



rappport

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Miljöövervakningsprojekt i Södertälje
kanalområde för bedömning av effekterna
från muddring och tippning av förorenade
sediment

Validering av spridningsmodell för kvicksilver i
Hallsfjärden - delrapport 4

Jenny Olsson Bengt-Erik Bengtsson Tomas Viktor

B 1346

Stockholm, November 1999

| | |
|---|---|
| Organisation/Organization IVL Svenska Miljöinstitutet AB IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd. | RAPPORTSAMMANFATTNING Report Summary |
| Adress/address Box 21060 100 31 Stockholm | Projekttitel/Project title Miljöövervakningsprojekt i Södertälje kanalområde för bedömning av effekterna av muddring och tippning av förorenade sediment Anslagsgivare för projektet/ Project sponsor Stockholms läns landsting Miljövårdsfonden |
| Telefonnr/Telephone 08-598 563 00 | |
| Rapportförfattare/author Jenny Olsson, Bengt-Erik Bengtsson , Tomas Viktor | |
| Rapportens titel och undertitel/Title and subtitle of the report Validering av spridningsmodell för kvicksilver i Hallsfjärden - delrapport 4 | |
| Sammanfattning/Summary <p>SMHI har utarbetat en spridningsmodell för kvicksilver (Hg) i Hallsfjärden söder om Södertälje. Modellen baseras på omblandningsmekanismer i brackvattenmassan, sötvattenflödet från Mälaren samt kvicksilverflödet från sedimenten. Modellen prognosticerar total kvicksilverhalter i vattenmassan och har kalibrerats med data från fältprovtagningar av vatten och laboratorieförsök med sediment.</p> <p>Det finns minst två möjliga källor till det kvicksilver som uppmäts i Hallsfjärden, kvicksilver som avgår från sediment i Hallsfjärden och kvicksilver som kommer med vattnet från Igelstaviken och Mälaren. Kvicksilverflöden från sediment för flera provtagningspunkter har använts vid utvärderingen. Modellen baseras på flödet vid tipplatsen direkt efter tippningarna av förorenade sediment avslutats. Övertäckningen av de förorenade sedimenten med renare sand har medfört att ytskiktet innehåller lägre koncentration Hg jämfört med andra lokaler i Hallsfjärden. Detta innebär att det finns provtagningspunkter i Hallsfjärden med större avgång av Hg från bottenarna. Modellens relevans för dessa lokaler har även studerats.</p> <p>För i stort sett samtliga värden på flödet från sedimenten gav SMHIs modell kvicksilverhalter i bottenvattnet som är lägre än uppmätta halter. Modellen kunde förklara ca 20-100% av Hg-halterna vid syrefattiga (anaeroba) förhållanden vid de olika lokalerna. Vid syrerika förhållanden vid omblandning vår och höst kunde endast 5-20% förklaras av modellen. Av det uppmätta kvicksilvret beräknas ca 15% härstamma från sediment i Hallsfjärden både under stagnation och omblandning i vattenmassan. Resterande kvicksilver antas komma från förorenade sediment norr om Halls holme alternativt via diffus spridning från atmosfären.</p> | |
| Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren /Keywords Södertälje kanal, kvicksilver, bottenläckage, årstidsvariation, spridningsmodell | |
| Bibliografiska uppgifter/Bibliographic data IVL Rapport/report B 1346 | |
| Beställningsadress för rapporten/Ordering address IVL, Publikationsservice, Box 21060, S-100 31 Stockholm fax: 08-598 563 90, e-mail: publicationservice@ivl.se | |

Innehållsförteckning

| | |
|--|----|
| Sammanfattning..... | 2 |
| Summary..... | 3 |
| 1 Bakgrund..... | 4 |
| 2 Konceptuell och tillämpad modell..... | 4 |
| 2.1 Konceptuell modell..... | 4 |
| 2.2 Tillämpad modell..... | 6 |
| 2.2.1 Validering av modellen..... | 7 |
| 3 Metoder..... | 8 |
| 3.1 Simulering av scenarier..... | 8 |
| 3.1.1 Scenarie 1. Vinter och sommarstagnation, F_C vid anaeroba för- hållanden..... | 9 |
| 3.1.2 Scenarie 2. Våromblandning, F_C vid aeroba förhållanden..... | 10 |
| 3.1.3 Scenarie 3. Höstomblandning, F_C vid aeroba förhållanden..... | 11 |
| 4 Resultat..... | 12 |
| 4.1.1 Scenarie 1. Vinter och sommarstagnation, F_C vid anaeroba för- hållanden..... | 12 |
| 4.1.2 Scenarie 2. Våromblandning, F_C vid aeroba förhållanden..... | 13 |
| 4.1.3 Scenarie 3. Höstomblandning, F_C vid aeroba förhållanden..... | 13 |
| 5. Diskussion och slutsats..... | 14 |
| 6. Referenser..... | 15 |
| Bilaga 1. Karta över Hallsviken med provtagningspunkter och delområdesindelning | |
| Bilaga 2. Beräkning av flödet från sediment, F_C | |
| Bilaga 3. Resultat från beräkningar med SMHI-modell | |

Sammanfattning

SMHI har utarbetat en spridningsmodell för kvicksilver i Hallsfjärden i Södertälje. Modellen baseras på omblandningsmekanismer i vattenmassan, sötvattenflödet in till Mälaren samt kvicksilverflödet från sedimenten. Modellen ger kvicksilverhalter i vattenmassan orsakade av avgång från sediment.

Det finns minst två möjliga källor till det kvicksilver som uppmätts i Hallsfjärden, kvicksilver som avgår från sediment i Hallsfjärden och kvicksilver som kommer med vattnet från Mälaren. För att ta reda på hur stor del av det kvicksilver som uppmätts i Hallsfjärden som kommer ifrån respektive källa har beräkningar med SMHIs modell jämförts med uppmätta halter i Hallsfjärden. Kvicksilverflöden från sediment för flera provtagningspunkter har använts vid utvärderingen. Modellen baseras på flödet vid Tipplatsen men då det finns provtagningspunkter med större avgång ansågs det relevant att även studera hur det flödet påverkar kvicksilverhalten enligt modellen.

För i stort sett samtliga värden på flödet från sedimenten gav SMHIs modell kvicksilverhalter i bottenvattnet som är lägre än uppmätta halter. Av det uppmätta kvicksilveret beräknas ca 15% härstamma från sediment i Hallsfjärden både under stagnation och omblandning i vattenmassan. Resterande kvicksilver antas komma från förorenade sediment norr om slussen, på Mälarsidan, alternativt via diffus spridning från atmosfären.

Summary

Dredging in the Södertälje kanal area was necessary to maintain the regulated depth for vessels entering the lake Mälaren. The dredged sediments app. 60.000 tonnes were dumped in a grave i Hallsfjärden in the Baltic sea. The sediments mostly from a freshwater aera, were contaminated with especially mercury (Hg). In order to prognostisice the future distribution of Hg from dumped sediments a mathematic model was used. The model is based on different mixing mechanisms in the Hallsfjärden basin. The main parameters used in the model is freshwater surface flow from lake Mälaren, the brackish water bottom current and the release of mercury from the sediments at various locations. Data from field sampling of water and sediment and laboratory studies with sediment from various part of the area have been used to validate the model.

There is at least two possible sources which can explain the high amount of Hg in Hallsfjärden.

- Release of Hg from the sediments, especially during anaerobic conditions
- Transport from the aera north of Hallsfjärden with the surface fresh water current

1 Bakgrund

Sedimenten runt Södertälje kanal är kraftigt förorenade av bl a kvicksilver från tidigare industriverksamhet (Parkman H et. al., 1998). Framförallt innehåller sedimenten norr om slussen, på Mälarsidan, förhöjda halter kvicksilver. Under en period från mitten av december 1996 till mitten av april 1997 muddrades delar av Södertälje kanal för att göra det möjligt för båtar, upp till 7 m djupgående, att gå in i Mälaren. Muddringsmassorna, ca 60 000 m³, tippades sedan i en djuphåla i Hallsfjärden, söder om Södertälje kanal. Efter avslutad muddring täcktes massorna av ett sandlager för att minska utläckage av metaller och organiska ämnen.

Muddringen förväntades orsaka en ökad spridning av kvicksilver i Hallsfjärden dels genom spridning av sediment under muddringsfasen och senare även av läckage från de muddringsmassor som tippats i Hallsfjärden. Ett miljöövervakningsprogram har satts upp av IVL för att studera muddringens påverkan på kvicksilverkoncentrationer i vatten och sediment samt påverkan på olika ekosystem. Provtagning av vatten har utförts före, under och efter muddring.

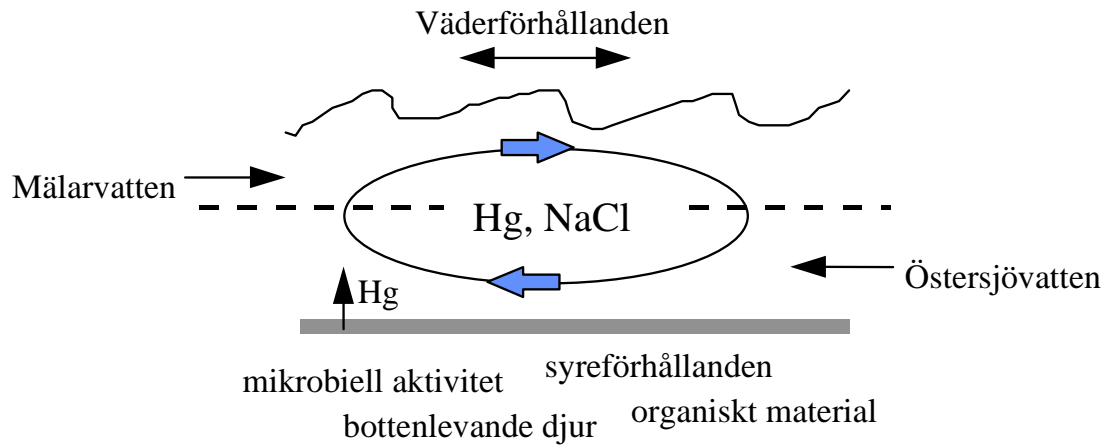
SMHI har på uppdrag av IVL utarbetat en modell som beskriver hur hydrologiska betingelser och flödet av kvicksilver ur sediment påverkar spridning av oorganiskt kvicksilver i Hallsfjärden (SMHI, 1997). Modellen baseras på parametrar som beskriver omblandning, kvicksilverflöde från sediment och sötvattenflöde in i systemet.

Syftet med projektet är att validera SMHI-modellen med empiriska analysdata från provtagningar i området. Uppmätta kvicksilverkoncentrationer från provtagningen jämförts med koncentrationer beräknade av SMHI-modellen för att se om modellen kan beskriva spridningen av kvicksilver i Hallsfjärden på ett tillfredsställande sätt.

2 Konceptuell och tillämpad modell

2.1 Konceptuell modell

En konceptuell modell har gjorts för att få en överblick över vilka olika parametrar som kan påverka kvicksilverkoncentrationen i vattnet. Vattenmassan har delats in i yt- och bottenvatten.



Figur 1. Konceptuell modell för vattensystemet

Kvicksilverkoncentrationen i Hallsfjärden påverkas av inflöde av sötvatten från Mälaren (Q_F) och bräckt vatten från Östersjön (Q_B), kvicksilverflöde ur sedimenten (F_C) och graden av omblandning i vattenmassan orsakad av bl.a. olika väderlek. Vattnet från Mälaren och Östersjön kan ha en utspädande effekt på kvicksilverkoncentrationen i Hallsfjärden. Kvicksilver kan även tillföras till Hallsfjärden via vattnet från Mälaren (C_F) på grund av förorenade sediment i Mälaren. En annan källa till kvicksilver i bottenvattnet i Hallsfjärden är att sedimenten där kan avge kvicksilver.

Kvicksilverkoncentrationen i vattnet kan beskrivas av en ekvation enligt:

$$Y(\text{Hg}) = f(Q_F, Q_B, F_C, C_F, \text{omblandning}, \epsilon) \quad \epsilon = \text{osäkerhet}$$

Sötvattenflödet från Mälaren är relativt konstant under året. Vattnet når Hallsfjärden via en kulvert till Övre Maren (Stockholm Vatten, 1998). Vid enstaka tillfällen kan flödet vara högre då slussarna hålls öppna för att utjämna Mälarens vattennivå. Det bräckta vattnet från Östersjön är tyngre än sötvattnet från Mälaren. Skillnaden i salthalt orsakar en skiktning av vattenmassan med det bräckta vattnet närmast botten. Väderleken påverkar graden av omblandning i vattenmassan. Hård vind kan inducera strömmar vilket orsakar en ökad omblandning och ändrar spridningsmönstret.

Flöde av kvicksilver från sedimenten beror på transportprocesser i dessa och av lösligheten av kvicksilver. Transporten av Hg kan öka genom mikrobiell aktivitet och större organismer i sedimenten. Kvicksilver är redoxkänsligt. Vid anaeroba betingelser kan metylkvicksilver bildas vilket kan avgå från sediment till vattenmassa. Organiskt material i sediment binder kvicksilver och minskar benägenheten för det att frigöras men ökar samtidigt möjligheten för bildning av metylkvicksilver.

2.2 Tillämpad modell

I SMHIs modell är vattenmassan uppdelad i fyra delområden. Varje delområde består av två boxar, en för bottenvatten och en för ytvatten, se figur 2. Modellen beräknar en kvicksilverkoncentration per box. Delområde 1 är vid Södertälje och Delområde 4 vid Brandalssund. Delområdenas indelning visas på karta i bilaga 1.

| | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| A1 | A2 | A3 | A4 |
| B1 | B2 | B3 | B4 |

Figur 2. SMHI-modellen baseras på åtta boxar

Modellen utarbetad av SMHI (Parkman H et. al., 1997) beskriver spridning av kvicksilver i vattenmassan orsakad av vattenflödet från Mälaren, kvicksilverflödet ur sedimenten och omblandningen i vattnet. Omblandningen i vattnet antas ske både vertikalt och horisontellt och beräknas utifrån vattnets salinitet och vattenflödet från Mälaren.

Salthalter i de övre boxarna betecknas S_{Ai} och i de undre S_{Bi} , det vill säga t.ex. salthalten i box A1 betecknas S_{A1} . Följande ekvationer har använts för att beskriva vertikal omblandning i fjärden:

- Uppblandning, $P_i = (S_{Ai} - S_{A(i-1)}) / (S_{Bi} - S_{Ai})$, $i = 1,2,3,4$
- Nedblandning, $R_i = ((S_{B(i+1)} - S_{Bi}) / (S_{Bi} - S_{Ai}))$, $i = 1,2,3,4$

Flöden för respektive box beräknas utifrån konserveringskvationer för salt och volym. Både horisontella och vertikala flöden har beräknats. Följande ekvationer har använts:

- Flöde ut ur box A_i , $Q_{Ai} = (1 + R_i + P_i)/(1 + R_i)Q_{A(i-1)} - R_i/(1 + R_i)Q_{B(i-1)}$
- Flöde in i box B_i , $Q_{Bi} = P_i/(1 + R_i)Q_{A(i-1)} + 1/(1 + R_i)Q_{B(i-1)}$
- Vertikalt flöde från B_i till A_i , $Q_{Ui} = P_i Q_{A(i-1)}$
- Vertikalt flöde från A_i till B_i $Q_{Di} = R_i P_i/(1 + R_i)Q_{A(i-1)} + R_i/(1 + R_i)Q_{B(i-1)}$

Modellen bygger på följande randvillkor:

- bottenflödet in till Mälaren, $Q_{B0} = 0$
- flödet från Mälaren, $Q_F = Q_{A1}$. Varje box i modellen förutsätts vara totalomblandad. Vidare bortses från eventuellt kvicksilverinnehåll i vattnet från Mälaren.

Modellen producerar relativa koncentrationer om det saknas uppgifter om kvicksilverflödet ur sedimenten, F_C . I IVLs miljöövervakningsprogram har analyser gjorts som möjliggör beräkning av F_C . Absoluta kvicksilverkoncentrationer har därför räknats ut.

SMHIs modell har modifierats med ytterligare ett steg, se nedan, för att kunna använda befintliga värden på F_C .

Koncentrationen i ytvattnet i box A4 har beräknats enligt ekvationen:

$$C_{A4} = F_C / Q_{A4}$$

Absoluta koncentrationer för respektive box har erhållits enligt:

$$C_{ABS} = (C_{A4} * \text{relativ koncentration box X}) / (\text{relativ koncentration box A4})$$

I modellen anges F_C som det totala kvicksilverflödet (ng/s) från sedimenten i delområde 2. Flödet från sedimenten i övriga boxar antas vara noll.

2.2.1 Validering av modellen

I den tillämpade modellen tas ingen hänsyn till att mälarvatten kan innehålla kvicksilver, dvs $C_F = 0$. Sedimenten i Mälaren innanför Södertälje kanal innehåller högre kvicksilverhalter än sedimenten i Hallsviken (Parkman et. al., 1998). Kvicksilverkoncentrationen i mälarvattnet kan därmed vara av signifikant betydelse för uppmätta halter i vattnet i Hallsfjärden.

Modellen förutsätter att varje box är totalomblandad, dvs koncentrationen är i jämvikt i en box. Det är en approximation av verkligheten då kvicksilverkoncentrationer och salt-halt varierar inom de teoretiskt definierade boxarna.

SMHIs spridningsmodell baseras på kvicksilverflödet från sediment vid tippplatsen, box B2. Flödet antas vara lika stort från hela bottenytan i B2. Försök som har genomförts på sedimentproppar, för att fastställa flödet från sedimenten, visar att flödet är högre vid andra punkter än vid tippplatsen, se tabell i Bilaga 2.

Djuphålan, som muddringsmassorna har tippats i, har tidigare varit en ackumuleringsbotten. Från tippplatsen mot Östersjön finns ytterligare en djuphåla i delområde 3. Den tar emot stora mängder sediment kontinuerligt och har troligen mottagit betydande mängder sedimentmaterial från muddringen. Sedimenten vid denna djuphåla har ett större utläckage av kvicksilver än muddringsmassorna i delområde 2. Det kan vara mer relevant att ta med det kvicksilverflödet i modellen.

Eventuella strömmar längs botten som går i motsatt riktning till huvudflödet, dvs mot Östersjön, har inte tagits med i modellen. SMHI bedömer att dessa strömmar är ovanliga.

3 Metoder

Validering av modellen mot empiriskt uppmätta data kan göras vid de provtagnings-tillfällen där indata till modellen finns tillgängligt. För att utvärdera modellen behövs bl a data om saliniteten i varje box. För en del provtagningsstillfällen saknas uppgifter på saliniteten. Den uppskattas då utifrån den saltgradient som uppmätts, vid respektive provtagningspunkt, vid andra tillfällen. För vissa provtagningsstillfällen saknas data helt inom en eller flera av de fyra delområden som modellen är indelad i. I dessa fall skattas saliniteten i en box utifrån värden i närliggande boxar.

Det aktuella sötvattenflödet vid provtagning har erhållits av Stockholm Vatten. Flödet har mätts i en kulvert från Mälaren som leder ut vatten till Maren i Södertälje. Det är i stort sett konstant, $5 \text{ m}^3/\text{s}$, under hela året (Stockholm Vatten, 1998).

Försök på sedimentproppar, för bestämning av F_C , har utförts på sediment insamlade ca ett år *efter* avslutad muddring. Totalhalten av kvicksilver har analyserats (vilket kan antas representera oorganiskt kvicksilver eftersom organiska kvicksilverhalter oftast är låga). Försöken utfördes under 18 dagar vid aeroba respektive anaeroba förhållanden. Kviksilverflödet har bestämts utifrån procentuell ökning av kvicksilver i vattnet över sedimentens area (20 cm^2). Aeroba förhållanden representerar vår- och höstomblandning. Vid sommar- och vinterstagnation är bottenvattnet anaerobt p g a liten omblandning. För mer information om hur försök och beräkningar har utförts, se bilaga 2.

Förhållandet mellan sedimentproppens area (20 cm^2) och arean för delområde 2 har använts för att beräkna ett F_C för hela delområde 2. Areal för delområde 2 har beräknats till ca $1,75 \text{ km}^2$ utifrån mätning på ett sjökort. Kviksilverflödet från sedimenten är större i delområde 3 än i delområde 2, se bilaga 2. För att undersöka hur ett högre F_C , motsvarande de i delområde 3, påverkar kvicksilverhalterna i vattnet har också dessa flöden använts i utvärderingen av modellen. Flödet har då antagits komma från sedimenten i delområde 2, enligt modellen. Ett högre flöde från delområde 2 är inte orealistiskt med tanke på sedimentens heterogenitet. Samtliga kvicksilverflöden har baserats på arean för delområde 2.

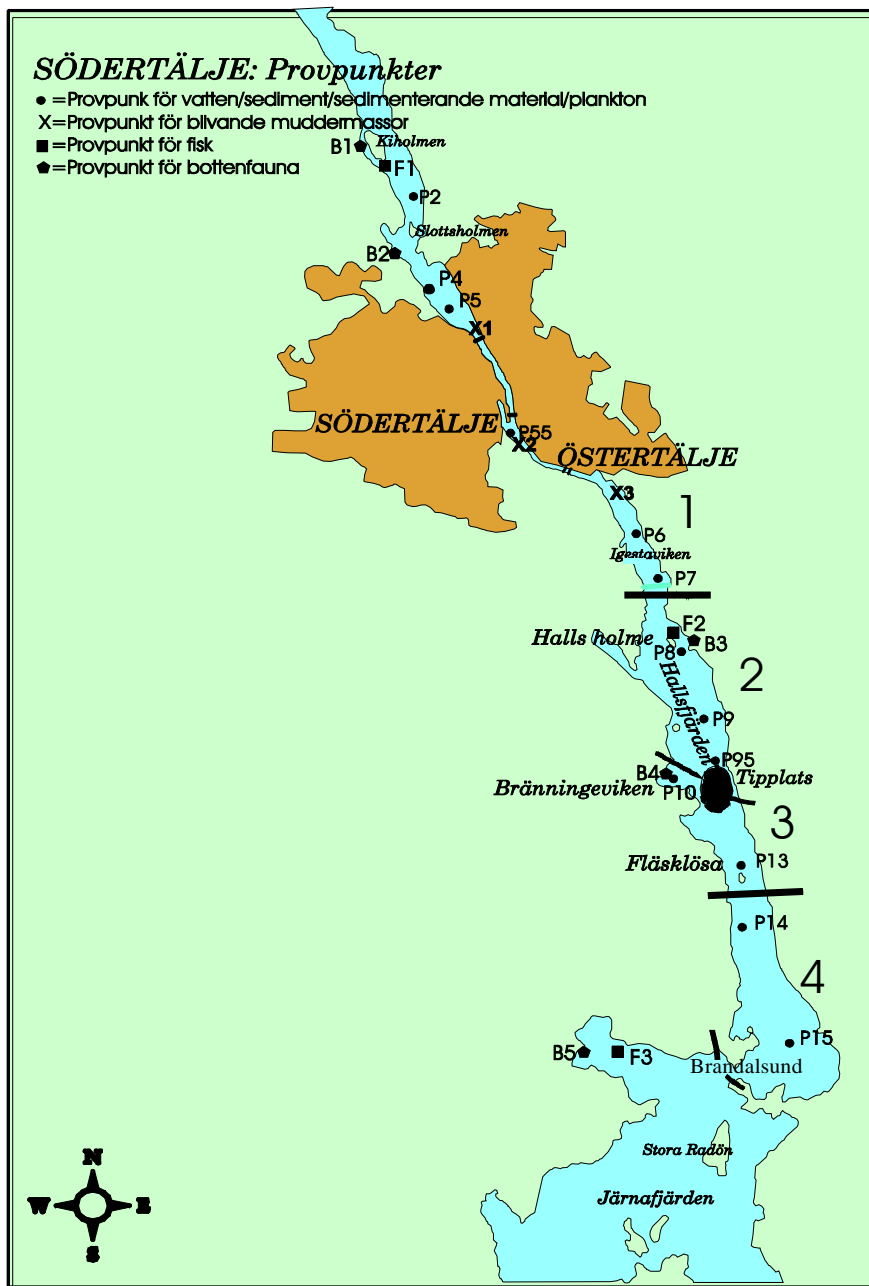
3.1 Simulering av scenarier

Tre olika scenarier har utvärderats för att studera årstidspåverkan på spridningen. Samtliga F_C -värden (flöde av kvicksilver ur sediment) har baserats på arean för delområde 2.

3.1.1 Scenarie 1. Vinter och sommarstagnation, F_C vid anaeroba förhållanden

Scenarie 1 beskriver spridningen av kvicksilver i vattnet under sommar och vinter. Under dessa årstider är sedimenten anaeroba p g a begränsad omblandning, sk. stagnation. Provtagningsstillfället 97-06-02 representerar stagnation. Muddringen var vid denna tidpunkt avslutad.

Provtagningspunkter och de olika delområdena framgår av karta 1.



Data från följande provtagningspunkter (för placering se bilaga 1) har använts:

- 6 (delområde 1)
- 9 (delområde 2)
- 13 (delområde 3)
- 14 (delområde 4)

Saliniteten anges i ‰. Värden på saliniteten har skattats för punkt 6 och 14 utifrån värden i närliggande boxar. Samtliga värden på saliniteten visas i tabellen nedan. Den skuggade rutan representerar tiplatsen.

| | | | | |
|------|------|------|------|------|
| 3.90 | 4.20 | 4.50 | 4.50 | |
| 5.80 | 5.90 | 6.00 | 6.00 | 6.00 |

Vid det aktuella provtagningsstillfället antas sedimenten vara anaeroba p g a sommarstagnation. F_C har, vid anaeroba förhållanden, beräknats till 4780 ng/s för hela ytan av delområde 2. Värdet är ett medelvärde utifrån resultat från två sedimentproppar (P8 och P95) i delområde 2. För delområde 3 har två värden på F_C beräknats p g a stor variation mellan olika punkter vid anaeroba förhållanden. F_C för delområde 3 beräknades till 21380 ng/s (P10) respektive 140710 ng/s (P13). För beräkningsexempel av F_C se bilaga 2.

3.1.2 Scenarie 2. Våromblandning, F_C vid aeroba förhållanden

Scenarie 2 beskriver spridningen av kvicksilver i vattnet till följd av våromblandningen. Vid omblandning kan sedimenten antas vara aeroba. Provtagningsstillfället 97-04-07 representerar tidpunkten för våromblandning. Muddring pågick vid denna tidpunkt.

Analysdata har tagits från följande provtagningspunkter (för placering se bilaga 1):

- 6 (delområde 1)
- 9 (delområde 2)
- 13 (delområde 3)
- 14 (delområde 4)

Saliniteten för bottenvattnet i provtagningspunkt 6 har skattats utifrån närliggande boxar. Samtliga värden på saliniteten som använts i modellen visas i tabellen nedan.

| | | | | |
|------|------|------|------|------|
| 4.70 | 5.00 | 5.10 | 5.20 | |
| 5.80 | 5.90 | 5.90 | 6.00 | 6.00 |

Utifrån försök på sedimentproppar vid aeroba förhållanden har F_C beräknats till 3380 ng/s (P95). F_C för sediment i delområde 3 har beräknats till 34130 ng/s (P13).

3.1.3 Scenarie 3. Höstomblandning, F_C vid aeroba förhållanden

Scenarie 3 beskriver höstomblandningens påverkan på spridning av kvicksilver i vattenmassan. På grund av omblandning antas sedimenten vara aeroba.

Provtagningstillfället 96-10-22 representerar höstomblandning. Muddringen hade ej påbörjats vid denna tidpunkt.

Det finns inga uppmätta salinitetsvärden från provtagningstillfället. Salinitetsfördelningen bör vara liknande vid vår- och höstomblandning varför saliniteten i detta fall har approximerats utifrån saliniteten under våromblandning. Följande provtagningspunkter studerades (för placering se bilaga 1):

6 (delområde 1)

8 (delområde 2)

13 (delområde 3)

14 (delområde 4)

De salinitetsvärden som använts visas i tabellen nedan.

| | | | | |
|------|------|------|------|------|
| 4.70 | 5.10 | 5.10 | 5.20 | |
| 5.60 | 5.70 | 5.90 | 6.00 | 6.00 |

Utifrån försök på sedimentproppar vid areoba förhållanden har F_C beräknats till 3380 ng/s (P95) för hela boxyta 2. F_C för delområde 3 är 34130 ng/s (P13) för hela delområde 2.

4 Resultat

Nedan visas resultatet från utvärderingen av modellen. Värdena i tabellerna visar beräknade värdens andel av uppmätta halter i %. I bilaga 3 visas de av modellen beräknade halterna. F_C anger flödet av kvicksilver från sedimenten.

4.1.1 Scenarie 1. Vinter och sommarstagnation, F_C vid anaeroba förhållanden

Tabell 1. Beräknade halters del av uppmätt Hg-halt i %. F_C -värdet 4780 ng/s, kommer ifrån delområde 2 punkt 95. Tom ruta saknar uppmätt värde.

| | | | |
|------------|------------|------------|------------|
| 1,8 | 5,0 | 3,3 | 6,9 |
| - | 7,5 | 0 | 0 |

Tabell 2. Beräknade halters del av uppmätt Hg-halt i %. F_C -värdet 21 380 ng/s kommer ifrån delområde 3 punkt 10. Tom ruta saknar uppmätt värde

| | | | |
|------------|-------------|-------------|-------------|
| 8,0 | 22,3 | 14,6 | 30,7 |
| - | 33,7 | 0 | 0 |

Tabell 3. Beräknade halters del av uppmätt Hg-halt i %. F_C -värdet 140 710 ng/s, kommer ifrån delområde 3 punkt 13. Tom ruta saknar uppmätt värde

| | | | |
|-------------|----------------|----------------|----------------|
| 52,6 | >100 | 95,8 | >100 |
| 11,7 | >100 | 0(4,25) | 0 |

De av modellen beräknade kvicksilverkoncentrationerna understiger uppmätta halter för de två första F_C . Med F_C enligt tabell 1, utgör beräknade halter mellan 2-8 % av uppmätta halter. De två F_C -värdena från sediment i delområde 3 gav högre beräknade koncentrationer. För F_C -värdet på 21 400 ng/s utgör de flesta beräknade halter ca 15-30 % av de uppmätta och för $F_C = 140 710$ ng/s mellan 50 - 200 %. Några beräknade koncentrationer med $F_C = 140 710$ ng/s överstiger således uppmätta koncentrationer.

4.1.2 Scenarie 2. Våromblandning, F_C vid aeroba förhållanden

Tabell 1. Beräknade halters del av uppmätt Hg-halt i %. F_C -värdet 3380 ng/s, kommer ifrån delområde 2 punkt 95. Tom ruta saknar uppmätt värde

| | | | |
|------------|------------|------------|------------|
| 0,3 | 0,5 | 0,8 | 0,8 |
| - | 0,6 | 0,1 | 0 |

Tabell 2. Beräknade halters del av uppmätt Hg-halt i %. F_C -värdet 34130 ng/s, kommer ifrån delområde 3 punkt 13. Tom ruta saknar uppmätt värde

| | | | |
|------------|------------|------------|------------|
| 3,5 | 5,7 | 8,3 | 8,5 |
| - | 6,3 | 1,3 | 0 |

4.1.3 Scenarie 3. Höstomblandning, F_C vid aeroba förhållanden

Tabell 1. Beräknade halters del av uppmätt Hg-halt i %. F_C -värdet 3380 ng/s, kommer ifrån delområde 2 punkt 95.

| | | | |
|------------|------------|------------|------------|
| 0,6 | 0,8 | 1,5 | 1,6 |
| 1,7 | 0,6 | 0 | 0 |

Tabell 2. Beräknade halters del av uppmätt Hg-halt i %. F_C -värdet 34130 ng/s, kommer ifrån delområde 3 punkt 13.

| | | | |
|-------------|------------|-------------|-------------|
| 6,8 | 8,0 | 15,7 | 16,0 |
| 17,2 | 6,7 | 0,2 | 0 |

Vid vår- och höstomblandning är det större skillnad mellan beräknade och uppmätta kvicksilverhalter. Med F_C enligt tabell 1 utgör beräknade halter kring 1 % av uppmätta halter. Kviksilverkoncentrationer som beräknats med F_C från delområde 3 är högre och utgör därmed en större del av uppmätta halter. Beräknade halter uppgår vid höstomblandningen i vissa fall till ca 20 % av uppmätta koncentrationer medan samma förhållande vid våromblandningen är knappt 10 %.

5. Diskussion och slutsats

Sötvattenflödet från Mälaren innehåller sannolikt en del kvicksilver. Modellen har inte tagit hänsyn till denna källa, vilket innebär att modellens beräknade halter bör bli lägre än uppmätta halter. Kviksilverkoncentrationen i vattnet från Mälaren är konstant p g a att sedimenten innanför kanalen alltid är aeroba (p g a strömmar) och att flödet från Mälaren är mer eller mindre konstant under året. Uppmätta kvicksilverhalter vid Mälarens utlopp kan ses i bilaga 3.

Analysosäkerhet för kvicksilveranalyserna är ca 5% per analys. Då två analysresultat multipliceras vid beräkning av F_C , se bilaga 2, blir felet ca 25 % ($5 \cdot 5$). Resultaten måste därför tolkas med utgångspunkt från detta.

I valideringen av modellen har flera olika värden på F_C använts. Det är svårt att bedöma vilket av dem som bäst representerar de verkliga förhållandena. Det är kvicksilverflödet från sedimenten i delområde 2 (tipplatsen) som är tänkt att ingå i SMHIs modell. Flödet ur sedimenten i delområde 2 är relativt lågt eftersom större delen av botten har täckts över med sand för att minska utläckaget. En sänka närmare Östersjön vid Fläsklösa har med stor sannolikhet fått ta emot stora mängder sediment, bl a från muddringen, som transporteras med vattnet. Flödet av kvicksilver från sedimenten är högre i denna lokal.

F_C från delområde 3 är mer korrekt att använda i modellen eftersom utläckaget är större därifrån, dvs sedimenten i delområde 3 påverkar kvicksilverkoncentrationerna i vattnet i högre grad. Om F_C för sediment i delområde 2 väljs att representera verkliga förhållandena tas ingen hänsyn till det högre flödet ur sedimenten från delområde 3. Det innebär att det största kvicksilverläckaget till vattenmassan ej tas med. Troligen är det mest relevant att jämföra uppmätta halter med beräknade värden baserade på ett F_C från delområde 3. På grund av sedimentens heterogenitet kan ett flöde motsvarande de från delområde 3 även förekomma i delområde 2.

Med F_C från box 3 är beräknade halter för höst- och våromblandning ca 10 % av uppmätta halter. För sommar- och vinterstagnation är beräknade halter ca 15 % av de uppmätta halterna för det lägre värdet på F_C . Vid stagnation förklarar kvicksilverflödet från sedimenten i punkt 13 ($F_C = 140\ 710\ \text{ng/s}$) närmare 100 % av uppmätt kvicksilverhalt. Detta flöde från sedimenten antas utgöra det värsta tänkbara fallet. Skillnaden mellan beräknade och uppmätta halter antas förklaras av kvicksilverinnehåll i Mälardvatten.

Det anses vara realistiskt att kvicksilverflödet från sedimenten bidrar med ca 15 % av den totala vattenkoncentrationen av kvicksilver. Det visar att SMHI -modellen på ett tillfredsställande sätt kan beskriva spridningen av kvicksilver i Hallsfjärden utifrån flödet från sedimenten. Modellen bör ta hänsyn till flödet från sedimenten i delområde 3, istället för delområde 2, eftersom avgången är större där.

6. Referenser

Parkman Helena, Remberger Mikael, Viktor Tomas, 1997. Lägesrapport 1996 i projektet: "Miljöövervakningsprojekt i Södertälje kanalområde för bedömning av effekterna från muddring och tippning av sediment"

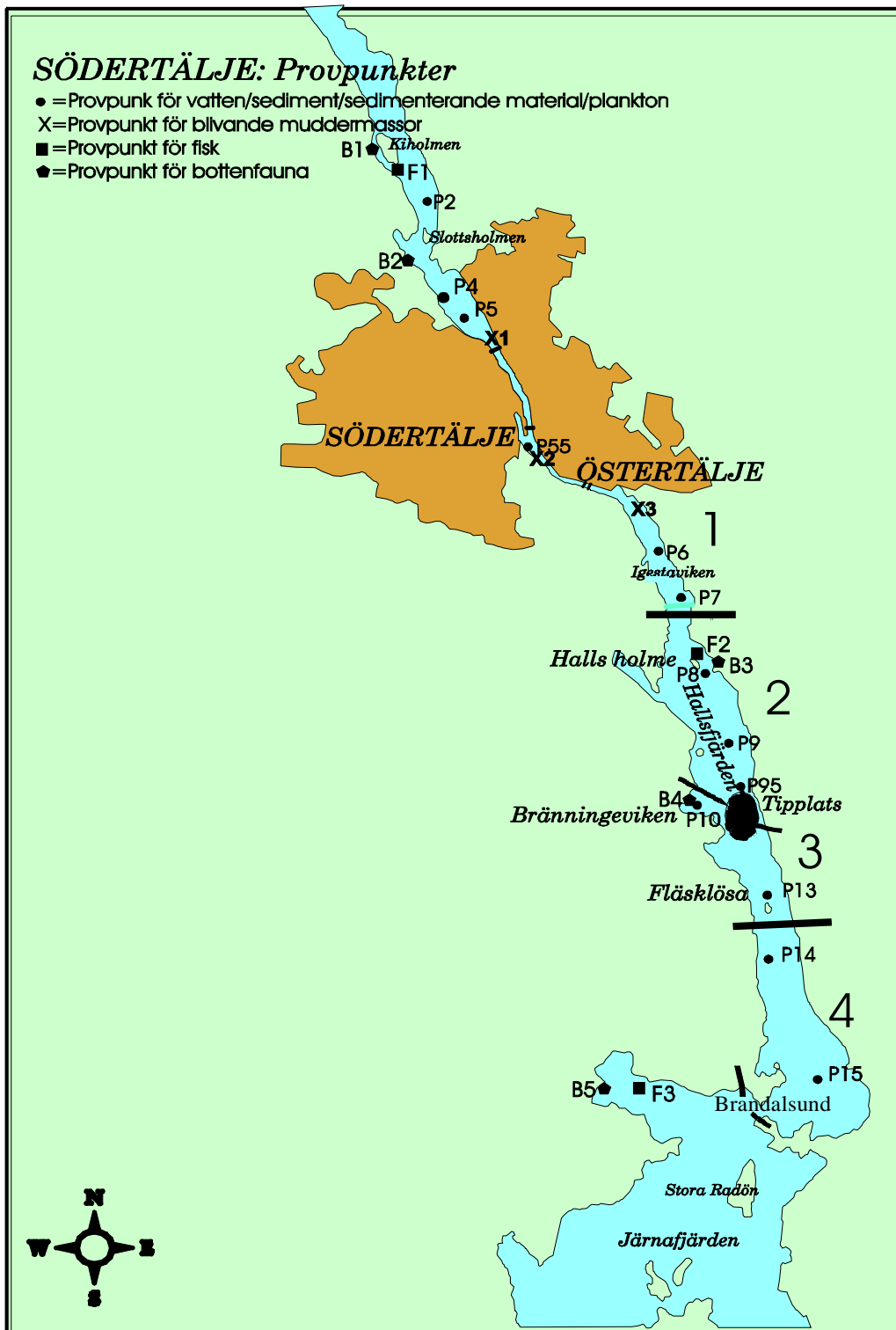
Parkman Helena, Remberger Mikael, Viktor Tomas, 1998. Lägesrapport 1997 i projektet: "Miljöövervakningsprojekt i Södertälje kanalområde för bedömning av effekterna från muddring och tippning av sediment" IVL B-publ 1290.

SMHI, 1997. Modell för kvicksilverkoncentrationen I Hallsfjärden. SMHI Dnr 9610-1424/203. Delrapport inom miljöövervakningsprojektet.

Muntlig referens

Stockholm Vatten. 1998. Lännergren Christer.

Bilaga 1. Karta över Hallsviken med provtagningspunkter och delområdesindelning



Bilaga 2. Beräkning av flödet från sediment, F_C

Resultat från försök på sedimentproppar (20 cm³) för bestämning av F_C . **Aerobi**

| Provtagningspunkt | Ursprunglig Hg-halt i bottenvattnet (ng/l) | Hg-halten efter 18 d relaterat till ursprungshalten (%) | Mängd Hg som avgått från sed. under 18 d (ng) | Beräknat värde på flödet från sedimenten baserat på arean för delområde 2, F_C (ng/s) |
|-------------------|--|---|---|---|
| P8 (delomr 2) | 6 | 250* | - | - |
| P10 (delomr 3) | 12 | 50 | 6 | 3380 |
| P95 (delomr 2) | 12 | 50 | 6 | 3380 |
| P13 (delomr 3) | 82 | 74 | 61 | 34130 |

*Värdet är ej realistiskt varför det inte ingår i några beräkningar

Resultat från försök på sedimentproppar (20 cm³) för bestämning av F_C . **Anaerobi**

| Provtagningspunkt | Ursprunglig Hg-halt i bottenvattnet (ng/l) | Hg-halten efter 18 d relaterat till ursprungshalten (%) | Mängd Hg som avgått från sed. under 18 d (ng) | Beräknat värde på flödet från sedimenten baserat på arean för delområde 2, F_C (ng/s) |
|-------------------|--|---|---|---|
| P8 (delomr 2) | 6 | 117 | 7 | 4780* |
| P10 (delomr 3) | 12 | 317 | 38 | 21380 |
| P95 (delomr 2) | 12 | 83 | 10 | 4780* |
| P13 (delomr 3) | 82 | 305 | 250 | 140710 |

* Ett medelvärde baserat på flödet från provtagningspunkterna P8 och P95

(Alla procentvärden under 100% betyder att Hg-halten är lägre än ursprungshalten.)

Analysosäkerheten är ca 5 % per analys.

Ursprunglig halt är den kvicksilverhalt som fanns i vattnet ovan sedimentproppen vid insamlandet. Innan försöken vid areoba- respektive anaeroba förhållanden påbörjades tömdes det ursprungliga vattnet ut och nytt rent vatten fylldes på ovan sedimenten. På så sätt kunde avgången av kvicksilver från sedimenten under 18 d mätas.

Samtliga flöden, F_C , är baserade på arean för delområde 2.

Beräkningsexempel F_C

F_C har beräknats på följande sätt: (ex P10 anaerobi)

P10 är belägen i delområde 3.

Halt i vattnet efter 18 d anaerobi: $12 * 3,17 = 38,04 \approx 38 \text{ ng/18d}$

38 ng/18d har avgetts från $20 \text{ cm}^3 \Rightarrow 38 * 500 = 19000 \text{ ng/18d}$ har avgetts från 1 m^2 om sedimenten antas vara homogena.

Area delområde 2 = $1,75 \text{ km}^2 \Rightarrow 19000 * 1,75 * 10^6 = 33,25 * 10^9 \text{ ng/18d}$

Värdet $33,25 * 10^9 \text{ ng/18d}$ är den mängd kvicksilver som 18 dygns läckage från sedimenten i hela delområde 2 skulle ge. I SMHI:s modell skall F_C anges i sekunder.

$33,25 * 10^9 / (18 * 24 * 3600) = 21380 \text{ ng/s}$

Värdet 21380 ng/s anger det totala flödet från sedimenten i delområde 2 per sekund.

Bilaga 3. Resultat från beräkningar med SMHI-modell

Scenario 1. Vinter och sommarstagnation, F_C vid anaeroba förhållanden

Tabell 1. Beräknade kvicksilverkoncentrationer i ng/dm^3 (F_C -värde 6750 ng/s) med analysresultat i parentes. F_C -värdet kommer ifrån delområde 2 punkt 95.

| | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 0,27(14,9) | 0,29(5,75) | 0,24(7,35) | 0,24(3,48) |
| 0,4 | 0,4(5,34) | 0(4,25) | 0 |

Tabell 2. Beräknade kvicksilverhalter i ng/dm^3 (F_C -värde 21380 ng/s) med analysresultat i parentes. F_C -värdet kommer ifrån delområde 3 punkt 10.

| | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1,19(14,9) | 1,28(5,75) | 1,07(7,35) | 1,07(3,48) |
| 1,77 | 1,8(5,34) | 0(4,25) | 0 |

Tabell 3. Beräknade kvicksilverhalter i ng/dm^3 (F_C -värde 140 710 ng/s) med analysresultat i parentes. F_C -värdet kommer ifrån delområde 3 punkt 13.

| | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 7,84(14,9) | 8,44(5,75) | 7,04(7,35) | 7,04(3,48) |
| 11,7 | 11,9(5,34) | 0(4,25) | 0 |

Scenario 2. Våromblandning, F_C vid aeroba förhållanden

Tabell 1. Beräknade kvicksilverkoncentrationer i ng/dm^3 (F_C -värde 3380 ng/s) med analysresultat i parentes. F_C -värdet kommer ifrån delområde 2 punkt 95.

| | | | |
|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| 0,11(36,3) | 0,11(20,1) | 0,1(12,3) | 0,09(10,7) |
| 0,13 | 0,13(21,4) | 0,01(8,6) | 0(6,18) |

Tabell 2. Beräknade kvicksilverhalter i ng/dm^3 (F_C -värde 34130 ng/s) med analysresultat i parentes. F_C -värdet kommer ifrån delområde 3 punkt 13.

| | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1,07(36,3) | 1,14(20,1) | 1,02(12,3) | 0,91(10,7) |
| 1,32 | 1,34(21,4) | 0,11(8,6) | 0(6,18) |

Scenario 3. Höstomblandning, F_C vid aeroba förhållanden

Tabell 1. Beräknade kvicksilverkoncentrationer i ng/dm^3 (F_C -värde 3380 ng/s) med analysresultat i parentes. F_C -värdet kommer ifrån delområde 2 punkt 95.

| | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| 0,09(13,9) | 0,1(12,8) | 0,1(6,5) | 0,09(5,7) |
| 0,11(6,49) | 0,11(16,9) | 0,01(46,3) | 0(3,28) |

Tabell 2. Beräknade kvicksilverhalter i ng/dm^3 (F_C -värde 34130 ng/s , delområde 2) med analysresultat i parentes. F_C -värdet kommer ifrån delområde 3 punkt 13.

| | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| 0,94(13,9) | 1,02(12,8) | 1,02(6,5) | 0,91(5,7) |
| 1,12(6,49) | 1,14(16,9) | 0,11(46,3) | 0(3,28) |