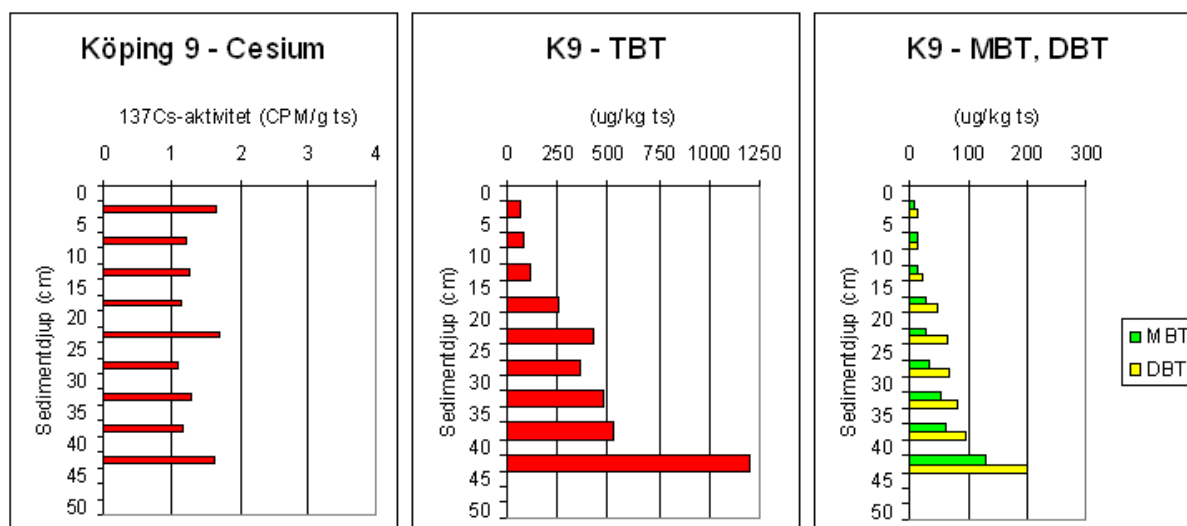




## Sonarkartering och sedimentprovtagning i Köpings hamn och på fjärden Galten



### Mottagare:

Tage Hansson  
Köpings Kommun  
Tekniska kontoret  
731 85 Köping

Sollenkroka den 3 mars 2013

JP Sedimentkonsult Rapport 2013:3

### Adress

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

### Telefon

08-57163744  
070-5208057

### Postgiro

219638-4

### Bankgiro

5943-4704

### Org.nr

969720-0815

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	3	
1	UPPDRAG OCH SYFTE	5
	Beställare	5
	Syfte	5
	Arbetsmoment	5
1.1	Uppstartmöte och utarbetande av karteringsplan	6
2	OMRÅDESBESKRIVNING	7
2.1	Djupförhållanden	7
2.1.1	Inre delen av Köpings hamn	7
2.1.2	Djuphamnen	7
2.1.3	Galten	8
3	MATERIAL OCH METODER	8
3.1	Fartyg	8
3.1.1	Positionering	9
3.1.2	Djupmätning	9
3.2	Utrustning	9
3.2.1	Sedimentprovtagare	9
3.2.1.1	Geminihämtare	9
3.2.1.2	Ponarhämtare	10
3.2.2	Dokumentation av sedimentkärnor	11
3.2.3	Side scan sonar	11
3.3	Kartering av undersökningsområdet	12
3.4	Sedimentprovtagning	12
3.5	Datering	13
3.5.1	Radiocesium	13
3.5.2	Varvräkning	14
3.6	Analys	15
3.6.1	Vattenhalt	15
3.6.2	Glödgningsförlust	15
3.6.3	Densitet	15
3.6.4	Miljöföroreningar	15
3.7	Bottentyper	16
3.8	Sedimentfokusering	17
4	RESULTAT OCH DISKUSSION	19
4.1	Djupförhållanden	19
4.1.1	Inre hamnen	19
4.1.2	Djuphamnen	20
4.1.3	Galten	21
4.2	Bottenförhållanden	21
4.2.1	Kartering med side scan sonar	21
4.2.2	Iakttagelser från side scan sonarunderlaget	24
4.2.2.1	Gästhamnen	24
4.2.2.2	Muddringsbranter	25
4.2.2.3	Farledsspår	27
4.2.2.4	Däck på botten i Djuphamnen	27
4.2.2.5	Vändplatsen	28
4.2.3	Bottendynamik	29
4.2.4	Karaktärisering av undersökningsområdets sediment	29
4.3	Föroreningar i sediment	34
4.3.1	Organiska ämnen	34
4.3.1.1	Organiska tennföreningar	34
4.3.1.2	Polyaromatiska kolväten - PAH	39
4.3.1.3	Alifater	41
4.3.2	Metaller	42
4.3.2.1	Klassning av metallhalter	43
4.3.2.2	Areell utbredning av metaller	43
5	SAMMANFATTANDE SLUTSATSER	45
REFERENSER	47	
BILAGA 1	Protokoll och fotografier från sedimentprovtagning	
BILAGA 2	Analysprotokoll och analysmetoder	

## SAMMANFATTNING

Fältarbetena utfördes den 1-3/10 2012 från undersökningsbåten R/V Perca. Arbetet inleddes med en side scan sonarkartering inom navigeringsbara områden längs transekter med ett transektavstånd av 30-100 m. Karteringen omfattade planerade muddringsområden, som dels innefattar den inre delen av hamnen från järnvägsbron till Djuphamnens nordvästra ände, dels djuphamnen i hela dess omfattning till vändplatsen sydost om denna, dels farleden från vändplatsen ut mot Galten. Även den nordvästra delen av Galten karterades. Djupmätningar genomfördes längs ett antal spår i Köpings hamn från järnvägsbron till farleden ut mot Galten samt den nordvästra delen av Galten.

Utifrån karteringen med side scan sonar och djupmätningarna, genomfördes sedan sedimentprovtagning på 9 provtagningsstationer i området från den inre hamnen via djuphamnen ut till vändplatsen. Dessutom togs sedimentprover på 6 provtagningsstationer på Galten.

Proverna har analyserats med avseende på metaller, polyaromatiska kolväten, alifater och organiska tennföreningar. På station K5/6 genomfördes screeninganalys av ett stort antal prioriterade ämnen.

Sjökortets djupinformation stämmer dåligt med det uppmätta djupet framförallt i den innersta delen av inre hamnen. Nära järnvägsbron är vattendjupet endast ca 1,5 m att jämföras med 3,6 m enligt sjökortet. Även alldeles utanför sjöbodarna på den norra stranden är det avsevärt grundare än i sjökortet. Strax innan den första kröken finns det ett avsevärt djupare parti med något mer än 5 meters vattendjup. Vid den andra kröken finns på norra sidan ett grundare parti med djup på drygt 3 meter att jämföras med 4,5 m enligt sjökortet. Strax innan vidgningen till Djuphamnen finns ett kort parti med endast 1,5-2 m.

Djupkartan över Djuphamnen visar att vattendjupet är större än 7 m i stora delar av hamnområdet och mer än 7,5-8 m i närheten av kajerna. På förhållandevis stora områden är djupet större än 8 m och i en håla nära kajerna uppmättes mer än 11 m.

Våra mätningar på Galten gav ett allmänt intryck att vattendjupet i stora delar av fjärden är mindre än vad som anges i sjökortet. En betydande årlig sedimenttillväxt kan ha lett till att vattendjupet har minskat med upp till 0,5-0,9 m i stora delar av fjärden sedan sjömätningarna utfördes.

Många iakttagelser har gjorts från side scan sonarunderlaget. Följande har noterats:

- I den inre delen av inre hamnen syns tydligt bojar, stolpar och bryggnockar.
- Tydliga kanter av muddringsbranter återfinns överallt i gränsen av de muddrade områdena i såväl Djuphamnsområdet som Vändplatsen och längs farleden ut mot Galten.
- På några platser längs farleden på Galten kan man se ljusa spår i de annars mörkare områdena som representerar ackumulationsbottnar. Dessa uppkommer genom att fartyg med djupgående ned mot drygt 6 m som passerar genom vattenområden med marginellt större vattendjup ger upphov till tryckvågor som spolat bort det mjuka finkorniga materialet.
- Längs kajen i Djuphamnen finner man en stor mängd mindre ekon som har identifierats som fendertar av däck som lossnat från kajen och sjunkit strax utanför.

Ett genomgående mönster är att gränsen mellan ackumulationsbottnar (A-bottnar) å den ena sidan och erosions-/transportbottnar (E/T-bottnar) å den andra går vid  $3 \pm 0,5-1$  m. Gränsen mellan ackumulation och transport/erosion kan i olika delar av fjärden ligga både djupare och grundare än 3 m beroende på vågexponeringen.

Samtliga provtagna stationer utom K4, K5, K6 och K7 (E/T-bottnar) är att karaktärisera som A-bottnar. Även på E/T-bottnar kan dock sedimentbundna föroreningar deponeras under perioder med lugna förhållanden. Utifrån side scan sonarundersökningen och kompletterande sedimentprovtagning framgår det att bottensubstratet i de muddrade delarna av Djuphamnen och i farleden ofta utgörs av en mörk sulfidlera med ibland lite recent material på ytan.

Halterna av tributyltenn i ytsediment varierar ganska mycket i Köpings hamnområde. Värden på 6,3 omväxlar med höga värden upp till 320 µg/kg ts. Det högsta värdet noterades i den inre hamnen och det näst högsta strax nordväst Oljepiren. Halterna av TBT, DBT och MBT ökar påtagligt från Galten in emot Köping

TBT uppvisar en mycket kraftig ökning med ökat sedimentdjup i en daterad sedimentkärna i omedelbar närhet av vändplatsen och når på 40-45 cm djup 1200 µg/kg ts. Även nedbrytningsprodukterna DBT och MBT visar samma fördelningsprofil och når halter på 200 resp. 130 µg/kg ts.

I en sedimentkärna från strax väst om farleden på Galten 4,5 km sydost om vändplatsen visar <sup>137</sup>Cs-datering att tiden för Tjernobylyckan 1986 skulle kunna ligga på 40-45 cm djup i denna kärna. Mycket likartade fördelningar noteras av såväl TBT, DBT som MBT nedåt i kärnan som i kärnan från vändplatsen även om halterna är ca 3 gånger lägre härute för alla tre kongenerna. De högsta halterna ligger på den nivå som troligen representerar tiden för Tjernobylyckan dvs. 1986 och är något lägre därunder.

Medelhalten av TBT i Köpings hamn är 89 µg/kg ts med ett maxvärde på 320 µg/kg ts. Våra resultat av studier av sedimentkärnor visar att halterna av organiska tennföreningar är mycket höga längre ned i kärnorna på nivåer som motsvarar 1980-talet. Halterna är så höga att de under alla förhållanden kräver särskilt omhändertagande av muddermassor från dessa områden.

Halterna av polyaromatiska kolväten är höga i 3 av de 8 analyserade prover från Köpings hamn. Medelhöga halter har noterats i övriga prover. Även i kärnan från station K9 intill vändplatsen är halterna höga en bit ned i kärnan.

Halterna av tunga alifatiska kolväten är låga eller måttliga i djuphamnsområdet medan halterna är avsevärt mycket högre i den inre hamnen. De tänkbara källorna är via Köpingsån, från fritidsbåtarna i inre hamnen eller via dagvatten som mynnar i området.

Halterna av arsenik, nickel och bly uppvisar ingen eller obetydlig avvikelse från jämförvärdet i Köpings hamn. Kadmium, kobolt, koppar, krom och kvicksilver har liten eller tydlig avvikelse. Den metall som avviker mest från jämförvärdet är zink, som karaktäriseras av tydlig eller stor avvikelse från jämförvärdet.

Med tanke på de strikta bedömningsgrunderna inom ramen för EU: s vattendirektiv bör försiktighet iakttas vid omhändertagande av vissa muddermassor från Köpings hamn. Detta gäller massor med höga halter av organiska tennföreningar, vissa tungmetaller och i viss mån polyaromatiska kolväten.

## 1 UPPDRAG OCH SYFTE

JP Sedimentkonsult HB har av Köpings kommun, Tage Hansson, fått i uppdrag att genomföra side scan sonarkartering av Köpings hamn och de norra delarna av fjärden Galten och utifrån karteringsunderlaget genomföra sedimentprovtagning i området. JP tackar för förtroendet och har glädjen att härmed redovisa slutrapporten för projektet.

### Beställare

Tage Hansson  
Köpings Kommun  
Tekniska kontoret  
731 85 Köping

### Syfte

Syftet med undersökningen är att:

- \* Genomföra kartering med side scan sonar av Köpings hamnområde från järnvägsbron ut till vändplatsen och vidare ut på den norra delarna av fjärden Galten
- \* Genom sedimentprovtagning klarlägga mäktigheten av recenta sediment i området och på vilket djup de recenta sedimenten underlagras av äldre sediment/morän/berg
- \* Utifrån karteringsresultaten genomföra sedimentprovtagning på 15 stationer för att utröna föroreningsituationen i ytsediment och på olika nivåer ned i lagerföljden
- \* Sammanställa data i en rapport där fördelningen av recenta sediment redovisas i relation till underliggande lager och där föroreningsituationen redovisas.

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

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

### Arbetsmoment

Arbetet har omfattat följande moment:

- Djupkartering med ekolod och programvaran DrDepth
- Kartering med side scan sonar
- Genomgång och utvärdering av side scan sonar underlag för val av sedimentprovtagningsstationer
- Fältprovtagning av sediment
- Dokumentation av sedimentprover/kärnor och uttag av prover
- Analys av sedimentprov
- Bearbetning och utvärdering
- Delrapportering
- Möten
- Slutrapportering

**Upptarmöte och utarbetande av karterings- och sedimentprovtagningsplan**

Projektet inleddes med ett uppstartmöte med beställaren i Köping den 1 oktober 2012. Syftet med mötet var att gå igenom förutsättningarna för uppdraget och upprätta en detaljerad karteringsplan. Baserat på tillgänglig bakgrundsinformation upprättades en detaljerad karteringsplan som godkändes av beställaren.

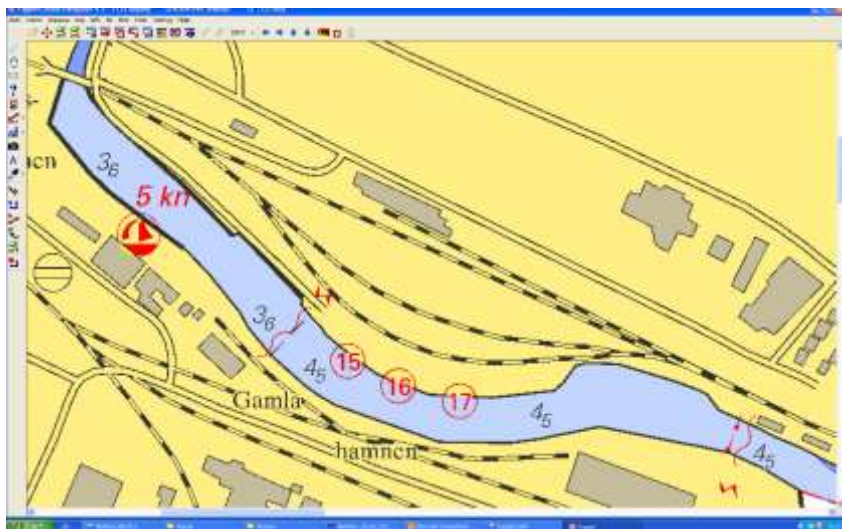
Efter avslutad sonarkartering hölls den 3 oktober ytterligare ett samrådsmöte med beställaren. Vid mötet redovisades sonarunderlaget och ett förslag till sedimentprovtagningsprogram godkändes av beställaren.

## 2 OMRÅDESBESKRIVNING

### 2.1 Djupförhållanden

#### 2.1.1 Inre delen av Köpings hamn

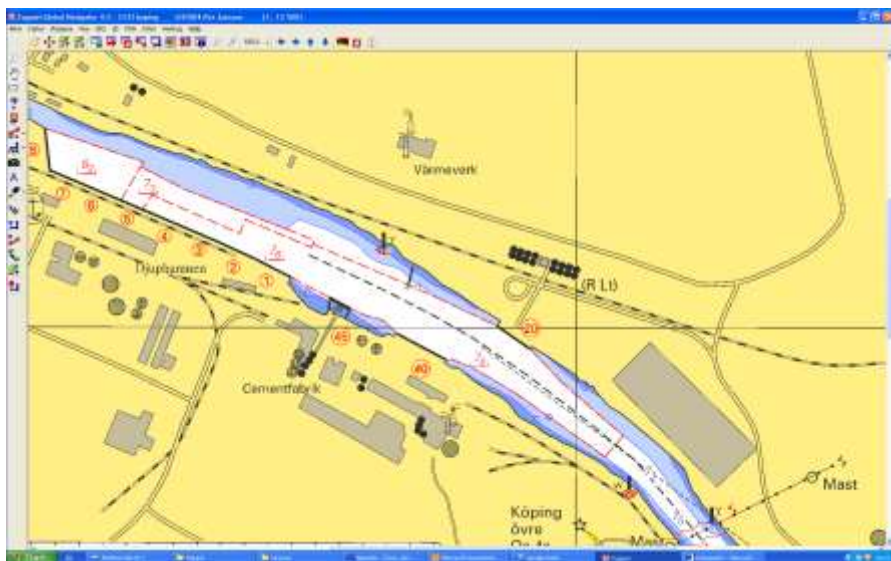
Djupet i den inre delen av Köpings hamn varierar enligt sjökortsinformation från 3,6 m strax nedströms järnvägsbron till som mest 4,5 m strax före vidgningen till Djuphamnen (Fig.1).



Figur 1 Djupförhållanden (sjökortsutdrag) i den inre delen av Köpings hamn.

#### 2.1.2 Djuphamnen

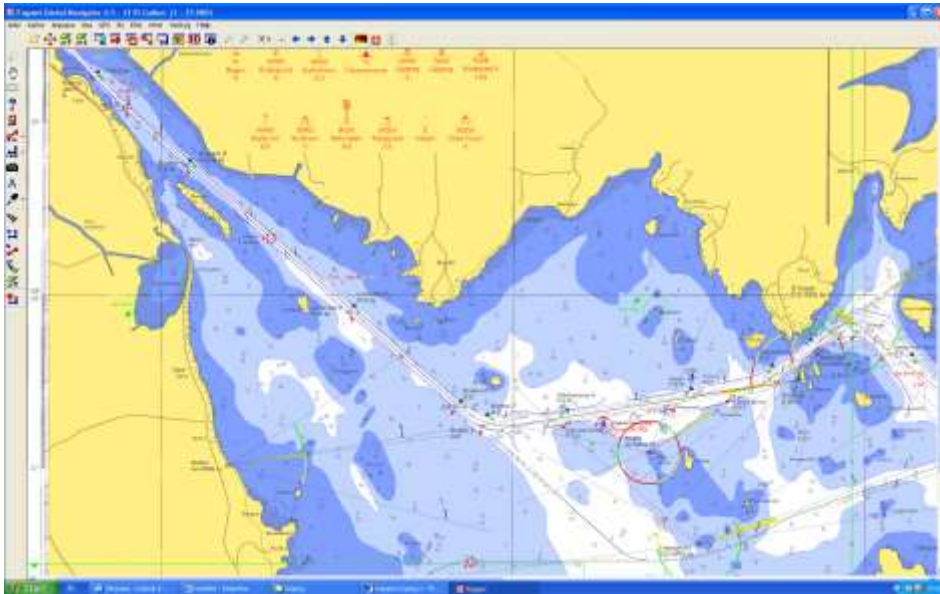
I Djuphamnen är en stor del av området muddrat ned till ett djup av 7,6 m (Fig. 2). I den nordvästligaste delen är djupet i den muddrade delen 6,2 m. Längs den norra stranden är djupet mellan 3 och 6 m. 3-meterskurvan går dock nära stranden.



Figur 2 Djupförhållanden (sjökortsutdrag) i Köpings Djuphamn.

### 2.1.3 Galten

Medeldjupet enligt sjökortet i den norra delen av Galten (Fig. 3) är ca 4 m, men det finns områden i anslutning till farleden som har djup kring 7-8 m.



Figur 3 Djupförhållanden (sjökortsutdrag) på fjärden Galten.

## 3 MATERIAL OCH METODER

### 3.1 Fartyg

Fältarbetena utfördes den 1-3/10 2012 från undersökningsbåten R/V Perca (Fig. 4).



Figur 4 Undersökningsbåten R/V Perca.

#### 3.1.1 Positionering



Positionsbestämning av såväl transekter som provpunkter skedde med hjälp av en GPS-mottagare av märket No: BU-353 som medger en positionsnoggrannhet av några få meter. Eftersom sonarfisken släpas efter båten måste positionen för denna bestämmas i förhållande till båten där GPS-en registrerar positionen. I denna studie gick sonarfisken endast på 1,5 meters djup. Sonarkabeln lades fast på ett knap styrbord akter. GPS-mottagaren sattes fast strax akter om knapet. Med den fart som användes, ca 4 knop, innebär detta att sonarfiskens position var 1 -1,5 m akter om GPS-mottagaren

### **3.1.2 Djupmätning**

Ett navigationsekolod av modell Garmin 400C användes kontinuerligt under provtagningen för att registrera bottendjupet och ge en uppfattning om bottendynamiken.

För att kunna uppripa djupkartor över de studerade områdena användes programvaran DrDepth som i kombination med provtagningsbåtens ordinarie ekolod kontinuerligt registrerar djupet. Efter inhämtning av tillräcklig mängd djupdata kan programmet framställa integrerade djupkartor antingen med isolinjer eller i 3D-format. Vattendjupen i de erhållna kartorna är kalibrerade mot det aktuella vattenståndet vid provtagningstillfället och gäller sålunda för 2012 års medelvattenstånd i Mälaren.

## **3.2 Utrustning**

### **3.2.1 Sedimentprovtagare**

#### **3.2.1.1 Geminihämtare**

Geminihämtaren (Fig. 5), som användes i denna studie, utvecklades under början av 1990-talet av den finske sedimentologen Lauri Niemistö (Winterhalter 1998). Hämtaren består av ett metallskelett i vilken man fäster två plaströr som medger fri vattenpassage på nedvägen. Två utfällda armar fungerar som låsmekanismer och slår igen då provtagaren tas upp. Detta förhindrar att sedimenten rinner ur provtagaren. Den är lätt att använda, framförallt på mjukbotten, men kan även nyttjas på något hårdare sediment då det går att hänga på extra vikter. Provtagningsrören är genomskinliga, vilket medger en första kontroll av sedimentkärnornas utseende på plats i fält. Rören är 80 cm långa och har en innerdiameter på 80 mm, vilket medger att relativt stora mängder prov kan tas ut för analys. Den stora fördelen med Geminihämtaren är att den tar två sedimentkärnor samtidigt. Därmed 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 svalt ombord och transporterades efter provtagningen till kylrum och förvarades i + 4° C i avvaktan på dokumentation, provuttag, analys av vattenhalt, glödningsförlust och föroreningsparametrar.



Figur 5 Gemini-hämtaren laddad och redo för hugg.

### 3.2.1.2 Ponarhämtare

För ytsedimentprovtagning på E- och T-bottnar samt på grunt vatten användes den välbeprövade och för ytsedimentprovtagning ofta utnyttjade Ponarhämtaren (Fig. 6). Den har en enkel och funktionellt tillförlitlig konstruktion. Löstagbara vikter gör att den kan användas på såväl mjuka som hårda bottnar. Denna provtagare användes främst på de något hårdare bottarna i anslutning till stränderna.

Hämtaren medger fri vattenpassage under nedfirning. När den nått botten och draget i vajern upphör frisläpps låsmekanismen varvid hämtaren stänger när uppfirning påbörjas. Stor vikt lades vid att kontrollera att hämtaren inte var toppfylld, vilket kan medföra att delar av ytsedimentet gått förlorat. I förekommande fall gjordes provtagningen om. Från Ponarhämtaren uttogs prov som representerar de översta 0-2 cm av sedimentet och från 8-10 cm.



Figur 6 Ponarhämtaren laddad och redo för hugg.

### 3.2.2 Dokumentation av sedimentkärnor

För att undvika att löst sediment rann ut i samband med utskjutningen placerades sedimentkärnorna avsedda för dokumentation i frysbox i ca 2 timmar så att de yttersta 3-4 mm frös till. Efter en snabb spolning med varmt vatten pressades sedimentkärnan ut ur röret med en utskjutare. Ett tunt isskikt både på ytsedimentet och på sidorna hindrade härigenom utflytning av löst sediment. Efter utskjutning av kärnan klövs den på mitten och de båda 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.

### 3.2.3 Side scan sonar

I denna studie användes en Side scan sonar av typ DeepVision (340 KHz) med towfish DeepEye 340 SS (DeepVision, 2009; Fig. 7). 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. I detta arbete användes varierande svepvidder vilka framgår av fältanteckningarna i Bilaga 1



Figur 7 Portabel side scan sonar av typ DeepVision (340 KHz).

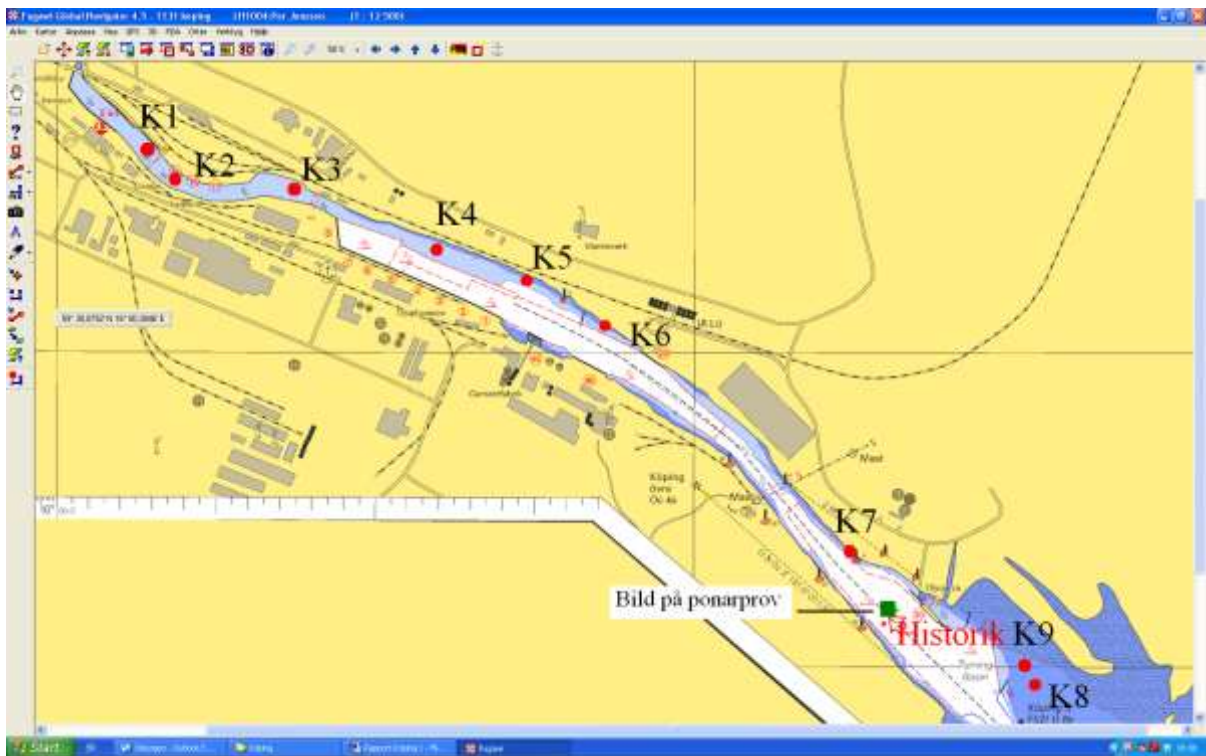
En sidtittande sonar använder ljudvågor för att registrera olika botten typer. Ordet sonar är en förkortning av "sound navigation and ranging". I en torpedliknande "fisk" som bogseras efter båten sitter två uppsättningar sändare/mottagare, som läser av babords respektive styrbords sida (vinkelrätt mot 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 erhålles. Starka reflektioner (hårda bottenar och hårda föremål) avbildas som ljusa partier i sonarplottet och svaga reflektioner (mjuka bottenar) avbildas mörkare. Sonarkarteringen ger en ytriktig "flygbild" över botten.

### 3.3 Kartering av undersökningsområdet

Kartering av det tilltänkta muddringsområdet, som dels innefattar den inre delen av hamnen från järnvägsbron till Djuphamnens nordvästra ände, dels djuphamnen i hela dess omfattning till vändplatsen sydost om denna, dels farleden från vändplatsen ut mot Galten genomfördes den 2-3 oktober 2012 inom navigeringsbara områden längs transekter med ett transektavstånd av 30-100 m.

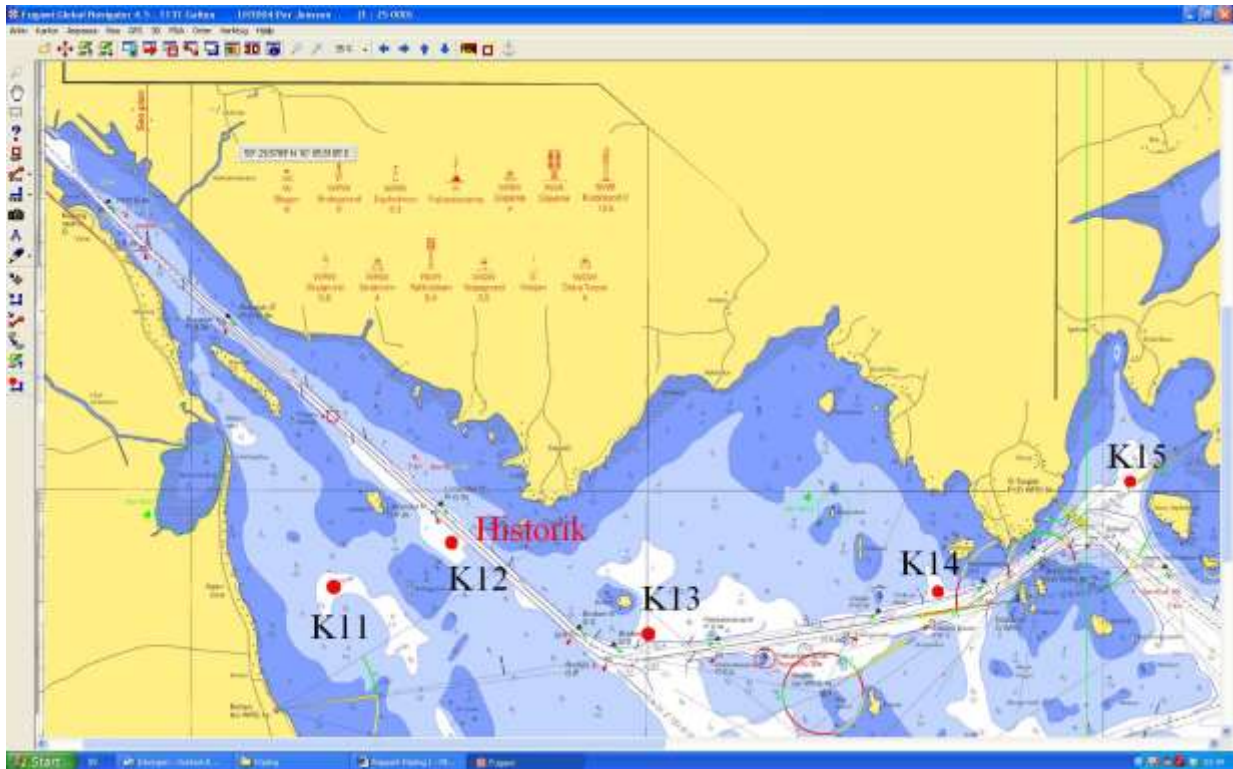
### 3.4 Sedimentprovtagning

Sedimentprovtagningen genomfördes den 3-4 oktober 2012 från forskningsfartyget R/V Perca på 15 provtagningsstationer Köpings hamnområde (Fig. 8) och på Galten (Fig. 9) med Ponarhämtare på vattendjup < 3 m och på stationer med vattendjup > 3 m med Geminihämtare. Kärnorna togs på de stationer som bedömdes utgöra goda ackumulationsbottenar (A-bottenar) för finsediment (< 63 µm). Inne i hamnområdet togs dock några prov med Ponarhämtare från strandnära stationer som i fält bedömdes som E/T-bottenar.



Figur 8 Provtagningsstationer i Köpings hamnområde.





Figur 9 Provtagningsstationer på Galten.

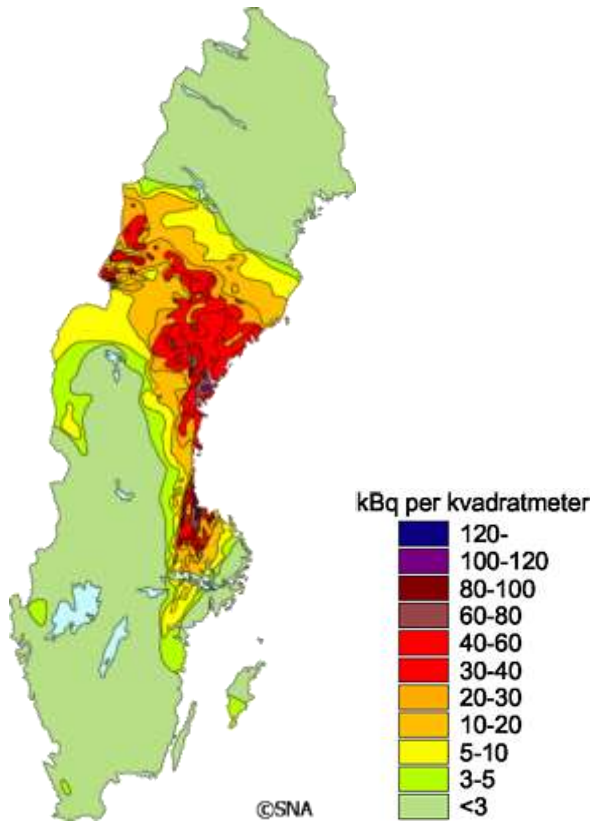
### 3.5 Datering

Datering av de insamlade sedimentkärnorna genomfördes efter en kombination av datering med hjälp av radiocesium och genom varvräkning

#### 3.5.1 Radiocesium

Ett användbart hjälpmedel för att datera sediment är att analysera  $^{137}\text{Cs}$ -aktiviteten i de olika varven.  $^{137}\text{Cs}$  började uppträda först efter atombombstesterna i atomsfären i början av 1960-talet (med toppar runt 1963-64). Det största nedfallet av radiocesium i slutet av april 1986 när en reaktor i atomkraftverket Tjernobyl i Ukraina exploderade. Nedfallet av  $^{137}\text{Cs}$  blev tämligen ojämnt fördelat över Sverige, men Mälarenregionen och Västeråsområdet fick en förhållandevis stor dos (Fig. 10).

I sediment från sjöar och kustområden brukar dessutom Tjernobylolyckan 1986 avspeglas tydligt som en markant topp (Meili et al., 2000). När nivån i sedimentet med maximal  $^{137}\text{Cs}$  aktivitet identifierats beräknas den genomsnittliga sedimentationshastigheten under antagandet att den maximala  $^{137}\text{Cs}$ -aktiviteten representerar år 1986.



Figur 10 Nedfall av  $^{137}\text{Cesium}$  över Sverige efter Tjernobylolyckan i april 1986.

### 3.5.2 Varvräkning

När syrehalterna vid bottarna är så höga att bottendjur kan leva där, får bottensedimenten en speciell karaktär. Sedimenten avspeglar de miljöförhållanden som rådde då de bildades. Finns det bottendjur så gräver och bökar de i det lösa ytsedimentet och blandar om det (s.k. bioturbation) så att sedimentet från denna tid är en i stort sett homogen lera, utan synliga varv eller andra strukturer (Jonsson et al., 2003).

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

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).

### 3.6 Analyser

#### 3.6.1 Vattenhalt

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

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

#### 3.6.2 Glödgningsförlust

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

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

#### 3.6.3 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) :

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

där

- r = bulkdensitet (g/cm<sup>3</sup> ws),
- r<sub>m</sub> = densiteten av oorganiska partiklar (g/cm<sup>3</sup>)
- W = vattenhalt (% ws),
- LOI = glödgningsförlust (% ds).

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:

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

#### 3.6.4 Miljöföroreningar

Samtliga prover har analyserats med avseende på metaller, polyaromatiska kolväten, alifater och organiska tennföreningar. På station K5/6 genomfördes screeninganalys av ett stort antal ämnen. Resultat och analysmetoder framgår av Bilaga 2.

### 3.7 Bottentyper

Vid denna undersökning har följande definition av bottentyper använts (Håkanson & Jansson, 1983):

- **Akkumulationsbottnar (A-bottnar)** är bottnar där finmaterial kontinuerligt deponeras.
- **Transportbottnar (T-bottnar)** är bottnar med oregelbunden deposition och borttransport av finmaterial och blandade sediment.
- **Erosionsbottnar (E-bottnar)** är bottnar där grövre material (> 0,006 mm) dominerar.

För att på ett tillfredsställande sätt genomföra sedimentundersökningar i ett kustområde eller sjö fordras kännedom om vilka bottendynamiska förhållanden som råder på platsen.

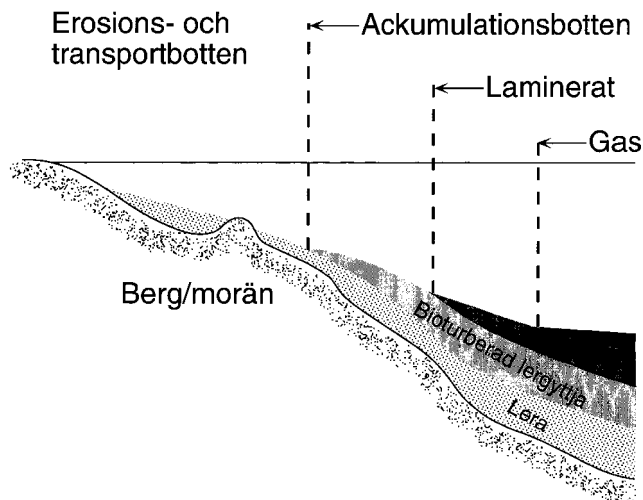
Den viktigaste drivande kraften som avgör vid vilka djup olika bottentyper uppträder är vinden. Den sträcka som vinden fritt kan påverka vågbildningen kallas för "fetch". Ju längre fetch, desto högre blir vågorna och desto djupare ligger vågbasen. Vågbasen är det djup till vilket vattenvågor på ytan ger upphov till turbulens djupare ned i vattenmassan. Den är av avgörande betydelse för var ackumulationsbottnar för finsediment kan uppträda. Generellt kan säjas att ovanför vågbasen uppträder erosions- och transportbottnar och under den finner man ackumulationsbottnarna. Undantag finns där den lokala strömsituationen kan ha stor betydelse för sedimentdynamiken. Erfarenheten visar att A-bottnar kan uppträda i skyddade vikar och fjärdar på endast någon eller några få meters djup. I öppna havsexponerade lägen finner man dock ofta A-bottnar först på djup överstigande 75-80 m (Jonsson et al., 1990). Detta leder också till att gränsen mellan A-bottnar och E/T-bottnar självfallet varierar beroende på var i fjärden man befinner sig. Orsaken till detta är att den effektiva fetchen (den sträcka som vinden fritt kan påverka vågbildningen) varierar i rummet. Ju större fetch desto djupare vågbas som i sin tur leder till att gränsen för uppträdande av A-bottnar återfinns djupare ned. Om man mer i detalj önskar kartera detta bör en tätare sonarkartering genomföras kompletterad med verifierande insamling av sedimentkärnor från ett antal lokaler runt fjärden. Man kan även teoretiskt (vid skrivbordet) beräkna såväl den effektiva fetchen, som vågbasen och gränsen mellan A-bottnar och E/T-bottnar (Håkanson and Jansson, 1983).

Erosionsbottnar utgörs av sten, grus och sand, ofta överlagrande en glacial eller postglacial lera, och har låga vattenhalter och organiska halter. Eftersom det hela tiden sker en borttransport av material från erosionsbottnar är halterna av näringsämnen och föroreningar normalt låga.

Transportbottnar kännetecknas av mycket varierande halter av näringsämnen och föroreningar, vilket beror på att dessa bottnar periodvis fungerar som ackumulationsbottnar. Vid ett stormtillfälle kan dock det tidigare ackumulerade materialet resuspenderas och förflyttas nedåt mot de oftast djupare belägna ackumulationsbottnarna.

Akkumulationsbottnarna består av finmaterial som gyttjelera och lergyttja och har höga vattenhalter. Ibland kan t.o.m. gränsen mellan sediment och vatten vara svår att avgöra p.g.a. den höga vattenhalten i ytsedimentet. Vanligen finner man de högsta halterna av de flesta föroreningar i ackumulationsbottnarna. Dessa bottnar innehåller även naturligt hög halt organiskt material.





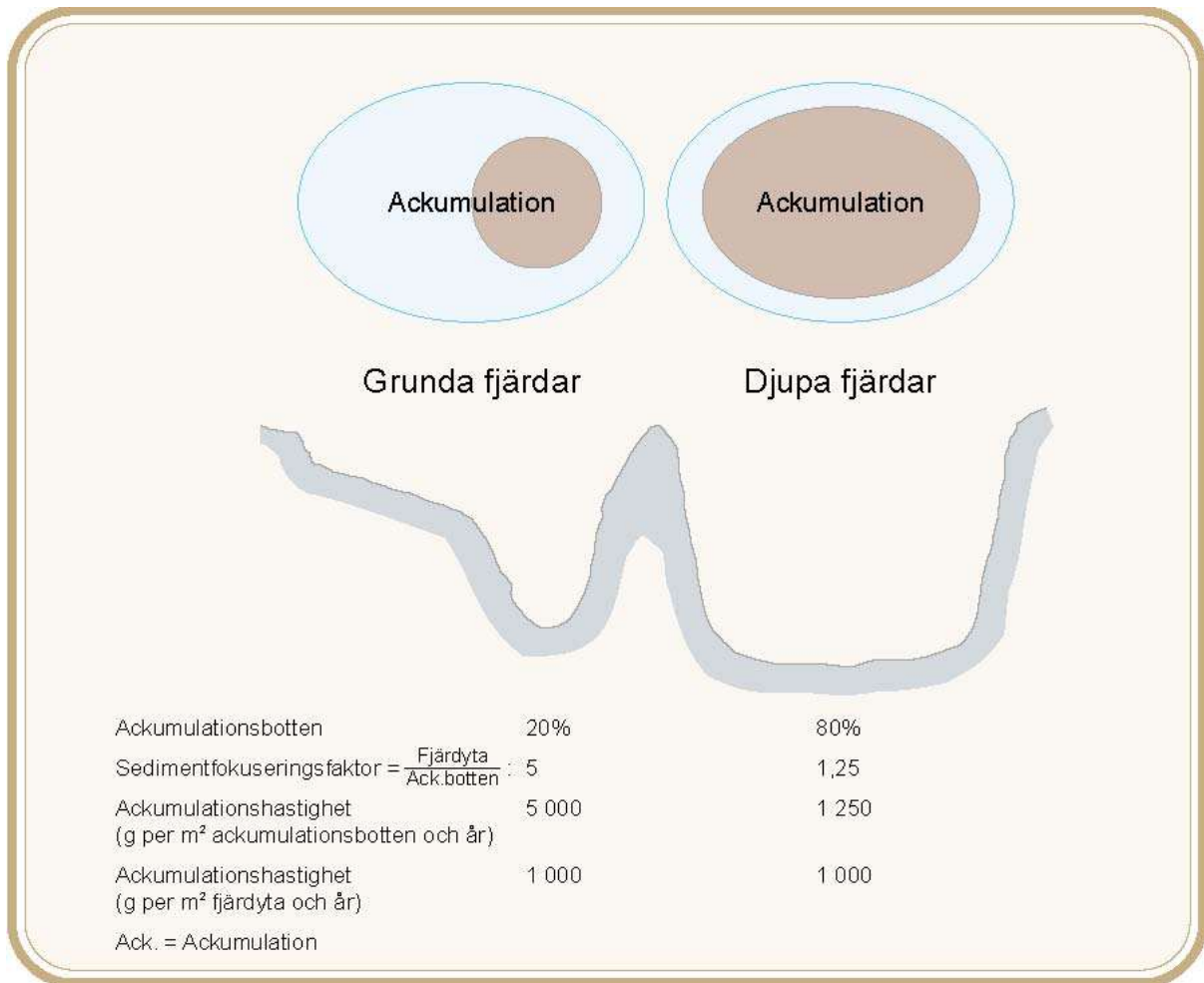
Figur 11 Principskiss över en recent lagerföljd från djupområde till strandzon.

Oftast återfinns E-/T-bottnarna på mindre vattendjup än A-bottnarna. En vanlig lagerföljd kan se ut som i Figur 11 där de olika sedimenttyperna börjar uppträda på olika vattendjup. I en opåverkad sjö eller skärgårdsfjärd domineras vanligen A-bottnarna av bioturberade lergyttjesediment. Om syrehalten vid botten längre eller kortare perioder underskridit 2-3 mg  $O_2/l$  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.

### 3.8 Sedimentfokusering

Det är inte möjligt att göra en jämförelse av fastläggning i sediment mellan två fjärdområden om inte hänsyn tas till sedimentfokusering, vare sig det gäller den totala sedimentackumuleringen eller rör sedimentfastläggning av enskilda ämnen (t ex metaller eller organiska miljögifter). Grundförutsättningen för att jämförelser skall kunna göras är att A-bottenarean bestäms, vilket vi har gjort genom en kombination av side scan sonarkartering och sedimentprovtagning. Principen för normalisering för sedimentfokusering illustreras i figur 2 och går helt enkelt ut på att omräkna sedimentackumuleringen i ackumulationsområdena till att gälla för hela fjärdytan.

I det illustrerade exemplet (Fig. 12) är sedimentackumuleringen per kvadratmeter A-botten mycket högre i den djupa fjärden jämfört med den grunda. Om hänsyn tas till fokuseringseffekten och sedimentackumuleringen beräknas per kvadratmeter fjärdyta är det dock möjligt att göra jämförelser av sedimentfastläggningen. I detta exempel är sedimentackumuleringen lika stor i båda fallen.



Figur 12 Principen för sedimentfokusering

## 4 RESULTAT OCH DISKUSSION

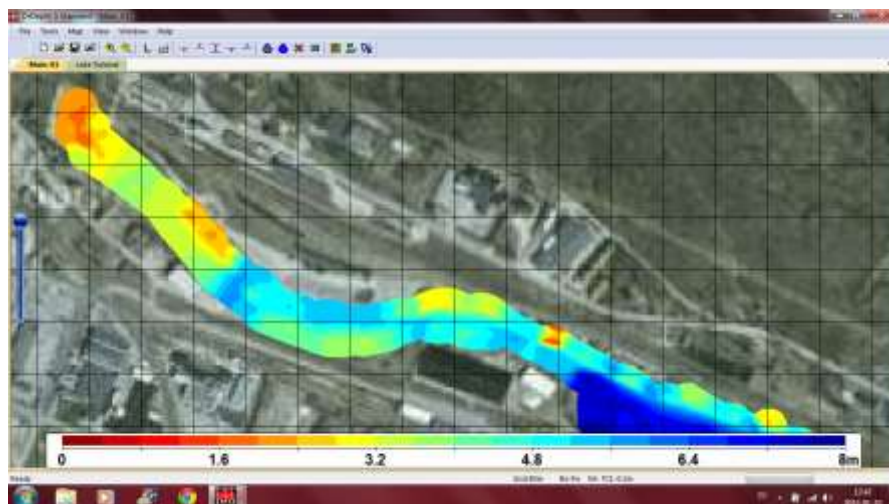
### 4.1 Djupförhållanden

#### 4.1.1 Inre hamnen



Figur 13 Djuplodningsspår i den inre delen av Köpings hamn.

En detaljerad djupkarta har upprättats av JP i de inre delarna av hamnen (Fig. 14). Som framgår av kartan stämmer sjökortets information dåligt med det uppmätta framförallt i den

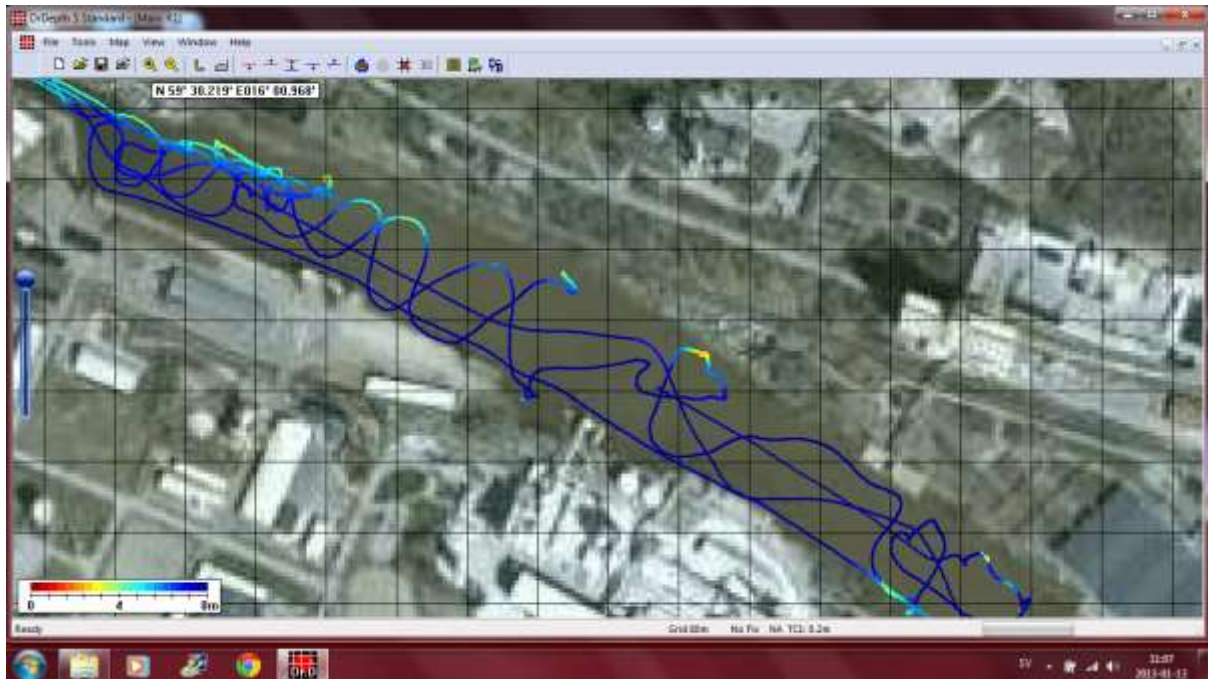


Figur 14 Djupförhållanden i den inre delen av Köpings hamn oktober 2012. Vattenståndet var vid lodningstillfället den 2-3 oktober 2012 ca 16 cm över medelvatten. Kartan är korrigerad för detta och visar aktuellt djup vid medelvatten.

inre delen av hamnen. Nära järnvägsbron är vattendjupet endast ca 1,5 m att jämföras med 3,6 enligt sjökortet. Även alldeles utanför sjöbodarna på den norra stranden är det avsevärt grundare än i sjökortet. Strax innan den första kröken finns det ett avsevärt djupare parti med något mer än 5 meters vattendjup. Detta kan enligt uppgift (Gatukontoret Köping) ha samband med ett dagvattenavlopp som mynnar här och troligen leder till turbulens och därmed kopplad borttransport av bottenmaterial. Vid den andra kröken finns på norra sidan ett

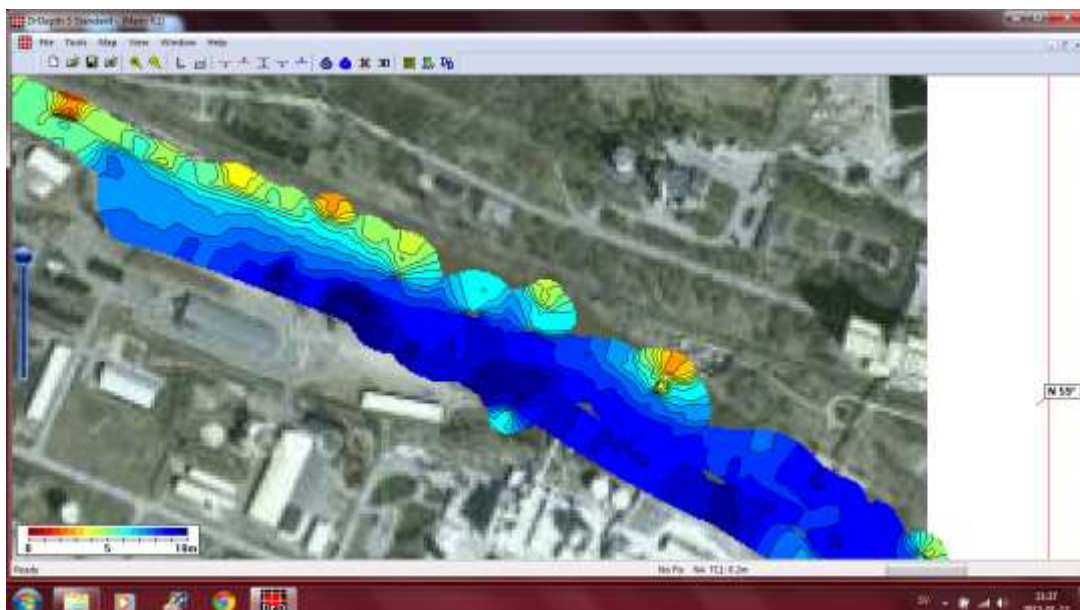
grundare part med djup på drygt 3 meter att jämföras med 4,5 m enligt sjökortet. Strax innan vidgningen till Djuphamnen finns ett kort parti med endast 1,5-2 m.

#### 4.1.2 Djuphamnen



Figur 15 Djuplodningsspår i Köpings Djuphamn.

I djuphamnen har ekolodningen skett enligt spår som framgår av Figur 15. Djupkartan över Djuphamnen (Fig. 16) visar att vattendjupet är större än 7 m i stora delar av hamnområdet och mer än 7,5-8 m i närheten av kajerna. På förhållandevis stora områden är djupet större än 8 m och en håla när kajerna uppmättes mer än 11 m. Genom att ingen transekt kördes parallellt med stranden på den norra sidan har djupkartan ett speciellt utseende som indikerar att den har betydande brister här. Som framgår av Figur x gå lodspåren nära in mot land på fler ställen och på dessa har programmet integrerat djupet och däremellan har djupet blivit större.

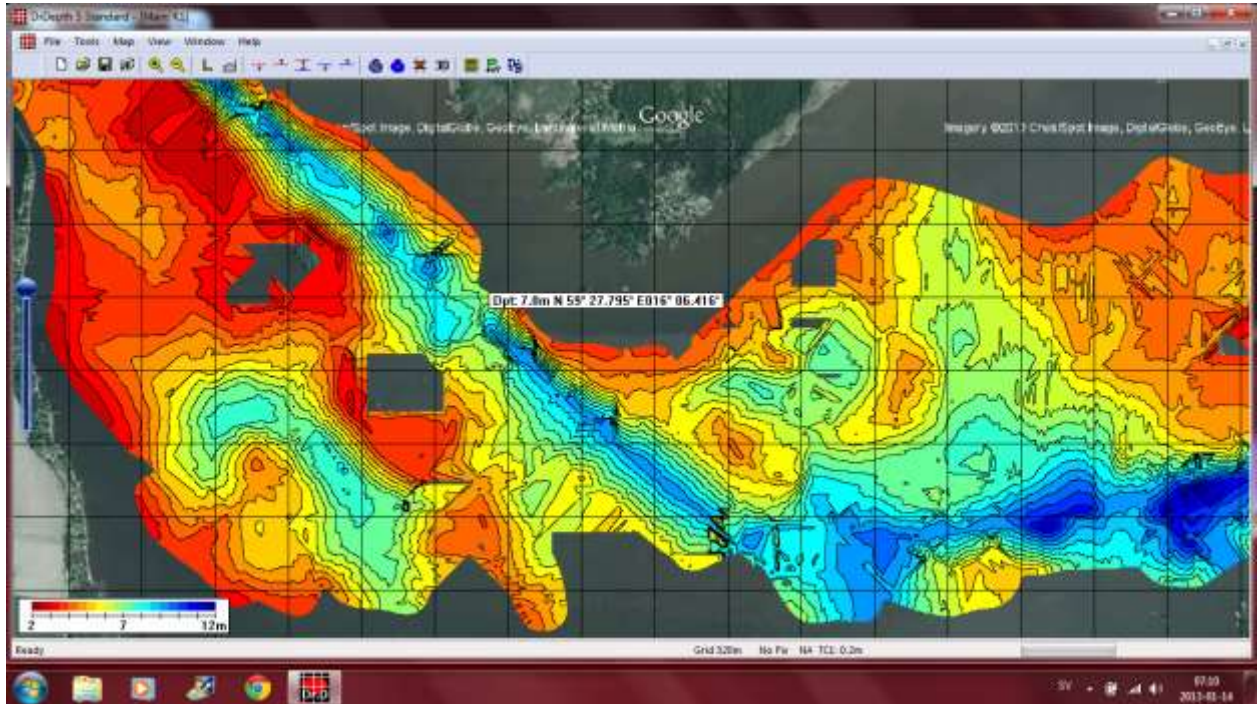




Figur 16 Djupförhållanden i den inre delen av Köpings hamn oktober 2012. Vattenståndet var vid lodningstillfället den 2-3 oktober 2012 ca 16 cm över medelvatten. Kartan, som är utformad med programvaran DrDepth, är korrigerad för vattendjupet och visar aktuellt djup vid medelvatten.

### 4.1.3 Galten

I Galten undersöktes den norra delen av fjärden ungefär längs en linje från fyren Botten via farleden mot Skyltgrund. Sjöfartsverkets första mätningar av Galten genomfördes mellan



Figur 17 Djupförhållanden på den nordvästra delen av Galten oktober 2012. Vattenståndet var vid lodningstillfället den 2-3 oktober 2012 ca 16 cm över medelvatten. Kartan är korrigerad för detta och visar aktuellt djup vid medelvatten.

1919 och 1960. Områden i närheten av farlederna har sjömätts efter 1960. Våra mätningar (Fig. 17) gav ett allmänt intryck att i stora delar av fjärden är vattendjupet mindre än vad som anges i sjökortet. Erfarenheterna från Mälaren (Jonsson 2013; Karlsson och Jonsson 2004, Jonsson och Karlsson 2005) visar att den årliga sedimenttillväxten är i runda tal 10 mm/år. I de områden som sjömättes mellan 1919 och 1960 kan vattendjupet sålunda ha minskat med 0,5-0,9 m. I närheten av farlederna är uppgrundningen sannolikt mindre än 0,5 m. Sedimenttillväxten är lägre på grundare vatten i Mälaren än i djupområdena (Jonsson 2013) vilket innebär att uppgrundningen på grundområdena i Galten sannolikt är mindre än 0,5-0,9 m.

## 4.2 Bottenförhållanden

### 4.2.1 Kartering med side scan sonar

I det följande 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 de fem bilderna nedan. Behövs ännu högre

detaljrikedom kan man studera de enskilda sonarfilerna som har en avsevärt bättre upplösning. För att kunna göra detta måste man dock få tillgång till programvaran DeepView SE via [www.deepvision.se](http://www.deepvision.se).

I avsnitt 4.2.2 görs en genomgång av speciella iakttagelser som gjorts från sonarplotten. Dessa har även bl.a. använts som underlag för att ta fram en bottendynamisk karta (Avsnitt 4.2.3).



Figur 18 Den inre hamnen från järnvägsbron och utåt med side scan sonartransekter från oktober 2012 inlagda.





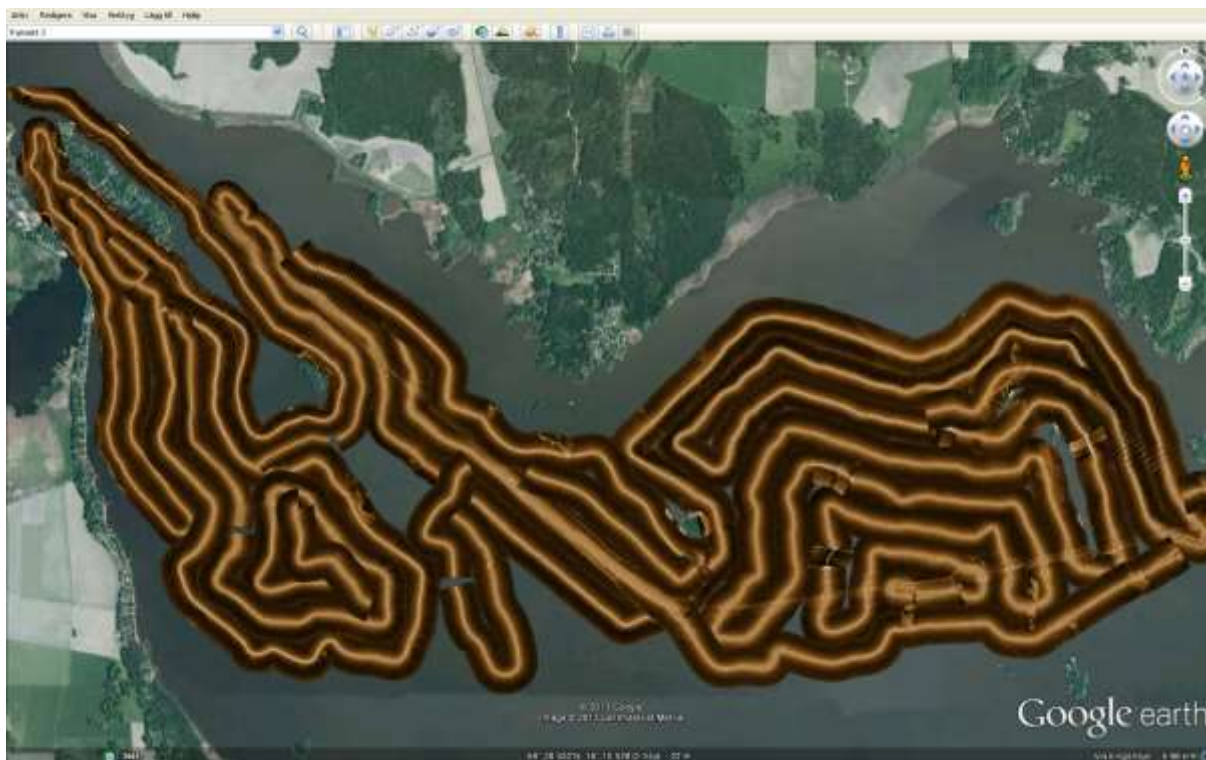
Figur 19 Djuphamnen med side scan sonartransekter från oktober 2012 inlagda.



Figur 20 Området vid vändplatsen med side scan sonartransekter från oktober 2012 inlagda.



Figur 21 Farleden från vändplatsen ut på Galten med side scan sonartransekter från oktober 2012 inlagda.



Figur 22 Undersökningsområdet på norra delen av Galten med side scan sonartransekter från oktober 2012 inlagda.



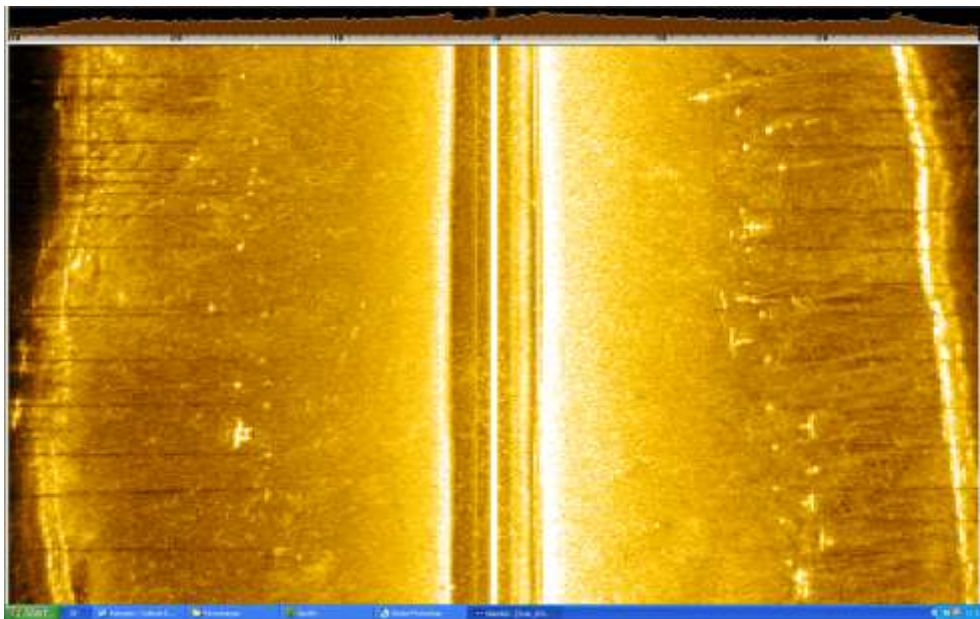
Figur 23 Den östligaste delen av undersökningsområdet med side scan sonartransekter från oktober 2012 inlagda.

#### 4.2.2 Iakttagelser från side scan sonarunderlaget

##### 4.2.2.1 Gästhamnen



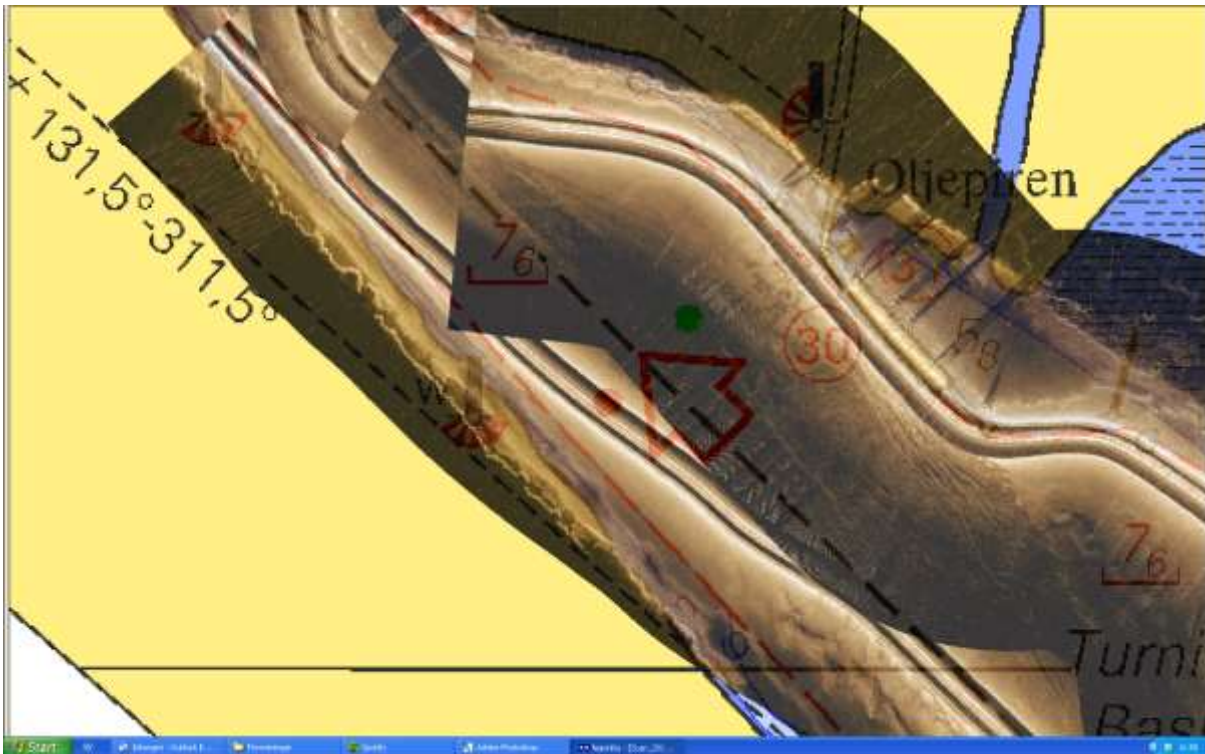
I den inre delen av inre hamnen syns tydligt bojar, stolpar och bryggnockar på sonarplottet (Fig. 24). Kursen har varit från den inre delen och utåt ungefär i höjd med gästhamnsbryggan.



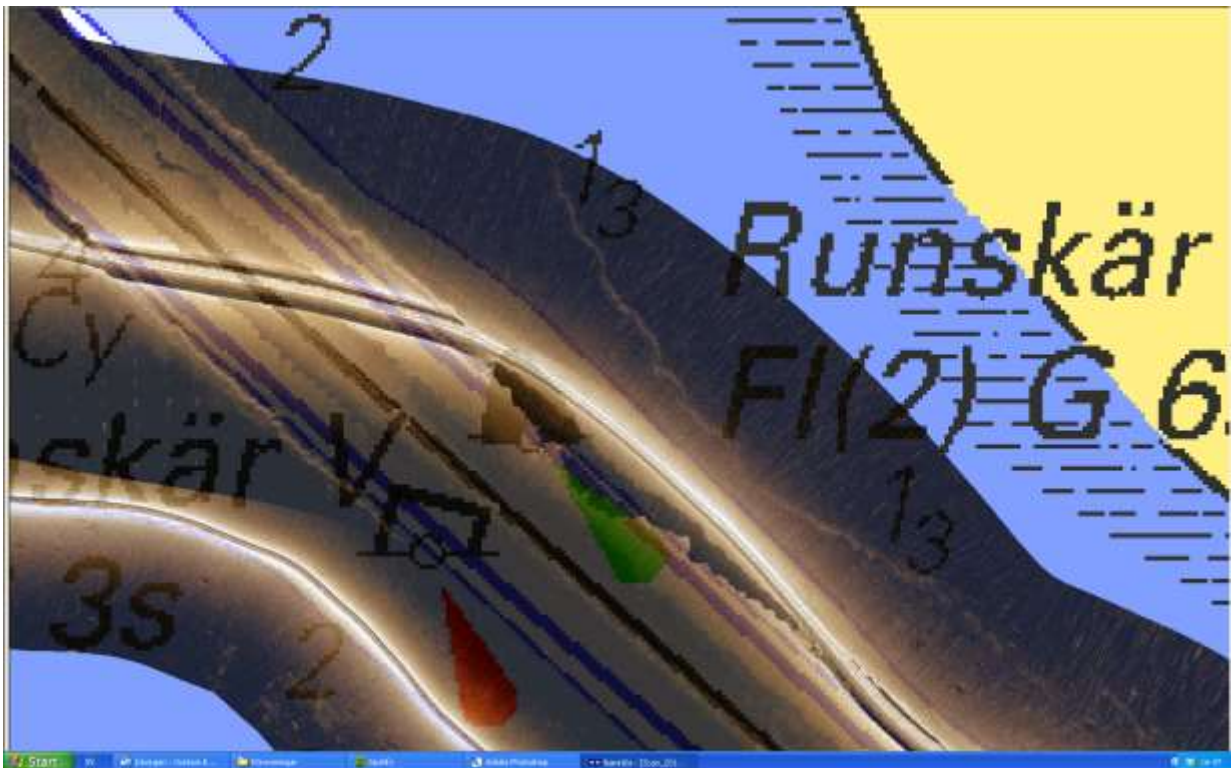
Figur 24 Sonarbild från den inre delen av Gamla hamnen. Sonarens svepvidd är 30 m åt vardera sidan (Se skala överst i bilden). Bilden är ytriaktig och täcker ca 60 m bredd och 40 m längd.

#### 4.2.2.2 Muddringsbranter

Tydliga kanter av muddringsbranter återfinns överallt i gränsen av de muddrade områdena i såväl Djuphamnsområdet som Vändplatsen och längs farleden ut mot Galten. Branterna kan ses som hårda (ljusa) ekon i kanten på muddringsområdena. Ett exempel visas i höjd med Oljepiren. Här syns tydliga branter på båda sidor av farleden och man kan dessutom se mycket tydliga långa ekon från pirens pålverk (Fig. 25).



Figur 25 Tydliga muddringsbranter i höjd med Oljepiren vid den nordvästra delen av vändplatsen. Pirens pålverk syns som raka skuggor vinkelrätt mot kurslinjen vid ortsnamnet "Oljepiren".



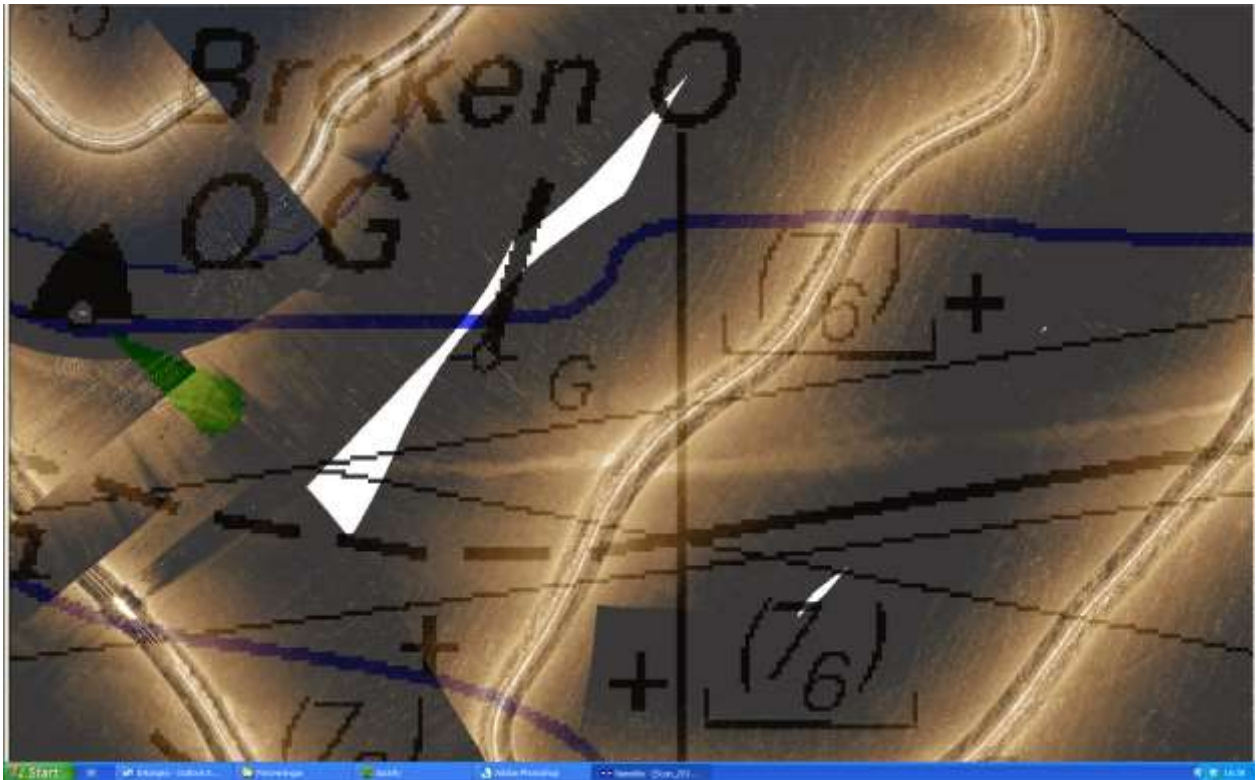
Figur 26 Tydliga muddringsbranter i höjd med Runskärs lysbojar.

Ytterligare ett exempel på muddringsbranter visas i Figur 26, som visar sonarbilden i höjd med Runskärs lysbojar. Man kan också se att den "blinda" sektorn under sonaren blir avsevärt smalare vid övergång från djupt till grunt vatten. Det framgår tydligt i det nordligaste

sonarspåret från det nedre högra hörnet av figuren. Ungefär rakt under I i Fl går båten upp vid sidan av farleden och det blinda spåret blir mycket smalare. Man kan också se att branten ligger söder om båten genom de tydliga mörka skuggorna som representerar ytor som sonaren inte ser. Strax efter passage av den gröna bojen girar vi ut över muddringsbranten igen och då blir den ”blinda” sektorn bredare igen eftersom vattendjupet ökar påtagligt. Längs den norra stranden kan man även se ännu en tydlig kant närmare land som representerar övergång till ännu grundare vatten.

#### 4.2.2.3 Farledsspår

På några platser längs farleden på Galten kan man se ljusa spår i de annars mörkare områdena som representerar ackumulationsbottnar. Dessa uppkommer genom att fartyg med djupgående ned mot drygt 6 m som passerar genom vattenområden med marginellt större vattendjup ger upphov till tryckvågor som spolats bort det mjuka finkorniga materialet. Kvar på botten blir ett hårdare material med en starkare akustisk reflektion som därför tydligt syns på sonarbilderna. Fartygen går ofta inte exakt i farleden utan ofta ginar i leden. Detta framgår klart vid farledens kursändring vid Broken Ö lysboj (Fig. 27). Spåret kan även urskiljas längs en längre del av farleden som framgår i den nedre högra delen av Figur 22

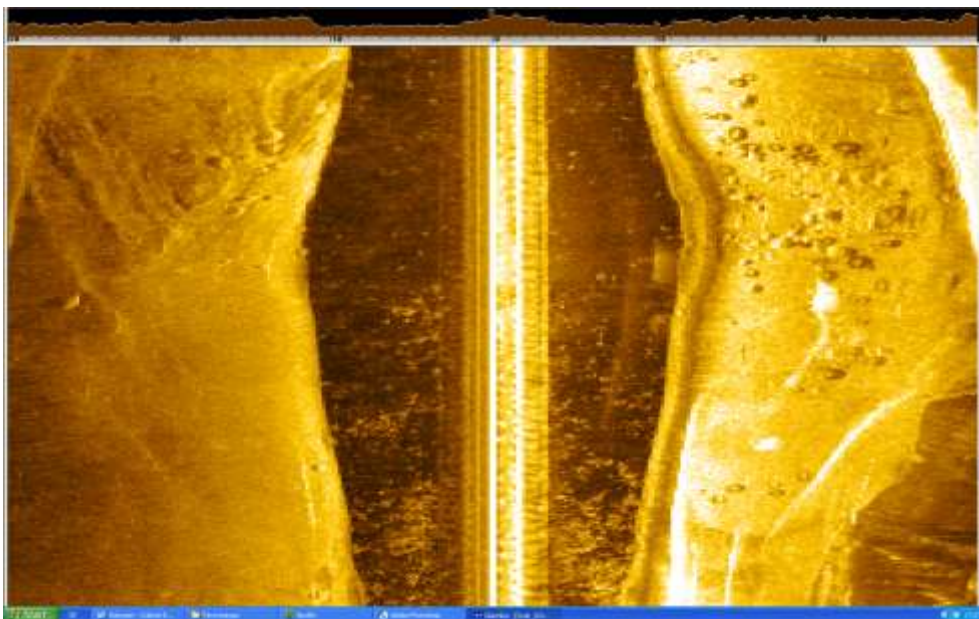


Figur 267 Fartygsspår i de centrala delarna av Galten vid Broken Ö gröna lysboj på djup mellan 8 och 10 m. Notera ett svagt ljusst spår som går något nord om farledsmarkeringen i ost/västlig riktning.

#### 4.2.2.4 Däck på botten i Djuphamnen

Längs kajen i Djuphamnen finner man en stor mängd mindre ekon. Dessa har identifierats som fendertar av däck som lossnat från kajen och sjunkit strax utanför (Fig. 28).

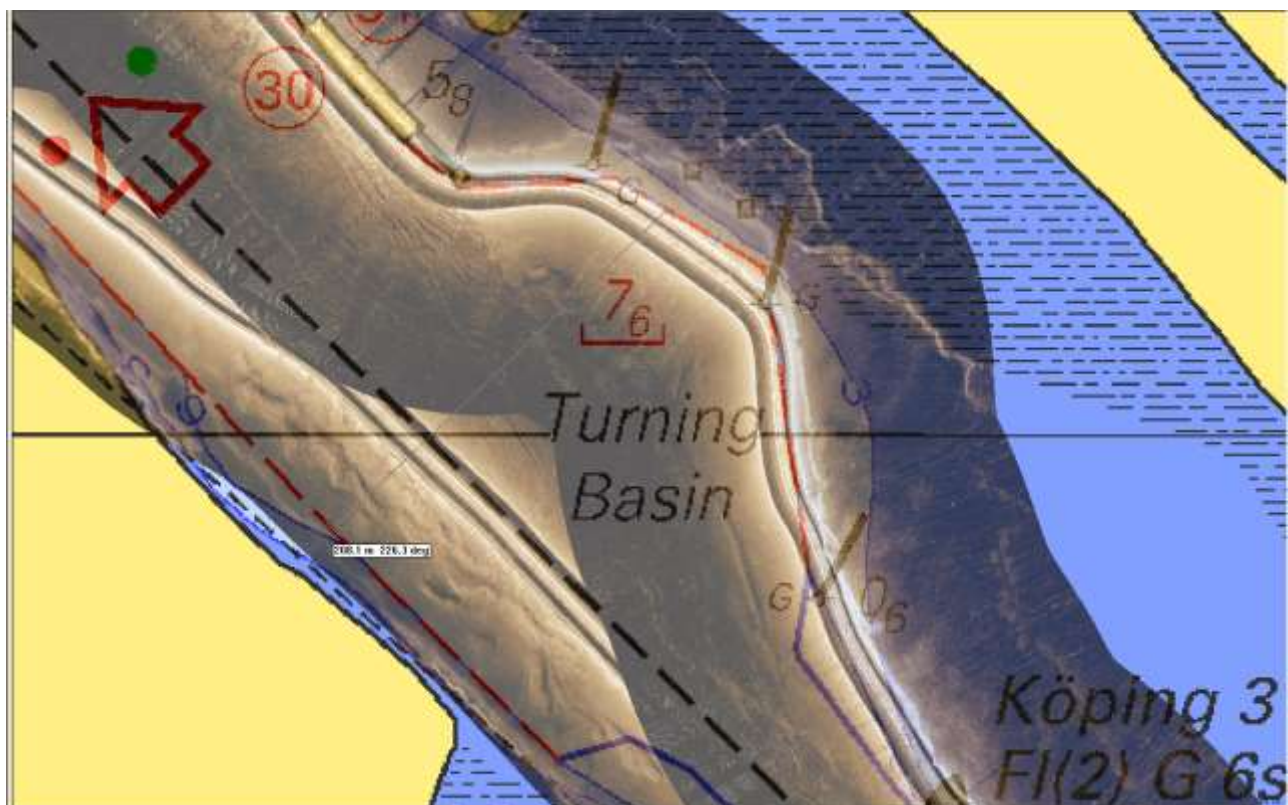




Figur 28 Fendertar av däck på botten utanför kajen vid Djuphamnen.

#### 4.2.2.5 Vändplatsen

Som tidigare nämnts syns tydliga muddringsbranter vid Oljepiren. Ungefär vid siffran 3 strax till höger om texten "Turning" i Figur 29 är positionen för provtagningsstation K9 där det konstaterats goda ackumulationsförhållanden för sediment.

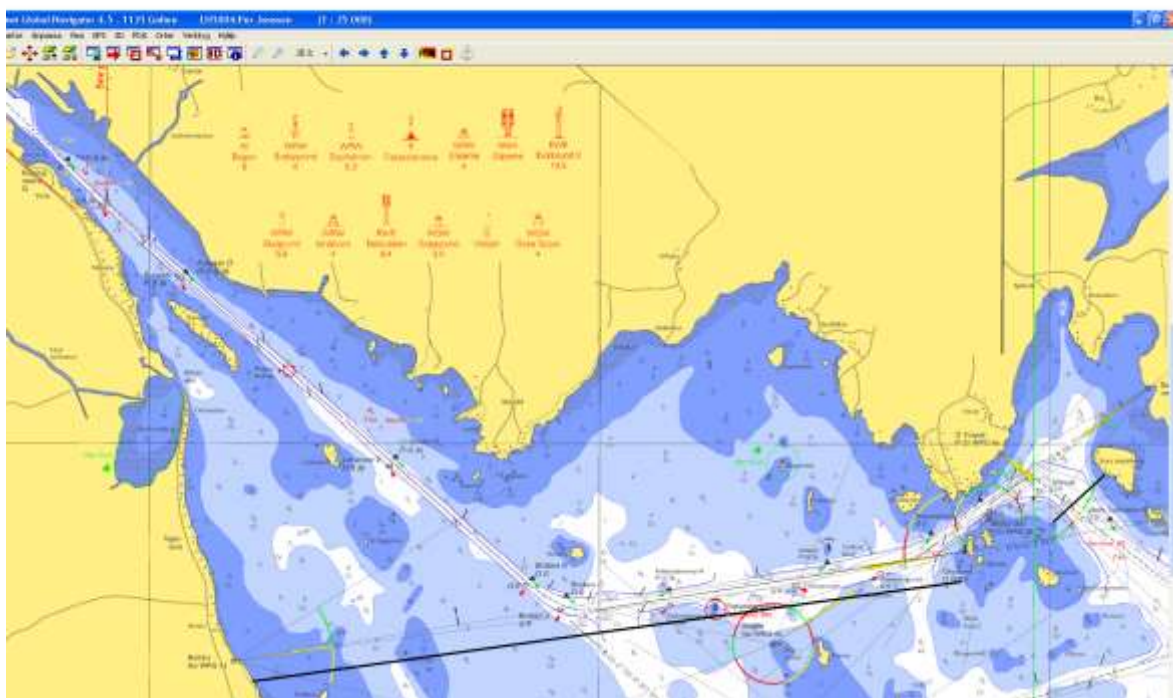


Figur 29 Sonarbild över botten vid Vändplatsen.

### 4.2.3 Bottodynamik

Utifrån sjökortsinformation har en bottendynamisk karta (Fig. x30) framställts med ledning av det insamlade side scan sonarunderlaget och genomförda verifierande sedimentprovtagningar på 9 stationer i Köpings hamnområde (Fig. 8) och 6 stationer på fjärden Galten (Fig. 9). Provtagningsprotokollen redovisas i Bilaga 1 och bilder på sedimentkärnor och ytsediment i Bilaga 2.

Ett genomgående mönster är att gränsen mellan ackumulationsbottnar (A-bottnar) å den ena sidan och erosions-/transportbottnar (E/T-bottnar) å den andra går vid ungefär 3 m. I den norra centrala delen av Galten vid Broken N har en transekt provtagits med 3 provtagningsstationer (Fig. 30) från 5,2 m till 2,6 m. Goda ackumulationsförhållanden noteras på de två stationerna med vattendjup > än 3 m. Den grundaste stationen (2,6 m) uppvisar tydlig E/T-botten. I skyddade områden kan dock ackumulation ske på mindre djup än 3,0 m. Strax öster om vändplatsen noterades A-botten på ca 3 m (Stn 8 och 9). Gränsen mellan ackumulation och transport/erosion kan i olika delar av fjärden ligga både djupare och grundare än 3 m beroende på vågexponeringen. Inga stora skillnader har dock konstaterats i olika delar av fjärden utan gränsen för A-bottnar kan antas ligga på  $3 \pm 0,5-1$  m.



Figur 30 Översiktlig bottendynamisk karta för den norra delen av Galten. Gränsen mellan å ena sidan A-bottnar och å andra sidan E- och T-bottnar har visats gå vid  $3 \pm 0,5-1$  m. Grundare än 3 m (E/T) representeras i kartan av den **mörkblå** ytan. Begränsningslinjer för undersökningsområdet representeras av **svarta** linjer.

### 4.2.4 Karaktärisering av undersökningsområdets sediment

Vattenhalt och glödgningsförlust är två grundläggande sedimentparametrar som ofta används för att separera ut ackumulationsbottnar (A-bottnar) från erosions- och transportbottnar (E/T-bottnar). En tumregel är att vattenhalten (W) i ytsediment bör vara > 75 % (Tab. 1) för att sedimentet skall kunna karaktäriseras som en A-botten (Håkanson and Jansson, 1983). På motsvarande sätt bör glödgningsförlusten (LOI) överstiga 10 % för att det med säkerhet skall

röra sig om A-bottensediment. Empiriska undersökningar i kustområden och insjöar (Jonsson et al., 2003), där sedimenttillväxten till stor del är beroende av hög erosion av gamla glacial- och postglacialeror, visar att A-bottnar uppträder med LOI-halter ända ned mot 5 %.

Tabell 1 Samband mellan vattenhalt (W) och glödningsförlust (LOI) i ytsediment och bottentyp (från Håkanson and Jansson, 1983).

<b>Bottentyp</b>	<b>W (% WS)</b>	<b>LOI (% TS)</b>
Erosionsbotten	0-50	<4
Transportbotten	50-80	4-10
Akkumulationsbotten	75-99	>10

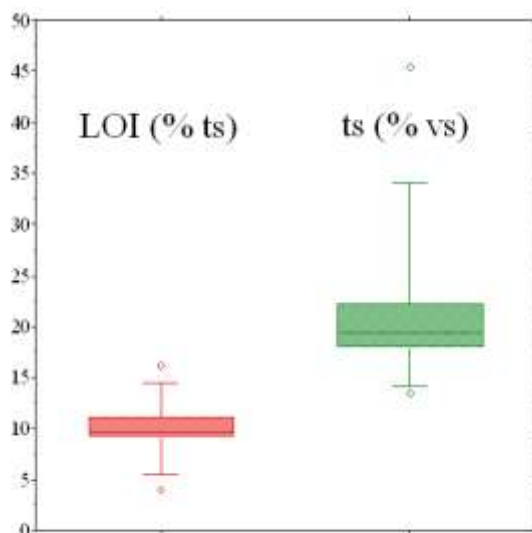
Data på vattenhalt, torrsbstanshalt, glödningsförlust och densitet i sedimenten har sammanställts i Tabell 2. Torrsbstanshalten i ytsedimenten varierar i ett ganska stort intervall mellan 13,4 och 45,4 % med ett medianvärde på 19,5 % (SD 8,3).

Tabell 2 Vattenhalt, torrsbstanshalt, glödningsförlust och densitet i undersökningsområdets ytsediment (0-2 och 0-5 cm) och 2 sedimentkärnor. Densiteten har beräknats enligt formel i Håkanson & Jansson (1983). Stationerna K5 och K6 har kombinerats till ett blandprov eftersom det var svårt att få tillräckligt mycket någorlunda recent sediment för miljögiftsanalysen.

	<b>Bottentyp</b>	<b>Vattendjup</b>	<b>Sedimentdjup</b>	<b>W</b>	<b>ts</b>	<b>LOI</b>	<b>LOI<sub>0</sub></b>	<b>Densitet</b>			
		(m)	(cm)	(% vs)	(% vs)	(% ts)	(% vs)	(ton/m <sup>3</sup> )			
K1	A	3,1	0-2	77,8	22,2	14,3	3,2	1,13			
K2	A	5,1	0-2	78,5	21,5	12,1	2,6	1,13			
K3	A	5,2	0-2	78,7	21,3	11,1	2,4	1,13			
K4	E	4,1	0-2	54,6	45,4	4,0	1,8	1,37			
K5/6	T	2,1/2,3	0-2	67,1	32,9	5,7	1,9	1,24			
K7	T	2,3	0-2	81,4	18,6	16,2	3,0	1,11			
K8	A	2,8	0-2	81,9	18,1	10,0	1,8	1,11			
K9	A	3,5	0-5	76,3	23,7	8,9	2,1	1,15			
			5-10	71,3	28,7	8,4	2,4	1,19			
			10-15	68,2	31,8	7,7	2,4	1,22			
			15-20	65,3	34,7	7,1	2,5	1,25			
			20-25	62,3	37,7	6,3	2,4	1,28			
			25-30	63,5	36,5	6,9	2,5	1,26			
			30-35	64,4	35,6	7,3	2,6	1,25			
			35-40	61,7	38,3	6,9	2,6	1,28			
K10	A	3,8	40-45	62,3	37,7	7,7	2,9	1,27			
			0-2	80,0	20,0	10,4	2,1	1,12			
			K11	A	7,9	0-2	82,0	18,0	9,5	1,7	1,11
			K12	A	8,3	0-5	77,3	22,7	8,3	1,9	1,15
						5-10	77,3	22,7	8,3	1,9	1,15
						10-15	76,1	23,9	7,8	1,9	1,16
						15-20	73,5	26,5	7,7	2,0	1,18
						20-25	71,2	28,8	7,7	2,2	1,20
25-30	72,0	28,0				7,6	2,1	1,19			
30-35	71,3	28,7				7,5	2,2	1,20			
K12	A	8,3	35-40	72,5	27,5	7,7	2,1	1,19			
			40-45	70,8	29,2	7,9	2,3	1,20			
			45-48	67,0	33,0	7,6	2,5	1,23			
K13	A	8,7	0-2	83,7	16,3	9,7	1,6	1,10			
K14	A	6,8	0-2	85,8	14,2	9,3	1,3	1,09			
K15	A	8,3	0-2	86,6	13,4	9,6	1,3	1,08			

Glödgningsförlusten varierar i ytsedimenten mellan 4,0 och 16,2 %. Medianvärdet är 9,7 % (SD 3,0) (Fig. 31). Den stora variationen beror på att prover tagits både från A- och E/T-bottnar.

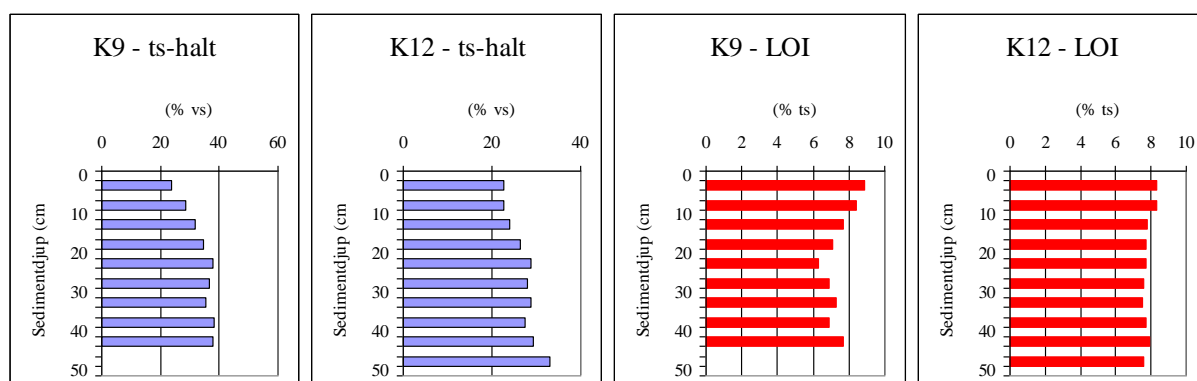
Utifrån Tabell 2 är det uppenbart att stationerna K4 och K5/6 att karaktärisera som E/T-bottnar. Även K7 har bedömts som T-botten utifrån fältiakttagelsen att ett löst recent sediment underlagras av en fast lera. Glödgningsförlusten i A-bottnarnas ytsediment är något lägre än vad Håkanson och Jansson (1983) angivit som norm. LOI-halter < 10 % är dock vanligt förekommande även i Östersjöns A-bottnar, framförallt i Bottniska viken.



Figur 31 Boxplot över glödningsförlust (LOI) och torrsbstanshalt (ts) i undersökningsområdets ytsediment (0-5 cm). Denna boxplot visar medianvärdet, 10, 25, 75 och 90 percentilerna liksom outliers som avviker mer än 80 % från medianvärdet.

Bedömningen är sålunda att samtliga stationer utom K4, K5, K6 och K7 (E/T-bottnar) är att karaktärisera som A-bottnar. Även på E/T-bottnar kan sedimentbundna föroreningar deponeras under perioder med lugna förhållanden.

Det framgår tveklöst från tabellen att de båda sedimentkärnorna från K9 och K12 utgörs av goda A-bottnar. Kärnorna uppvisar successiva ökning av ts-halten resp. minskningar av LOI med ökat sedimentdjup (Fig. 32).



Figur 32 Profiler av ts och LOI i sedimentkärnorna K9 och K12.

Utifrån side scan sonarundersökningen och kompletterande sedimentprovtagning framgår det att bottenssubstratet i de muddrade delarna av Djuphamnen och i farleden ofta utgörs av en mörk sulfidlera med ibland lite recent material på ytan (Fig. 33).





Figur 33 En mörk sulfidlera, med ibland lite recent material på ytan, är ett vanligt förekommande bottenstrukt i de muddrade delarna av Djuphamnen och i farleden ut mot Galten.

Vid tidpunkten för den kompletterande provtagningen (3-4 oktober 2012) i det planerade muddringsområdet var inte den slutgiltiga utformningen av muddringsarean känd. Kärnan som togs strax öster om vändplatsen ligger troligen i den del av området som skall muddras.

### 4.3 Föroreningar i sediment

För att undersöka eventuell samvariation mellan metaller, TBT och glödningsförlust har halldata från alla ytsedimentstationer sammanställts i en korrelationsmatris (Fig. 34). Värden med ett högre  $r^2$ -värde än 0,5 har i figuren noterats med grön färg för att uppmärksamma att det finns ett troligt samband. I figuren har även ett mycket högt  $r^2$ -värde noterats för krom/nickel och har därför rödmarkerats i tabellen. Alla dessa samband har sedan testats mot varandra i diagramform och granskats för att se om sambanden till stor del beror på enstaka extremvärden och s.k. outliers. Slutsatserna från denna kritiska granskning är att ett mycket tydligt positivt samband mellan krom och nickel kvarstår. Tydliga samband finns mellan arsenik och nickel respektive glödningsförlust och zink. Svaga samband finns för Cr/As, Cu/As, Cu/Cr och Hg/Cr. Vad gäller Ni/Hg, LOI/Cd och LOI/Hg berodde sambanden som noterats i Figur x av enstaka extremvärden och kvarstår inte efter granskningen.

Figur 34 Korrelationsmatris ( $r^2$ -värden;  $n=14$ ) för metaller, TBT och glödningsförlust (LOI) i ytsediment (0-2 och 0-5 cm) från Köpings hamn och Galten.

	As	Pb	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Zn	TBT	LOI
As	1									
Pb	0,02	1								
Cd	-0,16	-0,25	1							
Cu	-0,44	-0,01	0,21	1						
Cr	0,53	0,22	-0,05	-0,42	1					
Hg	-0,30	0,01	-0,15	0,04	-0,48	1				
Ni	0,55	0,18	-0,02	-0,37	0,96	-0,55	1			
Zn	-0,00	-0,01	0,18	0,11	0,07	-0,41	0,07	1		
TBT	-0,05	0,00	0,06	0,21	-0,04	-0,00	-0,08	0,10	1	
LOI	-0,00	-0,26	0,58	0,24	-0,00	-0,45	0,00	0,55	0,08	1

#### 4.3.1 Organiska ämnen

Även för organiska ämnen har halldata från alla ytsedimentstationer testats mot varandra i diagramform och granskats för att undersöka om samband finns mellan de olika organiska parametrarna. Tydliga samband finns naturligtvis mellan olika PAH-kongener och sPAH11. Mellan TBT och DBT finns ett starkt ( $r^2=0,91$ ) samband, medan sambandet mellan TBT och MBT är lågt ( $r^2=0,21$ ). Ett tydligt samband finns också mellan MBT och DBT ( $r^2=0,47$ ). För övriga parametrar finns dock inga entydiga samband.

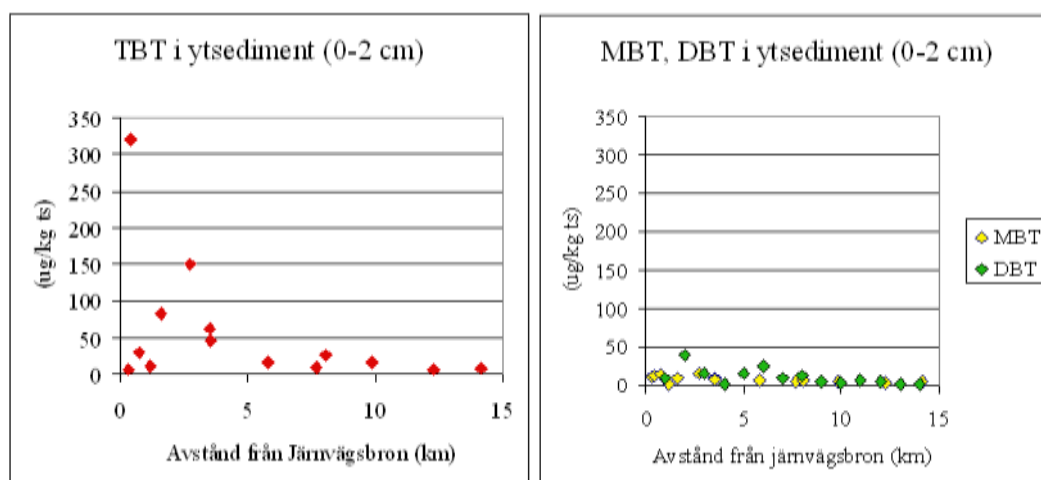
##### 4.3.1.1 Organiska tennföreningar

Halterna av tributyltenn (TBT) i ytsediment (0-2 och 0-5 cm) varierar ganska mycket i Köpings hamnområde (Tab. 3). Värden på 6,3 omväxlar med höga värden upp till 320  $\mu\text{g}/\text{kg}$  ts (Fig. 35). Det högsta värdet noterades i den inre hamnen och det näst högsta (150  $\mu\text{g}/\text{kg}$  ts) vid station K7.

Tabell 3 Halter av tributyltenn (TBT), dibutyltenn (DBT), monobutyltenn (MBT) och glödningsförlust (LOI) i Köpings hamnområde.

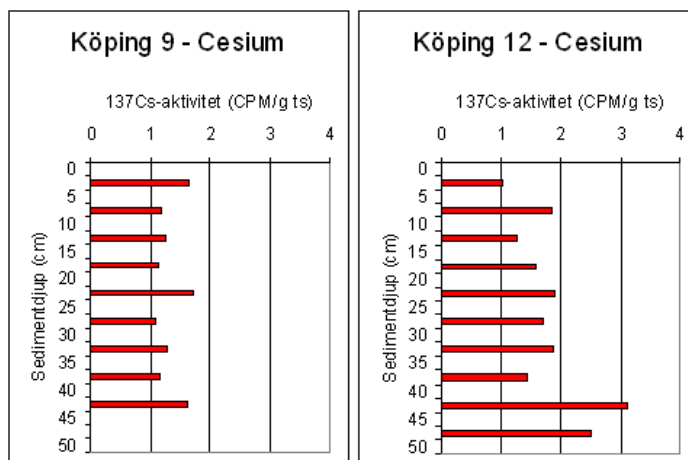
		K1	K2	K3	K4	K5/6	K7	K8	K9
ts	(% vs)	22,2	21,5	21,3	45,4	32,9	18,6	18,1	23,7
LOI	(% ts)	14,3	12,1	11,1	4	5,7	16,2	10	8,9
TBT	( $\mu\text{g}/\text{kg ts}$ )	6,3	320	29	12	83	150	47	63
DBT	( $\mu\text{g}/\text{kg ts}$ )	10	40	15	2	15	25	10	12
MBT	( $\mu\text{g}/\text{kg ts}$ )	11	13	14	1	9,2	16	8,8	7,9

Prover för bl.a. analys av organiska tennföreningar togs inte bara inne i Köpings hamnområde, utan även på Galten. Halterna av TBT, DBT och MBT ökar påtagligt in emot Köping (Fig. 35), där de högsta halterna uppmättes i den inre hamnen och djuphamnen.



Figur 35 Halter av TBT, DBT och MBT i ytsediment (0-2 och 0-5 cm) i förhållande till avståndet från Järnvägsbron.

Strax öster om vändplatsen och strax väster om farleden på ett avstånd av ca 4,5 km från vändplatsen togs sedimentkärnor med Geminihämtare. Kärnorna snittades och prover togs ut

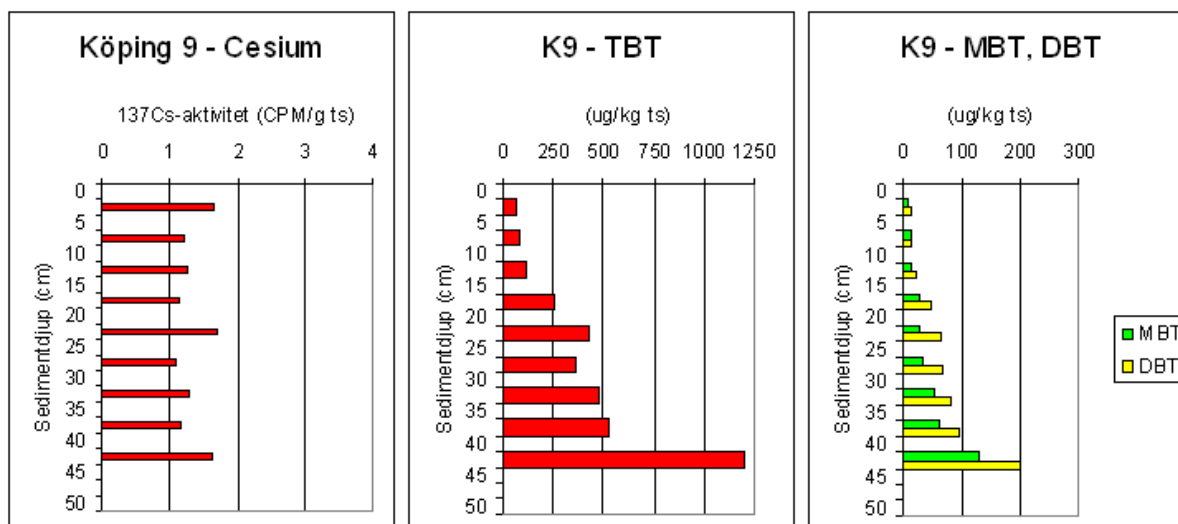


Figur x36 Datering av sedimentkärnor från strax öster om vändplatsen (Köping 9) och nära farleden ca 4,5 km sydost om vändplatsen (Köping 12).

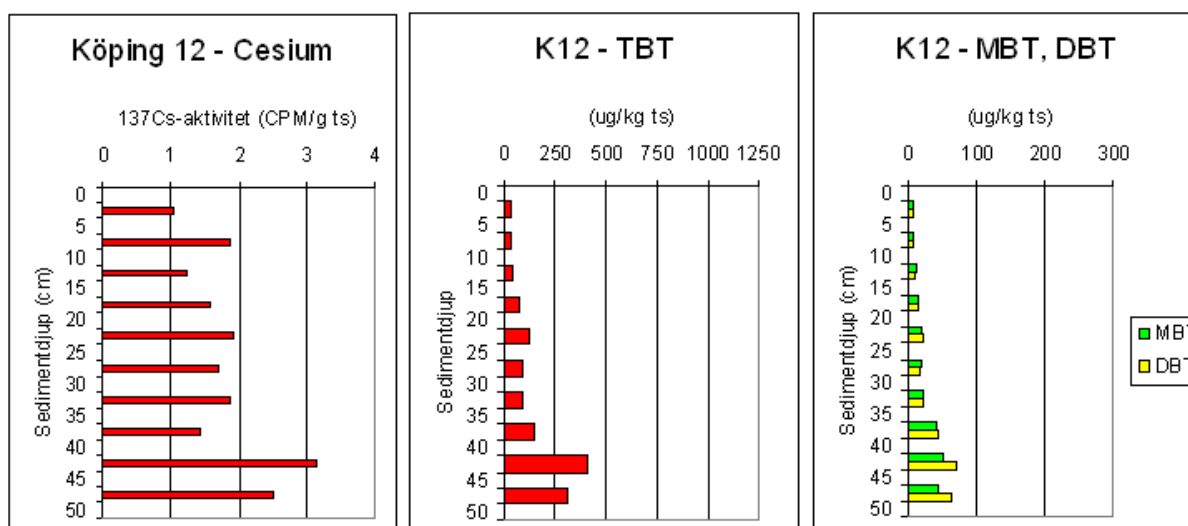
var femte centimeter. För att fastställa historiken daterades kärnorna med hjälp av  $^{137}\text{Cs}$ -datering (Fig. 36).  $^{137}\text{Cs}$ -aktiviteten i Köping 9 är i det närmaste konstant hela vägen ned i

kärnan. I Köping 12 ökar dock aktiviteten nedåt och det är troligt att piken vid 42,5 cm motsvarar tidpunkten för Tjernobylylockan 1986. Utifrån aktivitetsprofilen i Köping 9 är det troligt att 1986 ligger djupare än 45 cm som är totala längden på sedimentkärnan. Detta innebär att den kraftiga ökningen av organiska tennföreningar ned i kärnan K9 vid vändplatsen (Fig. 37) representerar tiden efter Tjernobylylockan 1986.

TBT uppvisar en mycket kraftig ökning med ökat sedimentdjup och når på 40-45 cm djup 1200 µg/kg ts. Även nedbrytningsprodukterna DBT och MBT visar samma fördelningsprofil och når halter på 200 resp. 130 µg/kg ts.



Figur 37  $^{137}\text{Cs}$ -profil tillsammans med halter av TBT, DBT och MBT i sedimentkärnan K9 från strax ost vändplatsen.



Figur 38  $^{137}\text{Cs}$ -profil tillsammans med halter av TBT, DBT och MBT i sedimentkärnan K12 från strax väst om farleden ca 4,5 sydost om vändplatsen.

Sedimentkärnan från strax väst om farleden på Galten (K12) 4,5 km sydost om vändplatsen visar en likartad  $^{137}\text{Cs}$ -fördelning, men det indikeras att 1986 skulle kunna ligga på 40-45 cm djup i denna kärna. Mycket likartad fördelningar noteras av såväl TBT, DBT som MBT nedåt i kärnan (Fig. 38) även om halterna är ca 3 gånger lägre härute för alla tre kongenerna. De

högsta halterna ligger på den nivå som troligen representerar tiden för Tjernobylyckan och är något lägre därunder.

Sannolikt nådde halterna av de organiska tennföreningarna i sedimentkärnorna maximala nivåer under 1980-talet, för att därefter avta i samband med att restriktioner infördes för deras användning som antifoulingfärger på skeppsskroven. TBT (tributyltenn) är klassat som ett av de prioriterade ämnena i vattendirektivet. Det förbjöds i båtbottnfärger för icke oceangående båtar under 25 meter i Sverige redan 1989, vilket tycks stämma väl överens med tidsskalan i de studerade sedimentkärnorna från Köping. För båtar > 25 m trädde liknande förbud i kraft inom EU under perioden 2003–2007. Sedan 2008 råder ett totalförbud mot TBT i båtbottnfärger. Förbudet har lett till att andra båtbottnfärger används idag men underliggande färglager kan fortfarande ge höga utsläpp.

De organiska tennföreningarnas viktigaste och mest omdebatterade användningsområde har varit som aktiva antifoulingsubstanser i båtbottnfärger. De har karaktäriserats som bland de mest toxiska föroreningarna som någonsin släppts ut i miljön (Müller et al., 1989; Stewart et al., 1992) och är följaktligen högprioriterade s.k. "hazardous substances" i såväl Östersjö- och Nordsjöområdet som i svenska inlandsvatten. Exponering av organismer för organiska tennföreningar har visat sig ge upphov till tydliga hormonstörningar hos ett antal organismer, innefattande framförallt imposex hos snäckor. Det som anses vara en av de allvarligare störningarna med bäring på reproduktionsstörningar, är utveckling av sexuella karaktärer, som t.ex. utveckling av penis hos honor av purpursnäckan (*Nucella lapillus*). I områden som saknar purpursnäckor används ofta strandsnäckan (*Littorina littorea*), som är vanlig i Östersjöområdet. Denna typ av effekter har hittats i områden med avsevärt lägre sedimenthalter av organiska tennföreningar än som registrerats i Köpings hamn.

Nedbrytningstiden för TBT varierar men i svenska vatten är det normalt med 1–5 år beroende på syretillgång. Vid ogynnsamma förhållanden kan halveringstiden i sediment vara så lång som 90 år. Omrörning av sedimenten på grund av exempelvis båttrafik ökar spridningen markant, liksom underhållsmuddringar i hamnar och marinor. Tillståndsgivning för muddring och dumpning styrs ofta av hur mycket TBT som finns på platsen.

Under 2000-talet har Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) haft i uppdrag att analysera organiska tennföreningar i våra havsområden. Resultaten har sammanställts i Tabell 15. I den övre delen av tabellen redovisas halterna av TBT i sediment från "opåverkade" havsområden och skärgårdar. TBT är en alltigenom antropogen förening och skall överhuvudtaget inte finnas i sediment. Det är därför mycket oroande att den finns i stort sett överallt och i vissa områden i halter som är nära eller över den nivå vid vilken subletala effekter i form av hormonstörningar kan förväntas uppstå. I marinor och hamnar är halterna avsevärt högre och i dessa områden är risken för betydande effekter överhängande. Halterna i Köpings hamnområde ligger generellt i det lägre haltintervallet för marinor/hamnar men är tillräckligt höga för att förtjäna uppmärksamhet.

Tabell 4. Koncentrationen av tributyltenn (TBT) i ytsediment från svenska kustområden, marinor och hamnar. Om annat inte anges är data från Cato (2003, samt opubl.).

<b>Område</b>	<b>Antal</b>	<b>TBT</b> ( $\mu\text{g}/\text{kg ts}$ )	<b>Referens</b>
<b><i>Kustområden</i></b>			
Bohuskusten, Skagerrak	21	1 - 86	
Hallandskusten, Kattegat	11	<1 - 11	
Öresund		5-14	OSPAR / MON,
Sydskusten, SW Östersjön	10	<1 - 25	
Öppet hav svensk EEZ	16	<1 - 110	
Smålandskusten	2	39 - 78	
Sörmlands skärgård	11	4 - 40	
Stockholms skärgård	42	<1 - 99	
<b><i>Marinor</i></b>			
Rönnängs marina	1	69	Jacobsen, 1998
Dyröns marina	1	150	
Åstols marina	1	350	
Björlanda Kile marina	2	1 700	
Strömstads marinor	3	170 - 400	
Grebbestads marina	1	820	
6 st marinor i Stockholm	6	380 – 4 300	
Oxelösunds marina	1	8 100	
<b><i>Hamnar</i></b>			
Berga örlogsbas	4	<1-76	
Muskö örlogsbas	1	20 - 220	
Glommens fiskehamn	1	22	
Oxelösunds fiskehamn	1	130 – 2 000	
Scanraffs produkthamn, Brofjorden	2	160 - 230	
Göteborgs hamnar	6	540 – 6 400	
Uddevalla hamn, Byfjorden	1	550	
Studseröds varv, Saltkällefjorden	1	1 000	
Trelleborgs hamn	1	1 400	
Falkenbergs hamn	5	39 - 2600	
Helsingborgs hamn	4	74 - 120	
Simrishamns hamn	1	2 400	
Norrtälje hamn	2	130 - 1300	
Hälleviks hamn	1	730 - 1800	
Skelleftehamn	1	320	
Umeå hamn (Hörnefors)	1	42	
Karlsborgs hamn	1	72	

I samband med framtagande av nya bedömningsgrunder för organiska ämnen i sediment gjordes en genomgång av effektbaserade riktvärden och triggervärden för miljögifter i marina sediment (Naturvårdsverket 2011, remissversion; Lilja 2011). En typ av parameter som är framtagen för bedömning av ett sediments giftighet för sedimentlevande organismer (bentisk toxicitet) är riktvärde för sediment och representerar den halt av ett ämne som inte förväntas ge upphov till negativa effekter på dessa organismer. För TBT är riktvärdet så lågt som 0,011  $\mu\text{g}/\text{kg ts}$

De s.k. Triggervärdena har tagits fram för att skydda inte bara sedimentlevande organismer utan även skydda vattenlevande organismer, samt toppredatorer och människa från indirekt förgiftning. Triggervärdena har beräknats utifrån EQS-direktivets övergripande gränsvärde eller det övergripande gränsvärde som presenterats i NV rapport 5799 (i vissa fall utifrån ett uppdaterat dataunderlag). Triggervärdet är tänkt att vara en gräns ovanför vilken särskild försiktighet bör vidtagas. För TBT är triggervärdet detsamma som riktvärdet (0,011 µg/kg ts) och visar hur allvarligt man ser på TBT-förorening i sediment. Utifrån detta synsätt ligger halterna i Köpings hamn mycket över den haltnivå vid vilken effekter kan tänkas uppstå.

Medelhalten av TBT i Köpings hamn är 89 µg/kg ts med ett maxvärde på 320 µg/kg ts. Miljööverdomstolen föreskrev i samband med provning av muddring i Norrtälje hamn (MÖD 2007:12) att endast muddermassor med lägre halt TBT än gränsvärdet 200 µg/kg ts fick dumpas och att massor med högre halt TBT skulle omhändertas på land. Sedan 2007 har detta blivit praxis i miljödomstolarna. Emellertid är bedömningarna av TBT: s farlighet mycket olika i olika länder. I Finland liksom i Sverige är det tillåtet att dumpa sediment med TBT-halter under 200 µg/kg ts i havet, medan gränsen i Belgien är så låg som 7 µg/kg ts.

Våra resultat av studier av sedimentkärnor visar vidare att halterna av organiska tennföreningar är mycket höga längre ned i kärnorna på nivåer som motsvarar 1980-talet. Halterna är så höga att de under alla förhållanden kräver särskilt omhändertagande av muddermassor från dessa områden. För att ytterligare klarlägga förhållandena i eventuella A-bottnar omedelbart intill farleden som avses att muddras för att bredda leden diskuteras att genomföra kompletterande provtagning så snart isen gått i vår.

#### 4.3.1.2 Polyaromatiska kolväten - PAH

Tabell 30 i naturvårdsverkets Rapport 4914 har reviderats (se NV:s hemsida) och klassgränserna för sPAH11 redovisas i Tabell 6. I tabellen anges att klass 1 skall motsvara "Ingen halt". Från retrospektiva studier av långa sedimentkärnor har dock visats att polyaromatiska kolväten naturligt har bildats i låga halter långt tillbaka i tiden. I tabellen ges dock inga jämförelser på dessa ämnen utan halten förutsätts vara noll i miljön.

Tabell 6 Klassning av sPAH11 grundad på reviderad tabell i NV Rapport 4914. Den reviderade tabell 30 i NV: s rapport kan laddas ned från Naturvårdsverkets hemsida ([www.naturvardsverket.se](http://www.naturvardsverket.se)).

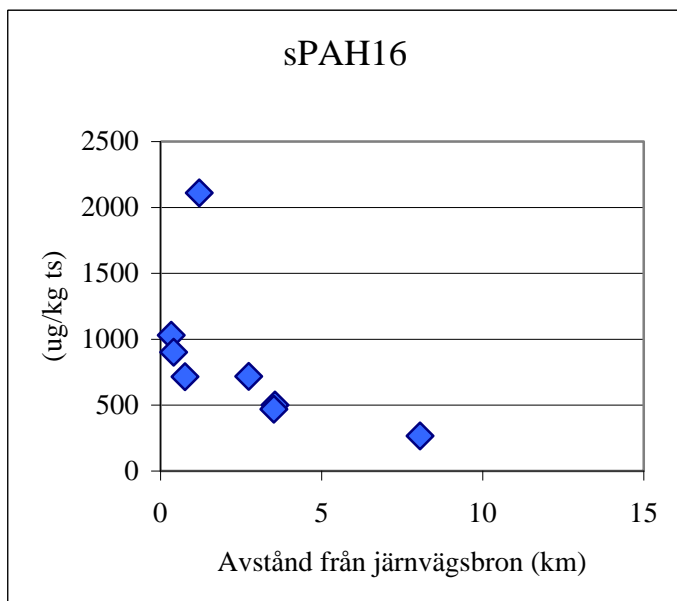
	Klass 1 Ingen halt (µg/kg ts)	Klass 2 Låg halt (µg/kg ts)	Klass 3 Medelhög halt (µg/kg ts)	Klass 4 Hög halt (µg/kg ts)	Klass 5 Mycket hög halt (µg/kg ts)
sPAH 11 (µg/kg ts)	0	0-280	280-800	800-2500	> 2500

Halterna av polyaromatiska kolväten (sPAH11) har klassificerats efter Tabell 6 och är höga i 3 av 8 analyserade prover från Köpings hamn (Tab. 7). Medelhöga halter har noterats i övriga prover utom i den kombinerade stationen K5/6 där detektionsgränsen är för dålig för att medge klassning.

Tabell 7 Resultat av klassning utifrån Tabell x för sPAH11 i Köpings hamnområde.

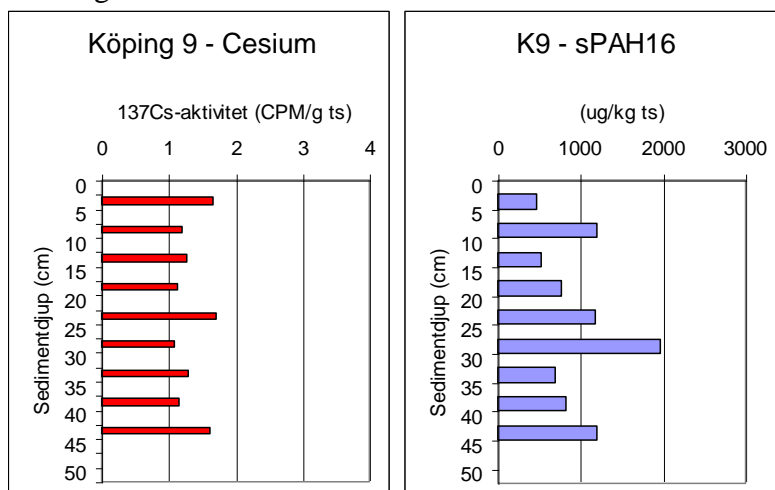
		K1	K2	K3	K4	K5/6	K7	K8	K9
ts	(% vs)	22,2	21,5	21,3	45,4	32,9	18,6	18,1	23,7
LOI	(% ts)	14,3	12,1	11,1	4	5,7	16,2	10	8,9
sPAH11	(µg/kg ts)	968	821	655	1993	<1000	634	441	416

En gradient indikeras med ökande sPAH16-halter in emot Köping (Fig. 39) även om materialet är litet från fjärden Galten.



Figur 39 Halter av sPAH16 i ytsediment (0-2 cm) i förhållande till avståndet från Järnvägsbron.

Även om halten av sPAH11 är att karakterisera som medelhög på station K9 intill vändplatsen (Fig. 40) är halterna avsevärt högre längre ned i kärnan och är på flera nivåer att karakterisera som hög halt.



Figur 40 Halter av sPAH11 i sedimentkärnan K9 från strax ost om vändplatsen.



### 4.3.1.3 Alifater

Av de alifatiska kolvätena är det endast de tunga alifatiska kolväten C16-C35 som har halter över detektionsgränsen (Tab. 7).

Tabell 7 Detektionsgränser för olika fraktioner av alifatiska kolväten

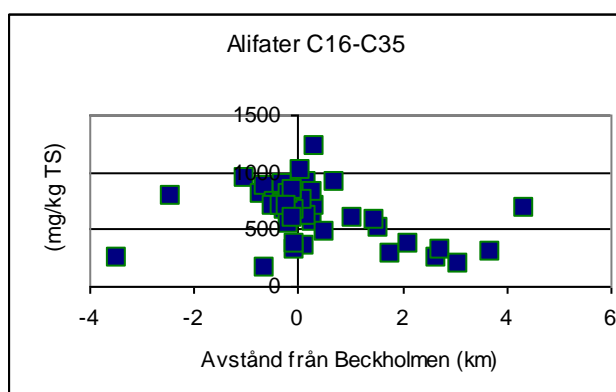
Parameter	Detektionsgräns
alifater >C8-C10	3,0 mg/kg ts
alifater >C10-C12	5,0 mg/kg ts
alifater >C12-C16	5,0 mg/kg ts

Halterna är låga eller måttliga (33-69 mg/kg ts) i djuphamnsområdet. (Tab. 8) medan halterna är avsevärt mycket högre i den inre hamnen (220-300 mg/kg ts). De tänkbara källorna är via Köpingsån, från fritidsbåtarna i inre hamnen eller via dagvatten som mynnar i området.

Tabell 8 Halter av tunga alifatiska kolväten (C16-C35) i det planerade muddringsområdet

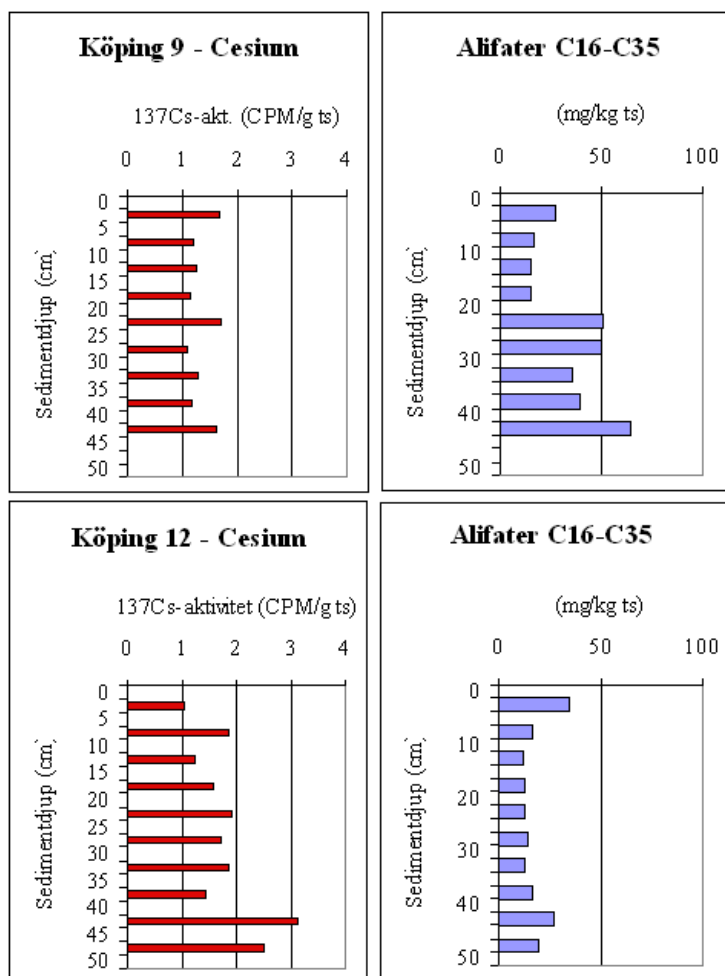
		K1	K2	K3	K4	K5/6	K7	K8	K9
ts	(% vs)	22,2	21,5	21,3	45,4	32,9	18,6	18,1	23,7
LOI	(% ts)	14,3	12,1	11,1	4	5,7	16,2	10	8,9
Alif. C16-C35	(mg/kg ts)	220	270	300	65	69	33	39	28

Detta kan jämföras med halter från t.ex. Saltsjön i centrala Stockholm (Fig. 41) där halterna av tunga alifatiska kolväten C16-C35 varierar mellan 150 och 1230 mg/kg ts med ett medianvärde på 665 mg/kg ts. Detta är 10-20 gånger högre än i Köpings djuphamn men endast drygt tre gånger högre än i den inre hamnen. Bedömningen är att de alifatiska kolvätena inte utgör någon betydande sedimentförorening i de planerade muddringsområdena i Djuphamnen. Om muddring skall företagas i den inre hamnen bör dock de förhållandevis höga halterna beaktas.



Figur 41 Halter i ytsediment (0-2 cm) av alifater C16-C35 i Saltsjön i förhållande till avståndet från Beckholmen i centrala Stockholm. Minusvärden på avståndet representerar stationer i den västra halvcirkeln från Beckholmen, plusvärden representerar den östra halvcirkeln. (Från Jonsson 2010).

Halterna av tunga alifater (C16-C35) i ytsedimenten är ungefär lika i kärnan från vändplatsen som i kärnan från längre ut längs farleden. En bit ned i kärnorna är dock halterna påtagligt högre i kärnan från vändplatsen (Fig. 42). Halterna är dock låga i jämförelse med situationen i Saltsjön i Stockholm.



Figur 42 Halter av alifater (C16-C35) i kärnor från station K9 och K12.

### 4.3.2 Metaller

Som underlag för bedömning av föroreningsituationen i Köpings hamn har 8 ytsedimentprover analyserats med avseende på innehåll av föroreningar. Ett urval av metaller samt ts och LOI redovisas i Tabell 9.

Tabell 9 Halter av ts, LOI och metaller i ytsediment (0-2 cm) i Köpings hamn.

		<b>K1</b>	<b>K2</b>	<b>K3</b>	<b>K4</b>	<b>K5/6</b>	<b>K7</b>	<b>K8</b>	<b>K9</b>
<b>ts</b>	(% vs)	22,2	21,5	21,3	45,4	32,9	18,6	18,1	23,7
<b>LOI</b>	(% ts)	14,3	12,1	11,1	4	5,7	16,2	10	8,9
<b>As</b>	(mg/kg ts)	4,3	4,6	4,6	4	< 5,5	6	6,2	5,9
<b>Pb</b>	(mg/kg ts)	29	33	34	34	33	31	36	37
<b>Cd</b>	(mg/kg ts)	0,7	0,63	0,53	0,45	0,65	0,62	0,51	0,55
<b>Co</b>	(mg/kg ts)	19	20	21	11	12	18	20	21
<b>Cu</b>	(mg/kg ts)	48	47	47	37	40	37	39	43
<b>Cr</b>	(mg/kg ts)	34	42	46	33	33	39	53	54
<b>Hg</b>	(mg/kg ts)	0,065	0,097	0,099	0,24	0,068	< 0,047	0,071	0,079
<b>Ni</b>	(mg/kg ts)	23	25	29	20	20	28	33	35
<b>Zn</b>	(mg/kg ts)	250	270	290	150	200	200	220	230

#### 4.3.2.1 Klassning av metallhalter

För att klassificera föroreningsgraden har vi utgått från principen med jämförvärden grundad på förindustriella värden från NV Rapport 4914. Nedan redovisas haltintervallen som grundar sig på förindustriella värden som tagits fram av SGU i samband med framtagning av Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för kust och hav. Dessa värden kan antas även representera situationen i Mälarens förindustriella sediment. Avvikelseklassningen (Tab. 10) har gjorts enligt tabell 36 i NV Rapport 4914.

Tabell 10 Klassning utifrån principen med jämförvärden grundad på förindustriella värden från NV Rapport 4914. 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)
Arsenik	≥ 10	11-17	18-28	29-45	≥ 46
Kadmium	≥ 0,2	0,3-0,5	0,6-1,2	1,3-3	≥ 3,1
Kobolt	≥ 12	13-20	21-35	36-60	≥ 61
Krom	≥ 40	41-48	49-60	61-72	≥ 73
Koppar	≥ 15	16-30	31-60	61-120	≥ 121
Kvicksilver	≥ 0,04	0,05-0,12	0,13-0,4	0,5-1	≥ 1,1
Nickel	≥ 30	31-45	46-66	67-99	≥ 100
Bly	≥ 25	26-40	41-65	66-110	≥ 111
Zink	≥ 85	86-128	129-204	205-357	≥ 358

Utifrån klassgränserna i tabellen ovan har sedimentproverna från Köpings hamn klassats (Tab. 11). Halterna av arsenik, nickel och bly uppvisar ingen eller obetydlig avvikelse från jämförvärdet. Kadmium, kobolt, koppar, krom och kvicksilver har liten eller tydlig avvikelse.

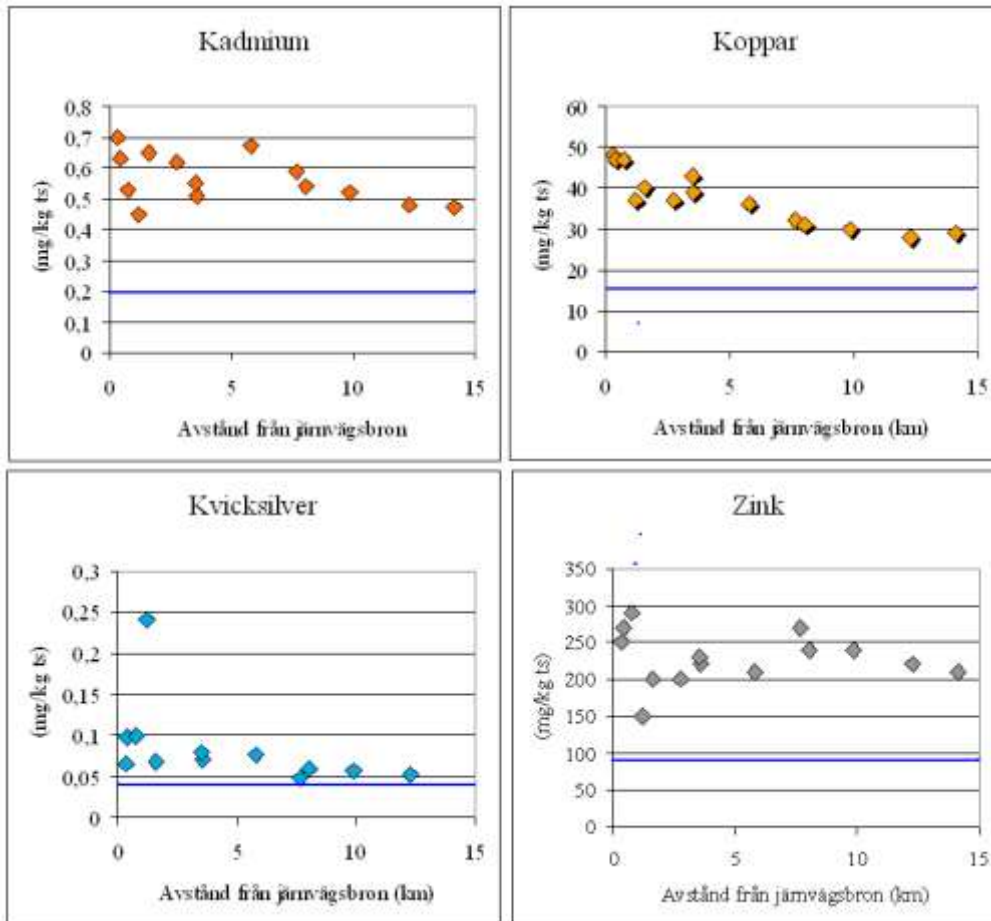
Tabell 11 Resultat av klassning enligt jämförvärden (NV Rapport 4914) för det tilltänkta muddringsområdet.

		<b>K1</b>	<b>K2</b>	<b>K3</b>	<b>K4</b>	<b>K5/6</b>	<b>K7</b>	<b>K8</b>	<b>K9</b>
ts	(% vs)	22,2	21,5	21,3	45,4	32,9	18,6	18,1	23,7
LOI	(% ts)	14,3	12,1	11,1	4	5,7	16,2	10	8,9
As	(mg/kg ts)	4,3	4,6	4,6	4	< 5,5	6	6,2	5,9
Pb	(mg/kg ts)	29	33	34	34	33	31	36	37
Cd	(mg/kg ts)	0,7	0,63	0,53	0,45	0,65	0,62	0,51	0,55
Co	(mg/kg ts)	19	20	21	11	12	18	20	21
Cu	(mg/kg ts)	48	47	47	37	40	37	39	43
Cr	(mg/kg ts)	34	42	46	33	33	39	53	54
Hg	(mg/kg ts)	0,065	0,097	0,099	0,24	0,068	< 0,047	0,071	0,079
Ni	(mg/kg ts)	23	25	29	20	20	28	33	35
Zn	(mg/kg ts)	250	270	290	150	200	200	220	230

Den metall som avviker mest från jämförvärdet är zink, som karakteriseras av tydlig eller stor avvikelse från jämförvärdet.

#### 4.3.2.2 Areell utbredning av metaller

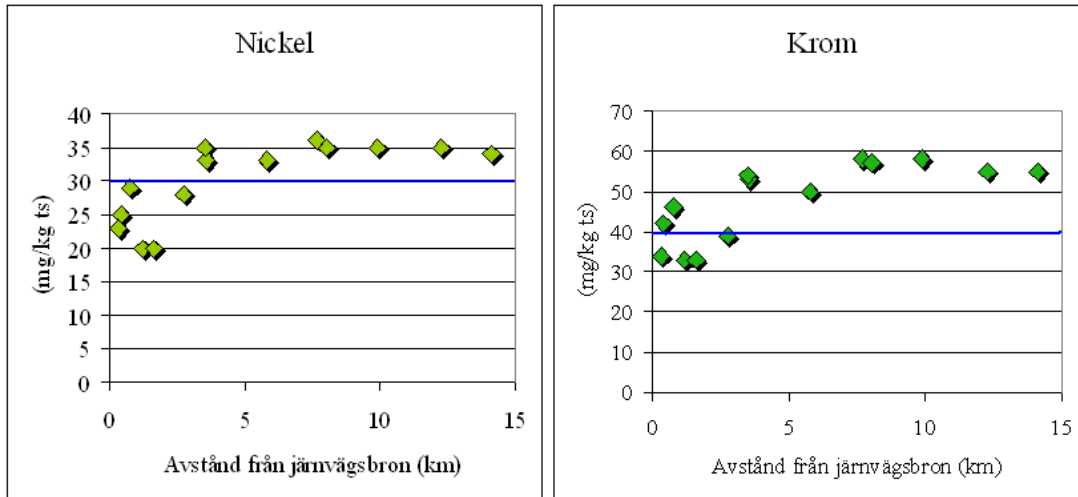
Halterna av koppar, kadmium och kvicksilver ökar påtagligt från Galten in mot Köping. Relativt tydliga gradienter kan noteras ut på Galten i runda tal 7-8 km räknat från



Figur 42 Halter av metaller i ytsediment (0-2 cm) i förhållande till avståndet från Järnvägsbron.

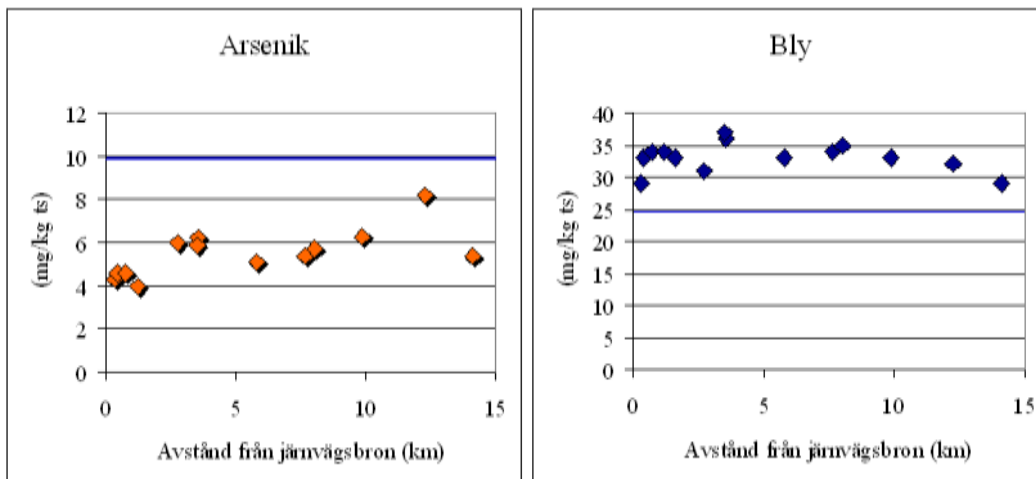
järnvägsbron (Fig. 42). Ökningen är i runda tal en fördubbling vad gäller koppar och kvicksilver medan kadmium ökar med ca 50 %. Zinkhalterna har ett något annorlunda förlopp och uppvisar ett otydligare mönster med stor avvikelse från jämförvärdet i Inre hamnen och vid vändplatsen. Även mitt ute på Galten har halterna stor avvikelse från jämförvärdet. Halterna är ungefär lika höga idag som 2003, då en undersökning gjordes av metallbelastningssituationen utanför Kungsör och ute på Galten (Karlsson och Jonsson 2004).

Nickel och krom (Fig. 43) uppvisar ett helt annat mönster med halter nära eller under jämförvärdet i Köpings närhet och upp till 2 ggr högre halter ute på Galten. Våra resultat beträffande krom och nickel från Galten stämmer väl överens med 2003 års resultat (Karlsson och Jonsson 2004). Fördelningsmönstren i Figur 42 konfirmerar det starka samband som visats i korrelationsmatrisen (Fig. 34).



Figur 43 Halter av metaller i ytsediment (0-2 cm) i förhållande till avståndet från Järnvägsbron.

Arsenik och bly (Fig. 44) uppvisar ett mönster som inte tyder på någon betydande källa i Köping. Halterna är under eller strax över jämförvärdena.



Figur 44 Halter av metaller i ytsediment (0-2 cm) i förhållande till avståndet från Järnvägsbron.

## 5 SAMMANFATTANDE SLUTSATSER

Sjökortets djupinformation stämmer dåligt med det uppmätta djupet:

- i den innersta delen av inre hamnen.
- utanför sjöbodarna på den norra stranden
- strax innan den första kröken - avsevärt djupare parti med något mer än 5 meters vattendjup.
- vid den andra kröken på norra sidan - ett grundare parti med djup på drygt 3 meter att jämföras med 4,5 m enligt sjökortet
- strax innan vidgningen till Djuphamnen - ett kort parti med endast 1,5-2 m.

Djupkartan över Djuphamnen visar att vattendjupet är större än 7 m i stora delar av hamnområdet och mer än 7,5-8 m i närheten av kajerna. På förhållandevis stora områden är djupet större än 8 m och i en håla nära kajerna uppmättes mer än 11 m.



Våra mätningar på Galten gav ett allmänt intryck att vattendjupet i stora delar av fjärden är mindre än vad som anges i sjökortet. En betydande årlig sedimenttillväxt kan ha lett till att vattendjupet har minskat med upp till 0,5-0,9 m i stora delar av fjärden sedan sjömätningarna utfördes.

Många iakttagelser har gjorts från side scan sonarunderlaget. Följande har noterats:

- I den inre delen av inre hamnen syns tydligt bojar, stolpar och bryggnockar.
- Tydliga kanter av muddringsbranter återfinns överallt i gränsen av de muddrade områdena i såväl Djuphamnsområdet som Vändplatsen och längs farleden ut mot Galten.
- På några platser längs farleden på Galten kan man se ljusa spår i de annars mörkare områdena som representerar ackumulationsbottnar. Dessa uppkommer genom att fartyg med djupgående ned mot drygt 6 m som passerar genom vattenområden med marginellt större vattendjup ger upphov till tryckvågor som spolats bort det mjuka finkorniga materialet.
- Längs kajen i Djuphamnen finner man en stor mängd mindre ekon som har identifierats som fendertar av däck som lossnat från kajen och sjunkit strax utanför.

Gränsen mellan ackumulationsbottnar (A-bottnar) å den ena sidan och erosions-/transportbottnar (E/T-bottnar) å den andra går vid  $3 \pm 0,5-1$  m.

Halterna av tributyltenn i ytsediment varierar ganska mycket i Köpings hamnområde mellan 6,3 och 320  $\mu\text{g}/\text{kg}$  ts. Halterna av TBT, DBT och MBT ökar påtagligt från Galten in emot Köping

TBT uppvisar en mycket kraftig ökning med ökat sedimentdjup i en daterad sedimentkärna i omedelbar närhet av vändplatsen och når på 40-45 cm djup 1200  $\mu\text{g}/\text{kg}$  ts. Mycket likartad fördelning noteras av såväl TBT, DBT som MBT även i en kärna 4,5 km från vändplatsen. Halterna är här ca 3 gånger lägre för alla tre kongenerna. Halterna är så höga att de kräver särskilt omhändertagande av muddermassor från dessa områden.

Halterna av polyaromatiska kolväten är höga i 3 av de 8 analyserade prover från Köpings hamn. Medelhöga halter har noterats i övriga prover. Även i kärnan från station K9 intill vändplatsen är halterna höga en bit ned i kärnan.

Halterna av tunga alifatiska kolväten är låga eller måttliga i djuphamnsområdet medan halterna är avsevärt mycket högre i den inre hamnen.

Halterna av arsenik, nickel och bly uppvisar ingen eller obetydlig avvikelse från jämförvärdet i Köpings hamn. Kadmium, kobolt, koppar, krom och kvicksilver har liten eller tydlig avvikelse. Den metall som avviker mest från jämförvärdet är zink, som karaktäriseras av tydlig eller stor avvikelse från jämförvärdet.

Med tanke på de strikta bedömningsgrunderna inom ramen för EU:s vattendirektiv bör försiktighet iakttas vid omhändertagande av vissa muddermassor från Köpings hamn. Detta gäller massor med höga halter av organiska tennföreningar, vissa tungmetaller och i viss mån polyaromatiska kolväten.

## REFERENSER

- Cato, I., 2003. Organotin compounds in Swedish sediments - an overlooked environmental problem. FoU-seminarium vid SGU 11-12 mars 2003, Dokumentation. Geological Survey of Sweden, SGU-rapport 2003:4, s 6-8.
- Cato, Ingemar, Sveriges Geologiska Undersökning - SGU, Uppsala. Opublicerat material.
- 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.
- Jacobsen, J.A., 1998. Organotin species in sediments: Dyrön, Rönnäng and Åstol. National Environmental Research Institute of Denmark. Laboratory Report, 3 p.
- Jonsson, P., 2010. Spridning av föroreningar från Beckholmen - Sediment-undersökning i Stockholms hamn. Rapport JP Sedimentkonsult.
- Jonsson, P., 2013. Sedimentbundna föroreningar från Västerås - Bottenundersökning i Västeråsfjärden. Rapport JP Sedimentkonsult 2013:01, 50 sid.
- Jonsson, P., 2012. Bottenkartering av Västeråsfjärden. Rapport JP Sedimentkonsult 2012:01, 39 sid.
- Jonsson, P. & Karlsson, M.O., 2005. Sedimenttillväxt på ammunitionsdumpnings-platser i Mälaren – datering genom varvräkning och <sup>137</sup>Cs-aktivitet. Rapport för Forsvarsmakten, HKV GRO. 29 sid.
- Jonsson, P., Carman, R. and Wulff, F., 1990. Laminated sediments in the Baltic - A tool for evaluating nutrient mass balances. *Ambio* Vol. 19 No. 3, May 1990, p 152-158.
- Jonsson, P. (Red.), Persson, J. och Holmberg, P., 2003. Skärgårdens bottnar. Naturvårdsverket Rapport 5212, Stockholm, ISBN 91-620-5212-8, ISSN 0282-7298, 112 sid. English summary.
- Karlsson, M. & Jonsson, P., 2004. Förekomsten av metaller och cyanid i Galtens bottensediment, Rapport för Bodycote Ytbehandling AB, Kungsör. 30 sid.
- Lilja, K., 2011. Effektbaserade riktvärden och triggervärden för miljögifter i marina sediment. Rapport som underlag för remissversion av revidering av bedömningsgrunder för organiska föroreningar i kust och hav. Naturvårdsverket.
- Meili, M., Jonsson, P., Lindström, M. and Holmberg, P. (2000): Accumulation of Chernobyl Cs-137 in coastal archipelagos of the Baltic Sea. In: Nielsen, S.P., The radiological exposure of the population of the European Community to radioactivity in the Baltic Sea. Marina-Balt project. Proceedings of a seminar held at Hasseludden Conference Centre, Stockholm, 9 to 11 June 1998. EUR 19200 EN, ISBN 92-828-7864-3, p 415-420.
- Müller, M.D., Renberg, L. and Rippen, G., 1989. Tributyltin in the environment - sources, fate and determination: an assessment of present status and research needs. *Chemosphere* 18:2015-2042.
- MÖD 2007:12. Miljööverdomstolens dom.
- Naturvårdsverket, 1999. Rapport 4914. Bedömningsgrunder för miljö kvalitet - Kust och hav. Naturvårdsverket, Stockholm, ISBN 91-620-4917-8, ISSN 0282-7298, 136 sid.
- Naturvårdsverket, 2008. Rapport 5799. Förslag till gränsvärden för särskilda förorenande ämnen. Stöd till vattenmyndigheterna vid statusklassificering och fastställande av MKN. ISBN 978-91-620-5799-2.pdf. ISSN 0282-7298. Elektronisk publikation, 123 sid.
- Naturvårdsverket, 2011. Remissversion av revidering av Bedömningsgrunder för miljö kvalitet Kust och hav.
- OSPAR / MON Ad Hoc Group on Monitoring, 2001. Summary record.
- 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.

- Stewart, C., de Mora, S.J., Jones, M.R.L. and Miller, M.C., 1992. Imposex in New Zealand neogastropods. *Mar. Pollut. Bull.* 24:204-209.
- Thomas, K.V., Blake, S.J. and Waldock, M.J., 2000. Antifouling paint booster biocide contamination in UK marine sediments. *Mar. Pollut. Bull.* 40:739-745.
- Tabell 30 i naturvårdsverkets Rapport 4914 har reviderats (se NV:s hemsida)
- Winterhalter, B., 1998. The Gemax corer for soft sediments, 9 sid. Geological Survey of Finland, Espoo. <http://www.kolumbus.fi/boris.winterhalter/GEMAX.pdf>

BILAGOR **SENARE**