

Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SVU) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Ledningsnät
Avloppsvatten
Management

SVU styrs av en kommitté, som utses av styrelsen för Svenskt Vatten AB. För närvarande har kommittén följande sammansättning:

Agneta Granberg, ordförande	Göteborgs Stad
Daniel Hellström, sekreterare	Svenskt Vatten
Henrik Aspegren	VA SYD
Per Ericsson	Norrvatten
Stefan Johansson	Skellefteå kommun
Henrik Kant	Göteborg Vatten
Lena Ludvigsson-Olafsen	Smedjebackens kommun
Lisa Osterman	Örebro kommun
Kenneth M. Persson	Sydvatten AB
Lars-Gunnar Reinius	Stockholm Vatten AB
Bo Rutberg	Sveriges Kommuner och Landsting
Lena Söderberg	Svenskt Vatten

Författarna är ensamt ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan återopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
Box 47607
117 94 Stockholm
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se
Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Flödesanalys av spårelement från källa till slam – Ett stöd i uppströmsarbetet
Title of the report:	Flow analysis of trace elements from source to sludge – A support tool in upstream work
Författare:	Hans Bertil Wittgren och Frida Pettersson, Urban Water Management
Rapportnummer:	2013-12
Antal sidor:	36
Sammandrag:	Med hjälp av flödesanalys har källor till spårelementen; guld, silver, vismut, kadmium och antimon studerats utifrån befintliga analysresultat och provtagningar. Fokus har legat på olika källor i hushållet. Resultat visar att en stor andel av källorna till nämnda spårelement är oidentifierade och ytterligare studier krävs.
Abstract:	Using flow analysis, sources of the trace elements, gold, silver, bismuth, cadmium and antimony, has been studied from existing analytical results and tests. Focus has been on various sources in the household. Results show that a large percentage of the sources of the trace elements is unidentified and further studies are required.
Sökord:	Spårelement, slam, guld, silver, vismut, kadmium, antimon, SoFi – Source Finder
Keywords:	Trace metals, sludge, gold, silver, bismuth, cadmium, antimony, SoFi – Source Finder
Målgrupper:	Tjänstemän på avloppsreningsverk, tillsynsmän, personer som arbetar med uppströmsarbete
Omslagsbild:	Principskiss över avloppsreningsverkets källor. Illustratör: Pertti Salonen
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2013
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB
Om projektet	
Projektnummer:	10-121
Projektets namn:	Flödesanalys av spårelement från källa till slam
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling

Förord

I arbetet för en hållbar återföring av REVAQ-certifierat slam till åkermark är uppströmsarbetet en avgörande del i att minska slammets innehåll av spår-element redan vid källan. År 2010 gjordes ett arbete, i samverkan mellan Urban Water och Käppalaförbundet, för att kartlägga flöden av valda spår-element från olika källor i samhället till avloppsreningsverket, och sålunda till slammet. Som en viktig del av arbetet utvecklades ett beräkningsverktyg – *Source Finder (SoFi)* – med syfte att identifiera och kvantifiera källor till spår-element. Denna första version av verktyget utarbetades för spår-elementen kadmium (Cd), koppar (Cu), krom (Cr), kvicksilver (Hg) och zink (Zn).

Även andra, mindre vanliga spår-element har uppmärksammats i uppströmsarbetet. Dessa spår-element utgör inte ett direkt hot mot åkermarken, utan det är den relativt snabba haltökning i matjorden som skapar frågor kring vilka och hur stora källorna är. Föreliggande projekt syftade till att identifiera och kvantifiera källor till några av dessa mindre vanliga spår-element: silver (Ag), guld (Au), vismut (Bi) och antimon (Sb).

Två examensarbeten har utförts inom projektet, och vi vill framföra ett varmt tack till Cecilia Johnsson, som utförde sitt examensarbete vid Uppsala universitet, och till Emelie Karlsson, som utförde sitt examensarbete vid Linköpings universitet.

Vi vill även tacka referensgruppen, som har bestått projektet med rika erfarenheter och värdefulla synpunkter: Anders Finnson, Svenskt Vatten; Katarina Hansson, Eslövs kommun (nu VA SYD); Peter Hugmark, Käppalaförbundet; Ragnar Lagerkvist, Stockholm Vatten; Lars Nordén, Gryaab och Christina Rydh, Norrköping Vatten.

Stockholm, april 2013

Hans Bertil Wittgren
Frida Pettersson

Innehåll

Förord.....	3
Sammanfattning.....	6
Summary.....	7
1 Inledning	8
2 Source Finder (SoFi) – ett verktyg i uppströmsarbetet	10
2.1 Beskrivning av Source Finder – SoFi	10
2.2 Tillämpning i Sigtuna och Solna kommuner	12
3 Silver, guld, vismut och antimon – egenskaper och användningsområden	15
3.1 Silver (Ag).....	15
3.2 Guld (Au).....	15
3.3 Vismut (Bi).....	16
3.4 Antimon (Sb).....	16
4 Identifiering och kvantifiering av källor till Ag, Au, Bi, Cd och Sb.....	18
4.1 Substansflödesberäkningar med SoFi.....	20
4.2 Resultatkontroll.....	21
5 Experiment för kvantifiering av källor till Ag, Au, Bi och Sb.....	22
5.1 Provförteckning	22
5.2 Experimentens genomförande, provbehandling och analys	23
5.3 Resultat	24
5.4 Antaganden och beräkningar för Norrköping	26
5.5 Diskussion	28
6 Slutsatser	29
7 Referenser.....	30

Sammanfattning

Två studier har genomförts med fokus på spårelementen silver (Ag), guld (Au), vismut (Bi) och antimon (Sb). Den första studien utgörs av en litteraturgenomgång, och en på denna baserad utvidgning av verktyget SoFi (Source Finder) till att omfatta också de fyra nämnda spårelementen. Tillämpningen av SoFi har här skett i Käppalaverkets upptagningsområde. I den andra studien har ambitionen varit att genom provtagning och experiment undersöka specifika källor till de fyra spårelementen. Fokus har legat på olika källor i hushållet, samt på tvättvatten från fordonstvättar. De erhållna analysresultaten har med olika antaganden extrapolerats för att möjliggöra en uppskattning av respektive källas bidrag till innehållet av de fyra spårelementen i inflödet till Slottshagens avloppsreningsverk, Norrköpings kommun. Vid denna uppskattning har även använts data från en undersökning av silverläckage i samband med tvätt av kläder.

De med schablonvärden i SoFi beräknade flödena av spårelement från olika källor kunde bara förklara en mindre (eller ingen) del av de med oberoende mätningar beräknade inflödet till Käppalaverket: Ag – 32 %, Au – 0 %, Bi – 8 % och Sb – 10 %. För Ag beräknades fekalier vara den största källan till den förklarade tillförseln, medan för Bi och Sb var BDT-vatten den största källan. Beräkningar genomfördes även för kadmium (Cd) och då gav SoFi ett värde som var 15 % högre än de på mätningar baserade inflödena. Med andra ord kan källorna till Cd sägas vara tämligen väl identifierade och kvantifierade, medan detta inte gäller för Ag, Bi och Sb, och definitivt inte för Au.

Som potentiella källor till utsläpp av spårelement från hushåll (BDT-vatten) identifierades kosmetika (Ag, Au och Bi), silverbehandlade klädesplagg (Ag), smycken (Ag och Au), bestick (Ag) och tandamalgam (Ag). Beträffande fordonstvättar var intresset framförallt riktat mot Sb, som ingår i bromsbelägg, men tvättvatten analyserades även med avseende på de tre övriga spårelementen.

Extrapolationer av analysresultaten visade att kosmetikakategorierna puder och foundation skulle kunna bidra med en avsevärd andel (ca 40 %) av Bi i inkommande vatten till Slottshagens avloppsreningsverk i Norrköping. Ögonskugga, handtvätt med silverringar, och fordonstvättar skulle kunna bidra med vardera ca 2 % av Ag-inflödet. Tvätt av silverbehandlade klädesplagg uppskattades kunna bidra med ca 4 %. Tandborstning av amalgamfyllningar gav Ag-bidrag mindre än 1 %, och detsamma gällde Sb-bidraget från fordonstvättar. För Au gav samtliga undersökta källor bidrag mindre än 1 % vardera.

Sammanfattningsvis visar de två studierna att en avgörande brist för att kunna göra källfördelning av mindre vanliga spårelement är att schablonvärden i stor utsträckning saknas. Men det är även så att det i många fall sannolikt är svårt att ta fram schablonvärden eftersom koncentrationerna i aktuella flöden är mycket låga, samtidigt som matriserna (t.ex. smink) ofta är svåra att hantera vid provberedning. Därför behöver arbete med att utveckla analysmetodik ske parallellt med att olika källor undersöks.

Summary

Two studies were conducted focusing on the trace elements silver (Ag), gold (Au), bismuth (Bi) and antimony (Sb). The first study consists of a literature study and an extension of the tool SoFi (Source Finder) to include the four mentioned trace elements. The application of SoFi was carried out for the service area of the Käppala wastewater treatment plant in Stockholm. In the second study, the aim has been to study specific sources of the four trace elements through through sampling and experiments. The focus has been on various sources in the household, and the washing water from car washes. Based on various assumptions, the analytical results were extrapolated to enable an estimation of each source's contribution to the content of the four trace elements in incoming water to the Slottshagen wastewater treatment plant in Norrköping. For this estimation, also data from a study of silver leaking during washing of garments were used.

Using standard values in SoFi, the flows of trace elements from different sources were calculated, but could only partly explain the measurement-based inflows to Käppala wastewater treatment plant: Ag – 32 %, Au – 0 %, Bi – 8 % and Sb – 10 %. For Ag, faeces calculated to be the largest source to the explained inflow, while for Bi and Sb greywater was the largest source. Calculations were also carried out for cadmium (Cd) and resulted in a value that was 15% higher than the inflow based on measurements. In other words, the sources of Cd are fairly well identified and quantified, while this is not true for Ag, Bi and Sb, and definitely not for Au.

As potential sources of trace elements emissions in household greywater, cosmetics (Ag, Au and Bi), silver-treated garments (Ag), jewellery (Ag and Au), cutlery (Ag) and dental amalgam (Ag), were identified. Concerning the source car washes, the focus was mainly directed towards Sb, as it is a part of the brake pads, but the washing waters were also analysed with respect to the three other trace elements.

Extrapolations of the analytical results showed that the cosmetics powder and foundation could contribute to a significant part (approximately 40 %) of the Bi-content in incoming water to the Slottshagen wastewater treatment plant in Norrköping. Eye shadow, hand washing with silver rings, and car washes would contribute with about 2 % each of the Ag in inflow. Washing of silver-treated garments was estimated to contribute about 4 %. Tooth brushing of amalgam fillings contributed less than 1 % to the inflow of Ag, as did Sb contributions from car washes. For Au all sources were calculated to contribute less than 1 % each to the inflow.

In summary, the two studies show that the lack of standard values is a critical deficiency when making source distributions of the studied trace elements. But it is also likely, in many cases, that it is difficult to obtain standard values since concentrations in several water flows are very low. At the same time, matrices (such as cosmetics) are often difficult to handle in sample preparation. Therefore, efforts should be made to develop analytical methodology in parallel with continued examination of trace element sources.

1 Inledning

Den svenska VA-sektorn har länge haft målsättningen att avloppsslam ska kunna spridas som näringsresurs på produktiv mark. Detta är även ett delmål i det nationella miljömålet ”God bebyggd miljö”: ”Senast år 2015 skall minst 60 procent av fosforföreningarna i avlopp återföras till produktiv mark, varav minst hälften bör återföras till åkermark” (Regeringen, 2005).¹ Trots en närmast ständigt slamdebatt pågår arbetet med att uppfylla målet och enligt den senaste beräkningen, som avser 2010, återföres 25 % (baserat på torrsubstans) av slammet till åkermark, medan återföringen till annan produktiv mark (skogsmark) bara utgör 1 % (Naturvårdsverket & SCB, 2012). Målet beträffande åkermark kan därför anses möjligt att nå till 2015, men knappast delmålet i sin helhet.

För att säkerställa låga halter av framförallt spårelement i slam har källor spårats och inflöden till avloppsreningsverken minskats, genom att olika åtgärder beslutats och genomförts. Fokus har legat på de giftigaste och/eller vanligaste tungmetallerna, med kadmium (Cd) som främsta exempel. Även beträffande bly (Pb), koppar (Cu), krom (Cr), kvicksilver (Hg), nickel (Ni) och zink (Zn) är kunskaperna om källorna idag relativt goda, och arbetet med att minska deras användning och/eller tillförsel till avloppsreningsverken kan sägas ha varit huvudsakligen framgångsrikt. Halterna i slam av dessa metaller har visat nedåtgående trender sedan början av 1980-talet (se t.ex. Länsstyrelsen i Stockholms län, 2011). Många punktkällor har både spårats och åtgärdats, medan källorna av diffus karaktär är svårare både att spåra och att åtgärda. Detta kommer bl.a. till uttryck i att halterna i slam har varit relativt konstanta under 2000-talet, såväl i Stockholm (Länsstyrelsen i Stockholms län, 2011) som i hela Sverige (Naturvårdsverket & SCB, 2012).

På senare år har även ett antal mindre vanliga spårelement börjat uppmärksammas. Inte i första hand för att de utgör ett direkt hot mot åkermarken vid slamspridning, utan för att tillförseln av dessa element med slam medför en relativt snabb haltökning i matjorden. Eriksson (2001) skattade antalet år det tar att fördubbla halterna i jord² för ett stort antal (61) element, och de med kortast fördubblingstakt var: guld (Au) <17 år, silver (Ag) 41 år, kvicksilver (Hg) 150 år, koppar (Cu) 170 år, antimon (Sb) 240 år, tenn (Sn) 280 år, molybden (Mo) 320 år, bor (B) 360 år, zink (Zn) 430 år, kadmium (Cd) 480 år, och vismut (Bi) 600 år.

I certifieringsarbetet inom REVAQ är målsättningen att år 2025 alla icke-essentiella spårelement ska ha en ackumuleringshastighet i jordbruksmark som är lägre än 0,2 % (REVAQ, 2011). Guld (Au) förmodas ha den snabbaste anrikningstakten, 2,3 % per år i åkermarken för 30 av de 32 undersökta avloppsreningsverken. Men det finns samtidigt stor osäkerhet beträffande guld, eftersom halterna i jord är under detektionsgränsen. Ytter-

¹ Delmålet ses för närvarande över av Naturvårdsverket, inom ramen för regeringsuppdraget ”Hållbar återföring av fosfor”.

² En 25 cm djup matjord med volymvikten 1,25 kg dm⁻³, om man lägger på 0,7 ton TS slam per ha och år. Fördubblingstiderna är baserade på viktade medelhalter av metallerna i slam, samt medelhalter i jord.

ligare tre spårelement ackumuleras snabbare än 0,2 % per år i åkermarken för fler än 20 av reningsverken. I fallande ackumuleringshastighet (högst först) är de: vismut (Bi) – 0,7 %, silver (Ag) – 0,6 % och kvicksilver (Hg) – 0,3 %. Tenn (Sn) och antimon (Sb) har en ackumuleringshastighet som överstiger 0,2 % vid 9 respektive 4 av de 32 reningsverken (REVAQ, 2011).

För att underlätta det så kallade uppströmsarbetet, där identifiering och kvantifiering av källor till spårelement är viktiga förutsättningar, har ett beräkningsverktyg utvecklats i ett samarbete mellan Urban Water och Käppalaförbundet (Agduhr Eronen, 2010; Norström et al., 2010). Med hjälp av detta verktyg – *Source Finder (SoFi)* – kan information om substansflöden från olika verksamheter sammanställas och relateras till det totala uppmätta eller beräknade flödet från exempelvis en kommun eller ett verksamhetsområde. Vidare kan information om var åtgärdsinsatser är mest effektiva identifieras. Verktyget har tillämpats i Sigtuna och Solna kommuner för tungmetallerna kadmium (Cd), koppar (Cu), krom (Cr), kvicksilver (Hg) och zink (Zn).

Syftet med det aktuella projektet är att identifiera och kvantifiera källor till några av de mindre vanliga spårelement som omnämndes ovan: silver (Ag), guld (Au), vismut (Bi) och antimon (Sb). Två studier har genomförts. Den första studien utgörs av en litteraturgenomgång, och en på denna baserad utvidgning av verktyget SoFi till att omfatta också de fyra nämnda spårelementen. Tillämpningen av SoFi har här skett i Käppalaverkets verksamhetsområde, och förutom de fyra nämnda spårelementen omfattade denna studie även kadmium (Cd). I den andra studien har ambitionen varit att genom provtagning och experiment undersöka specifika källor till de fyra spårelementen. Fokus har legat på olika källor i hushållet, samt på tvättvatten från fordonstvättar. De erhållna analysresultaten har med olika antaganden extrapolerats för att möjliggöra en uppskattning av respektive källas bidrag till innehållet av de fyra spårelementen i slammet från Slottslagens avloppsreningsverk, Norrköpings kommun. Vid denna uppskattning har även använts data från en undersökning av silverläckage i samband med tvätt av kläder (Kemikalieinspektionen, 2011).

I det följande presenteras först verktyget SoFi samt sammanfattas resultaten från en tidigare tillämpning av verktyget på tungmetallerna kadmium (Cd), koppar (Cu), krom (Cr), kvicksilver (Hg) och zink (Zn) (kapitel 2). I kapitel 3 beskrivs egenskaper och användningsområden för spårelementen silver (Ag), guld (Au), vismut (Bi) och antimon (Sb). I kapitel 4 respektive 5 presenteras projektets två studier, och i kapitel 6 ges sammanfattande slutsatser.

2 Source Finder (SoFi) – ett verktyg i uppströmsarbetet

I detta kapitel beskrivs verktyget SoFi samt sammanfattas resultaten från en tidigare tillämpning på tungmetallerna kadmium (Cd), koppar (Cu), krom (Cr), kvicksilver (Hg) och zink (Zn) i Sigtuna och Solna kommuner (Agduhr Eronen, 2010; Norström et al., 2010).

2.1 Beskrivning av Source Finder – SoFi

SoFi är ett beräkningsverktyg för substansflödesanalys, med syfte att identifiera och kvantifiera källor till spårelement i inkommande vatten till avloppsreningsverk. Därmed avses det kunna stödja VA-huvudmän och tillsynsmyndigheter i uppströmsarbetet. Den geografiska avgränsningen för en analys kan vara ett verksamhetsområde, en kommun eller en del av en kommun. Avgränsningen baseras lämpligen på uppgifter om ledningsnätets struktur och tillgängliga mätpunkter. Tidsmässigt räknar verktyget med årsflöden.

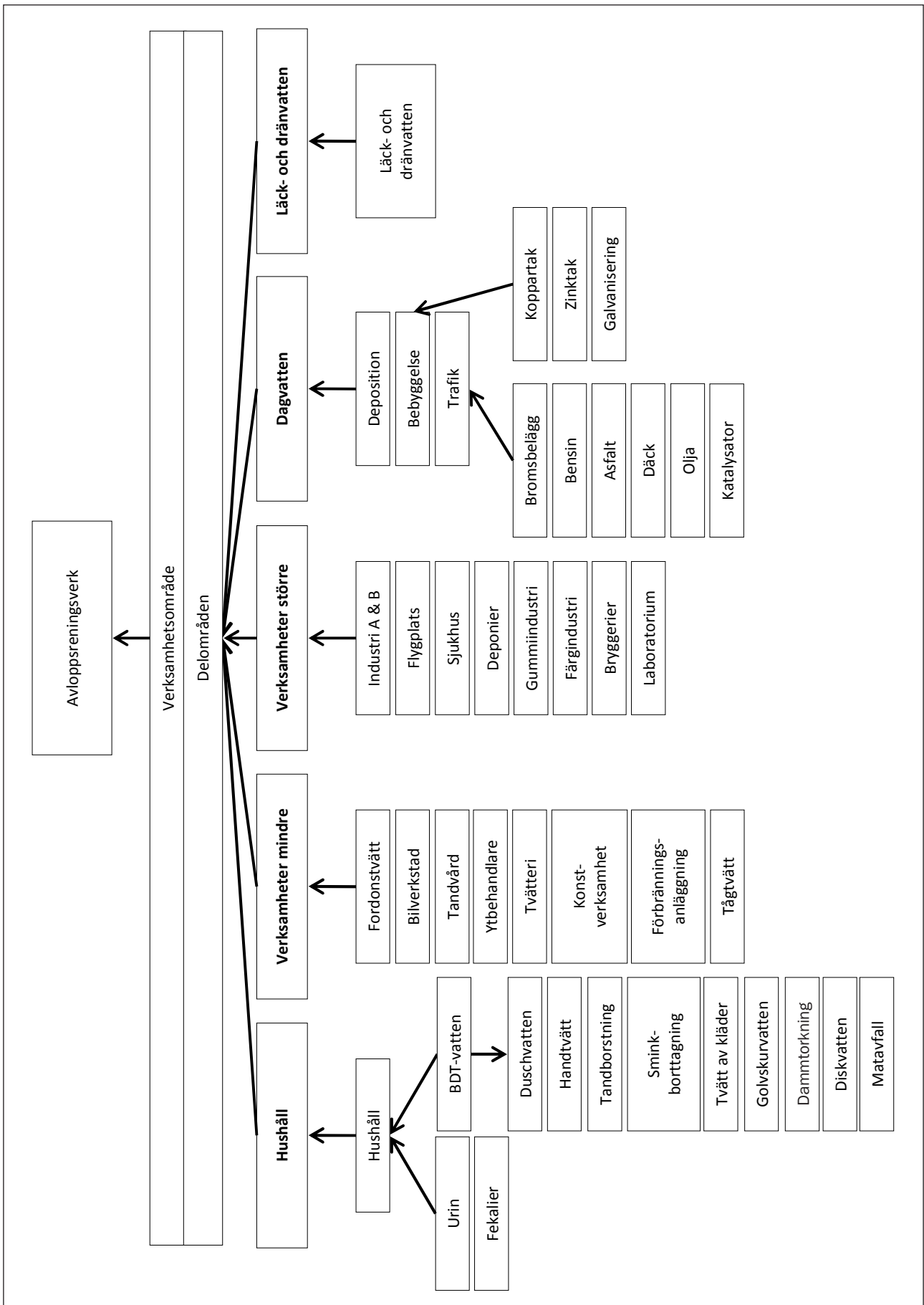
Fem huvudkällor till spårelement som tillförs avloppsreningsverk hantearas: ”Hushåll”, ”Verksamheter mindre”, ”Verksamheter större”, ”Dagvatten” samt ”Läck- och dränvatten” (Figur 2-1).

- *Hushåll* avser det totala bidraget från hushållen, d. v. s. urin, fekalier och BDT-vatten (bad-, disk- och tvättvatten) där BDT-vattnet inkluderar bad- och duschvatten, handtvätt, tandborstning, sminkborttagning, tvätt av kläder, diskvatten, med mera.
- *Verksamheter mindre* avser främst källor såsom fordonstvättar, bilverkstäder, tandläkarmottagningar, etc., för vilka schablonvärden för emissioner av spårelement kan användas.
- *Verksamheter större* avser främst tillståndspliktiga A- och B-verksamheter för vilka tillgängliga mätdata från miljörapporter används.
- *Dagvatten* avser den del av dagvattenflödet som leds till avloppsreningsverk i kombinerade system.
- *Läck- och dränvatten* avser inläckage från läck- och dränvatten till avloppsledningarna.

För fyra av huvudkällorna (”Hushåll”, ”Verksamheter mindre”, ”Dagvatten” samt ”Läck- och dränvatten”) används normalt schablonvärden för emissioner av spårelement, vilka huvudsakligen baseras på svenska studier, medan huvudkällan ”Verksamheter större” utgörs av indata från inrapporterade emissioner av metaller via miljörapporter för de specifika A- och B-verksamheterna.

Verktyget SoFi är uppbyggt i Excel och består av följande delar:

- Introduktion och information om verktyget samt hur det används.
- Indata för det specifika området beträffande: antal hushåll, befintliga mindre verksamheter, andel hårdgjord yta, vägarea, koppartaksarea, och mängd läck- och dränvatten till avloppsledningarna. Här registreras



Figur 2-1 Källor från vilka flöden av spårelement beräknas i verktyget Source Finder (SoFi).

även mätvärden från A- och B-verksamheters miljörapporter eller resultat från provtagningsprogram, samt uppmätta substansflöden för det studerade området.

- Databas med schablonvärden för spårelementkällor samt referenser för varje specifikt värde.
- Beräkningar av källfördelning för respektive spårelement, samt en jämförelse av hur väl de med verktyget beräknade värdena överensstämmer med substansflöden baserade på mätningar.
- Åtgärdsanalys, där det beräknas hur en åtgärd i exempelvis en viss verksamhet påverkar det totala flödet av ett eller flera spårelement.
- Litteraturreferenser till områdesspecifika indata och schablonvärden.

Vid en analys med SoFi registreras data för huvudkällorna tillsammans med områdesspecifika indata varefter flödet av spårelement från det aktuella området till avloppsreningsverket beräknas. Det sammanlagda flödet jämförs sedan med flöden beräknade från mätningar i inkommande avloppsvatten eller slam, för att undersöka om identifierade källor kan förklara de uppmätta mängderna av spårelement, eller om det förefaller finnas ytterligare källor.

En mer detaljerad beskrivning av arbetsgången har presenterats av Agduhr Eronen (2010).

2.2 Tillämpning i Sigtuna och Solna kommuner

Den första versionen av SoFi utvecklades och tillämpades inom ramen för två fallstudier i Käppalaverkets upptagningsområde, Sigtuna och Solna kommuner, och omfattade tungmetallerna kadmium (Cd), koppar (Cu), krom (Cr), kvicksilver (Hg) och zink (Zn). Förutom källfördelningen av de fem tungmetallerna föreslogs även åtgärder för att minska flödena till avloppsreningsverket. I det följande sammanfattas fallstudierna i respektive kommun, baserat på den fullständiga rapporteringen från Agduhr Eronen (2010) och Norström et al. (2010).

2.2.1 Sigtuna kommun

Sigtuna kommun, med knappt 40 000 innevånare, består av de tre tätorterna Märsta, Sigtuna och Rosersberg. Flygplatsen Stockholm-Arlanda Airport (Arlanda) och en avfallsförbränningsanläggning är betydande verksamheter i kommunen, som i övrigt består av stora naturområden.

Resultaten från SoFi-analysen av kommunens tungmetallkällor visade på att cirka 800 g kadmium tillfördes Käppalaverket från Sigtuna kommun, där de största bidragen kom från hushåll³ (45 %⁴) och Arlanda (41 %). Övriga betydande källor var läck- och dränvatten (6 %), konstnärsverksamhet (4 %) och förbränning av avfall (4 %).

³ Huvudkällan "Hushåll" var i den version av SoFi som användes i fallstudierna i Sigtuna och Solna inte uppdelad i delkällor såsom klosettvatten och BDT-vatten, utan sågs som en källa.

⁴ Denna andel, liksom för de följande spårelementen, kan ställas i relation till andelen av vattenvolymen som kommer från hushåll, 46 % (Torsten Palmgren, personlig kommunikation). Andelen gäller hela Käppalaverkets upptagningsområde eftersom separata beräkningar för Sigtuna och Solna inte kan göras.

För kvicksilver beräknades den totala tillförseln till Käppalaverket till 245 g/år, varav ca 50 % från hushåll. Andra betydande källor var tandvård (27 %), förbränning av avfall (17 %), samt läck- och dränvatten (5 %).

Angående koppar visade analysen med SoFi på ett flöde av 330 kg/år till Käppalaverket, varav hushåll bidrog med ca 280 kg/år (84 %). Med indata från Hammarby Sjöstad, där koppar inte används i vattenledningarna, minskade hushållens bidrag med cirka 100 kg/år. Detta visar att en stor del av hushållens kopparbidrag kan härledas till kopparledningar. Näst största kopparbidraget kom från Arlanda (14 %) medan läck- och dränvatten och fordonstvättar beräknades vara mindre källor (1 % vardera).

Hushållen var den största bidragande källan för zink till Käppalaverket med knappt 240 kg/år (73 %) av det totala flödet 326 kg/år. Arlanda (20 %), läck- och dränvatten (4 %) och fordonstvättar (3 %) gav också nämnvärda tillskott. Golvskurvatten från bilverkstäder och förbränning av avfall gav mindre bidrag.

Även för krom visade resultaten att hushållen bidrog mest, drygt 7 kg/år (53 %) av det totala flödet på 14 kg/år, medan Arlanda bidrog med 24 % och läck- och dränvatten med 17 %. Mindre bidrag kom från fordonstvättar (5 %) och förbränning av avfall (2 %).

En resultatkontroll av beräknade resultat från SoFi jämfört med substansflöden baserade på mätningar visade på både överskattning och underskattning av tungmetallskällorna (Tabell 2-1).

Tabell 2-1 Resultatkontroll: Jämförelse mellan med SoFi beräknade tungmetallflöden från Sigtuna kommun till Käppalaverket, och flödesberäkningar baserade på mätningar (Agduhr Eronen, 2010).

Resultatkontroll	Cd	Hg	Cu	Zn	Cr
SoFi-beräknat (kg/år)	0,8	0,2	330	326	14
Mätningbaserat (kg/år)	0,6	0,4	275	396	16
SoFi-beräknat / Mätningbaserat (%)	134 %	61 %	120 %	82 %	87 %

2.2.2 Solna kommun

Solna kommun, med cirka 70 000 innevånare består av Solna stad med villaområden, flerfamiljehusområden, grönområden och industrier.

Liksom i Sigtuna bidrog Solna med ca 800 g/år kadmium till Käppalaverket, och det största bidraget beräknades komma från hushållen (82 %). Läck- och dränvatten och konstnärsverksamheter beräknades också ge relativt stora bidrag (8 % vardera).

För kvicksilver beräknades Solna bidra med ungefär 400 g/år och de största källorna var hushåll (55 %) och tandvård (39 %). Läck- och dränvatten bidrog med 4 %.

För koppar visade analysen på ett flöde av 536 kg/år till Käppalaverket från Solna, varav hushåll bidrog med 520 kg/år (98 %). Med indata från Hammarby Sjöstad, där koppar inte används i vattenledningarna, var hushållens bidrag endast ca 200 kg/år. Övriga källor till koppar var exempelvis läck- och dränvatten, fordonstvättar och kopparkoppar.

Även för zink var hushållen den huvudsakliga bidragande källan med 450 kg/år (93 %) av det totala flödet 482 kg/år. Läck- och dränvatten (4 %) och fordonstvättar (2 %) var två ytterligare källor.

Flödet av krom från Solna beräknades till 18 kg/år. De största bidragen var hushåll (76 %) följt av läck- och dränvatten (19 %) och fordonstvättar (5 %).

Vid en resultatkontroll (Tabell 2-2) visade SoFi-beräkningarna i alla fall utom ett (koppar) på underskattning av tungmetallskällorna, vilket indikerar att alla källor inte är identifierade.

Tabell 2-2 Resultatkontroll: Jämförelse mellan med SoFi beräknade tungmetallflöden från Solna kommun till Käppalaverket, och flödesberäkningar baserade på mätningar (Agduhr Eronen, 2010).

Resultatkontroll	Cd	Hg	Cu	Zn	Cr
SoFi-beräknat (kg/år)	0,8	0,4	536	482	18
Mätningbaserat (kg/år)	1,1	0,7	522	751	30
SoFi-beräknat / Mätningbaserat (%)	76%	62%	103%	64%	61%

2.2.3 Reflektion

Resultaten från fallstudierna i båda kommunerna visade att hushåll var den viktigaste källan till de fem studerade tungmetallerna i inkommande avloppsvatten till Käppalaverket. Speciellt för koppar var hushållen den helt dominerande källan, men även för övriga tungmetaller var hushållens bidrag betydande – från 45 % till 93 %. Även läck- och dränvatten var en betydande källa. I Sigtuna kommun identifierades ytterligare ett antal källor som gav markanta bidrag, såsom Arlanda flygplats och avfallsförbränningsanläggningen, medan Solna kommun inte hade liknande källor.

Att hushållen var så betydande källor har varit vägledande för det fortsatta arbetet, där en uppdelning mellan urin, fekalier och BDT-vatten görs, och där experiment inriktats mot hushållens bidrag (se kapitel 5).

3 Silver, guld, vismut och antimon – egenskaper och användningsområden

I detta kapitel beskrivs egenskaper och användningsområden för spårelementen silver (Ag), guld (Au), vismut (Bi) och antimon (Sb) (Johnsson, 2011).

3.1 Silver (Ag)

Egenskaper: Silverjoner är mycket giftiga för vattenlevande organismer. Tillväxt och fortplantning hos fisk och små kräddjur försämras redan vid halter under 1 µg/l (Kemikalieinspektionen, 2012). Silver är även giftigt för mikroorganismer. Redan i låga koncentrationer kan metallen hämma respirationen (Stjernman-Forsberg & Eriksson, 2002). Det finns farhågor om att en utbredd användning av silver som antibakteriellt medel kan bidra till utveckling av silverresistenta bakterier (SCENIHR, 2009; Kemikalieinspektionen, 2011). Silverniträt är ett prioriterat riskminskningsämne på grund av dess potentiella miljöfarliga långtidseffekter (Kemikalieinspektionen, u. å.).

Användningsområden: Silver används sedan länge i smycken, mynt och bestick, vid fotoframkallning, som katalysator inom industrin, vid ytbehandling av stål, samt i tandamalgam, batterier och elektronik (Sternbeck & Östlund, 1999; Svenson et al., 2008). Som antibakteriellt medel har silver en lång tradition inom sjukvården, men det är på senare år som silveranvändningen i konsumentprodukter har ökat. Bland annat används silver i textilier, skor, kylskåp, tandborstar, plastflaskor, dammsugarfilter, madrasser och skärbrädor (Kemikalieinspektionen, 2012). Silver har tidigare använts även i läkemedel, men 1976 avregistrerades det sista läkemedlet innehållande silver (FASS, u. å.). Metallen finns dock fortfarande i andra produkter som säljs i läkemedelsbutiker och används i sjukvård men vissa försäljare och landsting har slutat sälja och använda dessa produkter (Svenson et al., 2008). Ett annat användningsområde för silver är som livsmedelstillsats (E174) för t.ex. dekor på konfektyr och i likörer (Livsmedelsverket, 2008). Ett relativt nytt användningsområde för silver är i form av nanopartiklar. Silver i denna form används som baktericid i hushållsapparater och textilier. Kolloidalt silver såldes som kosttillskott fram till den 31 december 2009 då nya föreskrifter om kosttillskott började gälla (Livsmedelsverket, 2010). Idag saluförs det kolloidala silvret istället som ”IONOSIL™ kolloidalt silver”, ”en vattenreningsprodukt som effektivt dödar bakterier, svampar, virus och encelliga protozoer av typen amöbor och plasmodium (malaria)” (ION SILVER, 2012).

3.2 Guld (Au)

Egenskaper: Guld är lättupptagligt för växter och det finns bakterier i jorden som omvandlar guld till mer växttillgängliga former (Stjernman-Forsberg &

Eriksson, 2002). Inga studier av hur guld påverkar människan har påträffats i litteraturen.

Användningsområden: Guld används främst i smycken, medaljer och mynt. Andra användningsområden är i elektronik och inom tandvården (Naturvårdsverket, 2002). Inom livsmedelsindustrin är guld godkänt som livsmedelstillsats (E175) för t.ex. dekor på konfektyr och i likörer (Livsmedelsverket, 2008). I Sverige finns det ett läkemedel som innehåller guld (FASS, u. å.). Läkemedlet används för behandling mot reumatiska sjukdomar och får endast ges av sjukvårdspersonal. Ett nytt användningsområde är i form av nanoguld där nanopartiklar av guld kan användas i till exempel medicinska applikationer eller som beläggning på solceller (Kemikalieinspektionen, 2007; Hägglund, 2008).

3.3 Vismut (Bi)

Egenskaper: Vismut binder lätt till sedimenterande partiklar och har därför kort uppehållstid i vatten (Sternbeck & Östlund, 1999; Lithner & Holm, 2003). På grund av partikelreaktiviteten är vismut även svårtillgänglig för växter, och även på kontaminerade marker är upptaget i växter lågt (Lindgren, 2009). Vismut är mindre toxisk än många andra tungmetaller och används därför som ersättare för flera andra metaller (Lagneborg & Waltersson, 2004). På grund av denna ökade användning klassar Sternbeck & Östlund (1999) vismut som en högriskmetall för miljön.

Användningsområden: Vismut används i kosmetika, smörjmedel, fyrverkerier och konstnärsfärg (Lagneborg & Waltersson, 2004; Lithner & Holm, 2003; Lindgren, 2009; Sternbeck & Östlund, 1999). Dessutom kan vismut finnas i ammunition, vattenledningar, glasyrer och mässing, där vismut används som ersättare för mer toxiskt bly (Sternbeck & Östlund 1999). Elementet har tidigare använts i läkemedel, men den sista avregistreringen av läkemedel innehållandes vismut skedde år 2010 (FASS, u. å.). Vid avfallsförbränning och biobränsleproduktion anrikas vismut i flygaskorna och just avfallsförbränning kan vara en antropogen källa till vismut i Sverige.

3.4 Antimon (Sb)

Egenskaper: Antimon binder relativt hårt till partiklar, och den transport som sker i marken förefaller väsentligen vara partikelbunden (Hjortenkrans, 2008). Kunskaper om spårelementets förekomst i grödor och markorganismer är mycket små (Stjernman-Forsberg & Eriksson, 2002). Antimon irriterar hud och slemhinnor och är giftigt för både människor och djur (Lagneborg & Waltersson, 2004; Svenskt Vatten, 2009). Föreningen antimontrioxid har sedan 1989 klassats som möjligen cancerogen av International Agency for Research on Cancer (IARC, 1989, s. 294). Andra antimonföreningar klassas som utfasningsämnen eller prioriterade riskminskningsämnen i Sverige, framförallt på grund av att de kan medföra miljöfarliga långtidseffekter (Kemikalieinspektionen, u. å.). I Sverige finns det hygieniska gränsvärden för antimon i dricksvatten, där vattnet anses

vara otjänligt vid antimonkoncentrationer högre än 5 µg/l (Livsmedelsverket, 2001).

Användningsområden: Antimon används i flamskyddsmedel, som pigment, som legeringsmetall till bly och som katalysator inom kemiindustrin, samt förekommer även i plast, elektronik, textilier, glas, bromsbelägg till fordon och i batterier (Sternbeck, 1998; Sternbeck et al., 2002; Hjortenkrans, 2008, Svenskt Vatten, 2009). Tidigare användes antimon som pigment i smink men har sedan 1993 varit förbjuden för detta ändamål (Läkemedelsverket, 1993). Antimon har också använts i läkemedel men sedan 1969 har inget sådant läkemedel varit registrerat i Sverige (FASS, u. å.). Betydande emissionskällor för antimon är vägtrafik och avfallsförbränning, där emissionerna från vägtrafiken sprids till både dagvatten och luft, medan emissionerna från avfallsförbränning till stor del sker till luft (Sternbeck & Östlund, 1999; Hjortenkrans et al., 2007).

4 Identifiering och kvantifiering av källor till Ag, Au, Bi, Cd och Sb

Detta kapitel bygger på examensarbetet Flödesanalys av spårelementen från källa till slam (Johnsson, 2011). Jämfört med det tidigare arbetet med SoFi (kapitel 2) fokuserade detta arbete på ett antal ”nya” spårelement – guld, silver, vismut och antimon – men även kadmium ingick. En litteraturstudie genomfördes för att identifiera källor till de ”nya” spårelementen (kapitel 3), samt för att erhålla schablonvärden att basera SoFi-analysen på (Tabell 4-1).

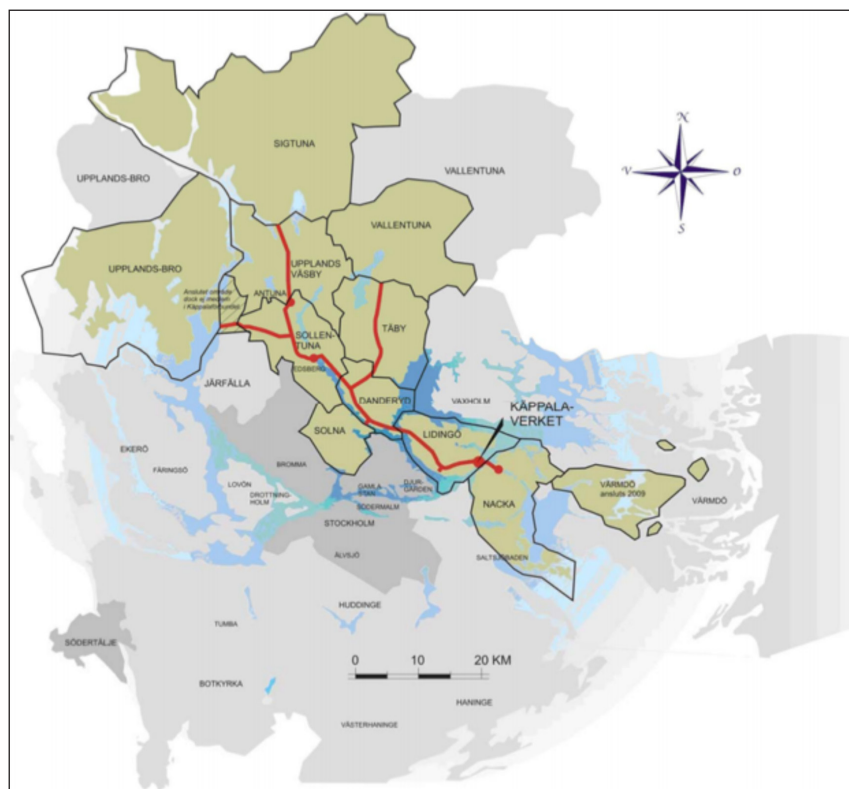
Det finns få schablonvärden angående emissioner från mindre verksamheter redovisade i litteraturen, och de många luckorna i Tabell 4-1 förklaras av att det inte finns något krav på provtagning med avseende på de studerade spårelementen (förutom kadmium). För kadmium i BDT-vatten redovisas två värden, det högre avser gammal infrastruktur och det lägre avser ny.

Tabell 4-1 Sammanställning av schablonvärden för spårelementkällor (Johnsson, 2011).

Källa	Enhet	Ag	Au	Bi	Cd	Sb
Hushåll						
Urin	g/(inv·år)	1,83·10 ⁻⁵			1,83·10 ⁻⁴	1,13·10 ⁻⁵
Fekalier	g/(inv·år)	0,012		2,50·10 ⁻⁴	3,65·10 ⁻³	1,10·10 ⁻³
BDT-vatten	g/(inv·år)	6,74·10 ⁻³		7,95·10 ⁻³	3,65·10 ⁻³ / 1,46·10 ⁻²	9,13·10 ⁻³
Verksameter mindre						
Fordonstvätter	g/(fordon)					
Tågtvättar	g/(12 m tåg)					1·10 ⁻³
Tandvård	g/(enhet·år)					
Golvskurvatten bilverkstäder	g/(verkstad·år)					
Ytbehandlare	g/(m ³)	0,1				
Tvätterier	g/(kg)					
(Avfalls)Förbränning	g/(m ³)					
Dagvatten						
Bromsbelägg	g/(km)					7,50·10 ⁻⁵
Däck	g/(km)	1,07·10 ⁻⁹				2,14·10 ⁻⁸
Asfalt - odubbat	g/(km)					
Asfalt - dubbat	g/(km)					
Bränsle	g/(km)					
Oljespill	g/(km)					
Koppartak	g/(m ² ·år)					
Galvanisering	g/(m ² ·år)					
Torr- och våtdeposition	g/(ha·år)					1,1
Läck- och dränvatten						
Läck- och dränvatten	g/(m ³)					

Fallstudien omfattade hela Käppalaverkets upptagningsområde. Käppalaverket drivs av Käppalaförbundet som är ett samarbete mellan elva kommuner: Danderyd, Lidingö, Nacka, Sigtuna, Sollentuna, Solna, Täby, Upplands-Bro, Upplands-Väsby, Vallentuna och Värmdö. Upptagningsområdet utgörs av dessa elva kommuner, samt delar av Järfälla kommun (Figur 4-1).

Sammanlagt behandlar Käppalaverket hushållspillvatten från knappt 500 000 invånare i upptagningsområdet. Till detta kommer avloppsvatten från olika verksamheter, där de större är Arlanda flygplats i Sigtuna kom-



Figur 4-1 Källalaverkets upptagningsområde (Illustration: Mario Salutski – återgiven med tillstånd av Källalaförbundet).

mun, Jästbolaget i Sollentuna kommun, Arlanda Foods i Järfälla kommun, Kraft Foods i Upplands-Väsby kommun, samt Fresenius Kabi i Upplands-Bro kommun.

Områdesspecifika data för hela Källalaverkets upptagningsområde är sammanställda i Tabell 4-2. Dessa data har huvudsakligen inhämtats från tjänstemän på samhällsbyggnadsförvaltningar, miljö- och hälsoskyddskontor, samt VA-förvaltningar/-bolag i respektive kommun. Data för respektive kommun har redovisats av Johnsson (2011).

Tabell 4-2 Data för Källalaverkets upptagningsområde – summering av uppgifter från respektive kommun. (När "Flera" anges som referens är det väsentligen en person per kommun som är uppgiftslämnare – se Johnsson, 2011).

Kategori	Värde	Enhet	Referens
Anslutna personer	432 597	st	Flera
Fordonsvättar (personfordon)	615 694	st/år	Flera
Fordonsvättar (övriga fordon)	74 626	st/år	Flera
Tågtvättar (12 m)	48 700	st/år	Flera
Tandvårdsenheter	488	st	Lindgren, 2005
Bilverkstäder	359	st	Gorodetskaja, 2006
Avloppsvatten fr. ytbehandling	1 410	m ³ /år	Flera
Industritvätt	22 100	kg/år	Flera
Hårdgjord yta (områden där dagvatten avleds i kombinerat system)	3,4	ha	Flera
Vägarea (områden där dagvatten avleds i kombinerat system)	3,0	ha	Flera
Läck- och dränvatten	16 562 000	m ³ /år	Palmgren, pers. komm.

4.1 Substansflödesberäkningar med SoFi

Substansflöden från olika källor beräknades med hjälp av schablonvärden (Tabell 4.1) och områdesspecifika data (Tabell 4.2). De beräknade substansflödena redovisas i Tabell 4-3.

För vissa källor till de aktuella spårelementen gäller att källorna är identifierade i den genomgångna litteraturen, men schablonvärden (koncentrationer eller emissionsvärden per enhet) har inte kunnat bestämmas. Även dessa identifierade, men ej kvantifierade, källor redovisas i Tabell 4-3 som "ss" – schablonvärde saknas. Källor för vilka schablonvärden finns, men där substansflöden inte kunnat beräknas på grund av att områdesspecifika data saknas, redovisas i Tabell 4-3 som "oss" – områdesspecifika data saknas. Slutligen har källor som ej är omnämnda som källor för det aktuella spårelementet, markerats med "-".

Tabell 4-3 Källfördelning av spårelementflöden i Käppalaverkets upptagningsområde beräknad med SoFi.

Källa	Enhet	Ag	Au	Bi	Cd	Sb
Hushåll						
Urin	g/år	8	ss	ss	79	5
Fekalier	g/år	5 191	-	109	1 579	476
BDT-vatten	g/år	2 915	ss	3 439	6 316	3 951
Verksamheter mindre						
Fordonstvättar	g/år	-	-	-	155	ss
Tågtvättar	g/år	-	-	-	2	49
Golvskurvatten bilverkstäder	g/år	-	-	-	250	-
Tandvård	g/år	ss	ss	-	-	-
Ytbehandlare	g/år	25	-	-	25	ss
Konstnärnsverksamhet	g/år	-	-	ss	77	ss
Tvätterier	g/år	ss	-	-	0,3	ss
Avfallsförbränning	g/år	ss	-	-	oss	ss
Dagvatten						
Bromsbelägg	g/år	-	-	-	oss	oss
Däck	g/år	oss	-	-	oss	oss
Asfalt - odubbat	g/år	-	-	-	oss	-
Asfalt - dubbat	g/år	-	-	-	oss	-
Bränsle	g/år	-	-	-	oss	-
Oljespill	g/år	-	-	-	oss	-
Galvanisering	g/år	-	-	-	oss	-
Torr och våtdeposition	g/år	ss	-	-	1	2
Läck- och dränvatten						
Läck- och dränvatten	g/år	-	-	-	331	-
Verksamheter större						
Arlanda flygplats	g/år	-	-	-	300	-
Hagaby avfallsanläggning					51	
Summa	g/år	8 139	0	3 548	9 166	4 483

ss = schablonvärde saknas

oss = områdesspecifika data saknas

- = ej omnämnd som källa i litteraturen

För de studerade spårelementen, utom kadmium, är det med få undantag endast bidragen från hushållen som kunnat kvantifieras, och där är det fraktionerna fekalier och BDT-vattnet som ger de största bidragen (Tabell 4-3).

4.2 Resultatkontroll

De med SoFi beräknade totala flödena av spårelement jämfördes med oberoende beräkningar av inflöden till Käppalaverket. Inflödena av spårelement beräknades utifrån 2009 års analyser i slam och utgående vatten (Tabell 4-4).

Tabell 4-4 Inflöden av spårelement till Käppalaverket år 2009, beräknade från analyser av slam och utgående vatten (Käppalaförbundet, 2010).

	Ag	Au	Bi	Cd	Sb
Slam (kg/år)	23,2	15,4	46,3	6,9	15,4
Utgående vatten (kg/år)	2,6			1,1	28,7
Summa inflöden (kg/år)	25,8	15,4	46,3	8,0	44,1

Jämförelsen mellan med SoFi beräknade flöden av spårelement till Käppalaverket, och flödesberäkningar baserade på mätningar, visar på en stor (silver) eller mycket stor (guld, vismut och antimon) underskattning (Tabell 4-5). Endast för kadmium är det med SoFi beräknade flödet av samma storleksordning som flödet baserat på mätningar.

Tabell 4-5 Resultatkontroll: Jämförelse mellan med SoFi beräknade flöden av spårelement till Käppalaverket (Tabell 4-3), och flödesberäkningar baserade på mätningar (Tabell 4-4).

Resultatkontroll	Ag	Au	Bi	Cd	Sb
SoFi-beräknat (kg/år)	8,1	0	3,5	9,2	4,5
Mätningbaserat (kg/år)	25,8	15,4	46,3	8,0	44,1
SoFi-beräknat / Mätningbaserat (%)	32 %	0 %	8 %	115 %	10 %

I första hand kan underskattningarna härledas till att det saknas schablonvärden för flera identifierade källor (Tabell 4-2), men även det faktum att koncentrationerna i flera tillflöden kan antas vara under detektionsgränsen försvårar källfördelningen.

5 Experiment för kvantifiering av källor till Ag, Au, Bi och Sb

Detta kapitel bygger på examensarbetet Flödesanalys av spårelementen silver, guld, vismut och antimon från källa till avloppsslam (Karlsson, 2012), samt på rapporten Antibakteriella ämnen läcker från kläder vid tvätt (Kemikalieinspektionen, 2011).

Som potentiella källor till utsläpp av spårelement från hushåll identifierades kosmetika (Ag, Au och Bi), silverbehandlade klädesplagg (Ag), smycken (Ag och Au), bestick (Ag) och tandamalgam (Ag). Beträffande fordonstvättar var intresset framförallt riktat mot Sb, som ingår i bromsbelägg, men tvättvatten analyserades även med avseende på de tre övriga spårelementen.

5.1 Provförteckning

I Tabell 5-1 redovisas de olika kosmetikaprodukter som analyserades med avseende på innehåll av spårelement. Kosmetikan valdes på basis av om innehållsförteckningarna angav förekomst av Ag, Au och/eller Bi. Även priset var vägledande för vilka produkter som valdes.

Tabell 5-1 Utvalda kosmetikaprodukter.

Produktnamn (Producent)	Produktkategori	Spårelement
Mineral compact powder (IsaDora)	Puder	Bi
Teint miracle foundation (Lancome)	Foundation	Bi
Dream matte mousse (Maybelline)	Foundation	Bi
Expert wear blush (Maybelline)	Rouge	Bi
Colour collections lipstick (Max Factor)	Läppstift	Bi
Glam shine 6H (Loreal)	Läppglans	Ag och Au
Color appeal mono (Loreal)	Ögonskugga	Ag, Au och Bi
Eye studio mono (Maybelline)	Ögonskugga	Ag

Ett antal produkter (Tabell 5-2) innehållande Ag eller Au behandlades med vatten för att simulera handtvätt, disk eller tandborstning i hushållet. Smyckena som valdes för handtvättsexperimentet var tre guldringar och tre silvringar. Till diskexperimentet valdes sex kaffeskedar av silver. För tandborstningsexperimentet valdes en person med ett stort antal amalgamfyllningar.

Tabell 5-2 Produkter som var föremål för olika vattenexperiment: handtvätt, disk eller tandborstning.

Produkt	Produktkategori	Spårelement
Guldringar (3 st.)	Smycken	Au
Silvringar (3 st.)	Smycken	Ag
Tandlagningar med amalgamfyllning	Tandamalgam	Ag
Kaffeskedar av silver (6 st.)	Bestick	Ag

Kemikalieinspektionen (2011) har låtit undersöka förekomst och läckage av silver i klädesplagg. Av 30 utvalda plagg, på vilka det angavs ”anti-odour”, ”motverkar lukt” eller liknande påståenden, fann man silver i 16. Det är resultaten från tvätt av dessa 16 plagg som vi redovisar och använder också i denna studie.

En uppsättning prover som tagits på tvättvatten från 13 fordonstvättar i Stockholm erhöles från Stockholm Vatten AB (Tabell 5-3). Proverna är tagna efter lokal rening och representerar således det vatten som belastar avloppsreningsverket. I Tabell 5-3 anges även det uppskattade antalet tvättar per år vid respektive fordonstvätt, samt ungefärlig vattenåtgång. Proverna analyserades med avseende på samtliga fyra spårelement.

Tabell 5-3 Prover från fordonstvättar.

Nr	Typ av fordonstvätt (typ av provtagning)	Antal tvättar per år (bil/år)	Vattenåtgång (l/bil)
1	Personbil (veckoprov)	20 000–25 000	450
2	Personbil (veckoprov)	20 000–25 000	50
3	Lastbil (veckoprov)	ca 1 000	280
4	Personbil (veckoprov)	15 000–20 000	175
5	Personbil (veckoprov)	ca 5 000	50
6	Personbil (veckoprov)	ca 10 000	60
7	Personbil (veckoprov)	ca 5 000	160
8	Personbil, endast oljeavskiljare (dygnsprov)	1 000–5 000	170
9	Personbil, endast oljeavskiljare (dygnsprov)	1 000–5 000	50
10	Personbil, endast oljeavskiljare (dygnsprov)	1 000–5 000	110
11	Personbil, endast oljeavskiljare (dygnsprov)	< 500	70
12	Lastbil (veckoprov)	2 000–5 000	250
13	Lastbil (veckoprov)	2 000–5 000	400

5.2 Experimentens genomförande, provbehandling och analys

Tre experiment genomfördes för att simulera handtvätt med silver- och guldringar på fingrarna, disk av kaffeskedar i silver, samt tandborstning av amalgamfyllningar. Samtliga experiment gjordes med så små mängder vatten som möjligt för att minimera utspädningseffekter. Alla proverna konserverades med salpetersyra.

Tvättvatten från fordonstvättar uppslöt i autoklav (ISO 15587-2, 2002). De angivna volymerna ansågs stora varför de halverades, med bibehållna förhållanden mellan volymerna. Kungsvatten användes för att få med alla de fyra spårelementen.

För uppslutning av kosmetika användes tre olika metoder: kokning i salpetersyra, uppslutning i ”metallbomber”, samt inaskning i ugn. Anledningen till att olika metoder användes var att det inte gick att åstadkomma en fullständig uppslutning med någon av metoderna. Framförallt den först nämnda, kokning i salpetersyra, föreföll mycket ineffektiv, varför prover uppslutna med denna metod inte analyserades.

Alla prover analyserades med ICP-MS vid ALS Scandinavia AB i Luleå. Dubbelprover framställdes vid samtliga experiment och provbehandlingar,

men inför analyserna slogs dubbelprover ihop till ett prov per experiment eller provbehandling.

Karlsson (2012) redovisar utförligt ytterligare detaljer beträffande tillvägagångssättet vid experimentens genomförande och provbehandling.

Tillvägagångssättet vid analys av silverbehandlade klädesplagg före och efter tvätt har redovisats av Kemikalieinspektionen (2011).

5.3 Resultat

Här redovisas resultaten från de olika analyserna omräknade till: innehåll av spårelement i olika kosmetikaproducter (Tabell 5-4), frisättning av spårelement vid de olika vattenexperimenten (Tabell 5-5), läckage av silver vid kläd-tvätt (Tabell 5-6) samt utsläpp av spårelement vid fordonstvätt (Tabell 5-7).

Tabell 5-4 Innehåll av spårelement i olika kosmetikaproducter.

Produktnamn (Producent)	Produktkategori	Uppslutningsmetod	Innehåll (µg/g)		
			Ag	Au	Bi
Mineral compact powder (IsaDora)	Puder	Metallbomber	ea	ea	16 338
		Inaskning	ea	ea	13 275
Teint miracle foundation (Lancome)	Foundation	Inaskning	ea	ea	8 613
Dream matte mousse (Maybelline)	Foundation	Inaskning	ea	ea	21 192
Expert wear blush (Maybelline)	Rouge	Inaskning	ea	ea	0,04
Colour collections lipstick (Max Factor)	Läppstift	Metallbomber	ea	ea	0,10
		Inaskning	ea	ea	0,77
Glam shine 6H (Loreal)	Läppglans	Metallbomber	ed	ed	ea
		Inaskning	ed	$3 \cdot 10^{-4}$	ea
Color appeal mono (Loreal)	Ögonskugga	Metallbomber	26 282	$1 \cdot 10^{-2}$	0,11
		Inaskning	358	$1 \cdot 10^{-2}$	0,15
Eye studio mono (Maybelline)	Ögonskugga	Inaskning	ed	$2 \cdot 10^{-3}$	0,86

ea = ej analyserad

ed= ej detekterbar

Analyserna visade att puder och foundation innehåller avsevärda mängder Bi (Tabell 5-4). För puder gav de två olika uppslutningsmetoderna likartade resultat. Däremot gav de två metoderna drastiskt olika resultat för Ag i en av ögonskuggorna. Denna stora skillnad reser naturligtvis frågetecken om tillförlitligheten i dessa resultat. För Au detekterades låga halter i de produkter, läppglans och ögonskugga, som angavs innehålla detta spårelement. Däremot detekterades inget Ag i den andra ögonskuggan.

Tabell 5-5 Frisättning av spårelement vid olika vattenexperiment.

Produktnamn (Producent)	Experiment	Frisättning (µg/experiment)	
		Ag	Au
Guldringar (3 st.)	Handtvätt	ea	$3 \cdot 10^{-4}$
Silvringar (3 st.)	Handtvätt	4,3	ea
Tandlagningar med amalgamfyllning	Tandborstning	$7 \cdot 10^{-2}$	ea
Kaffeskedar av silver (6 st.)	Disk	$7 \cdot 10^{-2}$	ea

ea = ej analyserad

Handtvätt med silverringar gav tydlig frisättning av Ag (Tabell 5-5), medan övriga experiment gav mycket låg frisättning.

Tabell 5-6 Innehåll av silver i klädesplagg före och efter 10 tvättar (medelvärden av dubbelprover), samt det beräknade läckaget. Numreringen av proverna hänför sig till numreringen i originalstudien, och där återfinns även en mer utförlig beskrivning av klädesplaggen (Kemikalieinspektionen, 2011).

Nr	Typ av klädesplagg	mg Ag/kg klädesplagg		
		Otvättat	10 tvättar	Läckage Differens
1	Strumpa	1 360	1 020	340 (25 %)
2	Strumpa	15,2	12,2	3,0 (20 %)
3	Strumpa	8,0	2,1	5,9 (74 %)
10	Underställ/tröja	36,0	14,0	22,0 (61 %)
11	Underställ/långkalsong	49,0	1,2	47,8 (98 %)
13	Underställ/tröja (barn)	0,5	0,2	0,3 (60 %)
16	Underställ/tröja (barn)	23,7	13,8	9,9 (42 %)
17	Tröja	9,7	3,9	5,8 (60 %)
20	Buff (barn)	16,9	3,3	13,6 (80 %)
21	Buff (barn)	38,8	6,7	32,1 (83 %)
22	Träningströja (barn)	0,4	0,1	0,3 (80 %)
24	Träningströja	9,0	3,3	5,7 (63 %)
30	Torkduk	154	124	30 (19 %)
31	Underställströja	1,8	1,6	0,2 (10 %)
32	Body (barn)	27,8	3,6	24,2 (87 %)
33	Pyjamas (barn)	9,3	1,4	7,9 (85 %)

Som framgår av Tabell 5-6 varierar innehållet av silver starkt mellan de olika klädesplaggen, vilket även gäller läckaget i såväl absoluta som relativa termer. Medelvärdet av läckaget beräknades till 34 och medianvärdet till 8,9 mg Ag per kg klädesplagg.

Tabell 5-7 Utsläpp av spårelement från fordonstvättar.

Nr	Typ av fordonstvätt	Utsläpp (µg/bil)			
		Ag	Au	Bi	Sb
1	Personbil	3 024	6	59	227
2	Personbil	234	1	ed	83
3	Lastbil	274	4	ed	1 704
4	Personbil	518	1	ed	317
5	Personbil	ed	0,4	ed	281
6	Personbil	ed	0,5	ed	231
7	Personbil	640	1	ed	143
8	Personbil, endast oljeavskiljare	ed	2	73	1 082
9	Personbil, endast oljeavskiljare	ed	2	13	628
10	Personbil, endast oljeavskiljare	ed	18	145	1 367
11	Personbil, endast oljeavskiljare	ed	1	ed	184
12	Lastbil	ed	4	4 621	1 411
13	Lastbil	ed	3	28 921	3 410

ed = ej detekterbar

Au och Sb detekterades i samtliga prover och variationen mellan proverna, uttryckt som utsläpp per bil, var måttlig (Tabell 5-7). Ag och Bi detekterades endast i fem respektive sex av de 13 proverna, och variationen mellan proverna var mycket stor.

5.4 Antaganden och beräkningar för Norrköping

För att uppskatta den kvantitativa betydelsen av de olika undersökta källorna till spårelement gjordes beräkningar med Norrköping som exempel. I ett första steg skalades analysresultaten upp för att motsvara hela befolkningen och alla fordonstvättar i Norrköping, vilka är anslutna till Slottshagens avloppsreningsverk. För att kunna göra denna uppskalning gjordes olika antaganden angående sminkanvändning etc. (se nedan). Strategin när antagandena gjordes var att ”ta till i överkant”. Om detta resulterade i att bidraget från aktuell källa ändå var litet (< 5 %) gjordes inga ytterligare antaganden. I annat fall var strategin att göra mer realistiska antaganden.

I ett andra steg jämfördes de beräknade årsbelastningarna av spårelement med innehållet i inflödet⁵ till Slottshagens avloppsreningsverk år 2010.

År 2010 var 117 100 personer anslutna till Slottshagens reningsverk (Christina Rydh, personlig kommunikation). Fördelningen mellan könen antogs vara jämn.

Kosmetika: Det antogs att det är kvinnor i åldern 15–59 år som använder kosmetika. Denna grupp utgör ca 50 % av den totala mängden kvinnor. Läkemedelsverket har gjort en grov uppskattning av mängden förbrukad kosmetika till ca 340 ton år 2002 (Frenzel, 2010, s. 7–8).

Då mycket kosmetika slängs utan att användas eller tvättas bort utan att hamna i avloppet baserades beräkningarna på att 20 % av kosmetikan når avloppsvattnet.

Följande fördelning mellan användandet av olika sorters kosmetika gjordes: 1 % ögonskugga (som innehåller Ag och/eller Au), 1 % läppglans (som innehåller Ag och/eller Au), 10 % rouge, 5 % läppstift, 25 % foundation och 25 % puder. Dessa procentsatser motsvarar summerade 67 % av den totala sminkanvändningen

Handtvätt med ringar: Det antogs att 10 % av invånarna i Norrköping använder tre guldringar och tre silverringar dagligen och tvättar händerna fem gånger per dag.

Tvätt av silverbehandlade kläder: Det antogs att alla invånare i Norrköping har 0,2 kg klädesplagg med silverbehandling och att dessa plagg tvättas 10 gånger per år. Vidare antogs att läckaget motsvarar medianvärdet 8,9 mg Ag per kg klädesplagg (beräknat från Tabell 5-6).⁶

Disk av silverbestick och tandborstning av amalgamfyllningar: Användandet av silverbestick och antal människor med amalgamlagningar är svårt att uppskatta och eftersom analysresultaten visade på mycket låga koncentrationer gjordes inga försök till uppskattning av dessa mängder.

⁵ För Ag och Au gjordes jämförelsen med innehållet i avloppsslam, eftersom halterna i inkommande vatten är under detektionsgränsen, och därmed flödena av dessa spårelement ej kan beräknas.

⁶ Vikten 0.2 kg motsvarar ett par långkalsonger. Medianvärdet av de analyserade plaggen valdes eftersom spridningen var stor mellan olika plagg (Tabell 5-6).

Fordonstvättar: Antalet biltvättar i Norrköping undersöktes och det framkom att det finns ca 20 större personbiltvättar och ca 40 mindre (Christina Rydh, personlig kommunikation). Till dessa kommer fyra anmälningspliktiga lastbils-/busstvättar samt en icke anmälningspliktig lastbils-/busstvätt. Ungefärliga värden för antalet tvättar per år och åtgången av vatten för dessa tvättar tillhandahölls (Mattias Welander, personlig kommunikation) och beräkningar av de totala utsläppen av spårelement från fordonstvättar i Norrköping gjordes.

Tabell 5-8 visar beräkningar från Slottshagen, och Tabell 5-9 bidraget från källor respektive spårelement där bidraget från källan bedöms kunna vara av betydelse: 1 % eller mer av innehållet i inkommande vatten eller slam.

Tabell 5-8 Innehåll av spårelement i avloppsprodukter från Slottshagens avloppsreningsverk i Norrköping, 2010, samt för jämförelse 2011 inom parentes (Christina Rydh, personlig kommunikation).

Avloppsprodukt	Innehåll (kg/år)			
	Ag	Au	Bi	Sb
Inkommande vatten	ed (ed)	ed (ed)	15 (16)	205 (270)
Slam	5,8 (6,1)	1,4 (1,5)	14 (12)	38 (43)

ed = ej detekterbar

Tabell 5-9 Bidrag till inflödet till Slottshagens avloppsreningsverk i Norrköping från källor där respektive spårelement bedöms kunna vara av betydelse: 1 % eller mer av innehållet i slam (Ag och Au) respektive inkommande vatten (Bi och Sb).

Källa	Bidrag (%)			
	Ag	Au	Bi	Sb
Puder (medelvärde för två olika uppslutningsmetoder applicerade på en produkt)	ea	ea	20	ea
Foundation (medelvärde för två olika produkter uppslutna genom inaskning)	ea	ea	20	ea
Ögonskugga (medelvärde för två olika uppslutningsmetoder applicerade på en produkt – Color appeal mono (Loreal))	2	<1	<1	ea
Handtvätt med silverringar	2	ea	ea	ea
Tvätt av kläder	4	ea	ea	ea
Fordonstvätt (medelvärden för utsläpp per bil för personbils- respektive lastbiltvättar i Stockholm som omräknats med hjälp av uppgifter om antal fordontvättar i Norrköping)	2	<1	1	<1*

ea = ej analyserad

* Vid beräkningar av bidraget av Sb från fordonstvättar antogs mängden i inkommande vatten vara endast 30 % av värdet som anges i Tabell 5-7, d.v.s. $205 \cdot 0,3 = 61,5$ kg/år. Detta eftersom en identifierad industriell källa, som är speciell för Norrköping, uppskattas bidra med ca 70 % av Sb-belastningen (Christina Rydh, personlig kommunikation).

Användning av puder och foundation förefaller kunna förklara en avsevärd del av vismut i inkommande vatten, ca 40 % tillsammans. I Norrköping uppskattar man att ca 50 % av inkommande vismut kommer från hushåll (Christina Rydh, personlig kommunikation), varför storleksordningen på bidraget från kosmetikaproducter förefaller rimligt. Däremot är den med SoFi beräknade andelen från hushåll till Käppalaverket, 8 % (Tabell 4-3 och 4-5), sannolikt en underskattning.

Bidraget från tvätt av kläder är tydligt, men samtidigt mycket osäkert eftersom variationen i läckage mellan undersökta plagg är mycket stor (Tabell 5-6).

Det är noterbart att bidraget av antimon från fordonstvättar är relativt litet, ca 0,2 %, av innehållet i inkommande vatten. Detta trots att beräkningen av bidraget grundades på den mindre del av belastningen som inte förklaras av en identifierad industriell källa (se kommentar i Tabell 5-9)

5.5 Diskussion

Resultaten för kosmetikan varierar väldigt mycket både mellan proverna och även mellan uppslutningsmetoderna. Ingen av produkterna gav något betydande bidrag av Au. Däremot ger både foundation och puder stora bidrag av Bi. Även Ag påvisades i hög koncentration i en av ögonskuggorna, men med stor skillnad mellan de båda uppslutningsmetoderna. Detta gör att osäkerheten är stor och att det är påkallat att närmare undersöka olika uppslutningsmetoder.

För experimenten valdes kosmetika som enligt innehållsförteckningarna innehöll Ag, Au och/eller Bi, medan en stor del av kosmetikan på marknaden idag inte har någon av dessa metaller enligt innehållsförteckningen. På grund av de höga värdena bör kosmetika undersökas närmare då det kan vara en stor källa till framförallt Bi.

Varken amalgamlagningar i tänder eller diskning av silverbestick gav några utslag i denna studie och kan då anses vara obetydliga källor till Ag i slam. Au från tvätt av guldringar visades inte heller vara någon bidragande faktor, medan Ag från silverringar gav tydliga, om än små, bidrag.

Tvätt av silverbehandlade kläder bidrog med 4 % av Ag i slammet. Men silverinnehållet, liksom läckaget, varierade mycket mellan olika plagg i Kemikalieinspektionens (2011) undersökning, varför det är vanskligt att uppskatta bidraget från tvätt av silverbehandlade plagg till innehållet i slam. Det är emellertid mycket troligt att de ökade halter av silver, som påvisats i slam från exempelvis avloppsreningsverken i Bromma och Henriksdal under senare år (Kemikalieinspektionen, 2011), kan bero på den ökade användningen av silver i klädesplagg.

För fordonstvättar hade bidragen från både Ag och Bi stor spridning. Ett flertal prover visade ej detekterbara halter, medan några få innehöll höga halter. Detta gör det svårt att bedöma vad som är rimligt. Värdena för Sb hade liten spridning och bedömdes därför tillförlitliga, men bidraget till mängderna i inkommande vatten till Slottshagens avloppsreningsverk var små. Au förekom i låga koncentrationer med relativt liten spridning, varför fordonstvättar förefaller vara en mycket liten källa till Au i avloppsslam.

6 Slutsatser

En tidigare tillämpning av beräkningsverktyget SoFi i Sigtuna och Solna kommuner visade att större delen av det på oberoende mätningar baserade flödet av fem tungmetaller kunde källfördelas med beräkningar baserade på schablonvärden. I några fall överskattades flödet:

- Cd – 134 % i Sigtuna, 76 % i Solna
- Hg – 61 % respektive 62 %
- Cu – 120 % respektive 103 %
- Zn – 82 % respektive 64 %
- Cr – 87 % respektive 61 %

För båda kommunerna och samtliga metaller var hushåll den kvantitativt viktigaste av de identifierade källorna.

I den aktuella studien av fyra ”nya” spårelement i Käppalaverkets upptagningsområde, gav motsvarande beräkningar grova underskattningar:

- Ag – 32 %
- Au – 0 %
- Bi – 8 %
- Sb – 10 %

Studien innefattade även kadmium, där beräkningar baserade på schabloner, liksom i fallet Solna, överskattade det på oberoende mätningar baserade flödet: Cd – 115 %. För silver, vismut och antimon var det i stort sett bara för hushåll som beräkningar baserade på schablonvärden kunde göras. För övriga källor saknades antingen schablonvärden eller områdesspecifika data.

Experiment för kvantifiering av källor till silver, guld, vismut och antimon från olika hushållsaktiviteter visade att vismut i smink kan vara en betydande källa. Vidare förefaller tvätt av silverbehandlade klädesplagg vara en tydlig källa till silver i slam, men storleken på denna källa är svår att kvantifiera eftersom variationen mellan undersökta klädesplagg är stor.

Handtvätt med silver- och guldringar, disk av silverskedar, tandborstning av amalgamfyllningar, samt fordonstvättar, förefaller vara mindre betydande källor till spårelement.

En avgörande brist för att kunna göra källfördelning av mindre vanliga spårelement är att schablonvärden i stor utsträckning saknas. Men det är även så att det i många fall sannolikt är svårt att ta fram schablonvärden eftersom koncentrationerna i aktuella flöden är mycket låga, samtidigt som matriserna (t.ex. smink) ofta är svåra att hantera vid provberedning. Därför behöver arbete med att utveckla analysmetodik ske parallellt med att olika källor undersöks.

7 Referenser

- Agduhr Eronen, S. (2010). *Substansflödesanalys av tungmetaller i avloppssystemet – Nytt verktyg testat på Sigtuna och Solna kommuner*. Examensarbete. UPTEC W 10 021, Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala universitet.
- Eriksson, J. (2001). *Halter av 61 spårelement i avloppsslam, stallgödsel, handelsgödsel, nederbörd samt i jord och gröda*. Rapport 5148, Naturvårdsverket.
- FASS (u. å.). *Sökta substanser: Silver, Gold, Bismuth och Antimony*. Tillgänglig: <http://www.fass.se> [2012-11-07].
- Frenzel, M. (2010). *Vismut och volfram i slam – En utvärdering av förmodade och identifierade källor*. Rapport 10-SV653, Stockholm Vatten.
- Hjortenkrans, D. (2008). *Road traffic metals – sources and emissions*. Doktorsavhandling. Fakulteten för Naturvetenskap och Teknik, Högskolan i Kalmar.
- Hjortenkrans, D., Bergbäck, B. & Häggerud, A. (2007). Metal emissions from brake linings and tires: Case studies of Stockholm, Sweden 1995/1998 and 2005. *Environmental Science and Technology*, Vol. 41, s. 5224–5230.
- Hägglund, C. (2008). *Nanoparticle plasmon influence on the charge carrier generation in solar cells*. Doktorsavhandling. Institutionen för Teknisk Fysik, Kemisk Fysik, Chalmers Tekniska Högskola.
- IARC – International Agency for Research on Cancer (1989). Some Organic Solvents, Resin Monomers and Related Compounds, Pigments and Occupational Exposures in Paint Manufacture and Painting. IARC *Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*, Vol. 47. WHO IARC.
- ION SILVER (2012). *Kolloidalt silver*. Tillgänglig: <http://www.ion-silver.com/silver.htm> [2012-11-06].
- ISO 15587-2 (2002). *Water quality – Digestion for the determination of selected elements in water – Part 2: Nitric acid digestion*. International Organization for Standardization.
- Johnsson, C. (2011). *Flödesanalys av spårelement från källa till slam*. Examensarbete. UPTEC W 11 020, Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala Universitet.
- Karlsson, E. (2012). *Flödesanalys av spårelementen silver, guld, vismut och antimon från källa till avloppsslam*. Examensarbete. LITH-IFM-G-EX-11/2473-SE, Institutionen för fysik, kemi och biologi, Linköpings Universitet.
- Kemikalieinspektionen (2007). *Nanoteknik – stora risker med små partiklar? En kunskapssammanställning om risker med nanoteknik för hälsa*

och miljö, samt förslag till hur identifierade kunskapsluckor bör åtgärdas. Rapport 6/07, Kemikalieinspektionen.

Kemikalieinspektionen (2011). *Antibakteriella ämnen läcker från kläder vid tvätt – analys av silver, triklosan och triklokarban i textilier före och efter tvätt*. PM 4/11, Kemikalieinspektionen.

Kemikalieinspektionen (2012). *Silver*. Tillgänglig: <http://www.kemi.se/sv/innehall/fragor-i-fokus/silver/> [Besökt 2012-11-16].

Kemikalieinspektionen (u. å.). Prioriteringsguiden – PRIO; Sökta ämnen: silver och antimon. Tillgänglig: <http://www.kemi.se> → PRIO [Besökt 2012-11-07].

Käppalaförbundet (2010). *Miljörapport 2009*. Stockholm: Käppalaförbundet.

Lagneborg, R. & Waltersson, E. (2004). *Guide för legeringsmetaller och spårelement i stål* (Andra utgåvan). Rapport D811, Jernkontoret.

Lindgren, M. (2009). *Vismut och volfram i slam. En riskutvärdering av vismut och volframs miljö- och hälsoeffekter vid slamspridning med slam från Bromma och Henriksdal reningsverk*. Examensarbete. Institutionen för naturgeografi och kvartärgeologi, Stockholms Universitet. Rapport 10SV135, Stockholm Vatten.

Lithner, G. & Holm, K. (2003). *Nya metaller och föroreningar i svensk miljö*. Rapport 5306, Naturvårdsverket.

Livsmedelsverket (2001). *Livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten*. Livsmedelsverkets författningssamling SLVFS 2001:30.

Livsmedelsverket (2008). *Tillsatser i livsmedel – en faktabok*. Livsmedelsverket.

Livsmedelsverket (2010). *Livsmedelsverkets föreskrifter om ändring i Livsmedelsverkets föreskrifter (LIVSFS 2003:9) om kosttillskott*. Livsmedelsverkets författningssamling LIVSFS 2010:4.

Läkemedelsverket (1993). *Läkemedelsverkets föreskrifter om förbud och begränsningar för vissa ämnen att ingå i kosmetiska eller hygieniska produkter*. Läkemedelsverkets författningssamling LVFS 1993:2.

Länsstyrelsen i Stockholms län (2011). *Avloppsslam i Stockholms län - Kvalitet, produktion och användning av slam från tillståndspliktiga avloppsreningsverk i Stockholms län 1981–2009*. Länsstyrelsen i Stockholms län.

Naturvårdsverket (2002). *Aktionsplan för återföring av fosfor ur avlopp*. Rapport 5214, Naturvårdsverket.

Naturvårdsverket & SCB (2012). *Utsläpp till vatten och slamproduktion 2010 – Kommunala reningsverk, skogsindustri samt övrig industri*. Statistiska meddelanden MI 22 SM 1201, SCB.

Norström, A., Pettersson, F., Niemelä, M., Agduhr Eronen, S. & Wennmalm, S. (2010). *SoFi – Source Finder, Ett verktyg för*

uppströmsarbete. Rapport 2010:1, CIT Urban Water Management AB och Käppalaförbundet.

Regeringen (2005). *Svenska miljömål – ett gemensamt uppdrag*. Regeringens proposition 2004/05:150.

REVAQ (2011). *Årsrapport 2011*. Svenskt Vatten.

SCENIHR – Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (2009). *Assessment of the Antibiotic Resistance Effects of Biocides*. Health & Consumer Protection DG, European Commission.

Sternbeck, J. (1998). *Antimon, selen, tellur, indium, gallium och palladium: mängder, trender och fördelning i teknosfären*. Rapport B1285, IVL Svenska Miljöinstitutet AB.

Sternbeck, J. & Östlund, P. (1999). *Nya metaller och metalloider i samhället*. Rapport B1332, IVL Svenska Miljöinstitutet AB.

Sternbeck, J., Palm, A. & Kaj, L. (2002). *Antimon i Sverige – användning, spridning och miljöpåverkan*. Rapport B1473, IVL Svenska Miljöinstitutet AB.

Stjernman-Forsberg, L. & Eriksson, J. (2002). *Spårelement i mark, grödor och markorganismer – en litteraturstudie*. Rapport 5158, Naturvårdsverket.

Svenskt Vatten (2009). *Råd vid mottagande av avloppsvatten från industri och annan verksamhet*. Publikation P95, Svenskt Vatten.

Svenson, A., Viktor, T., Palm-Cousins, A., Kaj, L., Woldegiorgis, A., Brorström-Lundén, E. & Thelle Uggerud, H. (2008). *Results from the Swedish National Screening Programme 2007. Sub-report 5: Silver*. Rapport B 1826, IVL Svenska Miljöinstitutet AB.

Personlig kommunikation

Palmgren, Torsten. Käppalaförbundet (2012).

Rydh, Christina. Norrköping Vatten AB (2011).

Welander, Mattias. Bygg och miljökontoret, Norrköpings kommun (2012).