

Sedimentkonsult HB

Spridning av föroreningar från Beckholmen - Sedimentundersökning i Stockholms hamn

Per Jonsson
JP Sedimentkonsult HB
Västernäsvägen 17, 130 40 Djurhamn
per@jpsedimentkonsult.se



INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	3
1 UPPDRAG OCH SYFTE.....	5
1.1 Beställare	5
1.2 Syfte	5
1.3 Undersökningsstrategi.....	5
1.4 Arbetsmoment	5
1.5 Rapportens uppläggning.....	6
2 OMRÅDESBESKRIVNING	7
2.1 Allmänt.....	7
2.2 Områdets bottendynamik	7
3 UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR.....	9
3.1 Sedimentprovtagning	9
4 SEDIMENTFÖRHÅLLANDEN	10
4.1 Torrsubstanshalt och organisk halt.....	10
4.2 Torrsubstansdeposition	11
4.3 Sedimenttillväxt	12
4.4 Olika deposition i olika delar av undersökningsområdet.....	17
4.5 Historisk sedimentutveckling.....	18
5 FÖRORENINGSHALTER	21
5.1 Tidigare studier av föroreningssituationen.....	21
5.2 Bedömningsgrunder	25
5.3 Metaller	25
5.4 Organiska föroreningar	30
5.4.1 Polyaromatiska kolväten – PAH	30
5.4.2 Alifater	34
5.4.3 Organiska tennföreningar.....	36
6 DEPOSITION AV FÖRORENINGAR I SEDIMENT.....	38
6.1 Värdering av insamlade sedimentdata	38
6.2 Tillförsel från kommunala reningsverk.....	39
6.3 Tillförsel från Mälaren	40
6.4 Tillförsel från Beckholmen	40
REFERENSER.....	44
APPENDIX 1 Allmän introduktion till skärgårdens sedimentförhållanden	
APPENDIX 2 Material och metoder	
APPENDIX 3 Analysdata för sediment.	
APPENDIX 4 Analysdata för datering av sedimentkärnor	
APPENDIX 5 Dateringskalkyl för sedimentkärnor	
APPENDIX 6 Bilder på sedimentkärnor och sedimentprov	
APPENDIX 7 Positioner (WGS-84), djup och fältnoteringar för provtagningsstationer	

SAMMANFATTNING

JP Sedimentkonsult har på uppdrag av Kungliga Djurgårdens Förvaltning genomfört undersökningar av sedimenten i närheten av Beckholmen och i Saltsjön, södra Lilla Värtan, Riddarfjärden och Djurgårdsbrunnsviken. Syftet med undersökningen har varit att:

- i tid och rum bestämma influensområdets storlek för föroreningar som läcker ut och har läckt ut från Beckholmen.
- geografiskt urskilja vilka föroreningskällor som finns i fjärdområdet

Sedimentprovtagning genomfördes på sammanlagt 49 stationer med R/V Sunbeam och R/V Perca i oktober/november 2009. 37 av dessa har karaktäriserats som goda ackumulationsbottnar för finsediment. Övriga 12 har ansetts vara erosions- eller transportbottnar och har inte använts för att beräkna fastläggning av föroreningar i sedimenten. Genom att datera sedimentkärnorna med dels räkning av årsvarv, dels radiocesumanalys, har depositionen av torrsubstans kunnat bestämmas i var och en av dessa 37 ackumulationsbottnar och den totala depositionen av torrsubstans och föroreningar har kunnat beräknas.

Halterna av ”föroreningsmetaller” i undersökningsområdet är generellt sett höga och i förhållande till Naturvårdsverkets Bedömningsgrunder för miljö kvalitet, Kust och hav, Rapport 4914, hamnar alla ”sulfidmetaller” (kadmium, koppar, kvicksilver, bly och zink) samt krom i klass 4, stor avvikelse, eller klass 5, mycket stor avvikelse.

Mycket tydliga haltförhöjningar erhålles in emot Beckholmen för, i rangordning, kvicksilver (6-7 ggr), kadmium (5-6 ggr), koppar (4 ggr), zink (3 ggr) och bly (2,5-3 ggr). Mönstren är mycket likartade och haltförhöjningarna är påtagliga ut till 0,5-1 km från Beckholmen, där halterna planar ut och når lokala bakgrunds nivåer som även de är mycket förhöjda i förhållande till normal bakgrunds nivå i området.

Halterna av sPAH11 är mycket höga i hela området och överstiger i alla provtagningspunkter 2500 µg/kg TS, som är gränsen mellan klass 4 och 5 i Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för kust och hav, med god marginal. Tillståndet är således att klassificera som mycket dåligt vad gäller polyaromatiska kolväten i hela undersökningsområdet. Det är också mycket tydligt att Beckholmen är den mest betydande källan i området med kraftigt ökande halter i gradienter in mot Beckholmen från alla håll. Fördelnings bilden är mycket likartad för alla kombinationer av summor på polyaromatiska kolväten

De alifatiska kolvätena har ett annat distributionsmönster än såväl sulfidmetaller som PAH-er. En förhållandevis tydlig gradient kan iakttas från Blockhusudden in mot Saltsjön och Strömmen beträffande de tyngre alifaterna C16-C35. Fördelningen ger dock snarare intrycket av att det är fråga om en allmän förorening i ett hamnområde än ett läckage från Beckholmen. Såväl höga som låga halter återfinns i Beckholmens närhet, vilket förstärker slutsatsen att Beckholmen inte utgör någon dominerande källa vad gäller alifatiska kolväten.

Halterna av TBT är inte anmärkningsvärt höga i jämförelse med vad man finner i många andra hamnområden och marinor längs den svenska kusten. En antydning finns till gradient in emot Beckholmen. Avståndet är dock kort och halterna är inte i närheten av de höga halter som redovisats för andra hamnområden av liknande storlek.

Den uppskattade lokala bakgrunds nivå av föroreningar har sammanställts och totaldeposition och mängd föroreningar som säkert härrör från Beckholmen har beräknats. Eftersom ingen annan påtaglig föroreningskälla har kunnat detekteras genom haltförhöjningar i undersökningsområdet antas överdepositionen helt bero på utläckage från Beckholmen. Anledningen till att man kan uttrycka tillförseln från Beckholmen som "Mängd som säkert härrör från Beckholmen" är att den

lokala bakgrunden snarare överskattats än underskattats. Vidare har beräkningen grundats enbart på den överdeposition av föroreningar som har beräknats i Beckholmens omedelbara närhet. Sannolikheten är stor att det relativa bidraget är större eftersom vi i denna beräkning inte inkluderat föroreningar som transporterats längre bort från Beckholmen och som har lett till en i ett lokalt/regionalt perspektiv ökad bakgrundshalt i området.

En jämförelse mellan den beräknade tillförseln från de kommunala reningsverken och tillförseln från Beckholmen visar att för alla de studerade föroreningarna dominerar tillförseln från Beckholmen stort utom för zink, där tillförseln från reningsverken är av storleksordningen hälften av tillförseln som säkert härrör från Beckholmen. För övriga metaller dominerar tillförseln från Beckholmen med en faktor 210 för bly, 57 för kvicksilver, 24 för kadmium och koppar med en faktor 6. Tillförseln av polyaromatiska kolväten är inte direkt jämförbar, eftersom olika kongener ingår i sPAH. I närheten av Beckholmen utgör sPAH4 25-50 % av sPAH16. Detta innebär dock att tillförseln av dessa PAH-er är minst en faktor 10 högre från Beckholmen än från reningsverken.

Sammanfattande slutsatser:

Beckholmen bidrar med minst 25-30 % av områdets metallförorening vad gäller kvicksilver, kadmium, koppar, zink och bly. och med minst 40 % av områdets sPAH16-förorening. Alifaterna kommer dock huvudsakligen från diffus förorening av undersökningsområdet.

Slutsatserna bygger på säkert uppmätta gradienter inemot Beckholmen från ungefär en kilometers avstånd. Normalt deponeras endast en liten del av ett föroreningsutsläpp i sedimenten inom en kilometers radie från ett utsläpp. De troliga tillskotten från Beckholmen är därför sannolikt avsevärt större, dvs. Beckholmen bidrar med stor sannolikhet till förhöjda bakgrundshalter i ett större område.

1 UPPDRAG OCH SYFTE

1.1 Beställare

Kungliga Djurgårdens Förvaltning
Box 27138
102 52 Stockholm

1.2 Syfte

Syftet med undersökningen är att:

- i tid och rum bestämma influensområdets storlek för föroreningar som läcker ut och har läckt ut från Beckholmen.
- geografiskt urskilja vilka föroreningskällor som finns i fjärdområdet
- bedöma läckage från Beckholmen som tillförs sedimenten

1.3 Undersökningsstrategi

Undersökningarna har lagts upp för att ge en så täckande belysning som möjligt av vilka föroreningar som läcker ut från Beckholmen och hur stort detta läckage är idag. Inom det aktuella området finns dels en lokal/regional bakgrundsbelastning av föroreningar, dels föroreningar som bedöms läcka ut från Beckholmen. Den lokala/regionala bakgrundsbelastningen gör att sedimenten har en viss föroreningshalt, som tidigare undersökningar (Östlund et al. 1998; Anon. 2002; Anon. 2005) indikerat är betydande. Denna bakgrundsbelastning överlagras sedan av de punktkällor som finns i Beckholmenområdet.

Undersökningarna av sedimenten har inriktats i första hand på att spåra påverkan av föroreningar i de ytliga sedimenten, d.v.s. dagens påverkan. Strategin har sålunda varit att provta ytliga sediment längs transekter inom undersökningsområdet med utgångspunkt från Beckholmen. Genom att om möjligt på varje station även ta sedimentkärnor och datera dem antingen med varvräkning eller Cs-137 är det möjligt att i varje enskild provtagningspunkt beräkna den totala årliga sedimentackumulationen. Utifrån specifika analyser av föroreningar som kan misstänkas härröra från Beckholmen kan sedan den totala depositionen av föroreningar i undersökningsområdet beräknas. I de fall där tydliga gradienter erhålles in emot Beckholmen kan det relativa bidraget från Beckholmen beräknas som en överdeposition i förhållande till den lokala/regionala bakgrunden av olika föroreningar.

1.4 Arbetsmoment

För att relatera erhållna resultat till omgivningen har vi inlett studien med att fastställa utbredningen av olika botten typer, erosions- och transportbottnar (E/T-bottnar), ackumulationsbottnar (A-bottnar), laminerade sediment och gasrika bottnar i fjärdområdet.

Utifrån karteringsresultaten har vi bestämt sedimentackumulationshastigheten i området. Med detta som grund har massberäkningar av områdets sediment kunnat genomföras. Den årliga depositionen av föroreningar i fjärdområdet har översiktligt beräknats. Utifrån gradientstudier har beräkningar genomförts av hur mycket av den totala depositionen i undersökningsområdet som härrör från Beckholmen

Då endast begränsade data om föroreningsmönster och spridningsrisker i dagsläget finns att tillgå för en riskklassning av sedimenten runt Beckholmen har sedimentundersökningarna genomförts för att ligga som grund för en samlad riskbedömning. Riskbedömningen genomförs av Kemakta Konsult AB.

Arbetet har omfattat följande moment:

- Genomgång och utvärdering av befintligt karteringsunderlag i form av side scan sonar-plott och sedimentekolodsp profiler för upplägg av sedimentprovtagning
- Fältprovtagning av sediment
- Delrapportering
- Möten
- Slutrapportering

1.5 Rapportens uppläggning

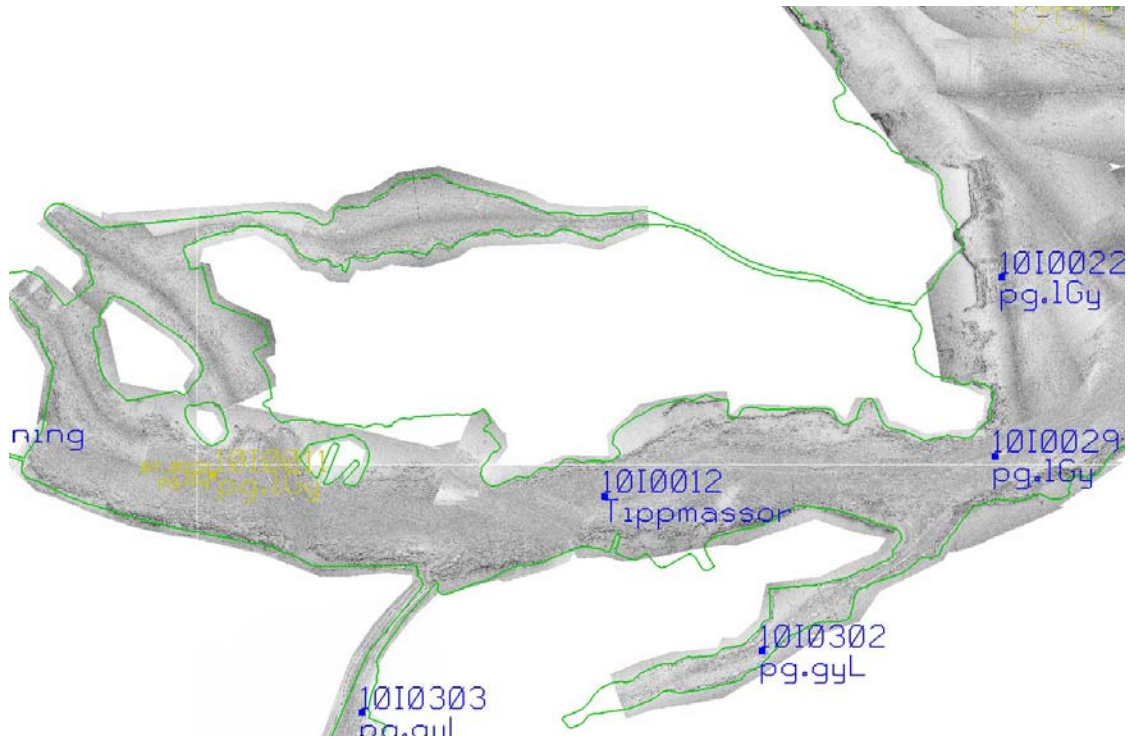
För att så klart och logiskt som möjligt redovisa för hur studien planerats och genomförts har rapporten disponeras på följande sätt:

- Områdesbeskrivning och områdets bottendynamik
- Sedimentprovtagning
- Erhållna resultat som rör sedimentens sammansättning och struktur
- Datering och sedimentackumulation
- Historisk sedimentutveckling
- Halter av föroreningar
- Sedimentackumulation av föroreningar
- Beckholmens bidrag till föroreningssituationen
- Slutsatser

I appendix återfinns följande

- Allmän introduktion till sedimenten i Stockholms skärgård
- Undersökningsmetodik
- Analysresultat
- Dateringskalkyl för sedimentkärnor
- Fotografier på sediment
- Positioner och djup för provtagningsstationer

Detta underlag i form av främst plott från side scan sonar (Fig. 2) har använts för att lägga upp sedimentprovtagningsprogrammet. Sonarkarteringen ger en ytriiktig "flygbild" över bottenfördelningarna. Starka reflektorer, som vanligen indikerar hårda bottenar, avbildas mörkare på sonarremsan och svaga reflektioner, normalt mjuka bottenar, avbildas ljusare. Huvuddelen av ackumulationsbottenarna i Saltsjön utgörs av gasrika sediment, vilket är orsaken till den förhållandevis mörka tonen även på de bottenar som bedömts utgöras av recenta sediment.

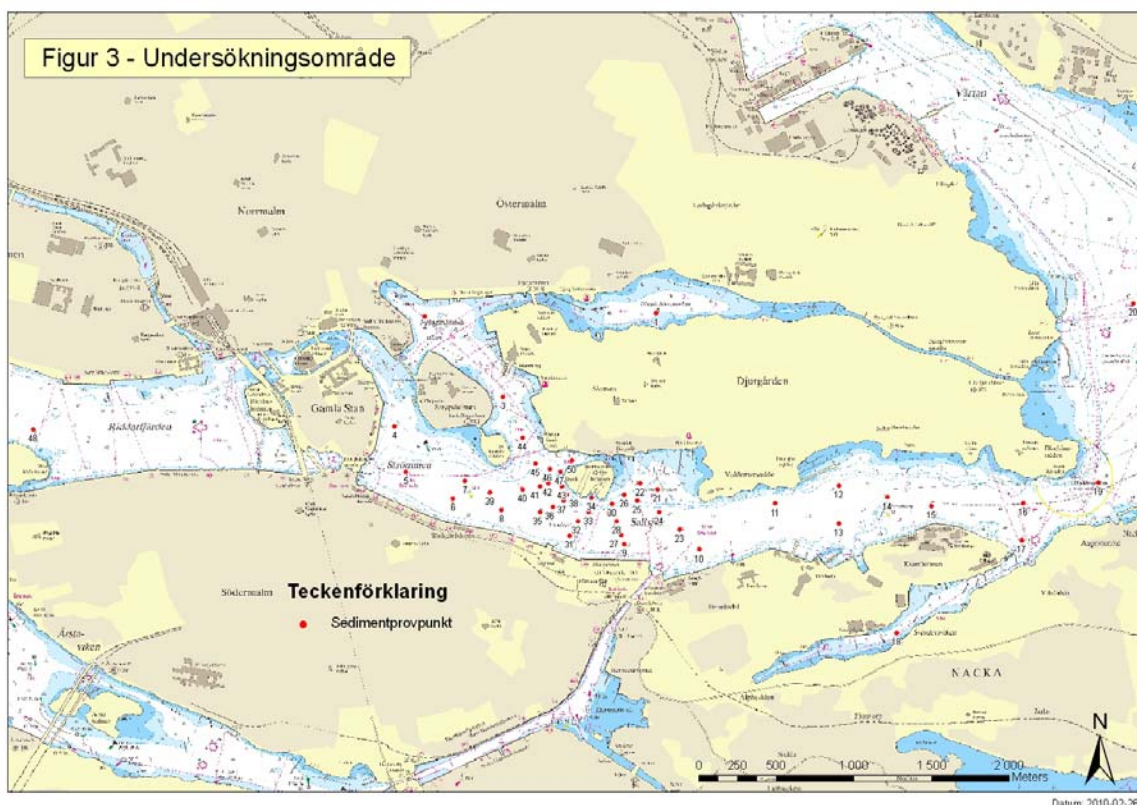


Figur 2. Side scan sonar-plott från undersökningsområdet (SGU, 1998)

3 UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR

3.1 Sedimentprovtagning

Sedimentprovtagning genomfördes på sammanlagt 49 stationer med R/V Sunbeam (19-20/10, 11/11) och R/V Perca (13/11 och 17/11) (Fig. 31). Positionsbestämning av provpunkter skedde med hjälp av GPS (Global Positioning System). Den utrustning som användes var av märket Garmin 4012 (R/V Sunbeam) och Garmin 182C (R/V Perca) som medger en positionsnoggrannhet <3 meter.



Figur 3. Karta över undersökningsområdet med provtagningsstationer inlagda.

Sedimentkärnor togs med Gemini-hämtare (Fig. 3) på 20 stationer på mjukbotten spridda över hela undersökningsområdet, på 21 stationer i gradienter i närområdet till Beckholmen och med Ponarhämtare på 8 stationer närmast Beckholmen.

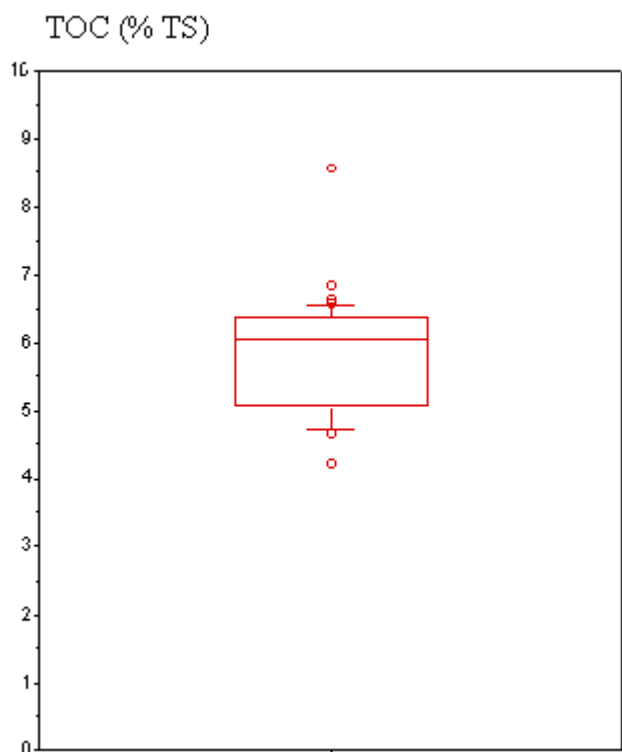
Stor vikt lades vid att se till att sedimentytan i såväl Gemini- som Ponar-hämtaren var intakt, främst genom att konstatera förekomsten av klart vatten ovanför sedimentytan. Fältprotokoll upprättades vid varje provtagningspunkt där koordinater, provtagningsdjup och övriga observationer noterades. Ett första intryck av sedimentkaraktäristika nedtecknades också (oxiderat ytskikt, förekomst av svavelbakterier, djurgångar, laminering, lukt, oljeförekomst etc.).

4 SEDIMENTFÖRHÅLLANDEN

4.1 Torrsubstanshalt och organisk halt

Torrsubstanshalt och organisk halt är två grundläggande sedimentparametrar som ofta används för att separera ut ackumulationsbottnar (A-bottnar) från erosions- och transportbottnar (E/T-bottnar). En tumregel är att vattenhalten i ytsediment bör vara $> 75 \%$ för att sedimentet skall kunna karaktäriseras som en A-botten (Håkanson and Jansson, 1983). På motsvarande sätt bör kolhalten överstiga 3% för att det med säkerhet skall röra sig om A-bottensediment.

I figur 4 redovisas ett boxplot för totalt organiskt kol (TOC) i de ytsediment från undersökningsområdet som valts ut som ytsediment. Medianvärdet för TOC är ca 6% och inga värden understiger 4% . Totalt 11 av de insamlade ytsedimentproven har på detta vis karaktäriserats som E/T-bottnar och därför förkastats i den fortsatta framställningen. Undersökningen bygger sålunda på 37 A-bottensediment.



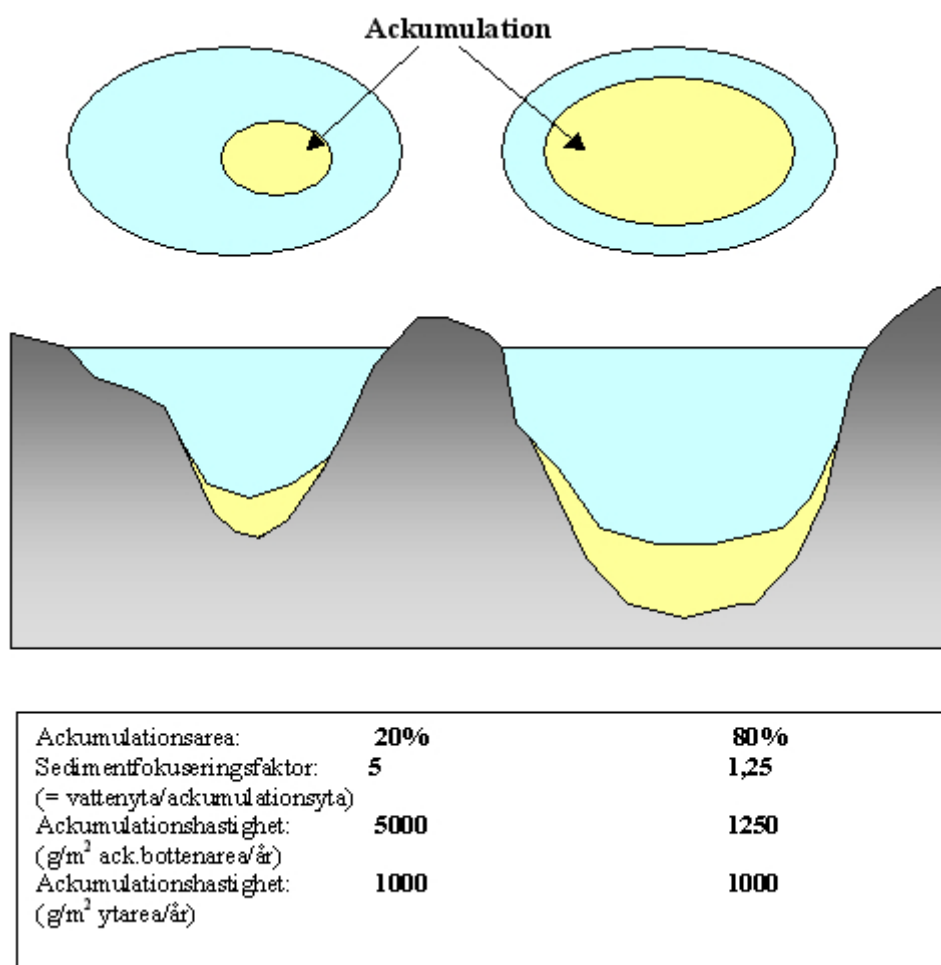
Figur 4. Boxplot visande kolhalter (TOC) i ytsediment från ackumulationsbottnar i undersökningsområdet. Den uppmätta glödningsförlusten har räknats om till TOC utifrån ett empiriskt samband från 62 sedimentkärnor insamlade i 13 fjärdar i NW egentliga Östersjön (Jonsson, Red., 2003). Kolhalten = Glödningsförlust/2,6. Denna typ av diagram visar medianvärdet, 10-, 25-, 75- och 90-percentilerna samt extremvärden som avviker mer än 80 % från medianvärdet.

4.2 Torrsubstansdeposition

Utifrån uppmätta halter torrsubstans (TS) i sedimenten i kombination med uppmätta varvtjocklekar och om nödvändigt med datering med ^{137}Cs kan depositions hastigheten för torrsubstans beräknas för undersökningsområdet. Detta är en första förutsättning för vidare beräkning av depositionen av metaller och organiska miljögifter.

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 sedimentackumulationen 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 ($< 0,006 \text{ mm}$) partiklar sker, den s.k. ackumulationsbottenarean, bestäms, vilket kan ske med olika tekniker.

Principen för normalisering för sedimentfokusering illustreras i Figur 5 och går helt enkelt ut på att omräkna sedimentackumulationen i ackumulationsområdena till att gälla för hela fjärdytan. 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 fjärdyta är det dock möjligt att göra jämförelser av sedimentfastläggningen. I det illustrerade exemplet är den totala sedimentackumulationen lika i de båda fjärdarna.



Figur 5. Principskiss för att illustrera begreppet sedimentfokusering (Från Jonsson Red., 2003).

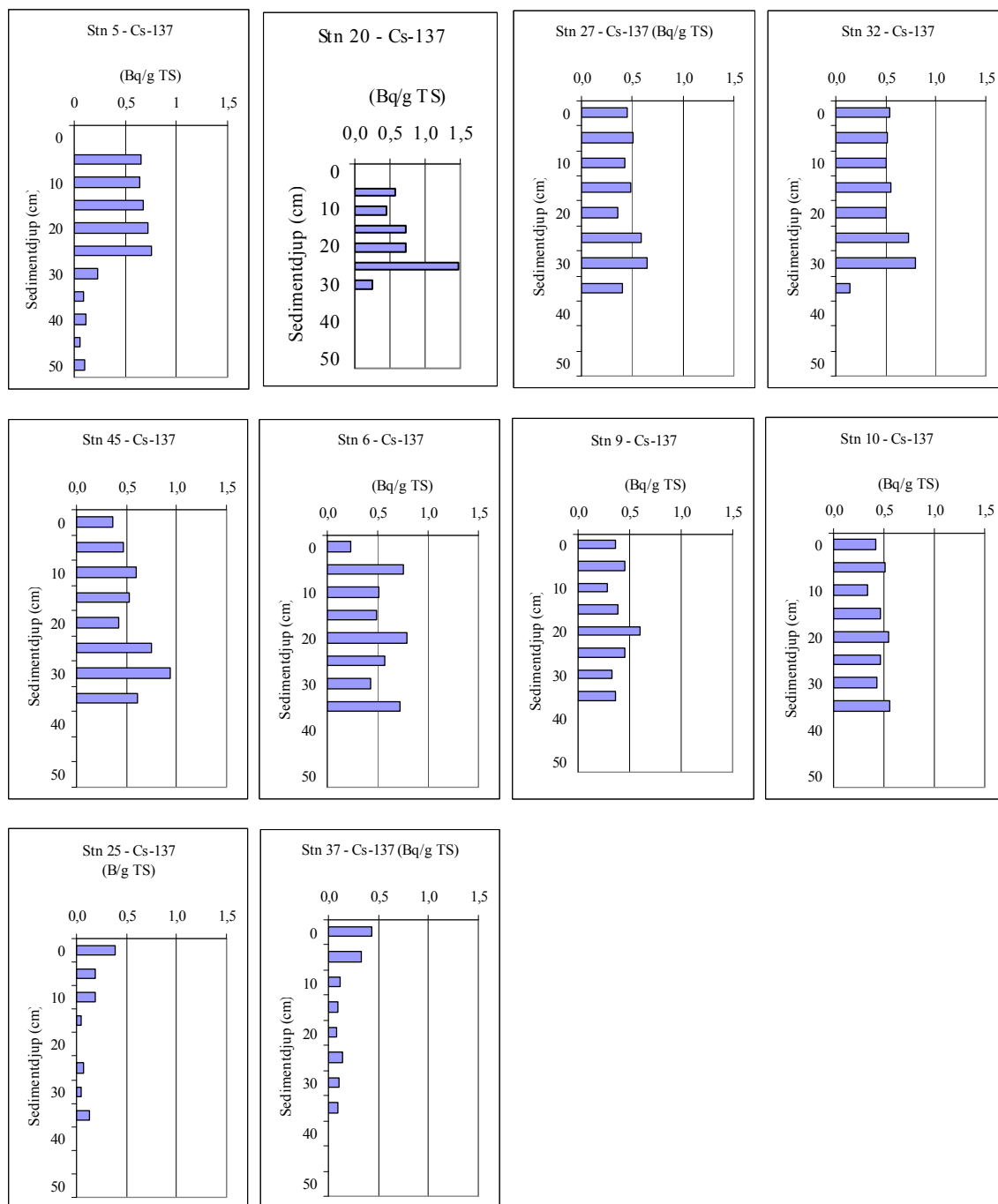
4.3 Sedimenttillväxt

Den årliga sedimenttillväxten i Saltsjön har fastlagts genom bestämning av varje laminas (årsvarvs) tjocklek. I en del av kärnorna finns tydliga mer eller mindre kontinuerliga laminerade lagerföljder medan i andra har endast enstaka varv noterats (Jämför bilderna på sedimentkärnor i APPENDIX 6).

I 10 av de provtagna kärnorna har det varit svårt att detektera tydliga varv och i dessa kärnor har sedimenttillväxten uppskattats utifrån datering med ^{137}Cs . Profilerna har ordnats i figuren (Fig. 6) på så sätt att säkra dateringar har placerats först och osäkra sist. Sålunda är dateringarna för stationerna 5,20, 27, 32 och 45 säkra eller någorlunda säkra. Som synes är det en aning tveksamt om piken motsvarande 1986 nåtts i profilerna för stationerna 27 och 45. det är dock klart att minst 30 cm har deponerats i båda dessa kärnor sedan 1986.

Stationerna 6,9 och 10 utgör nästa kategori, nämligen de kärnor där piken för 1986 inte nåtts på ett sedimentdjup av 35 cm. Som framgår av de kärnor där dateringen är säker eller tämligen säker är aktivitetsnivån i de övre delarna av kärnorna mellan 0,4 och 1,5 Bq/g TS och sjunker därunder till lägre nivåer. Vi kan därför anta att Chernobyl-piken ligger djupare än 35 cm i kärnorna från 6,9 och 10. Om vi då antar att vi har en sedimentackumulationstakt i dessa kärnor på 35 cm under 23 år har vi således inte överskattat torrsustansackumulationen och därmed inte heller, som framgår av kommande beräkningar, överskattat föroreningsdepositionen i närheten av Beckholmen.

I två stationer, stn 25 och 37 har inte aktiviteten nått upp till pikvärdet, vilket vi tolkar som att det här är fråga om erosions- eller transportbottnar där antingen de översta centimetrarna eroderats bort eller där ingen större deposition sker och där därför aktivitetsnivån i de övre centimetrarna karaktäriserar dagens aktivitetsnivå i området och tack vare bioturbation (omblandning) av bottendjur arbetas ned i sedimentet.



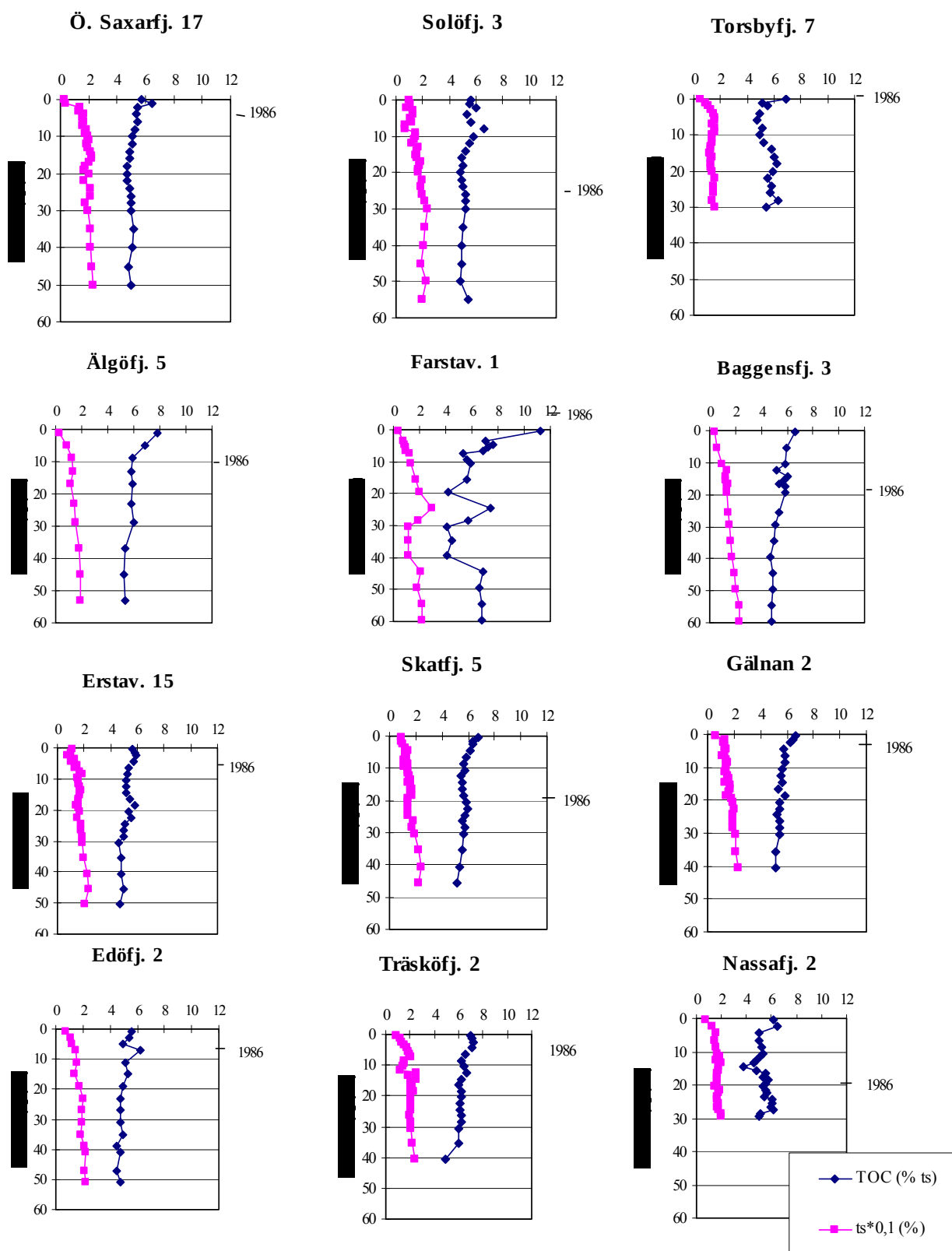
Figur 6. Datering av 10 sedimentkärnor från Saltsjön med Cs-137

I tabell 1 har resultaten från datering med varvräkning och med Cs-137 kompilerats. Medelvärden samt max- och minvärden för sedimenttillväxten återges.

Tabell 1. Årlig genomsnittlig sedimenttillväxt (mm/år) för perioden 1980-2005 i Saltsjön jämfört med genomsnittet för 17 fjärdar i Stockholms skärgård och Roslagen (från Jonsson, Red., 2003).

<i>Område</i>	<i>Antal fjärdar</i>	<i>Antal kärnor</i>	<i>Sediment tillväxt (mm/år)</i>	<i>Min. värde (mm)</i>	<i>Max. värde (mm)</i>	<i>Referens</i>
Saltsjön	1	37	12	4	24	Denna undersökning
Stockholms skärgård och Roslagen	17	80	17	5	50	Jonsson (Red.), 2003

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 (Red.) 2003 hänför sig till de övre 5 centimetrarna av sedimentpelaren. Ytsedimenten har normalt en låg torrsbstanshalt i de övre sedimentlagren och den ökar successivt nedåt i sedimentpelaren på grund av den s.k. kompaktionen (sammanpressning av sedimentpelaren på grund av tyngdlagen) i takt med att nytt sedimentmaterial lagras på ovanifrån. Detta framgår tydligt av Figur 7 där 12 sedimentkärnor från såväl ytter- som mellan- och innerskärgård redovisas och där TS-halten i ytsedimenten är 50-100 % lägre än i sedimenten på 15-20 cm:s djup.



S

Figur 7. Profiler över torrsubstanshalt (TS-halt *0,1; violettera symboler) och totalt organiskt kol (TOC; blå symboler) i några representativa sedimentkärnor från Stockholms skärgård tagna under senare delen av 1990-talet. (Underlagsmaterial till rapporten Jonsson Red., 2003)

Jonsson, Red. (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 (Tabell 1). Detta är ca 40 % högre än i vårt undersökningsområde, 12 mm/år (Tabell 1). Torrsubstanshalterna 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), vilket leder till att skillnaderna i torrsubstansdeposition utjämnas och till och med blir högre i vårt studieområde än i Stockholms och Roslagens skärgårdar i stort (Tabell 2).

Tabell 2. Sammanställning av fjärdkaraktäristika, årlig genomsnittlig torrsubstansdeposition och årlig genomsnittlig koldeposition ($\text{g/m}^2/\text{år}$) för 17 fjärdar i Stockholms skärgård och Roslagen (Från Jonsson, Red., 2003).

Område/Fjärd	Andel A-botten (%)	Sediment-fokuserings-faktor	Sedimenttillväxt i ytsediment (0-5 cm) (mm/år)	ts-deposition ($\text{g m}^{-2} \text{år}^{-1}$ A-botten)	ts-deposition ($\text{g m}^{-2} \text{år}^{-1}$ fjärddyta)	koldeposition ($\text{g m}^{-2} \text{år}^{-1}$ fjärddyta)	Antal kärnor	Ref.
Roslagen								
N. Singöfjärden	48	2,1	27 (18-38)	4100	1950	120	4	2
S. Singöfjärden	15	6,7	30 (5-50)	2950	440	20	5	2
Norrtäljeviken	38	2,6	28 (5-50)	4190	1610	75	5	2
Stockholms skärg.								
Saxarfjärden	58	1,7	10-30	3740	2160	120	5	3
Trälhavet	24	4,2	11 (5-17)	2890	690	40	2	4
V Saxarfjärden	41	2,4	17 (15-19)	3360	1400	90	2	4
Vaxholmsfjärden	33	3,1	10	650	210	15	2	4
Solöfjärden	79	1,3						5
Höggarnsfjärden	36	2,8						6
Torsbyfjärden	50	2	11 (7-24)		1000	50	8	7
Lilla Värtan	49	2,1						4
Halvkakssundet	44	2,3						4
Saltsjön	50	2	37	800	400	35	1	4
Älgöfjärd	48	2,1	17 (5-30)	1550	740	40	3	2
Farstaviken	39	2,5						7
Baggensfjärden	45	2,2	19 (10-31)				3	7
Erstaviken	45	2,2	10-30	2900	1320	120	10	8
Skatfjärden	41	2,4						5
Gälnan	51	1,9	12 (7-16)	1830	940	50	3	9
Edöfjärden	40	2,5	20 (11-35)	2080	830	60	4	10
Träsköfjärden	39	2,6						5
Nassafjärden	42	2,4	14 (7-23)	2900	1200	68	5	7
Skagsfjärden	32	3,2						5
Möja Söderfjärd	47	2,1						5
Kanholmsfjärden	47	2,1	5-15				5	11, 3
Bulleröfjärden	38	2,6	18 (13-29)	2500	960	60	3	12

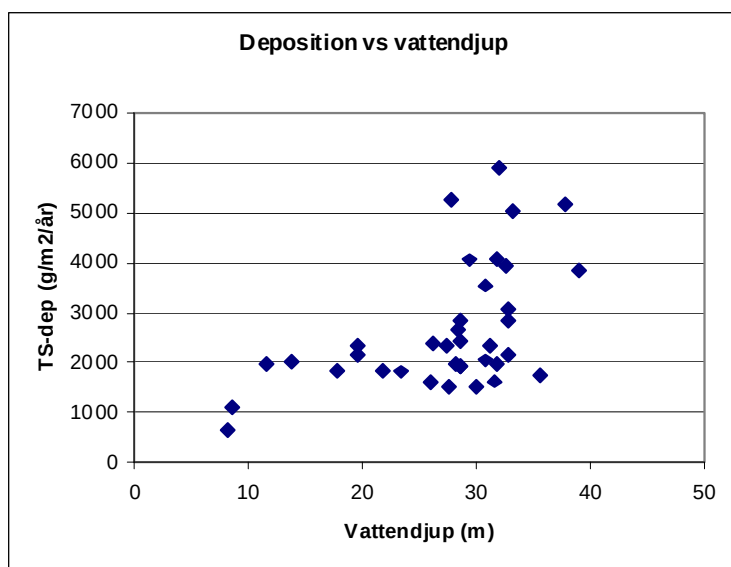
I tabell 3 redovisas de uppmätta medelvärdena för Saltsjön tillsammans med medelvärden från 18 fjärdar i Roslagens och Stockholms skärgård, dels beräknat som årlig deposition per kvadratmeter A-bottenyta (g/m^2 A-botten/år), dels som årlig deposition per kvadratmeter fjärddyta (g/m^2 vattenyta/år). Torrsubstansdepositionen per kvadratmeter A-botten i Saltsjön är tämligen lika medeldepositionen i Stockholms och Roslagens skärgårdar. Om dessa värden sedan normeras till att gälla deposition per kvadratmeter fjärddyta är dock depositionen i Saltsjön ca 50 % större än medeldepositionen för de 17 fjärdarna i tabellen. Orsaken till detta svåra att definitivt fastställa men faktorer som tillförsel från Mälaren och högre erosion i gamla glacial- och postglacialleror i de inre delarna av skärgården, jämfört med de yttre, kan ha betydelse i sammanhanget.

Tabell 3. Jämförelse av fjärdkaraktäristika, årlig genomsnittlig torrsubstansdeposition och årlig genomsnittlig koldeposition ($\text{g/m}^2/\text{år}$) för perioden 1980-2005 i Saltsjön jämfört med genomsnittet för 17 fjärdar i Stockholms skärgård och Roslagen (beräknat från Jonsson, Red., 2003).

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

4.4 Olika deposition i olika delar av undersökningsområdet

I figur 8 har vi plottat torrsubstansdepositionen mot vattendjupet i Saltsjön. Depositionen är lägre på de allra grundaste A-bottnarna än i de djupare delarna av Saltsjön. Det är inte fråga om ett linjärt förhållande mellan deposition och vattendjup utan det sker en avsevärt högre deposition först på vattendjup > 25-27 m.



Figur 8. Torrsubstansdepositionen i förhållande till vattendjupet.

4.5 Historisk sedimentutveckling

På flera av stationerna påträffades material i de djupare delarna av sedimentkärnorna som sannolikt härrör från aska som deponerats från ångdrivna fartyg. Materialet utgörs av mer eller mindre förbränt kol/koks.

Andelen laminerade bottnar (se appendix 1) är en god historisk indikator på belastningssituationen av näringsämnen i ett skärgårdsområde (Jonsson, Red., 2003). Utvecklingen av laminerade bottnar i hela Stockholms skärgård karaktäriseras av en stadig ökning från 1910-talet fram till senare hälften på 1940-talet (Fig. 9). Utbredningen minskar något under 1950-talet varefter en snabb ökning inleds under 1970-talet och pågår fram till 1990 varefter en utplaning kan skönjas under början av 1990-talet.



Figur 9. Utveckling av laminerade sediment i hela Stockholms skärgård. (n=14-112) anger hur många sedimentkärnor diagrammet bygger på i den vänstra resp högra delen av figuren. (Från Jonsson, Red. 2003).

Det mest anmärkningsvärda med utvecklingen i Stockholms skärgård är att de laminerade bottnarna breder ut sig som allra snabbast just under den tid då de kommunala reningsverken byggs ut i Storstockholmsregionen. Trenden är helt omvänd mot vad som skulle förväntas.

När det gäller innerskärgården (Fig. 10) uppvisar lamineringsutvecklingskurvan stora likheter med motsvarande för hela Stockholms skärgård. En markerad topp återfinns i början av 1950-talet varpå en påtaglig förbättring sker under 1950- och 60-talen följt av en expansionsfas under 1970-talet och därefter i stort sett konstanta förhållanden.



Figur 10. Tidsutvecklingen av laminerade sediment i Stockholms innerskärgård. (Data från Solöfjärden, Torsbyfjärden, Östra Saxarfjärden, Baggensfjärden och Erstaviken). (n=12-40) anger hur många sedimentkärnor diagrammet bygger på i den vänstra resp högra delen av figuren. (Från Jonsson, Red. 2003).

Jonsson, Red. (2003) föreslog att en tänkbar orsak till att det inte skett några påtagliga förbättringar sedan 1980 kan vara att belastningen av syrgaskrävande substans till bottenarna vid denna tid med mycket god marginal överskridit den nivå då laminering uppstått. Man framförde att om detta är orsaken kunde det därför ta lång tid innan situationen påtagligt förbättras och bottendjuren i stor omfattning koloniserar de djurfattiga bottenarna.

Karlsson et al. (2009) återbesökte en del stationer som studerades under 1990-talet och kunde konstatera att i innerskärgården innanför Oxdjupet och Kodjupet har bottenar som tidigare var kraftigt reducerade återfått bottenfauna och sedimenten uppvisar oxiska och bioturberade förhållanden (se appendix 1). Glädjande nog även i vårt studieområde längst in i Stockholms skärgård är situationen densamma trots den omedelbara närheten till kommunala reningsverksutsläpp. Samtliga besökta stationer utom en (omedelbart utanför Henriksdals reningsverksutsläpp) uppvisar oxiska förhållanden i de översta 2-5 cm av sedimentpelaren (Fig. 11). I Tabell 1 framgår att sedimenttillväxten i området är i genomsnitt 12 mm/år med en variation på 4-24 mm. Förbättringarna skulle i så fall inträffat för i genomsnitt 2-4 år sedan, med extremvärden på mellan 1 och 12 år sedan.



Figur 11. Typisk sedimentkärna från Saltsjön utanför Beckholmen. Oxiderat ytskikt på några cm överlagrande mörkt reducerat sediment. Notera djurgångarna i ytskiktet.

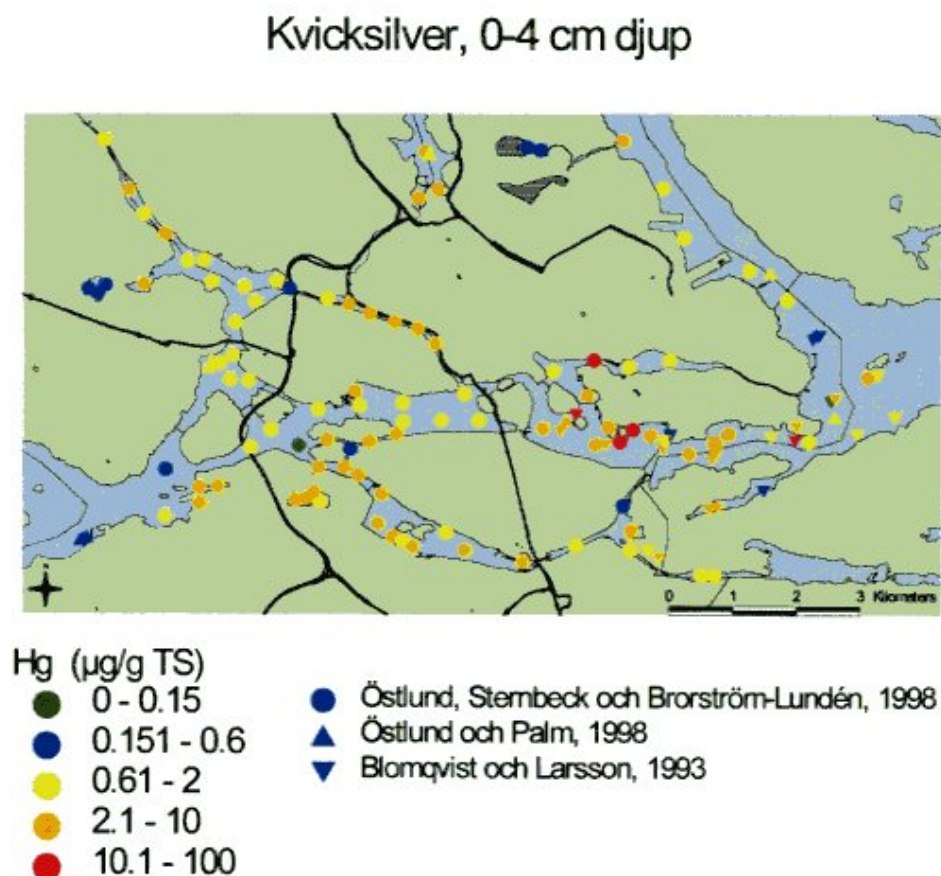
Detta kan dock delvis tolkas som en fiktiv och för tidig förbättring, som beror på att när bottenfaunan ett visst år åter koloniserar ett tidigare utslaget område, bioturberar (blandar om) den inte bara detta års avlagringar utan även tidigare års avsatta sediment beroende på hur stor sedimenttillväxten per år är. Med detta i åtanke kan vi konstatera att förbättringen har inträffat under senare delen av 2000-talet i undersökningsområdet. Detta kan ha betydelse för fastläggningen av metaller i sedimenten eftersom "sulfidmetallerna" i anoxisk miljö bildar sulfider och fastläggs i sedimenten. I samband med en påtaglig förbättring av syresituationen av djupvattnet kan dessa metaller remobiliseras till vattenmassan och ge upphov till ökande halter i organismer.

5 FÖRORENINGSHALTER

5.1 Tidigare studier av föroreningsituationen

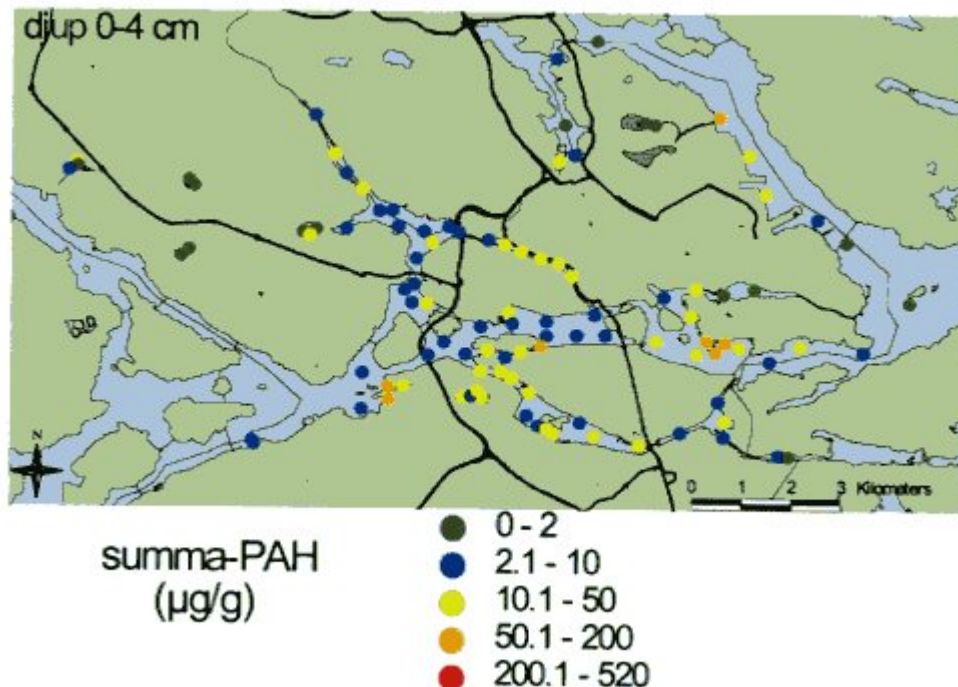
Sedimentundersökningar har genomförts i området i många olika sammanhang och med olika inriktning. I det följande redovisas endast de som har direkt bäring på denna undersökning.

I en omfattande undersökning av sedimenten i Stockholmsområdet togs även sedimentprover i Saltsjön och Lilla Värtan hösten 1996 (Östlund et al. 1997). Man konstaterade att föroreningsbelastningen var mycket hög i centrala Stockholm och att kvicksilver- och blyhalterna var extremt förhöjda, följt av kadmium, koppar, zink och krom. Utifrån analys av djupprover från daterade sedimentkärnor konstaterade man att belastningen för de flesta av föroreningarna kulminerade 1960-1980 och därefter generellt har avtagit. Detta är dock inte genomgående och i området runt Beckholmen är trenderna oklara men halterna var mycket höga (Fig. 12). En kärna tagen nära Beckholmen visar extremt höga kvicksilverhalter (på 0-2 cm: 38 och på 8-10 cm: 24 mg/kg TS).



Figur 12. Kvicksilver i ytsediment (0-4 cm) från Stockholmsområdet 1996. (Från Östlund et al., 1998).

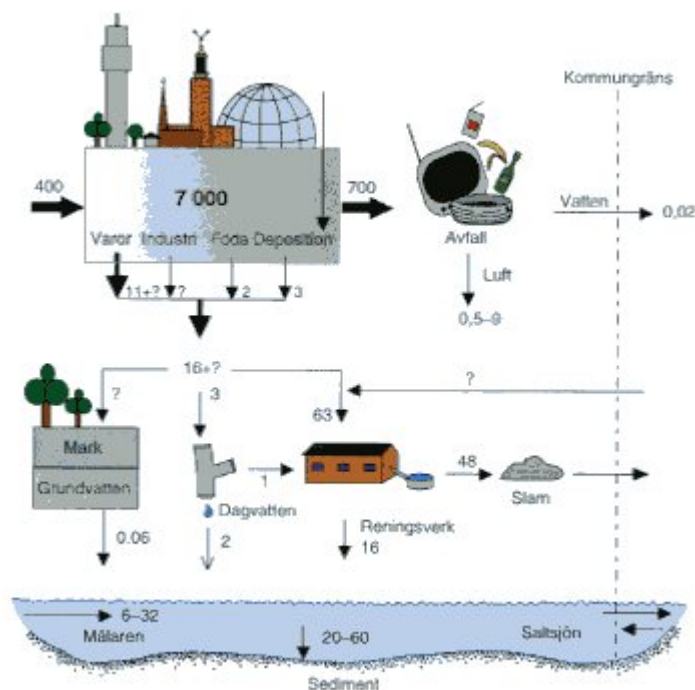
Även polyaromatiska kolväten uppvisar höga halter i Saltsjön och avtagande utåt skärgården (Fig. 13). Östlund et al. (1998) konstaterar sammanfattningsvis att metallhalterna är mycket höga centralt och öster om Stockholm. Detta mönster indikerar enligt författarna lokal förorening och vattenburen spridning österut i skärgården.



Figur 13. sPAH16 i ytsediment (0-4 cm) från Stockholmsområdet 1996. (Från Östlund et al., 1998).

Jonsson (2000) undersökte 1997 sedimenten i Saltsjön med avseende på metaller som en del i en materialbalans för Stockholm. Den minskning av metalltillförseln av främst Cd, Hg och Pb som finns dokumenterad från 1970-talet och framåt avspeglar sig inte i sedimenten. En tänkbar orsak till detta menar man kan indikera okända källor i området. De höga halterna i sedimenten kan enligt författaren utgöra en kemisk bomb som kan leda till kraftigt utläckage av biotillgängliga metaller om syresituationen dramatiskt förbättras i området som i slutet på 1990-talet hade huvudsakligen reducerade sediment i djupområdena.

I slutrapporten från Naturvårdsverkets projektområde "Metaller i stad och land" (Anon. 2002) redovisades slutsatserna från Jonsson (2000) och man konstaterade även att minskad näringsämnesbelastning från de kommunala reningsverken kan leda till ökande kvicksilverhalter i fisk i området. En materialbalans för Stockholm (Fig. 14) indikerar att sedimentfastläggningen av kvicksilver utgjorde 20-60 kg/år i hela undersökningsområdet (inkl. Mälaren). Man beräknade tillförseln från reningsverk till 16 kg/år vilket inte stämmer med Stockholm Vattens uppskattningar som är i genomsnitt 0,4 kg/år för perioden 2004-2008. En del av detta kan måhända förklaras av större tillförsel under 80-90-talen som sedan minskade kraftigt som en följd av effektivare kvarhållande i reningsverken i samband med införande av kväverening i slutet av 1990-talet.



Figur 14. Mängder (kg) och flöden (kg/år) av kvicksilver i Stockholm. (Från Anon. 2002).

Karlsson och Elving (2009) kompillerade sedimentdata från tidigare undersökningar och genomförde en del kompletterande analyser för att undersöka sambandet mellan kvicksilverhalter i sediment och fisk (abborre). Man fann en stark linjär korrelation ($r^2=0,81$).

Stockholm Vatten AB (Anon., 2010) genomförde i maj-juni 2009 en sedimentundersökning från Slussen ut till Kanholmsfjärden som längst och noterade en mycket tydlig gradient från Stockholm ut genom skärgården vilket framgår av Tabell 4. Haltfördelningsbilden är mycket snarlik den som vi erhållit i Saltjön och på Lilla Värtan.

Tabell 4. Torrsubstans (TS), glödrest (GR) och metallhalter (mg/kg TS) i ytsediment (0-2 cm) i Stockholms inner- och mellanskärgård. (Källa: Anon. 2010).

Datum	Provpunkt	Lat	Long	Djup m	TS %	GR % av TS	As	Cd	Co	Cu	Cr	Hg	Pb	Zn	Mn	Fe
2009-06-04	Slussen	59 19.22	18 04.87	26	13,0	82,6	16	2,4	13	290	77	3,6	260	400	400	61000
2009-06-04					13,2	82,8	16	2,4	13	290	75	3,8	250	390	400	57000
2009-06-04					13,0	83,2	16	2,5	13	290	77	3,8	250	420	390	59000
2009-06-18	Saltsjökvam	59 19.09	18 06.61	29	10,1	80,9	12	2,8	19	260	88	2,8	200	500	470	48000
2009-06-18					10,2	81,1	13	2,7	17	260	94	2,6	210	500	530	49000
2009-06-18					10,3	81,5	12	2,5	17	240	87	2,6	200	450	500	46000
2009-06-10	Beckholmen	59 19.121	18 05.819	32	12,2	82,6	13	3,5	14	340	81	4,6	240	470	370	45000
2009-06-10					12,4	82,5	14	3,7	15	350	83	5,2	250	490	380	42000
2009-06-10					12,6	82,5	13	3,6	15	350	82	5,0	250	470	370	50000
2009-05-29	Blockhusudden	59 19.141	18 09.135	39	12,1	88,1	19	1,1	18	160	82	1,9	170	280	1000	63000
2009-05-29					12,1	88,0	18	1,1	17	150	80	1,8	170	280	940	58000
2009-05-29					13,2	85,7	15	1,1	17	160	84	2,0	170	270	790	53000
2009-06-17	Fjäderholmarna	59 20.00	18 11.63	40	10,6	85,4	15	1,0	17	130	92	2,4	170	270	860	50000
2009-06-17					10,0	85,5	14	1,0	17	130	91	2,2	170	270	750	47000
2009-06-17					11,0	85,6	12	0,95	19	150	95	1,9	170	320	730	45000
2009-05-29	Blomskär	59 24.35	18 07.82	23	7,7	86,0	8,7	0,94	17	79	62	0,38	63	230	410	41000
2009-05-29					7,8	85,9	8,5	0,91	18	75	62	0,36	61	230	410	41000
2009-05-29					7,7	85,8	9,0	1,0	18	78	55	0,34	67	220	410	40000
2009-05-29	Askrikefjärden	59 22.94	18 13.44	29	10,8	86,3	11	0,78	18	85	63	0,72	93	200	1200	44000
2009-05-29					12,0	86,2	11	0,78	19	86	62	0,72	93	200	1200	44000
2009-05-29					11,4	86,2	12	0,81	17	89	64	0,78	98	210	1300	47000
2009-06-10	N Höggarnsfjärden	59 22.686	18 17.309	55	12,5	87,1	15	0,57	22	73	66	1,1	96	200	2700	52000
2009-06-10					13,5	87,2	12	0,60	20	110	68	1,1	99	210	2300	48000
2009-06-10					12,8	86,9	14	0,57	21	74	67	1,1	96	200	1900	50000
2009-06-04	S. Höggarnsfjärden	59 21.97	18 17.88	51	10,7	87,3	15	0,62	18	85	63	1,2	110	200	940	53000
2009-06-04					12,0	86,8	16	0,63	16	79	62	1,2	100	180	790	52000
2009-06-04					11,5	87,1	15	0,66	17	84	64	1,2	110	200	800	51000
2009-05-29	Torsbyfjärden	59 21.73	18 26.996	52	11,6	87,2	21	0,33	18	57	54	0,48	64	170	1800	60000
2009-05-29					11,4	87,0	21	0,34	17	56	53	0,44	64	180	1800	60000
2009-05-29					11,8	86,7	22	0,35	17	53	53	0,44	63	160	1800	57000
2009-06-04	Solöfjärden	59 22.66	18 26.52	46	12,0	87,3	13	0,47	15	51	55	0,50	60	160	900	53000
2009-06-04					10,5	86,9	15	0,44	16	60	50	0,50	62	160	1100	49000
2009-06-04					11,0	86,6	15	0,43	16	61	50	0,56	60	150	1100	43000
2009-06-10	Trälhavet II	59 25.37	18 23.44	57	7,3	85,8	23	0,34	21	41	53	0,12	34	150	4200	52000
2009-06-10					10,3	86,6	25	0,34	22	42	55	0,13	35	160	4000	55000
2009-06-10					11,2	87,4	23	0,39	21	45	57	0,12	36	160	3200	56000
2009-06-17	V.Saxarfjärden	59 26.52	18 25.83	59	7,3	85,3	24	0,34	16	42	56	0,12	36	180	1200	56000
2009-06-17					5,6	84,7	20	0,31	16	44	66	0,13	35	210	1200	51000
2009-06-17					5,2	84,4	23	0,35	17	39	51	0,15	37	170	1100	53000
2009-06-17	Ikorn	59 28.84	18 29.46	43	12,4	88,2	25	0,35	22	35	56	0,07	28	160	2600	49000
2009-06-17					13,5	87,9	24	0,32	19	34	47	0,09	38	150	2200	48000
2009-06-17					13,5	87,7	27	0,33	36	36	61	0,07	28	200	2900	49000
2009-06-17	Sandö Sugga	59 23.04	18 34.79	52	6,3	83,1	18	0,55	11	50	54	0,20	40	170	560	43000
2009-06-17					6,2	83,5	17	0,56	13	49	51	0,36	39	170	550	41000
2009-06-17					8,1	84,0	14	0,54	17	54	64	0,24	38	220	590	39000
2009-06-18	NV Kanholmsfjärden	59 21.90	18 44.96	48	9,6	83,3	18	0,40	15	47	52	0,20	43	160	3000	37000
2009-06-18					11,3	83,5	18	0,40	14	50	56	0,17	42	160	2200	39000
2009-06-18					9,6	83,0	20	0,44	15	50	58	0,19	44	170	3000	40000
2009-06-18	Ö Kanholmsfjärden	59 21.34	18 48.50	38	26,1	91,6	10	0,29	2,6	24	34	0,01	17	130	1300	21000
2009-06-18					24,3	90,7	13	0,31	9,6	22	27	0,02	18	80	1500	22000
2009-06-18					25,9	91,8	11	0,30	17	22	26	0,01	16	58	1300	21000
2009-06-18	SV Kanholmsfjärden	59 21.06	18 45.93	44	33,5	93,7	7,5	0,22	7,8	17	21	0,06	14	61	1100	16000
2009-06-18					25,7	91,5	10	0,30	6,3	25	27	0,15	18	150	1600	21000
2009-06-18					25,2	92,3	9,6	0,27	8,1	22	27	0,10	17	76	1600	20000
2009-06-10	Skurusundet	59 19.02	18 13.35	11	10,8	82,9	8,5	2,1	15	240	78	2,6	190	370	340	39000
2009-06-10					10,6	82,4	8,4	2,0	15	230	76	2,4	190	350	360	40000
2009-06-10					11,1	83,2	8,3	2,0	15	230	77	2,2	190	380	330	38000
2009-06-22	Lännerstasundet	59 17.91	18 13.77	26	3,2	79,0	8,6	1,5	7,2	150	48	1,0	97	470	280	28000
2009-06-22					3,3	77,9	9,7	1,5	15	130	44	0,82	100	480	240	29000
2009-06-22					2,5	77,6	10	1,5	16	180	44	0,80	110	740	250	29000
2009-06-22	Fanstaviken	59 19.52	18 22.63	17	4,2	80,3	8,5	5,8	23	200	50	0,42	640	820	300	34000
2009-06-22					5,5	81,8	9,9	6,3	26	150	50	0,48	670	680	290	35000
2009-06-22					5,4	81,2	7,5	5,2	26	180	47	0,50	570	670	280	35000
2009-06-22	Baggenfjärden	59 17.74	18 19.26	51	4,9	83,4	14	0,78	18	46	53	0,15	56	230	590	44000
2009-06-22					5,6	84,6	14	0,76	30	52	59	0,15	55	300	670	43000
2009-06-22					5,3	84,1	-	0,80	18	48	56	0,16	57	240	600	44000
2009-05-28	Erstaviken	59 14.76	18 20.75	61	13,0	89,0	19	0,26	20	42	61	0,08	36	170	4300	45000
2009-05-28					13,2	88,8	20	0,29	21	45	61	0,08	37	160	4400	45000
2009-05-28					12,4	90,0	19	0,27	20	44	60	0,09	36	160	4400	45000
2009-05-28	Ingaröfjärden	59 13.08	18 27.76	42	11,5	88,9	19	0,41	18	47	58	0,09	37	160	3400	39000
2009-05-28					13,0	88,4	19	0,41	19	49	60	0,09	39	170	3600	41000
2009-05-28					13,0	88,3	20	0,42	19	49	58	0,09	39	170	3600	40000
2009-05-28	Ägnöfjärden	59 16.16	18 23.00	22	15,7	90,4	13	0,40	13	48	52	0,09	32	150	700	38000
2009-05-28					18,6	90,4	11	0,44	14	46	52	0,09	32	140	640	36000
2009-05-28					18,2	89,9	12	0,37	14	43	54	0,07	31	140	710	39000

I samband med projektering inför tänkbara saneringsåtgärder för Beckholmen genomfördes 2004 en undersökning av sedimentens innehåll av föroreningar på 8 stationer i närheten av Beckholmen (Anon. 2005). Mycket höga metallhalter erhöles och kvicksilverhalterna låg i intervallet 4,8-23,7 mg/kg TS. Utifrån dessa resultat bedömdes förutsättningar finnas för en utökad studie av sedimenten för att bedöma påverkan i Saltsjön av föroreningsläckage från Beckholmen. Föreliggande undersökning är resultatet av denna slutsats.

5.2 Bedömningsgrunder

Som grund för bedömningen av föroreningssituationen i undersökningsområdet har vi använt oss av Naturvårdsverkets rapport 4914, Bedömningsgrunder för miljö kvalitet - Kust och hav (Anon. 1999). I tabell 5 har ett utdrag av de studerade organiska miljögifterna och metallerna sammanställts och de erhållna mätresultaten kommer till dels att värderas i förhållande till dessa bedömningsgrunder. Emellertid finns vissa fel gjorda i den refererade tabell 30 i Rapport 4914. Det anges i rapporten att data i tabellen är normerade till en kolhalt av 1 % organiskt kol vilket inte stämmer för PCB och PAH, utan data är redovisade enbart till torr vikt utan någon normalisering till kolhalt. Klassgränserna för metaller i mg/kg TS baseras på de jämförvärden som anges i Anon. (1999).

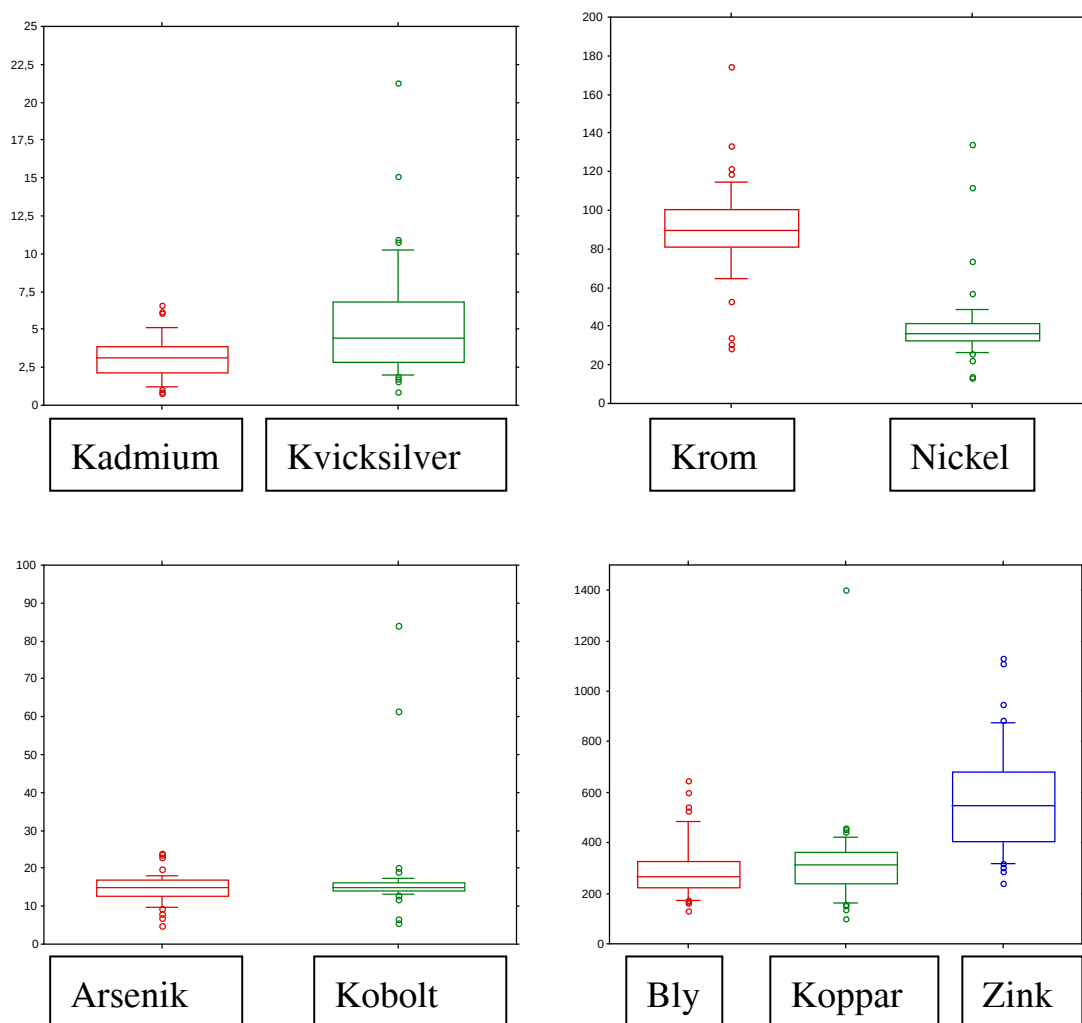
Tabell 5. Svenska bedömningsgrunder för polyaromatiska kolväteföreningar (PAH) och polyklorerade bifenyl (PCB; ng/g TS), samt metaller i mg/kg TS (analys enl. svensk standard SIS) i kust- och havssediment (Anon., 1999). sPAH är summan av 11 PAH:er och sPCB är summan av 7 kongener.

Ämne	Klass I "Bra"	Klass II "Acceptabelt"	Klass III "Mindre bra"	Klass IV "Dåligt"	Klass V "Mycket dåligt"
sPAH	0	0-280	280-800	800-2500	>2500
sPCB	0	0-1,3	1,3-4	4-15	>15
Arsenik (SIS)	<10	10-17	17-28	28-45	>45
Bly (SIS)	<25	25-40	40-65	65-110	>110
Kadmium (SIS)	<0,2	0,2-0,5	0,5-1,2	1,2-3	>3
Kobolt (SIS)	<12	12-20	20-35	35-60	>60
Koppar (SIS)	<15	15-30	30-50	50-80	>80
Krom (SIS)	<40	40-48	48-60	60-72	>72
Kvicksilver (SIS)	<0,04	0,04-0,12	0,12-0,4	0,4-1	>1
Nickel (SIS)	<30	30-45	45-66	66-99	>99
Zink (SIS)	<85	85-128	128-204	204-357	>357

5.3 Metaller

Halterna av "föroreningsmetaller" i undersökningsområdet är generellt sett höga som framgår av Figur 15. I förhållande till Naturvårdsverkets Bedömningsgrunder för miljö kvalitet, Kust och hav, Rapport 4914, hamnar alla "sulfidmetaller" (kadmium, koppar, kvicksilver, bly och zink) samt krom i klass 4, stor avvikelse, eller klass 5, mycket stor avvikelse.

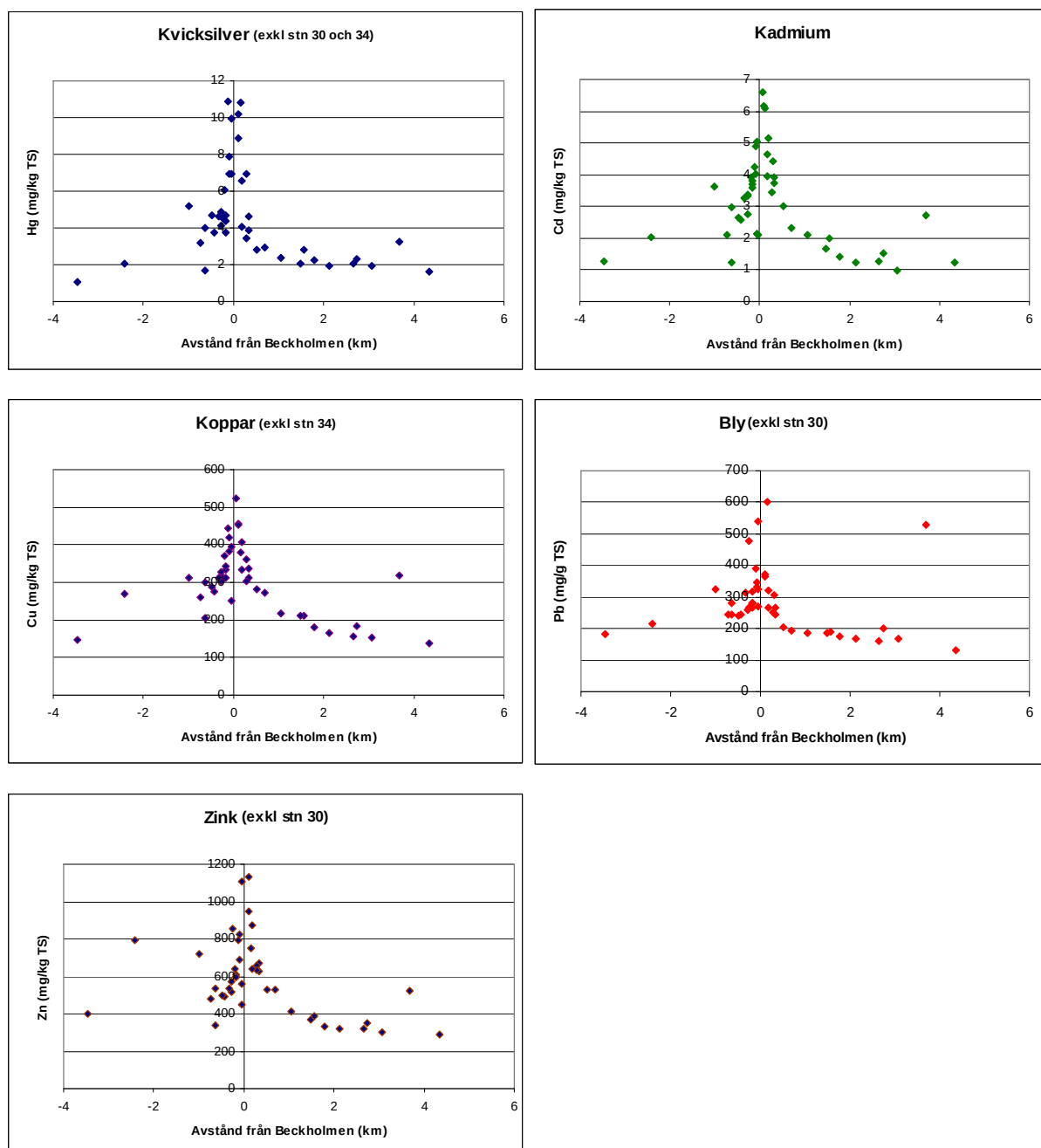
Huvuddelen av arsenik-, nickel- och kobolthalterna hamnar i klass 2-3. Enstaka högre värden förekommer.



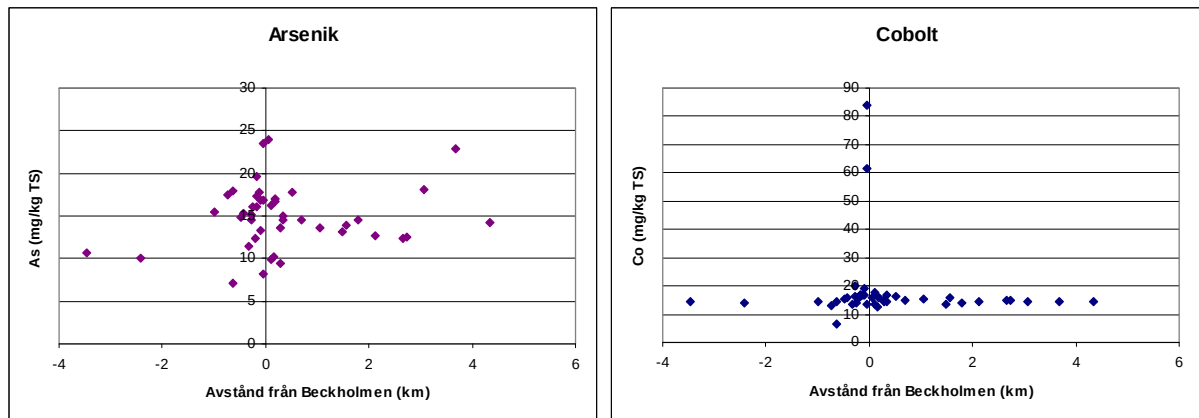
Figur 15. Boxplot-diagram över metallhalter i Saltsjön och SV Lilla Värtan. Denna typ av diagram visar medianvärdet, 10-, 25-, 75- och 90-percentilerna samt extremvärden som avviker mer än 80 % från medianvärdet.

I Figur 16 har ytsedimenthalterna plottats mot avståndet från Beckholmen i ett västligt respektive östligt halvcirkelsegment. Mycket tydliga förhöjningar erhålles in emot Beckholmen för, i rangordning, kvicksilver (6-7 ggr), kadmium (5-6 ggr), koppar (4 ggr), zink (3 ggr) och bly (2,5-3 ggr). Mönstren är mycket likartade och haltförhöjningarna är påtagliga ut till 0,5-1 km från Beckholmen, där halterna planar ut och når lokala bakgrunds nivåer som även de är mycket förhöjda i förhållande till normal bakgrunds nivå i området.

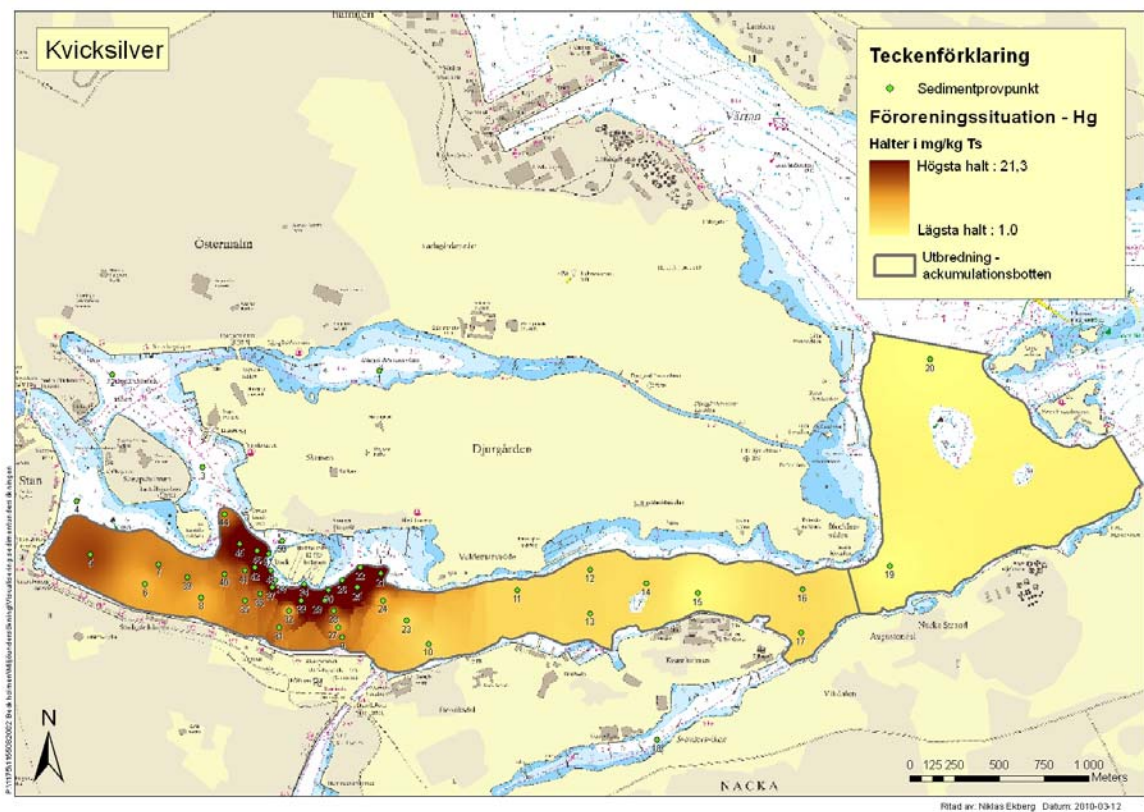
Kobolt visar ingen förhöjning in emot Beckholmen (Fig. 17) så när som på ett par enstaka höga värden i omedelbar närhet av holmen. Dessa punkter (34 och 43) ligger syd-sydväst om Beckholmen i närheten av dockmynningarna. Även nickel har ett likartat mönster med två extremt höga halter på samma stationer. Studier av sammansättningen av blästersand som används av Stockholms Reparationsvarv AB vid blästring av fartygsskrov (Kemakta 2010) visar på höga halter av såväl kobolt som nickel och krom. De enstaka kraftigt förhöjda värdena kobolt och nickel är därför sannolikt kopplade till tillförsel via blästersanden. En viss ökning sker av arsenik i närheten av Beckholmen men bilden är mycket mer diffus än för metallerna i figur 16.



Figur 16. Halter i ytsediment (0-2 cm) av bly kvicksilver, kadmium, koppar, bly och zink i förhållande till avståndet från Beckholmen. Minusvärden på avståndet representerar stationer i den västra halvcirkeln från Beckholmen, plusvärden representerar den östra halvcirkeln. (Station 30 och 34 har av framställningstekniska skäl exkluderats i diagrammen p g a mycket höga halter).

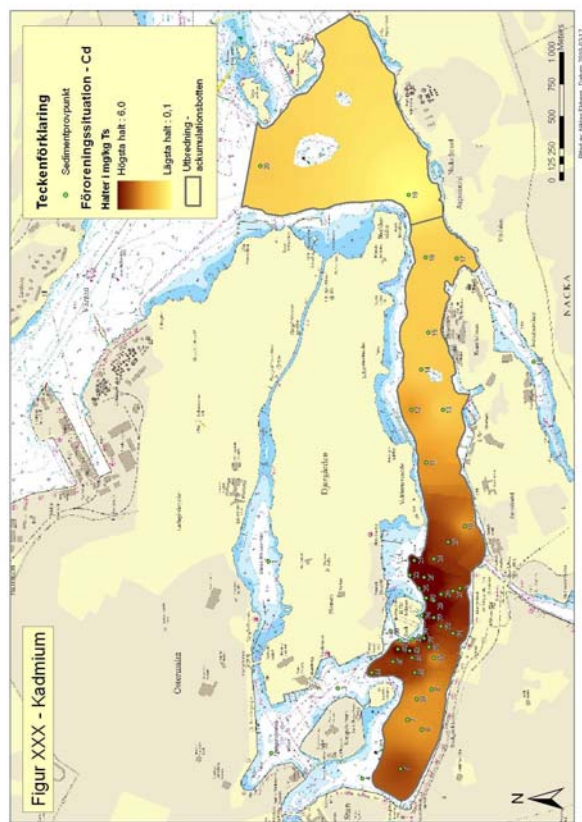
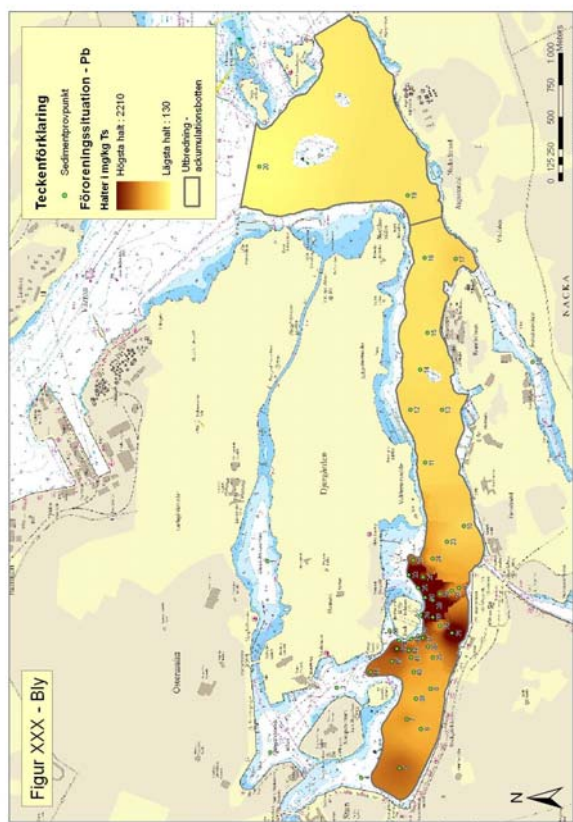
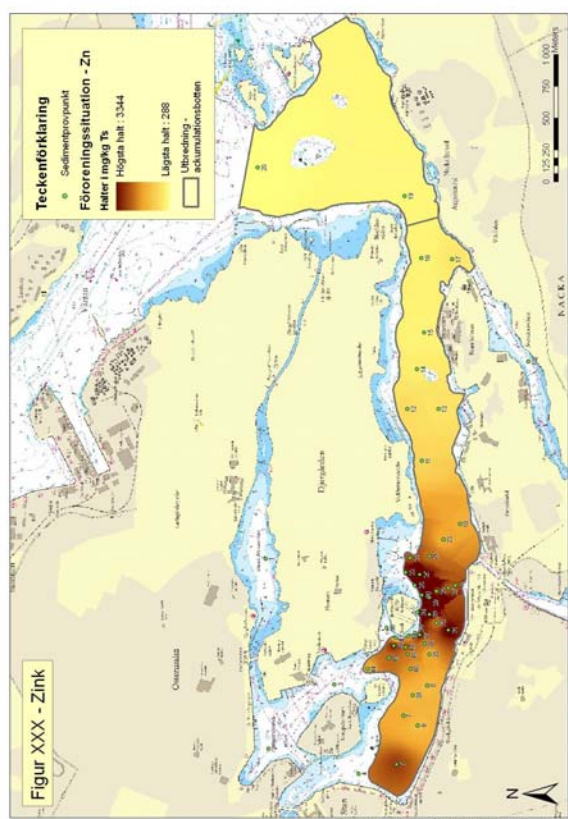
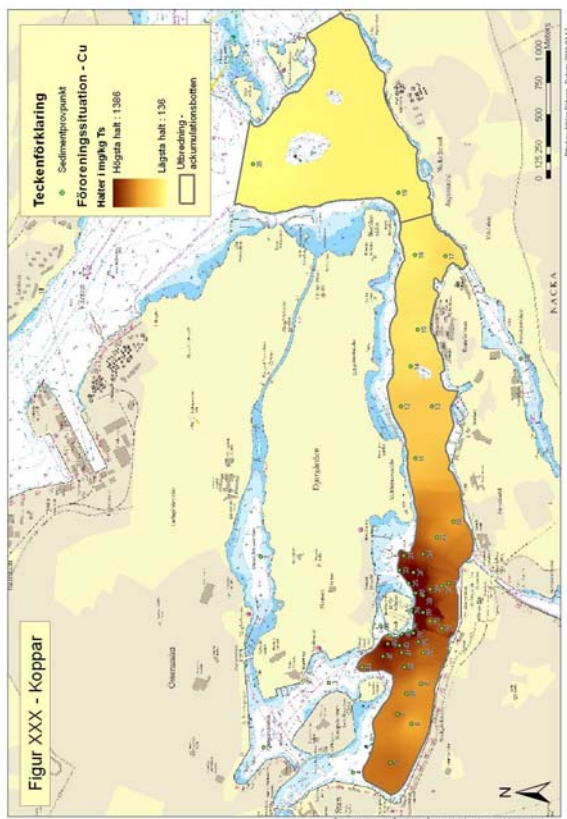


Figur 17. Halter av arsenik och kobolt i förhållande till avståndet från Beckholmen. Minusvärden på avståndet representerar stationer i den västra halvcirkeln från Beckholmen, plusvärden representerar den östra halvcirkeln.



Figur 18. Haltfördelning av kvicksilver i ytsediment (0-2 cm) i undersökningsområdet.

Som mycket tydligt framgår av Fig. 18 är kvicksilverhalterna mycket höga i närheten av Beckholmen och avtar successivt med ökande avstånd ut mot sydvästra Lilla Värtan. Distributionsmönstren för kadmium, koppar, bly och zink är i det närmaste identiska med kvicksilvermönstret.

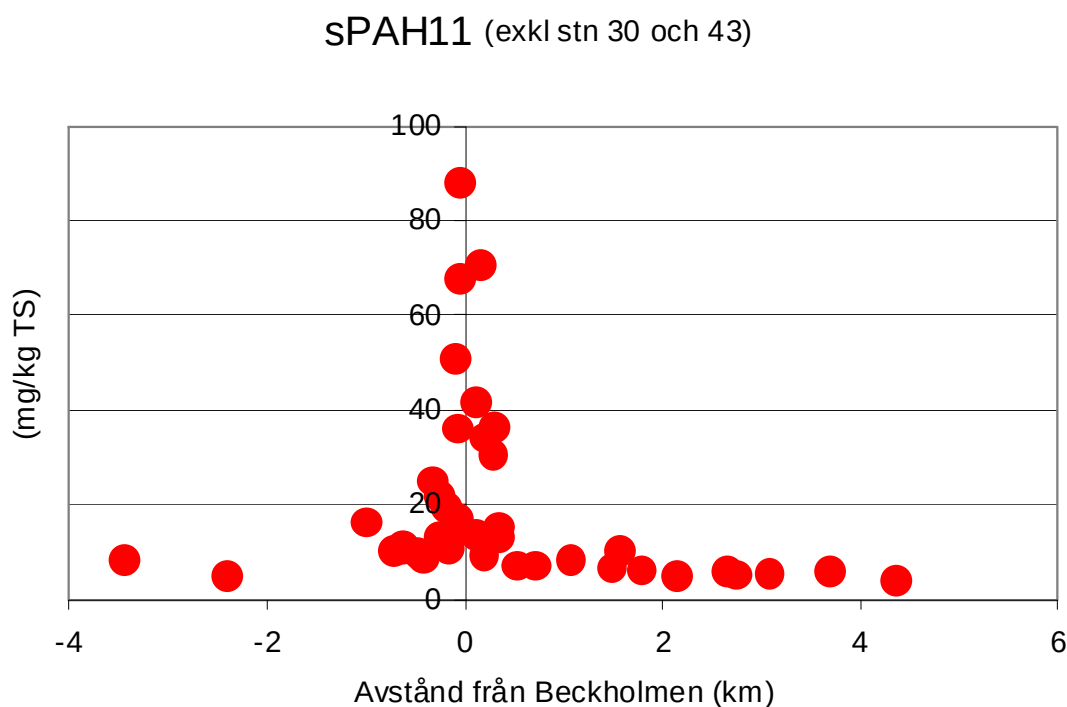


Figur 19. Haltfördelning av kadmium, koppar, bly och zink i ytsediment (0-2 cm) i undersökningsområdet.

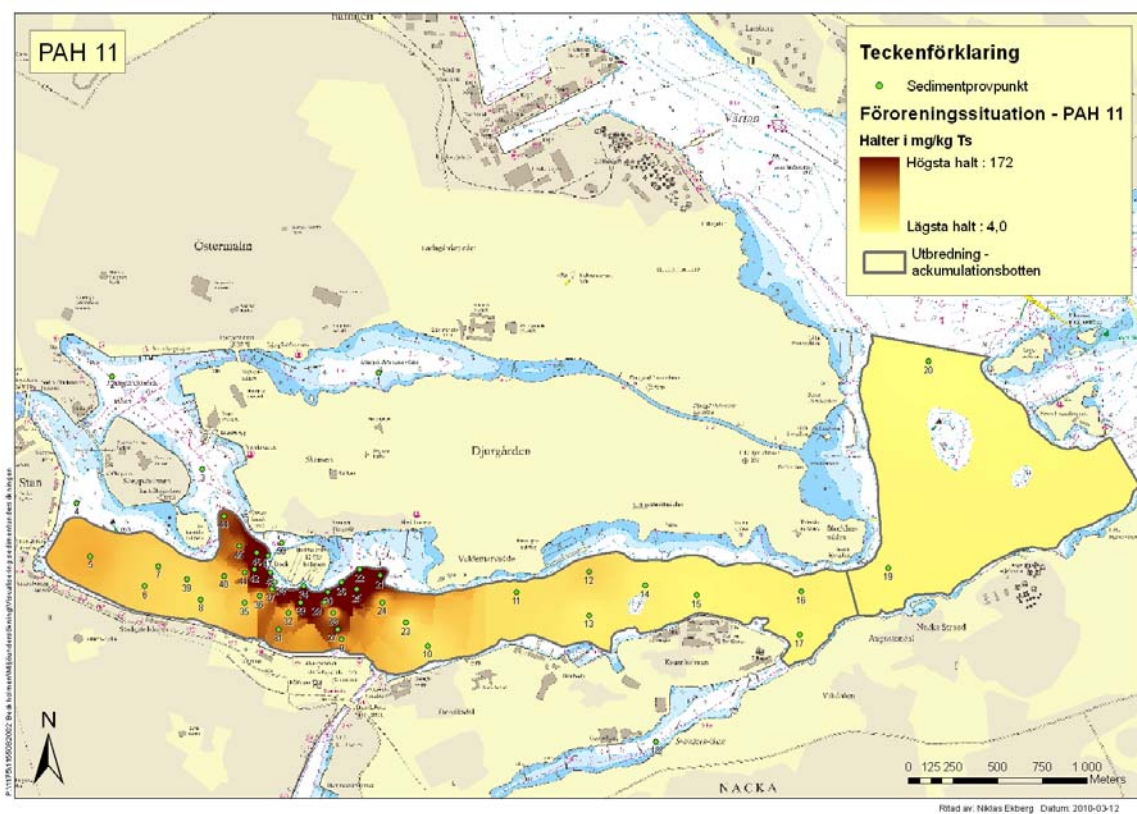
5.4 Organiska föroreningar

5.4.1 Polyaromatiska kolväten – PAH

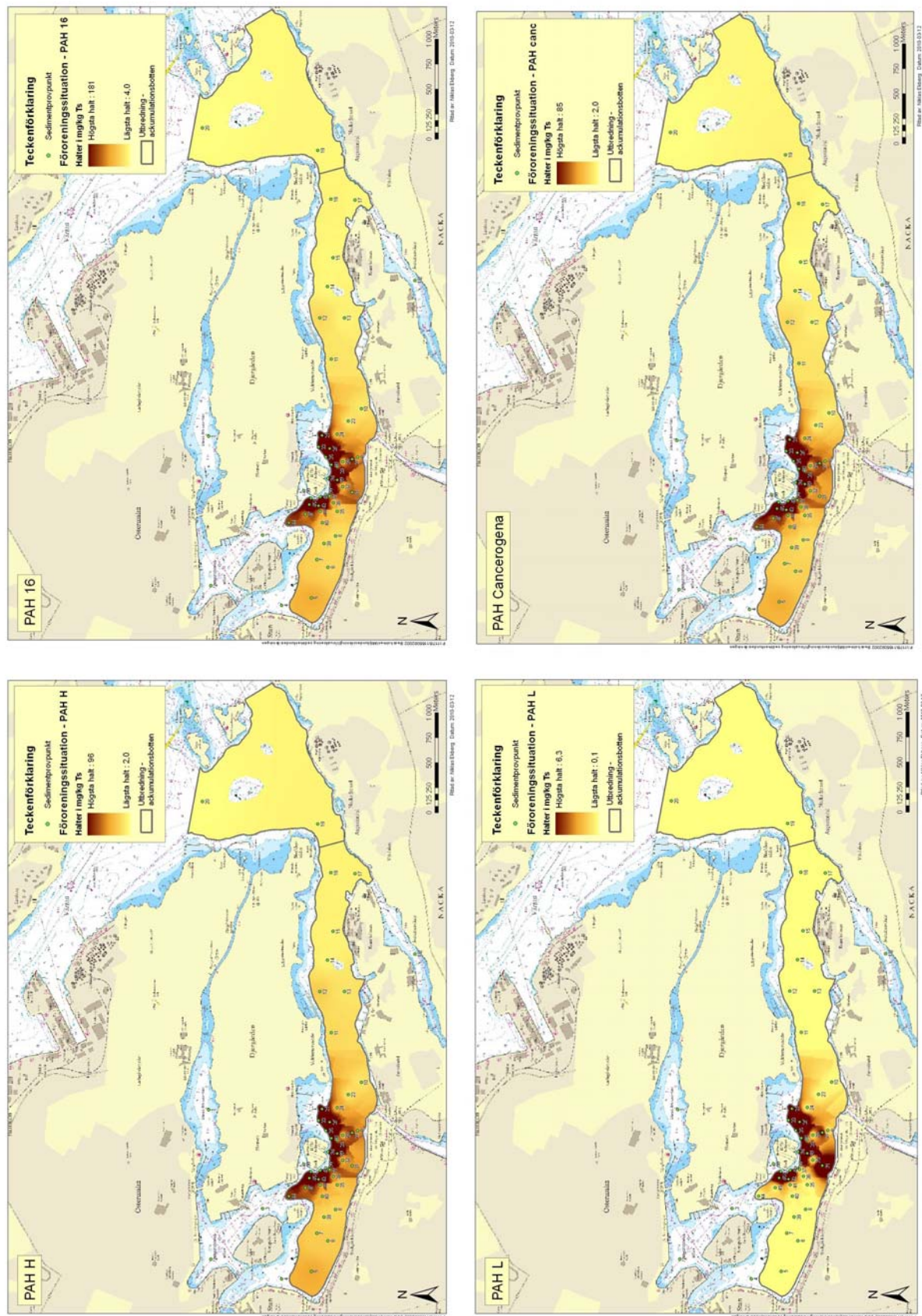
Halterna av sPAH11 är mycket höga i hela området (Fig. 20) och överstiger i alla provtagningspunkter med god marginal 2500 µg/kg TS, som är gränsen mellan klass 4 och 5 i Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för kust och hav. Tillståndet är således att klassificera som mycket dåligt vad gäller polyaromatiska kolväten i hela undersökningsområdet. Det är också mycket tydligt att Beckholmen är den mest betydande källan i området med kraftigt ökande halter i gradienter in mot Beckholmen från alla håll (Fig. 21). Fördelningsbilden är mycket likartad för alla kombinationer av summor på polyaromatiska kolväten (Fig. 22). Även PAH M, som inte redovisas i figuren har ett i det närmaste identiskt fördelningsmönster som PAH H.



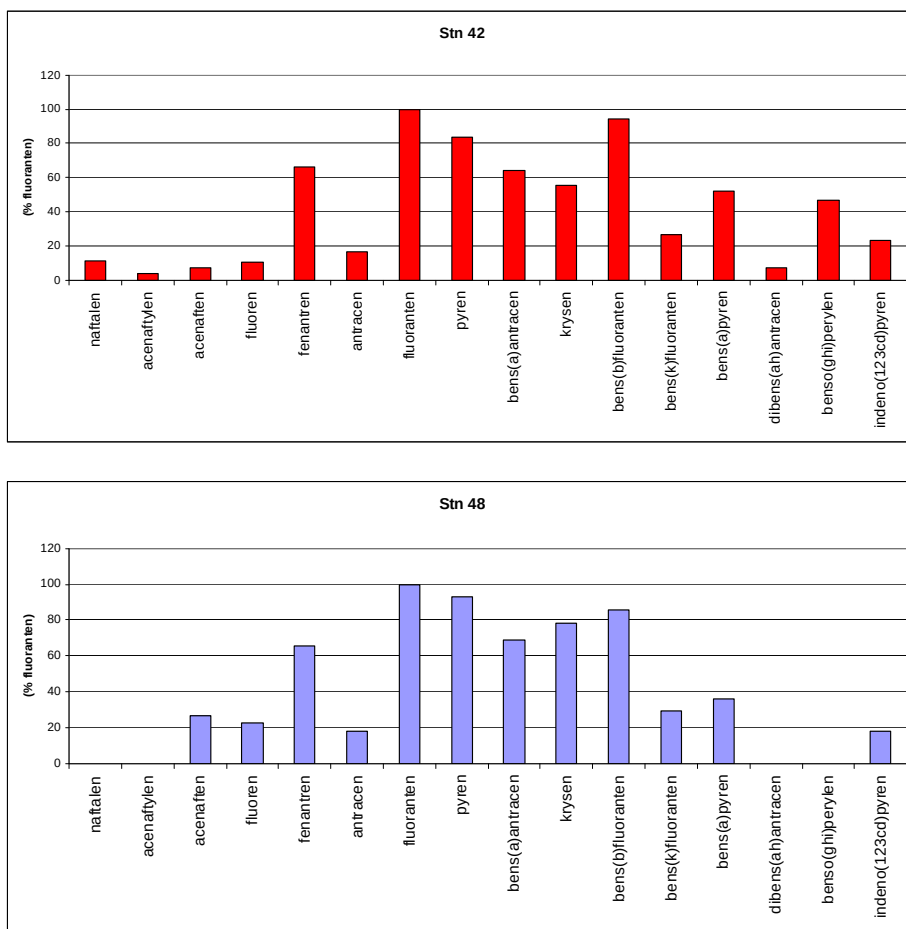
Figur 20. Halter i ytsediment (0-2 cm) av sPAH11 i förhållande till avståndet från Beckholmen. Minusvärden på avståndet representerar stationer i den västra halvcirkeln från Beckholmen, plusvärden representerar den östra halvcirkeln. (Station 30 och 43 har av framställningstekniska skäl exkluderats i diagrammet p g a mycket höga halter, 141 resp 175 mg sPAH11/g TS).



Figur 21. Haltfördelning av sPAH11 i ytsediment (0-2 cm) i undersökningsområdet.



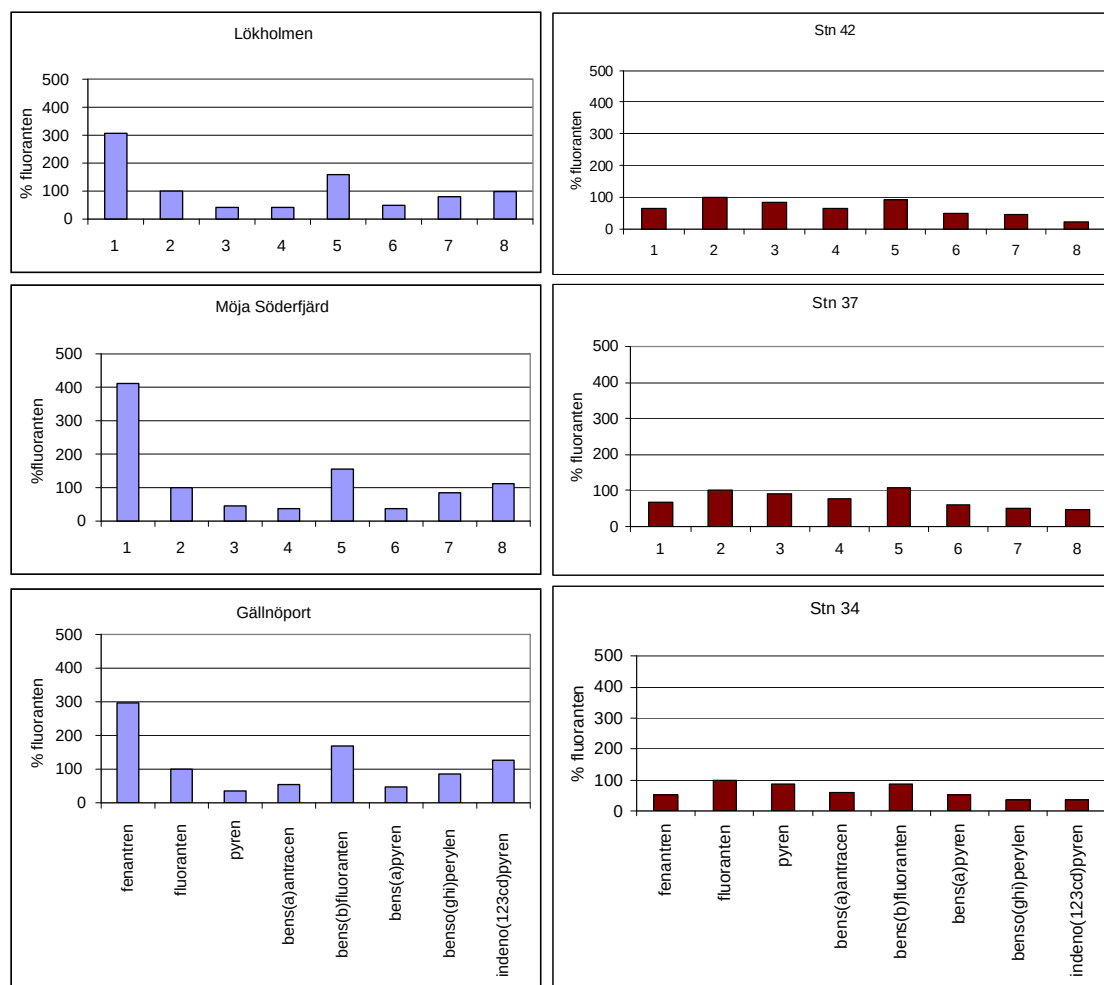
Figur 22. Haltfördelning av sPAH16, sPAH cancerogena, sPAH högmolekylära, sPAH lågmolekylära i ytsediment (0-2 cm) i undersökningsområdet.



Figur 23. Jämförelse av haltmönster för 16 PAH-kongener från Stn 42 nära Beckholmen och Stn 48 på Riddarfjärden. De enskilda kongenerna har uttryckts i % av fluoranten.

En av hypoteserna i denna undersökning var att skilda kongenermönster skulle kunna urskiljas i kärnor från Beckholmenområdet jämfört med längre bort belägna stationer och sådana som inte har direkt vattenförbindelse med Beckholmenområdet. Riddarfjärden har visserligen vattenförbindelse med Saltsjön men vattenståndsskillnaderna mellan Östersjön och Mälaren gör att ingen vattenburen transport kan ske från Beckholmenområdet till Riddarfjärden, vilket dock kan ske i omvänd riktning. Inga säkra tydliga skillnader har noterats mellan mönstren av 16 kongener i en kärna tagen nära Beckholmen (Stn 42) och en kärna från Riddarfjärden (Stn 48) (Fig. 23). Eftersom halterna är mer än fyra gånger högre i Beckholmenkärnan jämfört med Riddarfjärden kan inte PAH-er som transporteras med mälarevatten och som sedimenterar i Saltsjön vara någon större bidragande orsak till utseendet på kongenerfördelningen i sedimenten vid Beckholmen.

Skillnader i kongenermönster finns dock mellan Beckholmenområdet och Stockholms mellan- och yttterskärgård. I Figur 24 har kongenermönstren för fenantren, fluoranten, pyren, bens(a)antracen, bens(b)fluoranten, bens (ghi)perylene och indeno(123cd)pyren sammanställts för skärgårdsgradienten (Hansson et al., 2006) och för tre kraftigt förorenade stationer från denna undersökning. Betydande skillnader i mönster kan noteras och framförallt fenantren och bens(b)fluoranten är relativt sett påtagligt högre i skärgårdsgradienten än i de kraftigt förorenade stationerna nära Beckholmen. Halterna i skärgården är dock i runda tal tre tiopotenser lägre än i närheten av Beckholmen.

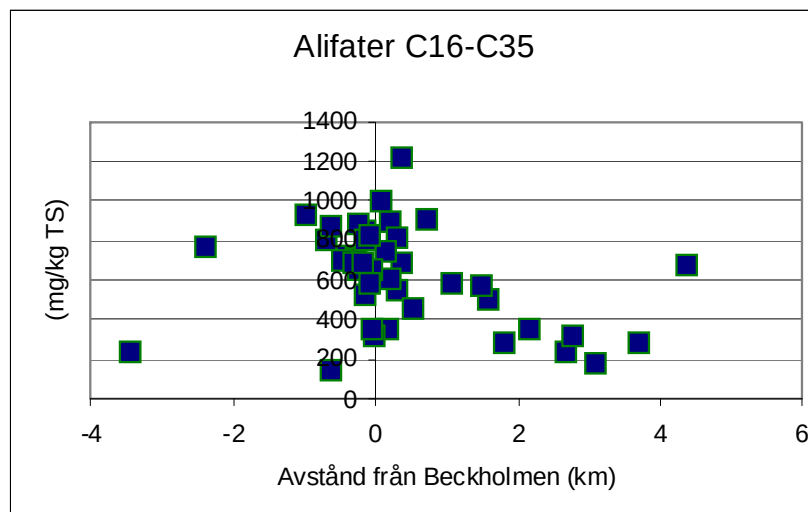


Figur 24. Jämförelse av haltmönster för 8 PAH-kongener i en gradient från ytterskärgård till mellanskärgård (blåa staplar; Lövholmen, Möja Söderfjärd, Gällnöport; Från Hansson et al., 2006) med 3 provtagningsstationer nära Beckholmen (röda staplar; Stn 42, 37 och 34; denna undersökning). De enskilda kongenerna har uttryckts i % av fluoranten.

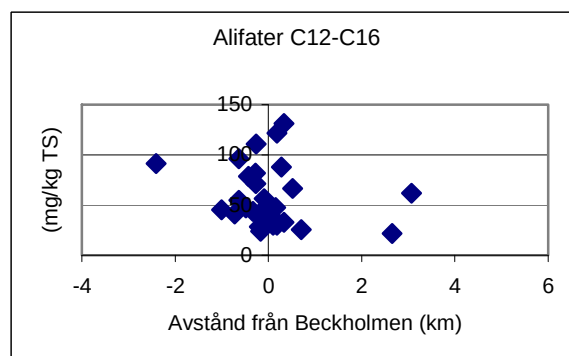
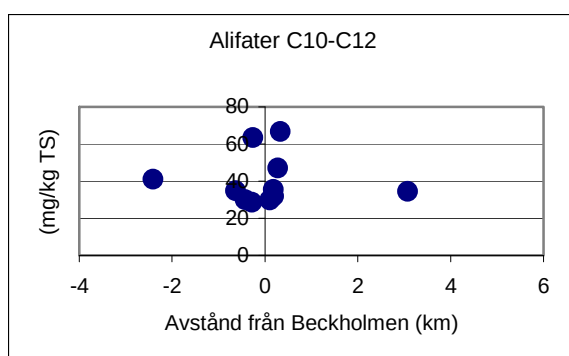
För att med säkerhet kunna beräkna det relativa bidraget från Beckholmen till den lokala/regionala föroreningsnivån vad gäller polyaromatiska kolväten krävs mer ingående studier på ett större antal (främst lågmolekylära) kongener i sediment från Beckholmen, Riddarfjärden, närbelägna sjöar och utanföriggande skärgård. Emellertid kan dock ändå mycket klara slutsatser dras rörande betydelsen av tillförseln av PAH-er från Beckholmen grundat på de tydliga haltgradienterna inemot Beckholmen. Detta belyses mer i detalj i kapitel 6.

5.4.2 Alifater

De alifatiska kolvätena har ett annat distributionsmönster än såväl sulfidmetaller som PAH-er. En förhållandevis tydlig gradient kan iakttagas från Blockhusudden (3 km ost om Beckholmen) inemot Saltsjön och Strömmen beträffande de tyngre alifaterna C16-C35 (Fig. 25). Fördelningen ger dock snarare intrycket av att det är fråga om en allmän förorening i ett hamnområde än ett läckage från Beckholmen. Såväl höga som låga halter återfinns i Beckholmens närhet, vilket förstärker slutsatsen att Beckholmen inte utgör någon dominerande källa vad gäller alifatiska kolväten. Denna slutsats styrks även av fördelningen av de lättare alifatiska kolvätena C10-C12 och C12-C16 (Fig. 26)



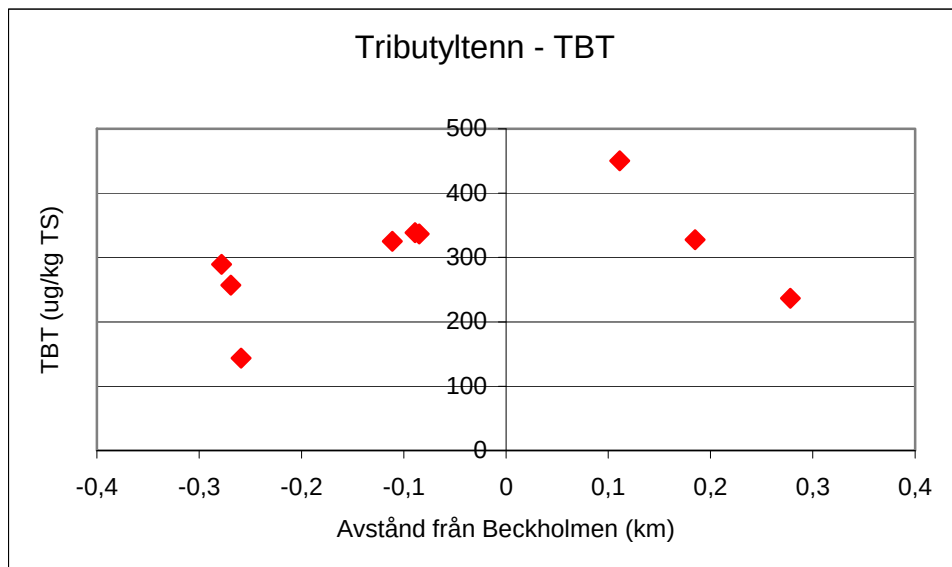
Figur 25. Halter i ytsediment (0-2 cm) av alifater C16-C35 i förhållande till avståndet från Beckholmen. Minusvärden på avståndet representerar stationer i den västra halvcirkeln från Beckholmen, plusvärden representerar den östra halvcirkeln.



Figur 26. Halter i ytsediment (0-2 cm) av alifater C10-C12 och C12-C16 i förhållande till avståndet från Beckholmen. Minusvärden på avståndet representerar stationer i den västra halvcirkeln från Beckholmen, plusvärden representerar den östra halvcirkeln.

5.4.3 Organiska tennföreningar

Analyser av tennorganiska föreningar har gjorts på 9 stationer i närheten av Beckholmen. Halterna av TBT (Fig. 27) varierar mellan 143 och 450 mg/kg TS. Som framgår av Tabell 5 är dessa halter inte anmärkningsvärt höga i jämförelse med vad man finner i många andra hamnområden och marinor längs den svenska kusten. En antydan finns till gradient in emot Beckholmen. Avståndet är dock kort och halterna är inte i närheten av de höga halter som redovisats för andra hamnområden av liknande storlek (Jfr Tab. 6).



Figur 27. Halter i ytsediment (0-2 cm) av tributyltenn - TBT i förhållande till avståndet från Beckholmen. Minusvärden på avståndet representerar stationer i den västra halvcirkeln från Beckholmen, plusvärden representerar den östra halvcirkeln.

Tabell 6. Koncentrationen av tributyltenn (TBT) i ytsediment från olika svenska och utländska kustområden, hamnar och marinor. Om annat inte anges är data från Cato (2003, samt opubl.).

Område	Antal prov	TBT (µg/kg) TS	Referens
Bohuskusten, Skagerrak	21	1 -86	
Hallandskusten, Kattegat	11	<1 - 11	
Öresund		5 -14	OSPAR/MON, 2001
Sydkusten, SW Östersjön	10	<1 - 25	
Öppet hav svensk EEZ	16	<1 - 110	
Smålandskusten	2	39 - 78	
Sörmlands skärgård	11	4 - 40	
Stockholms skärgård	42	<1 - 99	
Rönnängs marina	1	69	Jacobsen, 1998
Dyröns marina	1	150	
Åstols marina	1	350	
Björlanda Kile marina	2	1 700	
Strömstads marinor	3	170 - 400	
Grebbestads marina	1	820	
6 st marinor i Stockholm	6	380 – 4 300	
Oxelösunds marina	1	8 100	
Berga örlogsbas	4	<1-76	
Muskö örlogsbas	1	20 - 220	
Glommens fiskehamn	1	22	
Oxelösunds fiskehamn	1	130 – 2 000	
Scanraffs produkthamn, Brofjorden	2	160 - 230	
Göteborgs hamnar	6	540 – 6 400	
Uddevalla hamn, Byfjorden	1	550	
Studseröds varv, Saltkällefjorden	1	1 000	
Trelleborgs hamn	1	1 400	
Falkenbergs hamn	5	39 - 2600	
Helsingborgs hamn	4	74 - 120	
Simrishamns hamn	1	2 400	
Norrtälje hamn	2	130 - 1300	
Hälleviks hamn	1	730 - 1800	
Skelleftehamn	1	320	
Umeå hamn (Hörnefors)	1	42	
Karlsborgs hamn	1	72	
Rotterdam hamn		50 - 70	OSPAR / COM, 2000
Western Scheldt, Holland		3,6 - 46	OSPAR / COM, 2000
Belgiens kust		- 81	OSPAR / COM, 2000
Open Nordsjön		<1 - 2	Thomas et al., 2000
Irländska sjön		<1 - 2	Thomas et al., 2000
Norges, kust and hamnar		10 – 1 000	OSPAR / COM, 2000
Southamptons estuarie		50 - 540	Thomas et al., 2000
Southamptons marinor		50 – 5 800	Thomas et al., 2000

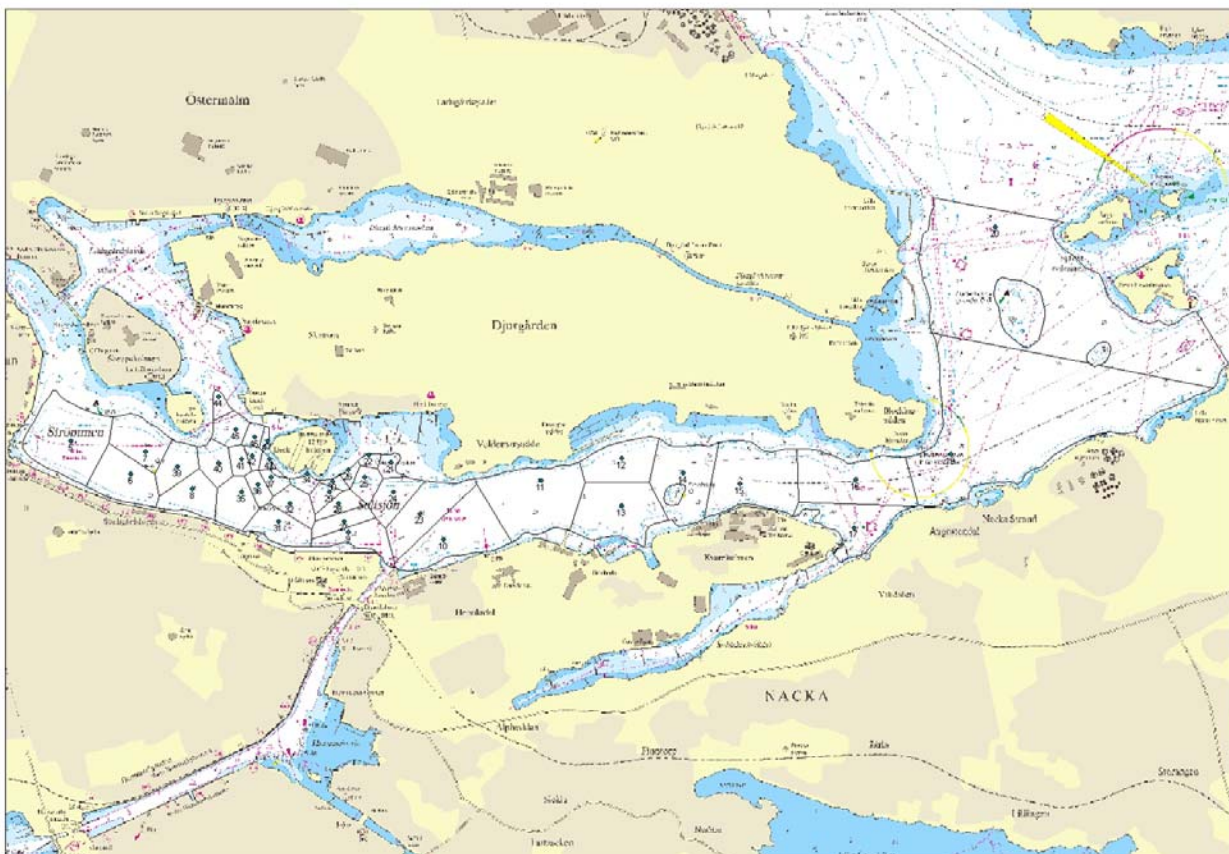
6 DEPOSITION AV FÖRORENINGAR I SEDIMENT

6.1 Värdering av insamlade sedimentdata

För att fastläggningen av olika föroreningar i sedimenten skall kunna fastställas med god precision krävs att följande viktiga kriterier är uppfyllda:

- Analyser av grundläggande sedimentparametrar samt föroreningar skall ha gjorts med hög precision.
- Endast säkra ackumulationsbottnar för finsediment skall ha använts i depositionsberäkningen.
- Mätpunkternas fördelning skall ha en god fördelning inom undersökningsområdet och skall härigenom kunna fånga upp haltvariationer som beror på enskilda punktkällor.
- Tillförlitliga data skall finnas på bestämningen av torrsubstansdepositionen ($\text{g/m}^2/\text{år}$) i varje enskild mätpunkt.
- Gränsdragningen mellan vilka områden de enskilda provtagningspunkterna representerar skall ha genomförts på ett stringent sätt.

Vi kan konstatera att alla dessa kriterier är uppfyllda. Analysdata är kvalitetssäkrade och i tveksamma fall förkastade. Utifrån grundläggande sedimentparametrar och fotografisk dokumentation har erosions- och transportbottnar kunnat sorteras bort inför depositionsbestämningarna. Mätpunkternas fördelning har lett till att Beckholmen som källa för flera av de undersökta föroreningsparametrarna har kunnat ringas in. Det finns heller ingen anledning att misstänka att nätet varit så glest att en potentiellt stor källa har kunnat undgå upptäckt. Tack vare förekomsten av laminering i de flesta av de analyserade kärnorna samt kompletterande datering med Cs-137 har mycket säkra data på TS-depositionen erhållits i de allra flesta av provtagningsstationerna. Signifikant mycket bättre data på depositionen är inte möjligt att åstadkomma med mindre än att en mycket stor provtagningsinsats genomförs. Objektiv datorstödd gränsdragning mellan provtagningspunkterna har resulterat i att en hög representativitet för varje enskilt analysresultat har erhållits. Gränsdragningen redovisas i Figur 28.



Figur 28. Ackumulationsbottenarean (djup > 12,5 m) i undersökningsområdet och redovisning av vilka areor de olika sedimentproverna representerar. Gränsdragningen mellan areorna har gjorts med hjälp av FME, verktyg för bearbetning av spatiala data samt ArcGIS, GIS-produkt för visning och editering av spatiala data.

6.2 Tillförsel från kommunala reningsverk

En potentiellt stor källa av föroreningar i undersökningsområdet utgörs av utsläppen från Henriksdals och Bromma kommunala reningsverk. Utsläppen sker i Saltsjön mellan Kastellholmen och Waldemarsudde på 25-30 meters djup och i Tabell 7 redovisas utsläppsdata för några intressanta parametrar i sammanhanget. Utsläppsmängderna till vatten är måttliga från reningsverken. Huvuddelen av föroreningarna som tillförs reningsverken med avloppsvattnet avskiljs i anläggningarna och hamnar i slam.

Tabell 7. Utsläpp av några relevanta föroreningsparametrar till Saltsjön från Bromma och Henriksdals reningsverk 2008 (Pettersson och Wahlberg, 2010).

Ämne	Utsläpp till Saltsjön kg/år
Kvikksilver	0,4
Kadmium	0,67
Koppar	311
Bly	8,2
Zink	1740
sPAH7	< 5
sPAH4	<1,5

6.3 Tillförsel från Mälaren

Saltsjön tillförs mycket av sitt vatten från Mälaren. Detta medför också en i vissa fall betydande tillförsel av metaller. I Tabell 8 redovisas den genomsnittliga tillförseln av kvicksilver, kadmium, koppar, bly och zink. För samtliga metaller är tillförseln via Norrström mycket större än från reningsverken.

Tabell 8. Uttransport av metaller från Mälaren vid Centralbron. Medelvärden för 2004-2008.
(Källa: Anon., 2010)

Ämne	Tillförsel från Mälaren kg/år
Kvicksilver	5,4
Kadmium	39
Koppar	20200
Bly	1960
Zink	17600

6.4 Tillförsel från Beckholmen

För att beräkna mängderna av föroreningar som läcker ut från Beckholmen till Saltsjön har vi använt oss av följande tillvägagångssätt:

- Beräkning av den totala torrsubstansdepositionen på ackumulationsbottnar i undersökningsområdet.
- Uppskattning av områdets lokala bakgrundsnivå för de olika föroreningarna utifrån haltdiagram i relation till avståndet från Beckholmen.
- Beräkning av överdepositionen i närheten av Beckholmen i förhållande till områdets lokala bakgrundsnivå genom subtraktion av den lokala bakgrundsdepositionen från den totala depositionen i området.

I Tabell 9 har torrsubstansdepositionen beräknats per stationsarea som bygger på areauppskattningar enligt Figur 28. Depositionen av olika föroreningar har sedan beräknats utifrån de enskilda provtagningsstationerna uppmätta föroreningshalter (i mg/kg TS) i relation till torrsubstansdepositionen per stationsarea. Den totala depositionen av föroreningar har sedan beräknats som summan av depositionerna per stationsarea.

Tabell 9. Beräkning av TS-deposition per stationsarea och total TS-deposition för A-bottnar i undersökningsområdet.

Station	TS-deposition (g/m ² A-bottenarea/år)	Area (m ²)	TS- dep/stationsarea (ton/år)
5	1923	133588	257
6	3550	69972	248
7	1918	58113	111
8	2827	47453	134
9	4055	42989	174
10	2837	115148	327
11	2157	146832	317
12	1509	70553	106
13	5911	113655	672
14	1758	100274	176
15	5170	140805	728
17	5043	80512	406
19	3837	651966	2501
20	1611	676485	1090
21	1969	11472	23
23	4065	79714	324
24	2667	39332	105
25	1857	20007	37
27	2046	24563	50
28	3064	18516	57
29	2360	13629	32
31	5246	44503	233
32	2338	28393	66
35	3946	43332	171
36	1958	15324	30
37	1994	12345	25
39	1633	38028	62
40	1502	30343	46
41	2422	13499	33
42	1818	8132	15
44	2011	9509	19
45	2341	24502	57
46	1838	10094	19

Total area: 2,93 km²
 Total deposition: 8652 ton/år

Den uppskattade lokala bakgrundsnivån har sammanställts och totaldeposition och mängd föroreningar som säkert härrör från Beckholmen har beräknats (Tabell 10). Eftersom ingen annan påtaglig föroreningskälla har kunnat detekteras genom haltförhöjningar i undersökningsområdet antas överdepositionen helt bero på utläckage från Beckholmen. Anledningen till att man kan uttrycka tillförseln från Beckholmen som "Mängd som säkert härrör från Beckholmen" är att den lokala bakgrunden snarare överskattats än underskattats. Vidare har beräkningen grundats enbart på den överdeposition av föroreningar som har beräknats i Beckholmens omedelbara närhet. Sannolikheten är stor att det relativa bidraget är större eftersom vi i denna beräkning inte inkluderat föroreningar som transporterats längre bort från Beckholmen och som har lett till en i ett lokalt/regionalt perspektiv ökad bakgrundshalt i området.

Tabell 10. Uppskattning av Beckholmens andel av föroreningsituationen i Saltsjön och södra Lilla Värtan

Ämne	Lokal bakgrundshalt (mg/kg TS)	Total dep. i området (kg/år)	Mängd som säkert härör från Beckholmen (kg/år)	(% av tot. dep.)
Kvicksilver	2	22,8	6,1	27
Kadmium	1,5	16	4,8	30
Koppar	150	1800	513	29
Bly	150	1730	435	25
Zink	300	3540	946	27
sPAH16	5	71	28	39

Som redovisats tidigare förs en betydande mängd metaller via Norrström till Saltsjön. I tabell 11 har dessa data kompilerats med tillförseldata från reningsverk och från Beckholmen. För alla metaller utom kvicksilver och i viss mån bly är tillförseln från Mälaren avsevärt större än den totala årliga fastläggningen i områdets sediment.

Tabell 11. Den totala depositionen av kvicksilver, kadmium, koppar, bly och zink och bidragen från kända källor i området.

Ämne	Total deposition i området (kg/år)	Från Beckholmen (kg/år)	Från Mälaren (kg/år)	Från reningsverk (kg/år)
Kvicksilver	22,8	6,1	5,4	0,4
Kadmium	16	4,8	39	0,67
Koppar	1800	513	20200	311
Bly	1730	435	1960	8,2
Zink	3540	946	17600	1740

I tabellen saknas även tillförseln från utanförliggande skärgård, andra lokala källor och den atmosfäriska depositionen. Om man på traditionellt sätt, med hänsyn tagen även till tillförseln från skärgården och atmosfären, skulle försöka upprätta en materialbalans för området utifrån uppmätt och beräknad tillförsel skulle betydelsen av tillförseln från Beckholmen få en underordnad roll utom måhända för kvicksilver beroende hur stora de okända tillskotten är. I detta fall kan dock en traditionell materialbalans leda till ett felaktigt slutsatsdragande. De föroreningar som tillförs t.ex. från skärgården har mycket låga halter men tack vare de stora transportvolymerna blir även denna tillförsel stor. Det är dock helt klart att det mesta som tillförs med låga halter från Mälaren, skärgården och från atmosfären passerar igenom området utan att sedimentera i undersökningsområdet.

Beräkningen av hur mycket av sedimentföroreningen som Beckholmen bidrar med (Tabell 10) är emellertid uppbyggd på empiriskt uppmätta haltgradienter in emot Beckholmen. Ursprunget för tillskotten är med all rimlig säkerhet Beckholmen. Utan dessa gradienter hade det inte varit möjligt

att beräkna Beckholmens bidrag. Tack vare de extremt tydliga haltökningarna inemot Beckholmen råder det ingen som helst tvekan om varifrån en stor del av föroreningarna härstammar.

En jämförelse mellan den beräknade tillförseln från de kommunala reningsverken och tillförseln från Beckholmen visar att för alla de studerade föroreningarna dominerar tillförseln från Beckholmen stort utom för zink, där tillförseln från reningsverken är av storleksordningen hälften av tillförseln som säkert härrör från Beckholmen. För övriga metaller dominerar tillförseln från Beckholmen med en faktor 210 för bly, 57 för kvicksilver, 24 för kadmium och koppar med en faktor 6. Tillförseln av polyaromatiska kolväten är inte direkt jämförbar, eftersom olika kongener ingår i sPAH. I närheten av Beckholmen utgör sPAH4 (som redovisas i utsläppen från reningsverken; jfr Tabell 7) 25-50 % av sPAH16. Detta innebär dock att tillförseln av dessa PAH-er är minst en faktor 10 högre från Beckholmen än från reningsverken.

Bidraget från Beckholmen till föroreningen av Saltsjön kan vara ännu större än vad resultaten från gradientstudien visar. Detta gäller särskilt för kvicksilver där Beckholmen även med hänsyn tagen till tillförsel från Mälaren är en dominerande källa. Som framgår av resultaten från andra undersökningar, som sträcker sig längre ut i skärgården än denna undersökning, sker ett successivt haltavtagande utåt från Lilla Värtan där halterna ligger på 1,68 mg/kg TS $\pm$ 0.51 (n=21). Om man istället för att sätta områdesbakgrunden till 2 mg/kg TS, som vi gjort i tidigare beräkningar, antar att den är 1 mg/kg TS blir bidraget från Beckholmen 14 kg/år att jämföras med den totala områdesdepositionen på 22,8 kg/år, d v s drygt 61 %. Om man vidare tar med i beräkningen att en betydande del av läckaget från Beckholmen är i löst form eller kopplat till fina partiklar är det tänkbart att den relativa betydelsen kan vara ännu större.

Slutsatser

- Beckholmen bidrar med minst **25-30 %** av områdets metallförorening
- Beckholmen bidrar med minst **40 %** av områdets sPAH16-förorening
- Alifaterna kommer huvudsakligen från diffus förorening av undersökningsområdet
- Slutsatserna bygger på säkert uppmätta gradienter inemot Beckholmen
- Normalt deponeras endast en liten del av ett föroreningsutsläpp i sedimenten inom en kilometers radie från ett utsläpp
- De troliga tillskotten från Beckholmen är därför sannolikt avsevärt större, dvs Beckholmen bidrar till förhöjda bakgrundshalter i ett större område
- För att uppskatta de verkliga relativa bidragen från Beckholmen bör även eventuella källor i Lilla Värtan-området karteras

Sollenkroka den 9 juli 2010

Per Jonsson

JP Sedimentkonsult HB

REFERENSER

- Anderson, R.Y. and Dean, W., 1988. Lacustrine varve formation through time. *Paleogeography, paleoclimatology, Paleocology*, 62 (1988):215-235.
- Anonymous, 1999. Bedömningsgrunder för miljö kvalitet. Kust och hav. Naturvårdsverket Rapport 4914. ISBN 91-620-4914-3, ISSN 0282-7298. 134 sid.
- Anonymous, 2005. Huvudstudie - Beckholmen. Statens Fastighetsverk Dnr: 223-1733/98.
- Anonymous, 2002. Metaller i stad och land. Miljöproblem och åtgärdsstrategier. Naturvårdsverket Rapport 5184. ISBN 91-620-5184-9, ISSN 0282-7298. 31 sid.
- Anonymous, 2010. Undersökningar i Stockholms skärgård 2009. Stockholm Vatten AB, 2010-03-27, Dnr 10SWV299, Stockholm, 218 sid.
- 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.
- 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.
- Cato, I., 2003. Organotin compounds in Swedish sediments - an overlooked environmental problem. FoU-seminarium vid SGU 11-12 mars 2003, Dokumentation. Geological Survey of Sweden, SGU-rapport 2003:4, s 6-8.
- Eckhéll, 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.
- Hansson, T., Schiedek, D., Lehtonen, K. K., Vuorinen, P. J., Liewenborg, B., Noaksson, E., Tjärnlund, U., Hanson, M. & Balk, L., 2006. Biochemical biomarkers in adult female perch (*Perca fluviatilis*) in a chronically polluted gradient in the Stockholm recipient (Sweden). *Marine Pollution Bulletin*, 53:451-468.
- 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, 24-28.
- Håkanson, L. and Jansson, M., 1983. *Principles of lake sedimentology*. Springer-Verlag, Berlin, 316 p.
- Jonsson, A., 2000. The trace of metals - Use, emissions and sediment load of urban heavy metals (PhD Thesis). Linköping University, Linköping studies in art and science 221.

- 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., Eckhéll, 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, Per, ITM, Stockholms universitet. Opublicerat material
- Jonsson, P. (Red.), Persson, J. och Holmberg, P., 2003. Skärgårdens bottenar. Naturvårdsverket Rapport 5212, Stockholm, ISBN 91-620-5212-8, ISSN 0282-7298, 112 sid. English summary.
- Karlsson, M. och Elving, H., 2009. Kvicksilver i sediment och fisk från Stockholms skärgård. IVL Svenska Miljöinstitutet AB Rapport B1890, 17 sid.
- Morris, R.J., Niemi, J., Niemistö, L. and Poutanen, E., 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.
- 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.
- Pettersson, M och Wahlberg, C., 2010 Övervakning av prioriterade ämnen i vatten och slam från avloppsreningsverk i Stockholm. Svenskt Vatten AB, Stockholm, 56 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.
- Sveriges Geologiska Undersökning. Karteringsunderlag från kartering av Saltsjön, Stockholm 1998.
- Wallin, M and Öster, O., 1986. Sedimentologisk undersökning av några fjordar norr om Orust. Uppsala University, Department of physical geography (Uppsala), 78 p (Mimeo, in Swedish).
- Östlund, P., Sternbeck, J. och Brorström-Lundén, E., 1998. Metaller, PAH, PCB och totalkolväten i sediment runt Stockholm - flöden och halter. IVL Rapport B 1297. 157 sid.

APPENDIX 1

Allmän introduktion till skärgårdens sedimentförhållanden

1 Bottentyper

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 bottentyper (=bottendynamiska förhållanden) utgår man normalt från det mest lättrörliga 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 bottentyper använts (Håkanson and Jansson, 1983):

- **Ackumulationsbottnar** (A-bottnar) 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.

Erosionsbottnar

De flesta sedimentparametrar uppvisar samma mönster om man jämför de tre bottentyperna: 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.

Ackumulationsbottnar

Ackumulationsbottnarna däremot består av finmaterial som lera och lergyttja och har höga vattenhalter. Ibland kan gränsen mellan sediment och vatten vara svår att avgöra på 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. Hög 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 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

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.

2 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 kopplat till dessa metaller 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 ändrat innehåll av lipider (fetter) 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 anuell (Morris et al., 1988; Jonsson, 1992; Persson and Jonsson, 2000; Eckhéll et al., 2000), har utnyttjats för översiktlig beräkning av depositionen av torrsustans, 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 sedimentterande 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 (Jonsson, Red., 2003) 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.

APPENDIX 2

Material och metoder

1. Sedimentprovtagare

Gemini

Gemini-hämtaren (Fig. 1), 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 mjukbotten, 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 sedimentkärnornas 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 sedimentkärnor samtidigt. Därmed kan en kärna snittas direkt i fält och den andra kan tas med hem till laboratoriet och användas för beskrivning av lagerföljder etc.



Figur 1. Gemini-hämtaren laddad och redo för hugg.

Ponar

För ytsedimentprovtagning på E- och T-bottnar nära Beckholmen användes den välbeprövade och för ytsedimentprovtagning ofta utnyttjade Ponarhämtaren (Fig. 2). Den har en enkel och funktionellt tillförlitlig konstruktion. Löstagbara vikter gör att den kan användas på såväl mjuka som hårda bottnar. Denna provtagare användes främst på de något hårdare bottarna i anslutning till kajbyggnationerna.

Hämtaren medger fri vattenpassage under nedfirning. När den nått botten och draget i vajern upphör frisläpps låsmekanismen varvid hämtaren stänger när uppfirning påbörjas. Stor vikt lades vid att kontrollera att hämtaren inte var toppfylld, vilket kan medföra att delar av ytsedimentet gått förlorat. I förekommande fall gjorde provtagningen om. Från ponarhämtaren uttogs prov som representerar de översta 0-2 cm av sedimentet.



Figur 2. Ponar-hämtaren laddad och redo för hugg.

Med Geminihämtaren erhålles två parallella kärnor i samma hugg. En kärna snittades direkt ombord och prov uttogs på de översta 2 centimeterna (Fig. 3). Proven lades på plastburkar och förvarades i kylskåp i väntan på analys. Den andra kärnan förvarades svalt ombord och transporterades efter provtagningen till kylrum och förvarades i + 4° C i avvaktan på dokumentation och provuttag för cesiumdatering, bestämning av vattenhalt och glödningsförlust.



Figur 3. Snittning och provuttag av de översta 2 centimetrarna.

2. Dokumentation av sedimentkärnor

För att undvika att löst sediment rann ut i samband med utskjutningen placerades sedimentkärnorna avsedda för dokumentation i frysbox i ca 2 timmar så att de yttersta 3-4 mm frös till. Efter en snabb spolning med varmt vatten pressades sedimentkärnan ut ur röret med en utskjutare. Ett tunt isskikt både på ytsedimentet och på sidorna hindrade härigenom utflytning av löst sediment. Efter utskjutning av kärnan klövs den på mitten och de båda kärnhelvorna placerades i två rännen. De två halvorna fotograferades med digitalkamera. Bilderna överfördes sedan till dator för vidare bildanalys. I datorn analyserades kärnorna noggrant med avseende på bl a laminering, varvantal, varvtjocklek, färg och struktur.

Prover uttogs från den snittade sedimentkärnan.

3. Bottendynamisk karta

Utifrån resultaten från SGU:s karteringar med sedimentekolod och side-scan sonar, samt sedimentanalyserna framställdes en bottendynamisk karta över undersökningsområdet. På kartan har vi skiljt mellan två typer av bottenar, nämligen ackumulationsbottenar och erosions-/transportbottenar.

4. Analyser

Vattenhalt

En känd mängd sediment torkades i 105 °C i drygt 12 timmar. Proverna fick sedan svalna till rumstemperatur i exsickator och vägdes därefter på analysvåg. Vattenhalten beräknades sedan enligt:

$$W = \frac{\text{total våtvikt} - \text{torrvikt}}{\text{total våtvikt}} * 100 (\%)$$

Glödningsförlust

Glödningsförlusten (LOI, *loss on ignition*) kan anses motsvara den organiska substansen om man bortser från oorganiska förluster som kan orsakas av spjälkning av karbonater och avgång av kristallvatten. I Östersjösediment med hög vattenhalt är dessa faktorer försumbara. De torkade proven som vägts för vattenhaltsbestämningen glödgades vid 550 °C i två timmar varvid det organiska materialet förbrändes. Proverna fick sedan svalna till rumstemperatur i exsickator och vägdes därefter på analysvåg. Glödningsförlusten beräknades enligt:

$$\text{LOI} = \frac{\text{torrvikt} - \text{oorganisk vikt}}{\text{torrvikt}} * 100 (\%)$$

Metaller, grundämnen

Provet torkas vid 105°C enligt svensk standard SS028113. Analysprovet torkas vid 50°C och elementhalterna TS-korrigerats. Upplösning sker med mikrovågsugn i slutna teflonbehållare med HNO₃/vatten 1:1. Analys enligt EPA-metoder (modifierade) 200.7 (ICP-AES) och 200.8 (ICP-QMS)

Alifatiska och polyaromatiska kolväten

Proverna extraheras med aceton/pentan, vartefter proverna analyseras med GC-MS (*Gas chromatography-mass spectrometry*).

Mätosäkerhet (k=2)

Alifater >C16-C35 ±49% vid 207 mg/kg

PAH, summa 16 ±33% vid 30mg/kg

Organiska tennföreningar

Proven homogeniseras, skakas med MeOH/hexan. Därefter följer rening och derivatisering. Mätningen utförs med GC-FPD (*Gas chromatography-Flame Photometric Detection*)

Varvräkning

När syrehalterna vid bottarna är så höga att bottendjur kan leva där, får bottensedimenten en speciell karaktär. Sedimenten avspeglar de miljöförhållanden som rådde då de bildades. Finns det bottendjur så gräver och bökar de i det lösa ytsedimentet och blandar om det (s.k. bioturbation) så att sedimentet från denna tid är en i stort sett homogen lera, utan synliga varv eller andra strukturer.

Om däremot syreförhållandena varit så dåliga att bottendjuren inte kan leva där (<2-3 mg syrgas/l), finner man oftast varviga (laminerade) sediment. Detta kommer sig av att det material som uppifrån vattenmassan regnar ner till bottnen varierar i sammansättning från årstid till årstid. Eftersom inga djur funnits på bottarna, har inte heller materialet blandats och då kvarstår skillnaderna. Ett årsvarv bildas.

Åldersbestämningen av sedimenten genom varvräkning bygger på att varje lamina (varv) antas representera ett års deposition (Jonsson et al., 1990; Jonsson et al., 2003).

Datering med radiocesium

Ett användbart hjälpmedel för att datera sediment är att analysera ^{137}Cs -aktiviteten i de olika varven. ^{137}Cs började uppträda först efter atombombstesterna i atmosfären i början av 1960-talet (med toppar runt 1963-64). I sedimentkärnor från sjöar och kustområden brukar dessutom Chernobylolyckan 1986 avspeglas tydligt som en markant topp (Meili et al., 1998ab).

Sedimentprov från 10 sedimentkärnor daterades med radiocesium. Vått prov överfördes till förvägda scintburkar med lock. Proven torkades i 105°C över natt. Därefter ställdes scintburkarna i en gammaraäknare av modell Intertechnique 2000. Ett antal blankprov kördes under analysen för att korrigera för bakgrundstrålningen.

Depositionsbestämning

Varvtjockleken kan användas till att bestämma depositionshastigheten enligt följande:

$$v_d = Y * d_s * r$$

där v_d = depositionshastighet ($\text{g}/\text{cm}^2 * \text{år}$),
 Y = varvtjocklek (cm),
 d_s = halt av torrsustans, dvs. 100- vattenhalten i %
 r = bulkdensitet (g/cm^3 vs).

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

$$r = 100 * r_m / (100 + (W + \text{LOI}_0) (r_m - 1))$$

där r = bulkdensitet (g/cm^3 ws),
 r_m = densiteten av oorganiska partiklar (g/cm^3),
 W = vattenhalt (% ws),
 LOI_0 = glödgningsförlust (% vs).

För ovanstående formel krävs att r_m -värdet är känt. Östersjösedimenten är till största delen uppbyggda av ler och silt med densiteter mellan 2,6-2,85 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 g/cm^3 . Med hjälp av detta kan en enklare formel användas:

$$r = 260 / (100 + 1.60 (W + \text{LOI}_0))$$

APPENDIX 3

Analysdata för sediment

Analysdata för sediment bygger på halldata från ALS Scandinavia AB vad gäller föroreningar och från JP Sedimentkonsult HB vad gäller W och LOI. Halterna har korrigerats för salthalt i djupvattnet (5 ‰; Anonymous, 2010). Resultaten hänför sig till ytsediment (0-2 cm) utom i några fall (Sed0938, Sed 0943 och Sed 0947) där även nivån 5-7 cm redovisas. I rapporten kommenteras provtagningsstationerna som station 1-49. Prefixet Sed09 används således inte i rapporttexten.

Metaller

ELEMENT	SAMPLE	01	02	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
TS_105°C salthaltskorr		4,32	58,69	50,25	16,08	13,37	15,38	14,07	17,99	12,67	15,18	19,10	15,38
LOI salthaltskorr		22,31	3,41	5,73	15,39	16,31	16,23	15,87	13,70	16,14	13,98	12,56	13,77
TS-korrektionsfaktor		1,11	1,00	1,00	1,03	1,03	1,03	1,03	1,02	1,03	1,03	1,02	1,03
As	mg/kg TS	10,04	4,97	7,07	15,49	17,55	17,98	15,25	15,03	14,58	13,57	13,89	13,15
Ba	mg/kg TS	128,77	89,81	157,77	457,60	389,14	358,56	395,67	370,22	277,19	247,70	266,51	243,49
Be	mg/kg TS	1,24	0,63	0,57	1,26	1,30	1,33	1,29	1,19	1,19	1,38	1,27	1,22
Cd	mg/kg TS	2,02	0,78	1,22	3,62	2,11	2,98	2,57	3,72	2,32	2,10	2,00	1,65
Co	mg/kg TS	13,88	5,57	6,68	14,57	13,21	14,38	15,66	14,32	15,00	15,21	15,72	13,66
Cr	mg/kg TS	60,83	28,30	33,67	89,36	85,26	95,34	89,13	95,32	81,09	84,49	82,10	79,11
Cu	mg/kg TS	269,75	98,95	204,00	311,90	259,08	301,03	274,09	311,92	270,99	217,89	210,35	211,64
Fe	mg/kg TS	35967	16859	17184	47709	53468	42534	50387	35283	46647	41523	37883	41507
Li	mg/kg TS	26,86	12,44	14,27	25,55	27,66	28,77	28,13	25,98	26,89	32,17	30,12	28,97
Mn	mg/kg TS	328,58	181,63	197,97	422,71	476,88	390,41	483,26	371,24	432,34	456,34	426,82	454,11
Mo	mg/kg TS	4,57	1,09	<0,4	3,44	1,67	3,07	2,64	3,41	2,62	1,82	1,73	1,34
Ni	mg/kg TS	36,52	13,05	14,07	35,81	33,65	36,27	34,83	37,64	33,82	34,12	32,98	31,75
P	mg/kg TS	1298,79	743,59	975,79	5212,08	7617,64	3544,53	6625,47	2454,48	2554,72	2713,39	2144,31	3842,48
Pb	mg/kg TS	214,25	262,92	245,20	323,19	244,63	281,51	244,20	267,95	192,38	185,00	188,90	185,96
Sr	mg/kg TS	62,94	25,89	34,67	120,04	134,19	94,11	146,32	73,02	95,88	84,18	71,68	90,10
V	mg/kg TS	51,95	27,09	26,63	57,46	59,25	59,18	59,14	55,63	56,27	61,15	56,88	54,35
Zn	mg/kg TS	794,82	240,84	338,66	718,20	479,97	535,28	494,59	668,85	528,53	411,12	389,04	366,78
Hg	mg/kg TS	2,06	0,91	1,71	5,17	3,18	4,01	3,73	4,63	2,92	2,39	2,79	2,04

ELEMENT	SAMPLE	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
TS_105°C salthaltskorr		18,80	16,48	16,48	15,78	13,67	15,88	18,39	26,84	32,36	13,27	14,68	17,69
LOI salthaltskorr		12,05	12,61	12,51	12,83	13,20	12,52	11,04	12,26	12,02	17,35	16,26	17,80
TS-korrektionsfaktor		1,02	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,02	1,01	1,01	1,03	1,03	1,02
As	mg/kg TS	14,61	12,71	12,30	12,52	22,90	18,06	14,21	9,43	10,21	17,76	14,51	16,99
Ba	mg/kg TS	225,75	240,92	233,72	233,04	130,99	230,94	172,73	485,51	581,99	258,13	316,90	449,18
Be	mg/kg TS	1,25	1,23	1,27	1,29	1,25	1,38	1,33	0,96	1,10	1,38	1,41	1,24
Cd	mg/kg TS	1,43	1,23	1,26	1,51	2,72	0,99	1,24	4,42	4,64	3,00	3,93	5,14
Co	mg/kg TS	13,79	14,25	14,76	14,99	14,34	14,47	14,31	14,29	12,73	16,31	16,98	15,86
Cr	mg/kg TS	78,35	75,35	76,88	79,36	64,36	82,93	77,37	96,29	95,89	91,79	107,01	114,60
Cu	mg/kg TS	181,83	164,03	154,79	183,76	317,67	151,91	136,96	359,83	378,90	280,84	337,48	406,21
Fe	mg/kg TS	38408	46237	43567	40140	39090	43930	39657	30915	27382	41197	40436	37040
Li	mg/kg TS	30,34	30,45	31,78	31,82	30,74	33,46	34,34	20,27	18,49	29,63	29,84	24,76
Mn	mg/kg TS	477,04	629,47	647,86	502,01	349,64	580,94	458,92	306,11	267,76	448,11	456,83	380,63
Mo	mg/kg TS	0,95	0,63	<0,4	0,77	1,43	0,56	<0,4	3,60	2,28	4,21	4,17	3,57
Ni	mg/kg TS	30,24	30,24	30,96	31,93	32,28	31,20	31,58	45,00	45,06	38,93	43,21	47,58
P	mg/kg TS	2727,41	4859,45	4090,15	2905,28	1278,94	3284,48	2228,18	1530,54	1172,06	2921,98	2798,61	2384,06
Pb	mg/kg TS	173,66	168,13	160,94	199,16	528,08	169,36	130,83	305,09	600,18	202,37	242,82	322,31
Sr	mg/kg TS	75,80	109,70	91,54	80,18	55,59	87,45	64,80	60,82	62,14	82,29	80,15	77,97
V	mg/kg TS	55,06	54,34	55,36	56,77	53,43	60,15	55,60	48,35	46,78	63,40	63,69	56,58
Zn	mg/kg TS	335,05	318,84	319,83	351,10	523,95	302,79	288,23	658,84	749,72	531,74	625,57	872,79
Hg	mg/kg TS	2,25	1,94	2,06	2,31	3,27	1,96	1,61	6,93	10,81	2,79	3,86	6,59

ELEMENT	SAMPLE	26	27	28	29	30	31	32	34	35	36	37	38 0-2	38 5-7
TS_105°C salthaltsskorr		33,77	15,08	15,58	17,59	26,43	16,59	14,68	39,80	13,17	14,27	16,59	76,58	25,23
LOI salthaltsskorr		10,60	17,07	15,71	15,66	14,60	15,68	16,57	11,89	16,63	16,68	16,81	3,51	16,34
TS-korrektionsfaktor		1,01	1,03	1,03	1,02	1,01	1,03	1,03	1,01	1,03	1,03	1,03	1,00	1,01
As	mg/kg TS	9,83	13,67	16,74	16,17	24,03	16,09	17,39	23,58	15,08	19,67	16,81	11,02	19,48
Ba	mg/kg TS	578,62	358,77	354,32	455,37	1054,46	387,45	359,09	626,67	362,51	348,11	461,25	381,57	1379,99
Be	mg/kg TS	0,79	1,31	1,31	1,25	1,91	1,14	1,50	1,27	1,40	1,45	1,45	1,09	1,65
Cd	mg/kg TS	6,18	3,45	3,95	6,10	6,61	3,38	3,60	5,06	2,77	3,81	4,91	0,86	11,97
Co	mg/kg TS	13,63	14,80	15,82	17,50	15,82	13,94	16,46	83,92	16,21	16,58	18,96	13,32	10,55
Cr	mg/kg TS	121,18	94,58	101,67	133,03	81,72	83,03	102,38	174,30	97,60	106,08	118,90	30,95	85,84
Cu	mg/kg TS	457,44	302,23	334,80	453,32	524,19	315,70	312,79	1400,43	302,61	334,72	419,23	272,41	752,91
Fe	mg/kg TS	22418	45232	40875	39397	43598	36080	44243	54204	43997	40887	42845	17026	38356
Li	mg/kg TS	15,25	27,04	27,42	24,87	22,51	23,78	30,15	14,21	28,40	29,46	27,98	11,02	21,82
Mn	mg/kg TS	245,38	492,41	451,88	385,78	359,93	350,55	503,13	337,51	446,17	471,69	459,20	202,30	310,50
Mo	mg/kg TS	4,39	2,57	3,11	4,64	4,16	2,55	3,52	14,00	2,48	4,30	2,99	1,11	6,54
Ni	mg/kg TS	73,31	39,58	40,77	57,10	47,45	34,44	42,18	134,00	38,01	40,99	48,69	22,23	41,10
P	mg/kg TS	1363,23	4605,44	3122,08	2568,48	1500,57	1916,75	3745,20	2166,13	4120,87	3017,61	2788,00	898,35	1197,35
Pb	mg/kg TS	372,62	252,89	265,99	363,27	2240,72	477,65	265,46	541,03	257,17	280,13	346,45	454,68	1095,88
Sr	mg/kg TS	55,03	101,77	82,67	81,15	100,17	67,24	96,92	83,22	96,98	83,11	87,33	83,42	94,06
V	mg/kg TS	52,31	58,08	57,31	58,12	52,93	49,10	65,23	52,19	62,28	64,99	64,37	25,84	48,40
Zn	mg/kg TS	1130,98	633,25	639,82	946,55	3386,43	857,93	607,05	1108,25	519,50	595,28	822,05	333,50	1806,17
Hg	mg/kg TS	10,20	3,46	4,07	8,87	15,11	4,58	3,72	21,26	4,10	4,39	6,95	7,96	22,53

ELEMENT	SAMPLE	39	40	41	42	43 0-2	43 5-7	44	45	46	47 0-2	47 5-7	48	50
TS_105°C salthaltsskorr		14,27	15,48	16,18	20,40	51,36	21,31	21,91	18,70	24,63	40,50	19,30	16,59	45,33
LOI salthaltsskorr		16,58	16,74	16,31	15,09	12,66	19,96	14,55	15,63	15,63	30,52	14,39	12,30	24,55
TS-korrektionsfaktor		1,03	1,03	1,03	1,02	1,00	1,02	1,02	1,02	1,02	1,01	1,02	1,03	1,01
As	mg/kg TS	14,83	14,48	16,11	13,35	8,15	18,43	11,40	12,36	17,77	16,92	17,05	10,66	15,59
Ba	mg/kg TS	356,35	372,87	395,96	479,12	340,59	760,74	455,93	489,35	539,07	398,89	309,30	146,58	629,76
Be	mg/kg TS	1,35	1,39	1,35	1,33	0,61	1,13	1,32	1,42	1,30	1,07	1,42	1,64	1,29
Cd	mg/kg TS	2,66	3,34	3,71	4,03	2,11	15,79	3,27	3,91	4,23	2,16	3,92	1,26	3,07
Co	mg/kg TS	15,45	20,13	16,82	16,92	61,49	15,99	13,43	15,94	16,65	13,60	17,97	14,45	11,87
Cr	mg/kg TS	91,15	100,15	101,14	100,82	82,69	320,80	88,44	102,16	95,33	52,98	112,29	69,50	80,58
Cu	mg/kg TS	286,31	328,70	342,62	383,29	394,85	914,52	312,43	371,86	442,63	249,81	393,01	146,58	387,31
Fe	mg/kg TS	45831	42526	38365	37004	31447	35033	37146	41068	36446	27096	47876	36183	26961
Li	mg/kg TS	28,43	28,97	28,52	26,30	11,96	24,03	23,51	26,87	22,64	12,89	25,72	30,55	14,08
Mn	mg/kg TS	491,26	486,89	418,53	372,08	247,16	306,54	367,39	396,38	353,29	525,81	443,03	654,98	284,70
Mo	mg/kg TS	2,88	3,13	3,27	3,31	8,17	7,55	1,78	3,08	3,29	1,96	11,84	0,93	1,89
Ni	mg/kg TS	35,53	39,55	39,08	40,98	111,52	106,93	34,19	41,27	39,59	26,09	46,96	45,61	25,45
P	mg/kg TS	4552,16	3441,12	2308,05	1641,23	1155,41	1955,33	1760,62	1634,56	1472,04	2336,94	1408,70	1752,75	1649,84
Pb	mg/kg TS	238,94	266,04	279,02	330,29	270,26	492,91	313,45	317,72	388,82	325,36	466,51	182,45	646,86
Sr	mg/kg TS	115,35	89,06	76,42	73,91	47,72	83,31	70,73	71,72	70,86	98,82	67,47	33,11	95,57
V	mg/kg TS	59,73	62,56	60,62	60,25	26,93	97,26	56,18	62,11	56,65	36,97	71,76	59,96	39,23
Zn	mg/kg TS	496,41	573,18	595,99	692,17	558,61	1629,44	533,27	638,50	790,84	452,28	739,06	400,78	887,29
Hg	mg/kg TS	4,71	4,86	4,69	7,87	9,94	16,60	4,60	6,06	10,86	6,92	3,69	1,06	5,90

Organiska ämnen

ELEMENT	SAMPLE	01	02	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
TS_105°C salthaltskorr		4,32	58,69	50,25	16,08	13,37	15,38	14,07	17,99	12,67	15,18	19,10	15,38	18,80
LOI salthaltskorr		22,31	3,41	5,73	15,39	16,31	16,23	15,87	13,70	16,14	13,98	12,56	13,77	12,05
TS-korrektionsfaktor		1,11	1,00	1,00	1,03	1,03	1,03	1,03	1,02	1,03	1,03	1,02	1,03	1,02
alifater >C8-C10	mg/kg TS	<50	<10	<10	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
alifater >C10-C12	mg/kg TS	<100	<20	<20	41,04	<40	<40	<40	34,77	29,99	<40	<40	<40	<40
alifater >C12-C16	mg/kg TS	<100	<20	<20	91,31	54,71	45,21	41,22	96,13	78,61	32,89	25,53	<40	<40
alifater >C16-C35	mg/kg TS	777,06	210,74	150,74	933,66	805,12	873,29	731,58	1227,24	910,18	585,85	510,55	575,34	286,02
aromater >C8-C10	mg/kg TS	<10	<2	<2	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4
aromater >C10-C35	mg/kg TS	<10	<2	2,51	5,23	<4	<4	<4	6,85	<4	<4	4,08	<4	<4
naftalen	mg/kg TS	<0,5	<0,1	0,27	0,50	0,27	0,30	0,26	0,47	0,27	0,25	0,34	<0,2	<0,2
acenaftylen	mg/kg TS	<+,5	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,2	<0,2
acenaften	mg/kg TS	<0,5	<0,1	0,10	<0,2	<0,2	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,2	<0,2
fluoren	mg/kg TS	<0,5	<0,1	0,16	0,30	<0,2	<0,1	<0,2	0,25	<0,2	<0,2	<0,1	<0,2	<0,2
fenantren	mg/kg TS	<0,5	0,31	1,11	1,74	0,98	1,13	0,86	1,43	0,58	0,80	0,96	0,60	0,47
antracen	mg/kg TS	<0,5	0,10	0,30	0,51	0,33	0,36	0,29	0,45	0,17	0,24	0,34	<0,2	0,17
fluoranten	mg/kg TS	1,11	0,48	1,81	2,77	1,55	1,64	1,34	2,35	1,14	1,34	1,63	1,03	0,95
pyren	mg/kg TS	0,92	0,44	1,61	2,36	1,34	1,34	1,13	2,05	0,95	1,13	1,43	0,89	0,85
bens(a)antracen	mg/kg TS	0,62	0,24	1,11	1,54	0,98	0,72	0,70	1,43	0,66	0,79	0,97	0,77	0,61
krysen	mg/kg TS	0,39	0,22	1,11	1,54	0,92	0,77	0,67	1,43	0,64	0,71	0,88	0,52	0,52
bens(b)fluoranten	mg/kg TS	0,74	0,44	1,41	1,85	1,45	1,54	1,24	2,05	1,14	1,23	1,43	1,13	0,87
bens(k)fluoranten	mg/kg TS	0,49	0,13	0,62	0,75	0,53	0,50	0,44	0,89	0,36	0,32	0,48	0,25	0,31
bens(a)pyren	mg/kg TS	0,59	0,23	1,00	1,33	0,72	0,79	0,62	1,12	0,53	0,61	0,95	0,48	0,57
dibens(ah)antracen	mg/kg TS	<0,25	<0,05	0,14	<0,1	<0,05	<0,1	<0,1	0,12	<0,1	0,08	0,00	0,07	<0,1
benso(ghi)perylene	mg/kg TS	<0,5	0,25	0,70	1,03	0,77	0,95	0,83	0,99	0,48	0,64	0,65	0,47	0,44
indeno(123cd)pyren	mg/kg TS	0,37	0,16	0,76	1,02	0,72	0,82	0,64	1,12	0,61	0,67	0,74	0,49	0,45
PAH, summa 16	mg/kg TS	<6,5	3,01	12,06	17,44	10,32	11,30	8,96	16,36	7,14	8,94	10,21	6,68	5,31
PAH, summa cancerogena	mg/kg TS	3,22	1,40	6,13	8,00	5,26	5,24	4,33	8,08	3,93	4,32	5,51	3,70	3,37
PAH, summa övriga	mg/kg TS	<2,5	1,61	6,13	9,23	5,16	5,96	4,74	7,87	3,21	4,52	5,11	2,98	1,94
PAH, summa L	mg/kg TS	<0,75	<0,15	0,37	0,50	0,27	0,30	0,26	0,47	0,27	0,25	0,34	<0,3	<0,3
PAH, summa M	mg/kg TS	2,00	1,30	5,02	7,59	4,13	4,62	3,61	6,44	2,79	3,70	4,39	2,47	2,45
PAH, summa H	mg/kg TS	3,22	1,71	6,83	9,03	6,09	6,16	5,15	9,10	4,34	5,04	6,23	4,21	3,78

ELEMENT	SAMPLE	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
TS 105°C salthaltskorr		16,48	16,48	15,78	13,67	15,88	18,39	26,84	32,36	13,27	14,68	17,69	33,77	15,08
LOI salthaltskorr		12,61	12,51	12,83	13,20	12,52	11,04	12,26	12,02	17,35	16,26	17,80	10,60	17,07
TS-korrektionsfaktor		1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,02	1,01	1,01	1,03	1,03	1,02	1,01	1,03
alifater >C8-C10	mg/kg TS	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<10	<20	29,94	21,61	23,53	18,18	32,90
alifater >C10-C12	mg/kg TS	<40	<40	<40	<40	<40	<40	34,46	<40	<40	<40	<40	66,65	31,87
alifater >C12-C16	mg/kg TS	<40	<40	<40	21,66	<40	<40	61,83	<40	<40	47,33	66,51	131,27	29,81
alifater >C16-C35	mg/kg TS	358,82	246,02	318,25	288,79	184,75	674,59	557,48	353,64	464,63	689,36	900,42	605,88	822,40
aromater >C8-C10	mg/kg TS	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	3,53	<4
aromater >C10-C35	mg/kg TS	<4	<4	<4	<4	<4	<4	7,70	11,11	<4	<4	12,28	10,10	15,42
naftalen	mg/kg TS	<0,2	0,24	<0,2	0,39	<0,2	<0,2	0,72	0,92	0,00	0,32	0,79	0,53	0,49
acenaftylen	mg/kg TS	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,52	0,35	0,48	<0,2	<0,2	0,32	0,21	0,26
acenaften	mg/kg TS	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,62	0,75	<0,2	<0,2	1,23	0,57	0,36
fluoren	mg/kg TS	<0,2	<0,2	<0,2	0,21	<0,2	<0,2	0,62	0,87	<0,2	0,21	1,13	0,65	0,67
fenantren	mg/kg TS	0,41	0,59	0,46	0,67	0,47	0,36	3,24	5,36	0,64	1,03	4,91	3,74	3,60
antracen	mg/kg TS	0,12	0,22	<0,2	0,18	<0,2	0,28	0,96	1,72	0,21	0,35	1,33	1,31	1,13
fluoranten	mg/kg TS	0,75	0,91	0,82	0,94	0,85	0,71	6,49	12,12	1,24	2,06	5,63	7,07	5,55
pyren	mg/kg TS	0,66	0,75	0,68	0,83	0,74	0,57	5,68	10,00	1,03	1,85	4,50	5,96	4,63
bens(a)antracen	mg/kg TS	0,42	0,58	0,54	0,64	0,60	0,64	3,85	6,37	0,82	1,34	2,97	3,94	2,98
krysen	mg/kg TS	0,41	0,63	0,53	0,48	0,52	0,44	3,14	6,06	0,77	1,23	2,66	4,34	2,67
bens(b)fluoranten	mg/kg TS	0,77	0,69	0,72	0,73	0,79	0,59	2,74	9,50	1,14	1,85	4,20	5,05	3,60
bens(k)fluoranten	mg/kg TS	0,35	0,37	0,32	0,26	0,40	0,46	2,84	3,13	0,34	0,61	1,33	1,51	1,54
bens(a)pyren	mg/kg TS	0,39	0,42	0,42	0,42	0,40	<0,1	3,75	6,77	0,59	0,90	2,76	3,84	2,06
dibens(ah)antracen	mg/kg TS	<0,1	<0,05	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,22	0,97	<0,1	<0,1	0,31	0,44	<0,1
benso(ghi)perylene	mg/kg TS	0,38	0,44	0,43	0,43	0,44	<0,2	2,03	4,14	0,51	0,93	1,74	2,32	1,44
indeno(123cd)pyren	mg/kg TS	0,45	0,41	0,41	0,31	0,40	<0,1	1,72	4,65	0,00	1,01	1,94	2,22	1,54
PAH, summa 16	mg/kg TS	5,13	6,36	5,34	6,29	5,13	4,60	39,53	72,75	7,33	13,38	37,86	43,42	32,90
PAH, summa cancerogena	mg/kg TS	2,77	3,08	2,98	2,89	3,08	2,15	18,24	37,38	3,61	6,89	16,37	21,21	14,39
PAH, summa övriga	mg/kg TS	2,36	3,28	2,36	3,20	2,05	2,45	20,27	35,36	3,72	6,79	21,49	22,22	18,50
PAH, summa L	mg/kg TS	<0,3	0,24	<0,3	0,39	<0,3	0,52	1,72	2,12	<0,3	0,32	2,25	1,31	1,13
PAH, summa M	mg/kg TS	1,95	2,56	1,95	2,78	2,05	1,94	17,23	29,30	3,10	5,45	17,39	19,19	15,42
PAH, summa H	mg/kg TS	3,18	3,59	3,39	3,30	3,59	2,15	20,27	41,43	4,13	7,82	18,42	24,24	15,42

ELEMENT	SAMPLE	28	29	30	31	32	34	35	36	37	38 0-2	38 5-7	39
TS 105°C salthaltskorr		15,58	17,59	26,43	16,59	14,68	39,80	13,17	14,27	16,59	76,58	25,23	14,27
LOI salthaltskorr		15,71	15,66	14,60	15,68	16,57	11,89	16,63	16,68	16,81	3,51	16,34	16,58
TS-korrektionsfaktor		1,03	1,02	1,01	1,03	1,03	1,01	1,03	1,03	1,03	1,00	1,01	1,03
alifater >C8-C10	mg/kg TS	23,62	26,61	<10	<20	<20	23,17	20,66	<20	<20	<10	39,57	<20
alifater >C10-C12	mg/kg TS	29,78	47,07	35,49	<40	<40	63,47	<20	<40	28,70	<20	61,90	<40
alifater >C12-C16	mg/kg TS	29,78	88,00	121,67	32,80	39,10	110,83	23,75	<40	82,00	<20	263,82	42,23
alifater >C16-C35	mg/kg TS	616,20	747,01	1003,76	656,00	853,99	654,88	712,63	535,55	830,25	<20	2333,81	700,33
aromater >C8-C10	mg/kg TS	<4	<4	5,17	<4	<4	12,09	<4	<4	<4	5,81	12,18	<4
aromater >C10-C35	mg/kg TS	3,90	6,55	32,44	9,12	6,89	27,20	5,89	<4	6,66	3,61	28,41	<4
naftalen	mg/kg TS	0,22	0,42	2,23	1,23	0,30	0,56	0,22	0,25	0,49	0,54	1,42	0,34
acenaftylen	mg/kg TS	<0,1	0,18	0,64	0,21	<0,2	3,93	<0,2	<0,2	<0,2	0,13	0,55	<0,2
acenaften	mg/kg TS	<0,1	0,15	1,52	0,63	<0,2	1,81	<0,2	<0,2	<0,2	0,39	0,98	<0,2
fluoren	mg/kg TS	<0,1	0,27	4,16	0,87	0,25	2,02	0,26	<0,2	0,33	0,51	1,62	<0,2
fenantren	mg/kg TS	0,00	1,02	19,26	3,59	1,23	7,46	1,24	1,13	1,64	2,60	11,16	0,97
antracen	mg/kg TS	0,29	0,42	12,17	1,13	0,39	3,93	0,37	0,31	0,49	0,58	2,54	0,30
fluoranten	mg/kg TS	1,54	2,35	26,36	3,79	2,06	14,11	1,96	1,65	2,36	2,40	13,19	1,54
pyren	mg/kg TS	1,34	1,94	20,28	3,18	1,65	12,09	1,65	1,44	2,15	2,00	10,15	1,34
bens(a)antracen	mg/kg TS	1,03	1,23	11,15	1,85	1,23	8,66	1,14	0,98	1,85	1,40	6,90	1,13
krysen	mg/kg TS	0,93	1,33	12,17	1,74	1,13	8,46	1,03	0,76	1,54	1,20	6,49	0,94
bens(b)fluoranten	mg/kg TS	0,84	2,05	13,18	2,46	2,26	12,09	1,45	1,13	2,56	2,70	9,03	1,54
bens(k)fluoranten	mg/kg TS	1,13	0,68	4,56	0,78	0,45	2,42	0,64	0,94	0,66	1,80	2,54	0,39
bens(a)pyren	mg/kg TS	0,74	0,97	9,63	1,23	1,13	7,56	0,81	0,93	1,44	1,20	4,87	0,78
dibens(ah)antracen	mg/kg TS	<0,1	0,12	1,01	<0,1	<0,1	1,31	<0,1	<0,1	0,17	0,21	0,68	<0,1
benso(ghi)perylen	mg/kg TS	0,71	0,78	5,37	1,03	0,90	5,04	0,76	0,77	1,23	0,87	3,45	0,56
indeno(123cd)pyren	mg/kg TS	0,76	0,76	6,29	1,13	0,95	5,04	0,73	0,69	1,13	0,72	2,84	0,37
PAH, summa 16	mg/kg TS	10,27	15,35	152,09	24,60	14,40	95,71	11,36	9,37	18,45	19,03	78,13	10,30
PAH, summa cancerogena	mg/kg TS	5,34	7,27	57,79	9,12	7,20	45,34	5,78	5,46	9,33	9,31	33,49	5,15
PAH, summa övriga	mg/kg TS	5,14	7,57	93,28	15,38	6,79	51,38	5,68	3,86	8,71	10,02	44,65	5,15
PAH, summa L	mg/kg TS	0,22	0,76	4,36	2,05	0,30	6,35	0,22	0,25	0,49	1,10	2,94	0,34
PAH, summa M	mg/kg TS	4,21	6,04	83,14	12,30	5,66	39,29	5,47	2,16	6,97	8,01	38,56	4,33
PAH, summa H	mg/kg TS	6,06	7,98	62,86	10,15	8,03	50,38	6,61	7,00	10,25	10,02	36,53	5,66

ELEMENT	SAMPLE	40	41	42	43 0-2	43 5-7	44	45	46	47 0-2	47 5-7	48	50
TS 105°C salthaltskorr		15,48	16,18	20,40	51,36	21,31	21,91	18,70	24,63	40,50	19,30	16,59	45,33
LOI salthaltskorr		16,74	16,31	15,09	12,66	19,96	14,55	15,63	15,63	30,52	14,39	12,30	24,55
TS-korrektionsfaktor		1,03	1,03	1,02	1,00	1,02	1,02	1,02	1,02	1,01	1,02	1,03	1,01
alifater >C8-C10	mg/kg TS	<20	<20	<20	11,05	417,54	<20	<2	<20	<10	<10	<20	<10
alifater >C10-C12	mg/kg TS	<40	<40	<40	<20	570,30	<40	<40	<40	<20	<20	<40	<20
alifater >C12-C16	mg/kg TS	56,50	47,19	71,36	37,17	906,38	36,64	40,86	43,65	28,20	55,12	<40	24,14
alifater >C16-C35	mg/kg TS	893,66	810,38	835,91	321,50	3258,88	692,04	694,69	588,82	362,63	622,69	235,75	241,44
aromater >C8-C10	mg/kg TS	<4	<4	3,06	7,84	12,22	<4	<4	5,48	5,14	<2	<4	9,26
aromater >C10-C35	mg/kg TS	5,24	<4	3,77	26,12	29,53	5,39	4,39	7,61	15,11	3,67	<4	27,16
naftalen	mg/kg TS	0,35	0,33	0,64	1,81	0,44	0,56	0,57	0,91	1,21	0,54	<0,2	2,62
acenaftylen	mg/kg TS	<0,1	<0,2	0,23	0,65	0,35	<0,2	<0,2	0,30	0,52	0,11	<0,2	0,92
acenaften	mg/kg TS	<0,1	<0,2	0,40	0,93	0,42	0,32	0,22	0,70	0,77	0,33	0,38	2,62
fluoren	mg/kg TS	<0,1	0,22	0,59	1,51	0,75	0,47	0,29	0,98	1,11	0,37	0,33	3,72
fenantren	mg/kg TS	1,23	1,13	3,77	15,07	4,28	2,95	2,15	5,58	7,25	1,33	0,94	16,10
antracen	mg/kg TS	0,36	0,31	0,94	3,52	0,86	0,75	0,55	1,42	1,71	0,52	0,26	5,03
fluoranten	mg/kg TS	1,85	1,74	5,71	31,15	5,19	4,07	2,86	7,92	11,08	2,76	1,44	21,13
pyren	mg/kg TS	1,64	1,64	4,79	27,13	5,80	3,56	2,55	6,90	9,47	2,55	1,33	18,11
bens(a)antracen	mg/kg TS	1,44	1,33	3,67	18,08	3,77	2,44	2,04	5,18	7,25	1,84	0,98	14,08
krysen	mg/kg TS	1,23	1,13	3,16	16,08	3,46	2,04	1,63	4,57	5,94	1,84	1,13	10,06
bens(b)fluoranten	mg/kg TS	1,85	1,33	5,40	23,11	4,48	3,36	2,86	7,00	8,76	2,35	1,23	16,10
bens(k)fluoranten	mg/kg TS	0,68	0,95	1,53	5,73	0,91	1,12	0,84	2,03	2,82	1,33	0,42	4,02
bens(a)pyren	mg/kg TS	1,23	1,33	2,96	16,08	2,75	2,04	1,84	4,77	6,45	1,63	0,51	11,07
dibens(ah)antracen	mg/kg TS	0,13	<0,1	0,40	2,21	0,45	0,22	0,23	0,72	0,87	0,19	<0,1	1,31
benso(ghi)perylene	mg/kg TS	0,80	0,76	2,65	9,14	1,73	1,53	1,12	2,64	3,42	1,12	<0,1	5,63
indeno(123cd)pyren	mg/kg TS	0,66	0,54	1,33	7,23	1,22	1,02	0,93	2,23	2,82	0,92	0,26	4,73
PAH, summa 16	mg/kg TS	13,35	13,34	37,72	180,85	36,66	26,46	20,43	53,81	70,51	19,40	9,23	140,84
PAH, summa cancerogena	mg/kg TS	7,19	6,57	18,35	87,41	17,31	12,21	10,22	26,40	35,26	10,11	4,51	61,37
PAH, summa övriga	mg/kg TS	6,68	6,36	19,37	91,43	20,37	14,25	10,22	27,41	36,26	9,60	4,72	76,46
PAH, summa L	mg/kg TS	0,35	0,33	1,33	3,42	1,22	0,88	0,80	1,93	2,52	0,98	0,38	6,14
PAH, summa M	mg/kg TS	5,14	5,03	15,29	78,37	17,31	11,19	8,38	22,33	30,22	7,55	4,31	65,39
PAH, summa H	mg/kg TS	7,91	7,28	21,41	96,45	18,33	14,25	11,24	29,44	38,28	11,23	4,51	67,40

Tennorganiska ämnen

ELEMENT	SAMPLE	25	27	29	31	35	37	40	42	46
TS 105°C salthaltskorr		17,69	15,08	17,59	16,59	13,17	16,59	15,48	20,40	24,63
LOI salthaltskorr		17,80	17,07	15,66	15,68	16,63	16,81	16,74	15,09	15,63
monobutyltenn	µg/kg TS	47,07	65,79	74,70	47,15	64,03	49,20	79,09	63,20	55,84
dibutyltenn	µg/kg TS	153,48	123,36	204,66	88,15	113,61	153,75	133,54	203,88	152,28
tributyltenn	µg/kg TS	327,42	236,44	450,25	143,50	289,18	338,25	256,80	336,40	324,86
tetrabutyltenn	µg/kg TS	4,20	2,06	3,79	1,95	2,48	4,41	2,57	4,28	3,25
monooktyltenn	µg/kg TS	2,35	4,52	3,89	2,97	4,34	2,67	6,57	4,49	3,25
dioktyltenn	µg/kg TS	2,86	3,80	3,68	<1,0	3,92	<1,0	<1,0	2,75	3,55
tricyklohexyltenn	µg/kg TS	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
monofenyltenn	µg/kg TS	5,63	6,68	<5,0	<3,0	<5,0	<3,0	<10	<5,0	<10
difenyltenn	µg/kg TS	3,68	2,78	3,27	<3,0	<2,0	<2,0	5,44	3,67	<5,0
trifenyltenn	µg/kg TS	63,44	6,99	3,99	<2,0	<2,0	<3,0	4,83	7,54	<20

APPENDIX 4

Analysdata för datering av sedimentkärnor

Analysdata för datering av sedimentkärnor som daterats av Markus Meili vid Inst för Tillämpad Miljövetenskap - ITM, Stockholms universitet.

Tabell 1. Analysdata för datering av sedimentkärnor

Station	Nivå Över (cm)	Nivå Under (cm)	Cs-137 Bq/g ts 1986	Ålder mm
5	0	1		saknas
5	5	6	0,65	efter 1986
5	10	11	0,65	efter 1986
5	15	16	0,67	efter 1986
5	20	21	0,72	efter 1986
5	25	26	0,76	≈1986
5	30	31	0,23	före 1986
5	35	36	0,09	före 1986
5	40	41	0,11	före 1986
5	45	46	0,06	före 1986
5	50	51	0,10	före 1986
6	0	1	0,23	efter 1986, märkligt skikt
6	5	6	0,75	efter 1986
6	10	11	0,51	efter 1986
6	15	16	0,49	efter 1986
6	20	21	0,79	efter 1986, märkligt skikt
6	25	26	0,57	efter 1986
6	30	31	0,43	efter 1986
6	35	36	0,72	efter 1986
9	0	1	0,37	efter 1986
9	5	6	0,46	efter 1986
9	10	11	0,28	efter 1986
9	15	16	0,39	efter 1986
9	20	21	0,60	efter 1986
9	25	26	0,45	efter 1986
9	30	31	0,33	efter 1986
9	35	36	0,37	efter 1986
10	0	1	0,42	efter 1986
10	5	6	0,52	efter 1986, märkligt skikt, org. avfall?
10	10	11	0,33	efter 1986
10	15	16	0,46	efter 1986
10	20	21	0,55	efter 1986
10	25	26	0,46	efter 1986
10	30	31	0,43	efter 1986
10	35	36	0,55	efter 1986
20	0	1		saknas
20	5	6	0,57	efter 1986
20	10	11	0,44	efter 1986
20	15	16	0,71	efter 1986
20	20	21	0,73	efter 1986, märkligt skikt, org. avfall?
20	25	26	1,48	≈1986
20	30	31	0,26	före 1986
20	35	36		saknas

Station	Nivå Över (cm)	Nivå Under (cm)	Cs-137 Bq/g ts 1986	Ålder mm
25	0	1	0,39	efter 1986
25	5	6	0,19	före 1986? mix?
25	10	11	0,18	före 1986? mix?
25	15	16	0,05	före 1986, märkligt skikt, org. avfall?
25	20	21	0,01	före 1986, märkligt skikt, org. avfall?
25	25	26	0,07	före 1986, märkligt skikt, org. avfall?
25	30	31	0,05	före 1986, märkligt skikt, org. avfall?
25	35	36	0,13	före 1986
27	0	1	0,45	efter 1986
27	5	6	0,51	efter 1986
27	10	11	0,43	efter 1986
27	15	16	0,48	efter 1986
27	20	21	0,36	efter 1986
27	25	26	0,59	efter 1986, ev ≈1986?
27	30	31	0,65	efter 1986, ev ≈1986?
27	35	36	0,40	efter 1986, ev ≈1986?
32	0	1	0,54	efter 1986
32	5	6	0,52	efter 1986
32	10	11	0,51	efter 1986
32	15	16	0,55	efter 1986
32	20	21	0,51	efter 1986, märkligt skikt, org. avfall?
32	25	26	0,73	≈1986
32	30	31	0,80	≈1986
32	35	36	0,14	före 1986
37	0	1	0,43	efter 1986
37	5	6	0,33	efter 1986, märkligt skikt, org. avfall?
37	10	11	0,12	före 1986
37	15	16	0,09	före 1986
37	20	21	0,08	före 1986
37	25	26	0,14	före 1986
37	30	31	0,10	före 1986
37	35	36	0,09	före 1986
45	0	1	0,36	efter 1986
45	5	6	0,47	efter 1986
45	10	11	0,60	efter 1986
45	15	16	0,53	efter 1986
45	20	21	0,42	efter 1986, märkligt skikt, org. avfall?
45	25	26	0,75	≈1986?
45	30	31	0,93	≈1986?
45	35	36	0,61	≈1986?

APPENDIX 5

Dateringskalkyl för sedimentkärnor

Stn	Nivå Över	Nivå Under	Skikt- tjockl.	Antal varv	Varv- tjockl.	TS	LOI	LOI ₀	W	Bulk dens.	TS- dep.	Anmärkning
	(cm)	(cm)	(cm)		(cm)	(%WS)	(%TS)	(%WS)	(%WS)		(g/m ² /år)	
1	11,3	17,7	6,4	11	0,6	11,5	17,6	2,0	88,5	1,06	711	
	17,7	28,2	10,5	25	0,4	12,7	18,6	2,4	87,3	1,07	568	
5	0,0	26,0	26,0	23	1,1	15,6	14,8	2,3	84,4	1,09	1923	Csdatering
6	0,0	48,0	48,0	23	2,1	15,6	14,8	2,3	84,4	1,09	3550	Varvräkning + Cs
7	10,0	20,0	10,0	9	1,1	15,8	14,4	2,3	84,2	1,09	1918	
8	9,5	19,0	9,5	7	1,4	18,8	14,5	2,7	81,2	1,11	2827	
9	11,8	23,0	11,2	7	1,6	22,3	12,1	2,7	77,7	1,14	4055	Varvräkning + Cs
10	18,5	30,0	11,5	7	1,6	15,8	15,7	2,5	84,2	1,09	2837	
11	13,5	20,8	7,3	6	1,2	16,2	12,5	2,0	83,8	1,10	2157	
12	4,0	8,3	4,3	5	0,9	15,5	9,7	1,5	84,5	1,09	1458	
	13,8	21,0	7,2	8	0,9	15,8	7,8	1,2	84,2	1,10	1560	
13	10,0	18,5	8,5	6	1,4	33,6	6,3	2,1	66,4	1,24	5911	
14	10,2	14,7	4,5	5	0,9	17,6	7,1	1,2	82,4	1,11	1758	
15	12,2	16,0	3,8	3	1,3	33,1	7,0	2,3	66,9	1,23	5170	
17	6,3	10,0	3,7	2	1,9	32,0	7,2	2,3	68,0	1,22	7231	
	17,5	25,5	8,0	7	1,1	22,0	10,4	2,3	78,0	1,14	2855	
18	11,9	14,0	2,1	3	0,7	14,5	14,1	2,0	85,5	1,08	1100	
19	6,8	14,0	7,2	3	2,4	14,7	8,3	1,2	85,3	1,09	3837	
20	11,5	15,3	3,8	4	1,0	16,1	12,7	2,0	83,9	1,09	1674	Varvräkning + Cs
	24,0	27,5	3,5	4	0,9	16,2	12,8	2,1	83,8	1,10	1548	
21	5,0	10,6	5,6	6	0,9	22,0	12,3	2,7	78,0	1,14	2334	
	10,6	15,0	4,4	5	0,9	16,6	14,4	2,4	83,4	1,10	1604	
23	3,0	18,5	15,5	8	1,9	18,9	13,6	2,6	81,1	1,11	4065	
24	7,3	17,5	10,2	8	1,3	18,8	13,5	2,5	81,2	1,11	2667	
25	0,0	8,0	8,0	7	1,1	17,8	17,8	3,2	82,2	1,10	2241	
	12,2	22,5	10,3	12	0,9	16,0	28,2	4,5	84,0	1,08	1473	
27	6,0	16,7	10,7	12	0,9	20,4	12,6	2,6	79,6	1,12	2046	Varvräkning + Cs
28	5,0	9,5	4,5	4	1,1	26,4	10,2	2,7	73,6	1,17	3476	
	29,5	36,0	6,5	7	0,9	24,8	14,7	3,7	75,2	1,15	2651	
29					1,2	17,9	16,8	3,0	82,1	1,10	2360	Dat omöjrl. Ant. varv som medel för 32, 34

Stn	Nivå Över	Nivå Under	Skikt- tjockl.	Antal varv	Varv- tjockl.	TS	LOI	LOI ₀	W	Bulk dens.	TS- dep.	Anmärkning
	(cm)	(cm)	(cm)		(cm)	(%WS)	(%TS)	(%WS)	(%WS)		(g/m ² /år)	
31	9,0	22,0	13,0	8	1,6	27,4	11,3	3,1	72,6	1,18	5246	
32	10,5	19,5	9,0	7	1,3	16,6	14,6	2,4	83,4	1,10	2338	
33	15,5	24,0	8,5	8	1,1	20,3	16,1	3,3	79,7	1,12	2405	
35	0,0	27,0	27,0	12	2,3	16,1	14,9	2,4	83,9	1,09	3946	
36	19,0	22,3	3,3	3	1,1	16,3	13,1	2,1	83,7	1,10	1958	
37					1,1	16,6	16,8	2,8	83,4	1,09	1994	Dat. omöjl. Ant. varv- tjocklek som stn 36
39	10,0	19,0	9,0	9	1,0	15,0	14,8	2,2	85,0	1,09	1633	
40	7,0	12,0	5,0	5	1,0	16,2	15,2	2,5	83,8	1,09	1770	
	30,0	33,5	3,5	6	0,6	19,1	17,1	3,3	80,9	1,11	1233	
41	14,5	18,5	4,0	3	1,3	16,6	13,9	2,3	83,4	1,10	2422	
42	7,0	15,0	8,0	7	1,1	15,7	16,4	2,6	84,3	1,09	1957	
	21,5	26,0	4,5	5	0,9	16,9	12,1	2,0	83,1	1,10	1679	
44	12,0	23,3	11,3	13	0,9	20,6	13,6	2,8	79,4	1,12	2011	
45	4,0	20,0	16,0	14	1,1	18,5	14,9	2,8	81,5	1,11	2341	Varvräkning + Cs
46	18,5	25,0	6,5	7	0,9	17,9	14,7	2,6	82,1	1,10	1838	
48	3,7	17,0	13,3	15	0,9	24,0	9,3	2,2	76,0	1,15	2454	
	19,5	27,0	7,5	10	0,8	21,8	12,7	2,8	78,2	1,13	1849	

APPENDIX 6

Bilder på sedimentkärnor och sedimentprov



Provpunkt nr 1



Provpunkt nr 2



Provpunkt nr 3



Provpunkt nr 4



Provpunkt nr 5



Provpunkt nr 6



Provpunkt nr 7



Provpunkt nr 8



Provpunkt nr 9



Provpunkt nr 10



Provpunkt nr 11



Provpunkt nr 12



Provpunkt nr 13



Provpunkt nr 14



Provpunkt nr 15



Provpunkt nr 17



Provpunkt nr 18



Provpunkt nr 19



Provpunkt nr 20



Provpunkt 21



Provpunkt 23



Provpunkt nr 24



Provpunkt 25



Provpunkt nr 27



Provpunkt nr 28



Provpunkt 29



Provpunkt 31



Provpunkt 32



Provpunkt nr 33



Provpunkt nr 35



Provpunkt nr 36



Provpunkt nr 37



Provpunkt nr 39



Provpunkt nr 40



Provpunkt nr 41



Provpunkt nr 42



Provpunkt nr 44



Provpunkt nr 45



Provpunkt nr 46



Provpunkt nr 48



Provpunkt nr 22



Provpunkt nr 26



Provpunkt nr 30



Provpunkt nr 34



Provpunkt nr 38

APPENDIX 7

Positioner (WGS-84), djup och fältnoteringar för provtagningsstationer

Station		Lat	Long	Djup	Fältnotering
Prefix	Löpnr				
Beck	1	591982	180646	8,2	Reducerat, H ₂ S-lukt
Beck	2	591981	180489	7,6	Sand, grus och sten. Lite oljelukt
Beck	3	591953	180542	8,4	Oxiderat. Bark+div annat på ytan
Beck	4	591943	180468	11,7	Oxiderat hela kärnan
Beck	5	591927	180476	28,5	Oxiderat.
Beck	6	591918	180508	30,7	Oxiderat. Oljelukt
Beck	7	591924	180516	28,6	Oxiderat.
Beck	8	591914	180541	32,8	Oxiderat 2-3 cm
Beck	9	591902	180624	29,3	Oxiderat. Oljelukt
Beck	10	591900	180675	28,6	Riktigt svart. Otydlig yta
Beck	11	591916	180727	32,8	Oxiderat
Beck	12	591922	180770	27,5	Oxiderat 3-4 cm
Beck	13	591909	180770	32	Oxiderat ca 2 cm
Beck	14	591918	180803	35,6	Oxiderat 2-3 cm. Oljelukt
Beck	15	591915	180833	37,8	Oxiderat 3 cm
Beck	16	591916	180895	36,9	Oxiderat 2-3 cm
Beck	17	591903	180894	33,2	Oxiderat 2-3 cm
Beck	18	591871	180809	8,5	Oxiderat. Ävja
Beck	19	591923	180946	38,9	Oxiderat ca 3 cm
Beck	20	591985	180970	25,9	Oxiderat 2-3 cm
Beck	21	591921	180647	11,6	Oxiderat. Oljefläckar i sedimentet
Beck	22	591923	180635	8,7	A-botten. Oxiderat. Olja
Beck	23	591907	180662	31,7	Oxiderat
Beck	24	591913	180648	28,3	Oxiderat 2-3 cm
Beck	25	591917	180633	21,8	Oxiderat
Beck	26	591919	180624	10,6	Oxiderat 1-2 cm. Olja, småsten på ytan.
Beck	27	591905	180622	30,8	Oxiderat. Oljefäckar på ytsedimentet
Beck	28	591910	180619	32,7	Oxiderat
Beck	29	591913	180614	27,4	Oxiderat. Oljelukt + oljefläckar
Beck	30	591916	180616	16,8	Oxiderat. Smågrus, träspån, olja, oljelukt
Beck	31	591905	180587	27,8	Olja i sedimentet
Beck	32	591910	180593	31,2	Oxiderat, olja på sedimentytan
Beck	33	591913	180600	26,1	Reducerat, tunt oxiderat 2-3 cm
					Fingrus, grov sand, småsten, flagor, ox. 1-2 cm.
Beck	34	591918	180602	10,8	Därunder reducerat, ganska löst. Olja

Station		Lat	Long	Djup	Fältnotering
Prefix	Löpnr				
Beck	35	591913	180567	32,6	Oxiderat 2-3 cm
Beck	36	591915	180576	31,8	Oxiderat 2-3 cm
Beck	37	591917	180583	28,2	Oxiderat. Ganska mycket olja på ytan, kraftig oljelukt
Beck	38	591919	180585	13,1	E/T-botten, Saduria, under ytan guckigt material
Beck	39	591920	180533	31,5	Oxiderat 2-3 cm
Beck	40	591921	180555	29,9	Oxiderat. Oljelukt
Beck	41	591922	180567	28,6	Oxiderat
Beck	42	591923	180573	23,4	Oxiderat, oljelukt, olja i sedimentet
Beck	43	591922	180582	16,5	Likt stn 34. Underl. löst, kraftig oljelukt, olja på sed.yta
Beck	44	591939	180555	13,8	Oxiderat, Hela kärnan? Olja i sedimentet ca 3 dm ner
Beck	45	591930	180564	19,6	Oxiderat, Saduria 5 cm
Beck	46	591928	180574	17,8	Oxiderat en bit ner, kraftig oljelukt
Beck	47	591927	180581	13,8	Oxiderat 2 cm. Småsten, grus, flagor, div. finmaterial i ytan. 5-7 cm red. Mindre olja än stn 43
Beck	48	591942	180223	19,6	Oxiderat
Beck	49	Ej tagen			
Beck	50	591931	180589	8,6	E/T-botten. Saduria. Under ytan guckigt material, 5-7 mycket oljigt.