



# Sedimentkonsult HB

## Metaller och organiska miljöföroreningar i Drevviken 2017

av  
Per Jonsson



Mottagare:  
Miljöförvaltningen  
Stockholms Stad

Sollenkroka den 10 oktober 2018

JP Sedimentkonsult Rapport 2018:6.

**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	12
4.1.1.2	Detaljer	12
4.1.1.2.1	Rörledning	12
4.1.1.2.2	Muddertipp	13
4.1.1.2.3	Trångsund	14
4.2	Sedimentprovtagning	14
4.3	Sedimentkärnor	15
4.4	Vattenhalt och organisk halt	17
4.5	Bottendynamik	18
5	FÖRORENINGAR	20
5.1	Areell fördelning	20
5.1.1	Metaller	20
5.1.2	Organiska föroreningar	21
5.1.2.1	Polycykliska aromatiska kolväten – PAH	21
5.1.2.2	Organiska tennföreningar	22
5.1.2.3	Polyklorerade bifenyler – PCB	23
5.1.2.4	Polybromerade difenyletrar	24
5.1.2.5	Perfluoroktansulfonsyra – PFOS	24
5.2	Föroreningshistorik	25
5.2.1	Metaller	25
5.2.2	Organiska föroreningar	29
5.2.2.1	Polycykliska aromatiska kolväten – PAH	29
5.2.2.2	Organiska tennföreningar	30
5.2.2.3	Polyklorerade bifenyler – PCB	32
5.2.2.4	Polybromerade difenyletrar	33
5.2.3	Datering	33
6	REFERENSER	35
Bilaga 1	Material och metoder	
Bilaga 2	Protokoll inkluderande positioner och djup, fotografier av sedimentkärnor	

## ANALYSRESULTAT

Analysresultaten redovisas på Miljöbarometern Stockholm

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

## SAMMANFATTNING

Sedimentprovtagning genomfördes på station D1, D2 och D3 (ytsediment och kärnor) från provtagningsbåten R/V Perca den 28 september 2017 efter genomförd sonarkartering. Efter provtagning av D3 havererade provtagningsvinschen och sedimentprovtagningen på stationerna D4 och D5 genomfördes från provtagningsbåten Rana den 13 oktober 2017. På D1, D2 och D3 har retrospektiva studier utförts på 8-11 nivåer. På dessa stationer har sedimentkärnor tagits ned till 36-60 cm under sedimentytan för dokumentation av lagerföljder och provuttag för analyser. Proverna har analyserats med avseende på sedimentologiska basparametrar, metaller och organiska miljögifter.

Sonarkarteringen visade att en stor del av bottenarean utgörs av mjukbottnar. Många iakttagelser har gjorts rörande bottenformationer, rörledningar, muddertippningsplatser etc. utifrån side scan sonar-underlaget. Rörledningar kan iakttas på flera platser i Drevviken. Det är oftast fråga om avlopps- eller vattenledningar ofta med tyngder för att hålla ledningen på plats. Vid sonarkarteringen noterades ett antal tydliga ekon dels i den nordvästra delen av Drevviken på ca 5 meters djup, dels i den södra delen av Drevviken som troligen härrör från tippning av muddermassor.

Utifrån sonarkarteringen kan konstateras att Drevvikens bottnar huvudsakligen täcks av mjuka sediment. I Drevvikens ytsediment (0-2 cm; Fig. 9) är vattenhalten i genomsnitt 88,9 % VS och glödningsförlusten 19,6 % TS, vilket liksom haltprofilerna i kärnor från sjön mycket klart indikerar recent ackumulation. I den nordvästra delen noterades förekomst av E/T-bottnar på mindre än 3 meters djup. Även i den södra delen av sjön tyder mjuka förhållanden i ytsedimenten utifrån sonarkarteringen på att gränsen mellan E/T- och A-bottnar går vid  $3 \pm 1$  m. Detta innebär att drygt 80 % av Drevvikens bottenarea utgörs av ackumulationsbottnar. Gränsen mellan A- och E/T-bottnar går sannolikt vid olika djup i olika delar av en sjö som är så flikig som Drevviken. Vi har dock valt att i alla de undersökta delarna av sjön sätta en operativ gräns mellan ackumulation och erosion/transport till 3 m.

Såväl koppar- som zinkhalterna i Drevvikens ytsediment uppvisar stor eller tydlig avvikelse från bakgrundsvärdena. Kadmium-, bly-, nickel- och kvicksilverhalterna visar tydlig avvikelse från bakgrundshalterna i de flesta av stationerna från Drevviken. Kadmium och bly har stor avvikelse i station D5 längst upp i den nordvästra delen av sjön. Kobolt har liten avvikelse på alla stationer. Krom och arsenik uppvisar ingen eller liten avvikelse från bakgrundsvärdena.

Polycykliska aromatiska kolväten i form av sPAH11 uppvisar i relation till de svenska bedömningsgrunderna höga eller medelhöga halter i Drevvikens ytsediment. Av de enskilda kongenerna har antracen höga eller mycket höga halter och även fluoranten ligger på de flesta undersökta stationerna inom intervallet för hög halt. I förhållande till Havs- och vattenmyndighetens gränsvärden för uppnående av god kemisk status i sediment ligger halterna av antracen i ytsedimenten strax över gränsvärdet. Vad gäller fluoranten ligger halterna långt under gränsvärdet.

För TBT ligger medelhalten i Drevvikens ytsediment på 14,5  $\mu\text{g}/\text{kgTS}$ , vilket är drygt 4 gånger högre än det normaliserade gränsvärdet för god kemisk status enligt Havs- och vattenmyndighetens riktlinjer för klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvatten. Halten av sPCB7 i ytsedimenten är höga och på en station mycket hög. De polybromerade difenyletrarna i form av summaparametern sPBDE som från 1970-talet ersatte PCB som

flamskyddsmedel är detekterbara på alla fem provtagningsstationerna. Kongenen #209 som inte ingår i sPBDE detekterades i tre ytprover i halter som enligt bedömningsgrunderna från 2017 är att betrakta som höga.

PFOS har analyserats i tre av stationerna från Drevviken med halter på mellan 3 och 4 ng/g TS vilket är lågt i jämförelse med det riktvärde som gäller i Norge på 220 ng/g TS.

De flesta metaller uppvisar avtagande halter mot ytsedimenten och det är endast zink och koppar som har halter med stor avvikelse från bakgrundsvärdena. Övriga metaller visar tydlig eller ringa avvikelse. I kärnan från Drevviken 3 i den centrala norra delen av Drevviken uppvisar koppar en mycket snabb ökning efter år 2000 och därefter åter minskad halt. Eftersom denna ökning endast bygger på en mätning kan den även räknas som outlier som inte skall tas hänsyn till.

sPAH11 beskriver likartade och karaktäristiska haltprofiler i kärnorna Drevviken 1 och 3. Det som skiljer deras fördelningsbilder från Drevviken 2 är att maxvärdena i denna kärna ligger på 50 cm eller djupare, vilket antyder påtagligt högre sedimenttillväxt i Drevviken 2.

Även TBT beskriver likartade och karaktäristiska haltprofiler i kärnorna med tydliga pikvärden i Drevviken 1 och 2 på ca 15 cm medan pikvärdet i Drevviken 2 återfinns på det dubbla sedimentdjupet, vilket stöder slutsatsen att sedimenttillväxten är ungefär dubbelt så hög i Drevviken 2 som i de övriga kärnorna.

PCB finns i mätbara men låga eller medelhöga halter i de djupare delarna av sedimentpelarna i Drevviken 1 och 3. Från 30-35 cm och uppåt i sedimentprofilerna sker tydliga och snabba ökningar och sPCB7-halterna når pikvärden på 15-20 cm:s djup i dessa kärnor. Ovanför pikarna sjunker halterna påtagligt och är i ytsedimenten ca 50 % lägre än pikvärdena. Kärnan från Drevviken 2 avviker genom att pikvärdet dels är högre och ligger ungefär dubbelt så djupt i Drevviken 2 som i de två andra kärnorna.

PBDE som under senare delen av 1970-talet ersatt PCB som flamskyddsmedel uppvisar halter räknat som sPBDE på 0,12-0,32 ng/g TS vilket är ungefär lika höga som i Långsjön men låga i förhållande till i Trekanten. PBDE uppträder endast i de övre delarna av sedimentprofilerna i analogi med att de introducerades i miljön först under 1970-talet.

Sedimentkärnorna från Drevviken uppvisar mer eller mindre tydliga strukturer som har använts vid utarbetandet av en översiktlig tidsskala. Kärnorna uppvisade även tydliga tidstrender vad gäller metaller, organiska tennföreningar, sPCB7 och sPBDE vilket i kombination med lamineringarna innebar att en översiktlig datering kunde göras utifrån kända storskaliga generella tidstrender för dessa föreningar. Den genomsnittliga sedimenttillväxten kunde utifrån dateringen av de tre kärnorna beräknas till 4,7 mm/år i D1, 9,1 mm/år i D2 och 5,1 mm/år i D3.

## **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 Drevviken 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 tre av dessa även ta sedimentkärnor som är representativa för Drevviken.
- 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 vattenområdena.

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

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

### **1.3 Arbetsmoment**

Arbetet har omfattat följande moment:

- Uppstartmöten
- Rekognoscering av lämpliga sjösättningsplatser för provtagningsbåtarna.
- 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 5 stationer och 3 sedimentkärnor från samma stationer för dokumentation av lagerföljder
- Provtagning av 3 representativa sedimentkärnor 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 representativa sedimentkärnor)
- 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 på följande sätt:

- 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 sedimentackumulering
- Geografisk spridning av föroreningar
- Historisk sedimentutveckling
- Datering av sedimentkärnor

I appendix återfinns följande:

- Bilaga 1 Material och metoder
- Bilaga 2 Protokoll inkluderande positioner och djup, fotografier av sedimentkärnor
- Bilaga 3 Analysresultat

## 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 2018). 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 uppmätts 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. Analys enligt svensk standard.

	<b>Klass 1</b> Ingen/obetydlig avvikelse (mg/kg ts)	<b>Klass 2</b> Liten avvikelse (mg/kg ts)	<b>Klass 3</b> Tydlig avvikelse (mg/kg ts)	<b>Klass 4</b> Stor avvikelse (mg/kg ts)	<b>Klass 5</b> Mycket stor avvikelse (mg/kg ts)
<b>Arsenik</b>	≤ 6,8	6,8 - 12	13 - 19	20 - 31	≥ 32
<b>Bly</b>	≤ 20	21 - 32	33 - 52	53 - 88	≥ 89
<b>Kadmium</b>	≤ 0,37	0,37 - 0,93	0,94 - 2,2	2,3 - 5,6	≥ 5,7
<b>Kobolt</b>	≤ 15	15 - 26	27 - 44	45 - 75	≥ 76
<b>Krom</b>	≤ 56	56 - 67	68 - 84	85 - 101	≥ 102
<b>Koppar</b>	≤ 35	36 - 70	71 - 116	117 - 186	≥ 187
<b>Kvicksilver</b>	≤ 0,05	0,06 - 0,15	0,16 - 0,5	0,6 - 1,3	≥ 1,4
<b>Nickel</b>	≤ 39	40 - 59	60 - 86	87 - 129	≥ 130
<b>Zink</b>	≤ 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 för antracen och fluoranten till 24 resp. 2000 µg/kg TS normerat till 5 % TOC-halt.

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).



Tabell 2 Fördelning av uppmätta halter organiska miljögifter i marina sediment i svenska havsområden och ekonomisk zon ( $\mu\text{g}/\text{kg}$  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	$\geq 63$
Acenaften			<5,5	5,5-33	$\geq 33$
Fluoren		<2,0	2,0-9,4	9,4-36	$\geq 35$
Fenantren	<7,0	7,0-17	17-50	50-150	$\geq 150$
Antracen	<1,0	1,0-3,1	3,1-11	11-45	$\geq 45$
Fluoranten	<18	18-45	45-140	140-390	$\geq 390$
Pyren	<12	12-30	30-100	100-380	$\geq 380$
Bens(a)antracen	<7,5	7,5-19	19-62	62-180	$\geq 180$
Krysen	<11	11-26	26-67	67-200	$\geq 200$
Bens(b)fluoranten	<32	32-69	69-200	200-440	$\geq 440$
Bens(k)fluoranten	<11	11-28	28-79	79-180	$\geq 180$
Bens(a)pyren	<12	12-31	31-99	99-240	$\geq 240$
Dibens(ah)antracen	<4,4	4,4-8,9	8,9-27	27-79	$\geq 79$
Bens(ghi)perylen	<22	22-62	62-180	180-400	$\geq 400$
Indeno(1,2,3-	<24	24-76	76-220	220-530	$\geq 530$
<b>Summa PAH 11</b>	<b>&lt;170</b>	<b>170-440</b>	<b>440-1200</b>	<b>1200-2800</b>	<b><math>\geq 2800</math></b>
<b>Summa PAH 15</b>	<b>&lt;250</b>	<b>250-440</b>	<b>440-1200</b>	<b>1200-4700</b>	<b><math>\geq 4700</math></b>
<b>Summa PAH M1</b>	<b>&lt;57</b>	<b>57-110</b>	<b>110-320</b>	<b>320-1700</b>	<b><math>\geq 1700</math></b>
<b>Summa PAH H2</b>	<b>&lt;180</b>	<b>180-320</b>	<b>320-940</b>	<b>940-2600</b>	<b><math>\geq 2600</math></b>
HCb	<0,020	0,020-0,15	0,15-0,45	0,45-1,6	$\geq 1,6$
PCB 28		<0,066	0,066-0,30	0,30-1,3	$\geq 1,3$
PCB 52		<0,12	0,12-0,40	0,40-1,9	$\geq 1,9$
PCB 101	<0,10	0,10-0,34	0,34-1,1	1,1-5,5	$\geq 5,5$
PCB 118	<0,084	0,084-0,31	0,31-0,84	0,84-3,6	$\geq 3,6$
PCB 138	<0,21	0,21-0,67	0,67-2,0	2,0-9,1	$\geq 9,1$
PCB 153	<0,20	0,20-0,61	0,61-2,0	2,0-7,9	$\geq 7,9$
PCB 180	<0,081	0,081-0,29	0,29-0,90	0,90-4,9	$\geq 4,9$
<b>Summa PCB 7</b>	<b>&lt;0,81</b>	<b>0,81-2,5</b>	<b>2,5-7,6</b>	<b>7,6-34</b>	<b><math>\geq 34</math></b>
$\alpha$ -HCH	<0,006	0,006-0,04	0,04-0,17	0,17-0,36	$\geq 0,36$
$\beta$ -HCH	<0,003	0,003-0,11	0,11-0,57	0,57-1,2	$\geq 1,2$
$\gamma$ -HCH	<0,006	0,006-0,034	0,034-0,12	0,12-0,30	$\geq 0,30$
<b>Summa HCH</b>	<b>&lt;0,025</b>	<b>0,025-0,21</b>	<b>0,21-0,87</b>	<b>0,87-2,0</b>	<b><math>\geq 2,0</math></b>
$\gamma$ -klordan		<0,018	0,018-0,090	0,090-0,39	$\geq 0,39$
$\alpha$ -klordan		<0,006	0,006-0,082	0,082-0,30	$\geq 0,30$
trans-nonaklor		<0,021	0,021-0,088	0,088-0,30	$\geq 0,30$
<b>Summa klordan</b>		<b>&lt;0,063</b>	<b>0,063-0,27</b>	<b>0,27-0,81</b>	<b><math>\geq 0,81</math></b>
p,p'-DDT		<0,019	0,019-0,29	0,29-2,0	$\geq 2,0$
p,p'-DDD	<0,029	0,029-0,32	0,32-1,7	1,7-5,3	$\geq 5,3$
p,p'-DDE	<0,057	0,057-0,32	0,32-1,2	1,2-3,6	$\geq 3,6$
<b>Summa DDT</b>	<b>&lt;0,32</b>	<b>0,32-0,89</b>	<b>0,89-3,5</b>	<b>3,5-10</b>	<b><math>\geq 10</math></b>
PBDE 47		<0,045	0,045-0,11	0,11-0,37	$\geq 0,37$
PBDE 100			<0,041	0,041-0,14	$\geq 0,14$
PBDE 99		<0,047	0,047-0,13	0,13-0,47	$\geq 0,47$
PBDE 85			<0,15	0,15-0,55	$\geq 0,55$
PBDE 209 (Deca)			<2,4	2,4-13	$\geq 13$
EOCl	<200	200-830	830-2700	2700-5600	$\geq 5600$
EOBr	<180	180-590	590-1900	1900-3000	$\geq 3000$
EPOCl		<100	100-560	560-2100	$\geq 2100$
EPOBr		<88	88-480	480-700	$\geq 700$
monobutyltenn,		<1	1-10	10-20	$\geq 20$
dibutyltenn, DBT		<1	1-10	10-26	$\geq 26$
tributyltenn, TBT		<1	1-19	19-55	$\geq 55$

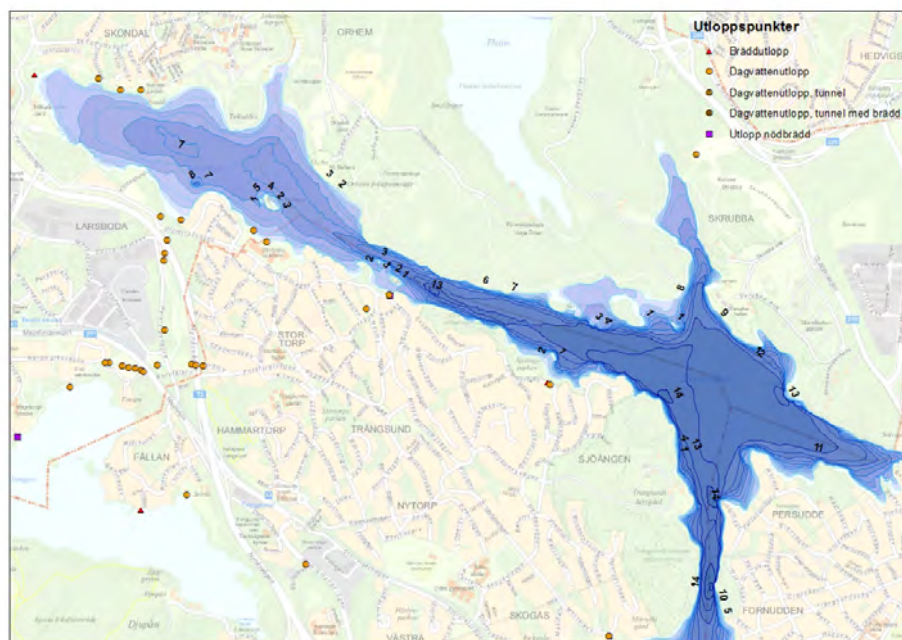
<sup>1</sup>PAH M = fem PAH med medelhög molekylvikt

<sup>2</sup>PAH H = åtta PAH med hög molekylvikt

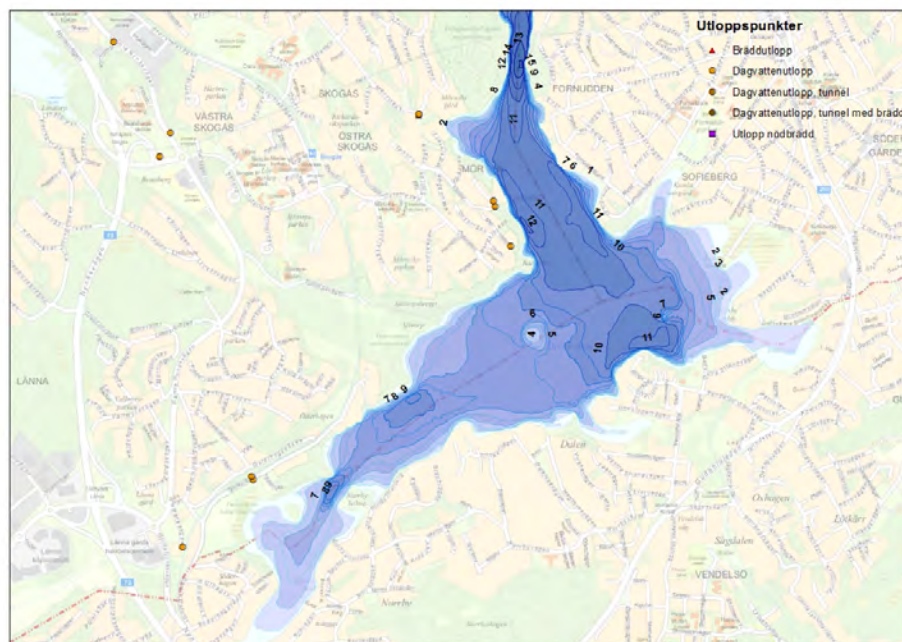


### 3 OMRÅDESBESKRIVNING

Enligt Miljöbarometern Stockholm är tillrinningsområdet yta 4897 ha och sjöytan 571 ha. Sjövolymen är 37 Mm<sup>3</sup> och den teoretiska omsättningstiden knappt ett år. Djupförhållandena i Drevviken har tidigare karterats (Fig. 1 och Fig. 2; Myrica 1999). Största uppmätta djupet är 15,2 m och medeldjupet är 6,7 m.



Figur 1 Djupkarta för norra Drevviken med utsläppspunkter i Stockholm och Huddinge angivna. (Myrica 1999).



Figur 2 Djupkarta för södra Drevviken med utsläppspunkter i Stockholm och Huddinge angivna. (Myrica 1999).

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

Drevviken är den största sjön i Tyresåns sjösystem. Den huvudsakliga tillrinningen kommer från Lissmaån i söder och Forsån i norr med tillrinning från bl. a. Magelungen och Orlången. Drygt hälften av tillrinningsområdet är bebyggt och upptas till stor del av villabebyggelse. Skog med inslag av öppna gräsytor täcker omkring 30 % av tillrinningsområdet.

Flera industriområden finns inom tillrinningsområdet. En del verksamheter klassas som miljöfarliga. Bland dessa kan nämnas asfaltverk och betongindustri i Larsboda, småindustrier, krossanläggning i Skrubba, en tipp innehållande huvudsakligen schaktmassor och byggavfall. Även en mindre del av Högdalstoppen ingår i tillrinningsområdet. Tunnelbanan mot Farsta går genom tillrinningsområdet, liksom ca 8 km vägar med hög trafikintensitet.

Sedimenten innehåller enligt tidigare undersökningar måttligt höga halter av kvicksilver, höga halter av koppar, nickel och PCB i ytsedimentet.

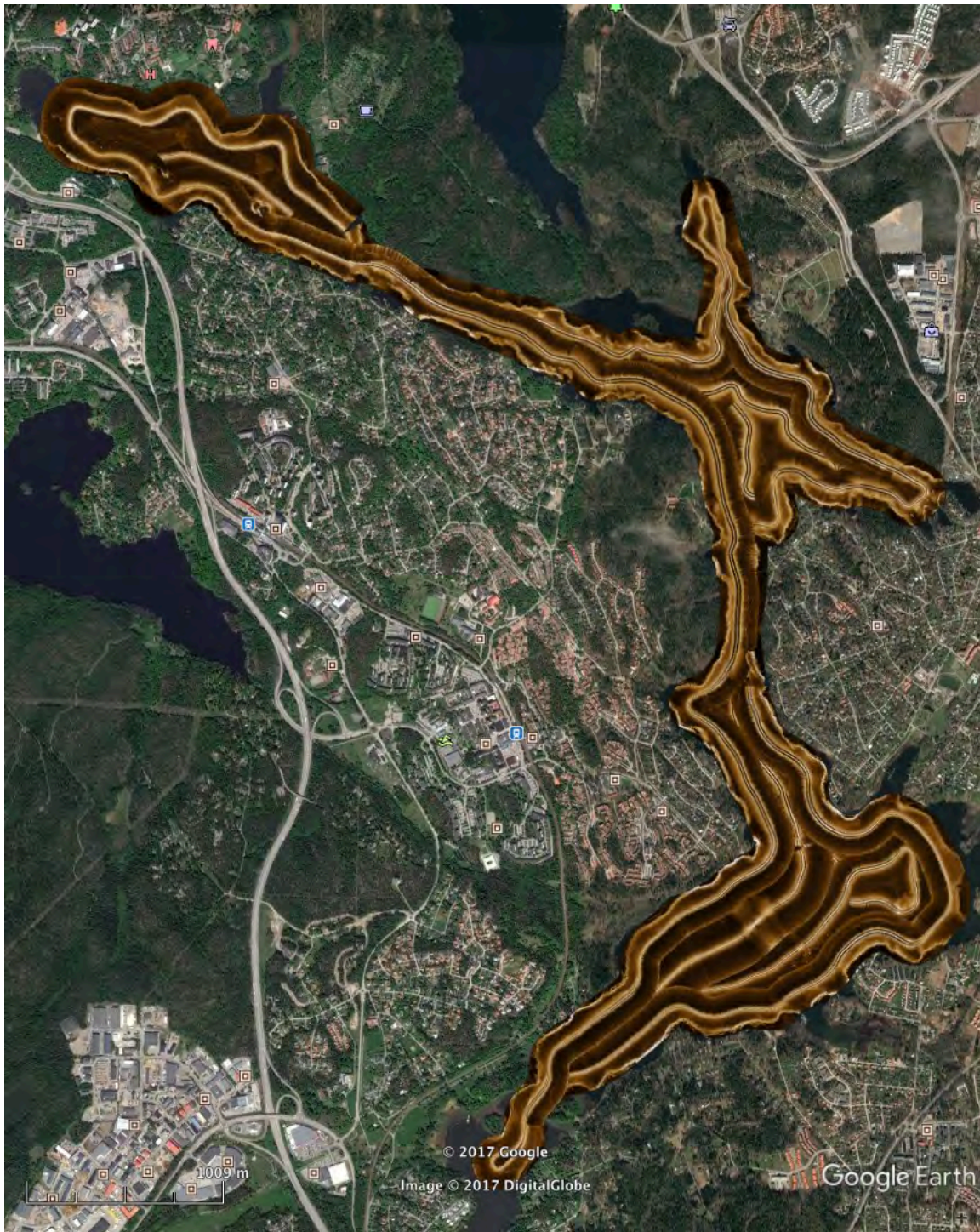
## **4 RESULTAT OCH DISKUSSION**

### **4.1 Kartering med side scan sonar**

Sonarkarteringen genomfördes den 28 september 2017 inom navigeringsbara delar av Drevviken från R/V Perca längs 8 transekter av varierande längd (Fig. 3). Provtagningsbåtens fart under karteringen var 4-5 knop. Sonarens svepvidd var 2x100 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.

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](http://www.deepvision.se).





Figur 3 Sonaröversikt över Drevviken den 28 september 2017.

#### 4.1.1 Iakttagelser från sonarunderlaget

I detta avsnitt redovisas en genomgång av speciella iakttagelser som gjorts från sonarplotten. Dessa har även bl.a. använts som underlag för att beskriva området botten dynamik (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 sonarfilerna. I det följande nämns endast några mycket påtagliga iakttagelser som gjorts utifrån sonarplotten.



#### 4.1.1.1 Översiktligt

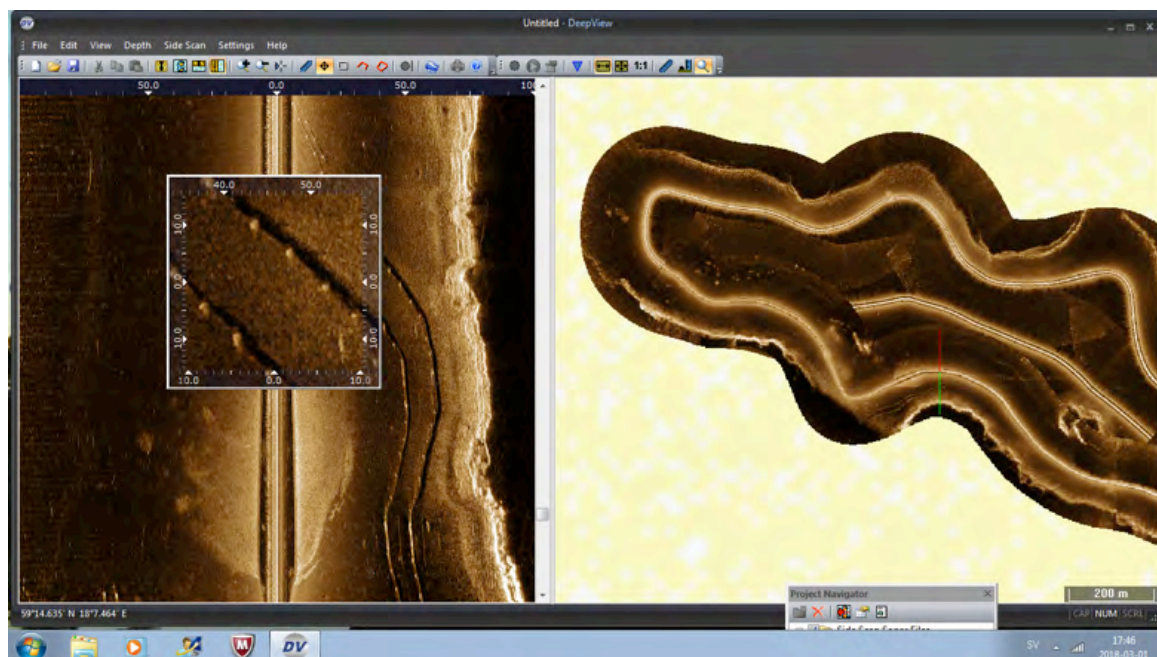
En stor del av bottenarean utgörs av mjukbottnar. Detta framgår av att de största arealerna visar en mörk brun kulör. Ljusare partier indikerar hårdare, och därmed ofta, grundare bottnar. Bandet i mitten på transekten ligger rakt under sonaren representerar ljudets gång genom den fria vattenmassan och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

#### 4.1.1.2 Detaljer

##### 4.1.1.2.1 Rörledningar

Rörledningar kan iakttas på flera platser i Drevviken. Det är oftast fråga om avlopps- eller vattenledningar. Om man använt hög upplösning vid karteringen kan man även upptäcka elkablar. Figur 4 visar två närbelägna rörledningar i den nordvästra delen av Drevviken. Den vänstra delen av figuren visar sonarplottet i detalj. Den mindre rutan visar en uppförstoring av plottet till vänster om mittlinjen. Prickarna som syns på 5-7 meters avstånd mellan varandra längs ledningen är sannolikt tyngder för att hålla ledningen på plats. 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 mitt i den nedersta transekten 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.

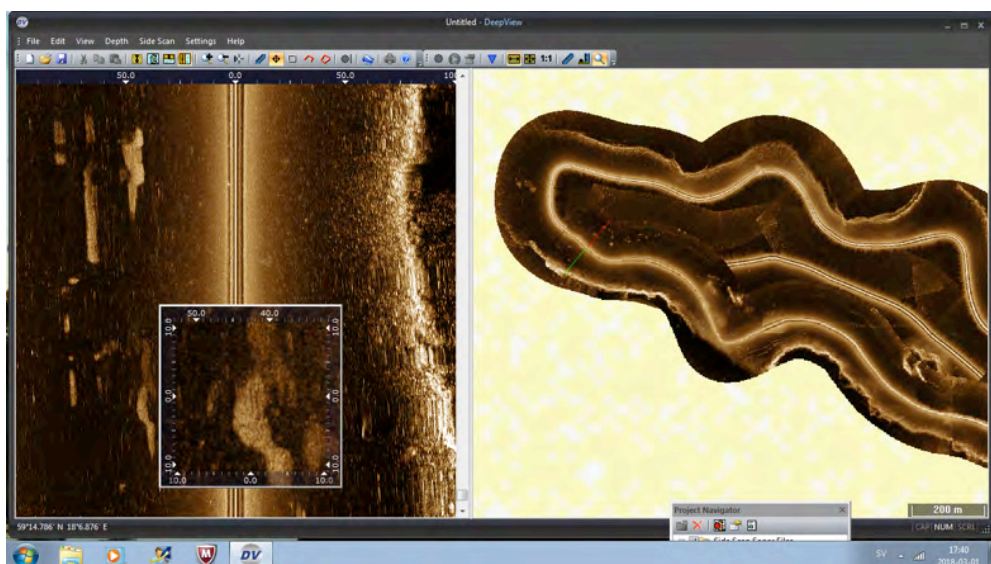


Figur 4 Detaljbild från Drevviken visande två rörledningar i nordvästra delen av sjön.

Ekon som sticker upp ovanför botten bildar skuggor. I detta fall syns tydliga skuggor till höger om ledningens sträckning. Om man känner sonarfiskens djupgående kan man genom att mäta skuggans utsträckning beräkna hur högt ovan botten ekot sticker upp.

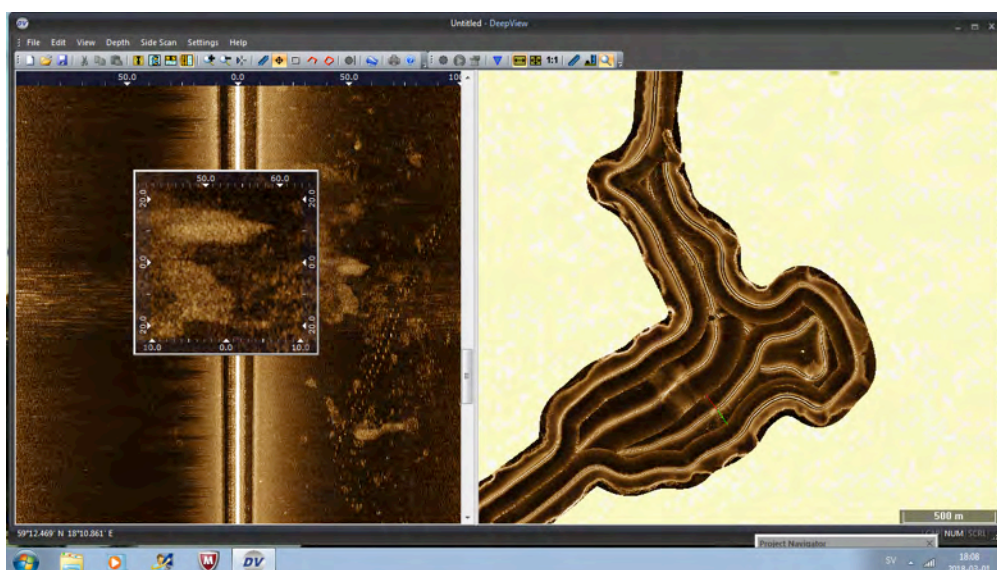
#### 4.1.1.2.2 Muddertipp

Vid sonarkarteringen noterades ett antal tydliga ekon i den nordvästra delen av Drevviken på ca 5 meters djup (Fig. 5). Dessa avviker till utseendet från naturliga bottenformationer och antas utgöras av dumpade muddermassor.



Figur 5 Sonarplott över trolig muddertippningsplats i Drevvikens nordvästra del.

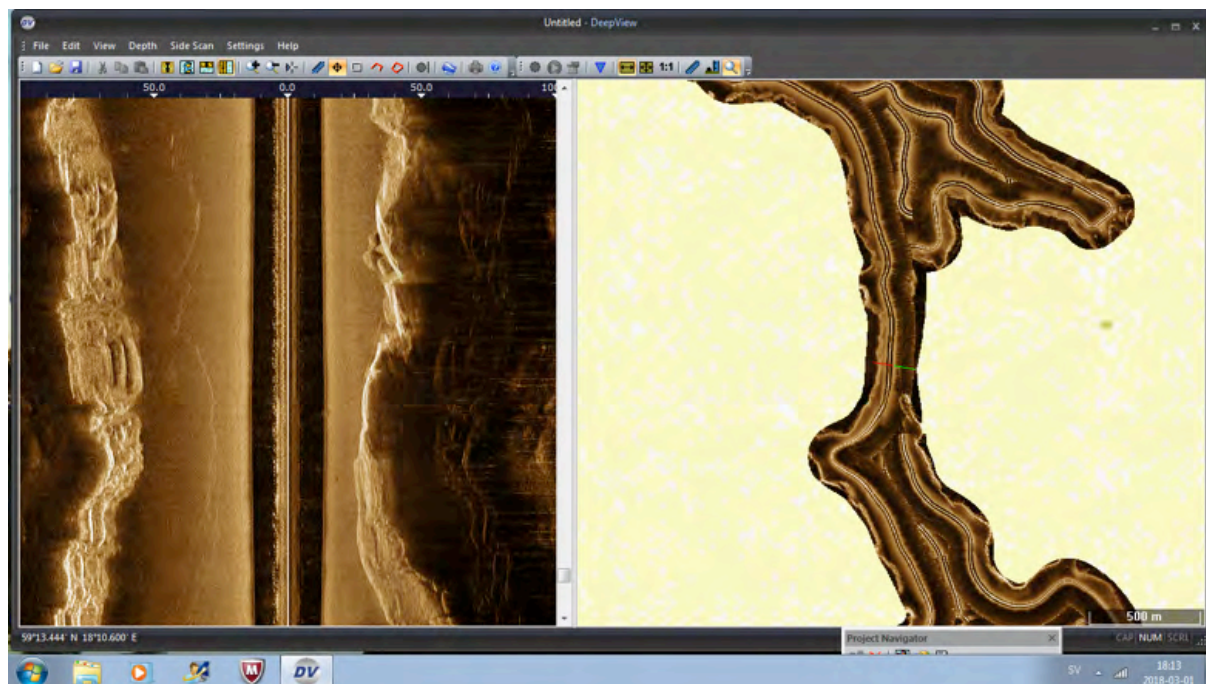
Även i den södra delen av Drevviken finns ett antal ekon som troligen härrör från muddertippning (Fig. 6). Till höger i bilden syns också tydligt två ledningar med tyngder på några meters avstånd från varandra.



Figur 6 Sonarplott över trolig muddertippningsplats och två rörledningar i den södra delen av Drevviken.

### 4.1.1.2.3 Trångsund

I figur 7 visas ett sonarplott från Trångsund. Jämna och goda ackumulationsförhållanden kan konstateras. Sedimentprovtagningsstationen D2 är tagen här. Till vänster om den blinda



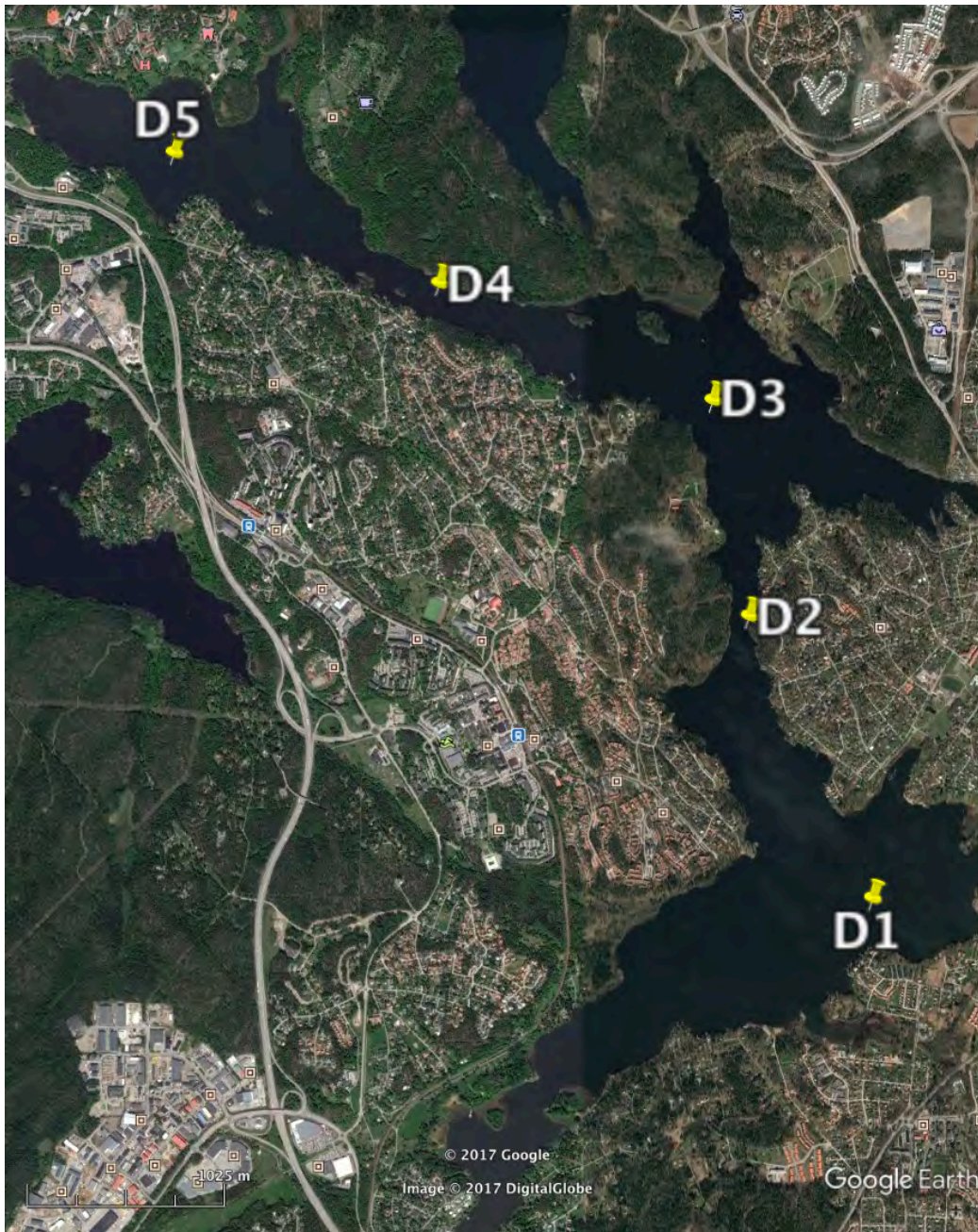
Figur 7 Sonarplott över det smala sundet söder om Trångsunds gård.

sektorn i den vänstra delen av figuren syns en rand med svaga ekon som är spegelvända mot den östra delens landkontur i sundet. Detta utgörs av akustiska dubbelekon från den branta och klippiga östra stranden i sundet.

## 4.2 Sedimentprovtagning

Sedimentprovtagning genomfördes på station D1, D2 och D3 (ytsediment och kärnor) från provtagningsbåten R/V Perca den 28 september 2017 efter genomförd sonarkartering. Efter provtagning av D3 havererade provtagningsvinschen och sedimentprovtagningen på stationerna D4 och D5 (endast ytsediment) genomfördes från provtagningsbåten Rana den 13 oktober 2017 (Fig. 8).





Figur 8 Sedimentprovtagningstationer i Drevviken 2017.

### 4.3 Sedimentkärnor

Sedimentkärnor togs på 3 sedimentstationer i Drevviken (Fig. 8). Samtliga kärnor uppvisar mer eller mindre tydliga strukturer igenom hela lagerföljden (Fig. 9). Sedimentet från Drevviken 3 liknar de två andra kärnorna från ca 30 cm och nedåt. Ovanför 30 cm är dock sedimentet nästan svart utan tydliga synliga strukturer.





Figur 9 Sedimentkärnor från Drevviken. Bildernas förstoringar har justerats så att profilernas djup ska kunna jämföras.

#### 4.4 Vattenhalt och organisk halt

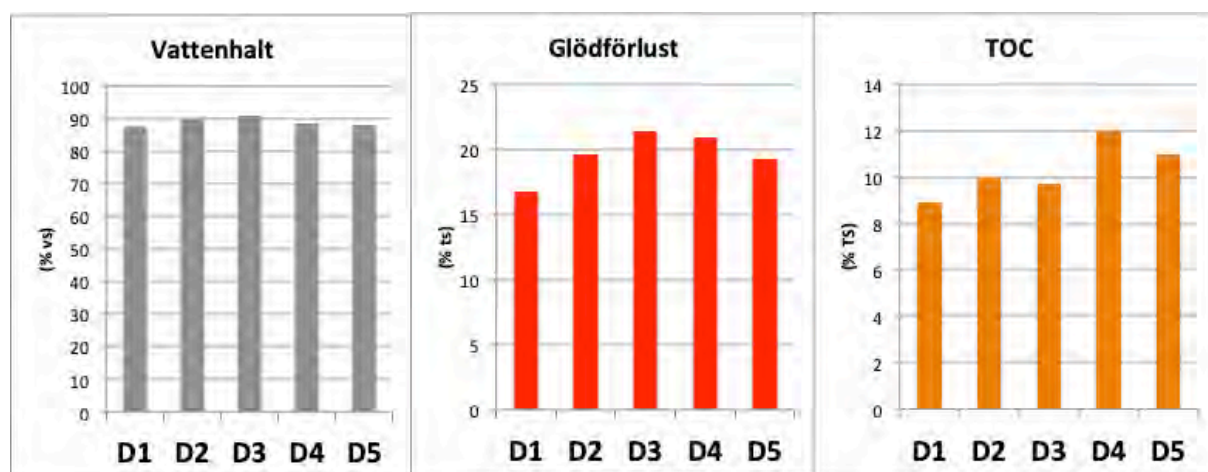
Vattenhalt och glödförlust är två grundläggande sedimentparametrar som ofta används för att separera ackumulationsbottnar (A-bottnar) från erosions- och transportbottnar (E/T-bottnar). En tumregel är att vattenhalten (W) i ytsediment bör vara  $> 75\%$  för att sedimentet skall kunna karaktäriseras som 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 postglacialer, visar att A-bottnar uppträder med LOI-halter ända ned mot  $5\%$ .

I Drevvikens ytsediment (0-2 cm; Fig. 10) är vattenhalten i genomsnitt  $88,9\%$  VS och glödförlusten  $19,6\%$  TS, vilket mycket klart indikerar recent A-bottenmaterial.

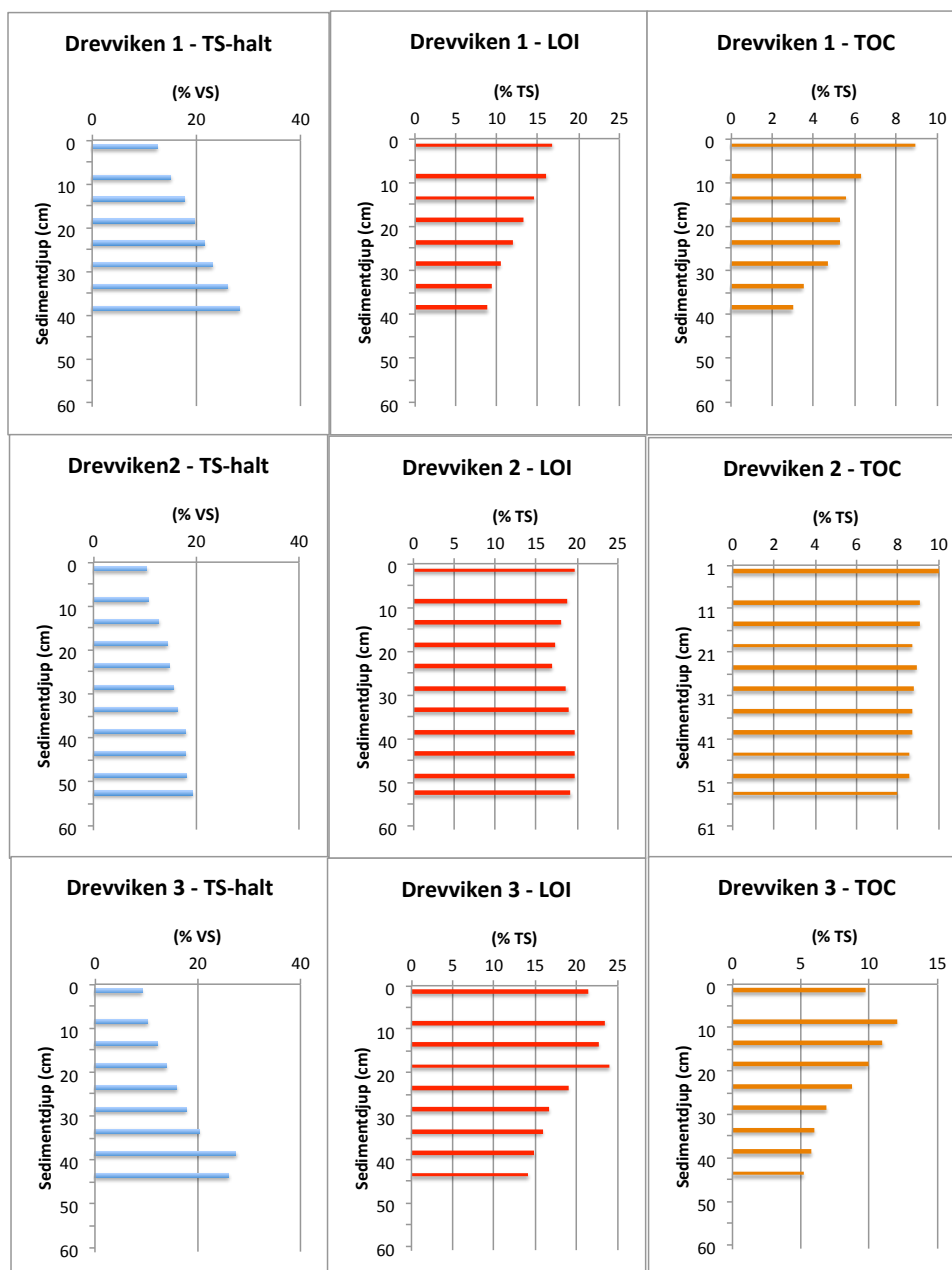
Glödförlusten i Drevvikens ytsediment är en faktor 1,9 högre än TOC. Persson och Jonsson (2000) fann utifrån ett stort empiriskt underlag ( $n = 298$ ) att förhållandet mellan LOI:TOC i nordvästra Egentliga Östersjöns utsjöområden är ungefär 2,2, vilket är något högre än i Drevviken. I nordvästra Egentliga Östersjön skärgårdar är förhållandet LOI/TOC ännu högre; 2,5–2,7 (Jonsson et al. 2003).

Orsakerna till skillnaden mellan Drevviken å ena sidan och skärgård/öppet hav å den andra är inte utredd, men är sannolikt att söka i skillnader i sammansättning av det organiska materialet. Skillnaden kan ha att göra med hur stor andel av kolet som är alloktont ( $\approx$  tillfört från omgivningarna) respektive autoktont ( $\approx$  bildat i sjön).



Figur 10 Vattenhalt, glödförlust och TOC i ytsediment (0-2 cm) från Drevviken.

Profilerna av TS, LOI och TOC i sedimentkärnorna D3, D4 och D5 (Fig. 11) visar klart att dessa kärnor är tagna från goda ackumulationsbottnar. Såväl LOI som TOC har mycket likartade haltförlopp i D1 och D3. D2 uppvisar ett mer utdraget haltförlopp som indikerar en större sedimentackumulering på denna station som ligger mitt i Trångsund och har det högst uppmanade djupet i Drevviken, 15,3 m.



Figur 11 Vattenhalt, glödförlust (LOI) och totalt organiskt kol (TOC) i tre kärnor från Drevviken.

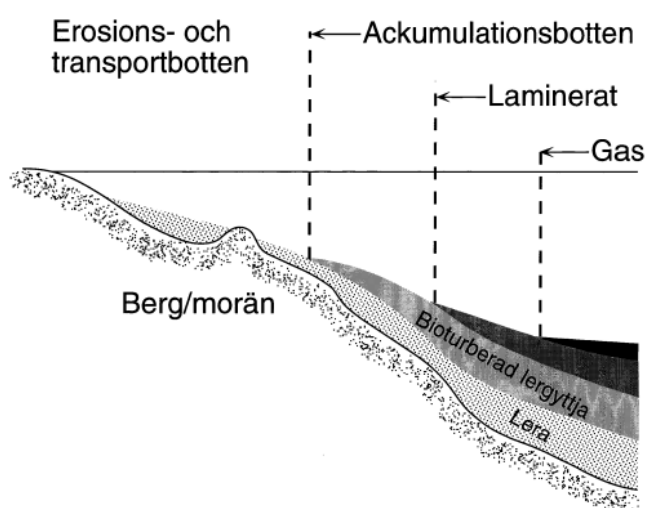
#### 4.5 Bottendynamik

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 botten typer (=bottendynamiska förhållanden) utgår man från det mest lättrorliga 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 fjärd fordras kännedom om vilka bottendynamiska förhållanden som råder på platsen.

Den viktigaste drivande kraften som avgör vid vilka djup olika botten typer uppträder är vinden. Den sträcka som vinden fritt kan påverka vågbildningen kallas för "fetch" (avstånd). Ju längre fetch, desto högre blir vågorna och desto djupare ligger vågbasen. Vågbasen är det djup till vilket vågorna på ytan ger upphov till turbulens djupare ned i vattenmassan. Den är av avgörande betydelse för var ackumulationsbotten för finsediment kan uppträda. Generellt kan säjas att ovanför vågbasen uppträder erosions- och transportbotten och under den finner man ackumulationsbotten. Undantag finns där den lokala strömsituationen kan ha stor betydelse för sedimentdynamiken.

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

Oftast återfinns E-/T-botten på mindre vattendjup än A-botten. En vanlig lagerföljd kan se ut som i Figur 12 där de olika sedimenttyperna börjar uppträda på olika vattendjup. I en opåverkad sjö eller skärgårdsfjärd dominerar vanligen A-botten av bioturberade lergyttjesediment. Om syrehalten vid botten längre eller kortare perioder underskrider 2-3 mg O<sub>2</sub>/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 12 Principskiss över en recent lagerföljd från djupområde till strandzon.

Drevvikens form karaktäriseras av en påtaglig vinkelskillnad mellan den norra, centrala och södra delen, vilket medför att gränsen för ackumulation varierar påtagligt mellan sjöns olika delar. Som ovan beskrivits är den effektiva fetchen styrande för på vilket djup A-botten gränsen återfinns. Gränsen för ackumulation bör rimligen ligga grundast i de mittersta delarna av såväl den norra som den centrala och den södra delen av sjön, eftersom våghöjderna här är mindre än i sydändan, mitten och nordändan. Följaktligen torde gränsen för ackumulation ligga djupare i de nordvästligaste och sydostligaste delarna av Drevvikens norra del som en följd av den större fetchen här. I den södra delen bör på motsvarande sätt A-botten gränsen ligga djupast i nordost och sydväst.

I en sjö av Drevvikens 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 sonarkarteringen kan konstateras att Drevvikens bottnar huvudsakligen täcks av mjuka sediment. I den nordvästra delen noterades förekomst av E/T-bottnar på mindre än 3 meters djup. Även i den södra delen av sjön tyder mjuka förhållanden i ytsedimenten utifrån sonarkarteringen på att gränsen mellan E/T- och A-bottnar går vid  $3 \pm 1$  m. Detta innebär att drygt 80 % av Drevvikens bottenarea utgörs av ackumulationsbottnar. Som tidigare nämnts är det troligt att gränsen mellan A- och E/T-bottnar går vid olika djup i en sjö som är så flikig som Drevviken. Vi har dock valt att i alla de undersökta delarna av sjön sätta en operativ gräns mellan ackumulation och erosion/transport till 3 m. Om man behöver få en mer detaljerad bild krävs att ett antal gradientstudier av bottentyper genomförs från djupt vatten in emot grundare områden i olika delar av sjön.

## **5 FÖRORENINGAR**

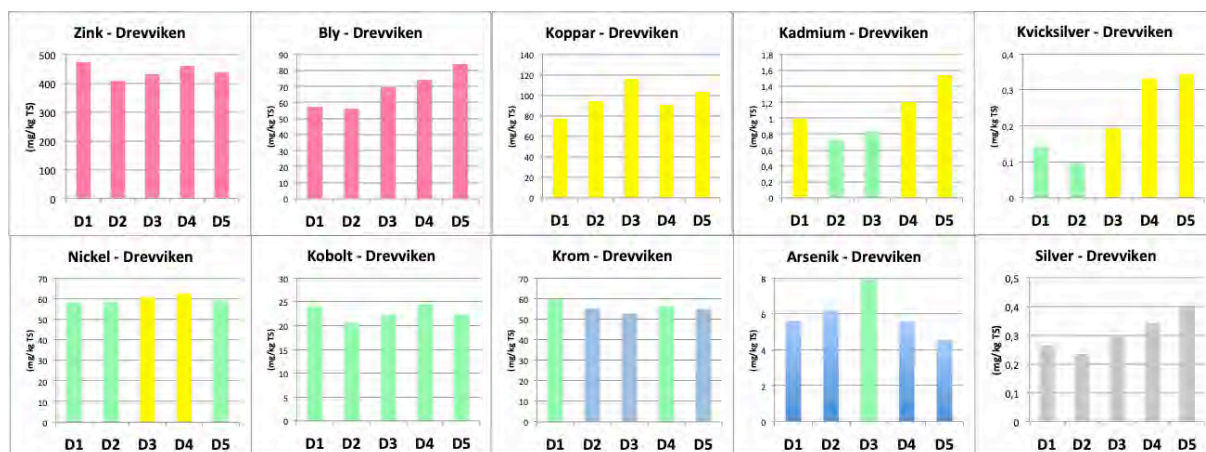
### **5.1 Areell fördelning**

I Drevviken har samtliga ytsediment analyserats med avseende på sedimentologiska basparametrar (torrsubstanshalt, glödförlust, totalt organiskt kol), grundämnen och organiska tennföreningar.

#### **5.1.1 Metaller**

I figur 13 har metallhalterna i Drevvikens ytsediment arrangerats i fallande skala. Längst upp till vänster finns metallen med den högsta halten och längst ned till höger den med de lägsta halterna. Zink- och blyhalterna uppvisar stor avvikelse från bakgrundsvärdena. Koppar-, kadmium- och kvicksilverhalterna visar tydlig avvikelse från bakgrundshalterna i de flesta av stationerna från Drevviken. Nickelhalterna har liten avvikelse utom på två stationer som ligger strax över gränsvärdet för tydlig avvikelse. Kobolt uppvisar liten avvikelse på alla stationer. Krom och arsenik har ingen eller liten avvikelse. Silverhalterna är låga i förhållande till det regionala bakgrundsvärdet (0,1 mg/kg TS; Jonsson 2018).





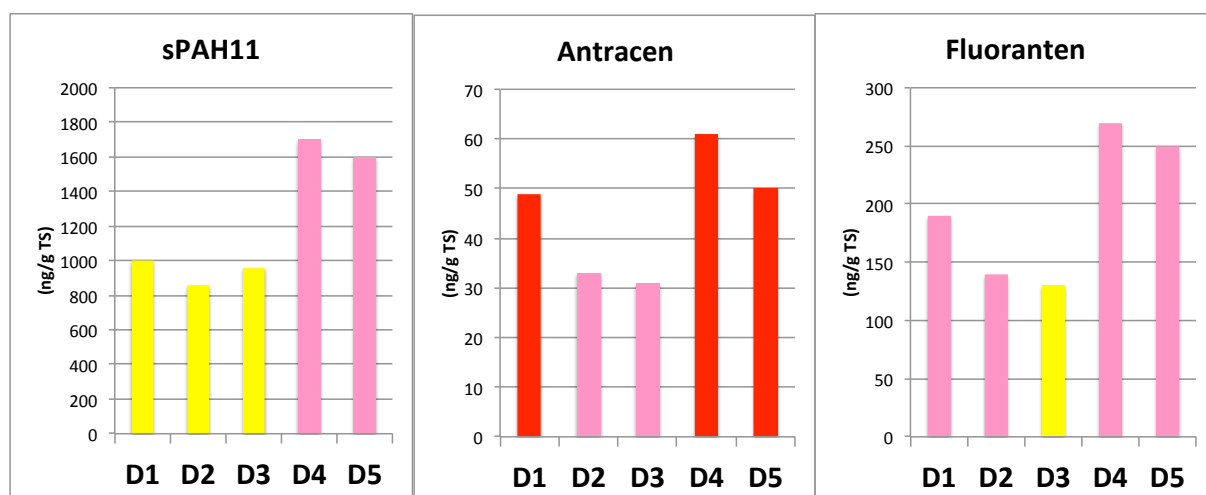
Figur 13 Metaller i ytsediment (0-2 cm) från Drevviken. Halterna är klassade enligt färgskalan i tabell 1.

### 5.1.2 Organiska föreningar

I ytsedimenten har PAH-er, MBT, DBT, TBT, PCB-er, klorparaffiner och polybromerade difenyletrarna registrerats i stort sett i alla ytsediment från Drevviken. Utöver detta har några specifika ämnen detekterats på en eller några stationer bl.a. dioktyltenn och PFOS.

#### 5.1.2.1 Polyaromatiska kolväten – PAH

Polycykliska aromatiska kolväten i form av sPAH11 (d.v.s. fenantren, antracen, fluoranten, pyren, bens(a)antracen, chrysen, bens(b)fluoranten, bens(k)fluoranten, bens(a)pyren, bens(ghi)perylen och indeno(cd)pyren) uppvisar i relation till de svenska bedömningsgrunderna höga eller medelhöga halter i Drevvikens ytsediment (Fig. 14). Av de enskilda kongenerna har antracen höga eller mycket höga halter och även fluoranten ligger på de flesta undersökta stationerna inom intervallet för hög halt.



Figur 14 sPAH11, antracen och fluoranten i ytsediment (0-2 cm) från Drevviken.

Havs- och vattenmyndighetens riktlinjer för klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvatten (HVMFS 2013:19) anger dock avsevärt högre gränsvärden för uppnående av god kemisk status i sediment än de svenska bedömningsgrunderna vad gäller antracen och

fluoranten, nämligen 24 resp. 2000  $\mu\text{g}/\text{kg}$  TS normerat till 5 % TOC-halt. Den genomsnittliga TOC-halten i Drevvikens ytsediment är 10,3 % TS. Efter normering blir gränsvärdena i Drevvikens sediment för antracen 49  $\mu\text{g}/\text{kg}$  TS och för fluoranten 4120  $\mu\text{g}/\text{kg}$  TS. Detta innebär att halterna av antracen i ytsedimenten ligger strax över gränsvärdet för god kemisk status på tre av de fem undersökta stationerna. Fluorantehalterna ligger långt under gränsvärdet.

### 5.1.2.2 Organiska tennföreningar

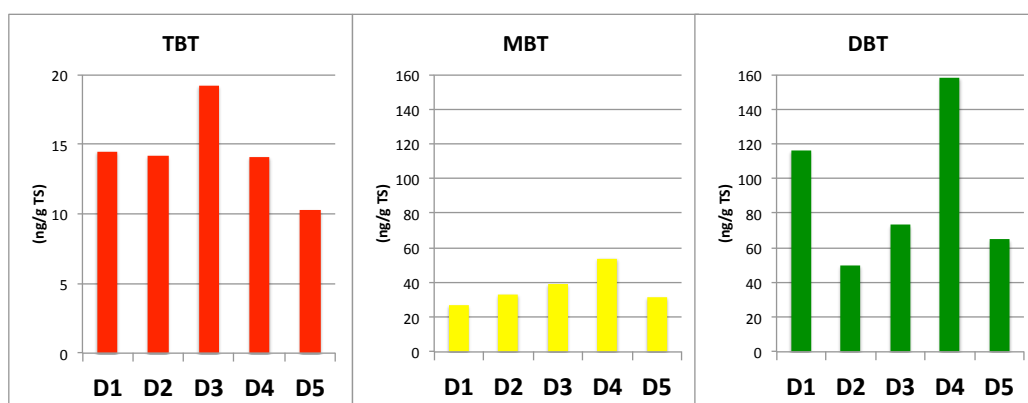
Vad gäller organiska tennföreningar har vi i denna undersökning valt att inte använda bedömningsgrunderna i Tabell 2 från 2017. Orsaken är att tabellen helt grundar sig på uppmätta halter i ytsediment (0-2 cm) och på intet sätt relateras till miljöfarligheten hos de olika kongenerna. Naturvårdsverket 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	$\mu\text{g}/\text{l}$
DBT	Ccrit_sw	0,07	$\mu\text{g}/\text{l}$
MBT	Ccrit_sw	0,8	$\mu\text{g}/\text{l}$
Organiska tennföreningar	Ccrit_sw	0,004	$\mu\text{g}/\text{l}$

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 14 och 15 har inte färgskalan något med klasser att göra.

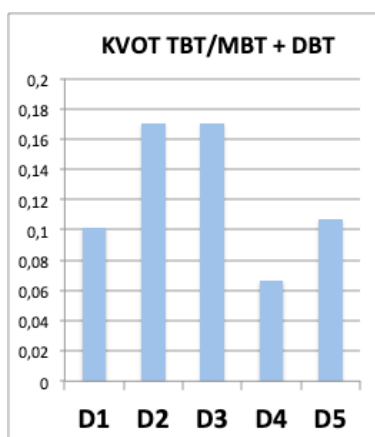
För TBT anges i Havs- och vattenmyndighetens riktlinjer för klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvatten (HVMFS 2015:4) att gränsvärdet för uppnående av god kemisk status i sediment skall ligga på 1,6  $\mu\text{g}/\text{kgTS}$  för TBT normerat till 5 % kolhalt (TOC). Medelkolhalten i ytsediment (0-2 cm) från Drevviken är 10,3 %, vilket leder till att gränsvärdet blir 3,3  $\mu\text{g}/\text{kgTS}$ . Medelhalten i Drevvikens ytsediment är 14,5  $\mu\text{g}/\text{kgTS}$  (Fig. 15), vilket är drygt 4 gånger högre än det normaliserade gränsvärdet för god kemisk status.



Figur 15 MBT, DBT, TBT i ytsediment (0-2 cm) från Drevviken.



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 Drevvikens ytsediment varierar kvoten mellan ca  $0,06$  och  $0,17$  (Fig. 16), vilket indikerar att tillförseln idag är liten av TBT.

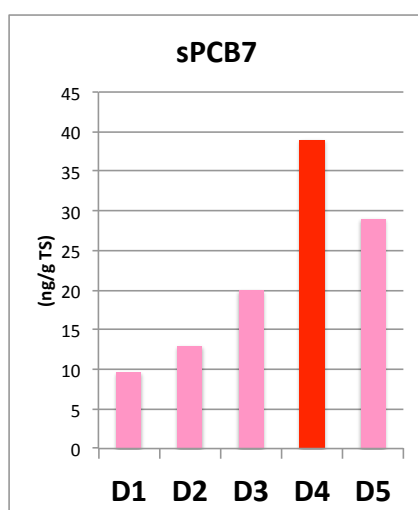


Figur 16 Kvoten TBT/MBT+DBT i ytsediment (0-2 cm) från Drevviken.

### 5.1.2.3 Polyklorerade bifenyler - PCB

Polyklorerade bifenyler (PCB) är ett samlingsnamn för 209 olika giftiga och svårnedbrytbara kongener. Ofta uttrycker man dem som sPCB7, vilket är summan av 7 av de mest miljöfarliga kongenerna, nämligen #28, #52, #101, #118, #138, #153 och #180.

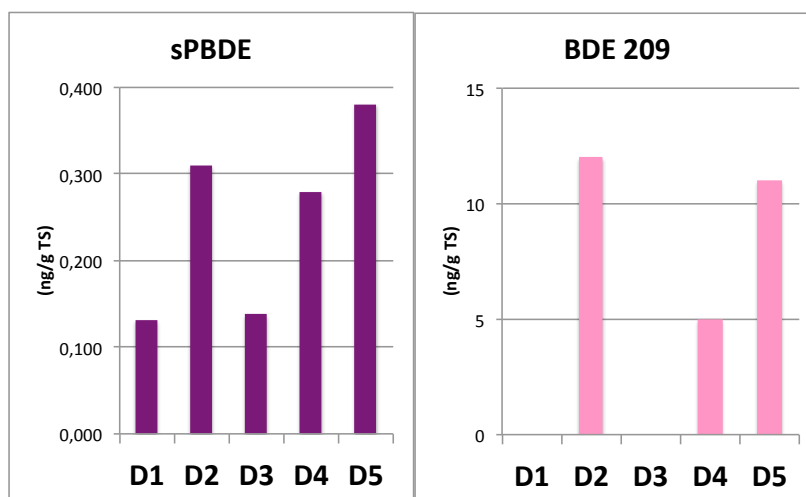
Halterna av sPCB7 i Drevvikens ytsediment är höga (Fig. 17; klass 4 i de svenska bedömningsgrunderna) och på en station (D4) mycket hög. Halterna i Drevviken idag är i genomsnitt hälften av vad sPCB7-halterna låg på i Östersjöns sediment omkring 1970 (Jonsson and Kankaanpää 2003), då mycket allvarliga effekter på biota registrerades i Östersjön (Bernes 2000).



Figur 17 sPCB7 i ytsediment (0-2 cm) från Drevviken.

#### 5.1.2.4 Polybromerade difenyletrar - PBDE

De polybromerade difenyletrarna i form av summaparametern sPBDE är detekterbara på alla fem provtagningsstationerna (Fig. 18). sPBDE utgörs av kongenerna #28, #47, #99, #100, #153 och #154. Dessa ämnen ersatte från 1970-talet PCB som flamskyddsmedel när PCB-användningen vid denna tid förbjöds i Östersjöområdet (Bernes 2000). Kongenen #209 ingår inte i sPBDE, men detekterades i tre ytprover i halter som enligt bedömningsgrunderna från 2017 är att betrakta som höga (Fig. 18).

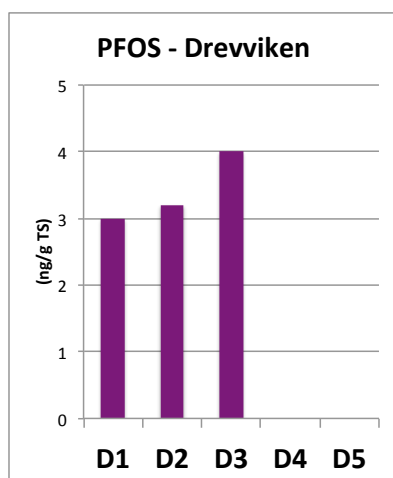


Figur 18 sPBDE och BDE 209 i ytsediment (0-2 cm) från Drevviken.

#### 5.1.2.5 Perfluoroktansulfonsyra - PFOS

PFOS (perfluoroktansulfonsyra) är ett ämne inom gruppen perfluorerade ämnen. Den är en beståndsdel i bland annat rengöringsmedel, impregneringsmedel samt brandsläckningsmedel. Användningen av PFOS förbjöds i Sverige 2008.

PFOS har analyserats i tre av stationerna från Drevviken och halterna ligger på mellan 3 och 4 ng/g TS (Fig. 19). Än så länge finns inte så mycket data på PFOS i sediment i Sverige. En



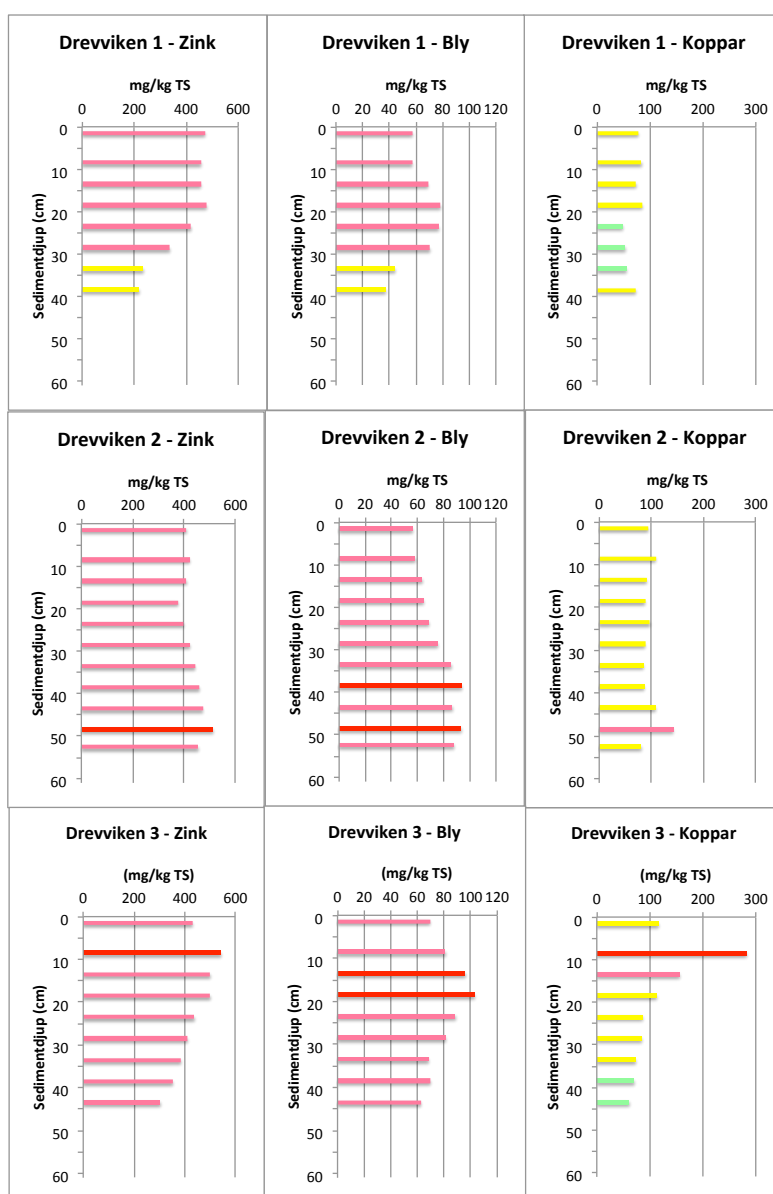
Figur 19 PFOS i ytsediment (0-2 cm) från Drevviken.

undersökning genomfördes dock i Halmsjön vid Arlanda 2008 där man fann PFOS-halter för djupnivån 0-3 cm (ng/g TS) i sedimenten på mellan 20 och 80 ng/g TS (Axelström och Axelsson 2008). Att PFOS finns i mark och vatten nära Arlanda beror på att ämnet användes i det brandsläckningsmedel, AFFF (Aqueous Film Forming Foam), som användes från omkring 1980-talet till 2004-2005 vid brandövningar på flygplatsens brandövningsplats. Halterna i Halmsjöns sediment är avsevärt lägre än det riktvärde som gäller i Norge på 220 ng/g TS.

## 5.2 Föroreningshistorik

### 5.2.1 Metaller

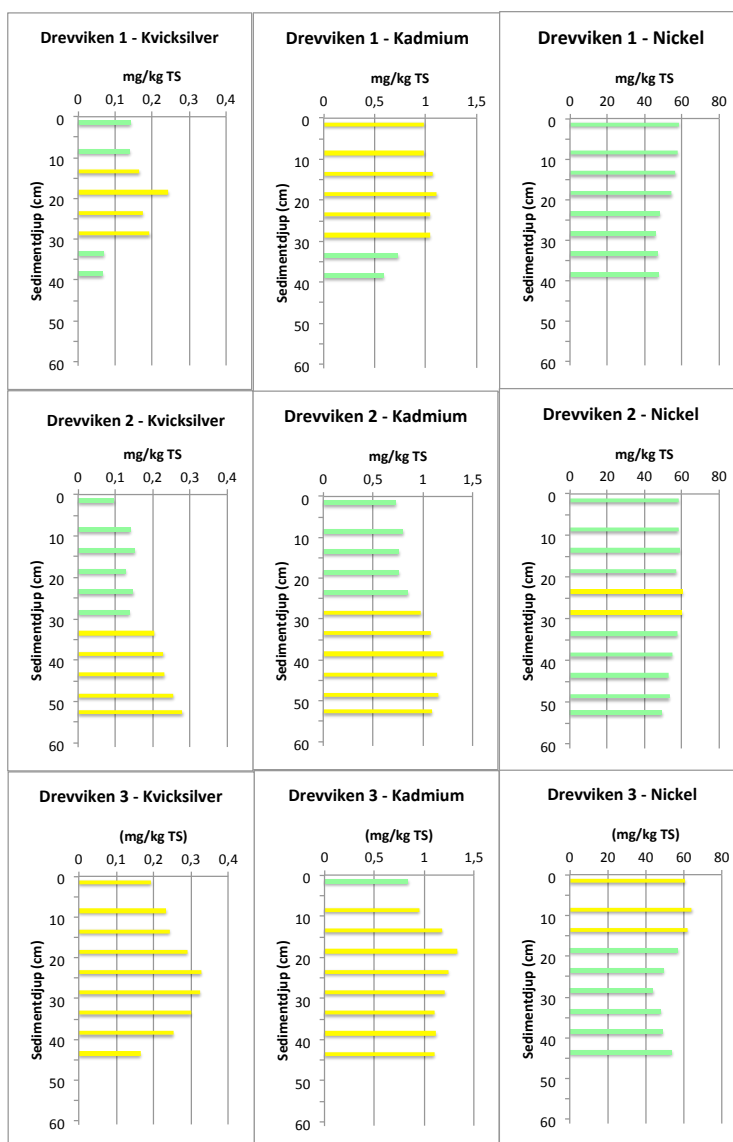
I figur 20 har haltprofilerna av de metaller som visar den största avvikelser från bakgrundsvärdena sammanställts, nämligen zink, bly och koppar. I kärnan från den södra



Figur 20 Zink, bly och koppar i tre sedimentkärnor från Drevviken.

delen av Drevviken (D1) visar zinkhalterna i de djupare delarna av kärnan en tydlig avvikelse som från 30 cm och uppåt successivt ökar till ett svagt pikvärde vid nivån ca 20 cm. Från denna nivå vidare och uppåt ligger zink kvar på ungefär samma halt, som motsvarar stor avvikelse från bakgrunds-nivån. I Drevviken 2, som är tagen på det största uppmätta djupet i Drevviken (15,3 m i Trångsund) uppvisar zink en stor avvikelse från bakgrunden i hela lagerföljden. Halterna är något högre djupare än ca 30 cm, men är tämligen konstanta i de översta 25 cm av kärnan. Haltprofilerna för zink i Drevviken 3 visar en konstant successiv ökning ända till knappt 10 cm, därefter något avtagande. Haltprofilerna för bly i alla tre kärnorna följer i stort samma mönster som blyprofilerna. Kopparhalten i södra Drevviken (Drevviken 1) visar liten eller tydlig avvikelse från bakgrunden. I Drevviken 2 visar koppar ett liknande haltförlopp som såväl zink som bly. I Drevviken 3 (centralt i den norra delen av Drevviken) har koppar ett mycket tydligt pikvärde på knappt 10 cm och därovan i ytsedimentet är halten densamma som under piken.

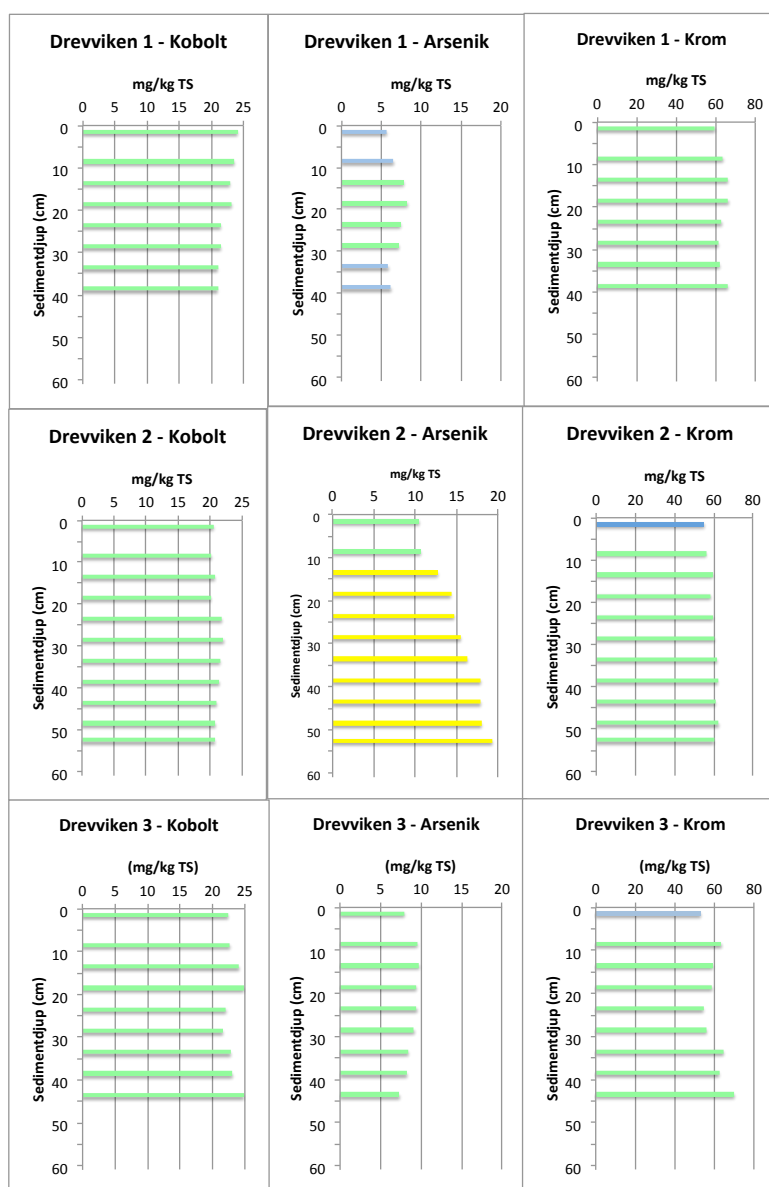
Även haltprofilerna för kvicksilver och kadmium (Fig. 21) har ett likartat utseende som profilerna för zink, bly och koppar. Kopparpiken i Drevviken 3 är mycket större och ligger



Figur 21 Kvicksilver, kadmium och nickel i tre sedimentkärnor från Drevviken.

högre upp i lagerföljden än bly-, kvicksilver- och kadmiumpikarna, vilket antyder ett påtagligt ökat tillskott senare i tiden. Om man antar att pikvärdena i de tre kärnorna är samtidigt antyder fördelningsbilderna för metallerna att sedimenttillväxten i Drevviken 2 i runda tal är 2 gånger större än i Drevviken 1 och 3.

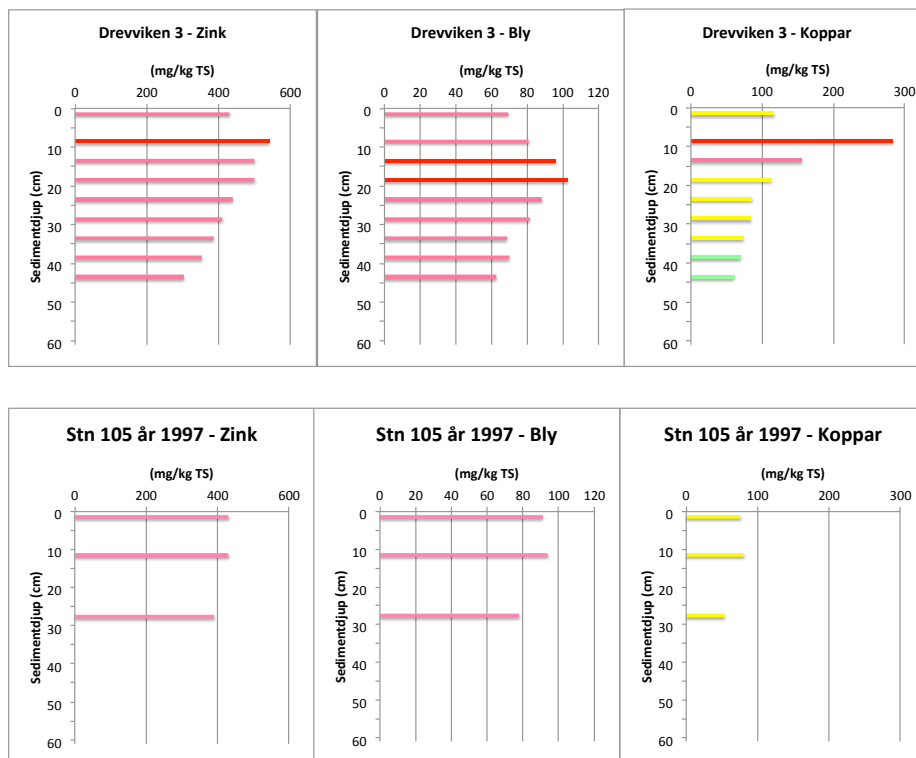
Haltprofilerna för kobolt, arsenik och krom (Fig. 22) beskriver inga tydliga trender utom för möjligen arsenik i Drevviken 2. Halten i ytsedimentet i stort sett halveras i förhållande till den nedre delen av kärnan, där den uppvisar tydlig avvikelse. I övrigt uppvisar dessa ämnen liten eller ingen avvikelse från bakgrunden.



Figur 22 Kobolt, arsenik och krom i tre sedimentkärnor från Drevviken.

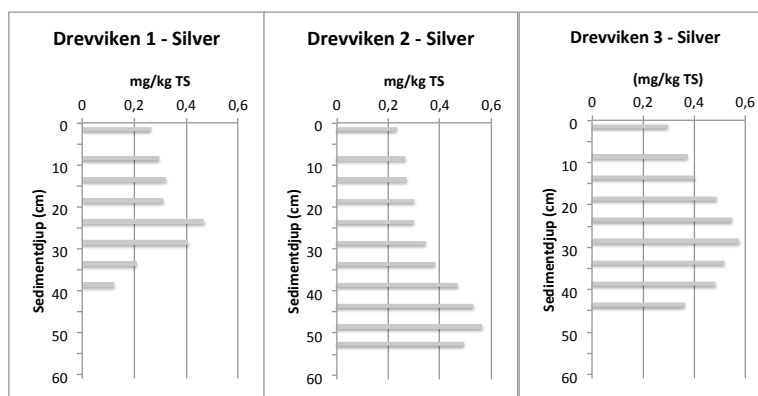
Vid en undersökning av sedimenten i Stockholms sjöar och fjärdar 1997 (Östlund et al. 1998) togs tre sedimentkärnor i Drevviken. En av dem (Stn 105) togs på ungefär samma plats som Drevviken 3 i vår undersökning.

För att jämföra haltprofilerna från de två undersökningarna som genomförts med 20 års intervall har resultaten sammanställts i en och samma figur (Fig. 23). Mycket likartat haltförlopp kan konstateras om man uppskattar att sedimenttillväxten mellan provtagningarna varit 15-20 cm, d.v.s. ca 7-10 mm/år. Det är också uppenbart att den kraftiga haltökningen och efterföljande minskning för koppar skett efter 1997.



Figur 23 Haltprofiler för zink, bly och koppar från två undersökningar som genomförts med 20 års mellanrum. Överst: Resultat från kärnan Drevviken 3 i föreliggande studie 2017. Underst: Resultat från kärnan 105 i undersökningen från 1997 (Östlund et al. 1998).

Silverhalterna beskriver mycket konsistenta och tydliga trender i de tre analyserade kärnorna trots att halterna bara varierar mellan 2 och 6 gångers förhöjning av bakgrunden. Trenderna liknar sPCB7-fördelningarna, men pikvärdena för silver är något senare än PCB i alla kärnorna.



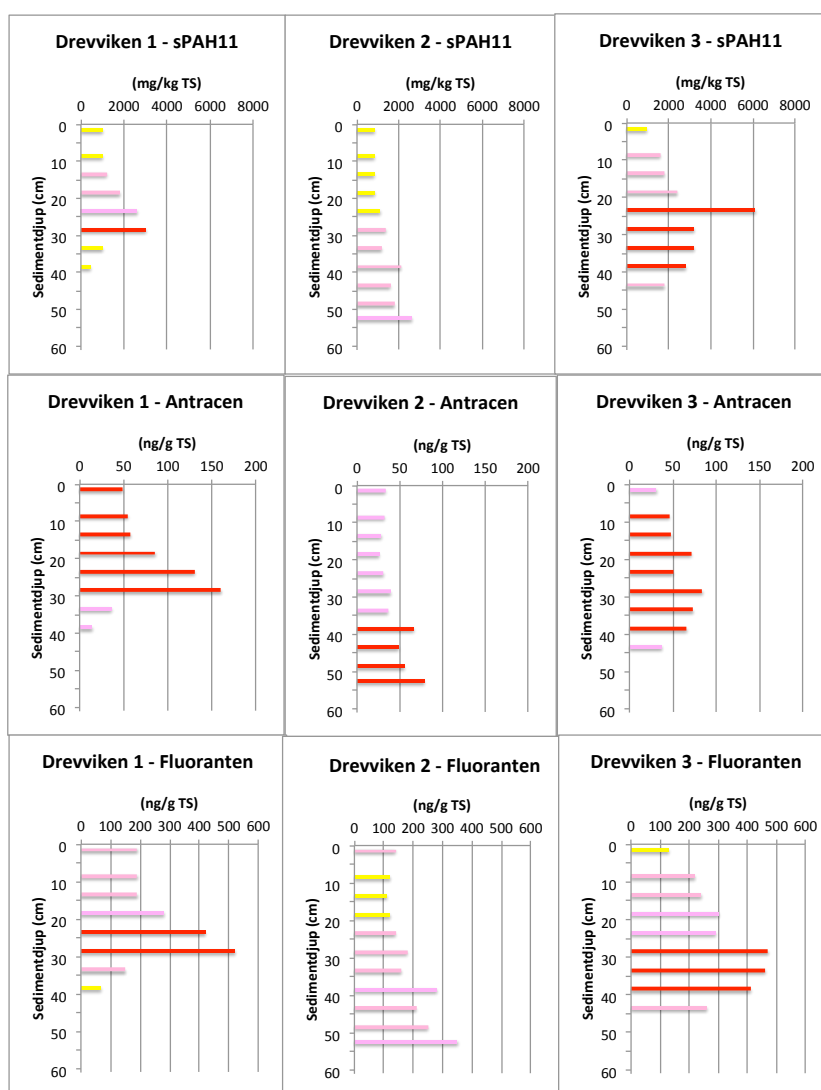
Figur 24 Silver i tre sedimentkärnor från Drevviken.

## 5.2.2 Organiska föroreningar

Klorparaffiner har inte analyserats i kärnorna från Drevviken på grund av för lite sedimentmaterial. PFOS-halterna i de djupare delarna av kärnorna ligger under detektionsgränsen på 3 ng/g TS.

### 5.2.2.1 Polyaromatiska kolväten – PAH

De polycykliska aromatiska kolvätena uttryckta som sPAH11 beskriver likartade och karaktäristiska haltprofiler i kärnorna Drevviken 1 och 3 (Fig. 24). Det som skiljer deras fördelningsbilder från Drevviken 2 är att maxvärdena ligger på 50 cm eller djupare, vilket antyder påtagligt högre sedimenttillväxt i Drevviken 2 som tidigare föreslagits i avsnitt 5.2.1 Metaller.

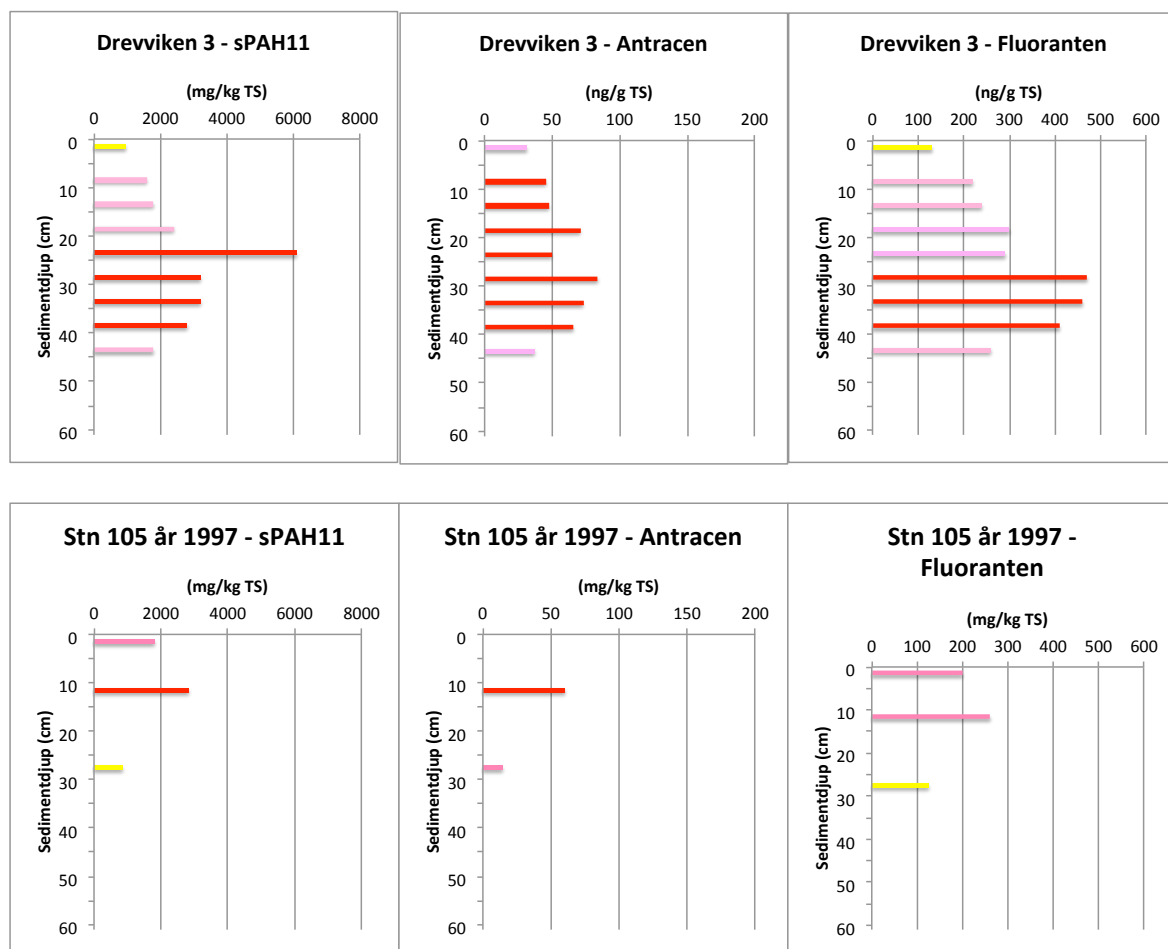


Figur 24 sPAH11, antracen och fluoranten i tre kärnor från Drevviken.

I de djupare delarna av Drevviken 1 och 3 är halterna att klassificera som medelhöga men ökar successivt till höga eller mycket höga halter på 20-35 cm:s djup i de två kärnorna. Därövanför sker tydliga haltavtaganden och halterna är medelhöga i ytsedimenten.



Vid undersökningen av sedimenten i Stockholms sjöar och fjärdar 1997 (Östlund et al. 1998) togs en av tre sedimentkärnor i Drevviken på ungefär samma plats som Drevviken 3 i föreliggande undersökning. En jämförelse av haltprofilerna från de båda undersökningarna som genomförts med 20 års intervall har resultaten sammanställts i en och samma figur (Fig. 25). Likartade haltförlöpp kan konstateras om man antar att sedimenttillväxten mellan provtagningarna varit 15-20 cm.

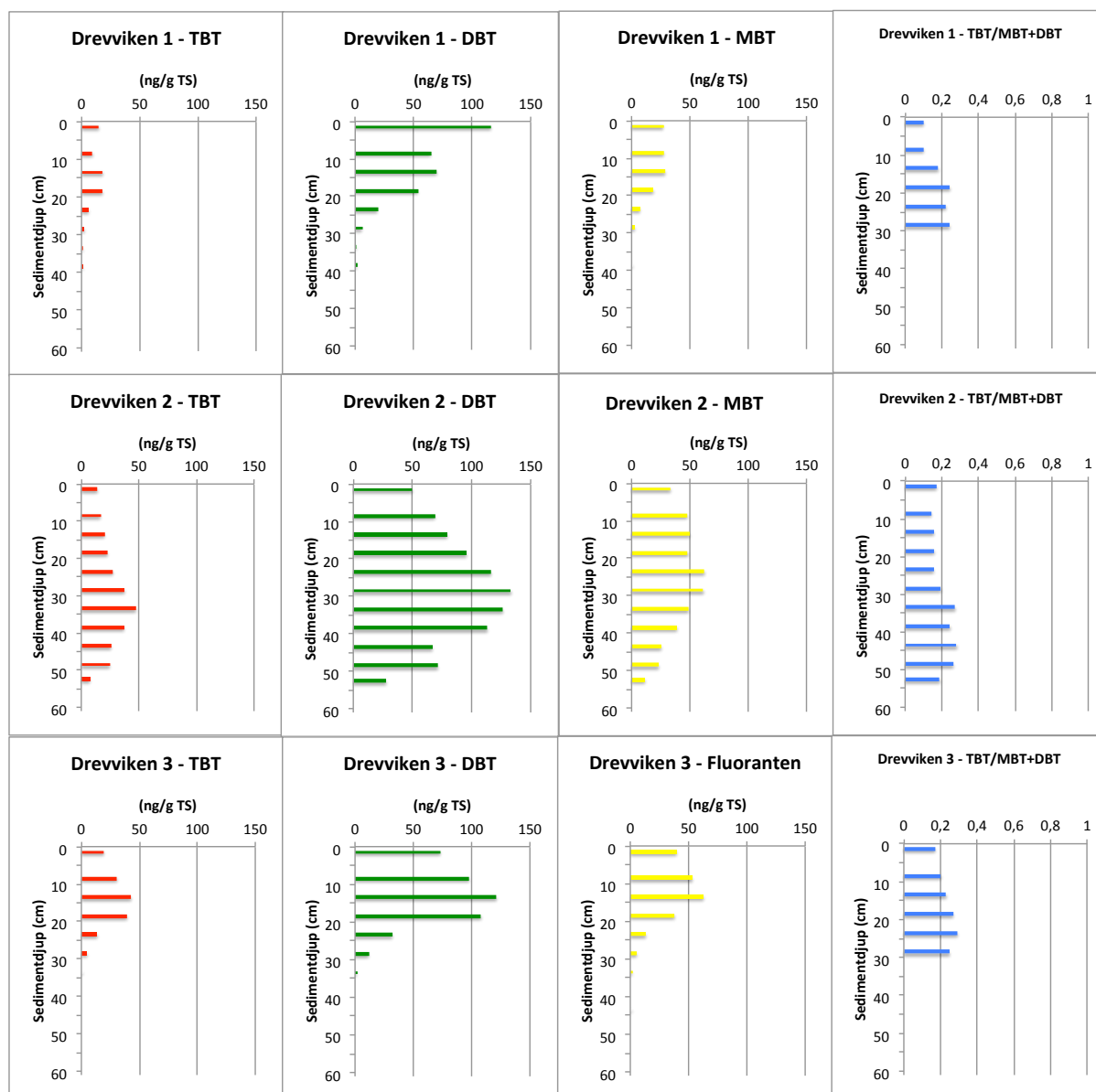


Figur 25 Haltprofiler för sPAH11, antracen och fluoranten från två undersökningar som genomförts med 20 års mellanrum. Överst: Resultat från kärnan Drevviken 3 i föreliggande studie 2017. Underst: Resultat från kärnan 105 i undersökningen från 1997 (Östlund et al. 1998).

### 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 båtbottnfärger råder sedan 2008 (Magnusson och Samuelsson, 2012). TBT-profilen bör sålunda karaktäriseras av inga eller mycket låga halter under 1960-talet.

I Drevviken 1 och 3 finns tributyltenn i mätbara halter endast i de övre 30-40 cm av sedimentpelaren (Fig. 26). Halterna i de djupare delarna är lägre än detektionsgränserna 0,5–1 ng/g TS. TBT-profilerna karaktäriseras av tydliga ökningar uppåt i kärnorna och TBT-halterna når pikvärden på 15-20 cm:s djup i Drevviken 1 (18 ng/g TS) och 3 (42 ng/g TS). Nedbrytningsprodukterna MBT och DBT uppvisar likartade haltprofiler som TBT, men vissa mindre skillnader finns i haltfördelningarna, t.ex att DBT i ytsedimentet i Drevviken 1 ökar kraftigt.



Figur 26 MBT, DBT, TBT och TBT/(MBT+DBT) i tre sedimentkärnor från Drevviken.

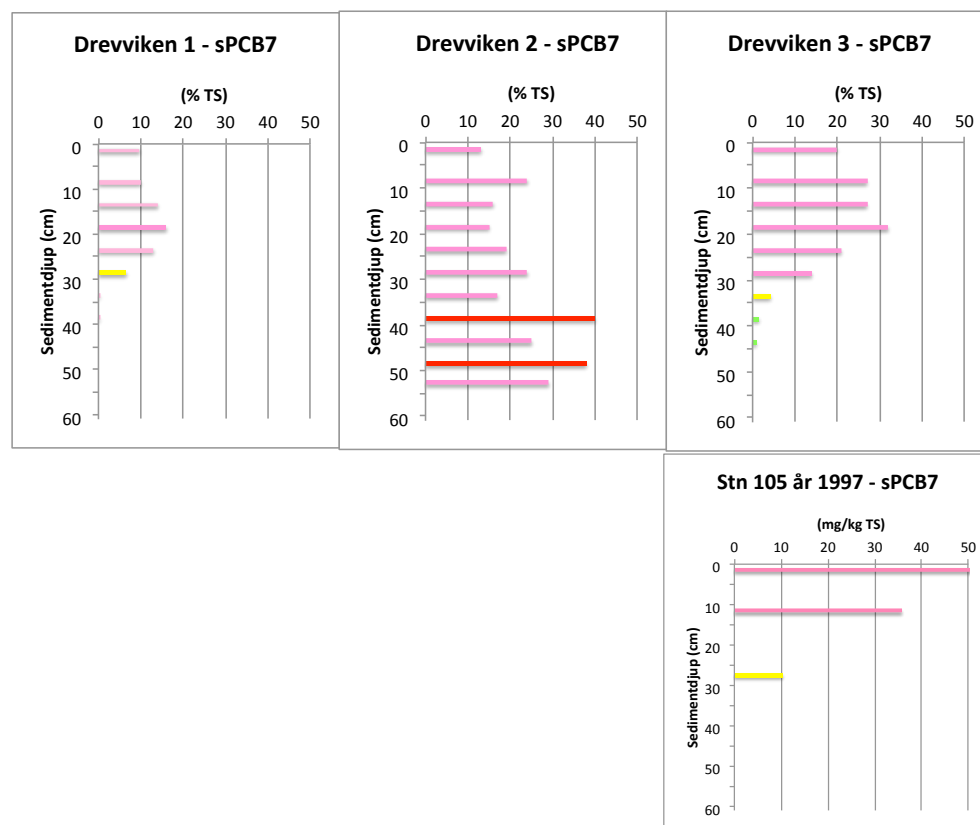
Kärnan från Drevviken 2 avviker som redan visats vad gäller metaller (avsnitt 5.2.1) och PAH-er (avsnitt 5.2.2.1) på så vis att pikvärdet (47 ng/g TS) dels är högre och ligger ungefär dubbelt så djupt i Drevviken 2 som i de två andra kärnorna. Detta har tolkats som att sedimenttillväxten är ungefär dubbelt så hög i Drevviken 2.

Kvoten tributyltenn (TBT) / (monobutyltenn (MBT) + dibutyltenn (DBT)) i sediment kan enligt Bengtsson och Cato (2011) användas för att avgöra 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. I Drevvikens ytsediment ligger kvoten på  $0,10-0,17$  (Fig. 26), vilket indikerar att nytillskottet är litet.

### 5.2.2.3 Polyklorerade bifenyler - PCB

Som ovan nämnts, utifrån haltprofilerna för metaller, PAH-er och organiska tennföreningar, är sedimenttillväxten sannolikt ungefär dubbelt så stor i Drevviken 2 som i Drevviken 1 och 3. Denna slutsats stöds av haltprofilerna för sPCB7 (Fig. 27). PCB finns i mätbara men låga



Figur 27 sPCB7 i sedimentkärnor från Drevviken. De tre översta diagrammen representerar kärnor från föreliggande undersökning 2017. Den nedre högra visar haltfördelningen i kärnan 105 från undersökningen 1997 (Östlund et al. 1998).

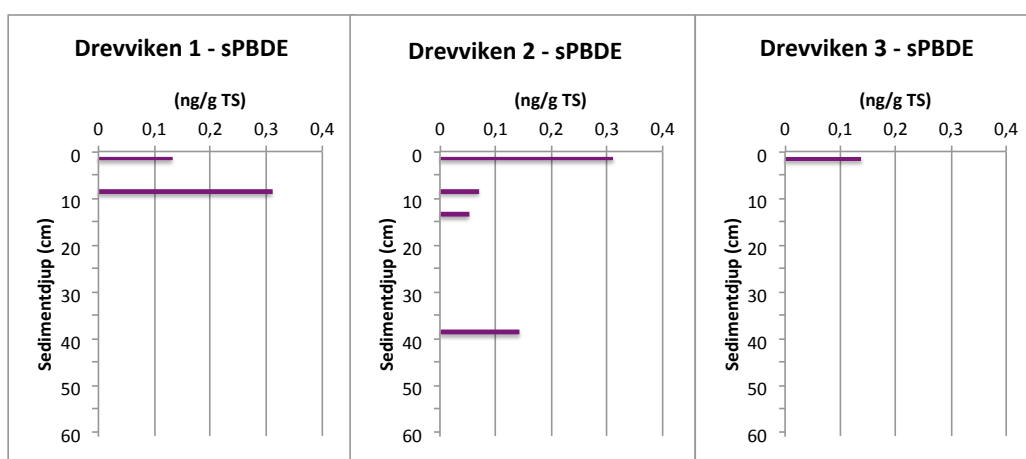
eller medelhöga halter i de djupare delarna av sedimentpelarna i Drevviken 1 och 3 (Fig. 27). Från 30-35 cm och uppåt i sedimentprofilerna sker tydliga och snabba ökning och sPCB7-halterna når pikvärden på 15-20 cm:s djup i dessa kärnor. Ovanför pikarna sjunker halterna påtagligt och är i ytsedimenten ca 50 % lägre än pikvärdena. Kärnan från Drevviken 2 avviker genom att pikvärdet (40 ng/g TS) dels är högre och ligger ungefär dubbelt så djupt i Drevviken 2 som i de två andra kärnorna.

Halterna vid pikvärdena är av samma storleksordning som sPCB7-halterna låg på i Östersjöns sediment i början på 1970-talet, då mycket allvariga effekter på biota registrerades i Östersjön. 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). Drevvikens ytsediment uppvisar idag i runda tal 3-5 ggr högre halter än nordvästra Östersjön under 2000-talet.

Som tidigare nämnts togs vid undersökningen 1997 (Östlund et al. 1998) en sedimentkärna (stn 105) i den centrala norra delen av Drevviken inte långt från vår station Drevviken 3 och analyserades även med avseende på PCB-er (Fig. 27 nederst). Den uppvisar samma ökande trend i de översta 30 cm som Drevviken 3 har upp till 15-20 cm. Om pikvärdet i Drevviken 3 och halten i ytsedimentet från station 105 från 1997 är ungefär samtida har uppskattningsvis ca 15 cm sediment ackumulerats i Drevviken 3 under de senaste 20 åren, vilket verkar rimligt.

#### 5.2.2.4 Polybromerade difenyletrar

PBDE har under senare delen av 1970-talet ersatt PCB som flamskyddsmedel efter att detta ämne förbjudits i Östersjöregionen under 1970-talet. Halterna av sPBDE (0,12-0,32 ng/g TS; Fig. 28) är ungefär lika höga som i Långsjön (0,13- 0,28 ng/g TS) men låga i förhållande till i Trekanten (0,5-4,0 ng/g TS). I Drevviken 1 och 3 uppträder de bromerade difenyletrarna endast i de översta 15 centimeterna av sedimentpelarna medan i Drevviken 2 noteras en halt på 0,14 ng/g TS på knappt 40 cm:s djup i kärnan.



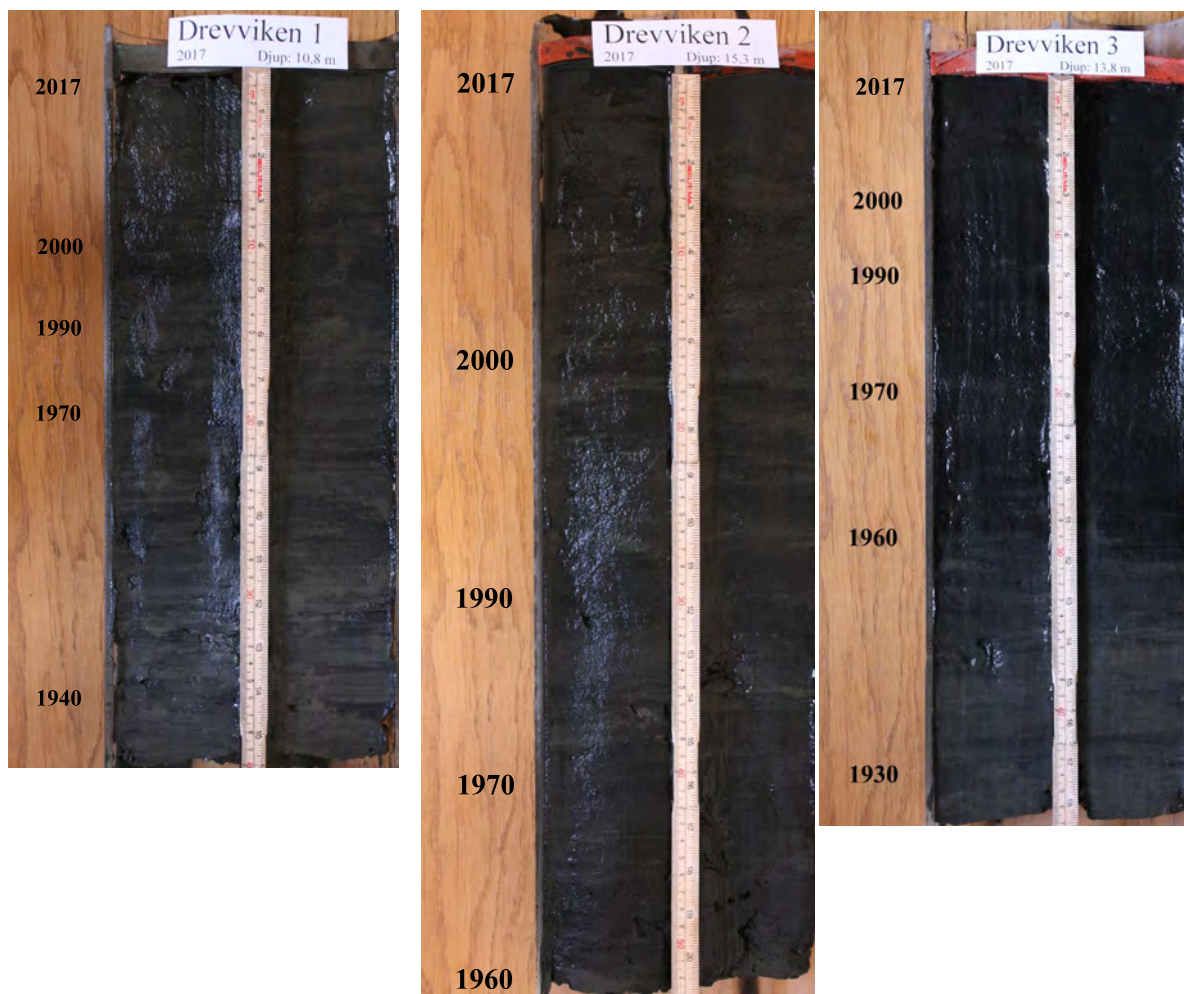
Figur 28 sPBDE i sedimentkärnor från Drevviken.

#### 5.2.3 Datering

Sedimentkärnor togs på 3 sedimentstationer i Drevviken (Fig. 8). Samtliga kärnor uppvisar mer eller mindre tydliga strukturer som kan användas vid utarbetandet av en översiktlig tidsskala (Fig. 29). Kärnorna uppvisar dessutom tydliga tidstrender vad gäller metaller, organiska tennföreningar, sPCB7 och sPBDE vilket i kombination med lamineringarna innebär att en översiktlig datering kan göras utifrån kända storskaliga generella tidstrender för dessa föreningar.

I figur 29 görs ett försök till datering av sedimentkärnorna D1, D2 och D3 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 28 Försök till datering av sedimentkärnorna Drevviken 1, 2 och 3 från Magelungen.

PCB började uppträda längst ned i kärnan Drevviken 3 på ca 45 cm (Fig. 27) och nådde pikvärde i början av 1970-talet vilket motsvarar ungefär 20 cm. Även metallerna nådde max-värden på 1970-talet, d v s 15-20 cm (Fig. 20 och 21). TBT uppträdde första gången på 1960-talet, som motsvaras av nivån kring 30 cm (Fig. 26) och nådde max-värden i början på 1990-talet motsvarande ca 13 cm. Dessa tidshorisonter har även lagts in i kärnan från Drevviken 1 som uppvisar ungefär samma haltprofil som Drevviken 3. Drevviken 2 uppvisar en längre utsträckt haltprofil eftersom sedimenttillväxten är ungefär dubbelt så snabb som i de övriga kärnorna.

Den genomsnittliga sedimenttillväxten kan utifrån dateringen av kärnorna i figur 28 beräknas till 4,7 mm/år i D1, 9,1 mm/år i D2 och 5,1 mm/år i D3.

## 6 REFERENSER

- Anonymous, 2016. Naturvårdsverkets Datablad för Organiska Tennföreningar. Kemakta Konsult AB och Institutet för Miljömedicin. Juni 2016.
- Apler, A. & Josefsson, S., 2016. Chemical contamination in offshore sediments 2003– 2014. Swedish status and trend monitoring programme. SGU-rapport 2016:04.
- Axelström, K. och Axelsson, P., 2008. PFOS på Arlanda. Föredrag hållet vid nätverket Renare Marks möte i Linköping 2011-02-16.
- 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.
- 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 bottnar. 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, 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., 2018. Regionala bakgrundshalter av metaller, PAH-er och dioxiner/furaner i Stockholmsområdet. JP Sedimentkonsult Rapport 2018:5, 24 sid 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., 2012. Björnöfjärdens historiska utveckling. JP Rapport 2012:02, 45 sid.
- 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 föreningar 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/drevviken/>
- Myrica, 1999. Djupkartering av Magelungen. 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-imiiljoarbetet/>

- Naturvårdsverket, 2016. <https://www.naturvardsverket.se/upload/stod-i-miljoarbetet/vagledning/fororenade-omraden/organiskatenforeningar.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.
- Östlund, P., Sternbeck, J. & Brorstöm-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

Medarbetare vid fältarbetena har i de flesta undersökningar varit CG Velin, Uppsala och/eller Ove Lindroth, Sollenkroka. JP Sedimenkonsult HB är dem skyldiga stort tack för utomordentliga arbetsinsatser i alla väder och ibland på annorlunda tider.

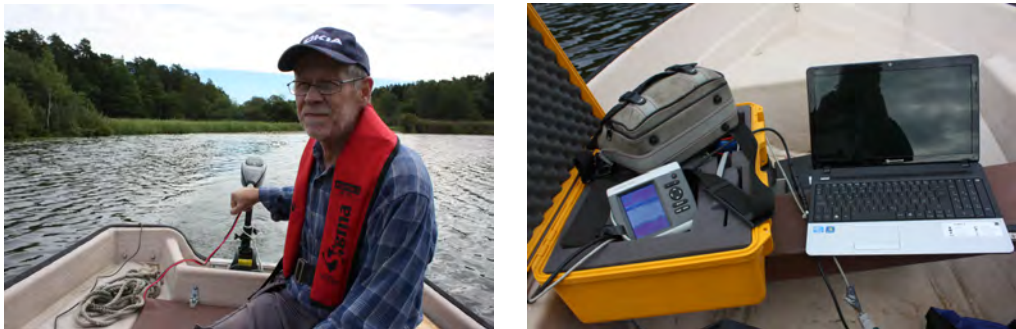
## 1 Utrustning

Två båtar av olika storlek och utrustningsnivå har använts vid undersökningarna.

### 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**

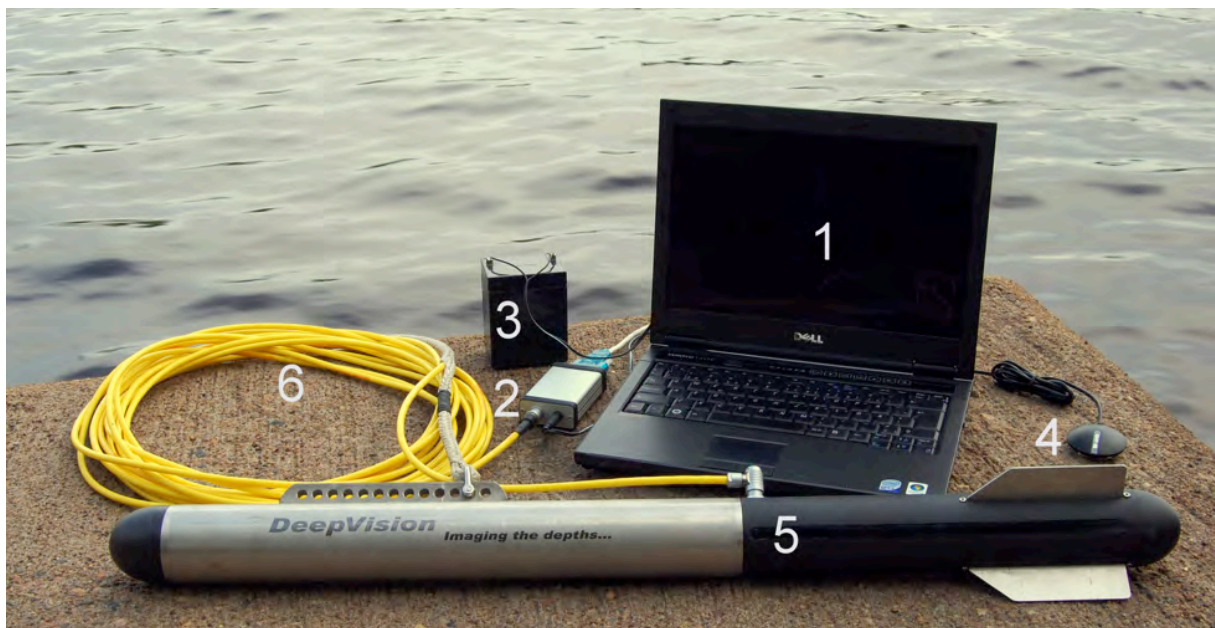
Positionering genomfördes med en GPS-utrustning av märket No: BU-353 kopplad direkt till dator. Utrustningen medger en positionsnoggrannhet av några få meter.

## **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.

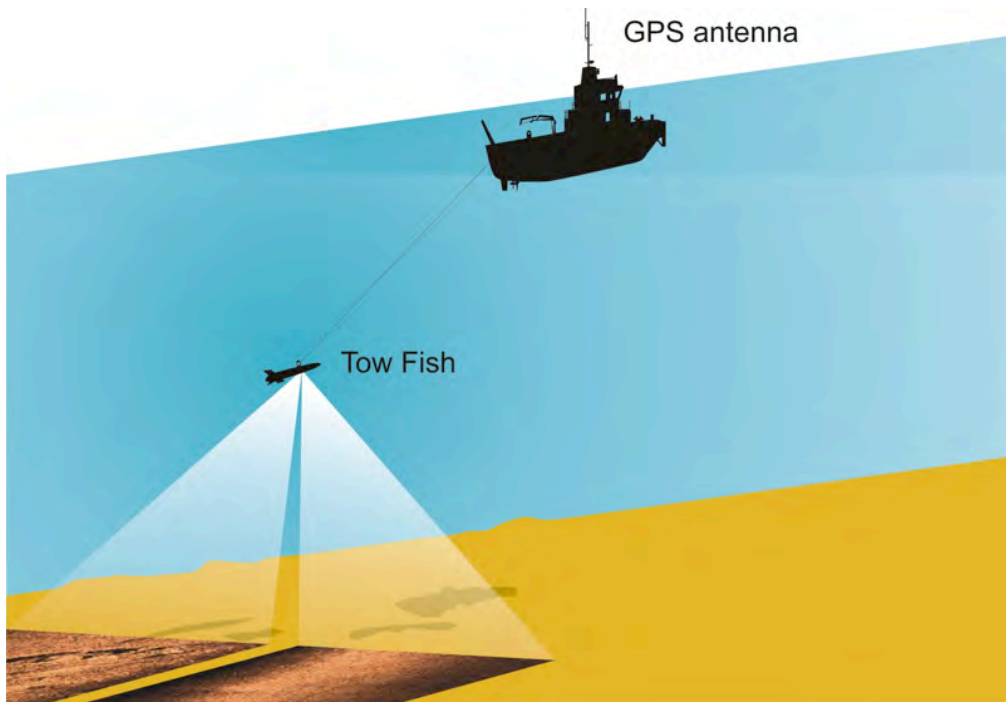
## **1.4 Kartering med side scan sonar**

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 bottnar och hårda föremål) avbildas som ljusa partier i sonarplottet och svaga reflektioner (mjuka bottnar) avbildas mörkare. Sonarkarteringen ger en ytriktig "flygbild" över botten.



Figur 4 Principskiss för side scan sonar-kartering.

## 1.5 Sedimentprovtagning

Fältundersökningarna genomfördes under 2017-2019. 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 nedfiring. 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 kärnhalvorna 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 uppifrån vattenmassan regnar ner till botten varierar i sammansättning från årstid till årstid (Renberg, 1981). Om inga djur finns på botten 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 ljus 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<sub>2</sub>/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<sub>2</sub>S), 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 ovanför liggande 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<sup>3</sup> VS),
- r<sub>m</sub> = densiteten av oorganiska partiklar (g/cm<sup>3</sup>)
- W = vattenhalt (% VS),
- LOI = glödningsförlust (% TS).

För ovanstående formel krävs att r<sub>m</sub>-värdet är känt. Sedimenten är till största delen uppbyggda av ler och silt med densitet mellan 2,6-2,85 g/cm<sup>3</sup> (Håkanson and Jansson, 1983). Då r<sub>m</sub>-värdet inte antas påverka r-värdet nämnbart i okonsoliderade (lösa) sediment med mer än 75 % vattenhalt, sätts r<sub>m</sub>-värdet som regel till 2,6 g/cm<sup>3</sup>. 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 torrsubstanskorrigeras. 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, MCP (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, MCP, diuron**

Bestämning av terbutryn, isoproturon, irgarol, MCP (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 benzo(a)antracen, krysén, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(a)pyren, dibenso(ah)antracen och indeno(123cd)pyren.

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

PAH summa H: benzo(a)antracen, krysén, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(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)perylen 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 bottnar. 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

### Station D1

Position

WGS-84

SWEREF 99 1800

Djup: 10,8 m

Lat 59 12,589

6566056.929

Long 18 11,195

160658.61



**Station D2**

Position

WGS-84

SWEREF 99 1800

Djup: 15,3 m

Lat 59 13,388

6567538.623 1

Long 18 10,512

60004.439



**Station D3**

Position

WGS-84

SWEREF 99 1800

Djup: 13,8 m

Lat 59 13,999

6568672.542

Long 18 10,313

159812.124

