

Ulf Qvarfort, Annica Waleij, Henrik Mikko

Sedimentundersökning i förtunnlarna vid Musköbasen



TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Avdelningen för NBC-skydd

901 82 Umeå

FOI-R--0497--SE

Maj 2002

ISSN 1650-1942

Underlagsrapport

Ulf Qvarfort, Annica Waleij, Henrik Mikko

Sedimentundersökning i förtunnlarna vid Musköbasen

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut, FOI Avdelningen för NBC-skydd 901 82 Umeå	Rapportnummer, ISRN FOI-R--0497--SE	Klassificering Underlagsrapport
	Forskningsområde 3. Skydd mot massförstörelsevapen	
	Månad, år Maj 2002	Projektnummer E4911
	Verksamhetsgren 2. NBC-skyddsforskning	
	Delområde 35. Miljöfrågor	
Författare/redaktör Ulf Qvarfort Annica Waleij Henrik Mikko, SGU	Projektledare Jan Sjöström	
	Godkänd av	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig	
Rapportens titel Sedimentundersökning i förtunnlarna vid Musköbasen		
Sammanfattning (högst 200 ord) Inom ramen för ett större miljöprojekt har FOI och SGU genomfört en miljöutredning vid Musköbasen avseende förorenade områden, efterbehandling och därmed sammanlänkade kostnader. Syftet med miljöutredningen var att ta fram ett preliminärt underlag avseende efterbehandlingsbehov av förorenade områden (mark, grundvatten, ytvatten och sediment) vid en eventuell del- respektive totalavveckling av verksamheten. I en översiktlig sedimentundersökning som genomfördes under maj 2000, konstaterades det att det bitvis förekom höga PCB- och metallhalter i samtliga förtunnlar. Med anledning av detta genomfördes en kompletterande sedimentundersökning under september 2001 i förtunnlarna till samtliga dockor. Resultaten av undersökningen visar att sedimenten i dockorna punktvis kan innehålla höga till mycket höga halter av tungmetaller, främst koppar och kvicksilver, PCB och organiska tennföreningar (TBT, MBT, DBT). En riskbedömning har därpå gjorts enligt den s.k. MIFO-modellen. Med ledning av funna resultat, främst de höga halterna av organiska tennföreningar, placeras de undersökta objekten (förtunnlarna till dockorna 1-3 samt Risdal) i riskklass 1, vilket innebär att sedimenten i förtunnlarna bör saneras och tas om hand. Då även höga halter av ovanstående föreningar uppmätts i golv- och väggdamm i dockorna bör en sanering av golv och väggar i de olika dockorna föregå en sanering av sedimenten i förtunnlarna. Hur detta praktiskt kan genomföras, samt ungefärliga kostnader förknippade med detta redovisas i rapporten.		
Nyckelord MIFO-modellen, PCB, organiska tennföreningar, tungmetaller		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 21 s + 1 bilaga	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista Sekretess	

Issuing organization FOI, Swedish Defence Research Agency Division of NBC Defence SE-901 82 Umeå Sweden	Report number, ISRN FOI-R--0497--SE	Report type Base Data Report
	Research area code 3. Protection against weapons of mass destruction	
	Month year Maj 2002	Project no. E4911
	Customers code 2. NBC Defence Research	
	Sub area code 35. Environmental studies	
Author/s (editor/s) Ulf Qvarfort Annica Waleij Henrik Mikko, SGU	Project manager Jan Sjöström	
	Approved by	
	Scientifically and technically responsible	
Report title (In translation) Investigation of the sediments in the foretunnels at the Muskö Naval Base		
Abstract (not more than 200 words) <p>FOI and the Swedish Geological Survey (SGU) have jointly conducted an environmental impact investigation at the Muskö Naval Base regarding contaminated sites, remediation and the economical consequences of such actions. The investigation was performed within a comprehensive environmental project aiming at assessing the need for remediation plans when it comes to contaminated sites (soil, groundwater, surface water and sediment), should the enterprise be discontinued.</p> <p>A screening survey of the sediments in the foretunnels at the Muskö Naval Base, carried out in May 2000, concluded that the sediments in part contained high levels of PCBs and heavy metals. A complementary sediment investigation was therefore conducted in September 2001.</p> <p>The results showed that the sediments are likely to contain high or very high levels of heavy metals, mainly mercury and copper, PCBs and organo tin compounds (TBT, MBT, DBT). An environmental risk assessment was then performed in accordance with the Swedish EPA method MIFO. Guided by the results, mainly the presence of high levels of pollutants such as organo tin compounds, the investigated objects (the foretunnels to the Docks 1 to 3 and Risdal) are classified as Risk Level 1, i.e. the sites require remediation and the sediments must be removed and handled elsewhere. The report also suggests how to proceed with such actions.</p>		
Keywords Environmental risk assessment, PCBs, organo tin compounds, the MIFO method		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 21 p. + 1 enclosure	
	Price acc. to pricelist Security classification	

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. BAKGRUND	5
2. METOD	5
2.1 Provtagning.....	5
2.1.1 Provtagning av sediment.....	5
2.1.2 Provtagning av damm	6
2.2 Analys	7
3. RESULTAT	7
3.1 Undersökning av sediment.....	7
3.1.1 Metaller	8
3.1.2 PCB.....	10
3.1.3 Organiska tennföreningar.....	11
3.2 Undersökning av damm	12
3.2.1 PCB.....	12
3.2.2 Organiska tennföreningar.....	14
3.3 Sammanfattning av resultat.....	15
4. FÖRORENINGSPROFILENS EGENSKAPER.....	15
4.1 PCB.....	15
4.2 Tennorganiska föreningar	16
4.3 Tungmetaller	17
5. RISKKLASSIFICERING	18
6. SANERING	19
7. REFERENSER	21

Bilaga 1 Analysresultat, rådata

1. BAKGRUND

Inom ramen för ett större miljöprojekt har FOI och SGU genomfört en miljöutredning vid Musköbasen avseende förorenade områden, efterbehandling och därmed sammanlänkade kostnader. Syftet med miljöutredningen har varit att ta fram ett preliminärt underlag avseende efterbehandlingsbehov av förorenade områden (mark, grundvatten, ytvatten och sediment) vid en eventuell del- respektive total-avveckling av verksamheten. Resultatet av utredningen utmynnade i en sammanställning av kostnader och tidsförhållanden, dels för kompletterande undersökningar och provtagningar, dels för själva genomförandet av efterbehandlingsåtgärder. Identifierade potentiellt förorenade områden på Musköbasen indelades i ett antal objekt av vilka förtunnlarna till dockorna ansågs vara i behov av en närmare undersökning.

Vid en tidigare översiktlig sedimentundersökning i förtunnlarna som genomfördes i maj 2000, konstaterades att det bitvis förekom höga PCB- och metallhalter i samtliga tunnlar. Undersökningen omfattade ett antal provtagningspunkter inom respektive objekt gällande både förtunnlarna till respektive docka samt viss provtagning av hamnbassängen (Qvarfort & Liljedahl 2000).

Med anledning av ovanstående genomfördes en kompletterande sedimentundersökning under september 2001 i förtunnlarna till samtliga dockor vid Musköbasen. I föreliggande rapport redovisas resultaten av denna undersökning.

I december 2001 genomfördes även en undersökning avseende "damm"-förekomst i samtliga dockor. Resultaten av denna undersökning avsåg svara på frågeställningar som berör ursprunget till de halter av PCB och organiska tennföreningar som uppmätts i sedimenten i dockornas förtunnlar.

2. METOD

2.1 Provtagning

2.1.1 Provtagning av sediment

Provtagning av sediment genomfördes med hjälp av dykare från Marinens Dykskola, Berga. Generellt togs prov på var 10:e – 20:e meter i respektive förtunnel till dockorna. Dessutom togs prov utanför varje docka i bergbranten. I viken utanför Risdalsslipen, som även representerar avrinningsområdet från bergdeponin, togs sedimentprover med hjälp av en bottenhuggare. Provpunkternas läge i respektive docka framgår av tabell 2.1.

Generellt omfattas proven av ytliga skikt av sediment (0-3 cm). Vid provtagningen gjordes också en uppskattning av sedimentmättigheten i samtliga provtagnings-

punkter. Dessa resultat har sedan legat till grund för en uppskattning av sedimentmaktigheterna.

Proverna förpackades i glasburkar för analys av PCB och organiska tennföreningar samt i plastburkar för analys av tungmetaller. Provburkarna förpackades individuellt i dubbla plastpåsar och skickades därefter för analys.

Tabell 2.1 Provtagningspunkternas läge i respektive förtunnel. Måtten anges i meter och räknas från tunnelns inre del. För provpunkt 6 (docka 1-3) alt. provpunkt 8 (Risdal) avses avståndet från tunnelns avslut ut till provtagningsplatsen.

Docka Nr	Vattendjup	Provpunkt 1	Provpunkt 3	Provpunkt 4	Provpunkt 5	Provpunkt 6	Provpunkt 7	Provpunkt 8
Docka 1	9,6	13	53	66	86	10-20*	-	-
Docka 2	7	13	45	70	90	10-20*	-	-
Docka 3	7	8	31	55	78	10-20*	-	-
Risdal	10-17	20	60	85	105	130	155	10-20*

* = Prov nr 6 från dockorna 1-3 avser prov från bergsbranten utanför förtunnlarna. Motsvarande prov från Risdal är prov 8. Två prov är även tagna i viken utanför dockan, prov nr V:1 och V:2.

Med ledning av uppgifter från Musköbasen samt de resultat som framkom vid dykningarna har också totala sedimentmaktigheter i respektive förtunnel uppskattats. Uppgifterna om längd/bredd/djup har erhållits från Magnus Harryson, Muskö Örlogsvarv och sedimentmaktigheten baseras på uppgifter från dykarna. Resultatet framgår av tabell 2.2

Tabell 2.2 Storlek på respektive förtunnel, sedimentdjup samt beräknad sedimentvolym.

Docka Nr	Längd (m)	Bredd (m)	Sedimentdjup (cm)	Sedimentvolym (m ³)
1	100	16,5	5-25	240
2	100	16,5	10-20	314
3	90	8,5	5-10	52
Risdal	175-200	10,5-18*	2-15 **	593
Totalt				ca 1200 m ³

* 10,5 meter bred vid den yttre delen, 18 meter vid den inre.

** 30-50 cm djup vid enstaka punkter

2.1.2 Provtagning av damm

Provtagning av damm utfördes genom att damm insamlades dels från de övre delarna av dockorna (i regel från ventilationstrummor), dels från dockornas botten (golvet), se figur 1. Det insamlade materialet innefattade samlingsprov från ca 10–15 olika punkter från respektive avsnitt.

Proverna förpackades i glasburkar för analys av PCB och organiska tennföreningar. Provburkarna förpackades individuellt i plastpåsar och skickades därefter för analys.



Figur 1. Interiör av docka 3

2.2 Analys

Analyser av metaller, PCB och organiska tennföreningar har utförts av SGAB Analytica i Luleå/Täby. Bestämningarna har skett med konventionell metodik för metaller (ICP-MS, ICP-AES), PCB (GC-ECD) och tennorganiska föreningar (GC-AED).

3. RESULTAT

3.1 Undersökning av sediment

Resultatet av undersökningen av sediment har sammanfattats i tabellerna 3.1.2-3.1.5 samt 3.1.7-3.1.11. Insamlade sediment har analyserats med avseende på metaller, PCB och organiska tennföreningar. Uppmätta halter i sedimenten har därefter jämförts med Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för miljö kvalitet, kust och hav (Naturvårdsverket 1999 a). Värdena framgår av tabell 3.1.1 och 3.1.6. Svenska bedömningsgrunder för organiska tennföreningar i sediment har inte utarbetats i samma utsträckning som för många andra miljöförorenade ämnen. För organiska tennföreningar har jämförelser gjorts mot OSPARs effektgräns för TBT (OSPAR 2000).

3.1.1 Metaller

Resultaten från analys av metaller i sediment i de olika förtunnlarna (dockorna) redovisas i tabellerna 3.1.2-3.1.5.

Blå markering är de värden som överstiger jämförelsevärdena i tabellen. **Röd markering** är de halter som överstiger jämförelsevärdena med 100 ggr. Halter i kolumnen Svensk standard har använts eftersom analyserna har skett enligt denna metodik. Jämförelsevärden för mangan (Mn) och vanadin (V) saknas.

Tabell 3.1.1 Jämförelsevärden (mg/kg torrsubstans) för metaller i sediment (Naturvårdsverket 1999 a).

Benämning	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Svensk standard	10	0,2	12	40	15	0,04	30	25	85
Totalanalys	10	0,2	14	80	15	0,04	33	31	85

Tabell 3.1.2 Resultat från metallanalyser i sediment i docka 1 (mg/kg torrsubstans, TS).

PROV-PUNKT	TS %	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Docka 1:1	62	62,7	1,46	49,1	193	1520	8,61	529	559	434	46,3	2790
Docka 1:3	19,8	14,1	0,98	15	100	1900	2,38	351	114	213	53,3	1270
Docka 1:4	17,6	13,2	1,15	17,8	69,5	735	2,07	462	57,6	147	59,4	1060
Docka 1:5	21,2	8,08	0,634	15,1	61	662	3,09	392	51,9	69,9	56,9	464
Docka 1:6	8,7	11,9	1,09	16,2	58,1	85,2	0,648	514	38,9	66,8	65,4	386

Av resultaten framgår att huvuddelen av metallerna förekommer i förhöjda halter i sedimenten. Koppar och kvicksilver kan punktvis förekomma i mycket höga halter.

Tabell 3.1.3 Resultat från metallanalyser i sediment i docka 2 (mg/kg torrsubstans, TS).

PROV-PUNKT	TS %	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Docka 2:1	19,3	14,3	1,18	18,5	74,5	837	2,96	356	122	115	54,3	824
Docka 2:3	37,4	8,72	0,627	15,5	64,7	412	1,81	376	47,7	79,3	62,7	485
Docka 2:4	36,2	9,6	0,826	14	64,5	349	1,55	371	42	96,3	58,9	467
Docka 2:5	22,5	7,14	0,567	14,2	61,9	251	0,415	376	40,6	61	63,1	355
Docka 2:6	4,9	6,33	0,453	16,1	50,7	54,9	0,0913	481	33,2	37,6	57,9	185

Halterna av metaller i sedimenten från docka 2 uppvisar ungefär samma mönster som i docka 1, d.v.s. generellt förhöjda metallhalter. Även i denna docka uppvisar koppar och kvicksilver bitvis höga halter.

Tabell 3.1.4 Resultat från metallanalyser i sediment i docka 3 (mg/kg torrsbstans, TS).

PROV-PUNKT	TS %	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Docka 3:1	22,6	13,5	0,924	34,9	143	2140	3,01	578	43,3	175	50,1	1950
Docka 3:3	21,1	5,33	0,392	15,5	60	739	0,718	449	30,5	46,6	58,2	486
Docka 3:4	27,9	4,25	0,437	12	47,6	433	0,514	356	25,6	33,2	44,9	307
Docka 3:5	37,9	4,32	0,353	11,5	43	348	0,699	382	23,4	34,5	36,8	499
Docka 3:6	27,4	3,5	0,446	11,2	40,8	45	0,101	268	25,4	17,6	48,1	157

Metallhalten i sedimenten från docka 3 följer samma trend som de i dockorna 1 och 2 med förhöjda metallhalter, där koppar och kvicksilver visar de punktvis högsta halterna.

Tabell 3.1.5 Resultat från metallanalyser i sediment i Risdalslipen (mg/kg torrsbstans, TS).

PROV-PUNKT	TS %	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Risdal R:1	13,8	20,6	1,22	21,5	195	6740	1,66	630	92,7	244	67,5	2900
Risdal R:3	21,3	28,5	7,08	26,6	186	4280	9,78	699	80,6	301	58,6	4570
Risdal R:4	16,6	13,2	0,58	16,9	153	5380	1,03	512	51,2	116	69,1	1740
Risdal R:5	18,1	9,12	0,332	13,6	72,5	1080	0,938	675	30,6	61,5	60,8	996
Risdal R:6	25,4	7,96	0,803	10,8	38,5	282	2,07	505	21,7	50,2	59,8	556
Risdal R:7	46,2	10,3	1,37	8,16	31,7	433	5,65	356	19,9	76,6	35,3	524
Risdalsviken V:1	30,9	6,36	0,349	12,9	55	59	0,309	336	31	32,2	56,6	158
Risdalsviken V:2	51,9	3,02	0,219	6,03	28,7	15,4	<0,04	159	13,4	11,6	31,8	67,7

Av de undersökta dockorna uppvisar sedimenten i Risdal de högsta halterna med koppar och kvicksilver som dominerande element.

3.1.2 PCB

Resultaten från analys av metaller i sedimenten från de olika förtunnlarna (dockorna) redovisas i tabellerna 3.1.7-3.1.10.

I nedanstående tabeller har de halter överstigande tillståndsklass *Mycket hög halt* getts en **röd markering**. De olika tillståndsklasserna framgår av tabell 3.1.6 nedan.

Tabell 3.1.6 Indelning av tillstånd för PCB i sediment längs Sveriges kust ($\mu\text{g}/\text{kg}$ torrsustans) baserat på riktvärden för förorenad mark (Naturvårdsverket 1999a). Organiskt kol ca 1 %.

Bedömning	PCB 101	PCB 118	PCB 138	PCB 153	PCB 180	PCB 28	PCB 52	Summa PCB
Låg halt	0-0,16	0-0,15	0-0,3	0-0,03	0-0,1	0-0,06	0-0,06	0-1,3
Medelhög halt	0,16-0,6	0,15-0,6	0,3-1,2	0,03-0,3	0,1-0,4	0,06-0,2	0,06-0,2	1,3-4
Hög halt	0,6-2	0,6-2	1,2-4,1	0,3-3,5	0,4-1,9	0,2-0,6	0,2-0,8	4-15
Mycket hög halt	>2	>2	>4,1	>3,5	>1,9	>0,6	>0,8	>15

Tabell 3.1.7 Resultat från analyser av PCB i sediment från docka 1 (mg/kg torrsustans, TS).

PROV-PUNKT	TS %	PCB 101	PCB 118	PCB 138	PCB 153	PCB 180	PCB 28	PCB 52	Summa PCB
Docka 1:1	76	0,2	0,13	0,39	0,15	0,29	0,0034	0,051	1,2
Docka 1:3	23	0,25	0,15	0,31	0,083	0,14	0,0063	0,073	1
Docka 1:4	18	<0,0030	<0,0030	0,027	0,016	<0,0030	<0,0030	<0,0030	0,043
Docka 1:5	35	0,031	0,017	0,032	0,037	0,026	<0,0030	0,011	0,15
Docka 1:6	27	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,011

Resultaten från docka 1 visar att samtliga punkter i förtunneln innehåller totalhalter som övertiger NVs tillståndsklass *Mycket hög halt*. Utanför förtunneln (i branten) påträffades inga förhöjda PCB-halter.

Tabell 3.1.8 Resultat från analyser av PCB i sediment från docka 2 (mg/kg torrsustans, TS).

PROV-PUNKT	TS %	PCB 101	PCB 118	PCB 138	PCB 153	PCB 180	PCB 28	PCB 52	Summa PCB
Docka 2:1	19	0,084	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	0,084
Docka 2:3	34	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,011
Docka 2:4	39	0,023	<0,0030	0,0076	0,019	<0,0030	<0,0030	<0,0030	0,05
Docka 2:5	21	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,011
Docka 2:6	21	0,081	0,025	0,13	0,036	0,091	0,33	0,11	0,8

Sedimentanalyserna från docka 2 innehåller sediment med punktvis förhöjda PCB-halter. I branten utanför dockan är halterna högst.

Tabell 3.1.9 Resultat från analyser av PCB i sediment från docka 3 (mg/kg torrsubstans, TS).

PROV-PUNKT	TS %	PCB 101	PCB 118	PCB 138	PCB 153	PCB 180	PCB 28	PCB 52	Summa PCB
Docka 3:1	21	2,2	1	2,2	3,1	2,9	<0,0030	0,41	12
Docka 3:3	28	0,14	0,093	0,12	0,17	0,089	<0,0030	0,044	0,66
Docka 3:4	30	1,3	18	0,36	0,48	<0,0030	<0,0030	0,45	21
Docka 3:5	68	0,17	0,1	0,084	0,14	0,074	<0,0030	0,015	0,58
Docka 3:6	46	0,0086	0,0038	0,0061	0,011	0,012	<0,0030	<0,0030	0,042

Av de undersökta sedimenten innehåller docka 3 de absolut högsta PCB-halterna. Även i branten utanför förtunneln är halterna förhöjda.

Tabell 3.1.10 Resultat från analyser av PCB i sediment från Risdalslipen (mg/kg torrsubstans, TS).

PROV-PUNKT	TS %	PCB 101	PCB 118	PCB 138	PCB 153	PCB 180	PCB 28	PCB 52	Summa PCB
Risdal R:1	18	0,46	0,22	0,38	0,49	0,22	<0,0030	0,1	1,9
Risdal R:3	26	1,7	1,3	0,98	1,1	0,33	<0,0030	<0,0030	5,4
Risdal R:4	17	0,093	<0,0030	0,051	0,11	0,098	<0,0030	0,054	0,41
Risdal R:5	17	0,22	0,13	0,1	0,2	0,049	<0,0030	0,057	0,76
Risdal R:6	33	0,74	0,5	0,28	0,28	0,066	<0,0030	0,14	2
Risdal R:7	50	0,25	0,12	0,079	0,15	0,073	<0,0030	0,078	0,75
Risdal R:8	54	0,027	0,013	0,016	0,024	0,0099	<0,0030	0,0054	0,095
Risdalsviken V:1	32	0,013	0,011	0,014	0,016	0,0091	<0,0030	<0,0030	0,063
Risdalsviken V:2	60	0,013	0,011	0,01	0,017	0,011	<0,0030	<0,0030	0,062

Resultaten från Risdal visar förhöjda till mycket höga PCB-halter. Även i viken utanför Risdal förekommer förhöjda halter.

3.1.3 Organiska tennföreningar

Resultaten från analys av tennorganiska föreningar i sediment från de olika förtunnlarna (dockorna) redovisas i tabell 3.1.11.

Röd markering visar de värden för tributyltenn (TBT) som överstiger OSPARs effektgräns (prel) på 0,00002 mg/kg (d.v.s. 0,02 µg/kg). Effektgränsen anger de koncentrationer i sediment vid eller över vilken biologiska effekter kan förväntas på känsligaste art. I värdet är en säkerhetsfaktor inkluderad. För övriga tennorganiska föreningar saknas jämförelsevärden.

För att få en bild av den totala belastningen av butyltenn bör emellertid halterna av TBT-metaboliterna dibutyltenn (DBT) och monobutyltenn (MBT) adderas till TBT-halten. Halterna DBT och MBT är därför markerade med blå färg i tabellen.

Tabell 3.1.11 Resultat från analyser av organiskt tenn i sediment från dockorna 1, 2, 3, Risdalslipen samt Risdalsviken. Halterna anges i µg/kg torrsubstans, TS.

PROVPUNKT	TS %	Dibutyltenn	Difenyltenn	Dioktyltenn	Monobutyltenn	Monofenyltenn
Docka 1 1:2	21,8	4260	<1	<1	1200	<1
Docka 2 2:2	21,6	2740	<1	<1	1200	<1
Docka 3 3:2	52	2290	34,6	24,6	1200	<1
Risdalslipen R:2	14,7	22900	304	<1	4850	145
Risdalsviken V1+ V2*	50,8	133	<1	<1	46,7	<1
PROVPUNKT	TS %	Monooktyltenn	Tetrabutyltenn	Tributyltenn	Tricyklohexyltenn	Trifenyltenn
Docka 1 1:2	21,8	<1	503	18500	<1	<1
Docka 2 2:2	21,6	<1	178	9940	<1	<1
Docka 3 3:2	52	36,8	62,5	4200	<1	6,5
Risdalslipen R:2	14,7	<1	691	54800	<1	389
Risdalsviken V1+ V2*	50,8	<1	<1	229	<1	14,3

* = Samlingsprov av provpunkterna V1 och V2.

Resultatet av de genomförda analyserna av organiskt tenn visar på extremt höga halter av främst tributyltenn (TBT) och dess metaboliter monobutyltenn (MBT) och dibutyltenn (DBT) i samtliga dockor. Även i Risdalsviken kan påverkan av organiskt tenn konstateras.

3.2 Undersökning av damm

3.2.1 PCB

Resultaten från analyserna av PCB i dammet från de olika dockorna redovisas i tabellerna 3.2.1-3.2.4. Proverna är benämnda vägg respektive golv. De förra avser det material som förekom på ventilationstrummor m.m. inom dockornas övre delar, de senare det material som insamlats från dockornas botten (golv).

Eftersom det inte finns några direkta riktvärden för PCB i damm har funna halter jämförts med de som förekommer i sediment (Naturvårdsverket 1999), se tabell 3.1.6.

Tabell 3.2.1 Resultat från PCB-analyser av damm (mg/kg TS) från docka 1. Mycket hög halt har markerats med rött.

PROVPUNKT	TS %	PCB 101	PCB 118	PCB 138	PCB 153	PCB 180	PCB 28	PCB 52	Summa PCB
Docka 1 Golv	99	0,089	0,063	0,14	0,096	0,053	<0,0030	0,030	0,47
Docka 1 Vägg	98	0,44	0,36	0,88	0,62	0,24	0,011	0,18	2,7

Tabell 3.2.2 Resultat från PCB-analyser av damm (mg/kg TS) från docka 2. Mycket hög halt har markerats med rött.

PROVPUNKT	TS %	PCB 101	PCB 118	PCB 138	PCB 153	PCB 180	PCB 28	PCB 52	Summa PCB
Docka 2 Golv	93	0,049	0,048	0,069	0,048	0,0043	0,065	0,046	0,33
Docka 2 Vägg	98	0,22	0,19	0,70	0,56	0,34	0,017	0,047	8,4

Tabell 3.2.3 Resultat från PCB-analyser av damm (mg/kg TS) från docka 3. Mycket hög halt har markerats med rött.

PROVPUNKT	TS %	PCB 101	PCB 118	PCB 138	PCB 153	PCB 180	PCB 28	PCB 52	Summa PCB
Docka 3 Golv	97	5,7	3,1	10	7,3	3,5	<0,30	1,7	31
Docka 3 Vägg	99	0,047	0,044	0,10	0,065	0,036	<0,0030	0,013	0,31

Tabell 3.2.4 Resultat från PCB-analyser av damm (mg/kg TS) från Risdalslipen. Mycket hög halt har markerats med rött.

PROVPUNKT	TS %	PCB 101	PCB 118	PCB 138	PCB 153	PCB 180	PCB 28	PCB 52	Summa PCB
Risdal Golv	99	0,23	0,14	0,20	0,19	0,12	0,0046	0,067	0,95
Risdal Vägg	99	0,38	0,43	0,79	0,56	0,22	0,0084	0,089	2,5

Av resultaten framgår att flertalet av dammproverna från dockorna innehåller halter över intervallet "Mycket hög". Resultaten visar på relativt höga PCB-halter både i dammet från väggar och golv. En viss tendens finns att dammet från väggar (ventilationstrummor m.m.) håller en högre PCB-halt än motsvarande damm från golven. Ett undantag utgörs av docka 3 som innehåller mycket höga PCB-halter i golvdammet.

För att möjliggöra en viss jämförelse redovisas i tabell 3.2.5 funna PCB-halter i sedimenten från förtunnarna till de olika dockorna. Dessa är baserade på medelhalten från 4-5 punkter från respektive förtunnel.

Tabell 3.2.5 Resultat av PCB i damm respektive sediment (mg/kg TS) i de olika Dockorna.

Provpunkt	Summa PCB Docka 1	Summa PCB Docka 2	Summa PCB Docka 3	Summa PCB Risdaalslipen
Golv	0,47	0,33	31	0,95
Vägg	2,7	8,4	0,31	2,5
Medelvärde golv/vägg	1,59	4,37	15,66	1,72
Sediment	0,59	0,04	8,56	2,09

3.2.2 Organiska tennföreningar

Resultaten från analyserna av organiska tennföreningar i dammet från de olika dockorna redovisas i tabell 3.2.6. Samma jämförelsevärden som för sediment har använts. **Röd markering** i tabellen visar de värden för tribytyltenn (TBT) som överstiger OSPARs effektgräns (prel) på 20 ng/kg (d.v.s. 0,02 µg/kg). För att få en bild av den totala belastningen av butyltenn bör emellertid halterna av TBT-metaboliterna dibutyltenn (DBT) och monobutyltenn (MBT) adderas till TBT-halten. Halterna DBT och MBT är därför markerade med **blå färg** i tabellen.

Tabell 3.2.6 Resultat från analys av organiska tennföreningar i damm från de olika dockorna. Halterna är angivna i µg/kg TS. I tabellen redovisas även resultatet från dammanalyserna.

PROVPUNKT	TS %	Dibutyl- tenn	Difenyl- tenn	Dioktyl- tenn	Monobutyl- tenn	Monfenyl- tenn
Docka 1 Golv	99,1	598	218	4	614	12,9
Docka 1 Vägg	98,2	2840	23,3	<1	2180	<1
Docka 2 Golv	92,5	16000	1320	<1	7590	<1
Docka 2 Vägg	98,4	2840	<1	39,5	3020	39,5
Docka 3 Golv	95,5	5310	383	<1	2590	6,4
Docka 3 Vägg	99,1	220	8,1	<1	498	<1
Risdal Golv	99,3	2200	47,6	<1	1980	<1
Risdal Vägg	97,3	5690	84,9	<1	4020	24,4
PROVPUNKT	TS %	Monoktyl- tenn	Tetrabutyl- tenn	Tributyl- tenn	Tricyklohexyl- tenn	Trifenyl- tenn
Docka 1 Golv	99,1	<1	27900	3130	<1	<1
Docka 1 Vägg	98,2	12,9	<1	1230	<1	<1
Docka 2 Golv	92,5	<1	979000	102000	<1	<1
Docka 2 Vägg	98,4	<1	2060	2400	<1	<1
Docka 3 Golv	95,5	<1	208000	13000	<1	<1
Docka 3 Vägg	99,1	<1	990	107	<1	<1
Risdal Golv	99,3	220	27200	2390	<1	<1
Risdal Vägg	97,3	<1	14000	1270	<1	193

Resultaten av de genomförda analyserna med avseende på organiskt tenn visar på extremt höga halter av TBT, DBT och MBT i dockornas golv- respektive väggdamm. Resultaten visar även på kraftigt förhöjda halter av tetrabutyltenn.

3.3 Sammanfattning av resultat

Resultaten av undersökningen visar att sedimenten i dockorna punktvis kan innehålla höga till mycket höga halter av metaller. Av de undersökta metallerna är det främst koppar och kvicksilver som uppvisar höga halter. Förtunneln till dockan i Risdal visar de högsta halterna medan docka 2 visar en mer måttlig belastning. Beträffande PCB så är bilden likartad. Samtliga dockor innehåller förhöjda PCB-halter. Liknande resultat gäller för organiska tennföreningar (TBT, MBT, DBT). I detta fall är dock samtliga halter mycket höga.

För att få en uppfattning om den totala belastningen av PCB och TBT har ett försök gjorts att beräkna sedimentens totala innehåll av dessa element i respektive docka. Även om beräkningen är grundad på ett osäkert underlag ger resultaten en grov uppfattning om den totala mängden PCB och TBT i respektive dockas förtunnel. Resultaten har sammanfattats i tabell 3.3.1.

Tabell 3.3.1 Beräknad ungefärlig mängd PCB och TBT i respektive docka.

PROVPUNKT	Sediment-volym (m ³)	Mängd PCB (g)	Mängd TBT (g)
Docka 1	240	54	1665
Docka 2	314	4	1043
Docka 3	52	94	46
Risdalslipen	593	264	9042
Totalt	1200	420	11 800

Analyserna av dammproverna bekräftar analysresultaten av PCB och organiska tennföreningar i sedimentet. Med hänsyn till detta bör man överväga möjligheten av en sanering av dockornas väggar och golv innan sedimenten saneras.

4. FÖRORENINGSPROFILENS EGENSKAPER

4.1 PCB

Polyklorerade bifenylter, PCB, är en grupp av 209 ämnen (kongener) som klassificeras beroende på deras kloreringsgrad och kloratomernas placering i molekylen. PCB har framställts i industriell skala sedan 1929 först och främst för användning i elektriska material såsom kondensatorer och transformatorer, p.g.a. deras utmärkta isoleringsförmåga och tålighet mot höga temperaturer. PCB har även använts i värmeväxlare, i hydraulolja eller som ingrediens i färger, limmer och PVC-plaster.

Många PCB-kongener har påträffats i naturmiljön och vi vet numera att de har vitt skilda verkningar på levande organismer. Åtskilliga skadeverkningar orsakas av ett begränsat antal kongener som utgör en liten del av den totala PCB-mängden men som är giftiga redan vid mycket låga halter.

PCB hann spridas i naturmiljön i decennier innan dess skadeverkningar uppmärksammades. I början på 1960-talet upptäcktes t.ex. svårförklarliga skador på östersjösälars fortplantningsförmåga, som sedan kunde kopplas till höga PCB-halter i sälvävnad.

Under 1972 förbjöds användningen av PCB i Sverige i alla produkter såsom färger, plaster och fogmassa. Under 1978 stoppades även import av PCB-innehållande varor som kondensatorer och transformatorer. Trots detta har det p.g.a. PCB-föreningarnas persistens i miljön dröjt ytterligare en tid innan åtgärderna mot spridningen har fått en sådan inverkan på PCB-halterna i naturen att miljögiftsdrabbade arter såsom sälar kunnat börja återhämta sig (Bernes 1998) .

4.2 Tennorganiska föreningar

Tenn är en fyrvärd metall som kan binda organiska byggstenar till sig. Tennorganiska föreningar kan därför karakteriseras efter karaktären på den organiska delen, t.ex. butyltenn- och fenyltennföreningar. Många av föreningarna har biocid verkan och har därför använts t.ex. i antifoulingprodukter, som additiv i plaster och för träskyddsbehandling. De negativa effekterna av dessa ämnen upptäcktes för första gången på 1960-talet i och med dess användning i färg till båtskrov, där tennorganiska ämnen tillsätts för att förhindra algpåväxt. Inom EU är ämnen innehållande tennorganiska föreningar idag förbjudna för användning på båtar med skrov under 25 meter. FNs sjöfartsinspektion, IMO, vill införa ett globalt förbud mot TBT-färger från 1 januari 2003 (Waleij 2002).

Den mest använda tennorganiska föreningen är tributyltennoxid (TBTO). I vattenmiljö hydrolyseras den till tributyltennjoner (TBT) som i sin tur metaboliseras vidare till dibutyltenn- och monobutyltennjoner samt slutligen till oorganiskt tenn. Även metylerade former av TBT har påträffats.

De organiska tennföreningarnas relativt höga lipofilitet gör att de till stor del adsorberas till partiklar i akvatiska miljöer. Halveringstiden för organiska tennföreningar i vatten varierar från några dagar upp till veckor medan de kan existera under många år i sediment. Vid studier av fördelningen mellan sediment och vattenpelare har det konstaterats att sediment är en sänka för TBT i hamnar och marinor och återfinns därför i höga halter (Janson 2000).

Tributyltennoxid, TBTO, är mycket bioackumulerande och extremt giftig för fisk och blötdjur. Ämnet orsakar könsbyte hos snäckor redan i halter av 1 ng/l. Vid 20-30 ng är TBTO giftigt för musslor och fisk (Kemikalieinspektionen 1996).

The Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic, OSPAR, har satt upp något som man kallar för "Ecotoxicological Assessment Criteria" (EAC) som skall indikera maximal säkerhetsnivå av en förening i miljön. För TBT-föreningar i sediment varierar detta värde mellan 5-50 ng/g torrviikt beroende på en mängd faktorer. Effektgränsen anger de koncentrationer i sediment vid eller över vilken biologiska effekter kan förväntas på känsligaste art (OSPAR 2000). För TBT-föreningar i vatten är dessa värden 0,01-0,1 ng/l. I värdena är en säkerhetsfaktor inkluderad. Det bör noteras att användbarheten av EAC som jämförelsevärde är begränsad då inte alla aspekter på risker kan vägas in i ett sådant värde. För övriga tennorganiska föreningar i sediment saknas jämförelsevärden.

Resultat från några undersökningar angående butyltennföreningar i Östersjön redovisas i tabell 4.2.1.

Tabell 4.2.1 Jämförelse mellan TBT-, DBT-, och MBT-halter i vatten och sediment från Östersjön.

Matris/enhet	TBT	DBT	MBT
Vatten (ng/l) (Kalbfus et.al. 1996)	<10-210	<10-72 ng/l	<10-65
Sediment (ng/g TS) (Kalbfus et.al. 1996)	<10-84000	<10-44500	<10-53000
Bakgrundsvärden sediment (ng/g TS) (SINTEF 1996)	<5	<4	<15

4.3 Tungmetaller

Till tungmetallerna brukar man räkna de metaller vars densitet överstiger 5 g per kubikcentimeter. Ett stort antal grundämnen hör till den gruppen, men i miljösammanhang figurerar i första hand de ämnen som nämns nedan. Övriga tungmetaller uppträder bara undantagsvis i så höga halter att de får skadliga effekter. Arsenik brukar räknas till de miljöfarliga tungmetallerna trots att den egentligen är en halvmetall.

Arsenik (As)
Bly (Pb)
Kadmium (Cd)
Kobolt (Co)

Kvicksilver (Hg)
Nickel (Ni)
Tenn (Sn)
Vanadin (V)

Krom (Cr)
Koppar (Cu)
Zink (Zn)

5. RISKKLASSIFICERING

Den modell för undersökning av förorenade områden som normalt används är Metodik för inventering av förorenade områden, MIFO, som utvecklats i Sverige efter internationella principer och riktlinjer (Naturvårdsverket 1999 b). I MIFO-modellen har en metodik utvecklats för att möjliggöra en systematisering av metoder för översiktliga undersökningar av förorenade mark- och vattenområden. Modellens syfte är att med anvisade metoder och standarder ge ett likformigt underlag för beslut om riskklassificering av förorenade områden.

Syftet med riskklassificering är att gruppera in undersökningsobjektet i fyra klasser utifrån kort- och långsiktiga risker utgående från dagens situation i hela påverkansområdet. En riskbedömning innehåller dels en bedömning av vilka situationer som kan (skulle kunna) inträffa, dels en bedömning av sannolikheten för att detta ska ske. Riskklassificeringen kommer sedan att ligga till grund för prioriteringar och beslut om vidare undersökningar, saneringar eller andra åtgärder.

Klass 1: Mycket stora risker

Klass 2: Måttligt/stor risk

Klass 3: Liten risk

Klass 4: Mycket liten risk

Klassificeringssystemet bygger på en sammanvägd bedömning om:

Hanterade kemikaliernas farlighet

Föroreningsnivå

Spridningsförutsättningar

Känslighet i påverkansområdet

Vid riskklassificeringen gäller följande förutsättningar:

- Bedömningen grundas på dagens generella kunskaper om verksamheten och kända fakta om objektet.
- Bedömningen utgår från dagens situation, bland annat vad gäller framtida markanvändning.
- Både kort- och långsiktiga risker tas med i bedömningen.

Med ledning av funna resultat placeras de undersökta objekten (förtunnlarna till dockorna 1-3 samt Risdalslipen) i riskklass 1 beroende på sina punktvis höga innehåll av tungmetaller, främst koppar och kvicksilver samt av PCB, TBT och dess metaboliter DBT och MBT. Även om det förekommer vissa skillnader i halter och elementfördelningar mellan de olika förtunnlarna är det höga eller mycket höga innehållet av TBT, DBT och MBT i samtliga förtunnlarna i sig ett motiv för en hög riskklass. Farvatten och sediment utanför dockorna kommer att undersökas i en större utredning och kommenteras därför inte vidare här.

6. SANERING

Med hänsyn till de punktvis höga halterna av PCB och TBT bör sedimenten i förtunnlarna saneras och tas om hand. Nedan ges en ungefärlig kostnad för detta. Vid de tidigare översiktliga undersökningarna befanns sedimenten från docka 3 och Risdal innehålla så pass höga PCB-halter att en sanering ansågs motiverad. Med ledning av den nu genomförda undersökningen är det troligt att samtliga sediment är i behov av sanering främst med hänsyn till de höga halterna av TBT. Påpekas bör att sedimentmaktigheterna grundas på punktvisa uppgifter. Detta innebär att den "faktiska" sedimentmaktigheten kan vara både större och mindre. Uppgifterna avseende dockornas storlek och sedimentmaktighet baseras dels på uppgifter från Marinbasen, dels på de uppgifter som framkom vid fältundersökningarna med hjälp av dykare.

Docka 1, förtunnel

Ca 100 m lång, 16.5 meter bred. Sedimentdjup varierar mellan 5-25 cm.

Uppskattad sedimentvolym: 240 m³

Docka 2, förtunnel

Ca 90, ev 100 meter lång, 16,5 meter bred. Sedimentdjup varierar mellan 10-20

cm. Uppskattad sedimentvolym: 314 m³

Docka 3, förtunnel

ca 90 meter lång, 8,5 meter bred. Sedimentdjup varierar mellan 5-10 cm.

Uppskattad sedimentvolym: 52 m³

Risdalslipen, förtunnel

Ca 175-220 meter lång, 18 meter bred vid de inre väggarna, 10,5 meter bred vid de yttre. Sedimentdjup varierar mellan 2-15 cm och på något ställe 30-50 cm.

Uppskattad sedimentvolym: 592 m³.

TOTAL UPPSKATTAD VOLYM SEDIMENT = 1198 m³ avrundas till 1200 m³.

Sedimenten har antagits ha en torrsustanshalt på 30 % och en densitet på 1,2 ton/m³.

Kostnaderna som har använts vid beräkningarna är baserade på uppgifter från SAKAB AB, Miljöbolaget, GVT Falun samt Johan Heldén AB.

Uppgrävning av sediment: 150 kr/m³

Avvattning av sediment: 180 kr/m³

Behandling av vattenfasen: 100 kr/m³ (filtrering)

Transport till SAKAB: 400 kr/ton

Mottagning SAKAB alt Miljöbolaget: 1500 kr/ton avvattnat sediment.

Deponikostnad vid egen deponi: 500 kr/ton.

Tabell 6.1 Uppskattade saneringskostnader (kronor) för sanering av samtliga sediment.

Mängd (m ³)	Mängd (ton)	Grävning	Kostnad avvattning	Vatten behandling	Transport	Deponi SAKAB	Ungefärlig Summa
1200	600	180 000	108 000	60 000	240 000	900 000	1 500 000

Till ovan angivna kostnader tillkommer den kostnad som är förknippad med tömning av förtunnlarna samt kostnader för upphandling, projektering m.m. Vid etablering av ett sugmudderverk tillkommer en kostnad på ca 500 000 kr.

Slutsatsen att en sanering av golv och väggar i de olika dockorna bör föregå en sanering av sedimenten i förtunnlarna kvarstår. Utan att ta bort den huvudsakliga källan till kommer sedimenten även efter en sanering att på sikt åter igen innehålla höga halter av PCB och organiska tennföreningar. Speciellt viktigt torde en sanering av golven vara. Kostnader för denna sanering redovisas inte här.

Ett alternativ till det ovanstående beskrivna kan vara att ansöka om anläggande av en egen deponi för sedimenten som lokaliseras inom basen. Kostnaderna för denna deponi har överslagsmässigt beräknats till ca 500 kr/ton för en "torr" deponi. Detta innebär i princip att deponikostnaderna (SAKAB) samt transportkostnaderna blir mindre medan all förbehandling kvarstår. Med hänsyn till detta är det tveksamt om en egen deponi är att föredra eftersom en relativt långvarig kontroll och tillsyn tillkommer.

7. REFERENSER

Bernes C. (1998) *"Organiska miljögifter - ett svenskt perspektiv på ett internationellt problem"* Monitor 16, Naturvårdsverkets förlag

Jansson B. (2000) *"Tennorganiska föreningar i svensk miljö - behöver vi ytterligare kunskaper"* Second draft, Institutet för tillämpad miljöforskning, Stockholms Universitet

Kalbfus W., Zellner A., Freys S., Knorr Th. (1996) *"Analysis of butyltin species in water, sediment and environmental matrices"* Rapport no. UBA-FB

Kemikalieinspektionen (1996) *"Båtbottenfärg mot påväxt"* Råd och tips för tillsyn av kemikaliehanteringen

Naturvårdsverket (1999 a) *"Bedömningsgrunder för miljö kvalitet - kust och hav"* Naturvårdsverket Rapport 4914

Naturvårdsverket (1999 b) *"Metodik för inventering av förorenade områden"* Naturvårdsverket Rapport 4918

OSPAR (2000) *"Quality Status Report 2000"*

SINTEF (1996) *"Baltic Sediment Baseline Study"*

Qvarfort U. & Liljedahl B. (2000) *"Muskö Örlogshamn - Sedimentundersökning"* FOI och SGU

Waleij A., (2002) *"Organiska tennföreningar i miljön - en översikt"* FOI Memo 02-1236