



Metalltransporter från Oskarshamns hamn

Analys av befintliga metall- och vattenomsättningsberäkningar

Rapport nr O-hamn 2004:7

Oskarshamns kommun

Mars 2005

Ulla Bergström¹

Studsvik RadWaste AB

¹ Projektstöd inom sedimentologi

Sammanfattning

Denna studies målsättning har varit att granska tidigare gjorda beräkningar av vattenomsättning och metalltransport i Oskarshamns hamn. De tidigare undersökningarna är vad gäller vattenomsättning gjorda av SMHI och vad gäller transport av metaller av SWECO.

I vattenomsättningsberäkningarna utgår man från en modell där vattenvolymen delas upp i många små delvolymmer. Modellen använder sig sedan av data över vindhastigheter, vindriktning och sötvattensinflöde för att simulera vattnets flöde och omsättning. Vattenomsättningen visar stor variation över året och speciellt under sommarperioden är flödena låga. De använda medelvindhastigheterna är mycket låga, vilket kan vara en förklaring och kan således ge en underskattning av omsättningen. Troligen har också låg upplösning i tiden vad gäller modellens randvillkor för temperatur och salthalt bidragit till en låg skattning av vattenomsättningen.

För att modellera metalltransport har det antagits att uppmätta metallhalter i vattnet beror på vattenomsättning och vattentemperatur. Med hjälp av regression och korrelationsanalys har metallhalterna i vattnet beräknats. Den använda modellen ger för låga korrelationskoefficienter för att kunna säkerställa sambandet mellan koncentration, flöde och temperatur. Enkla transportberäkningar som utförs med medelvärden över halter och flöden ger i princip samma resultat som modellen. De beräkningar som gjorts av metalltransporten är i sig rimliga, men en underskattad vattenomsättning leder också till en underskattad metalltransport.

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING	2
1 BAKGRUND.....	4
2 FRÅGESTÄLLNING OCH SYFTE	4
3 METODER	5
3.1 VATTENOMSÄTTNING.....	5
3.2 METALLTRANSPORT	5
4 VATTENOMSÄTTNING	6
4.1 BESKRIVNING AV GENOMFÖRDA UTREDNINGAR.....	6
4.1.1 <i>Modellområde</i>	6
4.1.2 <i>Gridnät och tidssteg</i>	7
4.1.3 <i>Processer och data</i>	7
4.2 RESULTAT	8
4.2.1 <i>Valideringar</i>	8
4.2.2 <i>Processer</i>	8
4.2.3 <i>Data</i>	8
4.2.4 <i>Beräknade vattenflöden</i>	10
4.2.5 <i>Förändring av vattenflödena</i>	10
4.3 DISKUSSION	11
5 METALLTRANSPORT	12
5.1 BESKRIVNING AV GENOMFÖRDA UTREDNINGAR.....	12
5.1.1 <i>Koncentrationsmodellen</i>	12
5.1.2 <i>Transportberäkningar</i>	13
5.2 RESULTAT	13
5.2.1 <i>Data och korrelationer</i>	13
5.3 DISKUSSION	14
6 SLUTSATSER.....	17
6.1 VATTENOMSÄTTNING.....	17
6.2 METALLTRANSPORT	17
REFERENSER	18
BILAGA A	19

1 Bakgrund

Vattnet och sedimenten i Oskarshamns hamn är kraftigt förorenade av metaller, främst pga. utsläpp från tidigare industriverksamhet i området. Hur stor miljöpåverkan detta har är osäkert. För att kunna fatta ett beslut om en handlingsplan har ett antal studier genomförts för området, både för att klarlägga miljöpåverkan och utreda möjliga åtgärder.

SMHI har med hjälp av den tredimensionella strömningsmodellen PHOENICS utfört vattenomsättningsberäkningar för Oskarshamns hamnbassäng [Nordblom, Ambjörn och Svensson, 1998, Svensson och Erlandsson, 1998 samt Svensson, 2000]. Syftet med beräkningarna har varit att få fram vattenflödesdata för att beräkna uttransporten av metaller från bassängen. Den använda modellen löser numeriskt de balans- och transportekvationer som beskriver vätskors rörelse i tre dimensioner och variationer med tiden. Modellen drivs av vindobservationer från Ölands norra udde samt av beräknade dygnsmedelvärden av sötvattenutflödet från Döderhultsbäcken. Med hjälp av dessa beräknas strömhastigheter i olika delvolym av hamnbassängen.

Resultatet av ovan beskrivna vattenomsättningsberäkningar har används som underlag för att beräkna metalltransporter [Elert och Fanger, 2000, Lindstrand och Gunnemyr, 2000]. Målet har varit att utveckla en metod för att prognostisera metalltransporten från hamnområdet vidare ut till Östersjön. I avsikt att göra sådana prognoser har en koncentrationsmodell för att bestämma halter av olika metaller tagits fram. Denna baseras på regressions- och korrelationsanalys av uppmätta halter av metallerna mot rådande temperatur och vattenomsättning. Teorin bakom modellansatsen var att uppmätta halter av metaller beror på rådande vattenföring och temperatur. De skulle därför kunna uttryckas som en funktion av rådande temperaturer och vattenflöden vid de tillfällen då prover togs. Studierna finns redovisade i Lindstrand och Gunnemyr [1988 och 2000].

2 Frågeställning och syfte

Syftet med denna studie är att bekräfta att de vattenflödesvärden som tagits fram i de modellstudier som utförts av SMHI kan anses som tillförlitliga. Vidare ska denna studie undersöka tillförlitligheten i den modell som tagits fram och de beräkningar som utförts av SWECO för att uppskatta metalltransporten ut från hamnområdet.

Vattenflödena används för att beräkna transporten av tungmetaller ut från hamnområdet. Det är därför av största betydelse att de använda värdena har hög tillförlighet. Det är däremot ofrånkomligt att alla modellberäkningar ger osäkerheter i resultat.

I samband med översynen ska det också dokumenteras vilka faktorer som påverkar vattenomsättningen i Oskarshamns hamn. Detta görs i syfte att skapa underlag för diskussionen om vilka eventuella åtgärder som ska genomföras för att förändra vattenomsättningen i hamnområdet. Därvidlag ska beläggas om t.ex. omledning av Döderhultsbäcken kan ge betydelsefull inverkan. Andra faktorer som kan påverka vattenomsättningen är båttrafik, ändrade djupförhållanden etc.

Dessutom ska rapporten undersöka om strömningsbilden för år 1999 kan anses vara representativ för flera år.

3 Metoder

3.1 Allmänt

Modellberäkningar är med nödvändighet alltid behäftade med osäkerheter då de ger en förenklad bild av komplicerade förlopp. Det är därför nödvändigt att ha kunskap om dessa osäkerheter för att dra rätta slutsatser från modellberäkningar. Den bästa kunskap om hur väl modeller beskriver verkligheten är att jämföra deras resultat mot oberoende data. Det är dock oftast svårt och mycket kostsamt att ta fram sådana oberoende data. En annan möjlighet är att variera parametervärden inom de intervall som kan förväntas och på så sätt få en fördelning av modellresultat.

Modellresultats känslighet för parametervärden kan också studeras genom statistisk analys av parameterfördelningar mot resultatfördelningar.

Hur väl en modell kan ge tillförlitliga prognoser beror på några avgörande faktorer, som

- Finns alla nödvändiga processer med?
- Beskrivs dessa processer rätt?
- Räknar modellen numeriskt rätt?
- Används rätta indata i modellen?

Till dessa faktorer kan också mänskliga misstag tillföras som en källa för felaktigheter.

3.2 Vattenomsättning

I denna granskning har arbetet fokuserats på processer och data som presenterats i de rapporter som anges i tabell 4.1. Det anses inte troligt att några matematiska fel finns i koden och dessutom är det helt omöjligt att inom denna studie göra sådana verifieringar.

Anders Engqvist, A & I Engqvist Konsult HB har varit extern konsult i granskningsarbetet.

3.3 Metalltransport

Granskningen har utförts genom noggrann läsning av de två rapporterna utgivna från SWECO. Som ytterligare underlag erhöles under arbetets gång en CD-skiva med alla data som använts samt de utförda regressions- och korrelationsanalyserna.

De föreslagna ekvationerna i rapporterna har också applicerats i ett statistiskt programpaket, PRISM, för att studera parametrarnas inverkan på resultaten. I detta system genereras ett antal uppsättningar av ekvationens parametervärden. Varje parameteruppsättning ger upphov till ett modellresultat genom att ekvationen löses i PRISM. Känsliga parametrar för modellresultatet erhålls genom systemets korrelations- och regressionsanalys. I analysen ansattes att parametrarna var normalt fördelade med standardavvikelsen 10 % av angivet medelvärde. Detta är en gängse metod för att undersöka modellers känslighet för parametervärden.

Med hjälp av korrelationsanalysen i kalkylprogrammet EXCEL har även sambandet mellan uppmätta halter vid olika stationer studerats.

4 Vattenomsättning

4.1 Beskrivning av genomförda utredningar

Vattenflödesberäkningar har utförts och rapporterats i tre omgångar. I nedanstående tabell 4.1 har rapporterna sammanställts samt de perioder för vilka vattenflödesberäkningar gjorts. Resultaten som erhållits för dygnsmedelvärden visas också.

Tabell 4.1 *Rapporter, tidsperioder och beräknade medelvattenflöden.*

Titel och datum	Författare	Tidsperiod	Beräknade vattenflöde från yttre bassängen dygnsmedelvärde (m ³ /s)
Beräkning av vattenutbyte och simulering av partikelspridning i Oskarshamns bassäng SMHI oktober 1998	Ola Nordblom Cecilia Ambjörn Jonny Svensson,	971115 - 971128 980610 - 980623	Medelvärde 40 ± 20
Beräkning av vattenutbyte i Oskarshamns bassäng under hela 1997 och juni 1998. 1998 Nr 59	Jonny Svensson Carina P-Erlandsson	970101 - 971231 980601 - 980630	20-90
Beräkning av vattenutbyte i Oskarshamns hamnbassäng under hela 1999 2000 Nr 31	Jonny Svensson	990101 - 91231	12-115

Dessa rapporter samt en CD-skiva med samtliga data för beräkningarna under 1999 har använts som underlag för denna studie.

4.1.1 Modellområde

Området som beräkningarna utförts för omfattar ett område som sträcker sig 600 meter öster om och ca 1200 meter norr om vågbrytarna i hamnen, se figur 4.1. Volymer, ytor och medeldjup för hamnbassängerna redovisas i tabell 4.2 (Svensson & Erlandsson, 1998).

Tabell 4.2. *Volymer, ytor och medeldjup för hamnbassängerna.*

Bassäng	Volym (m ³)	Yta (m ²)	Medeldjup (m)
Inre	3,98·10 ⁶	4,98·10 ⁵	8
Yttre	5,38·10 ⁶	6,87·10 ⁵	7,8



Figur 4.1 Det aktuella området med inre och yttre hamnen.

4.1.2 Gridnät och tidssteg

PHOENICS-modellen kräver att det aktuella området delas upp i ett antal delvolym (gridceller). Dessa beskriver dels geometrin för det aktuella området dels bestämmer de upplösningen i horisontal och vertikal led. I de första beräkningarna som sträckte sig över två 14-dagarsperioder användes 23*51 celler i horisontal led samt 15 i vertikal led med tjocklekar som varierade med djupförhållandena. För de årsvisa beräkningarna användes ett grövre nät 11*25 för att förkorta beräkningstiderna. Betydelsen av denna förenkling studerades i Svensson och P-Erlandsson (1998) och resultaten var samstämmiga.

Den använda modellvarianten är av icke-hydrostatisk typ, utnyttjar kroklinjiga koordinatsystem och kan hantera varierande gridcells-storlekar. De minsta cellerna har en sida av ca 20 m och de största närmare modellgränsen mot Kalmarsund är uppskattningsvis typiskt 10 ggr större.

För de kortvariga beräkningarna användes tidssteget 10 minuter, dvs. resultat för var tionde minut erhöles medan tidssteget ökades till 20 minuter för de långvariga beräkningarna.

4.1.3 Processer och data

Modellen drivs av indata i form av vindhastigheter, vindriktningar och sötvattensinflöde. De meteorologiska data har tagits från SMHI:s väderstation på Ölands norra udde och representerar medelvärden över tre timmar. Dygnsmedelvärden av inflödet från Döderhultsbäcken har beräknats och använts som indata i modellen. Inflödet från Enemars vattenreningsverk anses försumbart och har därför inte beaktats.

För modellens randområde krävs också data för rådande temperatur och salthalter, här har observerade salthalter och temperaturer från Kalmarsund, i form av månadsvärden, använts som indata. I de sista beräkningarna som utfördes för 1999 har dock observerade temperaturvärden

under våren interpolerats för att få dygnsvärden att använda i modellen. Detta för att kunna beakta den snabba uppvärmning av vatten som sker under våren.

Data över djupförhållandena har erhållits från sjökort samt en kartering som utfördes av IVL 1987.

4.2 Resultat

4.2.1 Valideringar

Under perioden 980610 till 980623 jämfördes beräknade data mot uppmätta strömhastigheter från en registrerande strömmätare som var placerad mellan Liljeholmskajen och Klubbholmarna på ett djup av 7 meter (1 meter över botten). Resultatet av mätningarna och beräkningarna visas i grafisk form i Nordblom *et al* (1998). Avvikelser mellan mätningarna och beräkningarna förklarades delvis bero på att meteorologiska data tagits från Ölands norra udde. Vid en granskning av figurerna synes de mätta hastigheterna vara högre än de beräknade.

En validering av beräknade strömhastigheter har även gjorts mot strömtvärnsnittsmätningar utförda med ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) vid två tillfällen 980608 och 980630 (Nordblom *et al.* 1998). Phoenix-modellen kördes med konstanta värden på vindriktning och vindhastighet enligt de vid mättillfället rådande förhållandena. Ånyo påpekade författarna att lokala vindmätningar saknas för modellen. Dock ger den kvalitativa jämförelsen relativt god överensstämmelse.

4.2.2 Processer

Enligt författarna är det vindförhållandena som styr vattenomsättningen i hamnen tillsammans med tillflödet av sötvatten. Modellen drivs därför av vinddata från Ölands norra udde samt beräknade dygnsmedelvärden för sötvattentillrinningen via Döderhultsbäckenet. Tillskottet från vattenreningsverket medtas inte då det ger ett marginellt tillskott. Detta bedöms helt acceptabelt. Däremot används månadsvis approximation av randvillkoren för salthalt och temperatur. Detta ger upphov till skarpa transienta vattenrörelser när data uppdateras vilka inte motsvaras av verkliga vattenrörelser. Erfarenheter från andra kustanslutna bassänger påvisar att randdrivningens täthetsfluktuationer ofta dominerar vattenutbytet (Engqvist, 1999). Om Oskarshamn utgör ett undantag bör detta demonstreras övertygande.

4.2.3 Data

Vid en granskning av de data som använts som indata till vattenomsättningsmodellen synes värdena för vindhastigheterna vara låga. Jämförelser har gjorts dels mot meteorologiska data från Oskarshamns kärnkraftverk dels mot andra studier. Medelvinden enligt data på CD-skiva blir över året 2,4 m/s med en standardavvikelse på 1,2. I en studie som utförts med PHOENICS-modellen över kylning av varmvattenplymen från Oskarshamn kärnkraftverk redovisas medelvindshastigheter i storleksordningen 4 – 6 m/s (Karlsson och Lindahl, 2003). I en sammanställning av meteorologiska data från Ölands norra udde visas vindhastigheter i samma storleksordning se tabell 4.3.

Eftersom data har tagits från Ölands norra udde kan förväntas att den under den varma perioden vanligen förekommande sjöbrisen inte framkommer i den utsträckning som den uppträder. Oskarshamn ligger på fastlandet och är därför starkt påverkad av sjöbris under den varma perioden. Till detta kommer landformning av vinden samt kustläeffekter.

Tabell 4.3 Relativa frekvenser av vindhastighet (m/s) och vindriktning, Ölands norra udde, 1968 -1995 (macCannon et al 2002)

Mars – Maj

Från	Till	Lugn	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Sum
11,5			2,11	3,31	0,79	0,42	0,81	0,89	0,97	1,19	10,48
8,5	11,4		1,86	2,97	1,18	1,29	2,04	2,60	1,93	1,09	14,96
5,5	8,4		3,79	4,40	2,68	3,43	5,90	6,59	4,28	2,34	33,40
2,5	5,4		3,13	3,62	3,37	4,38	5,60	5,34	3,72	2,23	31,38
0,5	2,4		0,91	0,98	1,07	1,16	1,36	1,05	0,97	0,69	8,19
-	0,4	1,59									1,59
Summa		1,59	11,80	15,28	9,09	10,68	15,71	16,47	11,86	7,53	100,00

Juni – Augusti

Från	Till	Lugn	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Sum
11,5			1,03	1,49	0,39	0,08	0,29	0,47	0,83	0,85	5,42
8,5	11,4		1,32	1,60	0,66	0,53	1,68	1,82	2,09	1,23	10,93
5,5	8,4		3,05	3,36	1,99	2,14	6,23	7,40	6,39	3,10	33,67
2,5	5,4		3,01	3,74	3,47	3,92	6,94	7,46	6,12	3,27	37,93
0,5	2,4		1,01	1,12	1,48	1,18	1,49	1,38	1,01	1,07	9,73
	0,4	2,31									2,31
Sum		2,31	9,42	11,31	7,99	7,85	16,62	18,54	16,44	9,52	100,00

Sept – Nov

Från	Till	Lugn	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Sum
11,5			2,80	1,78	1,44	0,84	1,34	2,30	2,84	3,58	16,92
8,5	11,4		1,57	1,35	1,38	1,60	2,52	4,54	3,18	2,41	18,54
5,5	8,4		2,00	1,88	2,13	2,69	5,75	8,47	5,51	3,67	32,10
2,5	5,4		1,32	1,39	1,81	2,43	5,45	6,46	4,07	2,49	25,43
0,5	2,4		0,49	0,55	0,46	0,74	1,16	1,29	0,76	0,56	6,01
	0,4	1,02									1,02
Sum		1,02	8,18	6,95	7,22	8,29	16,22	23,06	16,37	12,70	100,00

Dec – Feb

Från	Till	Lugn	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Sum
11,5			3,08	2,53	2,43	1,41	1,37	2,12	2,71	3,66	19,33
8,5	11,4		1,60	1,45	2,05	1,86	2,61	4,39	2,83	2,59	19,38
5,5	8,4		1,83	1,86	2,98	3,03	4,58	9,06	5,51	3,69	32,54
2,5	5,4		1,24	1,12	1,61	1,88	3,87	5,81	3,93	2,29	21,75
0,5	2,4		0,35	0,40	0,41	0,55	1,07	1,57	0,90	0,53	5,78
	0,4	1,23									1,23
Sum		1,23	8,11	7,36	9,48	8,74	13,50	22,95	15,89	12,76	100,00

Hela året

Från	Till	Lugn	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Sum
11,5			2,25	2,28	1,26	0,69	0,94	1,43	1,82	2,29	12,95
8,5	11,4		1,59	1,85	1,32	1,31	2,21	3,33	2,51	1,82	15,94
5,5	8,4		2,68	2,89	2,45	2,82	5,60	7,85	5,44	3,22	32,95
2,5	5,4		2,19	2,48	2,58	3,16	5,46	6,25	4,47	2,58	29,19
0,5	2,4		0,69	0,77	0,86	0,91	1,26	1,31	0,91	0,71	7,44
	0,4	1,54									1,54
Summa		1,54	9,41	10,26	8,48	8,90	15,47	20,18	15,15	10,62	100,00

4.2.4 Beräknade vattenflöden

De beräknade vattenflödena för 1997 som anges i Svensson och Erlandsson (1998) för den yttre bassängen varierar mellan 20 till 90 m³/sek som dygnsmedelvärde under år 1997. I den datafil som erhållits för motsvarande beräkningar 1999 varierar detta flöde mellan 12 och 115 m³/s. Det framgår att vattenflödena har ökat i storlek från 1997 till 1999.

I de senare beräkningarna har enligt författarna hänsyn tagits till dagliga temperaturvärden under våren. Dessa har interpolerats fram ur uppmätta temperaturer.

Enligt författarna var vindhastigheterna under 1999 relativt låga och därför torde vattenomsättningen vara relativt låg kontra andra år. Enligt närmare studie av medelvindhastigheter över de senaste åren avviker dock inte 1999 markant. Utgående från detta kan inte beräknade flöden anses skilja sig från andra år.

Baserat på de datafiler som erhållits beräknades genomsnittsfloden ut från yttre hamnbassängen för de olika perioderna. Beräkningarna gav följande resultat (tabell 4.4):

Tabell 4.4 Medelvattenflöden från yttre bassängen ut till Kalmarsund, baserat på beräknade 20-minutersvärden.

Period	Medelvattenflöde (m ³ /sek)	Standardavvikelse.
A, 990101 – 990623	64,8	31,3
B, 990623 – 990912	27,6	25,5
C, 990912 – 991231	52,1	15,3
990101 – 991231	52,6	21,3

De låga vattenflödena under sommarperioden B korrelerar till de låga vindhastigheterna som använts under perioden. Dock är det anmärkningsvärd stor skillnad i flödena under de studerade perioderna. Under sommaren är dock i allmänhet vindhastigheterna lägre.

4.2.5 Förändring av vattenflödena

Eftersom tillskottet av sötvatten via Döderhultsbäcken är relativt begränsat ger detta inget större inslag av estuarin cirkulation. Däremot är öppenheten mot omgivande större vattenområden påtaglig och dess salt- och temperaturvariationer är sannolikt de viktigaste faktorerna som bestämmer vattenutbytet. Inflödet av vatten från Kalmarsund påverkas av öppenheten eller med andra ord av tvärsnittsytan mot sundet. En muddring ökar djupet och därmed ytan, varför en muddring leder till en ökad vattenomsättning. För att minska transporten av metaller behövs således tvärsnittsytan minska. Detta kan ske genom byggande av piler alternativt genom att konstruera trösklar. För att utreda exakt hur vattenflödet påverkas torde modellberäkningar göras med simuleringar av minskningar av tvärsnittsytan. En grov uppskattning torde vara att en 10 %-ig minskning av ytan skulle ge samma minskning av vattenflödet. Om och i så fall hur stor minskning som behövs göras är inte klart i dagsläget.

4.3 Diskussion

Rådande vindförhållande påstås vara den faktor som påverkar vattenflödet mest. Sötvatteninflödet ger endast marginellt bidrag till vattenflödet. Således ska resulterande vattenflöden motsvara vindförhållandena. Enligt Svensson (1999) var vindhastigheten för 1999 något lägre än normalt. Tyvärr kvantifierades detta inte i rapporten något ytterligare. I allmänhet varierar medelvinden dock inte mycket från år från år. Som tidigare påpekats tar dock inte modellen någon större hänsyn till den baroklina drivningen via detaljerad information om randvillkoren. Detta kan ge en underskattning av vattenomsättningen. Enligt Engqvist och Andrejev (1999) styrs vattenomsättningen i det speciella kustområdet Öregrundsgrepen främst av det baroklint drivna vattnet. Det är således viktigt att ha bra data för randområdena. Detta skulle t.ex. kunna förbättras för Oskarshamnsområdet genom kontinuerliga mätningar av salthalt och temperaturer.

För att värdera vindens påverkan på omsättning av vatten i kustområden studerades ett arbete där en baroklin 3D-modell beräknat förändringen i uppehållstider av vattnet för såväl Öregrundsgrepen som ett delområde av detta (Engqvist & Andrejev, 2000). I en känslighetsanalys varierades temperaturen, sötvattenavrinning, salthalten vid modellranden samt vindhastigheten. Den senare minskade med 10 %. Denna minskning ledde till ca 9 % längre medeluppehållstid för vattnet.

I jämförelse med andra år torde inte 1999 vara direkt avvikande. Medelvindhastigheten över året ligger i samma storleksordning som för andra år.

5 Metalltransport

5.1 Beskrivning av genomförda utredningar

Metallerna finns i sedimenten, bundna till partiklar och lösta i vattenfasen av sedimenten. Det sker ett utbyte både av metaller och suspenderat material mellan sedimenten och det ovanliggande vattnet. Dessutom tillförs vattnet i hamnen de aktuella metallerna i mer eller mindre grad. Detta kan ske genom utsläpp från reningsverket, inflöde från Döderhultsbäcken, via grundvatten och med dagvatten från omgivande landområden. Det sker också ett utbyte mellan ämnen i löst fas i vattnet och i partikelbunden form. Förhållandet mellan ämnet bundet till fast fas och löst i vatten brukar anges med parametern K_d , som anger jämviktsförhållandet. Höga värden indikerar att ämnet i fråga binder till partiklar i hög grad. Detta medför att suspenderade partiklar som sedimenterar tar med sig en stor del av sådana ämnen.

Förutom de naturliga processerna ovan medför båttrafik att sedimenten rörs upp, vilket skapar suspenderat material och därmed en överföring av ämnen från sedimenten till vattnet.

I avsikt att prognostisera metalltransporten har en modell utvecklats, baserad på regression och korrelation av uppmätta metallhalter mot rådande temperatur och vattenomsättning. Teorin bakom modellansatsen var att halter av metaller beror på rådande vattenföring och temperatur. De skulle därför kunna uttryckas som en funktion av rådande temperaturer och vattenflöden vid de tillfällen då prover togs. Studierna finns redovisade i Lindstrand och Gunnemyr, (1988 och 2000). Sju provtagningstillfällen under 1997 och 1998 användes i den första studien medan sju användes för beräkningarna under 1999.

Modellerna har använts för dygnsvis beräkning av uttransporten av metaller från Oskarshamns hamn.

5.1.1 Koncentrationsmodellen

Koncentrationsmodellen beskrivs med följande uttryck, där koefficienternas värden varierar beroende på ämne.

$$C = \exp(\ln(a_{Q,T}) + b_Q * \ln(Q) + b_r * T)$$

där:

C = koncentrationen av ämnet ($\mu\text{g/l}$ alt ng/l)

$a_{Q,T}$, b_Q , b_r = Ämnespecifika konstanter vars värde varierar mellan inre och yttre bassängen

Q = vattenflödet (m^3/s)

T = temperaturen ($^{\circ}\text{C}$)

I rapporterna beskrivs tyvärr Q som vattenomsättning men vid närmare analys är det vattenflödet som avses. I den inre bassängen är det transporten ut till yttre bassängen som har använts. För den yttre bassängen har flödet till inre bassängen och ut till Kalmarsund använts.

De i regressionsanalyserna använda halterna är medelvärden i yt- och bottenvattnet för 1998 medan det är ytvattenhalter för 1997. För det yttre området har medelvärdet från de tre stationerna Y2, Y3 och Y4 använts.

5.1.2 Transportberäkningar

För varje dygn under de studerade åren har halter beräknats med de från SMHI:s beräkningar erhållna 20-minutersvärden av vattenflöden. Från dessa 20-minutersvärden har dygnsmedelvärden beräknats och satts in i respektive funktion för varje ämne för att erhålla en halt för respektive dygn. De så erhållna dygnsvärden har multiplicerats med de beräknade medelvärdena av flödet ut från respektive bassäng. Från dessa transporter ut har subtraherats det dagliga flödet in baserat på dygnsmedelvärden av flödet in i bassängerna multiplicerat med ett årsmedelvärde av halter utanför. För de i rapporterna givna värden har årsmedelvärden för stationen G5, Grimskallen använts.

5.2 Resultat

Fokus på analysen har varit att titta på yttre hamnbassängen då den ger transporter ut från området samt data och beräkningar utförda för fem provtillfällen 1997 och tretton för 1999. De för 1997 givna sambanden framtagna på samma sätt har andra värden på koefficienterna än de senare. Detta kan dock bero på att för 1997 användes endast halter i ytvattnet.

Vid översyn av de framtagna ekvationerna framkom att det är låga samband mellan halter av respektive ämne, rådande temperaturer och vattenflöde. Korrelationskoefficienterna varierar från 0,28 (Zn) till 0,62 (Cu) och är alltför låga för att säkerställa något samband mellan halt, temperatur och vattenflöde. I rapporterna anges att korrelationen har gjorts mot vattenomsättningen, det bör påpekas att det är mot vattenflöden. Tyvärr finns det ytterligare ett skrivfel i rapporterna när regressionskvationerna anges innehålla en term \ln (naturlig logaritm) med ibland negativa tal, något som inte matematiskt är möjligt.

I rapporterna jämfördes de med statistikmodellen framräknade värdena mot de uppmätta för att validera modellen. Detta är dock inte lämpligt då de observerade halterna användes för att ta fram funktionerna. För att validera modeller ska oberoende data användas.

Känslighetsanalysen visade ett lågt inflytande på resultatet från vattenflödesparametern för transporten av metaller med hjälp av de föreslagna koncentrationsmodellerna. Detta beror på att resultaten visade att vattenflödena inte bidrog till osäkerheten i resultat eftersom de användes, så att säga, två gånger dels för haltberäkning dels för transportberäkning. I denna analys användes värdena för Pb i yttre hamn.

5.2.1 Data och korrelationer

I allmänhet saknas data för halter för årets sex första månader. I den analys av vattenföringsberäkningar som gjorts, baserat på SMHI:s beräkningar, är det högre vattenflöden under första halvåret än under resterande del av året.

För att studera variationen i uppmätta data utfördes några korrelationer för de uppmätta halterna.

Halter av ämnen i vatten tillsammans med suspenderade partiklar uppmätta i Inre respektive Yttre hamnen visar, för vissa ämnen, en god korrelation medan den för andra ämnen är så gott som obefintlig, se Tabell 5.1. Korrelationen utfördes på medelvärden av uppmätta halter, se tabell i bilaga A. Den låga korrelationen kan ha flera orsaker:

Det kan finnas olika inflöden till den yttre delen av hamnen. Varför är då korrelationen hög för vissa ämnen? Det kan bero på att K_d för dessa ämnen är låga och att den dominerande källan för halten av dessa ämnen i Yttre hamnen är strömning från Inre hamnen. Om det, å andra sidan, skulle vara så att metaller endast tillfördes i Inre hamnen, skulle skillnaden kunna förklaras med att

suspenderat material för de ämnen som har högt K_d sedimenterar och därför inte tar sig till Yttre hamnen. Flödes hastigheten i hamnområdet varierar naturligtvis med väderförhållandena men är i storleksordningen centimeter per sekund, vilket är fallhastigheten för partiklar i storleksordningen någon tiondels millimeter. Mindre partiklar kommer att föras med strömmen ut ur hamnen i hög grad, medan större partiklar sedimenterar och tar med sig de ämnen som binds starkare (högt K_d) ned till sedimenten.

Tabell 5.1 Korrelationskoefficienter mellan mätvärden i Inre respektive Yttre hamnen. Avser data från 19 mätstillfällena under 1997 och 1999.

Ämne	Korrelationskoefficient (r)
Ni	0,91
As	0,83
Hg	0,81
Cd	0,55
Co	0,29
Pb	0,08
Zn	0,03
Cu	<0,01

Korrelationsberäkningar gjordes också för ytvattenhalter från stationerna Y2, Y3 och Y4. Resultaten visas i tabell 5.2. Det bör påpekas att extremvärden har tagits bort i analysen.

Tabell 5.2 Korrelationskoefficienter mellan mätvärden i ytvattnet från Y2, Y3 och Y4. Avser data från 13 mätstillfällena under 1999.

Ämne	Korrelationskoefficienter		
	Y2 och Y3 α	Y2 och Y4	Y3 och Y4
Ni	0,56	0,56	0,71
As	0,50	0,50	0,94
Hg	0,81	0,81	0,84
Cd	0,22	0,22	0,58
Co	0,09	0,09	0,47
Pb	0,83	0,83	0,87
Zn	0,55	0,55	0,69
Cu	0,65	0,54	0,79

Högsta korrelationen mellan stationerna har kvicksilver och bly medan korrelationen mellan stationerna är obefintlig för kobolt och kadmium. Överlag är det högsta korrelationen för stationerna Y3 och Y4, vilka ligger relativt nära varandra.

5.3 Diskussion

Fokus för denna rapports analys av det framtagna materialet samt för de genomförda överslagsberäkningarna har varit transporten ut från yttre hamnbassängen. Det är denna transport som är

betydelsefull för att avgöra behovet av framtida insatser för att minska uttransporten av metaller från hamnområdet.

I beaktande av de osäkerheter som finns torde enkla beräkningar kunna göras med hjälp av medelvattenflödet och uppmätta halter. En sådan beräkning har utförts, där förenklingen att inströmmande vatten från Kalmarsund är lika stor som utflödet till Kalmarsund användes. I övrigt användes medelvärden av uppmätta halter från 1997 och 1999 med beräknade standardavvikelser. I likhet med SWECO:s beräkningar användes medelvärden av uppmätta halter mellan botten och ytvattnet. De använda halterna redovisas i bilaga A.

Medelvärdet av dygnsflödet ut till Kalmarsund användes med en beräknad standardavvikelse som spridningsmått. Fördelningen trunkerades med min- och maxflöden enligt de angivna dygnsmedelvärdena. Medelvärdet blev 52,6 m³/s med en standardavvikelse av 21,3.

För beräkning av inflödet av metaller användes värden från tidigare transportberäkningarna för stationerna F6 och G5 under antagande om en likformig fördelning mellan dessa värden.

Resultaten, som en årlig transport, redovisas i tabell 5.3 som aritmetiska medelvärden och intervall motsvarande ett 90 %-igt konfidensintervall. Som jämförelse ges de värden som tidigare beräknats.

Tabell 5.3 Beräknade transporter ut från yttre hamnbassängen, medelvärde och 90 % konfidensintervall.

Ämne	Medeltransport ut från yttre hamn (kg/år)	Intervall (kg/år)	Tidigare beräknat (kg/år)
As	340	36 - 860	66
Cd	20	2,3 - 50	20
Co	50	5,6 - 120	42
Cu	730	63 - 790	835
Hg	0.85	0,06 - 2,2	0,8
Ni	580	18 - 1520	262
Pb	240	0 - 610	200
Zn	2960	140 - 7900	729

I stort sett överensstämmer värdena med de tidigare beräknade. Störst skillnad i resultat har arsenik och zink, där dessa beräkningar ger cirka en faktor 4 högre transport ut. Detta kan delvis förklaras med att koncentrationsmodellen hade den lägsta korrelationen för zink, 0,28. Detta leder till att transporten blir underskattad då höga uppmätta halter ej kan erhållas med koncentrationsmodellen vid sådan låg korrelation.

Transporterna ut ökar naturligtvis om de jämförs med lägre halter i ingående vatten. Vid en jämförelse med data från Idö, norr om Oskarshamn, är det dock endast zinkhalter som är lägre medan de där uppmätta halterna för andra metaller ligger i samma nivå som för Grimskallen och Furön.

De i denna analys använda halterna ska vara tagna på morgonen innan någon påverkan från båttrafiken blivit märkbar. Det torde förväntas, som tidigare sagts, att färjetrafiken ger en signifikant resuspension, som kan öka halterna i vattnet och därmed transporten ut, beroende på förhållandet mellan partikelstorlek och rådande strömmar. I sammanställningen av haltdata förekommer ibland klart avvikande värden. I denna analys har sådana värden i likhet med de andra studierna ej medtagits.

Studien av halter av metaller i biota i Kalmarsund studeras också och kan ge ett värdefullt bidrag för att dra slutsatser.

En annan viktig faktor är naturligtvis vattenflödena som transporterar ut ämnena i vattenmassan. Enligt denna rapports slutsatser kan högre vattenflöden än de här använda förväntas. En högre vattenföring ger en högre transport.

6 Slutsatser

En övergripande slutsats från granskningen av vattenomsättnings och metalltransportberäkningarna är att underlaget inte är tillräckligt stabilt för de beräkningsresultat som framkommit.

6.1 Vattenomsättning

De beräknade vattenflödesvärdena torde vara underskattade. En bättre upplösning i tiden av randvillkoren dvs. temperatur och salthalter torde medföra en högre vattenomsättning. En högre vattenomsättning kan även förväntas om högre vindhastigheter beaktas. Meteorologiska data från Ölands norra udde underskattar troligen frekvensen av sjöbrisförhållanden under den varma perioden.

De använda medelvindhastigheterna, enligt material på CD-skivan från SMHI, är mycket låga. Speciellt ger de mycket låga värden på vattenomsättningen under den varma perioden.

Vattenomsättningen påverkas främst av vindförhållandena som styr strömmar och orsakar flöde av vatten in i bassängen. För att vid behov reducera detta behövs tvärsnittsytan mot Kalmarsund minskas.

De meteorologiska förhållandena för 1999 kan anses vara representativa då inga större avvikelser föreligger i medelvindhastigheter.

6.2 Metalltransport

Baserat på de data som används i regressionsanalysen erhålls för låga korrelationskoefficienter för att säkerställa sambandet mellan halter, flöden och temperaturer. Speciellt klarar inte modellen höga och låga värden.

De transportmängder som framräknats torde dock inte underskatta uttransporten av metaller från området.

Enkla transportberäkningar som utförs med hjälp av medelvärden ger i stort sett samma värden på uttransporten för samtliga ämnen utom för arsenik och zink, som troligen har högre uttransporter.

Korrelationer mellan medelvärden av halter i yttre och inre bassängen visar ett samband mellan de vattentrogna ämnena.

Resultatet från biotaundersökningen och sedimentanalyser bör också tas i beaktande för slutsatser om storleken av metalltransporten från Oskarshamns hamn.

Referenser

- Elert, M och Fanger, G (2000) Modellering av metalltransporten i Oskarshamns hamn. Kemakta Konsult AB, AR 2000-11.
- Engqvist, A (1999) Coast and seas: Background Report. Estimated retention times for a selection of coupled coastal embayments on the Swedish west, east and north coasts. 071-SNV Rapport 4910.
- Engqvist, A & Andrejev, O (1999) Water exchange of Öregrundsgrepen. A baroclinic 3D-model study. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co. SKB report TR-99-11. 59 pp.
- Engqvist, A & Andrejev, O (2000) Sensitivity analysis with regard to variations of physical forcing including two possible future hydrographic regimes for the Öregrundsgrepen. A follow-up baroclinic 3D-model study. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co. SKB report TR-00-01. 44 pp.
- Karlsson, A & Lindahl, S. (2003). Simulering av kylvattenplymer från Oskarshamnsverket. SMHI rapport nr 2003-34.
- Larsson-McCann, S, Karlsson, A, Nord, M, Sjögren, J, Johansson, L, Ivarsson, M, Kindell, S (2002). Meteorological, hydrological and oceanographical information and data for the site investigation program in the community of Oskarshamn. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co. SKB-TR-2002-02-03
- Lindstrand, O och Gunnemyr, L (1998). Oskarshamns hamnbassäng. Beräkning av transport av tungmetaller från Oskarshamns hamnbassäng. VBB-VIAK AB, Uppdragsnummer 1154032000
- Lindstrand, O och Gunnemyr, L, (2000). Oskarshamns hamnbassäng. Beräkning av transport av tungmetaller från Oskarshamns hamnbassäng. VBB-VIAK AB, Uppdragsnummer 1154138100
- Nordblom O, Ambjörn C & Svensson J (1998) Beräkning av vattenutbyte och simulering av partikelspridning i Oskarshamns hamnbassäng . SMHI-rapport. 14 sid. + figurer. (Ingår som bilaga i: Hammar M (1998) Oskarshamns kommun. Huvudstudie hamnbassängen. Tredimensionell PHOENICS-modellering av av vattenomsättning och partikelspridning samt beräkning av föroreningspridning. Rapport från Terratema AB. 7 sid. + figurer.)
- Svensson J & P-Erlandsson, C (1998) Beräkning av vattenutbyte i Oskarshamns hamnbassäng under hela 1997 och juni 1998. SMHI-rapport Nr 59. 9 sid + figurer.
- Svensson J (2000) Beräkning av vattenutbyte i Oskarshamns hamnbassäng under hela 1999. SMHI-rapport Nr 31. 10 sid.
- Svensson, J och P-Erlandsson, C (1998). Beräkning av vattenutbyte i Oskarshamns hamnbassäng under hela 1997 och juni 1998. SMHI rapport 1998 nr 59.

Bilaga A

Tabell A1. Uppmätta halter i inre hamn, provpunkt Y1. Värden från 1997 representerar ytvatten medan värdena för 1999 är medelvärden av halter i yt- och bottenvatten

Datum	Pb($\mu\text{g/l}$)	Cd($\mu\text{g/l}$)	Zn($\mu\text{g/l}$)	Cu($\mu\text{g/l}$)	Hg(ng/l)	Co($\mu\text{g/l}$)	As($\mu\text{g/l}$)	Ni($\mu\text{g/l}$)
970917	0,46	0,086	9,21	2,21	2,25	0,079	1,34	1,37
971010	0,41	0,165	11,70	2,19	1,67	0,072	1,26	1,81
971027	0,48	0,120	11,00	2,55	1,92	0,155	1,16	1,73
971117	1,22	0,117	8,96	2,65	-	0,179	1,05	1,12
971209	0,29	0,085	5,64	1,52	1,17	0,098	0,85	0,68
990624	0,34	0,045	6,65	1,32	0,52	0,081	0,85	0,88
990707	0,71	0,034	5,52	1,50	0,49	0,121	0,50	0,95
990721	0,31	0,049	5,67	1,12	0,44	0,036	0,50	0,70
990818	0,45	0,051	6,58	1,33	0,75	0,089	0,88	0,83
990901	-	0,106	9,87	1,71	0,52	0,112	0,97	0,80
990913	0,19	0,034	3,83	1,27	0,33	0,089	1,01	0,79
990927	0,40	0,020	5,29	0,91	1,07	0,106	0,85	0,84
991011	0,79	0,053	4,37	1,40	1,02	0,052	1,03	0,79
991025	0,76	0,060	10,66	1,83	1,04	0,103	0,93	0,77
991108	0,53	0,045	9,48	0,94	-	0,083	0,73	0,75
991122	0,63	0,089	10,00	2,02	1,58	0,111	0,67	0,92
991206	0,87	0,065	12,75	1,52	0,63	0,044	0,87	0,90
991220	0,12	0,030	2,41	0,90	0,64	0,046	0,50	0,68

Tabell A2. Uppmätta halter i yttre hamn. Medelvärden från punkterna Y2, Y3 och Y4 i Yttre hamnen. Värden från 1997 representerar ytvatten medan värdena för 1999 är medelvärdet av halter i yt- och bottenvatten

Datum	Pb($\mu\text{g/l}$)	Cd($\mu\text{g/l}$)	Zn($\mu\text{g/l}$)	Cu($\mu\text{g/l}$)	Hg(ng/l)	Co($\mu\text{g/l}$)	As($\mu\text{g/l}$)	Ni($\mu\text{g/l}$)
970917	0,09	0,038	3,81	1,08	0,91	0,026	1,05	1,40
971010	0,33	0,049	6,79	1,30	0,42	0,071	0,89	1,83
971027	0,12	0,029	2,29	0,97	0,60	0,038	0,89	1,63
971117	0,16	0,032	2,49	1,06	1,92	0,058	0,87	0,86
971209	0,20	0,046	4,37	1,26	0,58	0,080	0,80	0,66
990624	0,21	0,034	7,67	1,01	0,35	0,059	0,68	0,83
990707	0,27	0,017	7,04	1,33	0,37	0,065	0,50	0,91
990721	0,17	0,012	6,28	0,80	0,34	0,021	0,50	0,69
990818	0,20	0,035	6,31	1,00	0,47	0,061	0,90	0,82
990901	0,30	0,029	3,33	0,94	0,24	0,052	0,77	0,72
990913	0,17	0,029	4,40	1,08	0,30	0,052	1,11	0,80
990927	0,13	0,020	2,71	0,61	0,36	0,047	0,92	0,64
991011	0,54	0,041	3,40	1,01	0,51	0,046	1,06	0,83
991025	0,26	0,037	6,01	1,25	0,47	0,069	0,78	0,75
991108	0,07	0,018	2,99	-	-	0,032	0,53	0,62
991122	0,38	0,039	4,39	1,36	0,88	0,047	0,63	0,83
991206	0,31	0,034	5,69	1,23	0,43	0,040	0,65	0,85
991220	0,31	0,028	3,53	1,88	0,35	0,050	0,50	1,13

Tabell A3. Medelvärden och standardavvikelser (inom parentes) för metallhalter i Yttre hamnen.

Period	Pb($\mu\text{g/l}$)	Cd($\mu\text{g/l}$)	Zn($\mu\text{g/l}$)	Cu($\mu\text{g/l}$)	Hg(ng/l)	Co($\mu\text{g/l}$)	As($\mu\text{g/l}$)	Ni($\mu\text{g/l}$)
1997+1999	0,24 (0,12)	0,03 (0,01)	4,64 (1,71)	1,13 (0,28)	0,56 (0,40)	0,05 (0,02)	0,78 (0,20)	0,93 (0,34)
1999	0,26 (0,12)	0,03 (0,01)	4,9 (1,67)	1,12 (0,32)	0,42 (0,16)	0,05 (0,01)	0,73 (0,21)	0,80 (0,13)