

# Flödesanalys av spårelement från källa till slam

Flow analysis of trace elements from sources  
to sludge

---

Cecilia Johnsson



# REFERAT

## Flödesanalys av spårelement från källa till slam

*Cecilia Johnsson*

I det svenska samhället tillför diffusa och direkta föroreningskällor metaller till avloppsreningsverk, metaller som sedan hamnar i avloppsslam och recipient. Avloppsslam innehåller höga halter av växtnäringsämnen som bör återföras till jordbruksmark, men om detta ska ske får inte metallhalterna i slammet vara för höga. REVAQ är ett certifieringssystem vars syfte är att utveckla och systematisera avloppsreningsverkens uppströmsarbete och därmed möjliggöra en återföring av det växtnäringsrika slammet till jordbruksmark. Flera REVAQ-certifierade avloppsreningsverk prioriterar antimon, guld, kadmium, silver och vismut i uppströmsarbete på grund av att ackumulationshastigheten för dessa spårelement är hög i jordbruksmark som gödslas med avloppsreningsverkens slam. Source Finder (SoFi) är ett verktyg som kan användas vid uppströmsarbete för att kvantifiera identifierade källor till utsläpp av kadmium, koppar, krom, kvicksilver och zink.

Syftet med examensarbetet var att vidareutveckla och anpassa verktyget SoFi till att göra beräkningar på spårelementen antimon, guld, silver och vismut samt att utveckla källan *hushåll* så att emissioner inom hushåll kartläggs för spårelementen och kadmium. Källor till spårelementen i avloppssystem identifierades genom litteratur och schablonvärden bestämdes för de källor det var möjligt. För att testa verktyget och kontrollera dess säkerhet utfördes en fallstudie över Käppalaverkets upptagningsområde samt en resultatkontroll.

Resultaten visade att verktyget uppskattar mängden kadmium som inkommer till avloppsreningsverk bra och att inkommande mängder av antimon, silver och vismut underskattas stort. För antimon, silver och vismut var det inte möjligt att kvantifiera alla identifierade källor på grund av att kunskapen om emissioner av spårelementen är bristfällig. För guld kunde inga emissioner kvantifieras och därför beräknades inte spårelementet i verktyget. På grund av att alla stora källor inte har kvantifierats går det inte att avgöra huruvida identifieringen av källor har lyckats. Verktyget kan användas vid uppströmsarbete redan idag men genom att kvantifiera flera av de identifierade källorna kan verktyget göra större nytta och för att möjliggöra detta krävs nya studier.

**Nyckelord:** Antimon, guld, kadmium, silver, vismut, emissionskoefficient, SoFi, uppströmsarbete, slam, återföring, jordbruksmark

*Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten och landskapslära, Uppsala Universitet, Geocentrum, Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala, Sverige.*

ISSN 1401-5765

## ABSTRACT

### Flow analysis of trace elements from sources to sludge

*Cecilia Johnsson*

Metals are transported to wastewater treatment plants (WWTPs) from diffuse and point sources in the Swedish society, these metals will end up in sewage sludge or receiving water. Sewage sludge contains a lot of plant nutrients, like phosphorus and nitrogen, which should be returned to arable land. But sludge also contains metals and if the metal content is too high the sewage sludge cannot be returned to the arable land. REVAQ is a certification system and the objective with it is to develop and systematize the WWTPs work to improve the wastewater and by that enable the return of plant nutrients to arable land. The accumulation rate of antimony, gold, cadmium, silver and bismuth are high in arable land fertilized by sewage sludge and because of that these trace elements are prioritized in WWTPs, certified by REVAQ, work to improve wastewater. Source Finder (SoFi) is a tool that can be used by the WWTPs to quantify emissions of cadmium, copper, chrome, mercury and zink from identified sources.

The objectives of this master thesis were to develop and adapt the tool SoFi to estimate the trace elements antimony, gold, silver and bismuth and to develop the source household by survey the emissions of the trace elements and cadmium in it. Sources of the trace elements in the sewage system were identified by literature and emission coefficients were compiled for those sources that were possible. The new version of Source Finder was tested in the municipal WWTP Käppala and an estimation of the reasonableness of the results was made.

The results showed that a good estimation of cadmium flow is made by the tool and that antimony, silver and bismuth flows are underestimated. It was not possible to determine emission coefficients for all identified sources to antimony, silver and bismuth because of the lack of knowledge about these trace elements. No emissions of gold could be quantified and the trace element was therefore not calculated by the tool. Since all identified sources have not been quantified it is not possible to determine whether all sources have been identified or not. The tool is ready to be used by the WWTPs in their work to improve the wastewater, though by quantifying further identified sources the tool will be of better use. To make that possible new studies have to be done.

**Keywords:** Antimony, gold, cadmium, silver, bismuth, emission coefficient, SoFi, improvement of the wastewater, sludge, arable land

*Department of Earth Science, Air, Water and Landscape Sciences, Uppsala University, Earth Science Centre, Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala, Sweden.*

ISSN 1401-5765

## FÖRORD

Examensarbetet har utförts åt CIT Urban Water Management AB och är den avslutande delen på civilingenjörsprogrammet i Miljö- och Vattenteknik vid Uppsala Universitet. Arbetet omfattar 30 högskolepoäng, vilket motsvarar 20 veckors heltidsstudier. Examensarbetet ingår i projektet *Flödesanalys av spårelement från källa till slam* som är ett projekt finansierat av Svenskt Vatten Utveckling och ett samarbete mellan CIT Urban Water Management AB, Svenskt Vatten AB, Gryaab AB, Käppalaförbundet, Stockholm Vatten AB, Norrköping Vatten AB och Eslövs kommun. Jag vill framförallt tacka min handledare Hans Bertil Wittgren för dina synpunkter och idéer på mitt arbete. Jag vill också rikta ett stort TACK till Frida Pettersson på CIT Urban Water Management AB för ditt engagemang och all tid du har lagt ner på mig. Tack till min ämnesgranskare Roger Herbert, Institutionen för geovetenskaper, för din hjälp att utforma rapporten.

Jag vill också tacka referensgruppen som är knuten till projektet, Anders Finnson, Svenskt Vatten, Lars Nordén, Gryaab, Merja Niemelä, Käppalaförbundet, Ragnar Lagerkvist, Stockholm Vatten, Christina Rydh, Norrköping Vatten och Katarina Hansson, Eslövs kommun för intressanta diskussioner och synpunkter angående mitt arbete. Alla ni på kommunerna i Käppalaverkets upptagningsområde som har hjälpt mig med indata förtjänar ett tack för den tid ni har lagt ner för att svara på mina frågor.

Slutligen vill jag tacka alla anställda på CIT Urban Water Management AB för att ni har hjälpt och stöttat mig i mitt arbete och låtit mig vara en av er. Tack Emma Petersson och Anders Håkansson för ert resällskap och skrott under vår tid som examensarbetare. Till sist, mitt största tack riktas till min familj och mina vänner för att ni alltid stöttar och tror på mig. Tack så mycket!

Uppsala, 2011

Cecilia Johnsson

Copyright © Cecilia Johnsson och Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala Universitet.

UPTEC W 11 020, ISSN 1401-5765

Tryckt hos Institutionen för geovetenskaper, Geotryckeriet, Uppsala Universitet, Uppsala 2011.

# POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

## Flödesanalys av spårelement från källa till slam

*Cecilia Johnsson*

De svenska avloppsreningsverken håller världsklass, de har kapacitet att rena stora mängder avloppsvatten och de ser till att vattnet som de släpper ut är rent och uppfyller de krav som finns. Men vilka ämnen är det som renas från vattnet?

Tidigare var fokus på industriens utsläpp av tungmetaller till avloppsvatten. För att tvinga industrierna att ta ansvar för utsläppen infördes krav och gränsvärden för hur höga halter av tungmetaller som får finnas i vattnet som går till reningsverk. Åtgärderna var effektiva och resulterade i att utsläppen minskade och att kontrollen på utsläppen är hårdare idag. Trots det tar avloppsreningsverk fortfarande emot stora mängder föroreningar, till exempel metaller och organiska ämnen som läkemedel, som de förväntas rena vattnet från. Föroreningarna kommer från diffusa föroreningskällor, från produkter som används i vår vardag och aktiviteter som sker dagligen. Men vad händer med dem när de når avloppsreningsverket?

Avloppsreningsverk har flera syften. Dels ska de rena avloppsvattnet från fosfor och kväve, växtnäringsämnen som om de finns i för höga halter i sjöar och hav bidrar till övergödning. Dels ska de rena avloppsvattnet från föroreningar, så att så lite förorening som möjligt hamnar i våra sjöar och vattendrag. När föroreningarna och växtnäringsämnena väl finns i avloppsreningsverket finns det endast några processer som kan påverka halterna av dem. En del av föroreningarna kan brytas ned och avgå i gasform. Metaller, som inte är nedbrytbara, kan endast hamna på två olika ställen – i avloppsslam eller i det vatten till vilket det renade avloppsvattnet släpps ut. Eftersom syftet med avloppsreningsverk är att det renade vattnet ska innehålla så lite förorening och växtnäring som möjligt innebär det att avloppsslammets innehåll är desto mer. Detta betyder att avloppsreningsverk producerar avloppsslam som har högt fosfor- och kväveinnehåll men som också innehåller föroreningar som tungmetaller och organiska ämnen.

Fosfor är en ändlig resurs och avloppsslammets stora innehåll av det bör därför tas tillvara genom återföring av slammet till jordbruksmark. Men om detta ska ske får inte metallhalterna i slammet vara för höga. REVAQ är ett certifieringssystem för avloppsslam vars syfte är att utveckla och systematisera avloppsreningsverkens uppströmsarbete och samtidigt möjliggöra en återföring av det växtnäringsrika slammet till jordbruksmark. Uppströmsarbete innebär bland annat ett aktivt arbete med att spåra källor till utsläpp av icke önskvärda ämnen och att kontrollera det inkommande avloppsvattnets kvalitet. Det innefattar också information till hushåll och industrier för att dessa ska minska tillförseln av icke önskvärda ämnen till avloppsvattnet. Flera avloppsreningsverk med REVAQ-certifierat avloppsslam prioriterar spårelementen antimon, guld, kadmium, silver och

vismut i uppströmsarbetet. Source Finder är ett verktyg som kan användas vid uppströmsarbete för att identifiera tungmetallkällor och bestämma hur stora utsläppen av kadmium, koppar, krom, kvicksilver och zink är från dessa. Fem olika källområden studeras med verktyget – hushåll, verksamhetsutövare, dagvatten, läck- och dränvatten samt övrigt (stora industrier).

Syftet med examensarbetet var att vidareutveckla och anpassa verktyget Source Finder till att kunna användas för spårelementen antimon, guld, silver och vismut samt att utveckla källan hushåll till att bestämma från vilka aktiviteter i hushållen som utsläpp sker. För att lösa arbetet identifierades källor till spårelementen i avloppssystem med hjälp av litteratur och för de källor det var möjligt bestämdes sedan storleken på utsläppen. Verktyget testades på Käppalaverkets upptagningsområde för att se om vidareutvecklingen hade lyckats.

Resultaten visade att verktyget uppskattar mängden kadmium som inkommer till avloppsreningsverk bra och att inkommande mängder av antimon, silver och vismut underskattas med verktyget. För antimon, silver och vismut var det inte möjligt att bestämma storleken på utsläppen från alla källor som identifierades på grund av att det finns för lite kunskap om hur stora utsläppen från källorna är. För guld kunde inga storlekar på utsläpp bestämmas och därför kunde inte guld beräknas med verktyget. Inom hushåll kunde bara utsläpp från urin, fekalier och bad-, disk-, och tvättvatten bestämmas med den kunskap som finns idag.

För flera stora källor som identifierades kunde inte storleken på utsläppen bestämmas och på grund av detta är det svårt att avgöra om alla källor till spårelement i avloppssystemet har identifierats. Trots detta kan verktyget användas i avloppsreningsverkens uppströmsarbete redan idag men genom att bestämma storleken på flera av de identifierade källornas utsläpp skulle SoFi kunna vara till ännu större nytta. För att göra detta måste kunskapen om storleken på utsläpp av spårelement från olika källor bli större och en ökad kunskap om utsläpp av spårelement inom hushåll behövs också. För att möjliggöra detta krävs nya studier inom dessa områden.

<b>REFERAT</b> .....	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>II</b>
<b>FÖRORD</b> .....	<b>III</b>
<b>POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING</b> .....	<b>IV</b>
<b>1. INLEDNING</b> .....	<b>1</b>
1.1 METALLER I AVLOPPSSLAM .....	2
1.2 SYFTE OCH MÅL .....	3
1.3 AVGRÄNSNINGAR .....	3
<b>2. BAKGRUND</b> .....	<b>4</b>
2.1 SPÅRELEMENT .....	4
2.1.1 Antimon .....	4
2.1.2 Guld .....	5
2.1.3 Kadmium .....	5
2.1.4 Silver .....	6
2.1.5 Vismut .....	7
2.2 SLAMSPRIDNING .....	7
2.3 ÅTGÄRDER .....	9
2.3.1 Lagstiftning och miljömål .....	9
2.3.2 Information .....	9
2.3.3 Certifieringssystemet REVAQ .....	10
2.4 VERKTYGET SoFi .....	10
<b>3. MATERIAL OCH METODER</b> .....	<b>11</b>
3.1 SYSTEMDEFINITION .....	11
3.2 SPÅRELEMENTKÄLLOR .....	13
3.2.1 Identifierade källor .....	13
3.3 SHABLONVÄRDEN .....	16
3.4 BERÄKNINGAR OCH ANTAGANDEN .....	18
3.5 FALLSTUDIEOMRÅDE .....	18
<b>4. INDATA</b> .....	<b>22</b>
4.1 ENSKILDA KOMMUNER .....	22
4.1.1 Danderyds kommun .....	22
4.1.2 Järfälla kommun .....	22
4.1.3 Lidingö stad .....	23



4.1.4 Nacka kommun .....	23
4.1.5 Sigtuna kommun .....	23
4.1.6 Sollentuna kommun .....	24
4.1.7 Solna stad .....	24
4.1.8 Täby kommun .....	25
4.1.9 Upplands-Bro kommun .....	25
4.1.10 Upplands Väsby kommun .....	26
4.1.11 Vallentuna kommun.....	26
4.1.12 Värmdö kommun .....	26
4.2 KÄPPALAVÄRNETS UPPTAGNINGSSOMRÅDE .....	27
4.3 KÄPPALAVÄRNET.....	28
<b>5. RESULTAT.....</b>	<b>29</b>
5.1 KÄLLFÖRDELNING.....	29
5.2 RESULTATKONTROLL.....	32
<b>6. DISKUSSION .....</b>	<b>34</b>
<b>7. SLUTSATS.....</b>	<b>36</b>
<b>8. REFERENSER .....</b>	<b>37</b>
<b>BILAGA 1. BERÄKNINGAR OCH ANTAGANDEN .....</b>	<b>46</b>



## 1. INLEDNING

Idag inkommer stora mängder föroreningar till de svenska avloppsreningsverken som de förväntas ta hand om. Föroreningarna, till exempel tungmetaller och organiska ämnen, är ett resultat på utsläpp från mänsklig aktivitet – produktion och konsumtion av varor. Tidigare var fokus på industriens punktutsläpp av framförallt tungmetaller. För att tvinga industrierna att ta ansvar för utsläppen infördes krav och gränsvärden för hur höga halter av tungmetallerna som får finnas i vattnet som går till reningsverk. Åtgärderna var effektiva och resulterade i att utsläppen minskade och att kontrollen är hårdare idag. Men gränsvärdena gäller endast metallerna bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, nickel, silver och zink. Övriga metaller kontrolleras i liten skala, om ens överhuvudtaget, i avloppsvatten från industrier. Problemen med föroreningar i avloppsreningsverk kvarstår dock och för de metaller som kontrolleras hos industrierna är det diffusa föroreningskällor som bidrar med de största föroreningsmängderna. För övriga metaller sker utsläpp genom både punktutsläpp från industri och diffusa källor. Väl i avloppsreningsverket kan några processer påverka föroreningarnas halter. En del av föroreningarna kan brytas ned och avgå i gasform. Metaller, som inte är nedbrytbara, kan endast hamna på två olika ställen – i slam eller recipient. Syftet med avloppsreningsverk är att växtnäringsämnen och föroreningar inte ska nå recipient, alltså ska så stora mängder som möjligt av dessa hamna i slam. Det innebär att avloppsreningsverk producerar avloppsslam som har högt fosfor- och kväveinnehåll men som också innehåller föroreningar som tungmetaller och organiska ämnen.

I Sverige finns nationella miljömål som fungerar som riktlinjer för det svenska miljöarbetet och som ska göra Sverige till ett hållbart samhälle. Miljömålen syftar till att lösa miljöproblemen nu istället för att lämna över dem till kommande generationer. I arbetet med de nationella miljömålen har sexton miljö kvalitetsmål antagits av Sveriges regering, vilka ska utgöra grunden för den nationella miljöpolitiken. Ett av miljö kvalitetsmålen är *God bebyggd miljö* i vilket det står att ”senast år 2015 ska minst 60 procent av fosforföroreningarna i avlopp återföras till produktiv mark, varav minst hälften bör återföras till åkermark” (Naturvårdsverket 2011, Internet). Arbetet för att uppfylla målet pågår, sedan 2005 har återföringen av fosfor till åkermark ökat från 9 till 26 procent och det anses möjligt att nå 30 procent till år 2015. Till annan produktiv mark, till exempel anläggningsjord, återförs idag endast 10 procent av fosforföroreningarna varför fler insatser behövs för att miljö kvalitetsmålet ska kunna uppfyllas (Naturvårdsverket 2011, Internet).

En av anledningarna till att återföringen av fosforföroreningar till åkermark ökar är att avloppsreningsverk arbetar med att kvalitetssäkra slammet genom certifiering. För några år sedan hade avloppsslam ett dåligt rykte och slamdebatten handlade om att slamproducenterna endast ville bli av med slammet och om dess innehåll av skadliga ämnen. Sedan 1981 pågår ett fältförsök med spridning av avloppsslam på jordbruksmark i

Skåne och försöket visar positiva effekter av slamgödsling (Andersson 2009). Men trots att försöken har visat att slamgödsling medför att markens mullhalt och bördighet ökar, att skörden ökar och att växternas tungmetallupptag inte påverkas negativt har återföringen av växtnäring i slam varit låg. År 2005 blev det enligt lag förbjudet att deponera avloppsslam och reningsverken var tvungna att komma på alternativa användningsområden för avloppsslammet (Sveriges riksdag 2001). För att utveckla reningsverkens uppströmsarbete och möjliggöra att mer avloppsslam återförs till jordbruksmark startades certifieringssystemet REVAQ som genom ett förbättrat uppströmsarbete ska kvalitetssäkra slammet. I REVAQ finns ett delmål om att alla icke-essentiella spårelement ska ha en ackumuleringshastighet (fördubblingstakt) i jordbruksmark som är lägre än 0,2 procent år 2025 (REVAQ 2011a, Internet). I en studie av Eriksson (2001) analyserades halterna av 61 spårelement i bland annat avloppsslam och spårelementens ackumuleringshastighet i jordbruksmark som slamgödslas beräknades. Undersökningen visar att elva spårelement har en ackumuleringshastighet som är högre än REVAQs delmål. Spårelement är antimon, bor, guld, kadmium, koppar, kvicksilver, molybden, silver, vismut, volfram och zink.

### **1.1 METALLER I AVLOPPSSLAM**

Kadmium, koppar, kvicksilver och zink är vanliga metaller vars förekomst har studerats i stor utsträckning och det finns god kännedom om vilka källorna för dessa metaller är. Industrier är fortfarande, trots gränsvärden, en stor källa till metallerna. Men i en studie av Agduhr Eronen (2010) framkom det att den största källan till dessa metaller, tillsammans med krom, är hushåll. I studien utfördes fallstudier över två kommuner, Sigtuna och Solna, där alla emissioner av metallerna till avloppssystemet simulerades och resultaten visade att hushåll bidrog med de klart största mängderna metall. Från vilka källor inom hushåll emissionerna sker är dock oklart då studier över detta är fåtaliga. Eriksson m.fl. (2002) sammanställde befintligt data för bad-, disk- och tvättvatten (BDT-vatten) för metallerna kadmium, koppar, krom, kvicksilver, silver och zink. I studien sammanställdes data för vatten från badrum, diskho och tvätt var för sig samt tillsammans och resultatet visar att behovet av fler studier för BDT-vatten är stort.

Antimon, silver och vismut är metaller vars användning ökar markant och som därför emitteras i allt större utsträckning (Lithner & Holm 2003, Sternbeck & Östlund 1999). Antimon har identifierats som en trafikförorening (Sternbeck m.fl. 2002, Hjortenkrans 2008, Månsson 2009) medan vismut är en metall som ersätter andra miljöfarligare metaller, till exempel bly, och som används i smink (Lindgren 2009, Frenzel 2010). Silver används idag som baktericid i textilier och hushållsapparater. Kunskapen om källorna för dessa metaller är bristfällig och emissioner av metallerna har endast studerats i liten utsträckning.

Source Finder (SoFi) är ett verktyg som kan användas för att ”identifiera” och kvantifiera utsläppskällor av kadmium, koppar, krom, kvicksilver och zink vid uppströmsarbete (Agduhr Eronen 2010). Verktyget är baserat på substansflödesanalyser där massbalansberäkningar för de fem metallerna utförs utifrån schablonvärden och data som

användaren har tillgängligt. Resultatet av beräkningarna redovisas tydligt för respektive metall i verktyget och det är enkelt att se storleken på kvantiteter som kommer från respektive källa. Med verktyget går det även att identifiera källor där åtgärder skulle vara effektiva (Agduhr Eronen 2010). Svenskt Vatten Utveckling-projektet *Flödesanalys av spårelement från källa till slam* syftar till att vidareutveckla och anpassa verktyget SoFi till att göra beräkningar med avseende på mindre analyserade spårelement än de som den nuvarande versionen hanterar. Spårelementen som i första hand avses i projektet är antimon, guld, silver och vismut vilka hör till de spårelement som enligt Eriksson (2001) har en ackumuleringshastighet som är större än 0,2 procent. Projektet är ett samarbete mellan CIT Urban Water Management AB, Svenskt Vatten, Gryaab, Käppalaförbundet, Stockholm Vatten, Norrköping Vatten och Eslövs kommun och syftar till att skapa en bas för att underlätta kommunernas fortsatta uppströmsarbete med att identifiera och kvantifiera flöden av spårelement. Till projektet är en referensgrupp knuten med personal från alla samarbetspartner. Detta examensarbete ingår i projektet.

## **1.2 SYFTE OCH MÅL**

Syftet är att vidareutveckla och anpassa det Excel-baserade verktyget Source Finder (SoFi) till att göra beräkningar med avseende på spårelementen antimon (Sb), guld (Au), silver (Ag) och vismut (Bi) samt utveckla källan ”Hushåll” så att emissioner inom hushåll kartläggs för spårelementen och kadmium (Cd).

## **1.3 AVGRÄNSNINGAR**

SoFi är konstruerat att användas för analyser på tungmetaller inom Sverige. Den geografiska avgränsningen sätts av användaren och kan vara ett upptagningsområde, en kommun eller en del av en kommun. Flöden av metallerna beräknas under ett år.

## 2. BAKGRUND

SoFi, som kan användas för att identifiera och kvantifiera utsläppskällor för tungmetaller, beräknar emissioner utifrån en databas med emissionskoefficienter. För att identifiera källor till spårelementen är det nödvändigt att veta inom vilka områden de används. För att förstå varför uppströmsarbete för spårelementen utförs behövs kunskap om certifieringssystemet REVAQ och slamspridning samt spårelementens egenskaper och effekter på människa och miljö.

### 2.1 SPÅRELEMENT

Spårelementen som studeras är metaller, förutom antimon som är en metalloid (Sternbeck m.fl. 2002), och förekommer i låga halter i jordskorpan. Det spårelement som återfinns i högst halter är kadmium med 1g/ton jordskorpa (Lagneborg & Waltersson 2004, Lohm m.fl 1997, Rudnick 2005, Wedepohl 1995). De studerade spårelementen är icke-essentiella för människan.

#### 2.1.1 Antimon

*Förekomst:* Antimon (Sb) kan förekomma i gedigen form i jordskorpan, vanligast är dock att den återfinns som sulfid i den antimonrika malmen stibnit. Spårelementet förekommer också i mindre halt i malmer som är rika på silver, koppar och bly, varifrån det framställs som en biprodukt (Lagneborg & Waltersson 2004, Sternbeck 1998).

*Egenskaper:* Antimon har dålig ledningsförmåga av värme och elektricitet, varför det ibland anses vara en metalloid (Nationalencyklopedin 2011a, Internet; Sternbeck m.fl. 2002). Antimon transporteras i marken genom att det binds till partiklar (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 IARC (WHO, IARC 1999) och även av EU misstänks föreningen kunna orsaka cancer (European Parliament 2011). Andra antimonföreningar klassas som prioriterat riskminskningsämne i Sverige framförallt på grund av att det kan medföra miljöfarliga långtidseffekter (Kemikalieinspektionen 2011, Internet). I Sverige finns det hygieniska gränsvärden för antimon i dricksvatten, där vattnet anses vara otjänligt vid antimonkoncentrationer högre än 5 µg/l (Livsmedelsverket 2001).

*Användningsområde:* Antimon används i flamskyddsmedel, som pigment, som legeringsmetall till bly och som katalysator inom kemiindustrin. Spårelementen förekommer i plast, elektronik, textilier, glas, bromsbelägg till fordon och batterier (Sternbeck 1998, Sternbeck m.fl 2002, Hjortenkrans 2008, Svenskt Vatten AB 2009). Tidigare användes antimon som pigment i smink, men sedan 1993 har metallen 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

2011, Internet). Betydande emissionskällor för antimon är vägtrafik och avfallsförbränning, där emissionerna från vägtrafiken sprids till både dagvatten och luft och emissionerna från avfallsförbränning till stor del sker till luft (Hjortenkrans m.fl. 2007, Sternbeck & Östlund, 1999).

### **2.1.2 Guld**

*Förekomst:* Guld (Au) är en ädelmetall som främst förekommer i ren form i jordskorpan, men den kan också finnas legerad med silver, palladium, rodium eller koppar. Spårelementet kan återfinnas i sediment då vissa malmer som innehåller guld är lättvittrade och de vittrade delarna anrikas i sediment efter att de har transporterats med vatten (Nationalencyklopedin 2011b, Internet).

*Egenskaper:* Guld är en mjuk och smidbar metall som, om den ska användas till smycken, måste ingå legering med andra metaller (Nationalencyklopedin 2011b, Internet). Spårelementets ledningsförmåga av värme och elektricitet är god. Guld är lättupptagligt för växter och det finns bakterier i jorden som omvandlar guld till mer växttillgängliga former i jorden (Stjernman-Forsberg & Eriksson 2002). Inga studier över hur guld påverkar människan har påträffats i litteraturstudien.

*Användningsområde:* Guld används främst i smycken, medaljer och mynt (Nationalencyklopedin 2011b, Internet). Andra användningsområden är i elektronik och inom tandvården (Naturvårdsverket 2002). Inom livsmedelsindustrin är guld godkänt som färgämne för överdrag till konfektyr, chokladdekor samt likörer i den mängd som behövs och kallas då E175 (Livsmedelsverket 2008). I Sverige finns det ett läkemedel som innehåller guld (FASS 2011, Internet). Läkemedlet används för behandling mot reumatiska sjukdomar och får endast ges av sjukvårdspersonal. Ett nytt användningsområde för ädelmetallen är i form av nanoguld där nanopartiklar med guld kan användas i till exempel medicinska applikationer eller som beläggning på solceller (Kemikalieinspektionen 2007, Hägglund 2008). Emissioner av guld sker från bland annat industri, exkrement och hushåll (Lottermoser 2001).

### **2.1.3 Kadmium**

*Förekomst:* Kadmium (Cd) är en metall som ofta förekommer med zink och främst i mineralet zinkblände. Dessutom framställs metallen som en biprodukt vid produktion av koppar, bly och zink (Nationalencyklopedin 2011c, Internet).

*Egenskaper:* Kadmium har relativt god ledningsförmåga av värme och elektricitet. Metallen binder till jordpartiklar vilket medför att den är lätttröglig i marken (Enskog 2000). Kadmium bioackumuleras i människa och djur genom intag av föda och metallen är giftig för alla organismer. I människan anrikas kadmium i lever och njurar och vid för höga halter kan organen få nedsatt funktion (Enskog 2000).

*Användningsområde:* Kadmium är enligt lag förbjuden men Kemikalieinspektionen får medge föreskrifter om undantag till förbudet (Sveriges riksdag 1998). Sådana undantag finns för kadmium i konstnärsfärger, varmvattenberedare och i vissa elektriska apparater (Svenskt Vatten AB 2009). Kadmium förekommer också i handelsgödsel (Eriksson 2001).

#### **2.1.4 Silver**

*Förekomst:* Silver (Ag) är en ädelmetall vars förekomst i jordskorpan är sällsynt (Lagneborg & Waltersson 2004, Rudnick 2005, Wedepohl 1995). Spårelementet kan förekomma i gedigen form, men framförallt återfinns det i sulfidmalmer varav de viktigaste är silverglans, pyragyrit och prosustit (Lagneborg & Waltersson 2004).

*Egenskaper:* Silver är en mjuk och smidbar metall som, om den ska användas för smycken och mynt, måste ingå legering med andra metaller. Den är också den metall som har bäst ledningsförmåga av värme och elektricitet (Nationalencyklopedin 2011d, Internet). Halterna av silver i naturliga vatten är låga och silver förekommer där som silverjoner, starka komplex samt på partiklar (Sternbeck och Östlund 1999). Halterna av silver i växter är normalt låga, vilket beror på att silver är svårtillgängligt för växter. Då växter tar upp silver ackumuleras metallen redan i roten. Markorganismer är däremot känsligare för silver, och metallen är giftig för mikroorganismer. Redan i låga koncentrationer kan metallen hämma respiration och denitrifikation (Stjernman-Forsberg & Eriksson 2002). Silver i saltform har en antimikrobiell effekt och studier tyder på att dessa salter kan orsaka att bakterierna blir resistenta för antibiotika (Livsmedelsverket 2011). Silverniträt är ett prioriterat riskminskningsämne på grund av dess potentiella miljöfarliga långtidseffekter (Kemikalieinspektionen 2011, Internet).

*Användningsområde:* Silver används i smycken, mynt, bestick, vid fotoframkallning, som baktericid, som katalysator inom industrin och vid ytbehandling av stål. Metallen förekommer i amalgam, tvättmaskiner, kylskåp, textilier, batterier och elektronik. Dessutom används silver som baktericid i avloppsreningsverk (Sternbeck & Östlund 1999, Svenson m.fl. 2008). Silver har använts i läkemedel men det var innan 1976 då det sista läkemedlet innehållandes silver avregistrerades i FASS (FASS 2011, Internet). 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 m.fl. 2008). Ett annat användningsområde för silver är i livsmedel där det får användas som färgämne (E174) i överdrag till konfektyr, chokladdekor samt likörer i den mängd som behövs (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 ”*en vattenreningsprodukt som effektivt dödar bakterier, svampar, virus och encelliga protozoer av typen amöbor och plasmodium (malaria)*” hos



ION SILVER som är en av Sveriges största försäljare av produkten (ION SILVER 2011, Internet).

### **2.1.5 Vismut**

*Förekomst:* Vismut (Bi) är en metall som förekommer i jordskorpan i gedigen form samt i mineralen bismut, vismutglans, vismutockra och vismutspat (Nationalencyklopedin 2011e, Internet). Metallen framställs som biprodukt vid bly- och kopparproduktion (Sternbeck & Östlund 1999).

*Egenskaper:* Vismut har dålig ledningsförmåga men kan leda värme och elektricitet (Nationalencyklopedin 2011e, Internet). I marina miljöer är vismut ett partikelreaktivt element vilket medför att metallen binder till sedimentterande partiklar och det har därför en kort uppehållstid i vatten (Sternbeck & Östlund 1999, Lithner & Holm 2003). På grund av spårelementets partikelreaktivitet är den 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 många andra metaller (Lagneborg & Waltersson 2004). I förening med tallium klassas dock vismut som ett prioriterat riskminskningsämne då det har mycket hög akut giftighet (Kemikalieinspektionen 2011, Internet). Sternbeck & Östlund (1999) klassar vismut som en högriskmetall för miljön i sin studie. Detta på grund av den ökade användningen av metallen då den används som ersättare för andra, mer toxiska, metaller.

*Användningsområde:* Vismut används i kosmetika, smörjmedel, industri, fyrverkerier, konstnärsfärg och som ersättare för bland annat bly (Lagneborg & Waltersson 2004, Lithner & Holm 2003, Lindgren 2009, Sternbeck & Östlund 1999). Elementet har tidigare använts i läkemedel, där den sista avregistreringen av läkemedel innehållandes vismut skedde år 2010 (FASS 2011, Internet). Vismut förekommer i puder, concealer, ögonskuggor och annan kosmetika och som pigment i konstnärsfärg (Frenzel 2010). Dessutom kan den återfinnas i ammunition, vattenledningar, glasyrer och mässing då den används som ersättare till bly (Sternbeck & Östlund 1999). Vid avfallsförbränning och biobränsleproduktion anrikas vismut i flygaskorna och just avfallsförbränning kan vara en antropogen källa till vismut i Sverige.

## **2.2 SLAMSPRIDNING**

Hur mycket slam som kan spridas på åkermark begränsas av gränsvärden för totalfosfor, ammoniumkväve och metallerna bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, nickel och zink (Naturvårdsverket 1994, Naturvårdsverket 1998). De ämnen som oftast begränsar mängden slamgiva är kadmium, koppar och fosfor (Eriksson 2001). Om åkermark innehåller 41 mg löslig fosfor eller mer per kg torr jord får högst 22 kg ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> totalfosfor tillföras marken. Av kadmium får högst 0,75 g ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> tillföras och för koppar gäller 300 g ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> (Naturvårdsverket 1994). Hur stora mängder antimon, guld, silver och vismut som tillförs marken vid slamgödsling beror alltså på hur stor halt av spårelementet som finns i slammet

samt mängden slam som kan spridas utifrån de begränsande ämnena. Genom certifieringssystemet REVAQ kommer alla icke-essentiella spårelement att kontrolleras i och med att det finns ett delmål om att dessa element ska ha en ackumuleringshastighet som är lägre än 0,2 procent år 2025 (REVAQ 2011a, Internet).

I en undersökning av Eriksson (2001) studerades halterna av 61 spårelement i bland annat avloppsslam. Slam från 48 reningsverk analyserades med avseende på spårelementen och medelhalter för respektive spårelement beräknades. Dessutom beräknades en viktad medelhalt för respektive spårelement som representerar medelhalten i den totala mängden slam som produceras i Sverige. Det begränsande ämnet i detta slam är fosfor där den viktade medelhalten är 33 g kg<sup>-1</sup> vilket medför att en slamgiva på högst 0,7 ton TS ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> får spridas på en mark som har god fosforhalt. För att bestämma vilka spårelement som bör studeras närmre beräknade Eriksson hur lång tid det tar att fördubbla halterna i matjorden om en genomsnittsgiva av avloppsslam på 0,7 ton TS ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> tillförs kontinuerligt (Tabell 1). Studierna visar att guld och silver är de mest kritiska spårelementen. Halten av guld kommer att fördubblas inom 17 år och för silver sker fördubblingen på 41 år. Andra ämnen vars halter kommer att fördubblas snabbt är koppar, kvicksilver, antimon, kadmium, zink och vismut. I tabellen visas hur snabbt halten av spårelementet fördubblas i matjorden om slammet har den maxhalt som har analyserats, den halt som ligger vid 90-percentilen av analyserna samt den viktade medelhalten.

**Tabell 1** Antal år det tar för halterna av spårelement att fördubblas i matjord vid en kontinuerlig slamgiva på 0,7 ton TS ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. Första kolumnen avser slam med maxhalt, andra kolumnen avser slam som motsvarar 90-percentilen av analyserna i slam och den tredje kolumnen avser den viktade medelhalten (Källa: Eriksson 2001).

Element	Maxhalt [år]	90-percentil [år]	Viktat medelvärde [år]
Guld (Au)	<4	<19	<17
Silver (Ag)	16	30	41
Koppar (Cu)	42	130	170
Kvicksilver (Hg)	44	110	150
Volfram (W)	47	660	640
Bor (B)	58	150	360
Antimon (Sb)	62	330	240
Kadmium (Cd)	76	510	480
Zink (Zn)	120	410	430
Molybden (Mo)	130	250	320
Vismut (Bi)	180	530	600

I de REVAQ-certifierade avloppsreningsverken analyseras de 61 spårelement som Eriksson (2001) studerade för att kontrollera hur stora halter av dem som finns i avloppsslammet. Flera av avloppsreningsverken har höga ackumuleringshastigheter för antimon, guld, silver

och vismut och prioriterar därför dessa metaller, tillsammans med bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, nickel och zink, i uppströmsarbetet.

## **2.3 ÅTGÄRDER**

### **2.3.1 Lagstiftning och miljömål**

Lagstiftning kan användas för att påverka användningen av kemikalier i samhället. Inom EU gäller förordningen REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) som reglerar användandet av kemikalier för EU:s medlemmar. REACH trädde i kraft den 1 juni 2007, men reglerna börjar gälla stegvis och först år 2018 kommer förordningen att användas fullt ut. Grundprincipen med REACH är att tillverkare, importör och nedströmsanvändare ansvarar för att ämnena som produceras och säljs inte medför negativa effekter på hälsa och miljö (Kemikalieinspektionen 2010). Livsmedel, läkemedel och kosmetika gäller inte under REACH utan styrs av Livsmedelsverket (livsmedel) och Läkemedelsverket (läkemedel och kosmetika).

Av de studerade spårelementen är kadmium det ämne som är starkast reglerad i det svenska samhället (Sveriges riksdag 1998). I Sveriges riksdags miljökvalitetsmål *Gifrfri miljö* har kadmium klassats som ett utfasningsämne och i Kemikalieinspektionens PRIO-lista utgör metallen, tillsammans med bly och kvicksilver, gruppen ”särskilt farliga metaller” (Naturvårdsverket 2011; Kemikalieinspektionen 2011, Internet). I miljökvalitetsmålet *Gifrfri miljö* behandlas kadmium i två delmål, *Utfasning av farliga ämnen* och *Om kadmium*. Det första delmålet behandlar kadmium i varor och skulle vara uppfyllt år 2010. Huruvida delmålet uppfylldes står dock inte klart idag, men år 2009 bedömdes delmålet som svårt att uppnå (Naturvårdsverket 2011, Internet). Det andra delmålet, *Om kadmium*, syftar till att skydda den svenska befolkningen från exponering av kadmium som i ett långsiktigt perspektiv är ohälsosamt. Målet ska vara uppfyllt senast år 2015 men bedömdes år 2009 som svårt att uppnå (Naturvårdsverket 2011, Internet). De andra spårelementen är inte specificerade i lagtext eller miljömål.

### **2.3.2 Information**

I Svenskt Vatten AB:s regi har en informationsbroschyr producerats vilken kommuner och avloppsreningsverk kan använda för att informera hushåll om vad den enskilde individen kan göra för att bidra till ett renare avloppsvatten. I denna broschyr är silver ett av de ämnen som berörs (Svenskt Vatten AB 2011, Internet). Vissa kommuner och reningsverk arbetar med uppströmsarbete genom att dela ut information till sina invånare om vad som får, och inte får, kastas i toan, hur konstnärsfärg ska tas om hand och genom att ange riktvärden för vanliga tungmetaller från verksamheter (Gryaab 2011a, Internet; Gryaab 2011b, Internet; Käppalaförbundet 2011a, Internet; Stockholm Vatten 2011a, Internet). Silver debatteras på många ställen i det svenska samhället idag och till exempel skrev personal på avloppsreningsverket Gryaab en debattartikel i Göteborgsposten som uppmärksammade metallens förekomst i avloppsvatten (Davidsson m.fl 2011, Internet).

Genom detta examensarbete har en artikel om hushållens bidrag av metaller till avloppsreningsverk publicerats i VVS Forum (Johnsson & Pettersson 2011).

### **2.3.3 Certifieringssystemet REVAQ**

REVAQ är ett certifieringssystem för avloppsslam som startades år 2008 genom ett samarbete mellan vattentjänstbranschen, LRF, Lantmännen och dagligvaruhandeln (REVAQ 2011b, Internet). Syftet med REVAQ är att avloppsreningsverken ska utföra uppströmsarbete så att växtnäring från avloppsfraktioner produceras på ett ansvarsfullt sätt och att kvaliteten på slammet klarar de krav som finns. Det långsiktiga målet med REVAQ är att det inkommande avloppsvattnet ska ha samma halter av metaller och organiska ämnen som klosettvattnet har och att halterna av icke-essentiella metaller i jordbruksmark inte ska öka. Det första delmålet i certifieringsarbetet är att alla icke-essentiella spårelement ska ha en ackumuleringshastighet som är lägre än 0,2 procent år 2025 i matjord (REVAQ 2011a, Internet).

### **2.4 VERKTYGET SoFi**

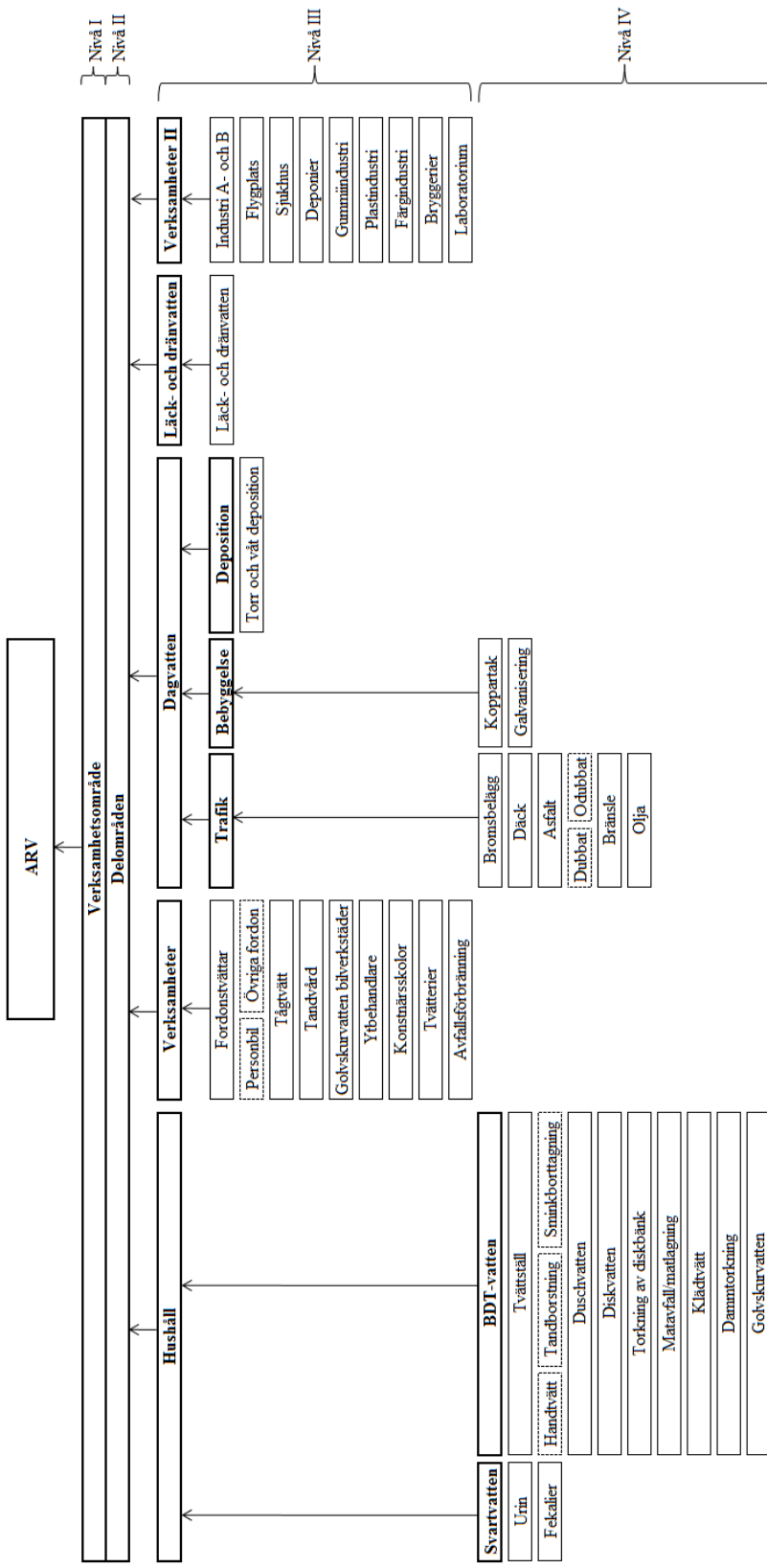
SoFi är ett verktyg som ska kunna användas dels som databas, där tillgänglig information om tungmetaller samlas, och dels som ett beräkningsverktyg för att kvantifiera ämnesflöden från olika källor (Agduhr Eronen 2010). De tungmetaller som studeras med verktyget är kadmium, koppar, krom, kvicksilver och zink. SoFi är ett hjälpmedel vid uppströmsarbete eftersom det kan visa vilka källor som bidrar med tungmetaller till avloppssystemet samt beräkna hur stora utsläppen är. Verktygets geografiska avgränsning är Sverige där användaren väljer vilket område som verktyget ska appliceras på. Området kan vara ett avloppsreningsverks hela upptagningsområde, en inloppstunnel, kommun eller kommunedel. Källor studeras i delområdena ”Hushåll”, ”Verksamhetsutövare”, ”Dagvatten”, ”Tillskottsvatten” och ”Övrigt”. Verktyget bygger på en substansflödesanalys enligt van der Voet (2002) som beräknar inflöde och utflöde av metallerna under ett år och kontrolleras genom massbalansberäkning. Beräkningarna i SoFi utförs för ett helt år (Agduhr Eronen 2010).

### **3. MATERIAL OCH METODER**

Då SoFi är uppbyggt med substansflödesanalys enligt van der Voet (2002) skedde också utvecklingen och anpassningen av verktyget med denna metod. En sådan substansflödesanalys innebär att systemet ska definieras, flöden och lager ska kvantifieras och källorna för spårelement ska identifieras. För att kunna kvantifiera emissionerna av spårelementen krävs schablonvärden för emission från respektive källa samt att beräkningar och antaganden utförs.

#### **3.1 SYSTEMDEFINITION**

Verktyget har avgränsats till att beräkna inflöde och utflöde till avloppssystem för metallerna kadmium, krom, koppar, kvicksilver och zink samt spårelementen antimon, guld, silver och vismut. Systemet, som illustreras i figur 1, är indelat i olika nivåer, nivå I-IV. Indelningen av nivåerna är baserad på hur mätningar i respektive nivå behöver utföras. Nivå I är vattnet i avloppsreningsverket och därmed avloppsreningsverkets hela upptagningsområde. För denna nivå skall årsbelastningen av respektive metall vara lika stor som summan av utsläppen från, de i SoFi identifierade, källorna. Nivå II representerar delområden i avloppssystemen vilka är större samlingsledningar från till exempel kommuner och kommundelar. Nivå III representerar avloppskategorier, alltså ledningar högt upp i ledningssystemen där endast hushållsavloppsvatten, dagvatten eller avloppsvatten från definierade verksamheter går. Avloppskategorierna som systemet är indelat i är hushåll, verksamheter I, verksamheter II, dagvatten samt läck- och dränvatten. Verksamheter I är verksamheter som har kunnat identifieras som utsläpstkälla och för vilka utsläpp har kunnat kvantifieras. Verksamheter II är A- och B-verksamheter samt verksamheter som identifieras i litteraturen men för vilka det inte har gått att kvantifiera utsläppen och därför har inga schablonvärden kunnat uppskattas. A- och B-verksamheter är verksamheter för vilka tillstånd från miljödomstol respektive länsstyrelse krävs för att driva verksamheten och släppa ut avloppsvatten. Dagvatten är indelat i deposition (våt och torr), bebyggelse och trafik. Läck- och dränvatten är infiltrerat vatten som tränger in i ledningssystemet. Nivå IV representerar avloppskomponenter för vilka det krävs separata ledningssystem, i till exempel hushåll, eller laboratorieundersökningar för att utföra mätningar. På nivå IV är hushåll definierade som till exempel urin, fekalier, handtvätt och textiltvätt. Trafik under dagvattenkategorin är indelad i till exempel bromsbelägg, däck, asfalt och trafikarbete.



**Figur 1** Systembild för potentiella spårelementkällor till avloppssystem.

## 3.2 SPÅRELEMENTKÄLLOR

Då kadmium har studerats med SoFi tidigare, och syftet med denna studie är att emissioner av metallen från hushåll ska kartläggas, har endast källor inom hushåll identifierats och kvantifierats för metallen. För övriga spårelement har endast de största källorna identifierats och då kunskapen om emissioner av dessa element är mycket liten har kvantifieringen av dessa spårelement varit svår att utföra.

### 3.2.1 Identifierade källor

Med hjälp av den till projektet knutna referensgruppen identifierades de stora källorna till spårelementen. Med litteratur definierades källor samt potentiella källor till spårelement i avloppssystem och sammanställdes enligt nedan. Referenser för definierade och potentiella källor till spårelement från hushåll presenteras i tabell 2 och referenser för definierade och potentiella källor till spårelement från verksamheter I, dagvatten och övrigt presenteras i tabell 3.

*Identifierade källor:*

*Antimon:* Industri, tågtvätt, bromsbelägg, fordonsdäck, deposition, ytbehandling, textiltvätterier samt hushåll genom urin, fekalier och BDT-vatten.

*Guld:* Industri, tandvård, hushåll genom fekalier, handtvätt och dusch med guldsmycken.

*Kadmium:* Hushåll genom fekalier, urin och de flesta hushållsaktiviteter, bland annat från tvättställ, dusch, matlagning, textiltvätt och städning.

*Silver:* Fotoindustri och annan industri, tandvård, textiltvätterier, ytbehandlare, fordonsdäck, baktericid i reningsverk samt hushåll genom urin, fekalier och BDT-vatten.

*Vismut:* Deposition och hushåll genom urin, fekalier och BDT-vatten med bidrag från bland annat kosmetika.

**Tabell 2** Referenser för definierade källor och potentiella källor till spårelement från hushåll i avloppssystem.

Hushåll	Ag	Au	Bi	Sb	Cd
Hushåll	1,2,3,4	3,5	2,3,6	1,2,3,4	2,3,7
Svartvatten	3,8,9,10	11	8,9	8,9,10	3,7,8,9,10
Urin	3,12	3	12	12	3,12,13,14
Fekalier	3,12		3,12	3,12	3,12,13,14
BDT-vatten	3,8,9,10,12	11	3,8,9,12	3,8,9,10,12	3,7,8,9,10,12,13,14
Tvättställ					7
Handtvätt					
Sminkborttagning			6,15,16		
Tandborstning					
Smycken	17,18				
Duschvatten					7,19
Golvskurvatten					7,19
Diskvatten					7
Bestick	17,18				
Matavfall					7
Tvätt av kläder	20,21,22				7,19,23
Flamskyddsmedel				18,24	
Materialval					
Diskbänkstorkning					7
Spolvatten					7
Dammtorkning					7,19

<sup>1</sup>(Vendel 2004) <sup>2</sup>(Gryaab 2008) <sup>3</sup>(Palmquist & Viklander 2002) <sup>4</sup>(Andersson 2005)  
<sup>5</sup>(Naturvårdsverket 2002) <sup>6</sup>(Carlin 2007) <sup>7</sup>(Wall 2002) <sup>8</sup>(Palmquist & Hanæus 2004) <sup>9</sup>(Palmquist 2004a) <sup>10</sup>(Palmquist 2004b) <sup>11</sup>(Lottermoser 2001) <sup>12</sup>(Almquist m.fl. 2007) <sup>13</sup>(Vinnerås m.fl. 2006)  
<sup>14</sup>(Jönsson m.fl. 2005) <sup>15</sup>(Frenzel 2010) <sup>16</sup>(Lithner & Holm 2003) <sup>17</sup>(Svenson m.fl. 2008)  
<sup>18</sup>(Sternbeck & Östlund 1999) <sup>19</sup>(Magnusson 2003) <sup>20</sup>(Geranio m.fl. 2009) <sup>21</sup>(Benn & Westerhoff 2008)  
<sup>22</sup>(Blaser m.fl. 2008) <sup>23</sup>(Sörme & Lagerkvist 2002) <sup>24</sup>(Sternbeck m.fl. 2002)



**Tabell 3** Referenser för definierade källor och potentiella källor till spårelement från verksamheter, dagvatten och övrigt i avloppssystem.

<b>Verksamheter</b>	<b>Ag</b>	<b>Au</b>	<b>Bi</b>	<b>Sb</b>
<i>Fordonstvättar</i>				
Personbil				
Annat fordon				
Tågtvättar				1,2
Tandvård	3,4	4,5		
Golvskurvatten bilverkstäder				
Ytbehandlare				6
Konstnärsskolor			7,8	6
Tvätterier	3			6,9
Förbränning	9			6,8,9
<hr/>				
<b>Dagvatten</b>	<b>Ag</b>	<b>Au</b>	<b>Bi</b>	<b>Sb</b>
<i>Trafik</i>				
Bromsbelägg				6,9,10
Däck	11			6,8,11,12,13
<i>Asfalt</i>				
odubbbat				
dubbbat				
Bränsle				
Oljespill				
<i>Bebyggelse</i>				
Koppartak				
Galvanisering				
Torr och våt dep.	4,9			6,9,12
<hr/>				
<b>Övrigt</b>	<b>Ag</b>	<b>Au</b>	<b>Bi</b>	<b>Sb</b>
Fotoindustri	3,4,9,14,			
Industri	3,9	15	9	6,9
Deponier	3,9		9	9
Läkemedel	3,4,9		7,8,9,16	9

<sup>1</sup>(Stockholm Vatten 2011b, Internet) <sup>2</sup>(Käppalaförbundet 2011b, Internet) <sup>3</sup>(Svenson m.fl. 2008)  
<sup>4</sup>(Naturvårdsverket 2002) <sup>5</sup>(Thuresson 2001) <sup>6</sup>(Sternbeck m.fl. 2002) <sup>7</sup>(Carlin 2007) <sup>8</sup>(Lithner & Holm 2003) <sup>9</sup>(Sternbeck & Östlund 1999) <sup>10</sup>(Vendel 2004) <sup>11</sup>(Ntziachristos & Boulter 2009)  
<sup>12</sup>(Johansson & Burman 2006) <sup>13</sup>(Hjortenkrans 2008) <sup>14</sup>(Stjernman-Forsberg & Eriksson 2002)  
<sup>15</sup>(Lottermoser 2001) <sup>16</sup>(Lagneborg & Waltersson 2004)

### 3.3 SHABLONVÄRDEN

För att emissioner från källor ska kunna kvantifieras har schablonvärden (emissionskoefficienter som anger emission till avloppsvatten i mängd per enhet och tid eller emission i mängd per enhet) bestämts för de källor det var möjligt. Till detta har litteratur i form av vetenskapliga artiklar och rapporter från avloppsreningsverk, gränsvärden från myndigheter och analysresultat från prover i avloppsreningsverk studerats.

För hushåll har emissionskoefficienter för BDT-vatten och fekalier fastställts för alla spårelement förutom guld och för urin har emissionskoefficienter fastställts för spårelementen antimon, kadmium och silver. Schablonvärdena för kadmium är hämtade från Jönsson m.fl. (2005) vilka har bestämt schablonvärden utifrån flera svenska studier för urin, fekalier och BDT-vatten. Emissionerna av kadmium i BDT-vatten varierar beroende på om infrastrukturen i det undersökta området är ny eller gammal och därför går det att välja emissionskoefficient för BDT-vatten i verktyget. För övriga spårelement har emissionskoefficienter från urin och fekalier bestämts från en studie från Gebers (Almquist m.fl. 2007) medan emissionskoefficienter för BDT-vatten är ett medelvärde från Gebers och en studie i Vibyåsen (Palmquist & Hanæus 2004). Schablonvärdena som används för hushåll presenteras i tabell 4.

**Tabell 4** Emissionskoefficienter för avloppskategorin hushåll.

Hushåll	Ag	Au	Bi	Cd	Sb	Enhet
Urin	$1,83 \cdot 10^{-5}$ (M,1)			$1,83 \cdot 10^{-4}$ (S,2)	$1,13 \cdot 10^{-5}$ (M,1)	g/(inv*år)
Fekalier	0,012 (M,1)		$2,50 \cdot 10^{-4}$ (M,1)	$3,65 \cdot 10^{-3}$ (S,2)	$1,10 \cdot 10^{-3}$ (M,1)	g/(inv*år)
BDT-vatten	$6,74 \cdot 10^{-3}$ (m,1,3)		$7,95 \cdot 10^{-3}$ (M,1)	$3,65 \cdot 10^{-3}/1,46 \cdot 10^{-2}$ (S,2)	$9,13 \cdot 10^{-3}$ (m,1,3)	g/(inv*år)

<sup>M</sup> = mätvärde, <sup>S</sup> = sammanställning, <sup>m</sup> = medelvärde

<sup>1</sup>(Almquist m.fl. 2007) <sup>2</sup>(Jönsson m.fl. 2005) <sup>3</sup>(Palmquist & Hanæus 2004)

För verksamheter har emissionskoefficienter för några spårelement fastställts, vilka är riktvärden från myndigheter och avloppsreningsverk (Tabell 5). Idag finns det inga krav på verksamheter att de ska analysera avloppsvatten med avseende på antimon, guld, silver eller vismut och därför finns det mycket liten information om emissioner från verksamheter.

**Tabell 5** Emissionskoefficienter för avloppskategorin verksamheter I.

Verksamheter I	Ag	Au	Bi	Sb	Enhet
<i>Fordonstvättar</i>					
Personbil					g/fordon
Annat fordon					g/fordon
Tågvtättar				1·10 <sup>-3</sup> (R,1,2)	g/(12 m tåg)
Tandvård					g/(enhet*år)
Golvskurvatten bilverkstäder					g/(verkstad*år)
Ytbehandlare	0,1 (R,3)				g/m <sup>3</sup>
Tvätterier					g/kg
Förbränning					g/m <sup>3</sup>

<sup>R</sup> = riktvärde

<sup>1</sup>(Stockholm Vatten 2011b, Internet) <sup>2</sup>(Käppalaförbundet 2011b, Internet) <sup>3</sup>(Naturvårdsverket 1997)

För dagvatten har endast ett fåtal källor identifierats. Trots att antimon har uppmärksamats som en trafikrelaterad metall under de senaste åren har få studier på emissionerna av metallen till dagvatten påträffats. De schablonvärden som används är data utifrån sammanställningar och mätvärden (Tabell 6).

**Tabell 6** Emissionskoefficienter för avloppskategorin dagvatten.

Dagvatten	Ag	Au	Bi	Sb	Enhet
<i>Trafik</i>					
Bromsbelägg				7,5·10 <sup>-5</sup> (S,1)	g/km
Däck	1,07·10 <sup>-9</sup> (S,1)			2,14·10 <sup>-8</sup> (S,1)	g/km
Asfalt					
odubbat					g/km
dubbat					g/km
Bränsle					g/km
Oljespill					g/km
<i>Bebyggelse</i>					
Koppartak					g/(m <sup>2</sup> *år)
Galvanisering					g/(m <sup>2</sup> *år)
<i>Torr- och våtdeposition</i>				1.1 (M,2)	g/(ha*år)

<sup>M</sup> = mätvärde, <sup>S</sup> = sammanställning

<sup>1</sup>(Ntziachristos & Boulter 2009) <sup>2</sup>(Johansson & Burman 2006)

För läck- och dränvatten har inga schablonhalter bestämts vilket beror på att det inte finns några sammanställda data för hur stora halter av antimon, guld, silver och vismut som finns i grundvatten.

### 3.4 BERÄKNINGAR OCH ANTAGANDEN

I verktyget genomförs samma beräkningar som i den första versionen av SoFi (Agduhr Eronen 2010) vilka i sin tur är hämtade från Sörme & Lagerkvist (2002) och Ahlman & Svensson (2005). Ekvationerna bygger på massbalans vilket innebär att det antas att systemet är slutet och att massan är konstant. För respektive spårelementkälla beräknas emissionen ( $E$ ) under ett år i enheten gram per år. Emissionskoefficienten är antingen tidsderiverad ( $k'$ ) och anger då flöde i massa (gram) per år och enhet (se nedan) eller också är den en faktor ( $k$ ) och anger massa (gram) per enhet. För en tidsderiverad emissionskoefficient kan enheten vara till exempel invånare, bilverkstad, ytbehandlare och då emissionskoefficienten är en faktor kan enheten vara till exempel fordon eller kilometer. Det är typen av emissionskoefficient som bestämmer vilket indata som krävs för beräkningar ( $i$ =enhet eller  $i'$ =enhet/år) men också vilken formel för beräkning som ska användas. Generellt används ekvation 1 då emissionskoefficienten är tidsderiverad och ekvation 2 då emissionskoefficienten är en faktor.

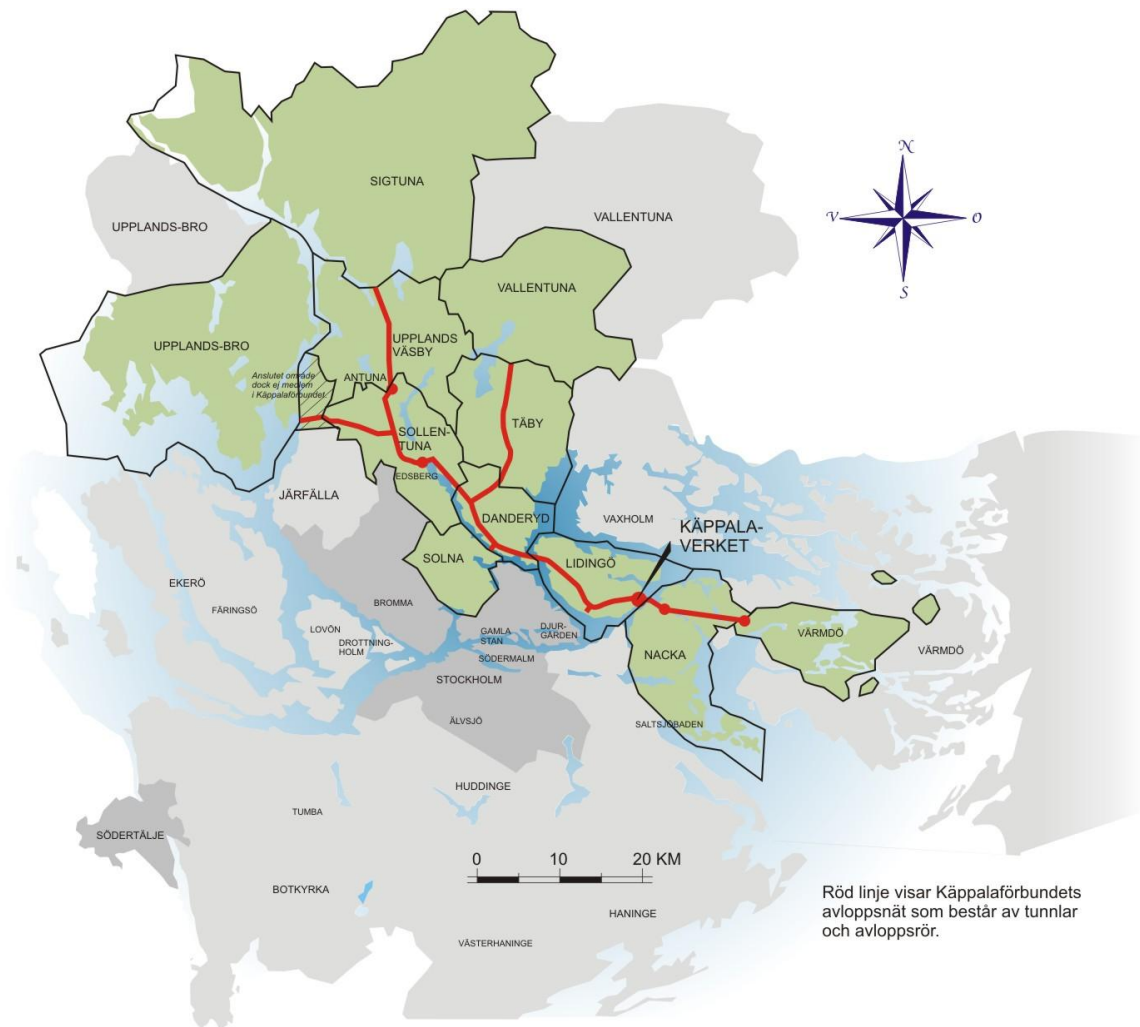
$$E \left[ \frac{g}{\text{år}} \right] = k' \left[ \frac{g}{\text{år} \cdot \text{enhet}} \right] \cdot i[\text{enhet}] \quad (1)$$

$$E \left[ \frac{g}{\text{år}} \right] = k \left[ \frac{g}{\text{enhet}} \right] \cdot i' \left[ \frac{\text{enhet}}{\text{år}} \right] \quad (2)$$

I verktyget har det antagits att det betraktade området är homogent och att alla emissioner av spårelement som sker under ett år transporteras till avloppsreningsverk. Dessutom antas det att ingen lagring av spårelement sker i rörsediment.

### 3.5 FALLSTUDIEOMRÅDE

Käppalaförbundet är ett samarbete mellan elva kommuner som tillsammans driver Käppalaverket. De elva kommunerna är Danderyd, Lidingö, Nacka, Sigtuna, Sollentuna, Solna, Täby, Upplands-Bro, Upplands Väsby, Vallentuna och Värmdö. Käppalaverket är ett av Sveriges mest moderna avloppsreningsverk där mekanisk, kemisk och biologisk rening används (Käppalaförbundet 2011c, Internet). Under reningsprocessen renas minst 95 % av fosfor och 75 % av kvävet bort. Flera av de metaller som analyseras vid avloppsreningsverket renas till 90 % (Käppalaförbundet 2010). I Käppalaverkets upptagningsområde ingår de elva medlemskommunerna samt delar av Järfälla kommun (figur 2). För att få korrekt indata för upptagningsområdet kontaktades respektive kommun.



**Figur 2** Käppalaförbundets upptagningsområde (Illustrator: Mario Salutsikj. Återgiven med tillstånd av Käppalaförbundet (Carlberg pers. k. 2011)).

### *Danderyds kommun*

Danderyd är en liten kommun som är indelad i fyra kommundelar – Danderyd, Djursholm, Enebyberg och Stocksund. Djursholm utgör centralort. Danderyd, Djursholm och Stocksund är en del av tätorten Stockholm medan Enebyberg är en del av tätorten Täby. I kommunen finns, förutom de fyra kommundelarna, Mörby centrum, Danderyds sjukhus och grönområden. Danderyd har drygt 31 000 invånare och ungefär 15 000 arbetstillfällen finns i kommunen (Danderyd kommun 2011, Internet).

### *Järfälla kommun*

Järfälla är indelad i sex kommundelar – Jakobsberg, Viksjö, Barkaby, Skälby, Kallhäll och Stäket, vilka är en del av tätorten Stockholm. Av dessa kommundelar är det endast avloppsvatten från Stäket och norra Kallhäll som transporteras till Käppalaverket, resterande avloppsvatten tas omhand av Stockholm Vatten (Sundén, pers. k. 2011). I delar av Järfälla kommun som ligger i Käppalaverkets upptagningsområde finns

bostadsområden, grönområden och västra delen av området gränsar till vatten. Av Järfällas drygt 66 000 invånare bor ungefär 13 000 i Kallhäll och Stäket (Järfälla Kommun 2011, Internet).

#### *Lidingö stad*

Lidingö är en ö med många grönområden och stränder. På ön finns de tre tätorterna Lidingö, Brevik och Sticklinge udde. Kommunen har ungefär 43 500 invånare (Lidingö stad 2011, Internet). På ön ligger Käppalaverket som är den enda A-verksamheten inom kommunen.

#### *Nacka kommun*

Nacka kommun har sju tätorter – Boo, Fisksätra, Hästhagen, Kil, Kummelnäs, Saltsjöbaden och Älta. Centralorten i kommunen är Nacka som är en del av tätorten Stockholm. Kommunen har stora grönområden och gränsar till vatten. Nacka kommun har drygt 90 000 invånare (Nacka kommun 2011, Internet).

#### *Sigtuna kommun*

Sigtuna kommun har tre tätorter – Märsta, Sigtuna och Rosersberg. Kommunens centralort är Märsta, i vilken 60 % av kommunens 40 000 invånare bor. I kommunen ligger Stockholm-Arlanda Airport till vilken två tredjedelar av arbetstillfällena i kommunen kan relateras (Sigtuna kommun 2010, Internet). Flygplatsen är också en stor källa till tungmetaller i avloppsvatten (Agduhr Eronen 2010).

#### *Sollentuna kommun*

Sollentuna är indelad i kommundelarna Rotebro, Viby, Norrviken, Vaxmora, Häggvik, Edsberg, Tureberg, Sjöberg, Helenelund och Järvafältet. Kommunens centralort är Sollentuna som är en del av tätorten Stockholm. Sollentuna kommun har över 64 000 invånare. I kommunen finns Järvafältet, som är ett naturreservat, samt andra stora grönområden. Det finns ungefär 4 000 företag i kommunen, varav ett är Sveriges enda jästfabrik (Sollentuna kommun 2011, Internet).

#### *Solna stad*

Solna stad är till ytan Sveriges tredje minsta kommun men befolkningsmässigt är den Sveriges största med över 68 000 invånare. En tredjedel av kommunens yta utgörs av grönområden. I Solna finns över 8 000 företag och arbetsplatser och i kommunen är antalet arbetstillfällen fler än antalet invånare (Solna Stad 2011, Internet).

#### *Täby kommun*

Täby kommun omfattar större delen av tätorten Täby samt delar av tätorten Täby kyrkby i norr. I kommunen finns flera grönområden, sjöar och en kuststräcka. Täby kommun har över 63 000 invånare och knappt 23 000 arbetstillfällen (Täby kommun 2011, Internet).

#### *Upplands-Bro kommun*

Upplands-Bro kommun har två större tätorter - Bro och Kungsängen, i vilka huvuddelen av kommunens drygt 23 600 invånare bor. Kommunens centralort är Kungsängen. I Upplands-Bro finns stora orörda naturområden samt långa kuststräckor till Mälaren och skärgård. Kommunen var en boplats redan på forntiden och det finns många kulturminnen kvar i kommunen. I Upplands-Bro finns drygt 7 000 arbetstillfällen (Upplands-Bro kommun 2010, Internet).

#### *Upplands Väsby kommun*

Upplands Väsby kommun har en stor tätort, Upplands Väsby, i vilken större delen av kommunens drygt 38 000 invånare bor. I utkanterna av kommunen finns grönområden (Upplands Väsby kommun 2011, Internet).

#### *Vallentuna kommun*

Vallentuna kommun är en till ytan stor kommun som innefattar tätorterna Vallentuna, Karby/Brottby, Lindholmen och Kårsta. Centralorten i Vallentuna kommun är Vallentuna tätort och kommunen har ungefär 30 000 invånare. I kommunen finns ett välbevarat och levande kulturlandskap som har präglats av flera tusen års jordbruks- och boskapsskötsel (Vallentuna kommun 2011, Internet).

#### *Värmdö kommun*

Värmdö kommun ligger i Stockholms skärgård och har ungefär 38 000 invånare. Sommartid ökar dock antalet personer i kommunen till uppåt 100 000 i och med fritidsboenden och turister. Värmdös centralort är Gustavsberg, som har vuxit fram sedan Gustavsbergs porslinsfabrik grundades på 1820-talet. Idag bor drygt 10 000 personer i centralorten (Värmdö kommun 2011, Internet).

## 4. INDATA

En fallstudie genomfördes för att testa verktyget gentemot verkligheten och för att se huruvida de stora källorna för respektive spårelement har identifierats. För att ta reda på hur rimliga resultaten i fallstudien var utfördes en resultatkontroll.

### 4.1 ENSKILDA KOMMUNER

Indata från respektive kommun sammanställdes i tabeller. Endast de erhållna uppgifterna presenteras och därför visar tabellerna olika information.

#### 4.1.1 Danderyds kommun

Indata om kommunen insamlades genom kontakt med personal på Tekniska kontoret. Kommunens avloppssystem är i huvudsak duplikat, systemet håller på att byggas om och det återstår 8 km kombinerat system som är planerat att byggas om till duplikat system (Johannesson, pers. k. 2011). I verktyget antogs hela Danderyd kommuns avloppssystem vara duplikat. Södra Roslagens miljö- och hälsoskyddskontor kontaktades angående information om verksamheter i kommunen men ingen information erhöles från dem. Indata från Danderyd kommun presenteras i tabell 7.

**Tabell 7** Indata till SoFi från Danderyd kommun.

	<b>INPUT</b>	<b>Enhet</b>	<b>Referens</b>
Antal personer anslutna	31 000	st	(Johannesson, pers. k. 2011)
Tandvård (enheter)	47	st	(Lindgren, 2005)
Bilverkstäder	18	st	(Gorodetskaja 2006)
Mängd läck- och dränvatten	2 258 000	m <sup>3</sup> /år	(Palmgren, pers. k. 2011)

#### 4.1.2 Järfälla kommun

Indata om de delar av kommunen som leder avloppsvatten till Käppalaverket insamlades genom kontakt med personal på Bygg- och miljöförvaltningen. Avloppssystemet i området är nästan bara duplikat (Sundén, pers. k. 2011), varför enbart detta antogs förekomma vid användning av indata i verktyget. Indata från Järfälla kommun presenteras i tabell 8.

**Tabell 8** Indata till SoFi från Järfälla kommun.

	<b>INPUT</b>	<b>Enhet</b>	<b>Referens</b>
Antal personer anslutna	5 000	st	(Sundén, pers. k. 2011)
Tvättade tåg	0	st/år	(Pagés, pers. k. 2011)
Tandvård (enheter)	52	st	(Lindgren 2005)
Bilverkstäder	68	st	(Gorodetskaja 2006)
Vattenmängd ytbehandlare	0	m <sup>3</sup>	(Pagés, pers. k. 2011)
Mängd läck- och dränvatten	319 000	m <sup>3</sup> /år	(Palmgren, pers. k. 2011)



#### 4.1.3 Lidingö stad

Indata om kommunen insamlades genom kontakt med personal på Tekniska förvaltningen samt Miljö- och stadsbyggnadskontoret. Avloppssystemet på ön är duplikat och allt vatten transporteras till Käppalaverket för rening (Ohlsson, pers. k. 2011). Indata från Lidingö kommun presenteras i tabell 9. Inga mätdata av antimon, guld, silver eller vismut fanns att tillgå i kommunen (Ohlsson, pers. k. 2011).

**Tabell 9** Indata till SoFi från Lidingö stad.

	<b>INPUT</b>	<b>Enhet</b>	<b>Referens</b>
Antal personer anslutna	44 000	st	(Ohlsson, pers. k. 2011)
Fordonstvättar (personfordon)	34 000	st/år	(Hedman, pers. k. 2011)
Fordonstvättar (övriga fordon)	17 000	st/år	(Hedman, pers. k. 2011)
Tvättade tåg	600	st/år	(Hedman, pers. k. 2011)
Tandvård (enheter)	42	st	(Lindgren 2005)
Bilverkstäder	23	st	(Gorodetskaja 2006)
Mängd läck- och dränvatten	1 824 000	m <sup>3</sup> /år	(Palmgren, pers. k. 2011)

#### 4.1.4 Nacka kommun

Indata om kommunen insamlades genom kontakt med personal på Teknik, VA, Avfall. Kommunens avloppssystem är duplikat och avloppsvatten från Sicklaön och Älta renas av Stockholm Vattens avloppsreningsverk Henriksdal medan Käppalaverket tar hand om avloppsvatten från övriga kommunen (Jouravlova, pers. k. 2011). Miljöenheten på Miljö- och stadsbyggnad kontaktades angående information om verksamheter i kommunen men inget svar erhöles. Indata från Nacka kommun presenteras i tabell 10.

**Tabell 10** Indata till SoFi från Nacka kommun.

	<b>INPUT</b>	<b>Enhet</b>	<b>Referens</b>
Antal personer anslutna	38 000	st	(Jouravlova, pers. k. 2011)
Tandvård (enheter)	60	st	(Lindgren 2005)
Bilverkstäder	33	st	(Gorodetskaja 2006)
Mängd läck- och dränvatten	2 239 000	m <sup>3</sup> /år	(Palmgren, pers. k. 2011)

#### 4.1.5 Sigtuna kommun

Indata om kommunen insamlades genom kontakt med personal på Stadsbyggnadskontoret samt Miljö- och hälsoskyddskontoret. Avloppssystemet i kommunen är duplikat (Holm, pers. k. 2011). Indata från Sigtuna kommun presenteras i tabell 11. Kommunen har inga analysresultat från mätningar med avseende på antimon, guld, silver och vismut (Widenmo, pers. k. 2011).

**Tabell 11** Indata till SoFi från Sigtuna kommun.

	<b>INPUT</b>	<b>Enhet</b>	<b>Referens</b>
Antal personer anslutna	32 000	st	(Holm, pers. k. 2011)
Fordonstvättar	180 000	st/år	(Widenmo, pers. k. 2011)
Tvättade tåg	750	st/år	(Widenmo, pers. k. 2011)
Tandvård (enheter)	27	st	(Lindgren 2005)
Bilverkstäder	15	st	(Gorodetskaja 2006)
Mängd läck- och dränvatten	1 964 000	m <sup>3</sup> /år	(Palmgren, pers. k. 2011)

#### 4.1.6 Sollentuna kommun

Indata om kommunen insamlades genom kontakt med personal på Sollentuna Energi, Miljö- och byggnadskontoret samt Mät- och kartenheten. Staden har ett kombinerat avloppssystem (Jidetorp, pers. k. 2011) vilket verktyget tar hänsyn till. Trafik- och fastighetskontoret kontaktades för information om trafikarbete men någon data erhöles inte. Indata från Sollentuna kommun presenteras i tabell 12.

**Tabell 12** Indata till SoFi från Sollentuna kommun.

	<b>INPUT</b>	<b>Enhet</b>	<b>Referens</b>
Antal personer anslutna	63 097	st	(Jidetorp, pers. k. 2011)
Fordonstvättar (personfordon)	120 194	st/år	(Fex, pers. k. 2011)
Fordonstvättar (övriga fordon)	33 376	st/år	(Fex, pers. k. 2011)
Tvättade tåg	0	st/år	(Fex, pers. k. 2011)
Tandvård (enheter)	62	st	(Lindgren 2005)
Bilverkstäder	37	st	(Gorodetskaja 2006)
Vattenmängd ytbehandlare	1 160	m <sup>3</sup>	(Fex, pers. k. 2011)
Industritvätt	9 100	kg	(Fex, pers. k. 2011)
Area hårdgjord yta (kombinerat system)	3,402	ha	(Hallmén, pers. k. 2011)
Area väg (kombinerat system)	3,024	ha	(Hallmén, pers. k. 2011)
Mängd läck- och dränvatten	1 527 000	m <sup>3</sup> /år	(Palmgren, pers. k. 2011)

#### 4.1.7 Solna stad

Indata om kommunen insamlades genom kontakt med personal på Miljö- och hälsoskyddsförvaltningen samt Solna Vatten AB. Avloppssystemet i kommunen är duplikat och allt avloppsvatten transporteras till Käppalaverket (Meyer, pers. k. 2011). Indata från Solna stad presenteras i tabell 13.

**Tabell 13** Indata till SoFi från Solna stad.

	<b>INPUT</b>	<b>Enhet</b>	<b>Referens</b>
Antal personer anslutna	66 900	st	(Meyer, pers. k. 2011)
Fordonstvättar (personfordon)	200 000	st/år	(Lindahl, pers. k. 2011)
Fordonstvättar (övriga fordon)	1 600	st/år	(Lindahl, pers. k. 2011)
Tvättade tåg	36 350	st/år	(Lindahl, pers. k. 2011)
Tandvård (enheter)	68	st	(Lindgren 2005)
Bilverkstäder	38	st	(Gorodetskaja 2006)
Mängd läck- och dränvatten	2 345 000	m <sup>3</sup> /år	(Palmgren, pers. k. 2011)

#### 4.1.8 Täby kommun

Indata om kommunen insamlades genom kontakt med personal på Stadsbyggnadskontoret. Kommunen har ett duplikat avloppssystem där allt avloppsvatten transporteras till Käppalaverket. Det finns enskilda avlopp i kommunen till vilka färre än hundra hushåll är anslutna (Wiberg, pers. k. 2011). Södra Roslagens miljö- och hälsoskyddskontor kontaktades angående information om verksamheter i kommunen men inget svar erhöles. Indata från Täby kommun presenteras i tabell 14.

**Tabell 14** Indata till SoFi från Täby kommun.

	<b>INPUT</b>	<b>Enhet</b>	<b>Referens</b>
Antal personer anslutna	64 000	st	(Wiberg, pers. k. 2011)
Tandvård (enheter)	65	st	(Lindgren 2005)
Bilverkstäder	52	st	(Gorodetskaja 2006)
Mängd läck- och dränvatten	1 337 000	m <sup>3</sup> /år	(Palmgren, pers. k. 2011)

#### 4.1.9 Upplands-Bro kommun

Indata om kommunen insamlades genom kontakt med personal på Samhällsbyggnadsförvaltningen. Avloppssystemet i kommunen är duplikat och allt avloppsvatten transporteras till Käppalaverket (Högberg, pers. k. 2011). Indata från Upplands-Bro kommun presenteras i tabell 15.

**Tabell 15** Indata till SoFi från Upplands-Bro kommun.

	<b>INPUT</b>	<b>Enhet</b>	<b>Referens</b>
Antal personer anslutna	17 000	st	(Högberg, pers. k. 2011)
Fordonstvättar (personfordon)	23 000	st/år	(Bergström, pers. k. 2011)
Fordonstvättar (övriga fordon)	1 000	st/år	(Bergström, pers. k. 2011)
Tvättade tåg	11 000	st/år	(Bergström, pers. k. 2011)
Tandvård (enheter)	16	st	(Lindgren 2005)
Bilverkstäder	18	st	(Gorodetskaja 2006)
Mängd läck- och dränvatten	843 000	m <sup>3</sup> /år	(Palmgren, pers. k. 2011)

#### 4.1.10 Upplands Väsby kommun

Indata om kommunen insamlades genom kontakt med personal på Teknik och Fastighet samt Miljö- och hälsoskyddskontoret. Upplands Väsby avloppssystem är duplikat och allt avloppsvatten transporteras till Käppalaverket (Halvares, pers. k. 2011). Indata från Upplands Väsby kommun presenteras i tabell 16.

**Tabell 16** Indata till SoFi från Upplands Väsby kommun.

	<b>INPUT</b>	<b>Enhet</b>	<b>Referens</b>
Antal personer anslutna	37 600	st	(Halvares, pers. k. 2011)
Fordonstvättar (personfordon)	8 500	st/år	(Nilsson, pers. k. 2011)
Fordonstvättar (övriga fordon)	0	st/år	(Nilsson, pers. k. 2011)
Tvättade tåg	0	st/år	(Nilsson, pers. k. 2011)
Tandvård (enheter)	30	st	(Lindgren 2005)
Bilverkstäder	33	st	(Gorodetskaja 2006)
Vattenmängd ytbehandlare	250	m <sup>3</sup>	(Nilsson, pers. k. 2011)
Industritvätt	13 000	kg	(Nilsson, pers. k. 2011)
Mängd läck- och dränvatten	860 000	m <sup>3</sup> /år	(Palmgren, pers. k. 2011)

#### 4.1.11 Vallentuna kommun

Indata om kommunen insamlades genom kontakt med personal på Roslagsvatten samt Samhällsbyggnadsförvaltningen. Vallentunas avloppssystem är duplikat och i kommunen används två större och tre mindre avloppsreningsverk varav Käppalaverket tar emot vatten från centrala Vallentuna (Hellbom, pers. k. 2011, Johansson, pers. k. 2011). Indata från Vallentuna kommun presenteras i tabell 17.

**Tabell 17** Indata till SoFi från Vallentuna kommun.

	<b>INPUT</b>	<b>Enhet</b>	<b>Referens</b>
Antal personer anslutna	19 000	st	(Hellblom, pers. k. 2011)
Fordonstvättar (personfordon)	30 000	st/år	(Hellblom, pers. k. 2011)
Fordonstvättar (övriga fordon)	3 400	st/år	(Hellblom, pers. k. 2011)
Tvättade tåg	0	st/år	(Hellblom, pers. k. 2011)
Tandvård (enheter)	19	st	(Lindgren 2005)
Bilverkstäder	24	st	(Gorodetskaja 2006)
Mängd läck- och dränvatten	900 000	m <sup>3</sup> /år	(Palmgren, pers. k. 2011)

#### 4.1.12 Värmdö kommun

Indata om kommunen insamlades genom kontakt med personal på Samhällsbyggnadskontoret samt Bygg- och miljökontoret. Värmdö kommun har totalt fem avloppsreningsverk och ledningsnätet i kommunen är under utbyggnad för att Käppalaverket ska ta emot mer vatten och några av de mindre reningsverken ska tas ut bruk (Danielsson, pers. k. 2011). I huvudsak är avloppssystemet i kommunen duplikat

(Danielsson, pers. k. 2011), varför hela systemet antas vara det i verktyget. Antalet anslutna invånare till Käppalaverket har angetts till 15 000 personekvivalenter och i verktyget har antalet anslutna invånare antagits vara lika många som antalet personekvivalenter. Indata från Värmdö kommun presenteras i tabell 18.

**Tabell 18** Indata till SoFi från Värmdö kommun.

	INPUT	Enhet	Referens
Antal personer anslutna	15 000	st	(Danielsson, pers. k. 2011)
Fordonstvättar (personfordon)	20 000	st/år	(Sundbom, pers. k. 2011)
Fordonstvättar (övriga fordon)	18 250	st/år	(Sundbom, pers. k. 2011)
Tvättade tåg	0	st/år	(Sundbom, pers. k. 2011)
Mängd läck- och dränvatten	146 000	m <sup>3</sup> /år	(Palmgren, pers. k. 2011)

#### 4.2 KÄPPALAVERKETS UPPTAGNINGSSOMRÅDE

Indata från kommunerna sammanställdes till data som representerar hela Käppalaverkets upptagningsområde. Information om mängden kadmium som inkommer till reningsverket hämtades från Käppalaförbundet (2010) och kadmiumtillskottet från konstnärsvärksamheter antogs vara lika stort som i Agduhr Eronen (2010). Indata som representerade Käppalaverkets upptagningsområde i verktyget presenteras i tabell 19.

**Tabell 19** Indata till SoFi från hela Käppalaverkets upptagningsområde.

	Totalt	Enhet	Referens
Antal personer anslutna	432 597	st	Sammanställning
Fordonstvättar (personfordon)	615 694	st/år	Sammanställning
Fordonstvättar (övriga fordon)	74 626	st/år	Sammanställning
Tvättade tåg (12 m)	48 700	st/år	Sammanställning
Tandvård (enheter)	488	st	(Lindgren 2005)
Bilverkstäder	359	st	(Gorodetskaja 2006)
Vattenmängd ytbehandlare	1 410	m <sup>3</sup>	Sammanställning
Inflöde kadmium reningsverk?	1 100	g	(Käppalaförbundet 2010)
Kadmiumtillskott konstnärsvärksamheter?	7	%	(Agduhr Eronen 2010)
Industritvätt	22 100	kg	Sammanställning
Area hårdgjord yta (kombinerat system)	3,402	ha	Sammanställning
Area väg (kombinerat system)	3,024	ha	Sammanställning
Mängd läck- och dränvatten	16 562 000	m <sup>3</sup>	(Palmgren, pers. k. 2011)

### 4.3 KÄPPALAVERKET

För att uppskatta rimligheten i resultatet från fallstudien genomfördes en resultatkontroll. Den av verktyget beräknade spårelementmassan jämfördes med beräknad massa inkommet spårelement till Käppalaverket. Den inkomna massan till Käppalaverket beräknades genom att bestämma massan spårelement i slam och utgående vatten. Då inte alla analyser för slam från Käppalaverket ännu var klara för år 2010 beräknades mängder utifrån 2009 års analyser. För att bestämma hur stora mängder spårelement som ansamlades i slammet beräknades hur stor torrsubstansmassa av slam som producerades under året genom att multiplicera massan producerad slam med den genomsnittliga torrsubstanshalten i slammet (Käppalaförbundet 2010). Utifrån detta beräknades sedan massan spårelement i slam (Tabell 20) genom att torrsubstansmassan av slam multiplicerades med halten spårelement i slam (ekvation 3).

$$m_{S_{slam}} [mg] = m_{slam} [kg] \cdot \frac{TS-halt_{slam}[\%]}{100} \cdot c_{slam} \left[ \frac{mg}{kg TS} \right] \quad (3)$$

Där

$m_{S_{slam}}$  = massa spårelement i slam i milligram

$m_{slam}$  = massa producerad slam under ett år i kilogram (våtvikt)

$TS - halt_{slam}$  = slammets genomsnittliga torrsubstanshalt i procent

$c_{slam}$  = koncentration av spårelement i milligram per kilogram torrsubstans

**Tabell 20** Mängd spårelement som tillfördes Käppalaverket 2009 beräknad utifrån mängd spårelement i slam och utgående vatten.

	<b>Sb</b>	<b>Au</b>	<b>Cd</b>	<b>Ag</b>	<b>Bi</b>
Massa i slam [kg/år]	15,4	15,4	6,9	23,2	46,3
Massa i utgående vatten [kg/år]	28,7		1,1	2,6	
Uppskattad mängd till Käppalaverket [kg/år]	44,1	15,4	8,0	25,8	46,3

I utgående vatten hade endast silver och kadmium analyserats vid Käppalaverket, varav silver låg under detektionsnivån (Käppalaförbundet 2010). För att beräkna halterna av silver och antimon i utgående vatten antogs det att 10 % av inkommet silver fanns kvar i utgående vatten till recipient och motsvarande siffra för antimon var 65 % (Palmquist 2004b). Alltså är den beräknade massan i slam 90 % av inkommet silver och 35 % av inkommet antimon. Utifrån detta beräknades massan spårelement i utgående vatten (tabell 20). För vismut och guld kunde inga beräkningar för massa i utgående vatten utföras.

Massan inkommet spårelement beräknades sedan genom att massa spårelement i slam summerades med massa spårelement i utgående vatten (Tabell 20). För vismut och guld är den totala massan inkommet spårelement lika stor som massan spårelement i slam eftersom det inte gick att beräkna hur stora massor av spårelementen som fanns i det utgående vattnet.

## 5. RESULTAT

### 5.1 KÄLLFÖRDELNING

De med litteraturen identifierade källorna för spårelementen antimon, guld, kadmium, silver och vismut presenteras i tabeller. I tabellen visas källfördelningen för de källor som har beräknats med verktyget SoFi. Anledningen till varför källor inte har beräknats med SoFi anges i tabellen och är antingen att indata till SoFi saknades för att kunna genomföra beräkningarna eller också att emissionskoefficient för källan inte har kunnat bestämmas.

#### *Antimon*

Till Käppalaverket beräknades ungefär 4,5 kg antimon per år inkomma från fallstudieområdet (Tabell 21). Den huvudsakliga källan till mängden var BDT-vatten som bidrar med nästan 4,0 kg per år. Betydande källor var också fekalier och tågvtättar medan mindre bidrag beräknades tillföras från urin och torr- och våtdeposition. Fordonstvättar, ytbehandlare, konstnärsskolor, tvätterier och förbränning var identifierade källor vars schablonvärden inte kunde bestämmas och därför finns inga schablonvärden för dem. Emissionskoefficienter för däck och bromsbelägg har bestämts men emissioner kunde inte beräknas på grund av att indata om trafikarbete (antal kilometer som framförs av fordon på vägar med kombinerade avloppssystem under ett år) saknades.

**Tabell 21** Antimonkällors bidrag.

<b>Antimon</b>	<b>g/år</b>
<i>Hushåll</i>	
Urin	5
Fekalier	476
BDT-vatten	3951
<i>Verksamheter I</i>	
Fordonstvättar	a
Tågvtättar	49
Ytbehandlare	a
Konstnärsskolor	a
Tvätterier	a
Förbränning	a
<i>Dagvatten</i>	
Bromsbelägg	b
Däck	b
Torr och våtdeposition	2
<b>Summa</b>	<b>4483</b>

<sup>a</sup> = schablonvärde saknas

<sup>b</sup> = indata saknas

### *Guld*

Inget guld beräknades med verktyget (Tabell 22). Urin, BDT-vatten och tandvård är identifierade källor vars emissionskoefficienter inte kunde bestämmas och därför finns inga schablonvärden för dem.

**Tabell 22** Guldkällors bidrag.

Guld	g/år
<i>Hushåll</i>	
Urin	<sup>a</sup>
BDT-vatten	<sup>a</sup>
<i>Verksamheter I</i>	
Tandvård	<sup>a</sup>
Summa	0

<sup>a</sup> = schablonvärde saknas

### *Kadmium*

Tillförseln av kadmium till Käppalaverket beräknades med verktyget till ungefär 9,2 kg per år (Tabell 23). Den största bidragande källan var BDT-vatten. Andra betydande källor var fekalier, verksamheter II, läck- och dränvatten, golvscurvatten i bilverkstäder och fordonstvättar. Mindre bidrag tillfördes från urin, konstnärsverksamheter och ytbehandlare. Källorna som inte har beräknats är identifierade i den första versionen av SoFi men indata i form av mängden vatten vid avfallsförbränning, trafikarbete och area zinktak i områden med kombinerade avloppssystem saknades för dem och därför kunde de inte beräknas för fallstudien.



**Tabell 23** Kadmiumkällors bidrag.

Kadmium	g/år
<i>Hushåll</i>	
Urin	79
Fekalier	1579
BDT-vatten	6316
<i>Verksamheter I</i>	
Fordonstvättar	155
Tågtvättar	2
Golvskurvatten bilverkstäder	250
Ytbehandlare	25
Konstnärsverksamhet	77
Tvätterier	0,3
Avfallsförbränning	b
<i>Dagvatten</i>	
Bromsbelägg	b
Däck	b
Asfalt - odubbbat	b
Asfalt - dubbat	b
Bränsle	b
Oljespill	b
Galvanisering	b
Torr och våt deposition	1
<i>Läck och dränvatten</i>	
Läck och dränvatten	331
<i>Verksamheter II</i>	
Verksamheter II	351
<b>Summa</b>	<b>9166,3</b>

<sup>b</sup> = indata saknas

### *Silver*

Tillförseln av silver till Käppalaverket beräknades vara ungefär 8,1 kg per år med verktyget (Tabell 24). Den största bidragande källan till silver var fekalier men BDT-vatten är också en viktig källa. Mindre betydande källor var ytbehandling och urin. Tandvård, tvätterier, förbränning och torr- och våtdeposition är identifierade källor vars emissionskoefficienter inte har kunnat bestämmas och därför finns inga schablonvärden för dem. För däck har emissionskoefficient bestämts men på grund av att indata om trafikarbete saknades kunde inte emissionen från källan beräknas.

**Tabell 24** Silverkällors bidrag.

Silver	g/år
<i>Hushåll</i>	
Urin	8
Fekalier	5191
BDT-vatten	2915
<i>Verksamheter I</i>	
Tandvård	a
Ytbehandlare	25
Tvätterier	a
Förbränning	a
<i>Dagvatten</i>	
Däck	b
Torr och våtdeposition	a
<b>Summa</b>	<b>8139</b>

<sup>a</sup> = schablonvärde saknas

<sup>b</sup> = indata saknas

#### *Vismut*

Ungefär 3,5 kg vismut beräknades inkomma till Käppalaverket med verktyget (Tabell 25). Den största källan var BDT-vatten och fekalier är en mindre betydande källa. Urin och konstnärsskolor är identifierade källor vars emissionskoefficienter inte kunde bestämmas och därför finns inga schablonvärden för dem.

**Tabell 25** Vismutkällors bidrag.

Vismut	g/år
<i>Hushåll</i>	
Urin	a
Fekalier	109
BDT-vatten	3439
<i>Verksamheter I</i>	
Konstnärsskolor	a
<b>Summa</b>	<b>3548</b>

<sup>a</sup> = schablonvärde saknas

## 5.2 RESULTATKONTROLL

För att kontrollera hur rimliga resultaten från fallstudien var utfördes en resultatkontroll där den beräknade mängden av spårelementen som inkommer till Käppalaverket jämfördes med den beräknade mängden i verktyget. Tabell 26 visar att mängden kadmium är bra uppskattad med verktyget medan mängden av antimon, silver och vismut underskattades. Mängden guld beräknades inte med verktyget då emissionskoefficienterna inte kunde bestämmas för spårelementet.

**Tabell 26** Jämförelse mellan det uppskattade bidraget av spårelement från Käppalaverkets upptagningsområde och den med SoFi beräknade tillförseln.

	<b>Sb</b>	<b>Au</b>	<b>Cd</b>	<b>Ag</b>	<b>Bi</b>
Beräknad mängd till Käppalaverket [kg/år]	44,1	15,4	8,0	25,8	46,3
Beräknad mängd med verktyget [kg/år]	4,5	0	9,2	8,1	3,5
Felberäkning [%]	-90	-100	+12	-69	-92

## 6. DISKUSSION

Tanken med SoFi är att verktyget ska kunna användas dels som databas, där tillgänglig information om de olika tungmetallerna samlas, dels som ett beräkningsverktyg för kvantifiering av ämnesflöden från olika källor. Då emissioner av de aktuella spårelementen endast har studerats i några få studier är kunskapen om dem bristfällig och det har varit svårt att identifiera källor till spårelementen i avloppssystem. Kunskapsluckan om emissionskoefficienter för de identifierade källorna är ännu större, vilket resulterade i att endast ett fåtal emissionskoefficienter har bestämts för de aktuella spårelementen.

För guld har endast ett fåtal källor identifierats och inga emissionskoefficienter från källorna har bestämts. Kunskapen om spårelementets förekomst i avloppssystemet är helt enkelt för liten för att guld ska kunna appliceras i verktyget.

Till fallstudien utgjorde stora delar av indata sammanställningar av data från personal på kommunerna i Käppalaverkets upptagningsområde och osäkerheten i dessa data är stor eftersom data har angetts på olika sätt. Från en del kommuner har så exakta svar som möjligt inkommit medan andra har uppgett ungefärliga data eller att de inte har någon information om det data som efterfrågats. Hur stor osäkerheten på indata är går inte att bestämma, men med resultatkontrollen kan rimligheten i resultatet från fallstudien tydliggöras. Resultatkontrollen visade att mängden antimon, silver och vismut underskattas av verktyget och att mängden kadmium uppskattas bra. Mängden kadmium som har beräknats inkomma till Käppalaverket är 8,0 kg under år 2009 och verktyget beräknar att tillförseln är 9,2 kg under ett år. Eftersom ett antal felkällor förekommer anses verktygets beräkningar stämma med verkligheten och verktygets schablonvärden för kadmium antas därför vara rätt. Att antimon, silver och vismut underskattas är rimligt eftersom flera källor har identifierats med dem, men bara för några av dem har emissionskoefficienter bestämts. Eftersom uppskattningen av mängden inkommen vismut till Käppalaverket endast är baserad på mängden vismut i slam är underskattningen i verktyget större än vad resultatkontrollen visar.

Källfördelningen för antimon, silver och vismut i fallstudien visade att hushållen bidrog med störst mängder spårelement av de kvantifierade källorna. Källfördelningarna kan dock inte anses stämma överens med verkligheten, eftersom emissionskoefficienter inte har kunnat bestämmas för alla identifierade källor och därför ges en skev bild av källfördelningen. När det gäller dagvatten är det viktigt att påpeka att inget trafikrelaterat dagvatten har beräknats i fallstudien, men en större mängd antimon kan ändå antas härstamma från detta vatten. Sollentuna kommun är den enda kommun i fallstudieområdet som har kombinerat avloppssystem, men inget indata för hur många fordonskilometer som framförs på kommunens vägar kunde anges och därför beräknades inte trafikdagvatten.

Hushåll är den avloppskategori där flest emissionskoefficienter har bestämts. I Sverige har flera studier på hushåll utförts, i varierande skala. Kadmium är en väl undersökt tungmetall vars emission i urin, fekalier och BDT-vatten har studerats flera gånger. Då schablonvärdena för denna metall är baserade utifrån flera mätstudier kan rimligheten i dessa anses vara hög. De övriga spårelementen har dock endast ingått i ett fåtal studier och Almquist m.fl. (2007) är de enda som har analyserat spårelementen i fekalier och urin utan att alla halterna har hamnat under detektionsnivån (bortsett från vismut). För antimon, silver och vismut antogs därför mätvärdena för urin och fekalier representera emissionskoefficienterna. Emissionskoefficienterna för samma spårelement i BDT-vatten har bestämts utifrån två olika mätstudier. Då schablonvärdena för dessa spårelement i hushåll har bestämts utifrån bara en eller två mätstudier finns en betydande osäkerhet i dessa schablonvärden.

Behovet av att bestämma hur stor osäkerheten för storleken på utsläpp som beräknas med verktyget är stor. Samtliga emissionskoefficienter som används i verktyget är osäkra och för flera av dem kan standardavvikelse beräknas. Genom att utveckla verktyget så att standardavvikelse visas i resultaten skulle det framgå tydligt för användaren hur stor osäkerheten i resultaten är. Hur detta kan genomföras rent praktiskt har inte studerats i detta arbete, men är ett exempel på hur detta arbete kan vidareutvecklas.

Trots att emissionskoefficienter inte har kunnat fastställas för alla identifierade källor till spårelement kan källorna som identifierats med litteraturen antas stämma. Vattenbolagen i referensgruppen som är knuten till projektet har bekräftat att deras slam har halter av spårelementen som ger hög ackumulationshastighet i jordbruksmark och att de arbetar för att minska inkommande halter av dem. Många av utsläppen sker genom emissioner från produkter som används i vardagen och för att minska dessa behöver konsumenten göra ett aktivt val. För att möjliggöra detta måste information om spårelementen och deras användningsområden bli lättillgänglig för konsumenten. Arbetet med detta har påbörjats, till exempel genom avloppsreningsverkens informationsbroschyrer och informationskampanjer, och resultat har påvisats. Men det återstår fortfarande mycket arbete innan slammet är av bra kvalitet. SoFi är ett bra hjälpmedel i avloppsreningsverkens uppströmsarbete där de kan använda verktyget för att identifiera de största källorna till spårelementen och därmed införa riktade åtgärder mot dessa källor. Verktyget kan användas redan idag men genom att identifiera fler källor och bestämma fler emissionskoefficienter kan verktyget bli ännu mer användbart för avloppsreningsverken. Därför bör arbetet med att bestämma emissionskoefficienter och identifiera flera källor fortskrida. Verktyget kan också utvidgas ytterligare genom att utveckla det till att utföra beräkningar på flera metaller, till exempel volfram och molybden.

## 7. SLUTSATS

- Den utvecklade och anpassade versionen av verktyget SoFi uppskattar mängden kadmium som inkommer till avloppsreningsverk bra, men inkommande mängder av antimon, silver och vismut underskattas stort.
- Guld är ett spårelement vars emissioner inte har studerats och det spårelementet kunde därför inte appliceras i verktyget.
- Källfördelningen i fallstudien stämmer inte med verkligheten eftersom det finns flera källor som emitterar spårelement än de som har beräknats med verktyget.
- Alla stora källor för respektive spårelement har inte kunnat kvantifieras och därför är det osäkert om identifieringen av källor har lyckats.
- Flera studier över emissionskoefficienter i hushåll är nödvändiga för att validera spårelementens schablonvärden.
- Den nya versionen av SoFi kan användas i uppströmsarbete redan idag men genom att arbeta vidare med att bestämma emissionskoefficienter för de identifierade källorna kommer verktyget att vara till ännu större nytta för avloppsreningsverken. För att kunna bestämma fler emissionskoefficienter behövs fler provtagningar och undersökningar på emissioner av spårelementen.

## 8. REFERENSER

- Agduhr Eronen, S. 2010. *Substansflödesanalys av tungmetaller i avloppssystem – Nytt verktyg testat på Sigtuna och Solna kommuner*. Examensarbete, miljö- och vattenteknik. Uppsala: Uppsala universitet, Institutionen för geovetenskaper, Luft- vatten- och landskapslära. ISSN: 1401-5765.
- Ahlman, S. & Svensson, G. 2005. *SEWSYS – a tool for simulation of substance flows in urban sewer systems*. Urban Water, Chalmers Tekniska Högskola. Göteborg.
- Almquist, H., Andersson, Å., Jensen, A., Jönsson, H. 2007. *Sammansättning och flöden på BDT-vatten, urin, fekalier och fast organiskt avfall i Gebers*. Rapport Nr 2007-05. Svenskt Vatten Utveckling.
- Andersson, P-G. 2009. *Slamspridning på åkermark. Fältförsök med kommunalt avloppsslam från Malmö och Lund under åren 1981-2008*. Skåne: Hushållningssällskapet.
- Andersson, Å. 2005. *Provtagning av spillvatten, Skarpnäck. Sammanställning av mätdata 1995-2004*. Stockholm Vatten.
- Benn, T. & Westerhoff, P. 2008. Nanoparticle Silver Released into Water from Commercially Available Sock Fabrics. *Environmental Science & Technology*, vol. 42(11), s. 4133-4139.
- Blaser, A., Scheringer, M., MacLeod, M., Hungerbühler, K. 2008. Estimation of cumulative aquatic exposure and risk due to silver: Contribution of nano-functionalized plastics and textiles. *Science of the Total Environment*, vol. 390, s. 396-409.
- Carlin, JF. 2007. *Minerals Yearbook: Bismuth (Advanced release)*. U.S Department of the interior. U.S Geological Survey.
- Enskog, L. 2000. *Kadmium. Miljö och hälsoaspekter vid slamspridning*. Examensarbete. Stockholm: Stockholm Vatten.
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., Ledin, A. 2002. Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, vol 4, s. 85-104.
- Eriksson, J. 2001. *Halter av 61 spårelement i avloppsslam, stallgödsel, handelsgödsel, nederbörd samt i jord och gröda*. Naturvårdsverket. ISBN: 91-620-5184-2.
- European Parliament. (2008) Regulation (EC) No. 1272/2008 of the European Parliament and of the council. *Official Journal of the European Union*, L 353/1-353/1355.
- Frenzel, M. 2010. *Vismut och volfram i slam – En utvärdering av förmodade och identifierade källor*. Stockholm Vatten.

- Geranio, L., Heuberger, M., Nowack, B. 2009. The Behavior of Silver Nanotextiles during Washing. *Environmental Science & Technology*, vol. 43(21), s. 8113-8118.
- Gorodetskaja, G. 2006. *Golvskurvatten från bilverkstäder inom Käppalaverkets upptagningsområde*. Käppalaförbundet.
- Gryaab. 2008. *Hushållspillvatten del 1. Provtagningar i referensområden 2006/2007*. Gryaab.
- Hjortenkrans, D. 2008. *Road traffic metals – sources and emissions*. Akademisk avhandling. Kalmar: Högskolan i Kalmar, Fakulteten för Naturvetenskap och Teknik. ISBN: 978-91-85993-07-9.
- 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* 41, s. 5224-5230.
- Hägglund, C. 2008. *Nanoparticle plasmon influence on the charge carrier generation in solar cells*. Akademisk avhandling. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för Teknisk Fysik, Kemisk Fysik. ISBN: 978-91-7385-067-4.
- Johansson, C. & Burman, L. 2006. *Halter och deposition av tungmetaller i Stockholm 2003/2004*. Stockholm: Institutionen för tillämpad miljövetenskap.
- Johnsson, C. & Pettersson, F. 2011. Hushållen största källan till metaller i avloppsvatten. *VVS Forum*, maj 2011, s. 38-39.
- Jönsson, H., Baky, A., Jeppsson, U., Hellström, D., Kärrman, E. 2005. *Composition of urine, faeces, greywater and biowaste for utilization in the URWARE model*. Urban Water rapport 2005:6. Göteborg: Urban Water, Chalmers tekniska högskola.
- Kemikalieinspektionen. 2007. *Nanoteknik – stora risker med små partiklar?* Sundbyberg: Kemikalieinspektionen.
- Kemikalieinspektionen. 2010. Kort om Reach. Faktablad. Sundbyberg: Kemikalieinspektionen.
- Käppalaförbundet. 2010. *Miljörapport 2009*. Stockholm: Käppalaförbundet.
- Lagneborg, R. & Waltersson, E. 2004. *Guide för legeringsmetaller och spårelement i stål*. Jernkontoret. ISSN: 0280-249X.
- Lindgren, M. 2005. *Funktionskontroll av amalgamavskiljare. April-Juni 2005*. Stockholm: Käppalaförbundet.



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, miljöskydd och hälsoskydd. Stockholm: Stockholms Universitet, Institutionen för naturgeografi och kvartärgeologi.

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

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

Livsmedelsverket. 2008. *Tillsatser i livsmedel – en faktabok*. Livsmedelsverket. ISBN: 91-7714-190-3.

Livsmedelsverket. 2010. *Livsmedelsverkets föreskrifter om ändring i Livsmedelsverkets föreskrifter (LIVSFS 2003:9) om kosttillskott*. Livsmedelsverkets författningssamling LIVSFS 2010:4. ISSN: 1651-3533.

Lohm, U., Bergbäck, B., Hedbrant, J., Jonsson, A., Svidén, J., Sörme, L., Östlund, C. 1997. *Databasen Stockhome – Flöden och ackumulation av metaller i Stockholms teknosfär*. Motala: Linköpings Universitet, Tema vatten i natur och samhälle.

Lottermoser. 2001. Gold in municipal sewage sludge: A review on concentrations, sources and potential extraction. *Journal of Solid Waste Technology and Management*, 27(2), s. 69-75.

Läkemedelsverket. 1993. *Läkemedelsverkets föreskrifter om förbud och begränsningar för vissa ämnen att ingå i kosmetiska eller hygieniska produkter*. Läkemedelsverkets författningssamling LVFS 1993:2. Norstedts Tryckeri AB, Stockholm. ISSN 1101-5225

Magnusson, J. 2003. *Sammansättning på hushållspillvatten från Hammarby Sjöstad: Hushållens bidrag av miljöfarliga ämnen till avloppsvattnet*. Examensarbete, samhällsbyggnadsteknik. Luleå: Luleå Tekniska Universitet, Institutionen för Samhällsbyggnadsteknik, Avdelningen för VA-teknik.

Månsson, N. 2009. *Substance flow analyses of metals and organic compounds in an urban environment – the Stockholm example*. Akademisk avhandling. Kalmar: Högskolan i Kalmar, Fakulteten för Naturvetenskap och Teknik. ISBN: 978-91-85993-25-3.

Naturvårdsverket. 1994. *Kungörelse med föreskrifter om skydd för miljön, särskilt marken, när avloppsslam används i jordbruket*. Statens naturvårdsverks författningssamling SNFS 1994:2, MS 72. ISSN: 0347-5301.

Naturvårdsverket. 1997. *Oorganisk ytbehandling*. Naturvårdsverket. Lidingö. ISBN: 91-620-0100-0.

Naturvårdsverket 1998. *Statens naturvårdsverks föreskrifter om ändring i kungörelsen (SNFS 1994:2) med föreskrifter om skydd för miljön, särskilt marken, när avlopps slam används i jordbruket*. Statens naturvårdsverks författningssamling 1998:4. ISSN: 0347-5301.

Naturvårdsverket. 2002. *Aktionsplan för återföring av fosfor ur avlopp*. Naturvårdsverket. ISBN: 91-620-5214-4.

Ntziachristos, L. & Boulter, P. 2009. *Road vehicle tyre and brake wear. Road surface wear*. EMEP/EEA.

Palmquist, H. & Viklander, M. 2002. *Kartläggning av ovanliga metaller i olika delar av avloppsflöden*. Luleå: Luleå Tekniska Universitet, Institutionen för Samhällsbyggnadsteknik, Avdelningen för VA-teknik.

Palmquist, H. 2004a. *Hazardous Substances in Wastewater Management*. Akademisk avhandling. Luleå: Luleå Tekniska Universitet, Institutionen för Samhällsbyggnadsteknik, Avdelningen för VA-teknik.

Palmquist, H. 2004b. Substance Flow Analysis of Hazardous Substances in a Swedish Municipal Wastewater System. *Vatten*, vol. 60, s. 251-260.

Palmquist, H & Hanæus, J. 2004. Hazardous Substances in separately collected grey- and blackwater from ordinary Swedish households. *Science of the Total Environment*, Vol 348, s. 151-163.

Rudnick, R.L. 2005. *The Crust*. Elsevier Ltd. Italien. ISBN: 0-08-044847-X.

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

Sternbeck, J. & Östlund, P. 1999. *Nya metaller och metalloider i samhället*. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet AB.

Sternbeck, J., Palm, A., Kaj, L. 2002. *Antimon i Sverige – användning, spridning och miljöpåverkan*. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet AB.

Stjernman-Forsberg, L. & Eriksson, J. 2002. *Spårelement i mark, grödor och mikroorganismer*. Naturvårdsverket.

Svenskt Vatten AB. 2009. *Råd vid mottagande av avloppsvatten från industri och annan verksamhet*. 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. Subreport 5: Silver*. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet AB.

Sveriges riksdag. 1998. *Förordning om förbud m.m. i vissa fall i samband med hantering, införsel och utförsel av kemiska produkter*. Svensk författningssamling 1998:944.

Sveriges riksdag. 2001. *Förordning om deponering av avfall*. Svensk författningssamling 2001:512.

Sörme, L. & Lagerkvist, R. 2002. Sources of heavy metals in urban wastewater in Stockholm. *The Science of the Total Environment*, vol. 298, s. 131-145.

Thuresson, M. 2001. *Avlopps slam i Stockholms län. Kvalité, produktion och användning av slam från tillståndspliktiga avloppsreningsverk i Stockholms län 1981-2007*. Länsstyrelsen i Stockholms län.

Van der Voet, E. 2002. Substance flow analysis methodology. In: Ayres, U. & Ayres, L, (Eds) *A handbook of industrial ecology*. Edward Elgar Publishing Limited. Cornwall.

Vendel, C. 2004. *Karaktärisering av hushållsspillvatten i Tyktorp 2004*. Käppalaförbundet.

Vinnerås, B., Palmquist, H., Balmér, P., Jönsson, H. 2006. The characteristics of household wastewater and biodegradable solid waste – a proposal for new Swedish design values. *Urban Water Journal, Vol 3(1), s. 3-11*.

Wall, E. 2002. *Kadmium i hushållsspillvatten*. Examensarbete, kemiteknik. Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan.

Wedepohl, K.H. 1995. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 59, s. 1217-1232.

WHO, IARC. 1999. *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Human*, Vol. 47, s. 291-293.

### **Internetreferenser**

Danderyd kommun. 2011. Tillgänglig: <http://www.danderyd.se> Besökt: 2011-04-27

Davidsson, F., Nordén, L., Naezer, U. 2011. Silver i kläder ett allvarligt miljöhot. Debattartikel i *Göteborgsposten*, 2011-03-22. Tillgänglig: <http://www.gp.se/nyheter/debatt/1.578201-silver-i-klader-ett-allvarligt-miljohot>

FASS. 2011. Uppslagsord: antimon, antimony, bismuth, gold, guld, silver samt bismuth på FASS.se. Besökt den 2011-04-14.

Gryaab. 2011a. Informationsbroschyrer. Tillgänglig:  
<http://www.gryaab.se/default.asp?show=11&varuid=4&lid=1&ulid=42> Besökt den 2011-04-16.

Gryaab. 2011b. Informationsmaterial: Hjälp oss. Tillgänglig:  
<http://www.gryaab.se/default.asp?lid=2&ulid=2&show=1> Besökt den 2011-04-16.

ION SILVER. 2011. Kolloidalt silver. Tillgänglig:  
<http://www.ion-silver.com/silver.htm> Besökt: 2011-04-13.

Järfälla kommun. 2010. *Järfälla i siffror 2010*. Tillgänglig:  
[http://www.jarfalla.se/templates/page\\_\\_\\_\\_5329.aspx](http://www.jarfalla.se/templates/page____5329.aspx) Besökt: 2011-04-27.

Kemikalieinspektionen. 2011. Kemikalieinspektionens PRIO-databas, uppslagsord: antimon, silver och vismut. Tillgänglig:  
[http://www.kemi.se/templates/PRIOframes\\_\\_\\_\\_4045.aspx](http://www.kemi.se/templates/PRIOframes____4045.aspx) Besökt den 2011-02-22.

Käppalaförbundet. 2011a. Informationsbroschyrer. Tillgänglig:  
<http://www.kappala.se/default.asp?lid=1&ulid=82&show=1> Besökt: 2011-04-16.

Käppalaförbundet. 2011b. *Riktlinjer för utsläpp av avlopp från tågtvättar*. Tillgänglig:  
[http://www.kappala.se/admin/bildbank/uploads/Dokument/Diverse/Riktlinjer\\_for\\_tagtvatt\\_2009.pdf](http://www.kappala.se/admin/bildbank/uploads/Dokument/Diverse/Riktlinjer_for_tagtvatt_2009.pdf) Hämtat: 2011-04-18.

Käppalaförbundet. 2011c. *Vad vi gör*. Tillgänglig:  
<http://www.kappala.se/default.asp?show=10&portalid=8&ulid=24&lid=1> Besökt: 2011-05-30.

Lidingö stad. 2011. Tillgänglig: <http://www.lidingo.se> Besökt: 2011-04-27.

Nacka kommun. 2011. Fakta om Nacka. Tillgänglig:  
[http://www.nacka.se/underwebbar/Journalist/fakta\\_om\\_nacka/Sidor/default.aspx](http://www.nacka.se/underwebbar/Journalist/fakta_om_nacka/Sidor/default.aspx)  
Besökt: 2011-04-27.

Nationalencyklopedin. 2011a. Uppslagsord: antimon. Tillgänglig:  
<http://www.ne.se/lang/antimon> Besökt: 2011-02-15.

Nationalencyklopedin. 2011b. Uppslagsord: guld. Tillgänglig: <http://www.ne.se/lang/guld>  
Besökt: 2011-02-15.

Nationalencyklopedin. 2011c. Uppslagsord: kadmium. Tillgänglig:  
<http://www.ne.se/lang/kadmium> Besökt: 2011-02-15.

Nationalencyklopedin. 2011d. Uppslagsord: silver. Tillgänglig: <http://www.ne.se/lang/silver> Besökt: 2011-02-15.

Nationalencyklopedin. 2011e. Uppslagsord: vismut. Tillgänglig:  
<http://www.ne.se/lang/vismut> Besökt: 2011-02-15.

Naturvårdsverket. 2011. *Miljömålsportalen*. Tillgänglig:  
<http://miljomal.nu/15-God-bebyggd-miljo/Delmal/Avfall-2005-2015/>  
Besökt: 2011-04-19.

REVAQ. 2011a. *Regler för certifieringssystemet REVAQ*. Utgåva 2.0. Tillgänglig:  
[http://www.svensktvatten.se/web/Certifieringssystem\\_for\\_slam.aspx](http://www.svensktvatten.se/web/Certifieringssystem_for_slam.aspx) Besökt: 2011-04-19.

REVAQ. 2011b. Tillgänglig: <http://www.svensktvatten.se/web/Slam.aspx> Besökt: 2011-04-19.

Sigtuna kommun. 2010. *Välkommer till Sigtna kommun. Alla tiders mötesplats*.  
Tillgänglig: <http://www.sigtuna.se/sv/Om-kommunen/> Besökt 2011-04-27.

Sollentuna kommun. 2011. Tillgänglig: <http://www.sollentuna.se> Besökt: 2011-04-28.

Solna stad. 2011. Tillgänglig: <http://www.solna.se> Besökt: 2011-04-27.

Stockholm Vatten AB. 2011a. Informationsbroschyrer. Tillgänglig:  
<http://www.stockholmvatten.se/sv/Om-oss/Broschyrer-rapporter-och-filmer/broschyrer/>  
Besökt: 2011-04-16

Stockholm Vatten. 2011b. *Riktlinjer för utsläpp till avlopp från tagtvättar*. Tillgänglig:  
<http://www.stockholmvatten.se/commondata/infomaterial/Avlopp/tagtvatt.pdf> Besökt:  
2011-04-18.

Svenskt Vatten AB. 2011. *Hjälp oss att få ett renare vatten!* Informationsbroschyr om  
uppströmsarbete. Tillgänglig:  
[http://www.svensktvatten.se/web/P95\\_Mottagande\\_av\\_avloppsvatten.aspx](http://www.svensktvatten.se/web/P95_Mottagande_av_avloppsvatten.aspx)  
Besökt: 2011-04-16.

Täby kommun. 2011. Tillgänglig: <http://www.taby.se> Besökt: 2011-04-27.

Upplands-Bro kommun. 2010. *Kommunguide 2011*. Tillgänglig:  
[http://www.dinkommunguide.se/upplands\\_bro](http://www.dinkommunguide.se/upplands_bro) Besökt: 2011-04-28.

Upplands Väsby kommun 2011. Tillgänglig: <http://www.upplandsvasby.se> Besökt: 2011-04-28.

Vallentuna kommun. 2011. Tillgänglig: <http://www.vallentuna.se> Besökt: 2011-04-28.

Värmdö kommun. 2011. Tillgänglig: <http://www.varmdo.se> Besökt: 2011-04-28.

## **Personlig kommunikation**

- Bergström, Åsa. 2011. Miljöinspektör. Samhällsbyggnadsförvaltningen/Bygg- och miljöavdelningen. Upplands-Bro kommun. (Den 2011-04-04).
- Carlberg, Susanne. 2011. Informationsansvarig. Käppalaförbundet. (Den 2011-05-20).
- Danielsson, Johanna. 2011. VA-ingenjör. Samhällsbyggnadskontoret/VA. Värmdö kommun. (Den 2011-04-11).
- Fex, Marianne. 2011. Miljö- och hälsoskyddsinspektör. Miljö- och byggnadskontoret/Miljö- och hälsoskydds-enheten. Sollentuna kommun. (Den 2011-05-13).
- Hallmén, Anders. 2011. GIS-ingenjör. Miljö- och stadsbyggnadskontoret/Mät- och kartenheten. Sollentuna kommun. (Den 2011-05-05).
- Halvares, Nils. 2011. VA-ingenjör. Teknik och fastighet/VA-enheten. Upplands-Väsby kommun. (Den 2011-04-04).
- Hedman, Mattias. 2011. Miljö- och hälsoskyddsinspektör. Miljö- och stadsbyggnadskontoret. Lidingö stad. (Den 2011-04-20).
- Hellblom, Frida. 2011. Miljöinspektör. Samhällsbyggnadsförvaltningen. Vallentuna kommun. (Den 2011-05-06).
- Holm, Agneta. 2011. VA-chef. Stadsbyggnadskontoret. Sigtuna kommun. (Den 2011-04-01).
- Högberg, Thomas. 2011. VA-ingenjör. Samhällsbyggnadsförvaltningen. Upplands-Bro kommun. (Den 2011-04-04).
- Jidetorp, Frida. 2011. VA-ingenjör. Affärsområde Vatten. Sollentuna Energi. (Den 2011-04-13).
- Johannesson, David. 2011. VA-Avfallschef. Tekniska kontoret. Danderyds kommun. (Den 2011-04-15).
- Johansson, Nina. 2011. VA-ingenjör, dagvattensamordnare. Roslagsvatten. (Den 2011-05-11).
- Jouravlova, Svetlana. 2011. VA-ingenjör. Teknik, VA och Avfall. Nacka kommun. (Den 2011-05-04).
- Lindahl, Annelie. 2011. Miljöinspektör. Miljö- och hälsoskyddsförvaltningen. Solna stad. (Den 2011-04-04).
- Meyer, André. 2011. Projektchef. Solna Vatten AB. (Den 2011-04-01)

Nilsson, Marie. 2011. Miljö- och hälsoskyddsinspektör. Miljö- och hälsoskyddskontoret. Upplands Väsby kommun. (Den 2011-05-13).

Ohlsson, Jan Olof. 2011. Enhetschef VA och Avfall. Tekniska förvaltningen. Lidingö stad. (Den 2011-04-01).

Pagés, A. 2011. Miljöinspektör. Bygg- och miljöförvaltningen/Miljö- och hälsoskyddsavdelningen. Järfälla kommun. (Den 2011-05-13).

Palmgren, Torsten. 2011. Teknisk chef. Käppalaförbundet. (Den 2011-05-03).

Sundbom, Marie. Miljöinspektör. Bygg- och miljökontoret. Värmdö kommun. (Den 2011-04-12).

Sundén, Anna. 2011. VA-ingenjör. Teknik och natur/VA-enheten. Järfälla kommun. (Den 2011-04-11).

Wiberg, Andreas. VA- och avfallsingenjör. Stadsbyggnadskontoret/VA-enheten. Täby kommun. (Den 2011-04-01).

Widenmo, Veronica. 2011. Miljö- och hälsoskyddsinspektör. Miljö- och hälsoskyddskontoret. Sigtuna kommun. (Den 2011-04-15).

## BILAGA 1. BERÄKNINGAR OCH ANTAGANDEN

Beräkningarna i SoFi är hämtade från den första versionen av verktyget (Agduhr Eronen 2010) vilka i sin tur är hämtade från Sörme & Lagerkvist (2002) och Ahlman & Svensson (2005). Nedan presenteras beräkningar för varje avloppskomponent inom respektive avloppskategori. För mer information hänvisas till Agduhr Eronen (2010).

### HUSHÅLL

Spårelementemissionerna från olika källor inom hushåll beräknas utifrån antal hushåll och emissionskoefficient för respektive källa. Emissionerna antas vara jämnt fördelade per invånare och år.

$$E_h \left[ \frac{g}{\text{år}} \right] = k'_h \left[ \frac{g}{\text{inv} \cdot \text{år}} \right] \cdot i_h [\text{antal}]$$

Där

$E_h$  = Emission från källa i hushåll i gram per år

$k'_h$  = Emissionskoefficient för källa i hushåll i gram per invånare och år

$i_h$  = Antal invånare i det av användaren definierade området

### VERKSAMHETER

För verksamheter kan emissioner beräknas på två olika sätt – genom att använda mätdata från verksamheter i beräkningarna eller att använda schablonvärden. Då mätdata används matas data in under *Verksamheter – mätningar* i verktyget medan antal och mängder matas in under *Verksamheter – schablon* då schablonvärden ska användas. Om det finns mätdata för några enheter inom en verksamhet, men inte för alla, kan en kombination av de båda inmatningsalternativen utnyttjas. I sådant fall matas mätdata in för de enheter inom en verksamhet som detta finns att tillgå och för övriga enheter sker beräkningarna med schablondata. I de fall beräkningarna inkluderar mätdata kallas de *specifika* och annars kallas de *schablon*. I de fall schablonvärden används antas emissionerna vara jämt fördelade per enhet och år.

*Tåg- och fordonstvätt*

$$E_{t\&f} \left[ \frac{g}{\text{år}} \right] = k_{t\&f} \left[ \frac{g}{\text{antal}} \right] \cdot i'_{t\&f} \left[ \frac{\text{antal}}{\text{år}} \right]$$

Där

$E_{t\&f}$  = Emission från tåg- och fordonstvättar i gram per år

$k_{t\&f}$  = Emissionskoefficient för tåg- och fordonstvättar i gram per fordon eller 12 meter tåg



$i'_{t\&f}$  = Antal fordon eller tåg á 12 meter som tvättas per år i det av användaren definierade området

#### *Tandvård*

$$E_t \left[ \frac{g}{\text{år}} \right] = k'_t \left[ \frac{g}{\text{antal} \cdot \text{år}} \right] \cdot i_t [\text{antal}]$$

Där

$E_t$  = Emission från tandvårdskliniker i gram per år

$k'_t$  = Emissionskoefficient för tandvårdskliniker i gram per klinik och år

$i_t$  = Antal tandvårdskliniker inom det av användaren definierade området

#### *Golvskurvatten bilverkstäder*

$$E_g \left[ \frac{g}{\text{år}} \right] = k'_g \left[ \frac{g}{\text{antal} \cdot \text{år}} \right] \cdot i_g [\text{antal}]$$

Där

$E_g$  = Emission från golvskurvatten i bilverkstäder i gram per år

$k'_g$  = Emissionskoefficient för golvskurvatten i bilverkstäder i gram per verkstad och år

$i_g$  = Antal bilverkstäder som torkar golv i det av användaren definierade området

#### *Ytbehandling*

$$E_y \left[ \frac{g}{\text{år}} \right] = k_y \left[ \frac{g}{m^3} \right] \cdot i'_y \left[ \frac{m^3}{\text{år}} \right]$$

Där

$E_y$  = Emission från ytbehandling i gram per år

$k_y$  = Emissionskoefficient för ytbehandling i gram per kubikmeter

$i'_y$  = Använd vattenmängd hos ytbehandlare i kubikmeter per år

### *Konstverksamhet*

$$E_k \left[ \frac{g}{\text{år}} \right] = k_k [\%] \cdot i'_k \left[ \frac{g}{\text{år}} \right] \cdot \frac{1}{100}$$

Där

$E_k$  = Emission från konstverksamhet i gram per år

$k_k$  = Den procentandel som uppskattas komma till avloppsreningsverk från konstverksamhet

$i'_k$  = Total mängd av spårelement som transporteras till reningsverk under året

### *Tvätteri*

$$E_{tv} \left[ \frac{g}{\text{år}} \right] = k_{tv} \left[ \frac{g}{kg} \right] \cdot i'_{tv} \left[ \frac{kg}{\text{år}} \right]$$

Där

$E_{tv}$  = Emission från tvätteri i gram per år

$k_{tv}$  = Emissionskoefficient för tvätt i gram per kilogram tvätt

$i'_{tv}$  = Mängd tvättad tvätt i kilogram per år

### *Förbränning avfall*

$$E_f \left[ \frac{g}{\text{år}} \right] = k_f \left[ \frac{g}{m^3} \right] \cdot i'_f \left[ \frac{m^3}{\text{år}} \right]$$

Där

$E_f$  = Emission från avfallsförbränning i gram per år

$k_f$  = Emissionskoefficient för avfallsförbränning i gram per kubikmeter

$i'_f$  = Använd vattenmängd vid avfallsförbränning i kubikmeter per år

### **DAGVATTEN**

Bidrag från dagvatten beräknas endast då kombinerade avloppssystem används på grund av att det då transporteras till reningsverk tillsammans med spillvatten för att behandlas. Beräkningarna sker med hjälp av information om hårdgjorda ytor, vägar, trafik samt

användning av dubbdäck som användaren får mata in i verkyget. Emissionen från trafiken antas vara jämt fördelad per fordonskilometer och år. När det gäller emissioner av spårelement som berör dagvatten antas inte hela mängden emitterad spårelement nå avloppssystemet på grund av att fastläggning sker. För att inkludera fastläggningen i beräkningarna kan reduktionsfaktorer användas. I den nya versionen av SoFi används de reduktionsfaktorer som finns i den tidigare versionen av verkyget (Tabell B1).

**Tabell B1** Reduktionsfaktor för trafik, bebyggelse och deposition (Källa: Agduhr Eronen 2010)

	Reduktionsfaktor	Förkortning
Trafik	0,7	$r_t$
Bebyggelse	0,5	$r_b$
Deposition	0,6	$r_d$

#### *Bromsbelägg, däck, bränsle och oljespill*

Emissionerna från slitage av bromsbelägg och däck samt emission av bränsle och oljespill antas vara jämnt fördelad per fordonskilometer.

$$E_{trafik} \left[ \frac{g}{\text{år}} \right] = k_{trafik} \left[ \frac{g}{km} \right] \cdot i'_{trafik} \left[ \frac{km}{\text{år}} \right] \cdot r_t$$

Där

$E_{b\&d}$  = Emission från bromsbelägg eller däck i gram per år

$k_{b\&d}$  = Emissionskoefficient för bromsbelägg eller däck i gram per kilometer

$i'_{b\&d}$  = Antal fordonskilometer som framförs på väg med kombinerat avloppssystem per år i kilometer per år

#### *Asfalt*

Emissionerna från asfaltslitage antas vara olika beroende på hurvida dubbdäck används eller inte. Slitaget antas vara jämnt fördelad per fordonskilometer.

$$E_d \left[ \frac{g}{\text{år}} \right] = k_d \left[ \frac{g}{km} \right] \cdot i'_d \left[ \frac{km}{\text{år}} \right] \cdot a_d \cdot b_d \cdot r_t$$

$$E_{od} \left[ \frac{g}{\text{år}} \right] = \left( \left( k_{od} \left[ \frac{g}{km} \right] \cdot i'_{od} \left[ \frac{km}{\text{år}} \right] \right) \cdot (1 - a_d) + \left( k_{od} \left[ \frac{g}{km} \right] \cdot i'_{od} \left[ \frac{km}{\text{år}} \right] \right) \cdot a_d (1 - b_d) \right) \cdot r_t$$

Där

$E_d$  = Emission av asfalt från dubbade däck i gram per år

$k_d$  = Emissionskoefficient för dubbade däck i gram per kilometer

$i'_d$  = Antal fordonskilometer som framförs med dubbdäck inom område med kombinerat avloppssystem i kilometer per år

$a_d$  = Andel av året som dubbdäck används

$b_d$  = Andelen bilister som använder dubbdäck

$E_{od}$  = Emission av asfalt från odubbade däck i gram per år

$k_{od}$  = Emissionskoefficient för odubbade däck i gram per kilometer

$i'_{od}$  = Antal fordonskilometer som framförs med odubbade däck inom område med kombinerat avloppssystem i kilometer per år

*Tak*

Emissionen från tak antas vara jämnt fördelad per kvadratmeter tak

$$E_{tak} \left[ \frac{g}{\text{år}} \right] = k'_{tak} \left[ \frac{g}{m^2 \cdot \text{år}} \right] \cdot i_{tak} [m^2] \cdot r_b$$

Där

$E_{tak}$  = Emission från tak i gram per år

$k'_{tak}$  = Emissionskoefficient för tak i gram per kvadratmeter och år

$i_{tak}$  = Area koppar-/zinktak som finns inom kombinerat avloppssystem i kvadratmeter

*Galvanisering*

Mängden galvaniserat material, till exempel lyktstolpar, som finns i närhet till väg uppskattades i den tidigare versionen av SoFi och samma värde har använts i den nya versionen (Tabell B2) (Agduhr Eronen 2010).

**Tabell B227** Uppskattad mängd galvaniserat material (Källa: Agduhr Eronen 2010)

Användning galvaniserat stål	Förkortning
0.02	a

$$E_{galv} \left[ \frac{g}{\text{år}} \right] = k'_{galv} \left[ \frac{g}{m^2 \cdot \text{år}} \right] \cdot i_{galv} [m^2] \cdot a \cdot r_b$$

Där

$E_{galv}$  = Emission från galvaniserade ytor i gram per år

$k'_{galv}$  = Emissionskoefficient för galvaniserade ytor i gram per kvadratmeter och år

$i_{galv}$  = Area väg som finns inom det kombinerade avloppssystemet

### *Deposition*

$$E_d \left[ \frac{g}{\text{år}} \right] = k'_d \left[ \frac{g}{\text{ha} \cdot \text{år}} \right] \cdot i_d [\text{ha}] \cdot r_d$$

Där

$E_d$  = Emission från torr- och våtdeposition i gram per år

$k'_d$  = Emissionskoefficient för torr- och våtdeposition i gram per hektar och år

$i_d$  = Area hårdgjord yta i hektar

### **LÄCK- OCH DRÄNVATTEN**

Mängden spårelement i läck- och dränvatten antas vara densamma som i grundvatten.

$$E_{l\&d} \left[ \frac{g}{\text{år}} \right] = k_{l\&d} \left[ \frac{g}{\text{m}^3} \right] \cdot i'_{l\&d} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{år}} \right]$$

Där

$E_{l\&d}$  = Emission från läck- och dränvatten i gram per år

$k_{l\&d}$  = Emissionskoefficient för läck- och dränvatten i gram per kubikmeter

$i'_{l\&d}$  = Antal kubikmeter läck- och dränvatten som tillförs ledningssystemet per år

### **VERKSAMHETER II**

För verksamheter II utförs inga emissionsberäkningar. Analysresultat från mätningar på dessa verksamheter eller data från miljörapporter används som indata i verktyget och emissionerna summeras i resultat.