsverket, Stockholm.*
- Jonsson, Per, ITM, Stockholms universitet. Oublicerat material från fältundersökning i Bottniska viken 2002.



- Meili, M., Jonsson, P. and Holmberg, P., 1998. Investigation of sediments along the south-western coast of the Bothnian Sea: calibrated simulation of a dispersal of radionuclides from SFR. Phase 1: Sample collection and feasibility assessment, July-Nov. 1998. 14 p (mimeo).
- Meili, M., Jonsson, P., Lindström, M. and Holmberg, P., 2000. Accumulation of Chernobyl Cs-137 in coastal archipelagos of the Baltic Sea. In: Nielsen, S.P., The radiological exposure of the population of the European Community to radioactivity in the Baltic Sea. Marina-Balt project. Proceedings of a seminar held at Hasseludden Conference Centre, Stockholm, 9 to 11 June 1998. EUR 19200 EN, ISBN 92-828-7864-3, p 415-420.
- Morris, R. J., Niemi, Å., Niemistö, L. and Poutanen, E.-L., 1988. Sedimentary record of seasonal production and geochemical fluxes in a nearshore coastal embayment in the northern Baltic Sea. *Finn. Mar. Res.* No 256:77-94.
- Nilsson, Per., 2001. Turnover of chlorinated organic compounds and nutrients in an estuarine recipient for pulp and paper mill effluents. Ph D thesis, Umeå University, Sweden.
- Persson, J. and Jonsson, P. 2000. Historical development of laminated sediments - an approach to detect soft sediment ecosystem changes in the Baltic Sea. *Mar.Pollut. Bull.* 40, 122-134.
- Persson, J., Jonsson, P., Agås, P. och Sorelius, A., 1999. Laminerade bottnar i Ångermanfjorden – en effekt av organisk belastning. *Geovetenskapliga inst., Uppsala universitet*, 92 sid.
- Renberg, I., 1981. Formation, structure and visual appearance of iron-rich, varved lake sediments. *Verh. Int. Verein. Limnol.* 21, 94-101.
- Renberg, I., 1986. Photographic demonstration of the annual nature of a varve type common in N. Swedish lake sediments. *Hydrobiologia* 140:93-95.
- Schaffner, L., Jonsson, P., Diaz, R. J., Rosenberg, R., Blomquist, S. and Gapcynski, P., 1992. Benthic communities and bioturbation history of estuarine and coastal systems: Effects of hypoxia and anoxia. *Science of the Total Environment Suppl.* 1992, p 1001-1016.
- Wallin, M. and Öster, O., 1986. Sedimentologisk undersökning av några fjordar norr om Orust. *Uppsala universitet, Naturgeografiska inst., Uppsala*, 78 p.

# Allmän introduktion till Östersjöns sedimentförhållanden

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 (Håkanson and Jansson, 1983):

- **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 ( $> 0,006$  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 ackumulationsbottnar å den andra.

De flesta sedimentparametrar uppvisar samma mönster om man jämför de tre botten typerna: Låga halter i erosionsbottnar, höga halter i ackumulationsbottnar medan transportbottnar karaktäriseras av varierande halter (se t ex Håkanson and Jansson, 1983). 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 leryttja 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 ackumulationsbottnarna. Dessa bottnar innehåller även naturligt hög halt organiskt material. Högt halt av organiskt material kräver mycket syrgas vid nedbrytningsprocesserna vilket innebär att områden med stor andel ackumulationsbottnar är särskilt känsliga för extra belastning av syrgaskrävande organiskt material. Näring som ansamlas på bottnen 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 bottnen 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 ackumulationsbottnar. Vid ett stormtillfälle kan dock det tidigare ackumulerade materialet resuspenderas och förflyttas nedåt mot ackumulationsbottnarna.

## **Sedimenttyper i Östersjön**

### Bioturberade

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 årtidsskillnader i sedimentationen jämnas ut. Genom bioturbationen (dvs 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.

### Recent laminerade

Betydande arealer av egentliga Östersjöns ackumulationsbottnar har under de senaste decennierna övergått från att vara bioturberade till att där i dag avsätts laminerade sediment (dvs varviga sediment som avsätts där bottendjur saknas). Detta tycks ha inneburit stora effekter på sedimentens förmåga till fastläggning av såväl organiska miljögifter som metaller (Jonsson, 1992). 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 (Borg & Jonsson, 1996), vilket numera ofta råder i egentliga Östersjöns djupa bottennära 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.

## **Öppna Östersjön**

På i stort sett alla ackumulationsbottnar för finsediment belägna djupare än 75 m i öppna egentliga Östersjön avsätts laminerade sediment (Jonsson et al., 1990), som en följd av utslagning av bottenfaunan. Lamineringen, som av flera skäl anses vara årevisuell (Morris et al., 1988; Jonsson, 1992; Persson and Jonsson, 2000; Eckhéll et al., 2000), har utnyttjats för översiktlig beräkning av depositionen av torrsbstans, organiskt material och oorganiska närsalter (Jonsson et al., 1990; Jonsson och Carman, 1994; Persson and Jonsson, 2000; Eckhéll et al., 2000 ) samt klorerade ämnen och metaller (Jonsson, 1992; Jonsson, 2000; Jonsson et al., 2000).

Laminerade ytsediment är ett välkänt fenomen i sjöar (Anderson and Dean, 1988; Renberg, 1986), i Bottenvikens (Heikkilä, 1986) och Bottenhavets (Axelsson, 1983; Cato, 1987) kustområden, i Östersjöns (Morris et al., 1988, Jonsson et al., 1990) och Skagerraks (Wallin och Öster, 1986) kustområden liksom i dess öppna delar (Axelsson, 1987; Renberg, 1981; Jonsson et al., 1990).

Orsaken till bildningen av laminerade sediment har för svenska sjöar befunnits vara årstidsväxlingarna under ett år (Renberg, 1981). 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 bottendjuren och eventuella årstidsgenererade strukturer i sedimentet försvinner.

Under tiden efter den senaste nedisningen har denna typ av homogen lera eller lergyttja dominerat i alla Östersjöns delbassänger. I vissa områden och under vissa perioder har dock laminerade sediment bildats naturligt i Östersjöbäckenet. Ytan där denna sedimenttyp

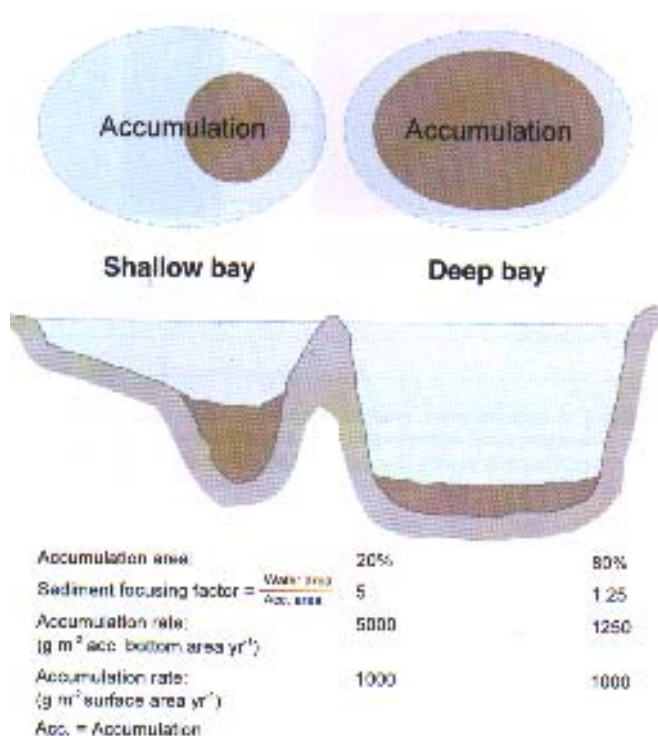
deponeras synes ha fyrdubblats sedan 1940-talet och täcker idag ca en tredjedel av egentliga Östersjöns botten (Jonsson et al., 1990).

### Kustzonen

Sedan 1992 har undersökningar av skärgårdsbotten genomförts vid Institutionen för geovetenskaper vid Uppsala universitet och Institutionen för Geologi och geokemi vid Stockholms universitet. De genomförda studierna som är under publicering i Naturvårdsverkets rapportserie (Jonsson, Ed., in press) 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<sup>-1</sup> med uppmätta extremvärden på 50 mm år<sup>-1</sup>. Detta innebär att sedimentationen vanligen är 5-10 gånger högre i skärgårdarna än i öppet hav.

### Sedimentfokusering

Det är inte möjligt att göra en jämförelse av fastläggning i sediment mellan två fjärdområden om inte hänsyn tas till sedimentfokusering, 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 ackumulering av fina (< 0,006 mm) partiklar sker, den s.k. ackumulationsbottenarean, bestäms, vilket kan ske med olika tekniker.



Figur 1 Principskiss för att illustrera begreppet sedimentfokusering (Källa: Jonsson et al., 2000).

I Gårdsfjärden har vi använt oss av en kombination av side scan sonar, sedimentekolod och sedimentprovtagning (se kapitlet Material och metoder). Principen för normalisering för sedimentfokusering illustreras i Figur 1 och går helt enkelt ut på att omräkna

sedimentackumulationen i ackumulationsområdena till att gälla för hela fjärddyten. I det illustrerade exemplet är sedimentackumulationen per kvadratmeter ackumulationsbotten mycket högre i den djupa fjärden jämfört med den grunda. Om hänsyn tas till fokuseringseffekten och sedimentackumulationen beräknas per kvadratmeter fjärddyta är det dock möjligt att göra jämförelser av sedimentfastläggningen. I det illustrerade exemplet är den totala sedimentackumulationen lika i de båda fjärdarna.

# Material och metoder

## Kartering

### Side-scan sonar

En "side-scan" (sidtittande) sonar använder ljudvågor för att registrera olika botten typer. Ordet sonar är en förkortning av "sound navigation and ranging". I en torpedliknande "fisk" som bogseras på några meters djup efter båten sitter två uppsättningar sändare/mottagare, som läser av babords respektive styrbords sida (vinkelrätt mot instrumentets färdriktning). Ljudvågor utsändes från sändaren i fisken och reflekteras mot botten. I fisken omvandlas dessa till elektriska impulser, som går till skrivaren ombord på båten, varvid en horisontell bild av botten erhålles. Parallellt med denna ritas en djupprofil, som visar fiskens vertikala läge. En hastighetsmätare stämmer av pappersmatningen med båtens hastighet, som i "grunda" skärgårdsvatten ej bör överstiga 4-5 knop. Starka reflektioner (hårda bottenar) avbildas mörkare på sonarremsan och svaga reflektioner (mjuka bottenar) avbildas ljusare. Sonarkarteringen ger en ytriktig "flygbild" över botten typsfördelningarna. I denna studie användes en EG & G Environmental Equipment Model 260 Image Correcting Side Scan Sonar med frekvensen 500 kHz och som fisk en 272-TD-Saf-T-Link Tow Fish. Svepvidden går att variera mellan 50-500 meter åt varje håll beroende på botten topografi och områdets djupförhållanden. I detta arbete användes 150 m.

### Sedimentekolod

Sedimentekolodet ger en kontinuerlig sedimentprofil rakt under givaren. Då instrumentet sänder ut lågfrekvent ljud, tränger det ned djupare än ett vanligt ekolod. Givaren till lodet är placerad i en torpedliknande fisk som bogserades på ett par meters djup efter båten. Genom att tolka svärtningen av ekogrammen kan eventuella lagerföljder översiktligt beskrivas och mjuka sediment kan skiljas från hårda. Utifrån dessa ekogram erhålls viss indikation på områden där syrgasbrist kan förekomma. Emellertid krävs verifierande sediment- och vattenprovtagningar för att kunna konstatera eventuella anoxiska bottenar. Ett sedimentekolod av modell O.R.E. Geopulser Pinger med frekvensen 14 kHz användes i denna studie.

### Ekolod

Ett ekolod av modell "Atlas monograf 58" användes kontinuerligt under provtagningen för att få en uppfattning om botten djupet och botten dynamiken.

Karteringen utfördes längs ett antal transekter, valda så att en god yttäckning erhöles (Figur 1).

## Sedimentprovtagning

### Gemini-hämtare

Gemini-hämtaren, som användes i denna studie 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 mjukbottenar, 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.

## Provtagning

Positionsbestämning av såväl transekter som provpunkter skedde med hjälp av DGPS (Differentiated Global Positioning System) och det exakta läget noterades tillsammans med djupuppgift från ekolod. Provtagningen skedde uteslutande med Geminiprovtagaren. Stor vikt lades vid att se till att sedimentytan var intakt, främst genom att konstatera förekomsten av klart vatten ovanför sedimentytan. Ett första intryck av sedimentkärnorna nedtecknades (oxiderat ytskikt, laminering etc).

Den ena av de två sedimentkärnorna från varje station snittades direkt ombord, varje cm ned till 10 cm, varannan mellan 10 och 20 cm, var femte ned till kärnans längd. Proven lades på plastburkar och förvarades i kylskåp i väntan på analys.

Den andra kärnan, som var avsedd för dokumentation, insattes omedelbart upprättstående i kylskåp ombord på undersökningsfartyget och förvarades i kylrum (+4°C) vid Geovetenskapliga inst., Uppsala, tills den tog ut för dokumentation.

## Dokumentation i laboratorium

För att kunna skjuta ut sedimentpropparna i oskadat skick ur röret frystes dessa i ca 2 timmar så att de blev hanterbara men ej genomfrysta (sedimentstrukturerna kan förstöras). Efter utskjutning av proppen klövs den på mitten och de båda propphalvorna placerades i två rännor. De två halvorna fotograferades med digitalkamera. Därefter beskrevs proppen noggrant med avseende på bl a laminering, varvantal, färg, struktur, förekomst av svavelväte och ”skogsindustriukt”. Diabilderna överfördes sedan till dator för vidare bildanalys.

## Datering

### Varvräkning

Åldersbestämningen av sedimenten bygger på att varje lamina antas representera ett års deposition (Jonsson et al., 1990). Flera av propparna från denna studie innehöll dock varv som har tolkats som finstrukturer inom ett och samma år.

### $^{137}\text{Cs}$

Ett användbart hjälpmedel för att datera sediment är att analysera  $^{137}\text{Cs}$ -aktiviteten i de olika varven.  $^{137}\text{Cs}$  började uppträda först efter atombombstesterna i atomsfären i början av 1960-talet (med toppar runt 1963-64). I sediment från sjöar och kustområden brukar dessutom Chernobylolyckan 1986 avspeglas tydligt som en markant (Meili et al., 1998ab). I denna studie analyserades fem av propparna (C, K, N, P, Y) med avseende på  $^{137}\text{Cs}$ .

## Analys

### Vattenhalt

Vattenhalten (W) bestämdes gravimetriskt efter frystorkning.

### Kol- och kvävehalt

För kol- och kväveanalyserna användes torkat material från vattenhaltbestämningen. Materialet mortlades och en liten provmängd (ca 5-9 mg) vägdes in i en tennkapsel. Invägningen genomfördes på en elektrobalsvåg av märket "Chanmodel 4700". Tennkapslarna placerades i analysapparaten "LECO CHNS-932" och materialet förbrändes för att frigöra ämnena som skall detekteras. Vid oxideringen läser en detektor av halterna och dessa erhålls som procent av torrvikten. C- och N-värdena användes sedan för att bestämma en kol/kvävekvot på atomviktsbasis.

### Cesium ( $^{137}\text{Cs}$ )

Sedimentprov från propparna C, K, N, P och Y överfördes till förvägda scintburkar med lock. Proven lades i frysbox under ett dygn varefter de placerades 3 dygn i en frystork. Efter vägning mortlades proven och provhöjden mättes. Därefter ställdes scintburkarna i en gammarräknare av modell Intertechnique 2000. Ett antal blankprov kördes under analysen för att korrigera för bakgrundstrålningen. Några lavprov med kända halter av  $^{137}\text{Cs}$  analyserades också. Resultaten från varje enskilt sedimentprov korrigerades även mot provets vikt och höjd.

## Depositionsbestämning

Varvtjockleken kan användas till att bestämma depositionshastigheten enligt följande:

$$v_d = Y * ds * r$$

där  $v_d$  = depositionshastighet ( $\text{g cm}^{-2} \text{år}^{-1}$ )  
 $Y$  = varvtjocklek (cm)  
 $ds$  = halt av torrs substans, dvs. 100-vattenhalten i %  
 $r$  = bulkdensitet ( $\text{g cm}^{-3} \text{ws}$ )

Bulkdensiteten är ett mått på densiteten hos det våta provet och kallas ibland också för våtdensiteten. Formeln för denna är, enligt Håkanson and Jansson (1983):

$$r = 100 * r_m / ( 100 + ( W + \text{LOI}_o ) ( r_m - 1 ) )$$

där  $r$  = bulkdensitet ( $\text{g cm}^{-3} \text{ws}$ )  
 $r_m$  = densiteten av oorganiska partiklar ( $\text{g cm}^{-3}$ )  
 $W$  = vattenhalt (% ws)  
 $\text{LOI}_o$  = glödgningsförlust (% ws)

För ovanstående formel krävs att  $r_m$ -värdet är känt. Sedimenten är till största delen uppbyggda av ler och silt med densiteter mellan 2,6-2,85  $\text{g cm}^{-3}$  enligt en sammanställning i Håkanson and Jansson (1983). Då  $r_m$ -värdet inte antas påverka  $r$ -värdet nämnbart i okonsoliderade (lösa) sediment med mer än 75 % vattenhalt, sätts  $r_m$ -värdet som regel till 2,6  $\text{g cm}^{-3}$ . Då vi inte analyserat LOI utan istället analyserat TOC har vi använt oss av kvoten 2 mellan LOI och TOC som tagits fram empiriskt på ett stort antal prover från Östersjöns sediment. Med hjälp av detta kan en enklare formel användas:

$$r = 260 / ( 100 + 1,60 ( W + \text{LOI}_o ) )$$



Då torrsbstanstdepositionen för varje år är känd kan man räkna ut den årliga depositionen av olika ämnen och få en uppfattning om deras variation i tid och rum.

## **Bottendynamiska kartor**

Utifrån resultaten från karteringarna med sedimentekolod, side-scan sonar, vanligt ekolod samt sedimentanalyserna framställdes en bottendynamisk karta över den undersökta delen Gårdsfjärden. På kartan har vi skiljt mellan två typer av bottenar, nämligen ackumulationsbottenar och erosions-/transportbottenar. Dessutom markerades områden med gasrika sediment.

# Fotografier på sedimentkärnor IGG 1 - 5

# Beskrivning av sedimentkärnor

(Positioner i RT90)

## IGG1

Lat 613729	Long 171023
Djup: 12 m	Kärnans längd: 26 cm
0-7,5	Allt fastare laminerad gröngrå lergyttja. 6 varv
7,5-8,5	Ljust skikt, nedåt allt mörkare. Fast konsistens; hög andel ler?
8,5-11,5	Mörkgrå fast lergyttja/gyttjelera
11,5-12,5	Fint laminerad lergyttja, 3-5 varv, nederst svart skikt
12,5-23	Diffust laminerad lergyttja, lösare än ovanförliggande skikt. Kraftig "skogsindustridoft".
23-26	Ljus, nedåt successivt mörkare, relativt fast lergyttja. Antydning till strukturer.

## IGG2

Lat 613725	Long 170939
Djup: 12 m	Kärnans längd: 52,5 cm
0-12	Olivgrön-svartgrå lös, successivt allt fastare lergyttja, 7 varv.
12-14	Grått skikt
14-20	Diffust laminerat, 5-7 varv
20-23	Mörkt laminerat, tunna varv 2-5 mm, 8-10 varv, "Skogsindustridoft".
23-26,5	Mörk relativt lös och kornig lergyttja utan synliga strukturer. "Skogsindustridoft"
26,5-30,5	Tydligt laminerad lergyttja. Vid 30-35 ett ljust skikt, 13 varv.
30,5-36	Mörk lergyttja, överst diffust laminerad.
36-52,5	Relativt ljus lergyttja utan synliga strukturer

## IGG3

Lat 613711	Long 170766
Djup: 12 m	Kärnans längd: 41 cm
0-7,5	Olivgrön, laminerad och allt fastare lergyttja, 5-6 varv
7,5-ca 10	Ljusgrå laminerad lergyttja, 3 varv
ca 10-11	Mörkt skikt
11-ca 13,5	Laminerad olivgrön lergyttja, nedåt allt mörkare, 3 varv
13,5-23 á 24	Mörk lergyttja, nedåt successivt något ljusare. Många finstrukturer 1-2 mm tjocka. "Skogsindustridoft".
23 á 24-41	Relativt ljus, nedåt allt mörkare lergyttja med diffusa varvstrukturer.

## IGG4

Lat 613728	Long 170672
Djup: 10 m	Kärnans längd: 51 cm
0-2	Olivgrön, lös, diffust laminerad lergyttja. Vid 2 cm mörkt skikt.
2-5	Diffust laminerad lergyttja, 8-10 varv.
5-7,5	Tämligen homogen, mörkt olivgrön lergyttja.
7,5-14	Mörk diffus laminerad lergyttja.
14-ca 20	Ljus lergyttja. Överst en del strukturer, underst relativt homogen.
ca 20-51	Homogen olivgrön lergyttja.

## IGG5

Lat 613729 Long 170823  
Djup: 11 m Kärnans längd: 22 cm  
0-6 à 7 Olivgrön, i ytan lös, successivt allt fastare lergyttja. Strukturlös.  
6 à 7-14 à 16 Mörkare lergyttja, här och där diffusa varvstrukturer  
14 à 16-22 Ljust olivgrön fast lergyttja

## APPENDIX 5 Analysdata

Kärna	Sedimentdjup (cm)	Vattenhalt (W) (% vs)	TOC (% ts)	N (% ts)	C/N- kvot	Cs-137 Bq/g ts
IGG 1	0,5	86,6	4,7	0,44	10,7	0,49
	2,5	71,8	3,2	0,29	11,0	0,57
	4,5	69,1	2,9	0,25	11,6	0,51
	6,5	47,4	1,0	0,09	10,8	0,24
	8,5	27,6	0,4	0,04	10,0	0,12
	9,5	31,7	0,5	0,05	9,5	0,16
	11,5	67,2	3,3	0,25	13,3	0,84
	15,5	77,5	6,8	0,41	16,7	0,20
	19,5	64,4	3,0	0,20	15,2	0,11
	24,5	62,7	2,6	0,27	9,6	0,09
IGG 2	0,5	91,2	5,2	0,55	9,4	0,47
	2,5	77,0	4,0	0,40	10,1	0,45
	4,5	75,1	4,2	0,43	10,0	0,62
	6,5	75,8	4,2	0,40	10,7	0,61
	8,5	74,8	4,4	0,41	10,7	0,65
	9,5	75,2	4,3	0,43	10,0	0,71
	11,5	73,8	3,8	0,37	10,3	0,79
	13,5	72,8	4,1	0,42	9,8	1,02
	15,5	79,7	7,5	0,63	12,0	2,35
	17,5	82,0	8,6	0,65	13,3	1,77
	19,5	81,5	9,2	0,64	14,4	0,50
	24,5	88,6	9,0	0,59	15,1	0,26
	29,5	78,5	6,0	0,46	12,9	0,13
	34,5	78,7	5,4	0,45	12,2	0,10
	39,5	70,2	3,1	0,37	8,3	0,11
	44,5	66,9	2,5	0,35	7,3	0,10
49,5	65,1	2,6	0,35	7,4	0,09	
54,5	63,6	2,6	0,35	7,3	0,11	
IGG 3	0,5	81,6	4,5	0,47	9,6	0,45
	3,5	78,5	4,8	0,45	10,6	0,56
	6,5	78,8	4,1	0,39	10,4	0,58
	8,5	41,9	1,0	0,10	10,0	0,21
	9,5	44,4	1,0	0,08	11,8	0,20
	11,5	76,6	6,4	0,52	12,3	1,09
	15,5	82,9	12,1	0,59	20,4	0,32
	19,5	77,5	6,0	0,48	12,4	0,19
	29,5	70,1	2,7	0,33	8,2	0,11
	39,5	63,3	2,5	0,31	8,0	0,10
IGG 4	0,5	79,8	5,2	0,45	11,4	0,56
	3,5	77,0	5,2	0,43	12,2	0,70
	9,5	84,0	14,2	0,62	23,1	0,60
	17,5	79,0	6,2	0,46	13,6	0,09
	34,5	66,0	2,5	0,28	8,9	0,13
IGG 5	0,5	73,6	4,0	0,39	10,3	0,24
	4,5	69,7	3,9	0,36	10,7	0,32
	8,5	68,6	4,0	0,35	11,5	0,36
	13,5	66,2	3,9	0,33	12,0	0,40
	19,5	64,0	3,0	0,33	9,1	0,16