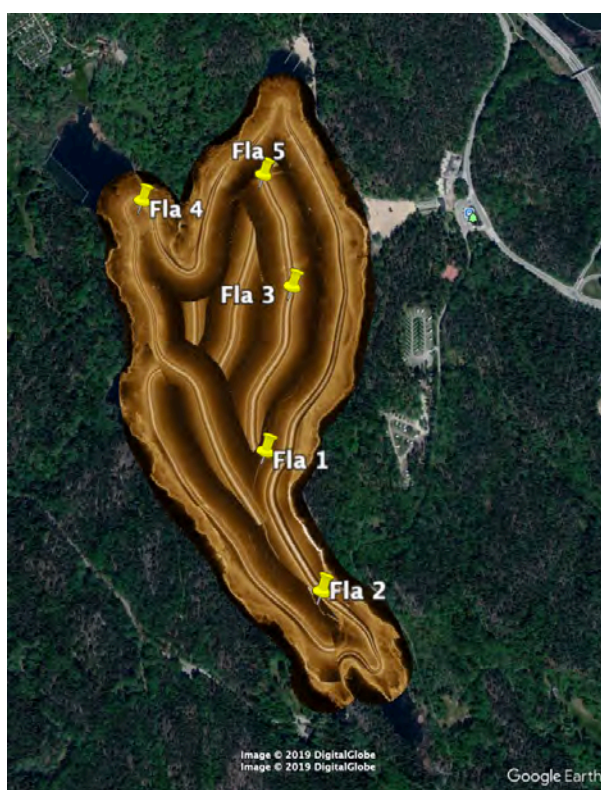




Sedimentkonsult HB

Metaller och organiska miljöföroreningar i Flaten 2018

av
Per Jonsson



Mottagare:
Miljöförvaltningen
Stockholms Stad

Sollenkroka den 5 mars 2019

JP Sedimentkonsult Rapport 2019:3.

Adress

JP Sedimentkonsult HB
Västernäsvägen 17
130 40 Djurhamn
per@jpsedimentkonsult.se
www.jpsedimentkonsult.se

Telefon

08-57163744
070-5208057

Postgiro

219638-4

Bankgiro

5943-4704

Org.nr

969720-0815

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	3
1 UPPDRAG OCH SYFTE	5
1.1 Beställare	5
1.2 Syfte	5
1.3 Arbetsmoment	5
1.4 Rapportens uppläggning	6
2 BEDÖMNINGSGRUNDER	6
2.1 Bedömningsgrunder metaller	6
2.2 Bedömningsgrunder organiska miljögifter	7
3 OMRÅDESBESKRIVNING	9
4 RESULTAT OCH DISKUSSION	10
4.1 Kartering med side scan sonar	10
4.1.1 Iakttagelser från sonarunderlaget	11
4.1.1.1 Översiktligt	11
4.1.1.2 Detaljer	11
4.1.1.2.1 Rörledning	11
4.1.1.2.2 Bryggor	12
4.1.1.2.3 Okända ekon	13
4.2 Sedimentprovtagning	13
4.3 Sedimentkärnor	14
4.4 Vattenhalt och organisk halt	14
4.5 Bottendynamik	15
5 FÖRORENINGAR	17
5.1 Areell fördelning	17
5.1.1 Metaller	17
5.1.2 Organiska föroreningar	18
5.1.2.1 Polycykliska aromatiska kolväten – PAH	18
5.1.2.2 Organiska tennföreningar	19
5.2 Föroreningshistorik	20
5.2.1 Metaller	20
5.2.2 Organiska föroreningar	22
5.2.2.1 Polycykliska aromatiska kolväten – PAH	22
5.2.2.2 Organiska tennföreningar	23
5.2.2.3 Polyklorerade bifenyler och polybromerade difenyletrar	23
5.2.3 Datering	25
6 REFERENSER	26
Bilaga 1 Material och metoder	
Bilaga 2 Protokoll inkluderande positioner, djup och fotografier av sedimentkärnor	

ANALYSRESULTAT

Analysresultaten redovisas på Miljöbarometern Stockholm

(<http://miljobarometern.stockholm.se/>)

SAMMANFATTNING

En inledande sonarkartering genomfördes den 14 maj 2018 inom navigeringsbara delar av Flaten från R/V Perca längs 3 transekter av varierande längd. Provtagningsbåtens fart under karteringen var 4-5 knop. Sonarens svepvidd var 2x70 m och sonarfisken bogserades på ett djup av ca 1,5 m.

Sonarkarteringens resultat visar att Flatens botten huvudsakligen täcks av mjuka sediment. Utifrån sonarunderlaget går gränsen mellan A-botten och E/T-botten vid ca $2 \pm 0,5$ m. Detta innebär att ca 80 % av Flatens bottenarea utgörs av ackumulationsbotten.

Bottenarna är tämligen odramatiska och de antropogena iakttagelserna är få. Inget vrak har hittats och endast en indikation på rörledning. Vid badplatserna noterades ekon som orsakats av brygg- och kajkonstruktioner. Utanför den stora badplatsen i Flatens nordöstra del finns fyra distinkta ekon av likartad karaktär. De är ungefär lika långa, ca 10 m. Ekona (sjunkna bryggsektioner?) sticker upp en bit ovanför botten, vilket resulterar i mörka skuggor vid sidan av ekona.

Sedimentprovtagning genomfördes från provtagningsbåten R/V Perca den 14 maj 2018 på fem stationer i Flaten efter genomförd sonarkartering. Sedimentkärnor togs på samtliga 5 sedimentstationer i Flaten för att dokumentera lagerföljden. Alla kärnorna utom en uppvisar likartade lagerföljder. De karaktäriseras av ett brunt sediment i de undre delarna som uppåt blir ljusare. I mitten uppträder ett blågrått, delvis laminerat, sediment som uppåt övergår till ett mer eller mindre homogent brunaktigt sediment. Varvstrukturen har mäktigheter mellan 1 och 4 mm.

Torrsubstanshalten i Flatens ytsediment är i genomsnitt 11,6 % VS och glödningsförlusten 23,0 % TS, vilket mycket klart indikerar recent A-bottenmaterial. Även profilerna av TS, LOI och TOC i sedimentkärnan Flaten 1 som analyserats för föroreningshistorik visar klart att denna kärna är tagen från en god ackumulationsbotten.

Zinkhalterna uppvisar stor eller mycket stor avvikelse från bakgrundsvärdena i Flatens ytsediment. Bly uppvisar stor eller tydlig avvikelse från bakgrunden, men övriga metaller visar endast tydlig till obetydlig avvikelse.

sPAH11 uppvisar höga till medelhöga halter i Flatens ytsediment. Av de enskilda kongenerna varierar antracen mellan 21 och 47 µg/kg TS, vilket är lägre än det normaliserade gränsvärdet för god kemisk status. Vad gäller fluoranten är halterna långt under gränsvärdet.

Medelkolhalten i Flatens ytsediment är 9,9 % TS, vilket leder till att det normaliserade gränsvärdet för TBT blir 2,9 µg/kg TS, vilket överskrids på tre av fem stationer i Flaten.

Zinkhalterna uppvisar mycket stor avvikelse från bakgrundsvärdena i ytsedimentet från den undersökta kärnan Flaten 1. Halterna sjunker påtagligt med ökat sedimentdjup. Bly uppvisar stor avvikelse från bakgrunden i ytsedimentet med mycket höga halter på 5-15 centimeters djup i kärnan och därunder avtagande halter. Övriga metaller visar endast tydlig till obetydlig avvikelse. Påtagligt är dock att många metaller ökat på senare år.

De polycykliska aromatiska kolvätena beskriver likartade och karaktäristiska haltprofiler för alla de tre redovisade parametrarna. I de djupare delarna är halterna att klassificera som

medelhöga men ökar successivt till mycket höga halter på 25-30 centimeters djup. Därövanför sker tydliga haltavtaganden men halterna är fortfarande att klassificera som höga eller mycket höga i ytsedimenten.

Tributyltenn finns i mätbara halter endast i de övre 15 cm av sedimentpelaren. TBT-profilen karaktäriseras av snabb ökning uppåt i kärnan och når ett pikvärde på 5-10 centimeters djup. Det normaliserade gränsvärdet 2,9 µg/kg TS överskrids i ytsedimentet på Flaten 1 med en faktor 4-5. Nedbrytningsprodukterna MBT och DBT uppvisar likartade haltprofiler som TBT.

Halten sPCB7 i Flaten 1 ökar snabbt från 20-25 cm sedimentdjup till ett pikvärde vid 5-10 cm och avtar sedan mot sedimentytan. Flatens ytsediment uppvisar idag i runda tal 5-8 ggr högre halt än nordvästra Östersjön under 2000-talet.

De polybromerade difenyletrarna i form av summaparametern sPBDE är ej detekterbara i de djupare delarna av kärnan Flaten 1 men ökar samtidigt som sPCB7 minskar i ytsedimentet.

Sedimentkärnan Flaten 1 uppvisar tidstrender vad gäller metaller, organiska tennföreningar, sPCB7 och sPBDE som innebär att ett försök till översiktlig datering kan göras utifrån kända storskaliga generella tidstrender för dessa föroreningar. Trenderna är dock delvis motsägelsefulla och ska inte tillmätas alltför stor tilltro. Orsaken till osäkerheten har troligen att göra med den aluminiumbehandling av bottenvatten och sediment som genomfördes 2000 och som sannolikt påverkade fastläggningen av metaller och vissa organiska ämnen i bottenarna.

Med vetskap om de osäkerheter som råder har den genomsnittliga sedimenttillväxten sedan 1930 beräknats till ca 4,5 mm/år för sedimentkärnan Flaten 1.

1 UPPDRAG OCH SYFTE

1.1 Beställare

Miljöförvaltningen
Stockholms Stad

1.2 Syfte

Syftet med de genomförda undersökningarna är:

- att inledningsvis genomföra en kartering av bottendynamiken i Flaten med hjälp av side scan sonar och ekolod, dels för att avgöra var provtagningspunkterna lämpligen kan förläggas, dels för att identifiera eventuella främmande föremål på bottenarna.
- att genomföra yttäckande och representativa provtagningar av ytsediment i fem punkter och på en av dessa även ta en sedimentkärna som är representativ för Flaten.
- att analysera metaller och organiska miljögifter i ytsediment (0-2 cm), som representerar föroreningsbilden från de senaste åren.
- att analysera upp till 8-12 skikt i de tre sedimentkärnorna så att den historiska föroreningsutvecklingen i sedimenten kan bestämmas.
- att sammanställa resultaten i en rapport som i text, med bilder och figurer beskriver föroreningssituationen i de olika delarna av sjön.

I denna undersökning har vi använt ett klassificeringssystem av botten typer enligt Håkanson and Jansson (1983). Bottenarna karaktäriseras enligt följande:

- Ackumulationsbottenar (A-bottenar) är bottenar där finmaterial (medium silt, kornstorlek < 6 µm) deponeras kontinuerligt.
- Transportbottenar (T-bottenar) är bottenar med diskontinuerlig deposition av finmaterial, dvs. där perioder med ackumulation omväxlar med resuspensions- och transportperioder.
- Erosionsbottenar (E-bottenar) är bottenar där deposition av finmaterial ej sker.

1.3 Arbetsmoment

Arbetet har omfattat följande moment:

- Uppstartmöten
- Rekognoscering av lämplig sjösättningsplats för provtagningsbåten.
- Kartering med side scan sonar
- Upprättande av preliminära bottendynamiska kartor som grundar sig på i fält insamlat material från side scan sonar och ekolod
- Provtagning av ytsediment från fem stationer och sedimentkärnor från samma stationer för dokumentation av lagerföljder
- Provtagning av en representativ sedimentkärna för retrospektiv analys av historisk föroreningsutveckling
- Dokumentation av insamlade sedimentkärnor i laboratorium
- Provuttag på olika nivåer i lagerföljden
- Analys av prover (ytsediment samt djupprov i representativ sedimentkärna)
- Bearbetning och utvärdering av resultat
- Slutrapportering

1.4 Rapportens uppläggning

För att så klart och logiskt som möjligt redovisa för hur de olika studierna planerats och genomförts har rapporten disponerats enligt följande:

- Uppdrag och syfte
- Redovisning av gällande bedömningsgrunder för föroreningar
- Områdesbeskrivning
- Kartering med side scan sonar
- Sedimentprovtagning
- Erhållna resultat som rör sedimentens sammansättning och struktur
- Bottendynamik och sedimentackumulation
- Geografisk spridning av föroreningar
- Historisk sedimentutveckling
- Datering av sedimentkärnor

2 BEDÖMNINGSGRUNDER

2.1 Bedömningsgrunder metaller

För att klassificera föroreningsgraden av metaller finns flera olika strategier att tillgå. Det är väl dokumenterat att det finns en betydande geografisk variation i sedimenten beroende på variationer i berggrund och mark.

Eftersom sedimenthalterna av metaller i olika delar av landet är beroende av de lokala/regionala halterna i berggrund och lösa avlagringar (morän, lera etc.) är det därför lämpligt att ta fram regionala jämförvärden att jämföra de recenta halterna med. I föreliggande rapport har vi sålunda valt att bygga vår beräkning på prover från östra Mälaren, Stockholms mellanskärgård och en sjö i Stockholmsområdet (Jonsson 2018a).

Resultaten från denna undersökning från 2018 har använts för att bygga upp ett klassningsschema för Stockholmsområdet (Tabell 1). Gränsen mellan klass 1 och 2 (jämförvärdet) har satts till det medelvärde som uppmäts i de sex kärnornas djupsediment. Övriga klassgränser bygger på tabell 36 i NV Rapport 4914 där avvikelsen från jämförvärdet varierar för de olika grundämnena.

Tabell 1 Klassning utifrån principen grundad på regionala bakgrundsvärden i Stockholmsområdet (Jonsson 2018a). Analys enligt svensk standard.

	Klass 1 Ingen/obetydlig avvikelse (mg/kg ts)	Klass 2 Liten avvikelse (mg/kg ts)	Klass 3 Tydlig avvikelse (mg/kg ts)	Klass 4 Stor avvikelse (mg/kg ts)	Klass 5 Mycket stor avvikelse (mg/kg ts)
Arsenik	≤ 6,8	6,8 - 12	13 - 19	20 - 31	≥ 32
Bly	≤ 20	21 - 32	33 - 52	53 - 88	≥ 89
Kadmium	≤ 0,37	0,37 - 0,93	0,94 - 2,2	2,3 - 5,6	≥ 5,7
Kobolt	≤ 15	15 - 26	27 - 44	45 - 75	≥ 76
Krom	≤ 56	56 - 67	68 - 84	85 - 101	≥ 102
Koppar	≤ 35	36 - 70	71 - 116	117 - 186	≥ 187
Kvikksilver	≤ 0,05	0,06 - 0,15	0,16 - 0,5	0,6 - 1,3	≥ 1,4
Nickel	≤ 39	40 - 59	60 - 86	87 - 129	≥ 130
Zink	≤ 121	122 - 182	183 - 290	291 - 508	≥ 509

Som ett led i Sveriges implementering av EU:s vattendirektiv har Havs- och vattenmyndigheten utarbetat en föreskrift om klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvatten (HVMFS 2013:19 kompletterad med ändringar i HVMFS 2015:4). De flesta av gränsvärdena för uppnående av god kemisk status rör prioriterade ämnen som skall analyseras i vatten och för ett mindre antal även i biota. Endast för ett fåtal ämnen skall nationella gränsvärden gälla för sediment. Dessa ämnen är bly, kadmium, antracen, fluoranten och TBT. Dessa ämnen har analyserats i föreliggande undersökning och, förutom den nationella klassificeringen, görs särskilda värderingar av huruvida god kemisk status enligt HVMFS 2013:19 och 2015:4 uppnås på de enskilda stationerna.

För bly anges i HVMFS 2015:4 ett gränsvärde på 130 mg/kg TS för inlandsvatten. För kadmium anges gränsvärdet till 2,3 mg/kg TS.

2.2 Bedömningsgrunder organiska miljögifter

Havs- och vattenmyndighetens riktlinjer för klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvatten (HVMFS 2013:19) anger gränsvärdena för uppnående av god kemisk status i sediment vad gäller antracen och fluoranten till 24 resp. 2000 µg/kg TS normerat till 5 % TOC-halt. Medelkolhalten i ytsediment (0-2 cm) från Flaten är 9,9 %, vilket leder till att gränsvärdet för antracen blir 48 µg/kg TS och för fluoranten 3960 µg/kg TS.

Naturvårdsverket har i samarbete med SGU (Josefsson 2017) tagit fram en uppdaterad tabell där fördelningen av halter av organiska miljögifter i svenska marina sediment presenteras. Motsvarande tabell fanns tidigare publicerad i Naturvårdsverkets rapport 4914 (1999) Bedömningsgrunder för miljö kvalitet – Kust och hav. Den uppdaterade tabellen omfattar prover tagna mellan 1986 och 2014 i marina sediment och inkluderar fler ämnen än tidigare t.ex. tennorganiska föreningar och PBDE. Nyttan av att använda tabellen som bedömningsgrund kan för många miljögifter diskuteras. I tillämpliga fall görs detta för de olika ämnena i kommande kapitel.

TBT (tributyltenn) är klassat som ett av de prioriterade ämnena i EU:s vattendirektiv. Användningen förbjöds i båtottenfärger för icke oceangående båtar under 25 meter i Sverige redan 1989. Liknande förbud för båtar över 25 m trädde i kraft i EU under perioden 2003–2007 och sedan 2008 råder ett totalförbud mot TBT i båtottenfärger (Magnusson och Samuelsson, 2012).

För TBT anges i Havs- och vattenmyndighetens riktlinjer för klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvatten (HVMFS 2013:19) att gränsvärdet för uppnående av god kemisk status i sediment skall ligga på 1,6 µg/kg TS för TBT normerat till 5 % kolhalt (TOC). Medelkolhalten i ytsediment (0-2 cm) från Flaten är 9,9 %, vilket leder till att gränsvärdet blir 3,2 µg/kg TS.

Tabell 2 Fördelning av uppmätta halter organiska miljögifter i marina sediment i svenska havsområden och ekonomisk zon (µg/kg torrsvikt) under 1986-2014.

Ämne	Klass 1 Mycket låg halt	Klass 2 Låg halt	Klass 3 Medelhög halt	Klass 4 Hög halt	Klass 5 Mycket hög halt
Naftalen		<4,9	4,9-19	19-63	≥63
Acenaften			<5,5	5,5-33	≥33
Fluoren		<2,0	2,0-9,4	9,4-36	≥35
Fenantren	<7,0	7,0-17	17-50	50-150	≥150
Antracen	<1,0	1,0-3,1	3,1-11	11-45	≥45
Fluoranten	<18	18-45	45-140	140-390	≥390
Pyren	<12	12-30	30-100	100-380	≥380
Bens(a)antracen	<7,5	7,5-19	19-62	62-180	≥180
Krysen	<11	11-26	26-67	67-200	≥200
Bens(b)fluoranten	<32	32-69	69-200	200-440	≥440
Bens(k)fluoranten	<11	11-28	28-79	79-180	≥180
Bens(a)pyren	<12	12-31	31-99	99-240	≥240
Dibens(ah)antracen	<4,4	4,4-8,9	8,9-27	27-79	≥79
Bens(ghi)perylene	<22	22-62	62-180	180-400	≥400
Indeno(1,2,3-	<24	24-76	76-220	220-530	≥530
Summa PAH 11	<170	170-440	440-1200	1200-2800	≥2800
Summa PAH 15	<250	250-440	440-1200	1200-4700	≥4700
Summa PAH M1	<57	57-110	110-320	320-1700	≥1700
Summa PAH H2	<180	180-320	320-940	940-2600	≥2600
HCB	<0,020	0,020-0,15	0,15-0,45	0,45-1,6	≥1,6
PCB 28		<0,066	0,066-0,30	0,30-1,3	≥1,3
PCB 52		<0,12	0,12-0,40	0,40-1,9	≥1,9
PCB 101	<0,10	0,10-0,34	0,34-1,1	1,1-5,5	≥5,5
PCB 118	<0,084	0,084-0,31	0,31-0,84	0,84-3,6	≥3,6
PCB 138	<0,21	0,21-0,67	0,67-2,0	2,0-9,1	≥9,1
PCB 153	<0,20	0,20-0,61	0,61-2,0	2,0-7,9	≥7,9
PCB 180	<0,081	0,081-0,29	0,29-0,90	0,90-4,9	≥4,9
Summa PCB 7	<0,81	0,81-2,5	2,5-7,6	7,6-34	≥34
α-HCH	<0,006	0,006-0,04	0,04-0,17	0,17-0,36	≥0,36
β-HCH	<0,003	0,003-0,11	0,11-0,57	0,57-1,2	≥1,2
γ-HCH	<0,006	0,006-0,034	0,034-0,12	0,12-0,30	≥0,30
Summa HCH	<0,025	0,025-0,21	0,21-0,87	0,87-2,0	≥2,0
γ-klordan		<0,018	0,018-0,090	0,090-0,39	≥0,39
α-klordan		<0,006	0,006-0,082	0,082-0,30	≥0,30
trans-nonaklor		<0,021	0,021-0,088	0,088-0,30	≥0,30
Summa klordan		<0,063	0,063-0,27	0,27-0,81	≥0,81
p,p'-DDT		<0,019	0,019-0,29	0,29-2,0	≥2,0
p,p'-DDD	<0,029	0,029-0,32	0,32-1,7	1,7-5,3	≥5,3
p,p'-DDE	<0,057	0,057-0,32	0,32-1,2	1,2-3,6	≥3,6
Summa DDT	<0,32	0,32-0,89	0,89-3,5	3,5-10	≥10
PBDE 47		<0,045	0,045-0,11	0,11-0,37	≥0,37
PBDE 100			<0,041	0,041-0,14	≥0,14
PBDE 99		<0,047	0,047-0,13	0,13-0,47	≥0,47
PBDE 85			<0,15	0,15-0,55	≥0,55
PBDE 209 (Deca)			<2,4	2,4-13	≥13
EOCI	<200	200-830	830-2700	2700-5600	≥5600
EOBr	<180	180-590	590-1900	1900-3000	≥3000
EPOCI		<100	100-560	560-2100	≥2100
EPOBr		<88	88-480	480-700	≥700
monobutyltenn,		<1	1-10	10-20	≥20
dibutyltenn, DBT		<1	1-10	10-26	≥26
tributyltenn, TBT		<1	1-19	19-55	≥55

¹PAH M = fem PAH med medelhög molekylvikt

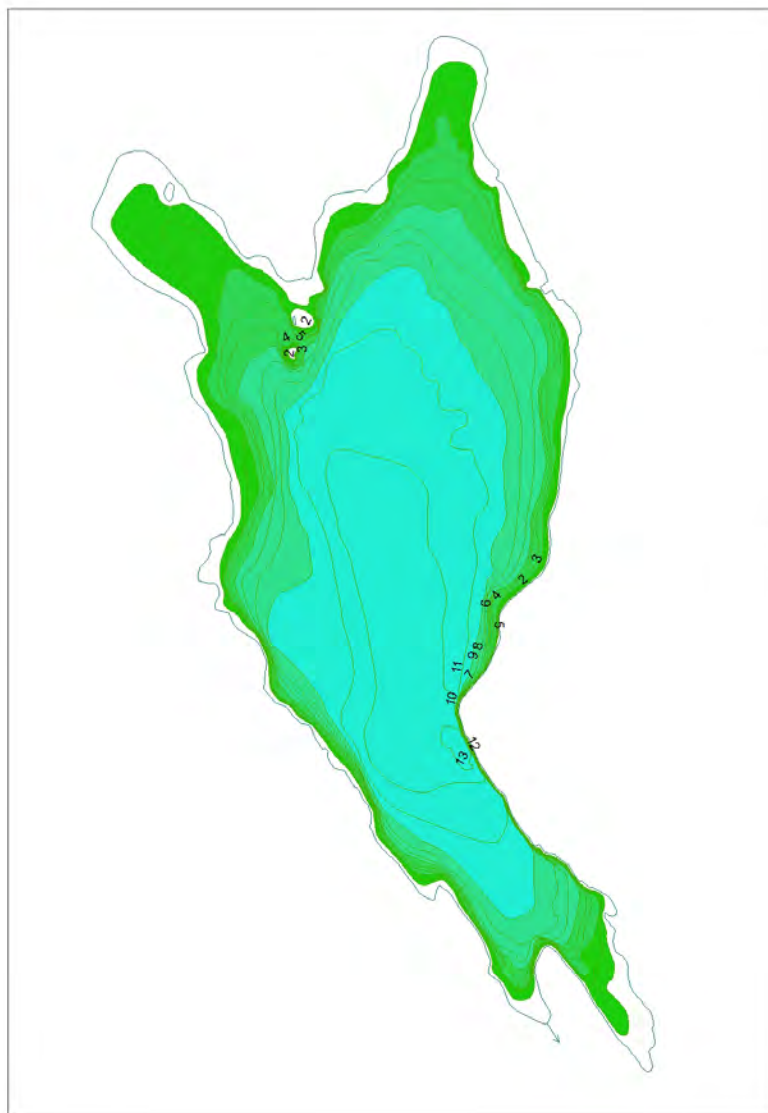
²PAH H = åtta PAH med hög molekylvikt

3 OMRÅDESBESKRIVNING

Enligt Miljöbarometern Stockholm ligger ”Flaten norr om Drevviken och ingår i Tyresåns sjösystem. De närmaste omgivningarna domineras av skogsmark utom i norr där det finns ett stort koloniområde. Tillrinningsområdet omfattar även en del av Tyresövägen samt Skarpnäck med bostäder och industriområde. Skogsmarken har höga naturvärden. Sjön Flaten ingår i Flatens naturreservat, som bildades 2005”.

Tillrinningsområdets yta är 403 ha och sjöytan 63 ha. Sjövolymen är 4,6 Mm³ och den teoretiska omsättningstiden 4 år. Djupförhållandena i Flaten har tidigare karterats (Fig. 1; Myrica 1999). Största uppmätta djupet är 13,6 m och medeldjupet 7,4 m.

Eftersom detaljerad djupmätning skett 1999 (Myrica 1999) har den existerande djupkartan använts och ingen ny mätning har genomförts.



Figur 1 Djupkarta över Flaten. (Myrica 1999).

Enligt Miljöbarometern är sedimenten på större djup än ca 9 m helt syrefria. Vid den senaste undersökningen 1999 var koncentrationen av löst bunden fosfor i sedimenten relativt hög, runt 1,5 mg/g TS för bottenar djupare än 6 m. Sedimenten var laminerade och vita fält med svaveloxiderande bakterier av typen Beggiatoa observerades på ytan. Metallhalterna var 1991 och 1997 låga till måttliga. Förhöjda halter av koppar och bly har observerats i sedimenteringsbassängen vid inloppet. PCB och PAH förekom i låga halter.

4 RESULTAT OCH DISKUSSION

4.1 Kartering med side scan sonar

Sonarkarteringen genomfördes den 14 maj 2018 inom navigeringsbara delar av Flaten från R/V Perca längs 3 transekter av varierande längd (Fig. 2). Provtagnings-båtens fart under karteringen var 4-5 knop. Sonarens svepvidd var 2x70 m och sonarfisken bogserades på ett djup av ca 1,5 m. Det breda omväxlande mörka/ljusa området i mitten på varje transekt representerar ljudets transport genom vattenmassan. Ju bredare den mörka sektorn är desto större är vattendjupet.



Figur 2 Sonaröversikt över Flaten.

I översikten visas undersökningens sonarplott inlagda i Google Earth. Man kan med fördel förstora bilderna i Word för att studera detaljer. Emellertid begränsas upplösningen i denna typ av fil. Vill man komma längre i detaljupplösning kan man studera separata kmz-filer som har samma geografiska utbredning som bilderna nedan. Behövs ännu högre detaljrikedom kan man studera de enskilda sonarfilerna som har en avsevärt bättre upplösning. För att kunna göra detta kan man gratis ladda ned programvaran DeepView FV från www.deepvision.se.

4.1.1 Iakttagelser från sonarunderlaget

I detta avsnitt redovisas en genomgång av speciella iakttagelser som gjorts från sonarplotten. Dessa har även använts som underlag för att beskriva områdets bottenodynamik (Avsnitt 4.5).

En stor mängd iakttagelser kan göras beträffande bottenformationer etc. utifrån side scan sonar-underlaget. Alla dessa speciella företeelser kan med fördel studeras genom systematisk genomgång av de enskilda sonar-filerna. I det följande nämns endast några påtagliga iakttagelser som gjorts utifrån sonarplotten.

4.1.1.1 Översiktligt

En stor del av bottenarean utgörs av mjukbottnar. Detta framgår av att de största arealerna visar en mörk brun kulör. Ljusare partier indikerar hårdare, och därmed ofta, grundare bottnar. Bandet i mitten på transekten ligger rakt under sonaren och representerar ljudets gång genom den fria vattenmassan och utgör på detta vis en ”blind” sektor under sonarfisken.

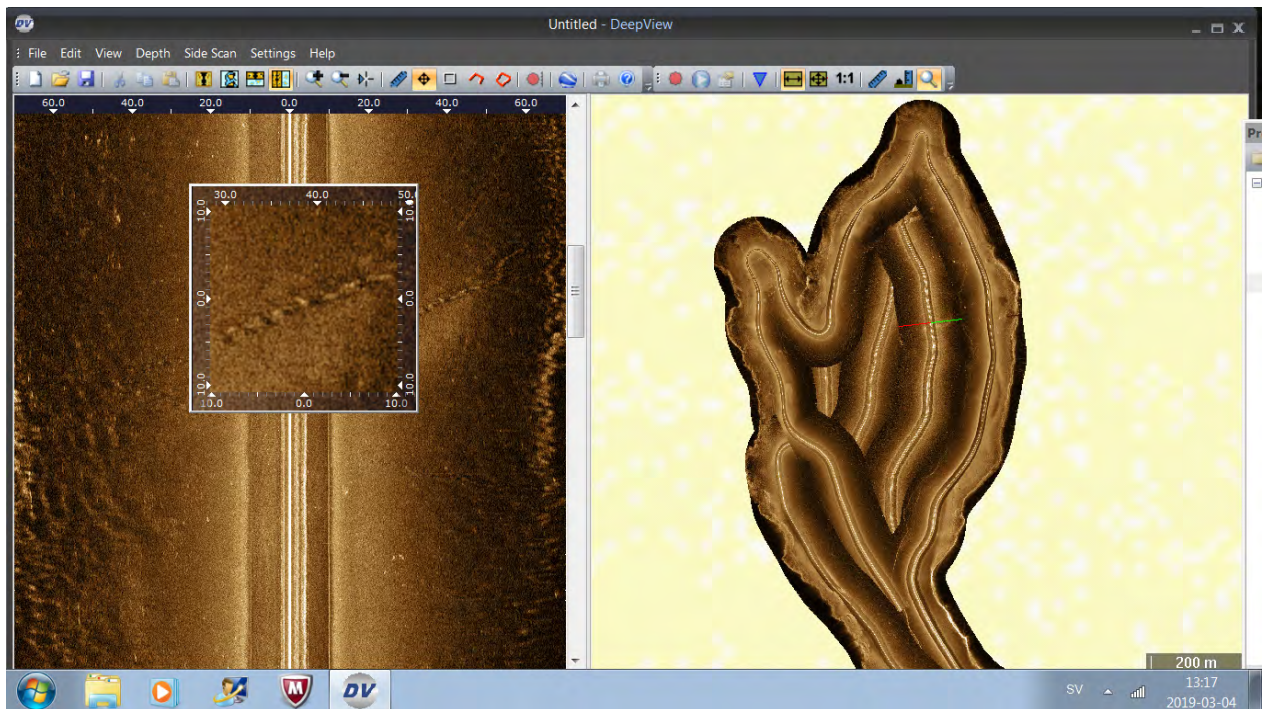
Flatens bottnar är tämligen odramatiska och de antropogena iakttagelserna är få. Inget vrak har hittats och endast en indikation på rörledning.

4.1.1.2 Detaljer

4.1.1.2.1 Rörledning

Figur 3 visar en rörledning från sjöns norra del utanför den stora badplatsen. Prickarna längs ledningen är sannolikt tyngder för att hålla ledningen på plats. Den vänstra delen av figuren visar sonarplottet i detalj. Den mindre rutan visar en uppförstoring av plottet till höger om mittlinjen. Båten har gått nedifrån i bild och uppåt och det mörka spåret till vänster ligger rakt under sonarfisken. Skalan i meter ut åt sidan återfinns i plottets övre del och visar avståndet från båten i sidled, i detta fall max 100 m. Den högra delen av bilden visar sonarplotten inlagda i sjön. Ett **grönt/rött streck** snett upp till höger visar positionen för sonarplottet. Grönt står för styrbord och rött babord.

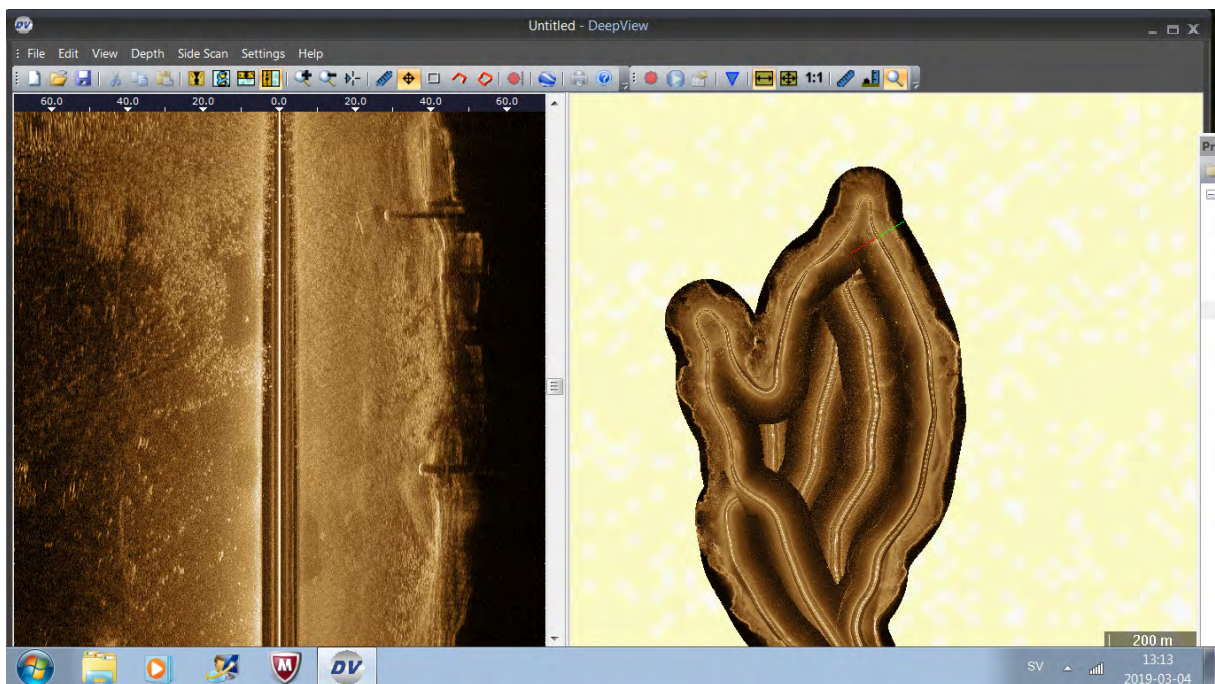
Det omväxlande mörka/ljusa området i mitten representerar en blind sektor rakt under fisken som motsvarar tiden för sonarljudet genom vattenmassan. Ekon som ligger på gränsen mellan denna sektor och sonarbilden både babord och styrbord har samma position rakt under fisken. I skalan längst upp i den vänstra delen av bilden kan fiskens höjd ovan botten avläsas. I detta fall endast några få meter.



Figur 3 Detaljbild av sonarplottet från Flaten visande en rörledning rakt utanför den stora badplatsen.

4.1.1.2.2 Bryggor

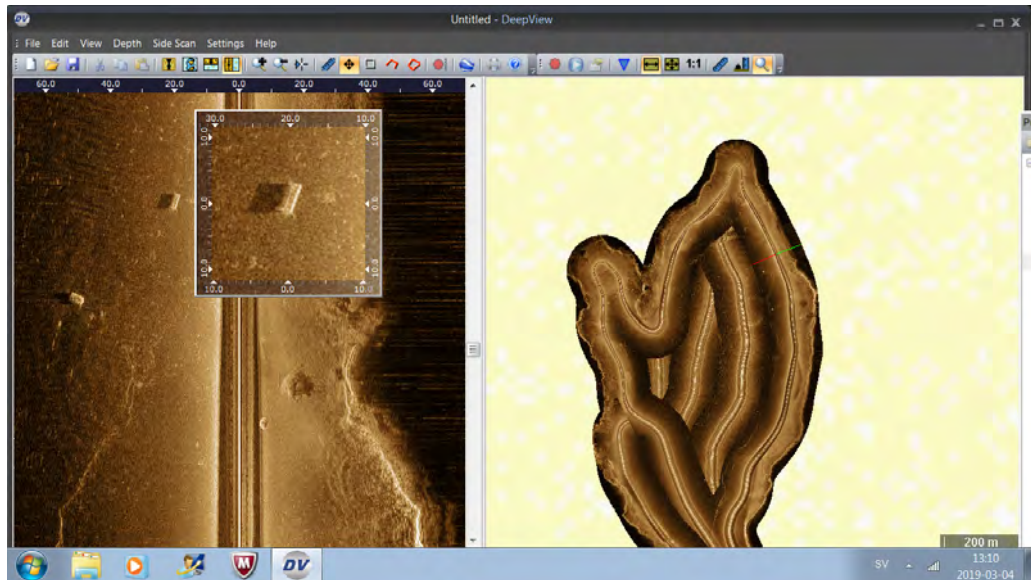
I figur 4 visas en detaljbild av sonarplottet från Flatens nordöstra del sannolikt visande två bryggnockar.



Figur 4 Detaljbild av sonarplottet från Flaten visande två bryggnockar i sjöns norra del.

4.1.1.2.3 Okända ekon

Utanför den stora badplatsen i Flatens nordöstra del finns fyra distinkta ekon av likartad karaktär. Två av dem visas i figur 5. De är ungefär lika långa, ca 10 m. Ekona sticker upp en bit ovanför botten, vilket resulterar i mörka skuggor vid sidan av ekona. På samma sätt som solstrålarna ger skugga på land ger de uppstickande föremålen (sjunkna bryggsektioner?) akustiska skuggor på botten.



Figur 5 Detalj av sonarplottet från två oidentifierade ekon utanför den stora badplatsen.

4.2 Sedimentprovtagning

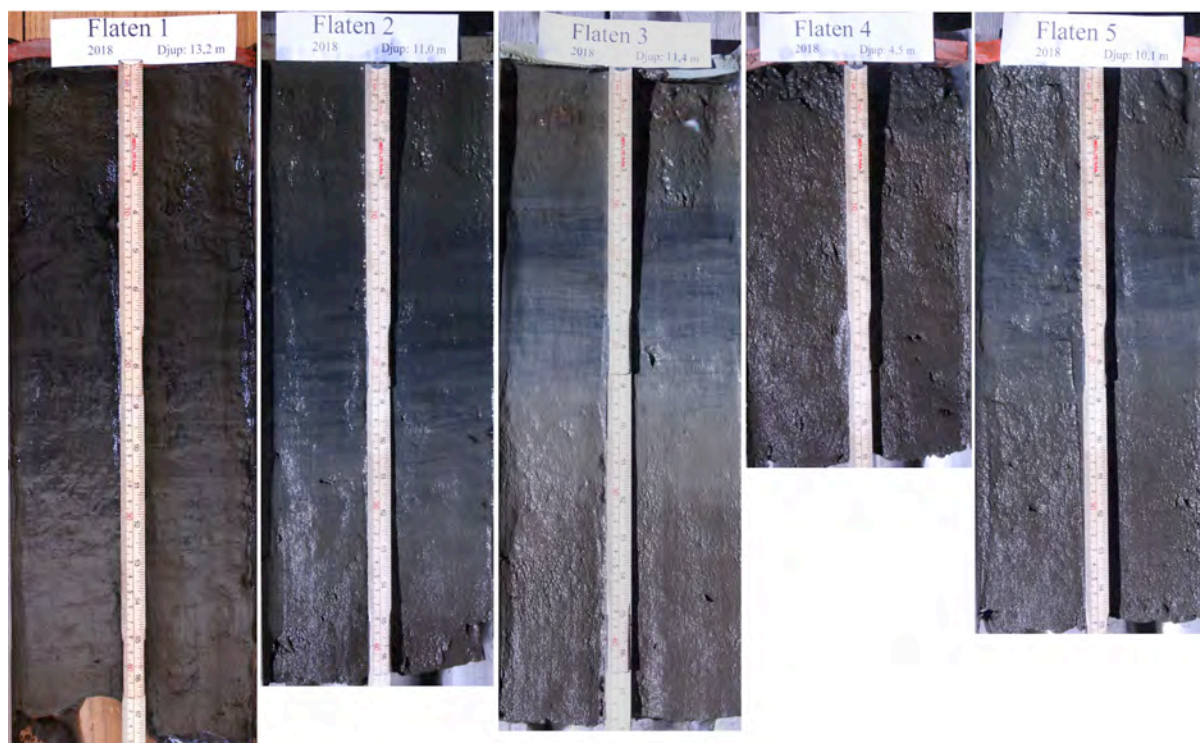
Sedimentprovtagning genomfördes från provtagningsbåten R/V Perca den 14 maj 2018 på fem stationer i Flaten (Fig. 6) efter genomförd sonarkartering.



Figur 6 Google Earth-bild över Flaten med sedimentprovstationerna inlagda.

4.3 Sedimentkärnor

Sedimentkärnor togs på samtliga 5 sedimentstationer i Flaten för att dokumentera lagerföljden. Alla kärnorna utom F 4 uppvisar likartade lagerföljder (Fig. 7). F4, som är tagen från 4,5 m djup, saknar tydliga strukturer och är mörkbrun till färgen. Övriga kärnor karaktäriseras av ett brunt sediment i de undre delarna som uppåt blir ljusare. I mitten uppträder ett blågrått, delvis laminerat, sediment som uppåt övergår till ett mer eller mindre homogent brunaktigt sediment. Varvstrukturerna har mäktigheter mellan 1 och 4 mm.



Figur 7 Sedimentkärnor från Flaten. Bildernas förstorings har justerats så att profilernas djup ska kunna jämföras.

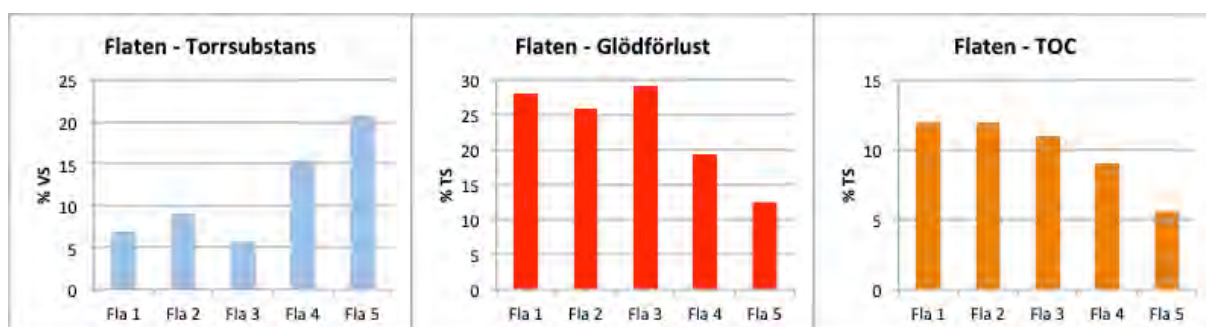
4.4 Vattenhalt och organisk halt

Vattenhalt och glödförlust 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 (W) i ytsediment bör vara $> 75 \%$ för att sedimentet skall kunna karaktäriseras som en A-botten (Håkanson and Jansson, 1983). På motsvarande sätt bör glödförlusten (LOI) överstiga 10% för att det med säkerhet skall röra sig om A-bottensediment. Empiriska undersökningar i kustområden och insjöar (Jonsson et al., 2003), där sedimenttillväxten till stor del är beroende av hög erosion av gamla glacial- och postglacialeror, visar att A-bottnar uppträder med LOI-halter ända ned mot 5% .

I Flatens ytsediment (0-2 cm; Fig. 8) är torrsubstanshalten i genomsnitt $11,6 \%$ VS och glödningsförlusten $23,0 \%$ TS, vilket mycket klart indikerar recent A-bottenmaterial.

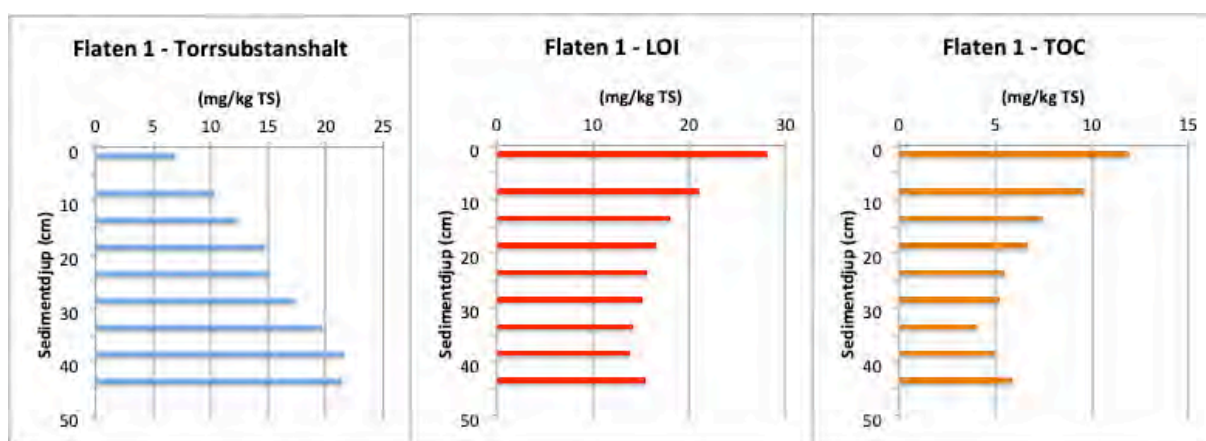
Glödförlusten i Flatens ytsediment är en faktor 2,3 högre än TOC. Persson och Jonsson (2000) fann utifrån ett stort empiriskt underlag ($n = 298$) att förhållandet mellan LOI:TOC i

nordvästra Egentliga Östersjön skärgårdar är 2,5–2,7 (Jonsson et al. 2003), vilket är av samma storleksordning som i Flaten.



Figur 8 Vattenhalt, glödförlust och TOC i ytsediment (0-2 cm) från Flaten.

Profilerna av TS, LOI och TOC i sedimentkärnan Flaten 1 (Fig. 9) visar klart att denna kärna är tagen från en god ackumulationsbotten.



Figur 9 Torrsubstanshalt (TS), glödförlust (LOI) och totalt organiskt kol (TOC) i kärnan Flaten 1.

4.5 Bottendynamik

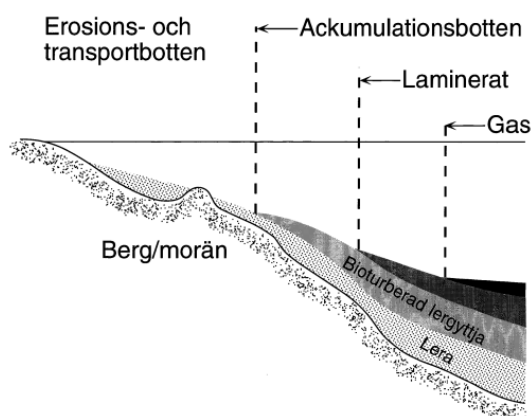
Omsättningen och depositionen av finmaterial i akvatiska miljöer är en av nyckelfaktorerna i ekologiska sammanhang eftersom finmaterialet har stor inverkan på såväl funktionen som karaktären hos ett akvatiskt ekosystem. Då man definierar fördelningen mellan olika bottentyper (=bottendynamiska förhållanden) utgår man från det mest lätttrörliga finmaterialet (med partikelstorlek < 0,006 mm, eller medium silt), som också är viktigt i ekologiska sammanhang eftersom det generellt har stor förmåga att binda olika typer av föroreningar (Håkanson and Jansson, 1983). För att på ett tillfredsställande sätt genomföra sedimentundersökningar i en sjö fordras god kännedom om vilka bottendynamiska förhållanden som råder på platsen.

Den viktigaste drivande kraften som avgör vid vilka djup olika bottentyper uppträder är vinden. Den sträcka som vinden fritt kan påverka vågbildningen kallas för "fetch". Ju längre fetch, desto högre blir vågorna och desto djupare ligger vågbasen. Vågbasen är det djup till vilket vattenvågor på ytan ger upphov till turbulens djupare ned i vattenmassan. Den är av avgörande betydelse för var ackumulationsbottnar för finsediment kan uppträda. Generellt kan

sågas att ovanför vågbasen uppträder erosions- och transportbottnar och under den finner man ackumulationsbottnarna. Undantag finns där den lokala strömsituationen kan ha stor betydelse för sedimentdynamiken.

Erfarenheten visar att A-bottnar kan uppträda i skyddade vikar och sjöar/fjärdar på endast någon eller några få meters djup. Spännvidden i djup är stor beroende på vattenområdets storlek och varierar från någon meter till 75-80 m i öppna exponerade lägen i Östersjön (Jonsson et al., 1990). Detta leder också till att gränsen mellan A-bottnar och E/T-bottnar självfallet varierar beroende på var i sjön man befinner sig. Orsaken till detta är att den effektiva fetchen (den sträcka som vinden fritt kan påverka vågbildningen) varierar i rummet. Ju större fetch desto djupare vågbas som i sin tur leder till att gränsen för uppträdande av A-bottnar återfinns djupare ned. Om man mer i detalj önskar kartera detta bör en tätare sonarkartering genomföras kompletterad med mer verifierande insamlingar av sedimentkärnor från ett större antal lokaler runt fjärden. Man kan även teoretiskt (vid skrivbordet) beräkna såväl den effektiva fetchen, som vågbasen och gränsen mellan A-bottnar och E/T-bottnar. Metodiken för detta beskrivs i Håkanson and Jansson (1983), Håkanson et al. (1985) och Håkanson och Rosenberg (1985).

Oftast återfinns E-/T-bottnarna på mindre vattendjup än A-bottnarna. En vanlig lagerföljd kan se ut som i Figur 10 där de olika sedimenttyperna börjar uppträda på olika vattendjup. I en opåverkad sjö eller skärgårdsfjärd domineras vanligen A-bottnarna av bioturberade lergyttjesediment. Om syrehalten vid botten längre eller kortare perioder underskrider 2-3 mg O₂/l har ofta bottenfaunan slagits ut mer eller mindre. Då finner man ofta laminerade, årsvarviga sediment (Persson and Jonsson, 2000; Jonsson et al., 2003). Om den organiska belastningen varit mycket hög kan man finna gasrika sediment som innehåller metangas och svavelväte.



Figur 10

Principskiss över en recent lagerföljd från djupområde till strandzon.

Sonarkarteringens resultat visar att Flatens bottnar huvudsakligen täcks av mjuka sediment. Som ovan beskrivits är den effektiva fetchen styrande för på vilket djup A-bottengränsen återfinns. I en sjö av Flatens storlek brukar gränsen mellan erosions- och transportbottnar

(E/T-bottnar) å den ena sidan och ackumulationsbottnar (A-bottnar) å den andra ligga på mellan 2 och 4 meter (Jonsson 2012; Jonsson och Karlsson 2012; Jonsson och Karlsson 2013; Jonsson 2014; Rydin et al. 2016; Jonsson 2017). Utifrån sonarunderlaget går gränsen mellan A-bottnar och E/T-bottnar vid ca $2 \pm 0,5$ m. Detta innebär att ca 80 % av Flatens bottenarea utgörs av ackumulationsbottnar.

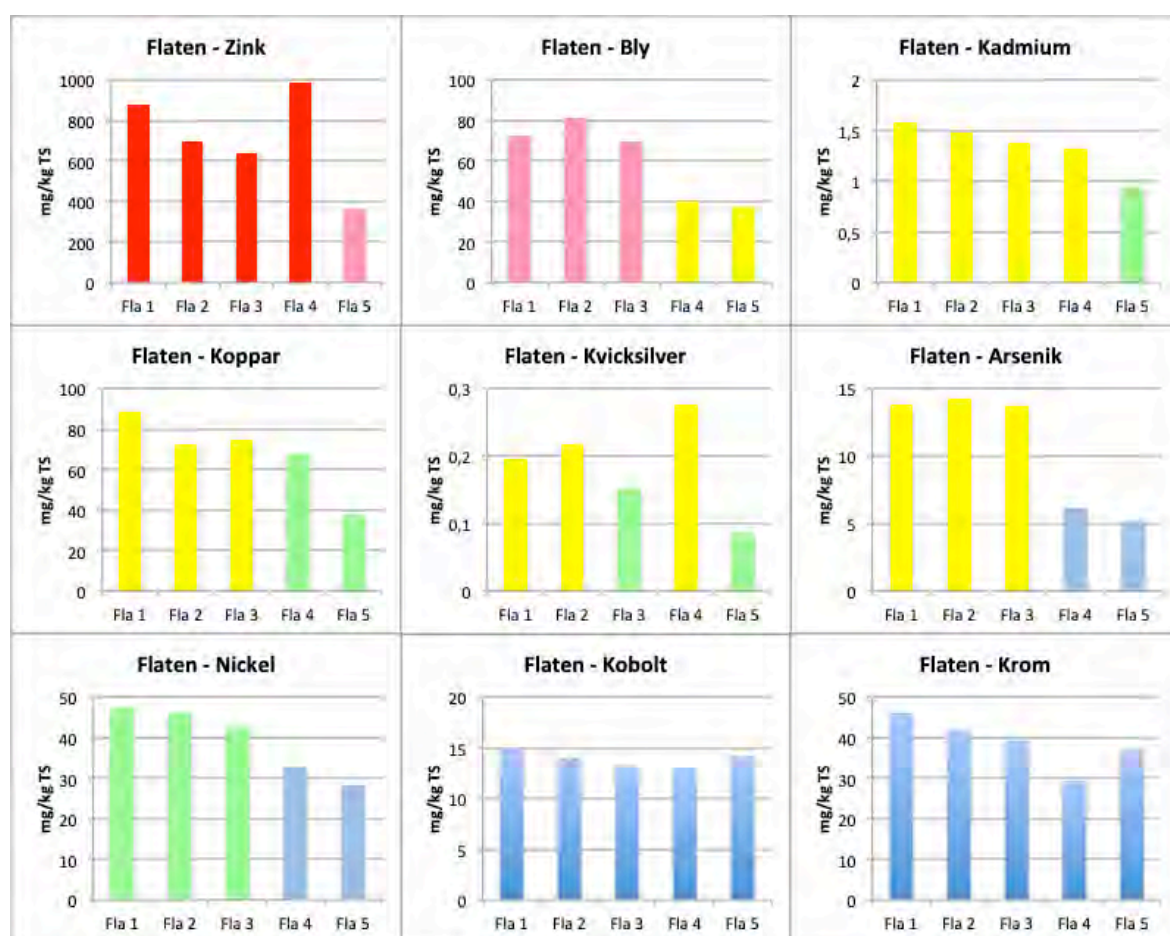
Mer eller mindre tydliga lamineringar finns i delar av kärnorna F1, F2, F3 och F5 (Fig. 7). De övre 9-15 centimeterna saknar dock varvstrukturer och har en brun färg, vilket brukar innebära oxiderade förhållanden.

5 FÖRORENINGAR

5.1 Areell fördelning

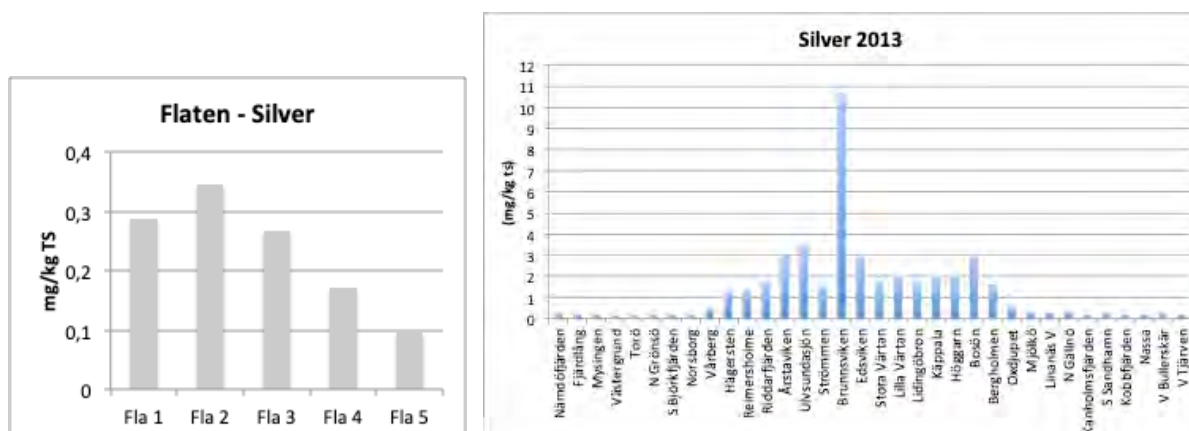
5.1.1 Metaller

Zinkhalterna uppvisar stor eller mycket stor avvikelse från bakgrundsvärdena i Flatens ytsediment (Fig. 11). Diagrammen är ordnade med de metaller som har de högsta halterna i figurens övre vänstra hörn. De med lägsta halter återfinns i figurens nedre högra hörn. Bly uppvisar stor eller tydlig avvikelse från bakgrunden, men övriga metaller visar endast tydlig till obetydlig avvikelse.



Figur 11 Zink, bly, kadmium, koppar, kvicksilver, arsenik, nickel, kobolt och krom i ytsediment (0-2 cm) från Flatens. Halterna är klassade enligt färgskalan i tabell 1.

Halterna av silver är låga (1-3 gånger bakgrundsnivån) i Flatens ytsediment (Fig. 12) i jämförelse med andra sjöar och fjärdar i Stockholms närområde (Jonsson 2015).



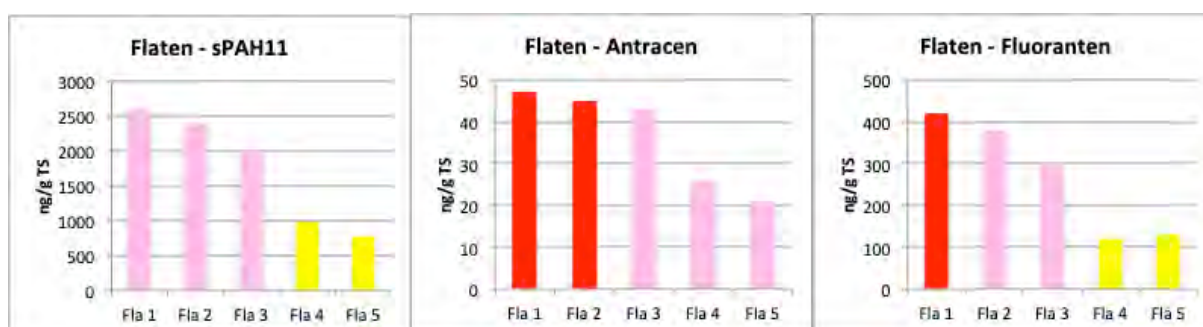
Figur 12 Silver i ytsediment (0-2 cm) från Flaten (vänster bild), Stockholms skärgård och östra Mälaren (höger bild) (Från Jonsson 2015).

5.1.2 Organiska föroreningar

På alla ytsedimentstationer har PAH-er och organiska tennföreningar analyserats. Av de tennorganiska är det dock endast butyltennföreningarna som ligger över detektionsgränsen.

5.1.2.1 Polycykliska aromatiska kolväten – PAH

sPAH11 uppvisar höga till medelhöga till halter i Flatens ytsediment (Fig. 13).



Figur 13 sPAH11, antracen och fluoranten i ytsediment (0-2 cm) från Flaten.

I Havs- och vattenmyndighetens riktlinjer för klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvatten (HVMFS 2015:4) att gränsvärdet för uppnående av god kemisk status i sediment skall ligga på 24 respektive 2000 $\mu\text{g/kg TS}$ för antracen och fluoranten normerat till 5 % kolhalt (TOC). Medelkolhalten i ytsediment (0-2 cm) från Flaten är 9,9 %, vilket leder till att gränsvärdet för antracen blir 48 $\mu\text{g/kg TS}$ och för fluoranten 3960 $\mu\text{g/kg TS}$. Halten i Flatens ytsediment varierar för antracen mellan 21 och 47 $\mu\text{g/kg TS}$, vilket är lägre än det normaliserade gränsvärdet för god kemisk status. Vad gäller fluoranten är halterna långt under gränsvärdet.

5.1.2.2 Organiska tennföreningar

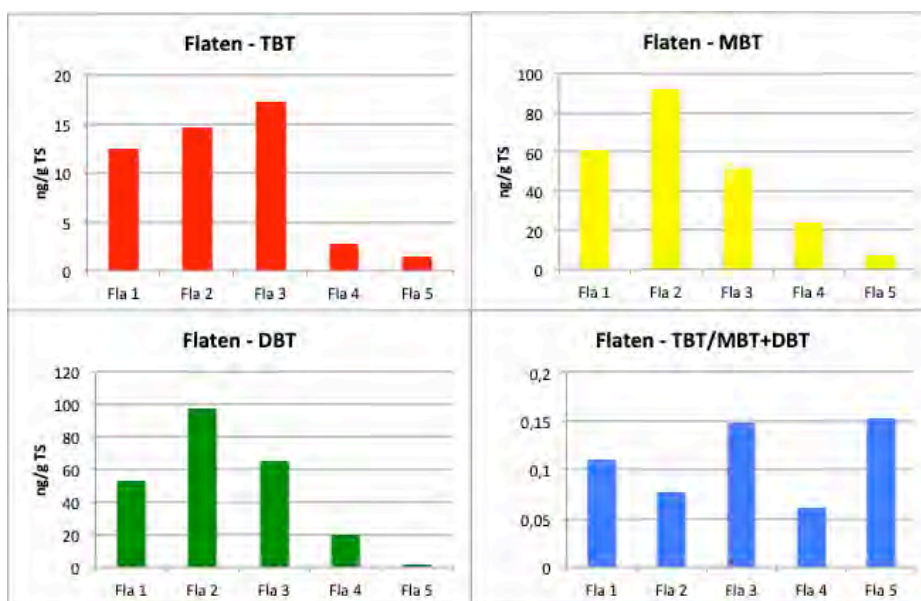
Vad gäller organiska tennföreningar har vi i denna undersökning valt att inte använda bedömningsgrunderna i Tabell 2 från 2017. Orsaken är att tabellen helt grundar sig på uppmätta halter i ytsediment (0-2 cm) och på intet sätt relateras till miljöfarligheten hos de olika kongenerna. Naturvårdsverket har 2016 i samarbete med Kemakta och Karolinska Institutet (Institutet för Miljömedicin) upprättat ett Datablad för Organiska Tennföreningar (Naturvårdsverket 2016). I detta datablad redovisas haltkriterier för ytvatten för gruppen organiska tennföreningar (Tabell 3).

Tabell 3 Parametervärdet i riktvärdesmodellen, haltkriterium för organiska tennföreningar i ytvatten. (Från Naturvårdsverket 2016).

TBT	Ccrit_sw	0,0005	µg/l
DBT	Ccrit_sw	0,07	µg/l
MBT	Ccrit_sw	0,8	µg/l
Organiska tennföreningar	Ccrit_sw	0,004	µg/l

Haltkriteriet för TBT är 140 gånger lägre än för DBT och 1600 gånger lägre än för MBT. Det syns därför inte rimligt att värdera enligt en bedömningsgrund som har en klassgräns mellan klass 4 och 5 som har en omvänd rangordning av kongenerna ($TBT \geq 55$, $DBT \geq 26$, $MBT \geq 20$) än kriterierna i Tabell 3. I figur 19 och 20 har således inte färgskalan något med klasser att göra.

Havs- och vattenmyndighetens riktlinjer för klassificering och miljökvalitetsnormer avseende ytvatten (HVMFS 2013:19) anger för TBT ett gränsvärde för uppnående av god kemisk status i sediment till 1,6 µg/kg TS normerat till en TOC-halt av 5 % TS. Medelkolhalten i Flatens ytsediment (0-2 cm) är 9,9 % TS, vilket leder till att det normaliserade gränsvärdet blir 2,9 µg/kg TS. Gränsvärdet överskrids på tre av fem stationer i Flaten (Fig. 14).



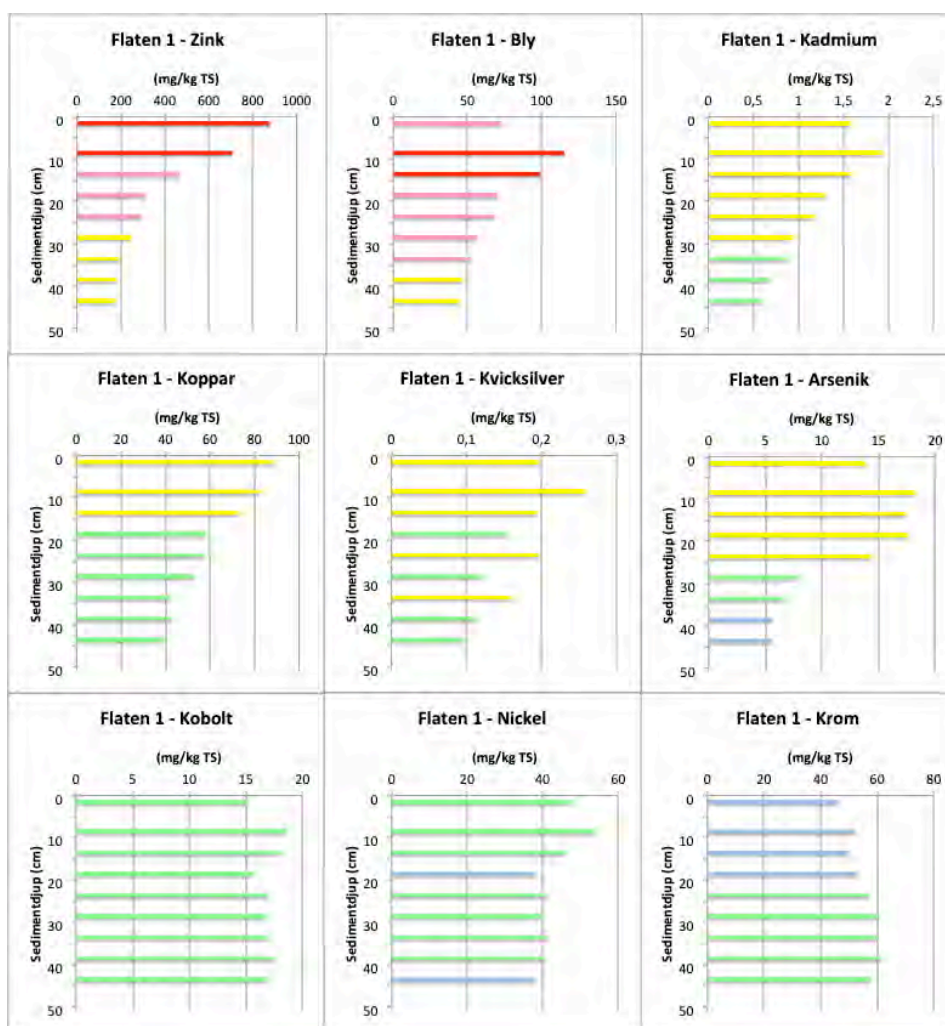
Figur 14 TBT, MBT och DBT i ytsediment (0-2 cm) från Flaten. (Färgen på staplarna har inget med klassgränser att göra).

Bengtsson och Cato (2011) hävdar att kvoten tributyltenn (TBT) / (monobutyltenn (MBT) + dibutyltenn (DBT)) i sediment är ett bra uttryck för om nytillskott av TBT sker eller ej. En kvot $<0,8$ innebär inte ett nytillskott medan kvoter i intervallet $0,8-1,0$ och $1,0-1,5$ innebär ett litet respektive märkbart nytillskott. Är kvoten $>1,5$ anses nytillskottet vara stort. Kvoten används för att diskutera eventuellt nytillskott av TBT. I Flatens ytsediment varierar kvoten mellan ca $0,06$ och $0,15$ (Fig. 14), vilket klart indikerar att tillförseln idag är liten av TBT.

5.2 Föroreningshistorik

5.2.1 Metaller

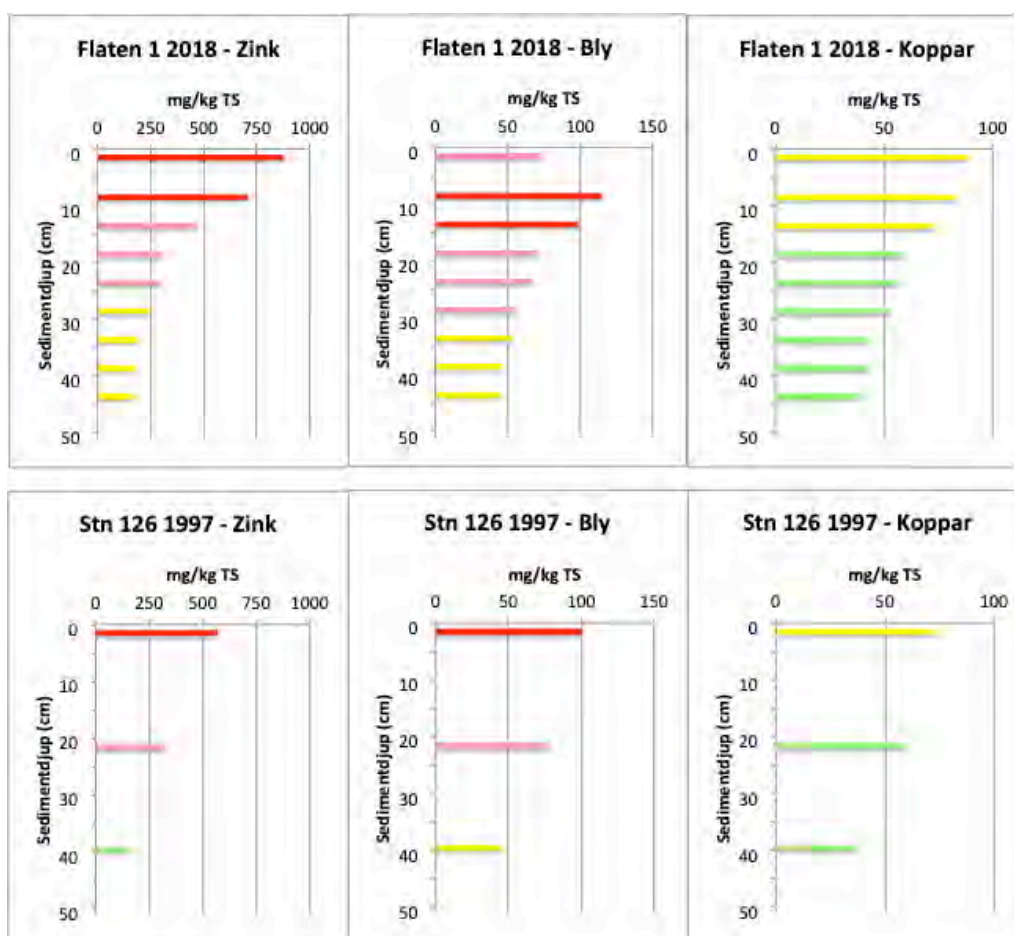
Zinkhalterna uppvisar mycket stor avvikelse från bakgrundsvärdena i ytsedimentet från Flaten 1 (Fig. 15). Halterna sjunker påtagligt med ökat sedimentdjup. Diagrammen är ordnade med de metaller som har de högsta halterna i figurens övre vänstra hörn. De med lägsta halter återfinns i figurens nedre högra hörn. Bly uppvisar stor avvikelse från bakgrunden i ytsedimentet med mycket höga halter på 5-15 centimeters djup i kärnan och därunder avtagande halter. Övriga metaller visar endast tydlig till obetydlig avvikelse. Påtagligt är dock att många metaller ökat på senare år, vilket måhända kan vara ett resultat av aluminiumfällningen i sjön år 2000.



Figur 15 Zink, bly, kadmium, koppar, kvicksilver, arsenik, nickel, kobolt och krom i ytsediment (0-2 cm) från Flaten. Halterna är klassade enligt färgskalan i tabell 1.

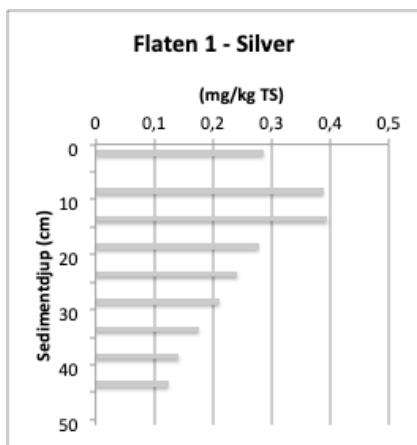
Vid en undersökning av sedimenten i Stockholms sjöar och fjärdar 1997 (Östlund et al. 1998) togs två sedimentkärnor i Flaten. En av dem, Stn 126, togs i närheten av Flaten 1 i vår undersökning, och analyserades på såväl metaller som PCB-er och PAH-er. Halterna låg dock oftast under detektionsgränserna för de enskilda PAH-kongenerna

För att jämföra haltprofilerna från två undersökningar som genomförts med 21 års mellanrum har resultaten sammanställts i en och samma figur (Fig. 16). Mycket lika haltförlopp kan konstateras om man uppskattar att sedimenttillväxten mellan provtagningarna varit ca 10 centimeter, d.v.s. ca 5 mm/år. Sedan 1997 har koppar- och zinkhalterna ökat, medan bly har minskat från 120 till ca 70 mg/kg TS.



Figur 16 Haltprofiler för koppar, bly och zink från två undersökningar som genomförts med 20 års mellanrum. Överst: Resultat från kärnan Flaten 1 i föreliggande studie 2018. Underst: Resultat från kärnan 126 i undersökningen från 1997 (Östlund et al. 1998).

Silver beskriver mycket tydliga och karaktäristiska haltförlopp i sedimentkärnan Flaten 1 (Fig. 17). Låga halter i närheten av bakgrunds-nivån 0,1 mg/kg TS i de djupare delarna av kärnorna successivt ökande till tydligt maxvärde på 10-15 cm i kärnan, därövanför avtagande till 3 gånger bakgrunds-nivån. Mycket likartade haltförlopp har noterats i såväl Magelungen (Jonsson 2018b) som Drevviken (Jonsson 2018c).



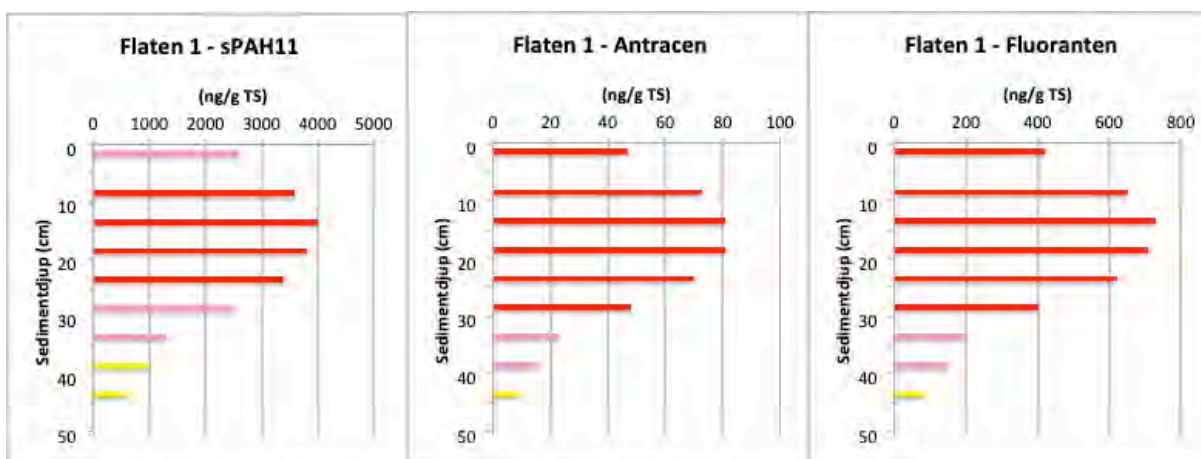
Figur 17 Silver i sedimentkärnan Flaten 1.

5.2.2 Organiska föroreningar

Perfluorerade ämnen och klorparaffiner låg under detektionsgränserna.

5.2.2.1 Polycykliska aromatiska kolväten – PAH

De polycykliska aromatiska kolvätena uttryckta som sPAH11, antracen och fluoranten beskriver likartade och karaktäristiska haltprofiler för alla de tre redovisade parametrarna (Fig. 18). I de djupare delarna är halterna att klassificera som medelhöga men ökar successivt till mycket höga halter på 25-30 cm:s djup. Därövanför sker tydliga haltavtaganden men halterna är fortfarande att klassificera som höga eller mycket höga i ytsedimenten.



Figur 18 sPAH11 i sedimentkärnorna M3, M4 och M5.

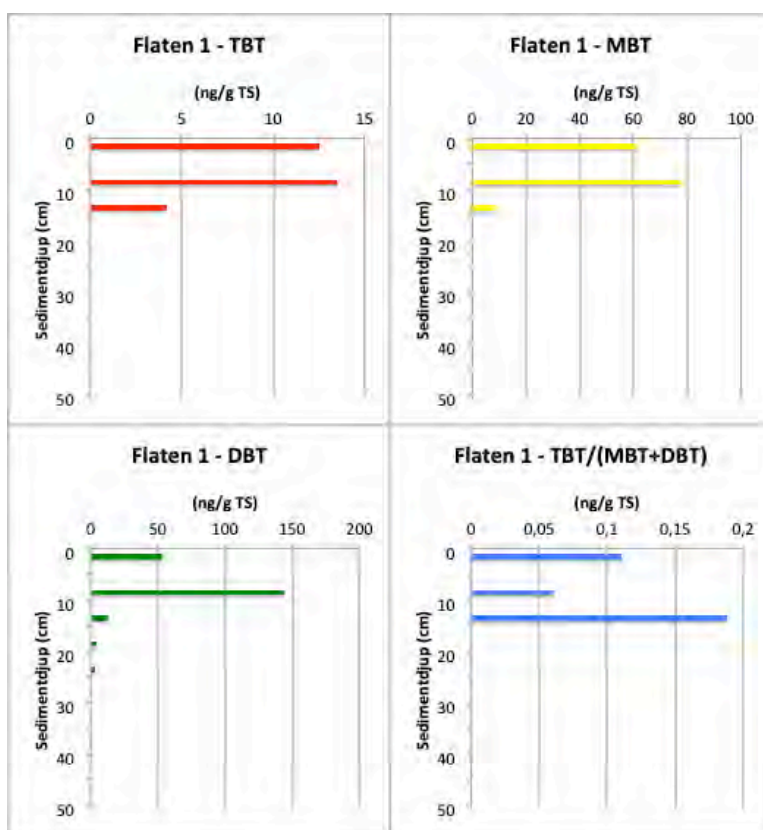
Halterna av de enskilda kongenerna antracen och fluoranten uppvisar mycket lika haltprofiler som sPAH11 och halterna i ytsedimenten är mycket höga enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder i Tabell 2.

Vid undersökningen 1997 (Östlund et al. 1998) låg såväl de enskilda PAH-kongenerna som sPAH11 under detektionsgränsen.

5.2.2.2 Organiska tennföreningar

TBT (tributyltenn) räknas som ett av de prioriterade ämnena i EU: s vattendirektiv. Användningen som påväxthämmande ämne i bottenfärger kom igång under 1960-talet (Anon. 2016). Redan 1989 förbjöds organiska tennföreningar i bottenfärger för icke oceangående båtar under 25 meters längd i Sverige. Under perioden 2003–2007 trädde liknande förbud för båtar över 25 m i kraft inom EU. Ett totalförbud mot TBT i båtbottenfärger råder sedan 2008 (Magnusson och Samuelsson, 2012). TBT-profilen bör sålunda karaktäriseras av inga eller mycket låga halter under 1960-talet.

Tributyltenn finns i mätbara halter endast i de övre 15 cm av sedimentpelaren (Fig. 19). TBT-profilen karaktäriseras av snabb ökning uppåt i kärnan och når ett pikvärde på 5-10 cm:s djup. Det normaliserade gränsvärdet 2,9 µg/kg TS överskrids i ytsedimentet på Flaten 1 med en faktor 4-5. Nedbrytningsprodukterna MBT och DBT uppvisar likartade haltprofiler som TBT.

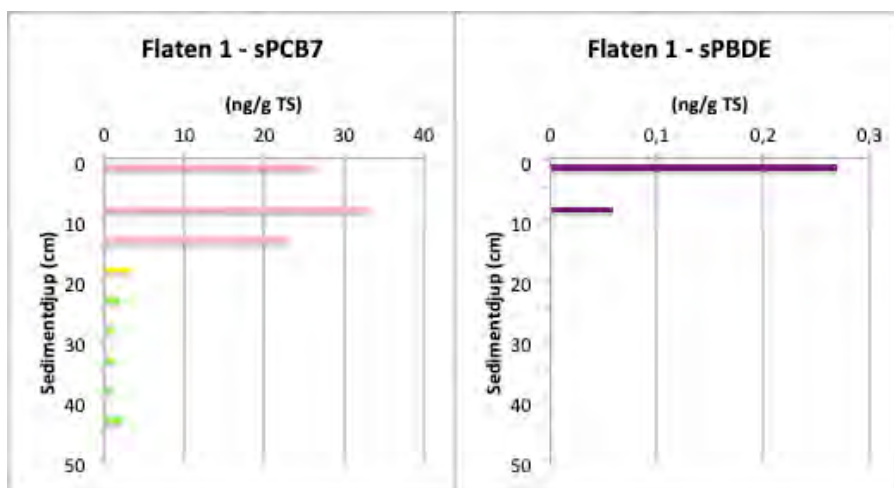


Figur 19 MBT, DBT, TBT och kvoten TBT/(MBT+DBT) i kärnan Flaten 1.

5.2.2.3 Polyklorerade bifenyler och polybromerade difenyletrar

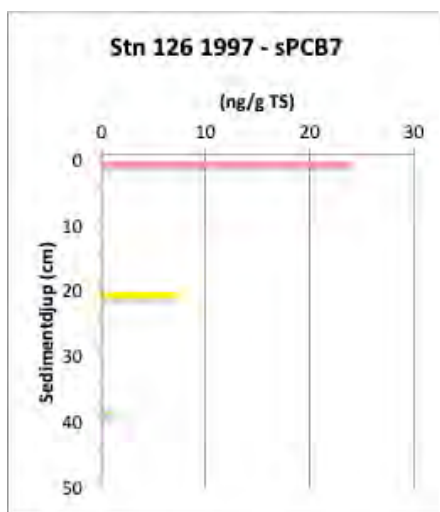
Halten sPCB7 i Flaten 1 (Fig. 20) ökar snabbt från 20-25 cm sedimentdjup till ett pikvärde vid 5-10 cm och avtar sedan mot sedimentytan. Halterna vid pikvärdet är av samma storleksordning som vad sPCB7-halterna låg på i Östersjöns ytsediment i början på 1970-talet (Jonsson & Kankaanpää 2003; Wiberg et al. 2009), då mycket allvarliga effekter på biota registrerades i Östersjön (Bernes 2000). I nordvästra egentliga Östersjön har halterna i sedimenten sjunkit påtagligt och ligger nu på ungefär en tiondel av de värsta åren kring 1970, dvs. sPCB7=3-5 ng/g TS (Apler & Josefsson 2016). Flatens ytsediment (Fig. 20) uppvisar idag i runda tal 5-8 ggr högre halter än nordvästra Östersjön under 2000-talet.

De polybromerade difenyletrarna i form av summaparametern sPBDE är ej detekterbara i de djupare delarna av kärnan Flaten 1 (Fig. 20) men ökar samtidigt som sPCB7 minskar i ytsedimentet. sPBDE utgörs av kongenerna #28, #47, #99, #100, #153 och #154. Dessa ämnen ersatte från 1970-talet PCB som flamskyddsmedel när PCB-användningen förbjöds i Östersjöområdet vid denna tid (Bernes 2000).



Figur 20 sPCB7 i sedimentkärnorna M3, M4 och M5.

Som tidigare nämnts togs vid undersökningen 1997 (Östlund et al. 1998) en sedimentkärna (stn 126) ungefär på samma plats som vår station Flaten 1 och analyserades även med avseende på PCB-er (Fig. 21). Även om provuttaget var glesare 1997 uppvisar kärnan samma trend med ökande halter mot sedimentytan. Ungefär 10 cm sediment tycks ha ackumulerats sedan 1997, vilket verkar rimligt.



Figur 21 sPCB7 i sedimentkärnan 126 från 1997 (Östlund et al. 1998).

PCB sprids fortfarande till miljön via förbränning, avfallshantering och via läckage från byggnader och utrustning. Under perioden 1956-1972 användes PCB i stor utsträckning främst som fogmassor i nybyggda hus. Betydande utläckage till omgivande mark och luft har konstaterats. Man vet att en betydande tillförsel av PCB fortfarande skedde via atmosfärisk

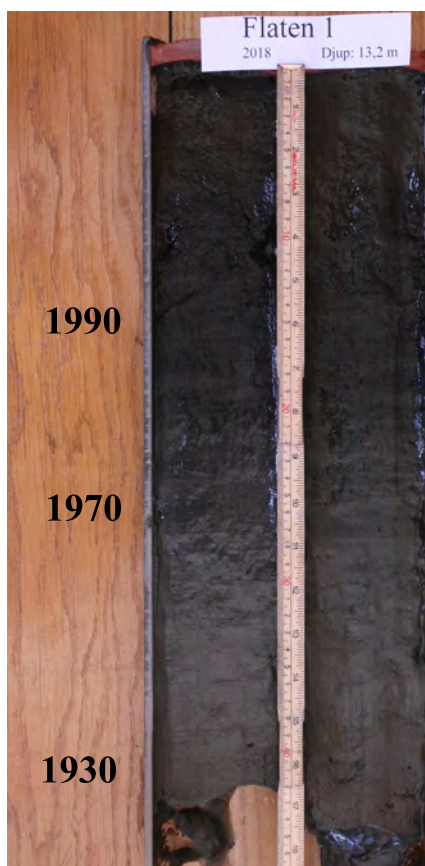
deposition under början av 2000-talet (Armitage et al. 2009; Wiberg et al. 2009). Vilken/vilka källor för PCB som dominerar i Flaten idag går inte att avgöra på föreliggande underlag.

5.2.3 Datering

Sedimentkärnan Flaten 1 uppvisar tidstrender vad gäller metaller, organiska tennföreningar, sPCB7 och sPBDE som innebär att ett försök till översiktlig datering kan göras utifrån kända storskaliga generella tidstrender för dessa föroreningar. Trenderna är dock delvis motsägelsefulla och ska inte tillmätas alltför stor tilltro. Orsaken till osäkerheten har troligen att göra med den aluminiumbehandling av bottenvatten och sediment som genomfördes 2000 och som sannolikt påverkade fastläggningen av metaller och vissa organiska ämnen i bottenarna.

I figur 22 görs ändå ett försök till datering av sedimentkärnan Flaten 1 utifrån följande antaganden:

- PCB introducerades under 1930-talet
- TBT introducerades i början av 1960-talet
- PBDE introducerades under 1970-talet
- PCB nådde maxhalter i början av 1970-talet
- Många metaller nådde maxhalter under 1970-talet
- TBT nådde maxhalter under 1990-talet



Figur 22 Försök till datering av sedimentkärnan Flaten 1.

Med vetskap om de osäkerheter som råder har den genomsnittliga sedimenttillväxten sedan 1930 beräknats till ca 4,5 mm/år för sedimentkärnan Flaten 1.

6 REFERENSER

- Apler, A. & Josefsson, S., 2016. Chemical contamination in offshore sediments 2003– 2014. Swedish status and trend monitoring programme. SGU-rapport 2016:04.
- Armitage, J. M., McLachlan, M. S., Wiberg, K. and Jonsson, P., 2009. A Model Assessment of polychlorinated dibenzo-p-dioxin and dibenzofuran sources and fate in the Baltic Sea. *Science of the Total Environment* 407 (2009) 3784-3792.
- Bengtsson, H. & Cato, I., 2011. TBT i småbåtshamnar i Västra Götalands län 2010 – en studie av belastning och trender. Länsstyrelsen i Västra Götalands län Rapport 2011:30.
- Bernes, C., 2000. Persistent organic pollutants – A Swedish view of an international problem. Naturvårdsverket Monitor 16, 152 sid. ISBN 91-620-1189-8, ISSN 1100-231X.
- DeepVision, 2009. DeepEye Sonar System - User's Guide, 8 sid.
<http://www.deepvision.se/>
- HVMFS 2013:19, 2015. Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter.
- HVMFS 2015:4, 2015. Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter.
- Håkanson, L. and Jansson, M., 1983. Principles of lake sedimentology. Springer-Verlag, Berlin, 316 p.
- Håkanson, L. och Rosenberg, R., 1985. Praktisk kustekologi. SNV PM 1987, ISBN 91-7590-183-8, 110 sid.
- Håkanson, L., Kulinski, I. och Kvarnäs, H., 1985. Vattendynamik och bottenodynamik i kustzonen. SNV PM 1905, 228 sid.
- Jonsson, P., Carman, R. and Wulff, F., 1990. Laminated sediments in the Baltic - A tool for evaluating nutrient mass balances. *Ambio* Vol. 19 No. 3, May 1990, p 152-158.
- 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.
- Jonsson, P., 2012. Bottenkartering av Västeråsfjärden. Rapport JP Sedimentkonsult 2012:01, 39 sid.
- Jonsson, P., 2014. Regionala bakgrundshalter av metaller i Västeråsfjärden. JP Sedimentkonsult Rapport 2014:2, 27 sid.
- Jonsson, P., 2015. Miljögifter i sediment i Stockholms skärgård och östra Mälaren 2013. Länsstyrelsen Stockholm Rapport 2015:3. ISBN 978-91-7281-626-8. 113 sidor och bilagor.
- Jonsson, P., 2017. Sedimentprovtagning och historikbedömning i Oxundasjön. JP Sedimentkonsult Rapport 2017:2, 15 sidor.
- Jonsson, P., 2018a. Regionala bakgrundshalter av metaller, PAH-er och dioxiner/furaner i Stockholmsområdet. JP Sedimentkonsult Rapport 2018:5, 24 sid plus bilagor.
- Jonsson, P., 2018b. Metaller och organiska miljöföroreningar i Magelungen 2017. JP Sedimentkonsult Rapport 2018:3, 41 sidor plus bilagor.
- Jonsson, P., 2018c. Metaller och organiska miljöföroreningar i Drevviken 2017. JP Sedimentkonsult Rapport 2018:6, 37 sidor plus bilagor.
- Jonsson, P., & Kankaanpää, H., 2003. Organic contaminants. In: Perttilä, M. (Ed.), Contaminants in the Baltic Sea Sediments, Results of the 1993 HELCOM/ICES Baltic Sea Sediment Baseline Study, p 45-57. No. 50 2003, MERI, Report Series of the Finnish Institute of Marine Research. ISSN 1238-5328, ISBN 951-53-2557-9.
- Jonsson, P. och Karlsson, M. O., 2013. Sonarkartering och sedimentprovtagning i Grycken. JP Sedimentkonsult Rapport 2013:4, 36 sid.
- Josefsson, A., 2017. Klassning av halter av organiska föroreningar i sediment. SGU rapport 2017:12
- Magnusson, M. och Samuelsson, P.-O., 2012. TBT-forskning ger bättre hantering av förorenade sediment. I HAVET – om miljötillståndet i svenska havsområden, sid 89-92. ISBN

978-91-87025-12-9 (Havs- och vattenmyndigheten).

- Miljöbarometern Stockholm. <http://miljobarometern.stockholm.se/vatten/sjoar/flaten/>

- Myrica, 1999. Djupkartering av Flaten. Myrica AB 1999.

- Naturvårdsverket, 1999. Rapport 4914. Bedömningsgrunder för miljö kvalitet - Kust och hav. Naturvårdsverket, Stockholm, ISBN 91-620-4917-8, ISSN 0282-7298, 136 sid.

- Naturvårdsverket, 2013. Tabell 30 i Naturvårdsverkets rapport 4914 (1999).

Bedömningsgrunder för miljö kvalitet – Kust och hav har ändrats.

<http://www.naturvardsverket.se/Stod-imiljoarbetet/>

- Naturvårdsverket, 2016. <https://www.naturvardsverket.se/upload/stod-i-miljoarbetet/vagledning/fororenade-omraden/organiskaennforeningar.pdf>. 16 sidor.

- 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.

- Rydin, E., Jonsson, P., Karlsson, M. & Gustafsson, A., 2016. Läckagebenägen fosfor i Brunnsvikens sediment 2016. Underlag för lokalt åtgärdsprogram. Naturvatten AB Rapport 2016:34, 45 sidor samt bilagor.

- Wiberg, K., McLachlan, M., Jonsson, P. and Johansson, N., 2009. Sources, transport, reservoirs and fate of dioxins, PCBs and HCB in the Baltic Sea environment. Swedish Environmental Protection Agency Report 5912, 143 p., Stockholm, Sweden. ISBN 978-91-620-5912-5, ISSN 0282-7298.

- Östlund, P., Sternbeck, J. & Brorström-Lundén, E., 1998: Metaller, PAH, PCB och total-kolväten i sediment runt Stockholm – flöden och halter. IVL-rapport B 1297, 97 s.

BILAGA 1

Material och metoder

1 Utrustning

1.1 Provtagningsbåtar

1.1.1 Provtagningsbåten Rana

I småsjöarna skedde fältstudierna normalt från en öppen 4 m lång roddbåt av märket Rana med elektrisk utombordsmotor (Fig. 1a). Undersökningen var i hög grad väderberoende främst vad gäller sonar- och djupkartering (Fig. 1b).



Figur 1 a/ Provtagningsbåten Rana b/ Side scan sonar och djupekolod i Rana.

1.1.2 Undersökningsbåten R/V Perca

I de större sjöarna genomfördes huvuddelen av fältinsatserna från undersökningsbåten R/V Perca (Fig. 2). I Trekanten genomfördes sedimentprovtagningen från R/V Perca som sjösattes vid badplatsen i sjöns nordvästra del. För att inte konkurrera med badande om sjösättningsplatsen genomfördes provtagningen nattetid den 14 juni 2017.



Figur 2 Undersökningsbåten R/V Perca.

Data för undersökningsbåten R/V Perca

Längd 7,0 m, bredd 2,4 m, maxfart 23 knop, marschfart 17 knop. Maskin: 4-cylindrig Yanmar diesel, 100HK. Gångvärme samt Webasto dieselvärmare. Provtagningsutrustning: Eldriven provtagningsvinsch som klarar Gemini-hämtare, tillgång till många typer av provtagningsutrustning, kylskåp/frysbox. Elsystem: 12V, 240V portabelt elverk. Navigatorisk utrustning: Radar av märket Furuno, ekolod, Garmin GPS/kartplotter, VHF-radio. Kan ombaseras sjöledes eller på trailer.

1.2 Positionering

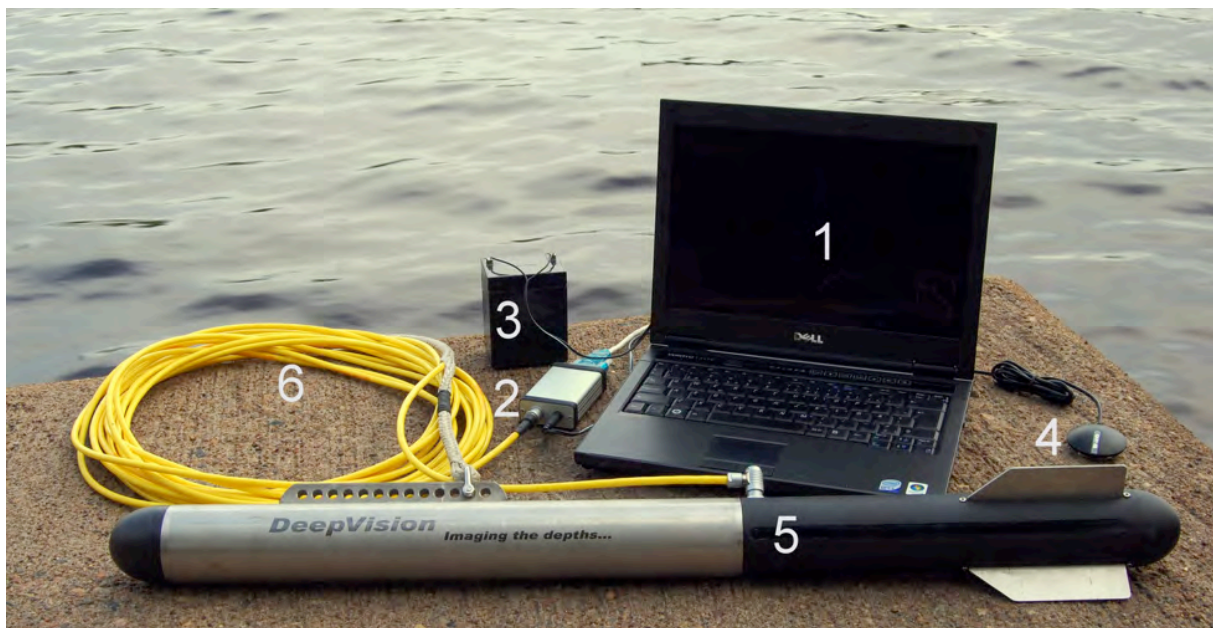
Positionering genomfördes med en GPS-utrustning av märket No: BU-353 kopplad direkt till dator. Utrustningen medger en positionsnoggrannhet av några få meter.

1.3 Djupmätning

Djupkartering skedde med ett ekolod av märket Garmin 400C. Ekolodet registrerade djupet kontinuerligt och resultaten framställdes med dataprogrammet DrDepth. GPS-mottagaren var placerad rakt ovanför ekolodsgivaren.

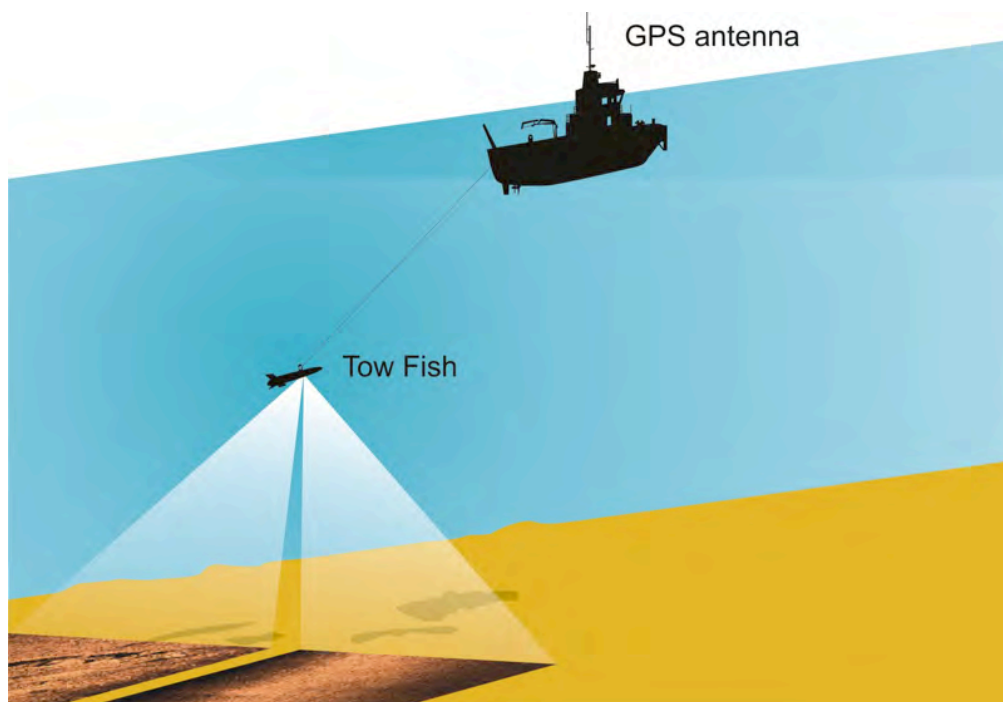
1.4 Kartering med side scan sonar

Utrustningen som användes var en Side scan sonar av typ DeepVision (340 KHz) med towfish DeepEye 340 SS (DeepVision, 2009; Fig. 3). Svepvidden går att variera mellan 30-200 meter åt varje håll beroende på bottenpografi och områdets djupförhållanden. Man kan även välja att bara scanna antingen åt styrbord eller babord. Sonarkabeln lades fast på ett knap styrbord akter. GPS-mottagaren sattes fast alldeles intill knapet. Sonaren sänktes till djup mellan 1 och 3 m beroende på vattendjupet. Med den fart som användes, mellan 2 och 6 knop, innebar detta att sonarfiskens position var endast någon dm akter om GPS-mottagaren.



Figur 3 Portabel side scan sonar av typ DeepVision (340 KHz). 1/ Dator , 2/ ytenhet, 3/ batteri, 4/ GPS-antenn, 5/ sonarfisk, 6/ kabel.

En sidtittande sonar använder ljudvågor för att registrera olika bottentyper. Ordet sonar är en förkortning av "sound navigation and ranging". I en torpedliknande "fisk" (Fig. 4) som bogseras efter båten sitter två uppsättningar sändare/mottagare, som läser av babords respektive styrbords sida (vinkelrätt mot instrumentets färdriktning). Ljudvågor utsändes från sändaren i fisken och reflekteras mot botten. I fisken omvandlas dessa till elektriska impulser, som går till datorn ombord på båten, varvid en horisontell skalriktig bild av botten erhålls. Starka reflektioner (hårda bottenar och hårda föremål) avbildas som ljusa partier i sonarplottet och svaga reflektioner (mjuka bottenar) avbildas mörkare. Sonarkarteringen ger en yttilltänlig "flygbild" över botten.



Figur 4 Principskiss för side scan sonar-kartering.

1.5 Sedimentprovtagning

Fältundersökningarna genomfördes under maj-oktober 2017. Ytsedimentprovtagning (0-2 cm) utfördes med ponarhämtare på de flesta stationer.

På i stort sett alla stationer utfördes även provtagning av en sedimentkärna för dokumentation av lagerföljden.

På 1-3 stationer i varje sjö togs sedimentkärnor för retrospektiv analys av metaller och miljögifter. I de flesta fall togs 3 kärnor per station. Vid provuttag kombinerades proverna från dessa kärnor för att erhålla tillräckligt material på varje nivå för det omfattande kemisk/fysikaliska analysprogrammet.

Vid provtagningen upprättades ett fältprotokoll för varje provtagningsstation där positionen i WGS-84, sedimentkaraktistik, provtagningsdjup och övriga observationer noterades. I efterhand har positionerna omräknats till SWEREF 99 1800.

1.5.1 Sedimentprovtagare

Tre olika sedimenthämtare användes vid undersökningarna.

1.5.1.1 Ponarhämtare

För ytsedimentprovtagning på E- och T-bottnar samt på grunt vatten användes den välbeprövade och för ytsedimentprovtagning ofta nyttjade modifierade Ponarhämtaren (Fig. 4; Håkanson och Jansson 1983). Den har en enkel och funktionellt tillförlitlig konstruktion. Löstagbara vikter gör att den kan användas på såväl mjuka som hårda bottnar. För att inte nedsjunkningen av hämtaren skulle bli för djup i lösa sediment modifierades den ytterligare genom att vikterna togs bort och flytkroppar applicerades på hämtaren (Fig. 4 höger).

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. För att motverka att hämtaren sjönk för djupt togs vikterna bort och den försågs med flytkroppar. Om misstanke fanns att hämtaren kunde ha sjunkit för djupt gjordes provtagningen om. Prov uttogs som representerar de översta 0-2 cm av sedimentet.



Figur 4 Vänster: Ponarhämtaren laddad och redo för hugg. Mitt: Uttagning av ytsedimentprover. Höger: Utan tyngder och med flytkroppar.

1.5.1.2 Jonsson-hämtaren

För att kunna genomföra sedimentundersökningarna i grunda sjöar utvecklades en ny enkel provtagare inför provtagning i Räckstasjön (Jonsson 2016). Den bygger på att sediment samlas i ett plaströr som normalt användes i Geminihämtaren (Winterhalter 1998). Röret är 80 cm långt och har en inre diameter av 80 mm. Det fästs med hjälp av slangklämmor till en 4 m lång träregel (45x70 mm; Fig. 5) med längdmarkeringar. Till träregeln anslöts en smalare (25x25 mm) regel med hjälp av två hållare. Till den smala regeln fästes en gummikork som passar för att stänga övre delen av Gemini-röret. Regeln anpassades i nedre delen så att den i uppdraget läge fastnade i den nedre hållaren.

Med korken i öppet läge trycktes hämtaren ned i sedimentet till en nivå som grundat sig på det aktuella vattendjupet. När hämtaren tryckts ned till önskat djup trycktes korken ned i Geminiröret och hämtaren togs upp till ytan. Innan den lyftes ombord sattes en gummikork också i den undre delen av röret för att hindra att sedimentet skulle rinna ut. Stor vikt lades vid att kolla att hämtaren inte var toppfylld, vilket kan medföra att delar av ytsedimentet gått förlorat. Kärnan lossades, förseglades med plasttape för transport till lab.

Jonsson-hämtaren har fungerat utmärkt på alla bottenar där vattenvegetationen på ytan varit sparsam. Funktionen har varit sämre vid kraftigt vegetationsklädd botten, eftersom vegetationen förhindrat tätning mellan rör och kork.

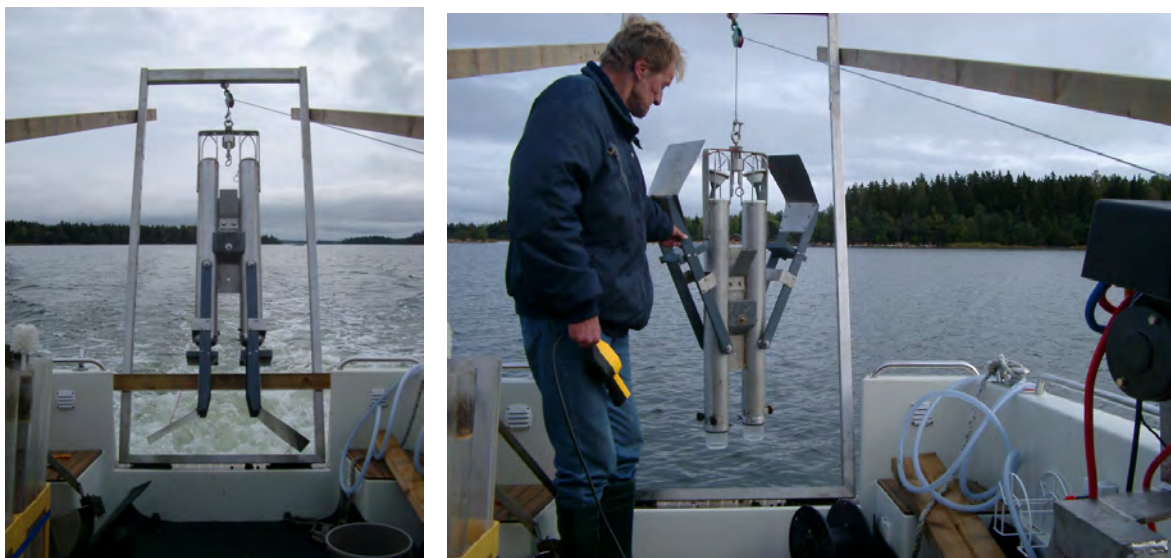


Figur 5 Den nyutvecklade Jonsson-hämtaren (Jonsson 2016).

1.5.1.3 Geminihämtare

Provtagning av sedimentkärnor skedde på större djup än 4 m med Geminihämtare (Winterhalter 1998; Fig. 6). Hämtaren som även benämns Gemax, utvecklades under början av 1990-talet av den finske sedimentologen Lauri Niemistö. Hämtaren består av ett metallskelett i vilken man fäster två plaströr som medger fri vattenpassage på nedvägen. Två utfällda armar fungerar som låsmekanismer och slår igen då provtagaren tas upp. Detta förhindrar att sedimenten rinner ur provtagaren. Den är lätt att använda, framförallt på mjukbottenar, men kan även användas 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, 50 ml per cm från varje kärna, kan tas ut för analys. Den stora fördelen med Geminihämtaren är att den tar två sedimentkärnor samtidigt. Därmed erhålles en dubbelt så stor mängd material från varje nivå, något som är viktigt när materialkrävande analyser skall utföras för att erhålla tidstrender.

Kärnorna förvarades så svalt som möjligt ombord och transporterades efter provtagningen till kylrum och förvarades i + 4° C i avvaktan på dokumentation.



Figur 6 Vänster: Geminihämtaren transportsurrad. Höger: Laddad och redo för hugg.

1.6 Provhantering

Ytsedimentproverna och kärnorna transporterades efter provtagningen till kylrum och förvarades i + 4° C i avvaktan på dokumentation, provuttag och vidare transport till ALS för analys.

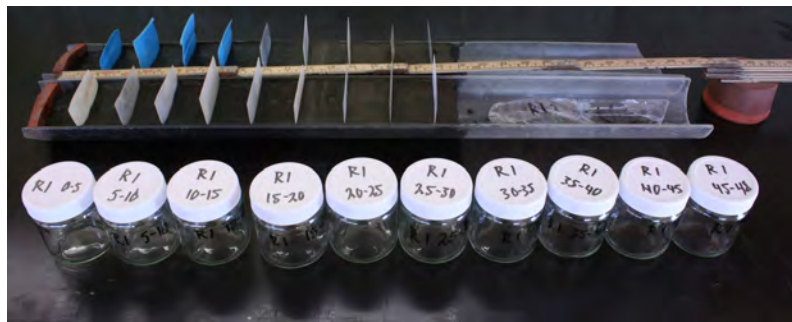
1.7 Dokumentation av sedimentkärnor

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 kärnhalfvorna placerades i två rännor. De två halvorna fotograferades med digitalkamera. Bilderna överfördes sedan till dator för vidare bildanalys. I datorn analyserades kärnorna noggrant med avseende på bland annat laminering, varvantal, varvtjocklek, färg och struktur.

1.8 Snittning av sedimentkärnor

Kärnorna som skulle användas för analys av metaller och miljögifter snittades med snittningsutrustning för Gemini-hämtaren (Fig. 7 vänster). Prover uttogs på 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40 o.s.v. ned till kärnans maxdjup. De kärnor som delades för dokumentation användes även för provuttag.

Den kärna från varje station som delades för dokumentation användes även för provuttag för miljögiftsanalys (Fig. 7 höger).



Figur 7 Vänster: Direkt snittning av Gemini-kärna. Höger: Provtagning av utskjuten Geminikärna.

1.9 Datering

I en del av de studerade kärnorna noterades mer eller mindre tydliga varv. Laminerade sediment bildas om syrgasförhållandena varit så dåliga att bottendjuren inte kunnat leva där (Jonsson 1992). Detta kommer sig av att det material som uppiifrån vattenmassan regnar ner till botten varierar i sammansättning från årstid till årstid (Renberg, 1981). Om inga djur finns på bottenarna blandas inte materialet och då kvarstår skillnaderna. Ett årsvarv bildas.

Man kan i sedimentkärnor ofta registrera en övergångsperiod där homogena, syrgassatta bioturberade sediment omväxlar med sådana som är varviga och därigenom indikerar ansträngda syrgasförhållanden. Några tydliga årsvarv avlöses ofta av en eller annan centimeter jämnt och ljust sediment, vilket slutligen följs av en konstant laminering ända upp till sedimentytan. Detta tolkas så att djuren på denna plats har slagits ut av brist på syrgas, varvid den första varvningen uppstår. Denna gräns brukar ligga vid en syrgashalt lägre än 2-3 mg O_2/l . Sedan blir syrgasförhållandena bättre under några år och provtagningsplatsen koloniserar då av djur som överlevt någonstans i närheten. Så småningom blir emellertid syrgasbristen permanent, och då blir utslagningen av bottendjuren beständig. De laminerade bottenarna täcks ofta tidvis av utbredda mattor av svavelbakterier (*Beggiatoa* sp.). De sediment som tas upp från sådana bottenar stinker oftast av svavelväte (H_2S), en gas som är giftig för allt högre liv.

Även på laminerade bottnar kan det finnas bottendjur. Om det finns tillräckligt med bottendjur för att fullständigt blanda om det sedimenterande materialet uppstår ett homogent sediment utan synliga strukturer. Den andra extremen är att det inte finns några högre bottendjur över huvud taget. Då uppstår mycket tydligt laminerade sediment. Men om det finns en liten mängd bottendjur kan dessa inte fullständigt blanda om vad som ”regnar ned” till bottarna från ovanförliggande vattenmassa, varvid diffust laminerade sediment uppstår. Är sedimentackumuleringen låg räcker det med en betydligt mindre mängd bottendjur för att totalt blanda om sedimentet än i sjöar med en högre årlig sedimenttillväxt.

I de fall där det varit möjligt har åldersbestämning av sedimenten grundats på varvräkning och konnekterats med optiskt tydliga lednivåer. Åldersbestämningen av sedimenten genom varvräkning bygger på att varje lamina (varv) antas representera ett års deposition (Jonsson et al., 1990; Persson and Jonsson, 2000; Jonsson et al., 2003).

2 ANALYSER

2.1 Sedimentologiska basparametrar

2.1.1 Vattenhalt

Vattenhalten bestämdes av ALS efter frystorkning enligt metod DIN 38414-S22.

2.1.2 Glödförlust

Glödförlust bestämdes av ALS enligt DIN EN 15169.

2.1.3 Totalt organiskt kol (TOC)

Bestämning av TOC enligt DIN ISO 10694.

2.1.4 Densitet

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) :

$$r = 100 * r_m / (100 + (W + LOI) (r_m - 1))$$

där

- r = bulkdensitet (g/cm^3 VS),
- r_m = densiteten av oorganiska partiklar (g/cm^3)
- W = vattenhalt (% VS),
- LOI = glödningsförlust (% TS).

För ovanstående formel krävs att r_m -värdet är känt. Sedimenten är till största delen uppbyggda av ler och silt med densitet mellan $2,6$ - $2,85 \text{ g/cm}^3$ (Håkanson and Jansson, 1983). Då r_m -värdet inte antas påverka r -värdet nämnbart i okonsoliderade (lösa) sediment med mer än 75 % vattenhalt, sätts r_m -värdet som regel till $2,6 \text{ g/cm}^3$. Med hjälp av detta kan en enklare formel användas:

$$r = 260 / (100 + 1.60 (W + LOI))$$

2.2 Metaller

Bestämning av metaller enligt ALS analyspaket M-2. Provet har torkats vid 50°C och elementhalterna torrsbstansskorrigerats. Upplösning har skett med salpetersyra och slutbestämning har skett med ICP-SFMS enligt SS EN ISO 17294-1, 2 (mod) samt EPA-metod 200.8 (mod).

2.3 Tennorganiska föreningar

Bestämning har skett enligt metod ISO 23161:2011 med sur extraktion och slutbestämning har skett med GC-ICPMS.

2.4 Bromerade flamskyddsmedel

Bestämning enligt metod DIN EN ISO 22032. Bestämning av terbutryn, isoproturon, irgarol, MCPP (mekoprop) och diuron enligt metod analog med DIN 38407-35. Slutbestämning har skett med GC-MS.

2.5 Klorparaffiner

Bestämning av klorparaffiner enligt ISO 12010. Mätning utfördes med GC-MS.

2.6 Polyklorerade bifenyler

Bestämning av polyklorerade bifenyler PCB (7 kongener) har skett enligt DIN ISO 10382. Slutbestämning har skett med GC-MS.

2.7 Bromerade flamskyddsmedel

Bestämning av Bromerade flamskyddsmedel (BDE28, 47, 99, 100, 153, 154, 209, HBCD) enligt DIN EN ISO 22032.

2.8 Bestämning av terbutryn, isoproturon, irgarol, MCPP, diuron

Bestämning av terbutryn, isoproturon, irgarol, MCPP (mekoprop) och diuron enligt metod analog med DIN 38407-35.

2.9 Polycykliska aromatiska kolväten

Bestämning av polycykliska aromatiska kolväten, PAH (16 föreningar enligt EPA). Mätning utfördes med GC-MS.

PAH cancerogena utgörs av benso(a)antracen, krysen, benso(b)fluoranten, benso(k)fluoranten, benso(a)pyren, dibenso(ah)antracen och indeno(123cd)pyren.

PAH summa M: fluoren, fenantren, antracen, fluoranten och pyren

PAH summa H: benso(a)antracen, krysen, benso(b)fluoranten, benso(k)fluoranten, benso(a)pyren, indeno(1,2,3-c,d)pyren, dibenso(a,h)antracen och benso(g,h,i)perylen
Enligt direktiv från Naturvårdsverket oktober 2008.

PAH summa 11 utgörs av fenantren, antracen, fluoranten, pyren, benso(a)antracen, krysen, benso(b)fluoranten, benso(k)fluoranten, benso(a)pyren, benso(ghi)perylene och indeno(123cd)pyren. Enligt naturvårdsverkets rapport 4914.

2.10 Perfluorerade karboxylsyror, perfluorerade alkylsulfonater, s perfluoroktansulfonamid

Bestämning av perfluorerade karboxylsyror, perfluorerade alkylsulfonater samt perfluoroktansulfonamid enligt DIN 38414-14.

2.11 PFOS, PFHxS, PFOSA

PFOS, PFHxS och PFOSA; Summan grenade och linjära rapporteras. Mätning utfördes med LC-MS/MS.

REFERENSER

- DeepVision, 2009. DeepEye Sonar System - User's Guide, 8 sid. <http://www.deepvision.se/>
- DrDepth Djupmättningsprogramvara. <http://www.drdepth.se>
- Håkanson, L. and Jansson, M., 1983. Principles of lake sedimentology. Springer-Verlag, Berlin, 316 p.
- Jonsson, P., 1992. Large-scale changes of contaminants in Baltic Sea sediments during the twentieth century. Doctoral thesis at Uppsala university. ISBN 91-554-2997-1.
Jonsson 2016
- Jonsson, P., 2016. Metaller och organiska miljöföroreningar i sediment i Råcksta Träsk. JP Sedimentkonsult Rapport 2016:1, 38 sid plus bilagor.
- Jonsson, P., Carman, R. and Wulff, F., 1990. Laminated sediments in the Baltic - A tool for evaluating nutrient mass balances. Ambio Vol. 19 No. 3, May 1990, p 152-158.
- 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.
- 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.
- Renberg, I., 1981. Formation, structure and visual appearance of iron-rich, varved lake sediments. Verh. Int. Verein. Limnol. 21, 94-101.
- Winterhalter, B., 1998. The Gemax corer for soft sediments, 9 sid. Geological Survey of Finland, Espoo. <http://www.kolumbus.fi/boris.winterhalter/GEMAX.pdf>

BILAGA 2

Protokoll och fotografier från sedimentprovtagning i Flaten

Station Fla 1

Position

WGS-84

SWEREF99 1800

Djup: 13,2 m

Lat 59 14,856

6570261.279

Long 18 09,277

158822.751



Station Fla 2*Position*

WGS-84

Lat 59 14,683

Long 18 09,416

SWEREF99 1800

6569940.387

158955.701

Djup: 11,0 m

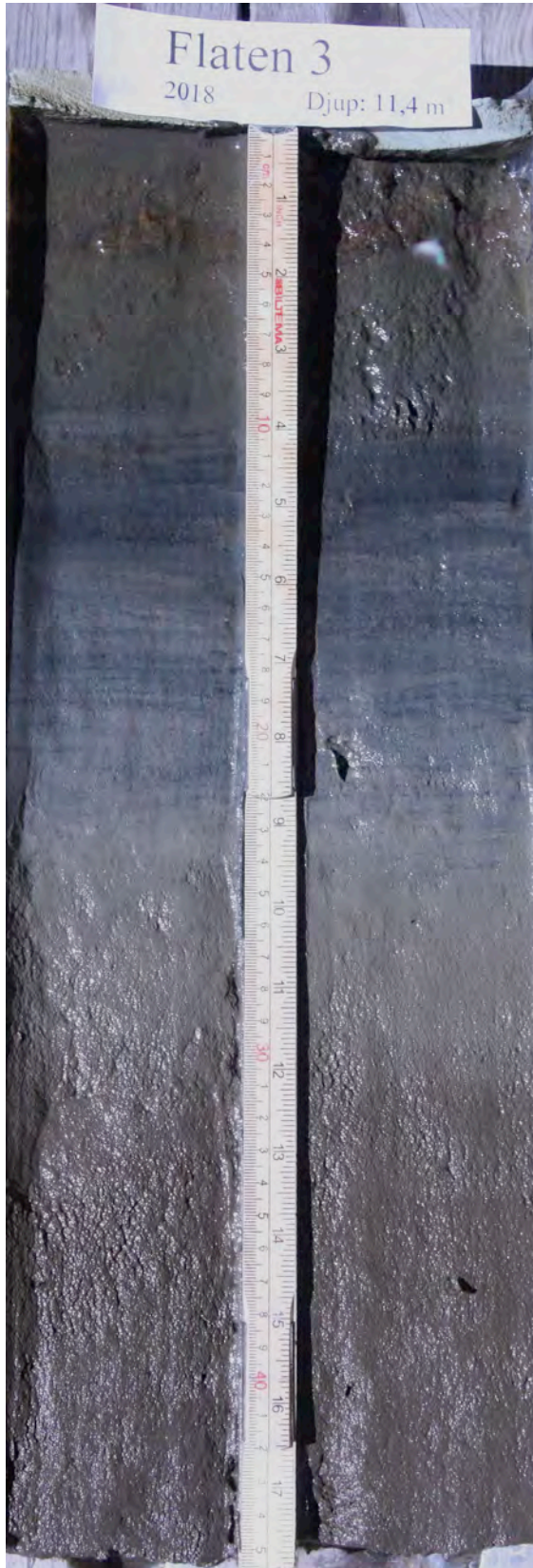


Station Fla 3*Position*

WGS-84
SWEREF99 1800
Djup: 11,4 m

Lat 59 15,070
6570658.747

Long 18 09,342
158883.64



Station Fla 4*Position*

WGS-84

Lat 59 15,186

Long 18 08,954

SWEREF99 1800

6570873.275

158514.196

Djup: 4,5 m



Station Fla 5*Position*

WGS-84

Lat 59 15,222

Long 18 09,267

SWEREF99 1800

6570940.793

158811.666

Djup: 10,1 m



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	From: ALS Scandinavia AB														
2	To: Stockholms Miljöförvaltnig														
3	Program: JORD														
4	Ordernumber: T1820022 (NK3169000495;)														
5	Report created: 2018-08-10														
6															
7	ELEMENT	SAMPLE	Fla 1 (0-2)	Fla 1 (5-10)	Fla 1 (10-15)	Fla 1 (15-20)	Fla 1 (20-25)	Fla 1 (25-30)	Fla 1 (30-35)	Fla 1 (35-40)	Fla 1 (40-45)	Fla 2 (0-2)	Fla 3 (0-2)	Fla 4 (0-2)	Fla 5 (0-2)
8	Sampling Date														
9	TS, 105°C	%	6.9	10.3	12.3	14.7	15.1	17.3	19.7	21.6	21.4	9	5.8	15.5	20.8
10	As	mg/kg TS	13.8	18.2	17.4	17.6	14.4	8.01	6.77	5.58	5.55	14.3	13.7	6.18	5.18
11	Cd	mg/kg TS	1.58	1.93	1.59	1.29	1.18	0.942	0.873	0.666	0.608	1.48	1.38	1.32	0.902
12	Co	mg/kg TS	15.1	18.6	18	15.7	17	16.7	17	17.6	16.9	14	13.3	13.1	14.2
13	Cr	mg/kg TS	46.1	52.3	50	52.8	57	60.2	60	61.5	57.4	42	39.3	29.4	37.2
14	Cu	mg/kg TS	88.7	82.9	73.5	58.1	55.9	52.7	42.2	43	39.4	72.6	74.5	67.8	37.7
15	Hg	mg/kg TS	0.197	0.259	0.194	0.154	0.197	0.122	0.161	0.112	0.0956	0.218	0.153	0.276	0.0988
16	Ni	mg/kg TS	47.7	53.8	46.3	38	41	39.6	41.2	40.6	37.9	46	42.7	32.9	28.3
17	Pb	mg/kg TS	72.9	115	98.7	70.6	67.9	55.9	52.5	46.7	44.7	81.1	69.7	40	37.5
18	V	mg/kg TS	65.2	76.6	77.6	70.5	70.4	74.5	75.6	77	72.1	60.4	57	39	43.7
19	Zn	mg/kg TS	878	707	467	308	297	246	191	177	172	693	640	989	366
20	Ag	mg/kg TS	0.287	0.389	0.395	0.278	0.242	0.211	0.176	0.142	0.124	0.345	0.267	0.17	0.0952
21	Fe	mg/kg TS	34200	48700	52900	43200	43600	45800	41900	45200	44000	30900	29000	22500	25100
22	P	mg/kg TS	3800	1240	1140	1640	1490	1400	1240	1090	1080	2430	2750	1050	1150
23	S	mg/kg TS	20200	30400	30800	7330	5890	4330	2760	2340	1930	18200	16200	11700	5830
24	Sn	mg/kg TS	5.55	6.45	5.88	5.3	4.82	4.52	3.95	3.55	3.45	5.64	5.13	3.72	3.21
25	glödforst	% av TS	28.1	21.1	18.1	16.6	15.6	15.1	14.1	13.9	15.4	25.8	29.1	19.3	12.5
26	TOC	% av TS	12	9.6	7.5	6.7	5.5	5.2	4	5	5.9	12	11	9	5.6
27	frysstörkning	%	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
28	TS (frysstörkning)	%	6.2	10	11.8	14	16.2	17.6	19.4	20	18.4	8.2	5.3	12.2	19.4
29	hatten	mg/kg TS	0.083	0.087	0.11	0.1	0.095	0.08	0.054	0.041	0.035	0.066	0.055	0.033	0.038
30	acenaften	mg/kg TS	0.027	0.034	0.036	0.034	0.03	0.024	<0.010	<0.010	<0.010	0.019	0.019	0.019	<0.010
31	acenaften	mg/kg TS	<0.010	0.012	0.013	0.012	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
32	luoren	mg/kg TS	0.05	0.054	0.053	0.046	0.04	0.031	0.022	0.02	0.016	0.041	0.038	0.021	0.016
33	fenantren	mg/kg TS	0.18	0.28	0.34	0.33	0.27	0.18	0.097	0.078	0.056	0.16	0.12	0.051	0.061
34	lantracen	mg/kg TS	0.047	0.073	0.081	0.081	0.07	0.048	0.023	0.016	0.0094	0.045	0.043	0.026	0.021
35	fluoranten	mg/kg TS	0.42	0.65	0.73	0.71	0.62	0.4	0.2	0.15	0.083	0.38	0.3	0.12	0.13
36	pyren	mg/kg TS	0.33	0.49	0.49	0.45	0.39	0.27	0.14	0.11	0.058	0.3	0.25	0.11	0.11
37	bens(a)lantracen	mg/kg TS	0.15	0.21	0.23	0.23	0.19	0.13	0.063	0.049	0.025	0.14	0.12	0.055	0.046
38	krysen	mg/kg TS	0.23	0.33	0.38	0.37	0.29	0.2	0.094	0.077	0.039	0.22	0.18	0.067	0.066
39	bens(b)fluoranten	mg/kg TS	0.32	0.39	0.44	0.4	0.33	0.28	0.16	0.13	0.091	0.26	0.21	0.12	0.079
40	bens(k)fluoranten	mg/kg TS	0.17	0.2	0.25	0.22	0.23	0.16	0.082	0.076	0.041	0.17	0.13	0.079	0.059
41	bens(a)pyren	mg/kg TS	0.16	0.23	0.25	0.25	0.22	0.17	0.091	0.072	0.032	0.17	0.16	0.096	0.055
42	ibens(a,h)lantracen	mg/kg TS	0.062	0.092	0.12	0.11	0.091	0.051	0.033	0.033	0.017	0.06	0.062	0.041	0.034
43	bens(o,g,h)pyren	mg/kg TS	0.29	0.37	0.4	0.37	0.37	0.3	0.18	0.14	0.081	0.25	0.22	0.14	0.081
44	indeno(1,2,3-cd)pyren	mg/kg TS	0.29	0.4	0.4										