

Substansflödesanalys av tungmetaller i avloppssystemet

- Nytt verktyg testat på Sigtuna och Solna
kommuner

Sara Agduhr Eronen

REFERAT

Substansflödesanalys av tungmetaller i avloppssystemet – Nytt verktyg testat på Sigtuna och Solna kommuner

Sara Agduhr Eronen

Tungmetallflödet i den urbana miljön kan leda till resursproblem för att återföring av avloppsslam som växtnäring till brukbar jord kan försvåras av tungmetallhalter. Syftet med examensarbetet var att bidra till Käppalaförbundets uppströmsarbete genom att identifiera tungmetallkällor i avloppssystemet. Detta uppnås genom en substansflödesanalys med avseende på metallerna kadmium, koppar, krom, kvicksilver och zink för kommunerna Sigtuna och Solna vilka tillhör Käppalaförbundets upptagningsområde. Verktuget som därvidlag utvecklas identifierar tungmetallkällor, storleken av utsläppen och ger information om var åtgärdsinsatser är effektivt.

För verktygsutvecklingen definierades det studerade systemet till fem områden: hushåll, verksamhetsutövare, dagvatten, tillskottsvatten och övrigt. Tungmetallkällor identifierades och grupperades till ett av de fem delområdena. För kvantifiering av flöden från källor sammanställdes en schablonvärdestabell med emissionskoefficienter och formler och antaganden för beräkningar. Fallstudier gjordes för kommunerna Sigtuna och Solna för att testa verktyget och göra en substansflödesanalys för de fem studerade tungmetallerna. En resultatkontroll och en känslighetsanalys gjordes för att skatta rimligheten i resultaten och osäkerheter i verktyget.

Arbetet resulterade i verktyget SoFi (Source Finder), vilket är uppbyggt i Microsoft Office Excel och beräknar tillförda mängder och källfördelning av tungmetaller till avloppssystemet. SoFi kan också beräkna var det är effektivt med åtgärdsinsatser. Resultaten från fallstudierna visade att den största källan med tillförsel av tungmetaller till avloppssystemet från de två kommunerna var hushållen. Resultatkontrollen visade att beräknade mängder generellt överrensstämde bra med uppskattade mängder från respektive område, men att en underskattning av zink erhöles. Känslighetsanalysen visade att verktyget är känsligt för osäkerheter i emissionskoefficienterna. Vid uppströmsarbete kan SoFi bidra med underlag vid åtgärdsplanering.

Exempel på åtgärdsinsatser som rekommenderas mot hushållen är informationskampanjer för att medvetandegöra vilka varor som innehåller och emitterar tungmetaller till avloppssystemet. En intressant möjlig vidareutveckling av SoFi är en utvidgning av hushållsdelen till att identifiera vilka varor och produkter därifrån som bidrar mest med tungmetaller för att möjliggöra riktade informationskampanjer.

Nyckelord: Substansflödesanalys, tungmetaller, emissionskoefficient, källfördelning, SoFi, uppströmsarbete

*Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala universitet,
Geocentrum, Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala, Sverige
ISSN 1401-5765*

ABSTRACT

Substance flow analysis of heavy metals in the sewage system – New tool tested for the two municipalities Sigtuna and Solna

Sara Agduhr Eronen

The urban heavy metal flow can contribute to resource problems due to the reuse of sewage sludge on arable land. The purpose of this master thesis was to provide Käppala Association with a tool that can be used to identify sources of heavy metals to their incoming sewage water and thus support their ongoing work to improve the water quality. The objective was to perform substance flow analysis for five metals cadmium, copper, chromium, mercury and zinc, for the central Swedish municipalities Sigtuna and Solna which are a part of the Käppala catchment area. The tool developed should be able to identify the sources of heavy metals, the amount of emissions and also be able to provide information about where measures are most effective.

In order to develop the tool the system was defined into five domains, households, business, storm water, leakage water and other. Heavy metal sources were identified and grouped into one of the five domains. Emission coefficients (sources) and formulas were compiled for quantification of the flows of heavy metals. In order to test the tool and get a source distribution for the five studied metals, a case study was carried out for each of the municipalities. Estimation of the uncertainties of the tool and the reasonableness of the results were made in a validation and a sensitivity analysis.

The work resulted in the tool SoFi, which was developed in Microsoft Office Excel and which calculates the quantities and source distribution of heavy metals brought to the sewage system. SoFi also estimates areas where measures are most efficient. The case studies showed that the households are the greatest source of heavy metals to the sewage system. The validation generally showed that the calculated amounts from SoFi coincided well with estimations of the amounts from the two case studies, but that there was an underestimation of the amount of zinc. The sensitivity analysis showed that SoFi is sensitive to uncertainties in the emission coefficients.

Possible measures directed towards the households are information campaigns aimed at raising the awareness of which products that contain and emit heavy metals to the sewage system. An interesting further development of SoFi is an extension of the household domain to identify which of these products that contributes the most.

Key words: Substance flow analysis, heavy metals, emission coefficient, source distribution, SoFi

*Department of Earth Sciences, Air, Water and Landscape Sciences, Uppsala University,
Earth Science Centre , Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala, Sweden
ISSN 1401-5765*

FÖRORD

Examensarbetet har utförts som avslutning på civilingenjörsprogrammet Miljö- och Vattenteknik vid Uppsala Universitet. Arbetet omfattar 30 högskolepoäng och ingår i projektet Source Finder vilket är ett samarbete mellan CIT Urban Water Management AB och Käppalaförbundet. Jag vill rikta ett stort TACK till min handledare Anna Norström på CIT Urban Water Management AB, Merja Niemelä på Käppalaförbundet och ämnesgranskare Lars-Christer Lundin på Institutionen för geovetenskaper vilka alla har bidragit med bra synpunkter, tid och engagemang.

Frida Pettersson CIT Urban Water Management AB, tack för användbara tips och idéer! Tack till referensgruppen vilken varit knuten till projektet, Anders Finnson, Svenskt Vatten, Peter Hugmark, Käppalaförbundet, Arne Jamtrot, Stockholm Stad och Lars Nordén, Gryaab AB för intressanta diskussioner och viktiga synpunkter på SoFi.

Tack också till Gilbert Svensson, CIT Urban Water Management AB som hjälpt mig med, och svarat på frågor angående SEWSYS, Carin Wihlke, Solna stad och Jan Wallén, Sigtuna stad för kommunkartor och slutligen alla andra hjälpsamma personer på Sigtuna och Solna kommuner!

Sara Agduhr Eronen
Uppsala, 2010

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Substansflödesanalys av tungmetaller i avloppssystemet – Nytt verktyg testat på Sigtuna och Solna kommuner

Sara Agduhr Eronen

Det finns flera metoder för att öka jordens produktivitet. En är att använda mineralgödsel som framställs genom brytning av mineral som innehåller det för växter livsnödvändiga näringsämnet fosfor, men mineralen är en ändlig resurs och om brytning fortsätter i nuvarande takt beräknas fosforta slut om 90 till 260 år. Brytningen är också en miljökrävande aktivitet då det används energi för framställning och transport av gödslet. Ytterligare ett problem är höga mineralgödselpriser vilket hindrar utvecklingsländer att öka odlingen av livsmedel. Är det då etiskt korrekt och hållbart att länder som Sverige använder denna typ av gödsel och bidrar till ökade globala priser och användning av en knapp resurs?

Ett mer hållbart alternativ till mineralgödsel är att använda slam från avloppsreningsverk som växtnäring. Slammet innehåller fosfor till ett värde av 1500 – 2000 kronor per hektar och år och är en lättillgänglig resurs eftersom det är en restprodukt. Sveriges riksdag har satt upp ett miljömål som innebär att 60 procent av fosfor i avloppsslam ska återföras till produktiv mark, varav hälften av detta till åkermark innan 2015. Denna återföring kan problematiseras av höga tungmetallhalter.

En del tungmetaller är livsnödvändiga för levande organismer men kan i för höga doser bli giftiga. Krom är ett exempel på ett sådant ämne, livsnödvändigt i små koncentrationer men kan orsaka astma och lungcancer i höga koncentrationer. För att säkerställa att slammet har en god kvalitet har certifieringssystemet REVAQ utvecklats som fungerar som en pådrivande kraft för uppströmsarbete vilket innebär att minska mängderna av tungmetallerna vid källan, där de kommer ifrån.

Vilka är då källorna? Är det industrier, verksamhetsutövare som fordonstvättar eller avfallsförbränning? Är det dagvatten, det vattnet som kommer till avloppet genom regn? Tillskottsvatten, det vatten som läcker in i avloppstunnlarna? Eller är det kanske du och jag som bidrar till att det kommer skadliga ämnen till reningsverket?

Syftet med examensarbetet var att undersöka de här frågeställningarna för att bidra till Käppalaförbundets uppströmsarbete så att de på sikt kan reducera tungmetallhalterna i slammet. Detta uppnås genom att identifiera tungmetallkällor och storleken av utsläppen av fem tungmetaller kadmium, koppar, krom, kvicksilver och zink för två kommuner, Sigtuna och Solna vilka tillhör Käppalaförbundets upptagningsområde.

För att lösa uppgiften utvecklades ett verktyg i Microsoft Office Excel, SoFi (Source Finder) som beräknar tungmetalltillskott till avloppssystemet från fem källområden, hushåll, verksamhetsutövare, dagvatten, tillskottsvatten och övrigt (stora industrier).

Resultaten från studien visade att det är hushållen, alltså du och jag som är den största källan till de tungmetaller som kommer till Käppalaverket från de två kommunerna. En stor andel av tungmetallerna från hushållen kommer från det vi äter. Uppskattningsvis kommer mellan en tjugondel av koppar till tre femtedelar av zinken därifrån. Resterande mängd av de fem tungmetallerna från hushållen bör komma från bad-, disk- och tvättvatten.

Arlanda flygplats var den näst största tungmetallkällan för Sigtuna kommun för alla studerade tungmetaller, förutom kvicksilver. För kvicksilver var tandvård en stor bidragande källa. I dagsläget görs inte många nya tandlagningar som innehåller amalgam men däremot kommer metallen till avloppssystemet när gamla lagningar tas bort eller byts ut. En återkommande källa för båda kommunerna var tillskottsvatten och anledningen till att denna källa blir en relativt stor post är att det är en stor mängd vatten som läcker in i ledningar och Käppalatumneln.

Resultaten från SoFi jämfördes med uppskattade mängder från kommunerna, baserade på antalet invånare, och visade generellt på en bra överrensstämmelse. Den största skillnaden erhöles för zink, för båda kommunerna, där de beräknade mängderna med SoFi var mindre än de uppskattade mängderna. Detta kan antagligen förklaras med att det finns oidentifierade källor för denna metall eller att uppskattningen endast är baserad på antalet invånare. För att undersöka hur känsligt SoFi är för osäkra data gjordes en känslighetsanalys som visade på vikten av bra underlagsinformation.

För att reducera utsläppen från hushållen kan åtgärder riktas mot olika aktörer. De kan riktas mot producenter och leverantörer, vilket framförallt innebär lagstiftning och tillsyn för att hindra spridning av metaller innan de når marknaden, alternativt kan de riktas direkt mot hushållen vilket innebär information om vilka produkter som innehåller tungmetaller.

En intressant vidareutveckling av verktyget skulle vara en utvidgning av hushållsdelen för att undersöker vilka produkter och kemikalier från denna källa som ger detta tillskott av tungmetaller till avloppssystemet.

REFERAT	I
ABSTRACT	II
FÖRORD.....	III
POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING	IV
1. INLEDNING.....	1
1.1 SYFTE OCH MÅL	2
2. BAKGRUND	3
2.1 TUNGMETALLER	3
2.1.1 <i>Kadmium</i>	3
2.1.2 <i>Koppar</i>	4
2.1.3 <i>Krom</i>	4
2.1.4 <i>Kvicksilver</i>	4
2.1.5 <i>Zink</i>	5
2.2 ÅTGÄRDER.....	5
2.2.1 <i>Lagstiftning, miljömål och råd</i>	5
2.2.2 <i>Tillsyn</i>	6
2.2.3 <i>Information</i>	7
2.2.4 <i>Dialog och frivilliga initiativ</i>	7
2.2.5 <i>Åtgärdsförslag</i>	8
2.3 VERKTYG	8
2.3.1 <i>SEWSYS</i>	9
2.3.2 <i>URWARE</i>	9
2.3.3 <i>VeVa</i>	9
3. METOD OCH MATERIAL	10
3.1 SYSTEMDEFINITION	10
3.2 IDENTIFIKATION AV TUNGMETALLKÄLLOR	10
3.3 SCHABLONVÄRDEN	12
3.4 BERÄKNINGAR OCH ANTAGANDEN	14
4. VERKTYGET SOFI.....	19
4.1 STRUKTUR	19
4.2 ARBETSGÅNG.....	20
5. FALLSTUDIER, RESULTATKONTROLL OCH KÄNSLIGHETSANALYS	21
5.1 FALLSTUDIEOMRÅDEN	21
5.1.1 <i>Sigtuna kommun</i>	22
5.1.2 <i>Solna kommun</i>	24
5.2 RESULTATKONTROLL OCH KÄNSLIGHETSANALYS.....	25
6. RESULTAT	27
6.1 SIGTUNA KOMMUN	27

6.1.1	<i>Källfördelning</i>	27
6.1.2	<i>Åtgärder</i>	31
6.2	SOLNA KOMMUN.....	32
6.2.1	<i>Källfördelning</i>	32
6.2.2	<i>Åtgärder</i>	36
6.3	RESULTATKONTROLL	36
6.3.1	<i>Sigtuna kommun</i>	37
6.3.2	<i>Solna kommun</i>	37
6.4	KÄNSLIGHETSANALYS.....	37
6.4.1	<i>Emissionskoefficienter och Indata</i>	37
7.	DISKUSSION	40
7.1	VERKTYGET SoFi.....	40
7.2	KÄLLOR OCH ÅTGÄRDER	43
7.3	VIDAREUTVECKLING AV SoFi	44
8.	SLUTSATSER	45
9.	REFERENSER	46
	BILAGA 1. VISUALISERING AV SOFI	53

1. INLEDNING

Mänsklig aktivitet, såsom produktion och användning av varor, och olika former av verksamhetsutövande, kan leda till en oönskad spridning av tungmetaller från samhället till omgivningen, vilket kan resultera i miljö- och resursproblem. Miljöproblem i form av att höga tungmetallhalter kan ha toxisk effekt på levande organismer. Exempelvis bioackumuleras och biomagnifieras kvicksilver i näringsvävar vilket orsakade att fröätande fåglar och rovdjur som livnärde sig på dessa dog i stort antal på 1950- och 1960-talen. Resursproblem som tungmetaller i avloppsslam kan leda till att återföringen av växtnäring till åkermark försvåras. Ur ett hållbarhetsperspektiv behövs metoder för återföring av fosfor som växtnäring till jordbruksmark. Fosfor är för grödor essentiellt ur tillväxtpunkt och är som resurs ändlig (Naturvårdsverket, 2009). Ett av riksdagens miljökvalitetsmål inkluderar att *”senast år 2015 skall minst 60 procent av fosforföreningarna i avlopp återföras till produktiv mark, varav minst hälften bör återföras till åkermark”* (Miljömålrådets kansli - Naturvårdsverket, 2009a). För att uppnå miljömålen om fosforåterföring är slam som växtnäring en resurs och tungmetaller i slammet minskar dess användbarhet (Miljömålrådets kansli - Naturvårdsverket, 2009a). För att reglera tungmetallhalterna i avloppsslam finns enligt Svensk författningssamling (1998:944) gränsvärden för tungmetallhalter i avloppsslam som inte ska överskridas för slam som ska saluföras eller överlåtas (Sveriges riksdag, 1998).

VA-verken är med och bidrar till att riksdagens miljökvalitetsmål nås och då de ej har rådighet över vilka verksamheter som påverkar avloppsvattnet krävs samverkan mellan aktörerna för att målen ska uppfyllas. Svenskt Vatten har utvecklat certifieringssystemet REVAQ – ”Återvunnen växtnäring, Certifierat slam” för att kvalitetssäkra slam från avloppsreningsverk för att produkten på ett säkert sätt ska kunna nyttjas som resurs. REVAQ fungerar som en pådrivande kraft för uppströmsarbete, vilket innebär att arbeta för att minska föroreningsutsläpp eller att stoppa föroreningen så nära källan som möjligt. För detta krävs kunskap om varifrån föroreningarna kommer. Tungmetallers påverkan på miljön kopplas ihop med punkt- och diffusa källor. Enligt Bergbäck m.fl., (2001) har punktkällornas utsläpp från till exempel industrier minskat i betydelse bland annat på grund av lagstiftning och förändrade industriella aktiviteter sedan 1970-talet. I samband med att emissioner från punktkällor har avtagit har betydelsen av utsläpp från diffusa källor ökat.

Från vilka varor och verksamheter kommer då de skadliga tungmetallerna? Vilka är de diffusa utsläppskällorna? Substansflödesanalys (SFA) är ett verktyg som kan användas för att identifiera ämnens ursprung, förstå var de lagras någonstans och hur de sprids till den omgivande miljön. Metodologin för SFA är grundad på massbalans och innebär kortfattat att systemet definieras, flöden och lager kvantifieras samt att resultaten tolkas (van der Voet, 2002). SFA har tidigare använts både internationellt och i Sverige för att följa flöden av tungmetaller (av bl.a. Bergbäck m.fl., (2001), Sörme & Lagerkvist (2002), Sörme (2006), Kwonpongsagon m.fl., (2007), Månsson m.fl., (2009) och Månsson (2009)). Det har diskuterats hur SFA kan användas som beslutsunderlag i

miljöfrågor (av bl.a. van der Voet m.fl., (1999), Lindkvist (2002) och Reisinger m.fl., (2009)). När föroreningskällorna är kända från resultat från SFA kan dessa användas som underlag för beslutsfattande och åtgärdsplanering i miljöfrågor. För SFA finns det utvecklade verktyg inom vatten och avlopp (VA); ett exempel är SEWSYS som undersöker förorenings-spridning i dag- och spillvattensystem (Ahlman & Svensson, 2005). Ett annat exempel är VeVa som är utvecklat för att jämföra VA-system för omvandlings-områden och undersöker bland annat kadmiumflöden från omvandlingsområde till recipient och åkermark (Erlandsson, 2007).

Projektet Source Finder (SoFi), vilket syftar till att skapa ett samlande verktyg med tillhörande databas som kan identifiera tungmetallers utsläppskällor, startades i december 2009 och är ett samarbete mellan Käppalaförbundet och CIT Urban Water Management AB (Urban Water). Föreliggande examensarbete vilket ska utveckla ovannämnda verktyg ingår i detta projekt.

1.1 SYFTE OCH MÅL

Syftet var att bidra till Käppalaförbundets uppströmsarbete med identifiering av tungmetallkällor för att på sikt reducera tungmetallmängderna i avloppsslammet. Detta uppnås genom att genomföra en substansflödesanalys med avseende på tungmetallerna kadmium, koppar, krom, kvicksilver och zink för kommunerna Sigtuna och Solna, vilka tillhör Käppalaförbundets upptagningsområde. Det verktyg som därvidlag utvecklas ska kunna identifiera utsläppskällor och storleken av utsläppen, men verktyget ska också kunna identifiera var åtgärdsinsatser är mest effektiva. Verktyget ska också vara användarvänligt och generellt för användning i andra geografiska områden.

Arbetsgången var som följer:

1. Konstruktion av ett verktyg för substansflödesanalys av fem tungmetaller som beskriver källfördelningen och källornas storlek.
2. Verktyget tillämpas/testas på kommunerna Sigtuna och Solna och resultaten kontrolleras genom att de med verktyget beräknade mängderna jämförs med uppskattade mängder från de två kommunerna.
3. Känslighetsanalys görs på resultat från en av kommunerna och de största osäkerhetsfaktorerna identifieras.

2. BAKGRUND

För att konstruera ett verktyg som ska identifiera varifrån tungmetallerna kommer till avloppssystemet krävs det kunskap om de i studien ingående tungmetallerna, deras egenskaper, effekter och i vilka produkter och verksamheter de förekommer. Det är också av intresse att ha kunskap om olika åtgärder för att minska tungmetallhalter i avloppssystemet och om tidigare utvecklade verktyg för SFA inom VA-området.

2.1 TUNGMETALLER

Tungmetaller är grundämnen och definieras som de metaller vilka har en densitet som överstiger fem gram per kubikcentimeter. Till dessa hör bland annat kadmium, koppar, krom, kvicksilver och zink (Naturvårdsverket, 2008). Urvalet av studerade tungmetaller görs med grund i de tungmetaller som följs upp av Käppalaförbundets uppströmsarbete och som i dagsläget anses ha hög prioritet i åtgärdsyfte. Koppar, krom och zink är exempel på spårämnen som är essentiella vilket innebär att ämnena är livsviktiga för att kroppen kan fungera som den ska.

2.1.1 Kadmium

Egenskaper och effekter: Kadmium (Cd) förekommer i jordskorpan i mängden 0,1 – 1 g/ton och ofta tillsammans med zink (Lohm m.fl., 1997). Kadmium är en ickeessentiell och giftig metall som bioackumuleras i levande organismer genom intag av föda. Metallen ansamlas i njurarna och kan bidra till cancer och benskörhet (Svenskt Vatten, 2009). Partikelbundet kadmium tas effektivt upp av lungorna medan tarmen har ett lågt upptag. Foster kan skadas och få missbildningar av kadmium då det är utvecklingstoxiskt (Naturvårdsverket, 2008). Kadmiums mobilitet i vatten ökar med minskande pH och metallens giftighet är medelhög till mycket hög beroende på i vilken form den uppträder. Om mark och sediment kadmiumkontamineras förväntas föroreningen vara långvarig (Svenskt Vatten, 2009).

Förekomst: Enligt Svensk författningssamling (1998:944) gäller kadmiumförbud men undantag finns (KemI, 2010a). Bland annat får kadmium fortfarande användas i konstnärsfärger, bordsartiklar och som korrosionsskydd för kryssningsfartyg och färjor (KemI, 1998). Kadmium används också i varmvattenberedare, till viss del inom flygsektorn och i elektroniska maskiner (Svenskt Vatten, 2009). Kadmium förekommer som förorening i fosfatgödsel (KemI, 2009), i ackumulatorer (Naturvårdsverket, 2008) och även i samband med zink och återfinns således i zinkprodukter (Svenskt Vatten, 2009).

Kadmium användes innan förbudet i PVC-plast som stabilisator, inom ytbehandlingsindustri, i legeringsmetaller och i nickel och kadmiumbatterier (Svenskt Vatten, 2009). Kadmium har använts som pigment i plast, keramik och glas (Sörme m.fl., 2001). Kadmium förekommer också i tobak (Huynh, 2005), föda (t.ex. pasta, ris, mjöl, rotfrukter, kött) och i dricksvatten (Bergbäck m.fl., 2005).

2.1.2 Koppar

Egenskaper och effekter: Koppar (Cu) förekommer i jordskorpan i mängden 10 – 100 g/ton och återfinns framförallt i sulfidmineral. Koppar har egenskaperna hög värmeledningsförmåga, god konduktivitet för elektrisk ström och är korrosionsmotståndigt (Lohm m.fl., 1997). Koppar är en av de essentiella tungmetallerna och brist på denna kan leda till skador på unga individer och foster. Vid för höga halter blir dock koppar giftigt. Koppar har hög giftighet för vattenlevande organismer och även marklevande organismer är känsliga. Tungmetallens farlighet och upptag beror på i vilken form den uppträder. Koppar kan möjligen vara nitrifikationshämmande, vilket innebär att kvävereningen i avloppsreningsverken kan störas, och bioackumulerande (Svenskt Vatten, 2009).

Förekomst: Koppar förekommer i tappvattenssystemets ledningar och rör och även i varmvattenberedare. Koppar används inom verkstadsindustrin, finns i fungicider (svampdödande medel), i koppartak och bromsbelägg (Svenskt Vatten, 2009). Koppar finns även i mässing, hushållsmaskiner, elektronik, båtbottnfärg och i bildelar (Lohm m.fl., 1997). Koppar förekommer även i föda och dricksvatten (Sörme & Lagerkvist, 2002)

2.1.3 Krom

Egenskaper och effekter: Krom (Cr) är relativt vanligt förekommande i jordskorpan och återfinns i en mängd av 100 – 1000 g/ton och det vanligaste krommineralet är kromit (Lohm m.fl., 1997). Krom är möjligen bioackumulerbart och är en av de essentiella tungmetallerna av vilken kroppen endast behöver en liten mängd. Om halten blir för hög finns risk för astma, lungcancer och skador på kromosomer och DNA. Krom förekommer på två sätt i naturen, antingen som en sexvärd anjon med egenskapen att den är löslig, eller som trevärd katjon då den är mer svårslöslig. Krom är i tillgänglig form giftigt för växter och djur och har hög giftighet för vattenlevande organismer (Svenskt Vatten, 2009).

Förekomst: Användningen av sexvärd krom är förbjudet i elektronikprodukter enligt Svensk författningssamling (1998:944). Den dominerande kromanvändningen är rostfritt stål i hemmen där krom bland annat förekommer i bestick och diskbänkar. Krom används även vid impregnering av virke, i avgassystem, i garvat läder och i förkromade varor (Sörme m.fl., 2001; Svenskt Vatten, 2009). Krom används också i betong, färg och pigment (Sörme m.fl., 2001). Krom förekommer också i föda och dricksvatten (Sörme & Lagerkvist, 2002).

2.1.4 Kvicksilver

Egenskaper och effekter: Kvicksilver (Hg) förekommer i liten skala i jordskorpan (0,01 – 0,1 g/ton) och då framförallt i mineralet cinnober. Metallen har hög ädelhet och låg smältpunkt (Lohm m.fl., 1997). Kvicksilver är en ickeessentiell, toxisk tungmetall som är mest skadligt i formen metylkvicksilver då den kan bioackumuleras i levande organismer (Svenskt Vatten, 2009). Kvicksilver är skadligt för nervsystemet, hjärt- och kärlsystemet, reproduktionssystemet, njurarna och immunsystemet.

Förekomst: Enligt Svensk författningssamling (1998:944) får inte kvicksilver användas eller släppas ut på den svenska marknaden. Det finns undantag, bland annat får kvicksilver användas i läkemedel (1998:944), i vissa mätinstrument, som analyskemikalie, inom vissa områden av forskning och utveckling och i dentalt amalgam (KIFS 2009:2) (KemI, 2010a). Dentalt amalgam består av ungefär lika delar kvicksilver och silver (Lohm m.fl., 1997). Kviksilver har hittats i verksamheter som tidigare använde metallen men som inte gör det längre. Sjukhus är ett sådant exempel där tungmetallen tidigare använts i termometrar och på laboratorium. Kviksilver har även förekommit i skolor, i verksamheter som tillverkade elektriska komponenter, neonrör och termometrar.

2.1.5 Zink

Egenskaper och effekter: Zink (Zn) finns i mängden 10 – 100 g/ton och då framförallt i mineralet zinkblände (Lohm m.fl., 1997). Zink är en essentiell tungmetall som möjligen bioackumuleras och har en funktion som underhåller den genetiska koden. Om zink tas upp i för stor mängd hämmas upptaget av andra essentiella ämnen. Zink är giftigt för vattenlevande organismer och växter (Svenskt Vatten, 2009).

Förekomst: Zink används i tak, plåt, bilplåt, mässing, fasader, rörkopplinga, vattenkranar, kylskåp, beslag, skruvar och rostskyddsfärg. Tungmetallen återfinns också i gummi, batterier, brombelägg, asfalt, hygienprodukter, i solskydd och som stabilisator i PVC-golv mattor (Svenskt Vatten, 2009). Zink förekommer även i mat och dricksvatten (Sörme & Lagerkvist, 2002).

2.2 ÅTGÄRDER

För att minska tungmetallhalten i avloppsvattnen har åtgärder vidtagits på olika nivåer i samhället men ytterligare åtgärder kan vidtas. Två metoder har utkristalliserats: En långsiktig vilken innebär att inflödet och användandet av tungmetaller i varor minskas genom exempelvis lagstiftning och på så vis reduceras de diffusa emissionerna. Den andra mer direkta metoden fokuserar på gällande tungmetallutsläpp. Exempelvis kan detta göras genom att minska emissioner från identifierade verksamheter.

2.2.1 Lagstiftning, miljömål och råd

Lagstiftning är ett sätt att påverka vilka ämnen som används i samhället. REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) är EU:s kemikaliedirektiv som trädde i kraft den första juni 2007. Grundprincipen i REACH är att det är verksamhetsutövare, producenter och importörer som ansvarar för vilka ämnen som används och att det är de som ansvarar för att ämnena de använder inte har några skadliga miljö- eller hälsoeffekter. REACH beskriver också hur kemikalietillsynen kan förbättras, hur en bra ansvarsfördelning mellan olika myndigheter kan uppnås och bestämmelser om informationsansvar gällande varors innehåll (KemI, 2010b). SIN (Substitute-It-Now)-List är ett ickestatligt projekt med syfte att påskynda lagstiftningsprocessen mot en giftfri värld genom att fungera som ett hjälpmedel för verksamheter som vill byta ut skadliga ämnen mot bättre alternativ. Listan består av 365 ämnen som i REACH definierats som skadliga (ChemSec, 2010).

Kadmium, kvicksilver och bly är utfasningsämnen enligt Sveriges riksdags miljö kvalitetsmål Giftfri miljö. Detta innebär att nyproducerade varor i största möjliga mån ska vara fria från dessa ämnen så snart som möjligt (Miljömålsrådets kansli - Naturvårdsverket, 2009b). SFA har använts för att studera hur stor påverkan utfasningen har haft på kadmium och kvicksilver och visar på att en minskning kan ses i inflöde medan emissionerna är konstanta för båda ämnena (Månsson m.fl., 2009). Som ett led i att fasa ut kvicksilveranvändningen i Sverige genomförde Naturvårdsverket ett projekt för att hitta ”dolt” kvicksilver i avloppsrör, vattenlås och tekniska produkter för att minska framtida emissioner från kvicksilver i lager. Flera ton kvicksilver samlades in från skolor, universitetslaboratorier, industrier och i hushåll med hjälp av spårhundar och frivilliga (von Rein & Hylander, 2000).

Naturvårdsverket har utarbetat generella riktlinjer för utsläpp till avloppssystemet från olika verksamhetsutövare, exempelvis för ytbehandlare (Naturvårdsverket, 1997) och fordonstvättar (Naturvårdsverket, 2005). Om riktlinjerna för utsläpp från fordonstvättar efterlevdes skulle halterna av kadmium och zink minska med 73 respektive 82 procent (Sörme m.fl., 2003). För att minska mängden av miljöfarliga ämnen i avloppsvattnet har råd arbetats fram vilka kan användas av huvudman vid mottagande av avloppsvatten. Råden är riktade mot olika branscher och är inte styrande utan huvudmannen avgör efter lokala förutsättningar vilka krav som kan ställas, exempelvis kan huvudman besluta att inte ta emot avloppsvatten om det har för hög föroreningshalt (Svenskt Vatten, 2009).

Bergbäck & Jonsson (2008) diskuterar vikten av kontroll av att lagstiftningen efterlevs och svårigheter med lagstiftning såsom att den inte alltid ger det stöd som behövs utan att den behöver bli mer specifik för att fungera bättre.

PRIO (Prioriteringsguiden) är ett verktyg som används för att minska kemikaliers påverkan på miljö och människa bland annat genom att information om ämnen/kemikalier, såsom farlighet, utfasning och lagstiftning kan sökas, vilket kan fungera som beslutsunderlag vid riskminskningsarbete (KemI, 2010c).

2.2.2 Tillsyn

Tillsyn som åtgärdsmetod beskrivs av Bergbäck & Jonsson (2008). De diskuterar om de verktyg som finns för tillsynsmyndigheter är tillräckliga för att få kontroll på diffusa utsläpp och föreslår att det skulle behövas lagstiftning som reglerar användningen av vissa ämnen i varor såsom det finns för användningen av sexvärt krom i elektronik. De lyfter också fram att det saknas lagstiftning för en del områden, exempelvis textilier. Vikten av kemikalielistor och att det bör ske ett kontinuerligt arbete med dessa påtalas också. Exempelvis har miljönämnden i Helsingborg arbetat på detta sätt. Företag ombads att inventera sin användning av utfasnings- och riskminskningsämnen och krav ställdes sedan på undersökning av utbyte av ämnen i de fall företagen använde särskilt farliga ämnen. En uppföljning visade att företagens kunskap om produktvalsprincip och vilka verktyg som kan användas för utfasning ökade samt att de börjat med utfasning av särskilt farliga ämnen och att de städade bland sina kemikalier (Danielsson m.fl., 2008).

A, B, C och U är beteckningar på miljöfarliga verksamheter och indelningen görs efter storlek och verksamhet. För A-, B- och C-verksamheter krävs anmälan eller tillstånd, vilket ej behövs för U-verksamheter som är mindre. VA SYD har arbetat på liknande sätt som miljönämnden i Helsingborg. A och B-klassade verksameters kemikalielistor inventerades med målet att identifiera miljöfarliga ämnen för att minska utsläpp från källorna (Leander, 2008). Leander (2008) pekar på att C och U-verksamheter också måste kartläggas, att hushållen också ska tas i beaktande och att det bästa sättet att nå dem är genom informationskampanjer. Tillsyn kan fungera som pådrivande faktor för uppföljning av råd och underhåll. Enligt en undersökning av påverkan av underhåll på amalgamavskiljare visade det sig att underhåll och rengöring spelar stor roll för emissioner från tandvårdskliniker (Hylander m.fl., 2006)

2.2.3 Information

Då det som kund är svårt att ha kännedom om miljöfarliga ämnen i varor är miljömärkning och information av stor vikt. Genom kunskap kan användaren få bättre förståelse och större motivation att använda miljövänliga produkter. Exempel på hur detta har använts är de informationskampanjer som riktats mot konstnärer och konstnärsfärgs användare (Stockholm Vatten m.fl., 2008), kampanjer för inlämning av kvicksilvertermometrar (von Rein & Hylander, 2000) och Svenskt Vattens kampanj för hur hushållen kan bidra till uppströmsarbetet (Svenskt Vatten, 2010). Inom projektet ”Nya Gifter – Nya verktyg” lät Stockholms stad undersöka påverkan av informationskampanjen mot konstnärsverksamheter. Resultaten visade att kadmiumutsläpp reducerats med 36,9 kilo kadmium under nio år med en kostnad av 47 500 kronor per kilo kadmium (Soutukorva m.fl., 2008). För att ta reda på bland annat vad för kunskap människor har och hur de föredrar att få information gjordes en enkätundersökning av allmänheten, företag, miljöexperter och politiker (Lindström, 2007). Resultaten visar att företagsrepresentanter har lägre kännedom om miljömärkning än andra grupper och det föreslås därför utbildning på företag då de har en nyckelroll i att de ansågs vara högst ansvariga för minskning av innehåll av kemiska ämnen i varor. Resultaten visar också att information från myndigheter, att det finns tydliga innehållsförteckningar över vad varorna innehåller och vad innehållet har för påverkan på miljö och hälsa ansågs vara viktigt. Vikten av informationsutbytet och dialog mellan aktörer lyfts fram.

2.2.4 Dialog och frivilliga initiativ

Sörme & Lagerkvist (2002) föreslår samarbete mellan olika verksamhetsgrupper inom samhället för att på ett långsiktigt sätt få ner tungmetallhalterna då det verkar svårt för enskilda reningsverk att påverka emissioner på egen hand. Hur stor påverkan huvudman på reningsverk kan ha på inkommande vatten undersöktes också och slutsatsen var att den är begränsad då gällande miljölagstiftning är riktad mot punktkällor och inte mot diffusa utsläpp. Ytterligare ett problem är ansvarsfrågan, då utsläppen ofta kommer från stora geografiska områden och det är många aktörer som bidrar till utsläppen. Företag och ickestatliga organisationer kan uppmuntras att ta frivilliga initiativ genom att de kan få ett bra rykte och positiv profil hos konsumenterna av detta. Frivilliga initiativ kan också ge ett positivt arbetsklimat och konkurrensfördelar (Wickman, 2009).

2.2.5 Åtgärdsförslag

Generella åtgärdsförslag har föreslagits för att minska tungmetallhalter i avloppsvatten med grund i olika SFA och rapporter som skrivits. Här kommer ett kort urval.

Månsson & Bergbäck (2007) föreslår försäljningskontroll av konstnärsfärg och uppföljning av hanteringen av konstnärsfärger som olika åtgärder för att minska kadmiumutsläpp. De föreslår också att SFA ska fortsätta att användas för en bevakning av batterier, pigment, stabilisatorer och kadmierade ytor samt att en undersökning ska göras av hur stora emissioner kadmium som kan kopplas till zinkanvändning. Åtgärdsförslag för kvicksilver gavs också till exempel att amalgamförrådet kontrolleras och de emissioner som kommer därifrån undersöks. De rekommenderade fortsatt arbete med amalgamavskiljare och rörsediment hos tandläkare och andra som använder kvicksilver samt kontroll av hur elinstallationer och ljuskällor hanteras i avfallsledet.

Hjortenkrans (2008) beskriver skillnader i utsläpp av metaller från trafik beroende på hastighet, trafikintensitet, trafikljus och cirkulationsplats. För koppar ökar emissionen vid högre hastighet och trafikintensitet men den är även högre vid områden med trafikljus jämfört med cirkulationsplatser. Bergbäck & Jonsson (2008) föreslår en dialog med bildelsbranschen för att följa upp metallhalter i bildelar.

Bergbäck & Jonsson (2008) föreslår att koppar och zink ska undvikas i tak och vattenledningar. Utbyte av kopparrör föreslås av Levlin m.fl. (2001).

ScorePP (Source control options of reducing emissions of Priority Pollutants) är ett EU-finansierat projekt som går ut på att finna gemensamma åtgärder för att fasa ut Vattendirektivets miljöskadliga ämnen till 2020. Substitution är en åtgärd som föreslås, det vill säga att de i Vattendirektivet prioriterade ämnena byts ut, exempelvis kan amalgam bytas ut mot keramer (Wickman, 2009). Inom projektet ScorePP diskuteras också olika reningsalternativ av hushållsvatten för återanvändning. Separation av spillvatten i olika fraktioner gråvatten (bad, disk och tvättvatten), brunvatten (fekalier), svartvatten (fekalier och urin) och eller gulvatten (urin) möjliggör olika slag av rening och återanvändning. Exempelvis kan gråvatten efter behandling användas som spolvatten eller till bevattning och i det senare fallet förs inga ämnen från gråvattnet till spillvattnet (Donner m.fl., 2008).

En studie som jämför kadmiumintag mellan åren 1989 och 1997 - 1998 visar att kadmiumintaget ökat från 8,7 ug/person och dag till 9,4 ug/person och dag på grund av ökat intag av bland annat pasta och ris i förhållande till rotfrukter, potatis och fisk (Bergbäck m.fl., 2005).

2.3 VERKTYG

Det finns sedan tidigare utvecklade verktyg som i olika stor grad beräknar substansflöden för tungmetaller för olika flöden i VA-systemet. Nedan beskrivs SEWSYS, URWARE och VeVa vilka valdes av tillgänglighetsskäl och studerades för att få en utgångspunkt för utveckling av ett nytt verktyg.

2.3.1 SEWSYS

SEWSYS är ett verktyg som simulerar substansflöden i urbana avloppssystem utvecklat i Matlab/Simulinkmiljö. Programmet kan hantera både kombinerade och separata avloppssystem och således både dag- och spillvatten. SEWSYS gör SFA och identifierar varifrån ämnena kommer och var de hamnar. Totalt 21 ämnen undersöks, bland annat tungmetaller, kväve och fosfor. Källor som kan identifieras för spillvatten är fekalier, urin och gråvatten och för dagvatten trafik, deposition, byggnadsmaterial och annat. Programmet körs med hjälp av en nederbördsdatafil och användaren matar in områdesspecifik information om det studerade området i en indatafil. Information som efterfrågas är bland annat om det är ett kombinerat eller separat avloppssystem, hur mycket hårdgjord yta och fordonsarbete det är i området och hur många kvadratmeter koppar och zinktack det finns (Ahlman & Svensson, 2005).

2.3.2 URWARE

URWARE står för Urban Water Research model och är ett verktyg som gör SFA och energiberäkningar för tungmetaller, organiska ämnen och näringsämnen i ett reningsverk. Användaren kombinerar själv vilka matematiska modeller som ska användas efter behov. Modellen är uppbyggd i Matlab/Simulink och är utvecklad från modellen ORWARE (Organic Water Research System) (Jeppson m.fl., 2005).

2.3.3 VeVa

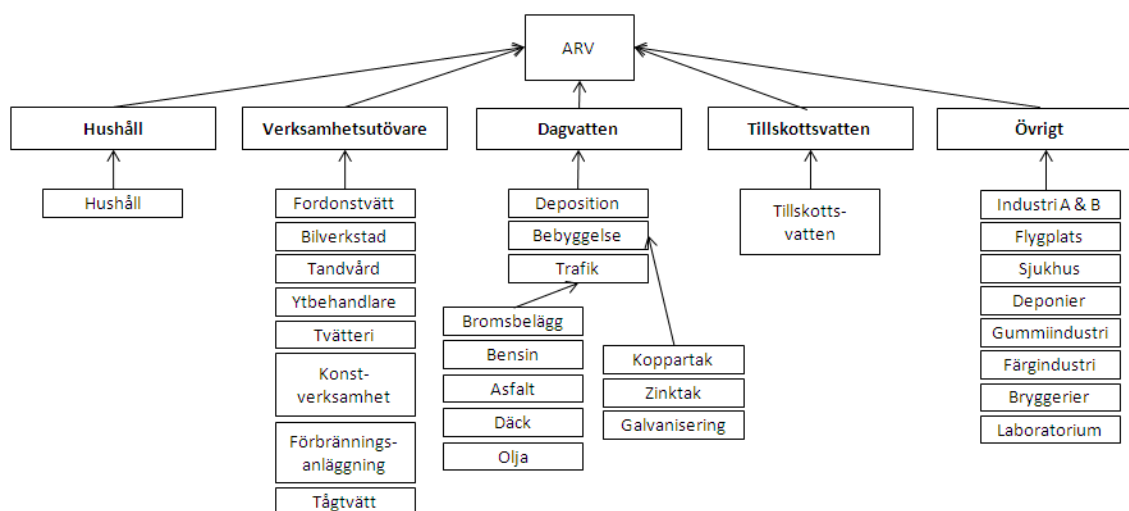
VeVa är ett verktyg uppbyggt i Excel för hållbarhetsbedömning av olika system för VA i omvandlingsområden (sommarsstugeområden som utvecklats till permanentbebyggelse är ett exempel på detta). I verktyget kan de olika VA-lösningarna kommunal anslutning, gemensamhetsanläggning och enskilda VA-lösningar jämföras med avseende på miljö och kostnader. Miljöaspekter som beaktas är återföring av kväve och fosfor till jordbruksmark, energianvändning och belastning på recipient av kväve, fosfor, kadmium och BOD₇. SFA görs för de fyra ämnena. Kostnader som analyseras är kapitalkostnader, drift och underhåll. VeVa har utvecklats i två omgångar, den första med avseende på miljö och energi (Kärrman m.fl., 2008) och den andra med avseende på kostnader (Kärrman m.fl., 2010). Verktyget finns fritt tillgängligt på smaavlopp.se.

3. METOD OCH MATERIAL

För att göra SFA enligt van der Voet (2002) ska systemet definieras, flöden och lager kvantifieras och resultaten tolkas. Verktysutvecklingen krävde därför en systemdefinition som avgränsar det studerade systemet och en identifikation av tungmetallkällor. För kvantifiering av tungmetallemissioner från de olika källorna krävdes också en sammanställning av schablonvärden och beräkningar och antaganden.

3.1 SYSTEMDEFINITION

Verktyget avgränsades till att beräkna inflöde och utflöde till avloppssystemet av tungmetallerna kadmium, koppar, krom, kvicksilver och zink. Definition av systemet gjordes utifrån systembilden i Figur 1. Systemet delades upp i delområdena hushåll, verksamhetsutövare, dagvatten, tillskottsvatten och övrigt. För hushåll utgjordes begränsningen av att endast det totala bidraget därifrån beräknades. Verksamhetsutövare är de verksamheter som identifierats som potentiella tungmetallkällor och för vilka det gått att kvantifiera flöden. Dagvatten inkluderar de tungmetalltillskott som kommer från deposition (torr och våt), bebyggelse och trafik. Tillskottsvatten är det flödestillskott (infiltrerat dagvatten och grundvatten) till avloppsledningarna som inte är spillvatten. Övrigt representerar A- och B-verksamheter, verksamheter som inte finns definierade i tidigare SFA per metall men som omnämns i litteratur som möjliga metallkällor samt de verksamheter som det inte gått att få schablonvärden för. För detta område görs inga beräkningar i verktyget, det innebär att information om dessa läggs in separat från miljörapporter eller mätningar. Vissa tungmetallkällor uteslöts då de var svåra att kvantifiera (rostfritt stål, legeringar, kylarband) eller litteratur påvisat att källan var åtgärdad (skolor (von Rein & Hylander, 2000)). Tidsaspekten som studeras är ett år och den geografiska avgränsningen bestäms av användaren.



Figur 1 Systembild över potentiella källor för tungmetallutsläpp till avloppssystemet (ARV = Avloppsreningsverk). ”Övrigt” är möjliga tungmetallkällor som det ej finns schablonvärden för.

3.2 IDENTIFIKATION AV TUNGMETALLKÄLLOR

Från litteraturen definierade tungmetallkällor eller angivna potentiella tungmetallkällor till avloppsvatten sammanställdes enligt följande:

Kadmium: Industrier, fordonstvättar, golvskurvatten från bilverkstäder, konstnärsvärksamheter, hushåll, tvätterier som tvättar arbetskläder. Dagvatten med bidrag från bromsbelägg, däck, asfalt, bränsle, olja, galvaniserat material och deposition.

Koppar: Hushåll, industrier, fordonstvättar, golvskurvatten från bilverkstäder och tillskottsvatten. Dagvatten med bidrag från bromsbelägg, däck, asfalt, bränsle, olja, kopparkoppar och deposition.

Krom: Hushåll, industrier, biltvättar, golvskurvatten från bilverkstäder, ytbehandlare och tillskottsvatten. Dagvatten med bidrag från bromsbelägg, däck, asfalt, bränsle, olja samt deposition.

Kvicksilver: Hushåll, industrier, tandvård, laboratorier, förbränningsanläggningar, deposition och tillskottsvatten.

Zink: Hushåll, industrier, fordonstvättar, golvskurvatten från bilverkstäder, ytbehandlare, förbränningsanläggningar, deposition och tillskottsvatten. Från dagvattnet med källorna bromsbelägg, däck, asfalt, bränsle, olja och galvaniserat stål.

Därefter inordnades de angivna metallkällorna i ett av de fem delområdena. De källor vilka endast angavs som möjliga metallkällor som grupp (inte angivna per metall) samlades i delområdet övrigt tillsammans med A- och B-verksamheter och de verksamheter som det inte gick att hitta schablonvärden från. Bidraget från hushåll studerades av avgränsningsskäl som en helhet vilket innebar att ingen särskiljning gjordes mellan bidrag från olika aktiviteter och varor, dessa finns således ej listade nedan (Tabell 1).

Tabell 1 Sammanställning av källor som emitterar tungmetaller till avloppssystemet. Ett X innebär att det har identifierats ett tungmetalltillskott från källan och indexet står för från vilken referens informationen kommer

Hushåll		Cd	Cu	Cr	Hg	Zn
	Hushåll	X ^{1,2,3}	X ^{1,2}	X ^{1,2}	X ^{1,2,3}	X ^{1,2,3}
Verksamhetsutövare		Cd	Cu	Cr	Hg	Zn
	Fordonstvätt	X ^{2,3,7,9,10}	X ^{2,10}	X ^{2,9,10}		X ^{2,3,9,10}
	Tandvård				X ^{2,3,6,10}	
	Bilverkstad	X ^{5,7}	X ⁵	X ⁵		X ⁵
	Ytbehandlare					X ³
	Konstnärsvksamhet	X ^{3,7,8,9}				
	Tvätterier	X ³				
	Tågtvätt	X ^{14,15}	X ^{14,15}	X ^{14,15}	X ^{14,15}	X ^{14,15}
	Förbränningsanläggning				X ³	X ³
Dagvatten		Cd	Cu	Cr	Hg	Zn
Trafik						
	Bromsbelägg	X ^{7,9}	X ^{2,8,9,10}	X ^{2,9,10}	X ⁹	X ^{2,8,9,10}
	Däck	X ^{2,8,9,10}	X ^{2,8,9}	X ^{2,8,9}	X ⁹	X ^{2,8,9,10}
	Asfalt	X ^{2,7,10}	X ^{2,8,9,10}	X ^{2,8,9,10}	X ⁹	X ^{2,8,9,10}
	Bränsle	X ^{2,7,9}	X ^{2,9}	X ^{2,8,9}	X ⁹	X ^{2,9}
	Olja		X ^{2,10}			
Infrastruktur			X ^{2,8,9,10}			
	Koppartak					
	Zinktak					X ¹⁶
	Galvaniserat stål	X ^{2,8,9,10}				X ^{2,8,9,10}
		X ^{4,10}	X ^{4,10}	X ^{4,10}	X ⁴	X ^{4,10}
Torr och våt dep.						
Tillskottsvatten		Cd	Cu	Cr	Hg	Zn
	Tillskottsvatten	X ¹⁰	X ¹⁰	X ¹⁰	X ¹⁰	X ¹⁰
Övrigt		Cd	Cu	Cr	Hg	Zn
	Industrier (A och B)	X ^{2,10}	X ^{2,3,10}	X ^{2,10}	X ^{2,10}	X ^{2,10}
	Laboratorium				X ³	
	Sjukhus				X ^{8,13,6}	
	Flygplats	X ¹⁷	X ¹⁷	X ¹⁷		X ¹⁷
	Metaller					
	Gummiindustri	X ¹²				
	Deponi	X ¹²				
	Färgindustri	X ¹²				
	Bryggerier	X ¹²				

X¹ (Jönsson, 2005), X² (Sörme & Lagerkvist, 2002), X³ (Levlin m.fl., 2001), X⁴ (Johansson & Burman, 2006), X⁵ (Lagerkvist, 2004), X⁶ (Sörme L., 2006), X⁷ (Bergbäck m.fl., 2005), X⁸ (Sörme m.fl., 2001), X⁹ (Bergbäck m.fl., 2001), X¹⁰ (Sörme m.fl., 2003b), X¹¹ (Månsson, 2009), X¹² (Svenskt Vatten, 2009), X¹³ (Lohm m.fl., 1997), X¹⁴ (Stockholm Vatten, 2009b), X¹⁵ (Käppala, 2009b), X¹⁶ (Ahlman & Svensson, 2005), X¹⁷ (Hilding, 2010)

3.3 SCHABLONVÄRDEN

För kvantifiering av flöden från källor gjordes en datasökning och en data-sammanställning av schablonvärden vilka utgörs av *emissionskoefficienter* (proportionalitetskoefficienter som anger emission i mängd per enhet och tid eller emission i mängd per enhet) från respektive källa till en databas. Emissionskoefficienter valdes med avsikt att vara generella och finnas med i verktyget som schablon och/eller jämförelsevärden. I de fall där flera värden fanns gjordes urval genom resonemang om rimlighet och aktualitet och i de fall där flera värden var lika rimliga beräknades ett medelvärde. Värdena är av fyra olika typer: *mätvärden*, *riktvärden*, *uppskattningar* eller *sammanställningar*. Mätvärden innebär att mätning av emission av metallen har gjorts från respektive källa. Naturvårdsverket, tillsynsmyndigheter och branschorganisationer

har satt upp riktvärden för tungmetallutsläpp från verksamheter. Uppskattning av emission gjordes då inga andra värden fanns att tillgå och den sista typen av värde är sammanställningar av mätvärden vilket är medelvärden beräknade från många undersökningar gjorda av exempelvis European Environmental Agency (Ntziachristos & Boulter, 2009).

Fyra referenser ligger till grund för källan hushåll. För kadmium, krom och zink användes medelvärden av de fyra referenserna. Med anledning av stor variation i emissionskoefficienterna från kvicksilver användes medianvärdet. För koppar användes ett medelvärde från två av referenserna, de andra två kommer från Hammarby Sjöstad, där koppar inte har använts som byggmaterial, och ansågs därför inte vara representativa för ett nutida urbant område som består av både yngre och äldre bebyggelse. Alla referenser är baserade på mätvärden från provtagning av spillvatten i sin helhet från hushållsområden (Tabell 2).

Tabell 2 Emissionskoefficienter för delområdet hushåll. Potensen anger vilken referens värdet kommer från och bokstaven anger vad för värde det är. _M = Mätvärde, ^m = Medelvärde/Medianvärde

Hushåll	Cd	Cu	Cr	Hg	Zn	Enhet
	0,01 ^{1,2,3,4m} _M	8,03 ^{2,4m} _M	0,21 ^{1,2,3,4m} _M	0,004 ^{1,3m} _M	6,87 ^{1,2,3,4m} _M	g/(inv*år)

¹ (Magusson, 2003), ² (Gryaab, 2008), ³ (Lindh, 2006), ⁴ (Vendel, 2004)

För verksamhetsutövare användes riktvärden där det fanns för att möjliggöra målstyrning (mätvärden från verksamhetsutövare jämförs med riktvärden för kontroll av verksamhetsutövarnas utsläpp). När det inte fanns riktvärden användes uppskattningar eller mätvärden. För tandvård och konstnärsverksamheter användes en uppskattning. För golvscurvatten från bilverkstäder användes mätvärden baserade på provtagning av golvscurvatten från 20 bilverkstäder och för tvätterier användes mätvärden från ett tvätterier och ett mättillfälle (Tabell 3).

Tabell 3 Emissionskoefficienter för delområdet verksamhetsutövare. Potensen anger vilken referens värdet kommer från och bokstaven anger vad för värde det är. _M = Mätvärde, _R = Riktvärde, _U = Uppskattning

Verksamheter	Cd	Cu	Cr	Hg	Zn	Enhet
<i>Fordonsvättar</i>						
Personbil	2,5E-4 ¹ _R	0,03 ² _R	0,01 ^{1,a} _R		0,05 ^{1,2} _R	g/fordon
Annat fordon	7,5E-4 ¹ _R	0,09 ¹ _R	0,03 ^{1,a} _R		0,15 ^{1,2} _R	g/fordon
Tågvtätter	3,0E-5 ^{3,4} _R	6,0E-3 ^{3,4} _R	1,0E-3 ^{3,4,a} _R	6,0E-5 ⁵ _R	0,01 ^{3,4} _R	g/(12m tåg)
Tandvård				2,5 ^{6,11} _U		g/(enhet*år)
<i>Golvskurvatten</i>						
bilverkstäder	0,7 ⁷ _M	348 ⁷ _M	19,2 ⁷ _M		912 ⁷ _M	g/(verkstad*år)
Ytbehandlare	0,1 ⁸ _R	0,5 ⁸ _R	0,5 ⁸ _R		0,5 ⁸ _R	g/m ³
Tvätterier	3E-5 ^{9b} _M	9E-3 ^{9b} _M	9E-4 ^{9b} _M		0,02 ^{9,b} _M	g/kg
Förbränning	0,05 ¹⁰ _R	0,5 ¹⁰ _R	0,5 ¹⁰ _R	0,03 ¹⁰ _R	1,5 ¹⁰ _R	g/m ³

¹ (Naturvårdsverket, 2005), ² (Käppala, 2009a), ³ (Stockholm Vatten, 2009b), ⁴ (Käppala, 2009b), ⁵ (ISS TrafficCare, 2007) ⁶ (Hugmark, m.fl., pers. k., 2010), ⁷ (Lagerkvist, 2004), ⁸ (Naturvårdsverket, 1997), ⁹ (Stockholm Vatten, 2009a), ¹⁰ (Naturvårdsverkets författningssamling, 2003), ¹¹ (Pettersson, pers. k., 2010)

^a Värdet är en samlingsparameter för bly, krom och nickel, ^b Analysresultat från Berundsen tvätterier för november månad i mg/l, värdena är sedan uträknade till g metall/kg tvätt.

Sammanställningsvärden används för delområdet trafik. För oljespill togs värden från SEWSYS. För koppartak beräknades ett medelvärde från tre referenser, för galvaniserade ytor beräknades ett medelvärde av två referenser och till grund för deposition finns en mätning (Tabell 4).

Tabell 4 Emissionskoefficienter för delområdet dagvatten. Potensen anger vilken referens värdet kommer från och bokstaven anger vad för värde det är. _M = Mätvärde, _U = Uppskattning och _S = Sammanställning, ^m = Medelvärde

Dagvatten	Cd	Cu	Cr	Hg	Zn	Enhet
<i>Trafik</i>						
Bromsbelägg	1,68E-07 _S	3,83E-04 _S	1,73E-05 _S		6,51E-05 _S	g/km
Däck	5,03E-08 _S	1,86E-06 _S	2,55E-07 _S		7,95E-05 _S	g/km
<i>Asfalt</i>						
odubb	1,3E-09 _S	1,8E-07 _S	4,3E-08 _S		5,4E-07 _S	g/km
dubb	3,0E-07 _S	4,3E-05 _S	1,0E-05 _S		1,25E-04 _S	g/km
Bränsle	6,50E-07 _S	1,11E-04 _S	3,25E-06 _S		6,50E-05 _S	g/km
Oljespill	1,3E-09 ³	3,9E-08 ³			1,38E-05 ³	g/km
<i>Bebyggelse</i>						
Koppertak		1,8 ^{3,4,6m} _M				g/(m ² *år)
Galvanisering	3,5E-05 ⁵ _U				3,5 ^{3,4m} _M	g/(m ² *år)
<i>Torr och våt.dep</i>	0,51 ⁷ _M	13 ⁷ _M	2,5 ⁷ _M	0,1 ⁷ _M	50 ⁷ _M	g/(ha*år)

¹ (Ntziachristos & Boulter, 2009), ² (Hjortenkrans, 2008), ³ (Ahlman & Svensson, 2005), ⁴ (He m.fl., 2001), ⁵ (Stålbyggnadsinstitutet, 2010), ⁶ (Persson & Kuerca, 2001) ⁷ (Johansson & Burman, 2006)

För tillskottsvatten användes ett medelvärde från två referenser från mätningar på urbant grundvatten i Stockholm och i Göteborg (Tabell 5).

Tabell 5 Emissionskoefficienter för delområdet tillskottsvatten. Potensen anger vilken referens värdet kommer från och bokstaven anger vad för värde det är. _M = Mätvärde ^m = Medelvärde

Tillskottsvatten	Cd	Cu	Cr	Hg	Zn	Enhet
Tillskottsvatten	4,75E-5 ^{1,2m} _M	4,6E-3 ^{1,2m} _M	1,0E-3 ^{1,2m} _M	3,5E-6 ^{1,2m} _M	2,2E-3 ^{1,2m} _M	g/m ³

¹ (SWEKO VIAK, 2004), ² (Gryaab, 1999)

Värdenas ålder varierar (från 1990-tal till 2000-tal, se referenser) men så aktuella värden som möjligt har valts.

3.4 BERÄKNINGAR OCH ANTAGANDEN

Beräkningarna i verktyget baseras på massbalans vilket innebär att massan är konstant om det beaktade systemet är slutet. Emission (E) i gram tungmetall per år beräknas för de olika tungmetallkällorna. Emissionskoefficienterna är av två typer, den första typen (k') beskriver ett flöde i mängd (gram) per år och enhet, där enheten är invånare, praktik, bilverkstad eller area. Den andra typen (k) är en faktor som beskriver mängd (gram) per enhet där enheten är fordon, volym, mängd eller kilometer. Beroende på vilken typ av emissionskoefficient som finns krävs olika indata till verktyget (i = enhet eller i' = enhet/år) och formlerna för beräkning ser ut på olika vis. Generellt gäller:

om emissionskoefficienten = k' är indata = i och

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

om emissionskoefficienten = k är indata = i' och

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

Det antas att det studerade området är homogent, att alla tungmetallemissioner som sker inom ett år transporteras till avloppsreningsverket och att det inte sker någon lagring av tungmetaller i sediment. Beräkningsmetoderna som presenteras nedan kommer från Sörme & Lagerkvist (2002) och Ahlman & Svensson (2005).

Hushåll

Tungmetallemissionerna från hushållen antas vara jämnt fördelade per invånare och år.

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

Där:

E_h = Emission från hushåll i gram per år

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

i_h = Antal invånare i det av användaren definierade området

Verksamhetsutövare

För verksamhetsutövare finns två möjliga inmatnings- och beräkningsvägar i verktyget. Det ena alternativet är *Verksamheter - Schablon* som används om inga mätningar (*mätdata*) för tungmetallutsläpp finns från verksamhetsutövarna. Indata matas in i verktyget och emissionskoefficienter och beräkningarna nedan används. Dessa beräkningar kallas fortsättningsvis för *schablon*. Det andra alternativet är *Verksamheter - Mätningar* och innebär att mätdata läggs in för respektive verksamhetsområde. Om mätdata delvis finns används mätdata för den delen och emissionskoefficienter och indata för resterande del. Dessa beräkningar kallas för *specifika*.

Fordons- och tågtvättar

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

Där:

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

$k_{f\&t}$ = Emissionskoefficient för fordons- och tågtvättar i gram per tvättat fordon/tåg

$i'_{f\&t}$ = Antal tvättade personbilar, annat fordon eller tåg (12 meter tåg) per år

Tandvård

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

Där:

E_t = Emission från tandvård i gram per år

k'_t = Emissionskoefficient för tandvårdsstolar i gram per år och stol

i_t = Antal tandvårdsstolar i det av användaren definierade området

Golvskurvatten från bilverkstäder

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

Där:

E_g = Emission från golvskurvatten från bilverkstäder i gram per år

k'_g = Emissionskoefficient för golvskurvatten från bilverkstäder i gram per antal bilverkstäder som våttorkar golven

i_g = Antal bilverkstäder i området som våttorkar golven

Ytbehandlare

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

Där:

E_y = Emission från ytbehandlare i gram per år

k_y = Emissionskoefficient för ytbehandlare i gram per kubikmeter

i'_y = Den mängd vatten som ytbehandlarna släpper ut per år i kubikmeter

Konstnärsverksamhet

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

Där:

E_k = Emission från konstnärsverksamhet i gram per år

k_k = Den procentandel som uppskattas komma till reningsverket från konstnärsverksamhet

i'_k = Den mängd som totalt transporteras till reningsverket av metallen per år

Tvätterier

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

Där:

E_{tv} = Emission från tvätterier i gram per år

k_{tv} = Emissionskoefficient för tvätterier i gram metall per kilo tvättad tvätt

i'_{tv} = Tvättad industritvätt i kilo per år

Förbränningsanläggningar

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

Där:

$E_{för}$ = Emission från förbränningsanläggningar i gram per år

$k_{för}$ = Emissionskoefficient för förbrännings anläggningar i gram per utsläppt kubikmeter vatten

$i'_{för}$ = Det vatten som släpps ut från förbränningsanläggningar i kubikmeter per år

Dagvatten

Mängden transporterade tungmetaller som förs till avloppssystemet antas reduceras med en reduktionsfaktor då inte all mängd når avloppssystemet på grund av fastläggning. Olika reduktionsfaktorer används för trafik, bebyggelse och deposition. För trafik och bebyggelse är reduktionsfaktorerna tagna från SEWSYS (Tabell 6).

Tabell 6 Reduktionsfaktorer för trafik, bebyggelse och deposition

	Reduktionsfaktor	Förkortning
trafik	0,7 ¹	r_t
bebyggelse	0,5 ¹	r_b
deposition	0,6 ²	r_d

¹ (Ahlman & Svensson, 2005), 2 (Svensson, pers. k., 2010)

Bromsbelägg, däck, bränsle och oljespill

Slitage på bromsbelägg, däck, asfalt och emissioner från bränsle och olja antas vara konstant per körd 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_{trafik} = Emission från trafik i gram per år

k_{trafik} = Emissionskoefficient för trafik i gram per kilometer

i'_{trafik} = Körd fordonkilometer inom området där det är kombinerat avloppssystem under ett år

Asfalt

Olika stort slitage på asfalt beroende på dubbdäcksanvändning eller inte.

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

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

Där:

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

k_{od} = Emissionskoefficient för odubbade däck

i'_{od} = Antal körd fordonkilometer inom kombinerat avloppssystem per år med odubbade däck

a_d = Andel av året som dubbdäck används

b_d = Andel av bilanvändarna som använder dubbdäck

E_d = Emission från asfalt med dubbade däck i gram per år

k_d = Emissionskoefficient för dubbade däck

i'_d = Antal körd fordonkilometer inom kombinerat avloppssystem per år med dubbade däck

Tak

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

Där:

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

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

i_{tak} = Den area koppar/zinktak som finns inom det kombinerade systemet i kvadratmeter

Galvanisering

Mängden galvaniserat material som fanns i närhet till väg antas (Tabell 7).

Tabell 7 Antagande om hur mycket galvaniserat stål som finns i närhet till väg

Användning galv. Stål	Förkortning
0,02 ¹	a

¹ (Ahlman & Svensson, 2005)

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

Där:

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

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

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

Deposition

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

Där:

E_d = Deposition i gram per år

k'_d = Emissionskoefficient för deposition i gram per hektar och år

i_d = Den hårdgjorda yta inom området där det är kombinerat avloppssystem i hektar

Tillskottsvatten

Tungmetallkoncentrationen i tillskottsvattnet antas vara densamma som koncentrationen av tungmetaller i grundvattnet/dränvattnet. Emissionskoefficienterna för tillskottsvatten är medelvärden från en mätning i Göteborg och en i Stockholm. Värdena antas kunna extrapoleras till användning i hela Sverige.

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

Där:

E_{tv} = Tungmetalltillskott som orsak av tillskottsvatten i gram per år

k_{tv} = Emissionskoefficient för tillskottsvatten i gram per kubikmeter

i'_{tv} = Det tillskottsvatten i kubikmeter per år som kommer till tunnelsystemet

Övrigt

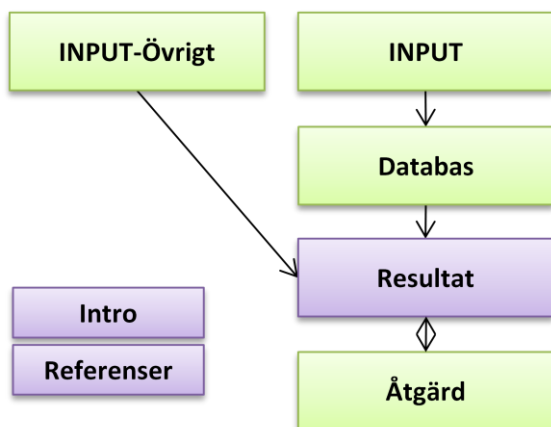
För övriga potentiella tungmetallkällor görs inga beräkningar i verktyget. Användaren för själv in fakta om mängder/år i verktyget.

4. VERKTYGET SoFi

Verktyget SoFi konstruerades för att göra SFA för fem tungmetaller i avloppssystemet och identifierar utsläppskällor, bestämmer storleken av utsläppen och kan ge information om var någonstans det är effektivt med åtgärdsinsatser.

4.1 STRUKTUR

Verktyget är uppbyggt i Microsoft Office Excel för att vara användarvänligt. Verktyget är ett Exceldokument fördelat på sju flikar, *Intro*, *INPUT*, *INPUT - Övrigt*, *Databas*, *Resultat*, *Åtgärd* och *Referenser* (Figur 2). I Bilaga 1 visualiseras de sju flikarna i SoFi.



Figur 2 Strukturmodell av verktygets uppbyggnad i Excel. De gröna rutorna representerar de flikar där användaren själv lägger information.

I *INPUT* läggs mätdata och annan indata (i och i') in om det studerade området för delområdena hushåll, verksamhetsutövare, dagvatten och tillskottsvatten. *INPUT* inkluderar även en *resultatkontroll* vilket innebär att data om uppskattade eller uppmätta tungmetallmängder från det studerade området kan läggas in och jämföras med den av SoFi beräknade mängden. I *INPUT - Övrigt* läggs information in om A- och B-verksamheter och resultat av andra mätningar (områden definierade under delområdet övrigt, och eventuella andra verksamheter utanför systembilden). *Databas* innehåller sammanställningen av emissionskoefficienter (delkapitel 3.3 Schablonvärden) och här kan val av emissionskoefficient göras för tungmetallkällorna hushåll (koppar), avfallsförbränning (alla metaller) och tillskottsvatten (alla metaller). I *Resultat* redovisas källfördelningen i procent och i mängd. Här görs även en jämförelse mellan den specifika och den schablonmässiga fördelningen för verksamhetsutövarna. Detta kallas fortsättningsvis *målstyrning* vilket är en jämförelse av verksamhetsutövarnas utsläpp av tungmetaller i förhållande till riktvärden eller medelvärden. I *Åtgärd* kan reduktion av utsläpp för olika källor testas för att se den totala reduktionen från området. I *Intro* ges en introduktion till verktyget med system- och strukturmodell (Figur 1 och 2) och en kort beskrivning av arbetsgången. I *Referenser* finns referenser till emissionskoefficienterna.

4.2 ARBETSGÅNG

- **Systemdefinition**

Gör en systemavgränsning och beakta att det är verksamheter och aktiviteter vilka är kopplade till avloppssystemet i det aktuella området som är av intresse.

- **Informationsinsamling**

Information om området insamlas genom kontakt med kommuner och tillsynsmyndigheter. Beroende på kommunernas organisationsstruktur varierar ansvarsområden mellan avdelningar från kommun till kommun. Här följer förslag på vart berörd part kan vända sig för informationsinsamling. VA (befolkning och avloppsledningskartor), Stadsbyggnadskontor (trafikintensitet, dagvatten, tillskottsvatten), Miljö- och hälsoskyddsförvaltningen (information om verksamhetsutövare och eventuella mätningar på utgående vatten). Miljörapporter från A- och B-verksamheter fås från den aktuella tillsynsmyndigheten eller från verksamheten direkt varifrån också eventuella mätningar från övriga verksamheter fås.

- **Inmatning**

All inmatning av data i verktyget sker i de gröna flikarna (Figur 2), i de gröna cellerna. För in indata (i eller i') och mätdata om verksamheter i *INPUT*. I *INPUT – Övrigt* förs indata in från delområdet övrigt (miljörapporter om A- och B-verksamheter och andra mätdata). I fliken *Databas* kan olika schablonvärden väljas för hushåll (koppar) avfallsförbränning (alla metaller) och tillskottsvatten (alla metaller), gör val efter område.

- **Resultat**

Resultaten visas i *Resultat* efter att inmatningarna sparats. Fördelningen för området visas grafiskt i procent och som mängd i tabellform. Här redovisas målstyrningen.

- **Kontroll**

Jämför verktygets beräknade mängder med uppskattade/uppmätta mängder från området under *RESULTATKONTROLL* i *INPUT*. Ett annat sätt att kontrollera resultaten är att jämföra staplarna i källfördelningen för de områden som det förts in mätdata för. Om detta gjorts, kontrollera om verksamheterna håller sig under riktvärden eller medelvärden (målstyrning).

- **Åtgärdsplanering**

Använd nu *Åtgärd* för att testa var det är effektivt med åtgärdsinsatser genom att testa reduktion för olika områden. Börja förslagsvis med den största källan för respektive metall.

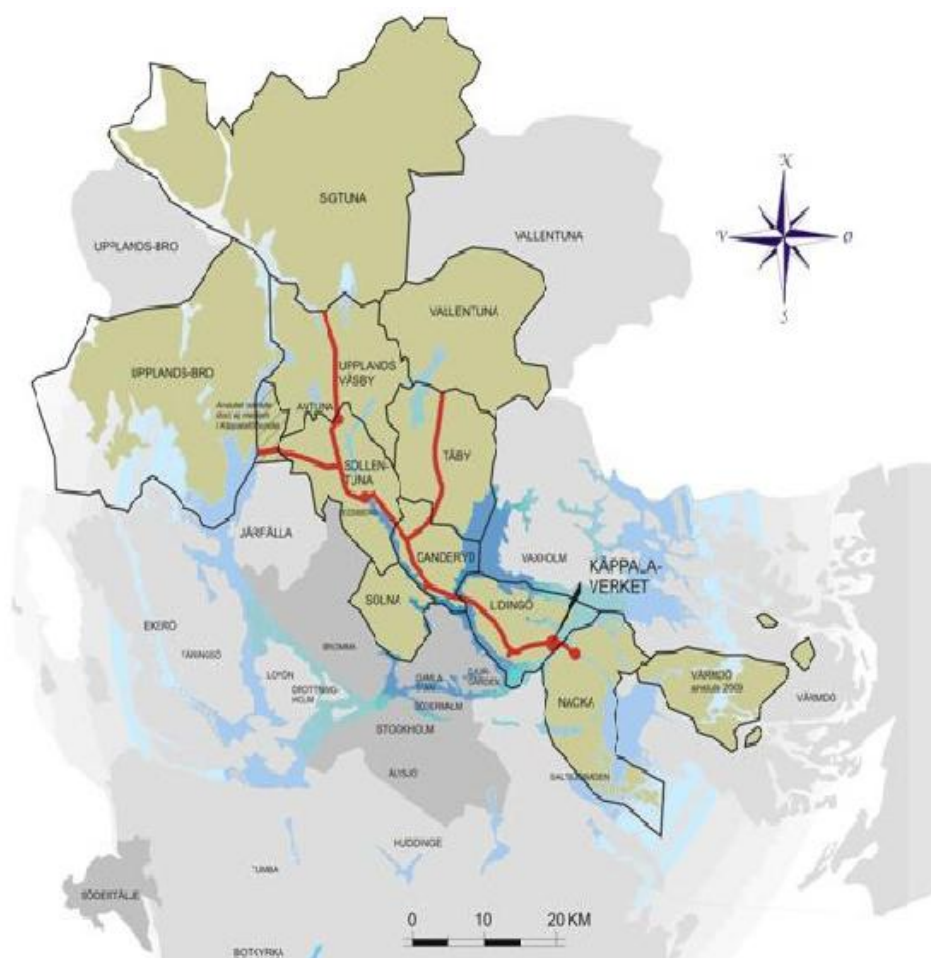
En handledning till SoFi utarbetas för närvarande (Norström m.fl., 2010).

5. FALLSTUDIER, RESULTATKONTROLL OCH KÄNSLIGHETSANALYS

Fallstudierna gjordes med två syften, för det första för att testa och för det andra för att tillämpa SoFi och ge en beskrivning av källfördelningen för de fem studerade tungmetallerna. För att skatta rimligheten i resultaten och osäkerheter i SoFi gjordes en resultatkontroll och en känslighetsanalys.

5.1 FALLSTUDIEOMRÅDEN

Käppalaförbundet driver Käppalaverket som är ett avloppsreningsverk och dess upptagningsområde består av 12 kommuner belägna norr och öster om Stockholm (Figur 3). Käppalaverket ligger på Lidingö och renar vatten från cirka 520 000 personer vilket motsvarar ungefär 700 000 personekvivalenter.



Figur 3 Käppalaförbundets upptagningsområde (återgiven med tillstånd av Käppalaförbundet, pers. k., 2010).

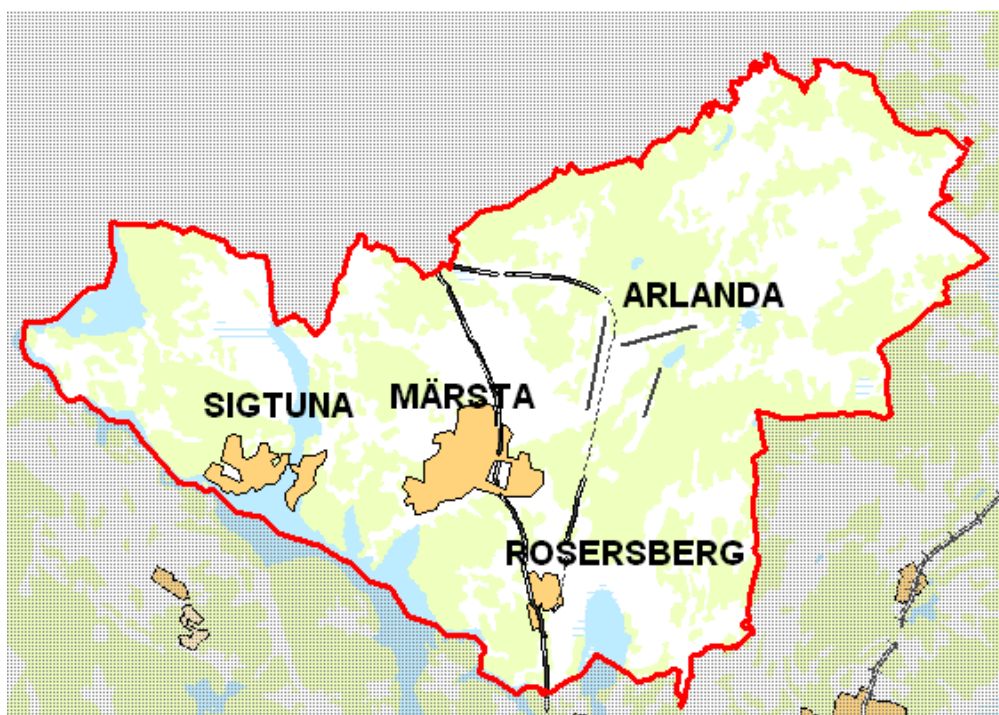
Käppalaförbundet arbetar aktivt med uppströmsarbete för att förbättra kvalitén på inkommande avloppsvatten. Arbetet inkluderar bland annat tillsyn, informationskampanjer (konstnärnsverksamhet) och granskning av industriers processer och kemikaliehantering. Käppalaförbundet har genomfört industriområdesinventeringar, funktionskontroller av amalgamavskiljare, undersökt emissioner från hushålls-

spillvatten, bilverkstäders städmetoder och möjligheter att minska tillskottsvattenvolymer (Käppala, 2008).

Sigtuna och Solna kommuner valdes för fallstudier för att de är relativt olika och därför intressanta att jämföra. För båda kommunerna beräknades en mängdkällfördelning av tungmetaller med SoFi och målstyrning gjordes för verksamhetsutövare. Specifikt för koppar gjordes en jämförelse mellan bidraget från hushållen med bidraget beräknat från emissionskoefficienter från Hammarby Sjöstad, där koppar fasats ut vid byggnation (Magusson, 2003). Detta gjordes för att få en uppskattning av hur mycket avloppsrör bidrar med koppar. Det gjordes en jämförelse mellan bidraget från hushållen med ett uppskattat bidrag från dricksvatten och det uppskattade bidraget från föda för att undersöka hur stora bidragen därifrån var. Det gjordes även en jämförelse mellan den förändring i kadmiumintag som beror av ändrade kostvanor som beskrivits av Bergbäck m.fl., (2005) för hela Käppalaförbundets upptagningsområde. Exempel på minskning av metaller vid vissa källor testades för att undersöka den totala reduktionen av metallerna från området. Nedan presenteras de två fallstudiekommunerna och indata till SoFi. Beräkningar gjordes för år 2009 och den indata vilken är äldre antas vara densamma för år 2009.

5.1.1 Sigtuna kommun

Sigtuna kommun består av tre tätorter, Märsta, Sigtuna och Rosersberg där Märsta är den största med 63 procent av befolkningen (Figur 4). Kommunen består framförallt av stora naturområden och de tre tätorterna men den har också en flygplats, Arlanda (Sigtuna kommun, 2009).



Figur 4 Sigtuna kommun (återgiven med tillstånd av Wallén, pers. k., 2010).

Arlanda är Sveriges största flygplats varifrån det dagligen flyger 50 000 resenärer. Runt 250 företag är etablerade här och det är en arbetsplats för runt 15 000 personer. Arlanda släpper sitt avloppsvatten som dels innehåller vanligt hushållspillvatten men också spillvatten från verkstäder och flygplans- och fordonstvättar till Käppalaverket. Enligt Stockholm - Arlanda Airport (2008) kommer det största tungmetalltillskottet från verkstäder och fordonstvättar.

Indata om kommunen vilka implementerades i SoFi insamlades genom kontakt med personal på Stadsbyggnadskontoret, Miljö- och hälsoskyddsförvaltningen, Sigtuna Vatten och Käppalaförbundet. Det fanns i princip inget kombinerat avloppssystem i kommunen vilket innebär att inget dagvatten tillfördes reningsverket genom avloppssystemet (Olsen, pers. k., 2010), därför insamlades ingen indata för detta delområde. Indata som användes i SoFi presenteras i Tabell 8.

Tabell 8 Indata till SoFi om Sigtuna kommun

	INPUT	Enhet	Referens
Antal personer anslutna	34 400	antal	(Niemi, pers. k., 2010)
Fordonstvättar	180 236	antal/år	(Persson, pers. k., 2010)
Tvättade tåg	750	antal/år	(Persson, pers. k., 2010)
Tandvård (enheter)	27	antal	(Lindgren, 2005)
Bilverkstäder	15	antal	(Gorodetskaja, 2006)
Vattenmängd ytbehandlare	0	m ³	(Niemi, pers. k., 2010)
Inflöde kadmium reningsverk?	508	gram	(Hugmark, pers. k., 2010)
Kadmiumtillskott konstnärsverksamheter?	7	%	(Niemi, pers. k., 2010)
Industritvätt	0	kg	(Persson, pers. k., 2010)
Vattenmängd avfallsförbränning	177 695	m ³	(Fortum, 2009)
Mängd tillskottsvatten	2 301 922	m ³ /år	(Palmgren, pers. k., 2010)

Det fanns mätdata (mätningar på tungmetallutsläpp från verksamhetsutövarna) för områdena fordonstvättar, golvscurvatten från bilverkstäder och avfallsförbränning (Tabell 9).

Tabell 9 Mätdata för Sigtuna kommun

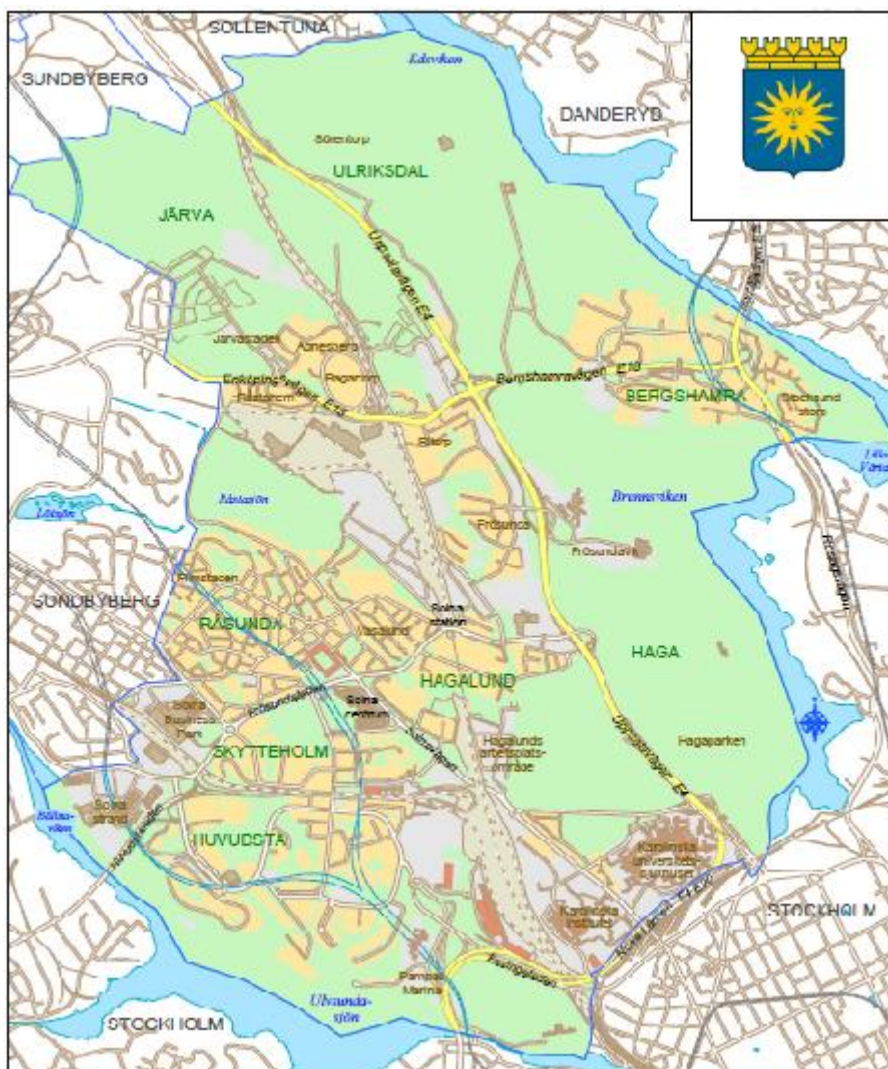
Område	Antal	Enhet	Cd	Cu	Cr	Hg	Zn	Enhet
Personbiltvätt ¹	180 236	antal	2	2 442	655		10 750	g/år
Golvscurvatten bilverkstäder ²	15	antal		138	8		361	g/år
Förbränning avfall ³	177 695	m ³	32	185	210	41	537	g/år

¹ Beräknat från veckoprover från 6 biltvättar (Persson, pers. k., 2010). ² (Gorodetskaja, 2006), ³ Beräknat från (Fortum, 2009)

Eftersom Sigtuna kommun är en Stockholmskommun valdes emissionskoefficienter för Stockholm för tillskottsvatten i *Databas*.

5.1.2 Solna kommun

Solna är en gammal bygd och har sedan 40-talet utvecklats från landsort till storstadsområde. Kommunen har tidigare varit garnisonsstad och här finns både villaområden, flerfamiljsområden och industrier. I kommunen finns runt 8000 företag och cirka 66 000 personer arbetar här (Solna stad, 2009) (Figur 5).



Figur 5 Solna Kommun (återgiven med tillstånd av Wihlke, pers. k., 2010).

Indata om kommunen insamlades genom kontakt med personal på Solna Vatten, Miljö- och hälsoskyddsförvaltningen, Stadsbyggnadsförvaltningen och personal på Käppalaförbundet. Indata för antal tvättade tåg var osäker på grund av ofullständig tågräkningsmetod, indatan använd här är en uppskattning. Area hårdgjord yta (tak) bestämdes genom studier av ledningskartor i datorverktygen CAD och GIS. Indata till SoFi presenteras i Tabell 10.

Tabell 10 Indata till SoFi om Solna kommun

	INPUT	Enhet	Referens
Antal personer anslutna	65 289	antal	(Niemi, pers. k., 2008)
Fordonstvättar (personfordon)	176 725	antal/år	(Ernarp, pers. k., 2010)
Fordonstvättar (övriga fordon)	1 500	antal/år	"
Tvättade tåg	36 350	antal/år	"
Tandvård (enheter)	68	antal	(Lindgren, 2005)
Bilverkstäder	38	antal	(Gorodetskaja, 2006)
Vattenmängd ytbehandlare	488,2	m ³	(Niemi, pers. k., 2008)
Inflöde kadmium reningsverk?	963	gram	(Hugmark, pers. k., 2010)
Kadmiumtillskott konstnärssamheter?	7	%	(Niemi, pers. k., 2010)
Industri tvätt	0	kg	(Ernarp, pers. k., 2010)
Vattenmängd avfallsförbränning	0	m ³	"
Area hårdgjord yta (där kombinerat avloppssystem)	8,708	ha	Beräknat i GIS
Trafikarbete (där kombinerat system)	500 000	km/år	(Leijonmarck, pers. k., 2010)
Area koppartak (inom kombinerat system)	0,208	ha	(Ekstrand m.fl., 2001)
Area zinktak (inom kombinerat system)	0	ha	Ingen uppgift
Del av året då dubbdäck används	0,33	andel	(Hjortenkrans, 2008)
Del som använder dubbdäck	0,7	andel	(Stockholm stad, 2009)
Mängd tillskottsvatten	3 451 309	m ³ /år	(Palmgren, pers. k., 2010)

Mätdata fanns för områdena fordonstvättar, bilverkstäder och ytbehandlare (Tabell 11). För tillskottsvatten användes samma emissionskoefficienter som för Sigtuna kommun.

Tabell 11 Mätdata för Solna kommun

Område	Antal	Enhet	Cd	Cu	Cr	Hg	Zn	Enhet
Personbil ¹	176 725	antal	3	2 545	721	9 788	g/år	
Övriga fordon ¹	1 500	antal		29	6	115	g/år	
Golvskurvatten bilverkstäder ²	38	antal	1	460	27	130	g/år	
Ytbehandlare ³	488,2	m ³		60	44	68	g/år	

¹ Beräknat från veckosamlingsprov (Vienola, 2008) och antal fordonstvättar (Ernarp, pers. k., 2010) för de biltvättar som det finns mätningar från. ² Värdena är uträknade från Gorodetskaja (2006) och Lagerkvist (2004), ³ Emission från ytbehandlare är beräknade från de två ytbehandlare som finns i Solna (Käppala, 2009c)

5.2 RESULTATKONTROLL OCH KÄNSLIGHETSANALYS

En resultatkontroll från fallstudierna gjordes för att skatta rimligheten i resultaten. De beräknade tungmetallmängderna från SoFi jämfördes med uppskattade mängder för samma områden. Mängduppskattningen beräknades genom antagandet att den totala inkommande tungmetallmängden till reningsverket (Tabell 12) var jämnt fördelat per person i hela upptagningsområdet (uppskattningen tar inte hänsyn till vilka verksamhetsutövare och industrier som fanns i området), varefter mängder från respektive område beräknades efter invånarantal.

Tabell 12 Inkommande tungmetallmängd till Käppalaverket

	Cd	Cu	Cr	Hg	Zn
	[kg/år]	[kg/år]	[kg/år]	[kg/år]	[kg/år]
Inkommande till Käppalaverket ¹	8,1	3 851,2	217,6	5,2	5 544,8

¹Beräknat efter metod från Käppalaverket (Palmgren, pers. k., 2010)

Variationer i emissionskoefficienter och i indata kan resultera i att källfördelningen varierar. Analysen avgränsades till att utföras på två emissionskoefficienter, hushåll och tillskottsvatten, vilka varierar mycket och vars källområden uppskattades bli stora tungmetallkällor. Analysen gjordes även på en indataparameter, kadmiumtillskott från konstnärsvksamheter, vilket är en uppskattning av hur stor del av den inkommande kadmiummängden till reningsverket som kommer från källan och därför uppskattades vara osäker.

Hammarby Sjöstad i Stockholm (Magnusson, 2003; Lindh, 2006) är byggt för att vara miljövänligt. Området har inget dagvatten eller industrispillvatten påkopplade till spillvattnet och koppar har inte använts som byggmaterial. Området i Tyktorp på Lidingö (Vendel, 2004) består framförallt av hushåll men det finns en skola. Bebyggelsen som provtogs vid Oxledsvägsprovtagningen i Göteborg var villor och radhus (Gryaab, 2008). Kadmiumvärdet baseras på två absoluta värden och två mindre-än värden, krom och kvicksilver på tre absoluta värden och ett mindre-än värde och de andra metallerna baseras på fyra absoluta värden. De olika områdenas emissionskoefficienter presenteras i Tabell 13. I känslighetsanalysen testades minimum- och maximumvärden för de olika metallerna, för de fyra referenserna, för att se hur stort hushållens bidrag med tungmetaller blev när den största och den minsta emissionskoefficienten användes.

Tabell 13 Emissionskoefficienter för delområdet hushåll. Alla värden är uppmätta mätvärden

Hushåll	Cd	Cu	Cr	Hg	Zn	Enhet
(Magusson, 2003)	0,011	3,38	0,23	0,0037	6,24	g/(inv*år)
(Vendel, 2004)	0,011	8,76	0,18	0,0219	5,48	g/(inv*år)
(Lindh, 2006)	0,012	2,52	0,21	0,0037	6,64	g/(inv*år)
(Gryaab, 2008)	0,009	7,3	0,22	0,00026	9,13	g/(inv*år)

Emissionskoefficienterna för tillskottsvattnet kommer från två områden, Stockholm (SWECO VIAK, 2004) och Göteborg (Gryaab, 1999). Gryaab's värden kommer från två områden, ett villaområde och ett industriområde, medelvärden från de områdena användes. SWECO VIAK's värden är resultat från provtagning av grundvatten i Stockholm (Tabell 14). I enlighet med känslighetsanalysen för hushållsspillvatten testades minimum- och maximumvärden för tillskottsvatten.

Tabell 14 Emissionskoefficienter för delområdet tillskottsvatten. ^m = Medelvärde av mätning från villaområde och industriområde

Tillskottsvatten	Cd	Cu	Cr	Hg	Zn	Enhet
(Gryaab, 1999)	7,5E-5 ^m	7E-3 ^m	3E-3 ^m	2E-6 ^m	38E-3 ^m	g/m ³
(SWECO VIAK, 2004)	2E-5	1,8E-3	1E-3	5E-6	6E-3	g/m ³

Utsläpp från konstnärsvksamheter har i litteraturen uppskattats till tio procent (Enskog, 2000), och till 7,2 - 8,8 procent (Weiss, 2006). Olika antaganden om tillskott från konstnärsvksamheter testades för att belysa skillnader i resultaten då en parameter varieras.

6. RESULTAT

6.1 SIGTUNA KOMMUN

6.1.1 Källfördelning

Källfördelningen för de studerade tungmetallerna kadmium, koppar, krom, kvicksilver och zink beräknat med SoFi presenteras i tabeller. Resultaten från målstyrningen redovisas i figurer. I figurerna finns alla verksamheter vilka definierats som potentiella källor för metallen representerade. Bidragen från hushållen jämfördes med uppskattade tungmetallbidrag från föda, vilket antogs vara den mängd som utsöndras genom urin och fekalier (Tabell 15).

Tabell 15 Födans bidrag med tungmetaller i Sigtuna

	Cd [g/år]	Cu [kg/år]	Cr [kg/år]	Hg [g/år]	Zn [kg/år]
Sigtuna	132	13,8	1,7	123	138,1

Beräknat från tungmetallinnehåll i urin och fekalier (Jönsson, 2005) och antalet invånare i Sigtuna kommun.

Hushållens bidrag jämfördes även med det uppskattade tungmetallbidraget från dricksvatten (Tabell 16).

Tabell 16 Dricksvattens bidrag med tungmetaller i Sigtuna

	Cd [g/år]	Cu [kg/år]	Cr [kg/år]	Hg [g/år]	Zn [kg/år]
Sigtuna	6	37,5	0,2	2	-

Beräknat från tungmetallinnehåll i Norrvattens utgående vatten (för zink fanns inga koncentrationer dokumenterade) (Görvålverkets Laboratorium, 2009), antal invånare i Sigtuna kommun och vattenanvändning (medelvärde beräknat för lägenhet och småhus) (Energimyndigheten, 2010).

Kadmium

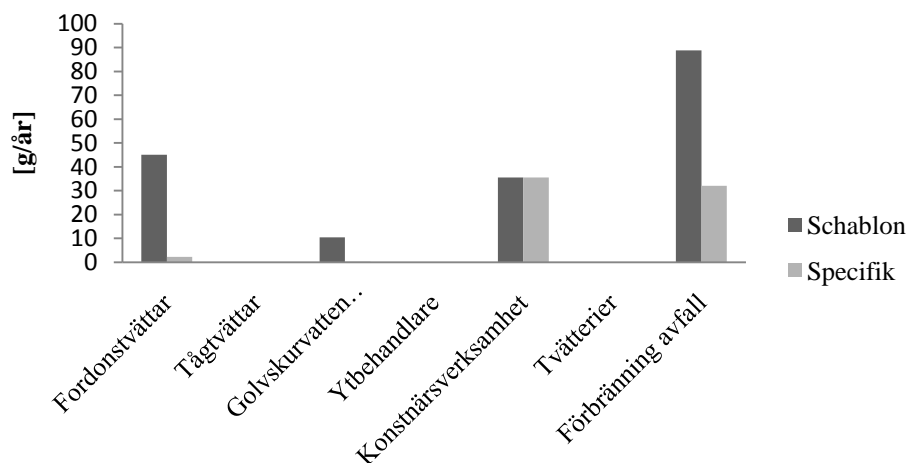
Simuleringen visade att cirka 800 gram kadmium tillfördes Käppalaverket från Sigtuna kommun (Tabell 17). De största bidragande källorna var hushållen och övrigt (Arlanda). Andra betydande källor var tillskottsvatten, konstnärsverksamhet och förbränning av avfall. Av hushållens bidrag uppskattades en tredjedel komma från födan och en femtiondel från dricksvatten.

Tabell 17 Kadmiumkällors bidrag i gram/år

Kadmium	[g/år]
Hushåll	358
Fordonstvättar	2
Konstnärsverksamhet	36
Förbränning avfall	32
Tillskottsvatten	46
Övrigt	332
Summa	805

Vid målstyrning kan utläsas att de specifika mängderna understeg eller var lika stora som schablonmängderna (Figur 6). För fordonstvättar, golvscurvatten från bilverkstäder

och avfallsförbränning var de specifika mängderna mindre än schablonmängderna och det förklaras med att dessa källområden släppte ut mindre kadmium än mängderna beräknade med riktvärden och medelvärden. Staplarna i figuren är lika höga i de fall där inga mätdata fanns och för de fall där inga staplar finns med i figuren innebär det att verksamheten var definierad som potentiell källa men ej bidrog med metallen i detta fall.



Figur 6 Målstyrning för kadmium.

Vid jämförelse mellan det uppskattade kadmiumintaget från föda 1989 och 1997-1998, som beskrivs av Bergbäck m.fl. (2005) för Käppalaverket som har 520 000 personer anslutna skulle det innebära en ökning från 1,65 kilo per år till 1,78 kilo per år i införsel av kadmium till reningsverket.

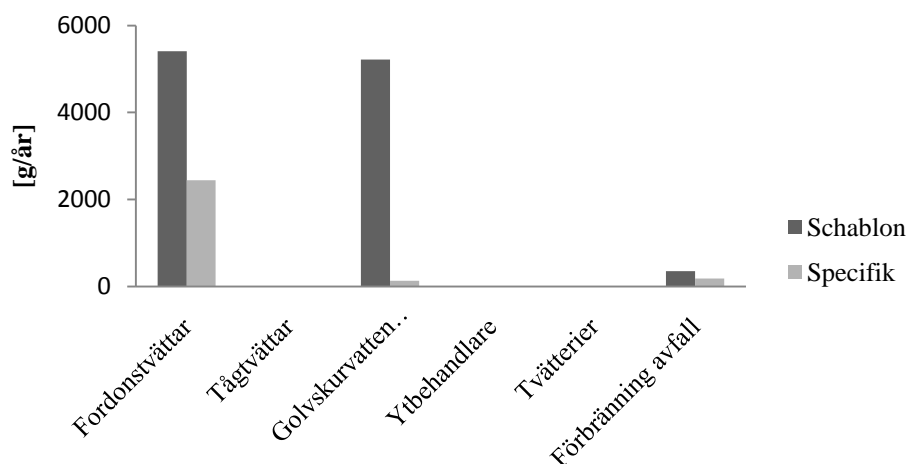
Koppar

Den största kopparkällan var hushållen som gav runt 300 kilo koppar (Tabell 18), av detta uppskattades en tjugondel komma från födointag och tre tjugondelar från dricksvatten. När beräkningar gjordes med emissionskoefficienter från Hammarby Sjöstad, som fasat ut kopparanvändning vid byggnation, blev resultatet runt hundra kilo koppar från hushållen. Andra stora bidragande poster med koppar var Arlanda och fordonstvättar, tillskottsvatten gav också ett nämnvärt bidrag.

Tabell 18 Kopparkällors bidrag i gram/år

Koppar	[g/år]
Hushåll	276 232
Fordonstvättar	24 420
TågTvättar	5
Golvscurvatten bilverkstäder	138
Förbränning avfall	185
Tillskottsvatten	4 144
Övrigt	47 000
Summa	352 124

Vid målstyrning kan det utläsas att golvscurvatten från bilverkstädernas utsläpp låg under medelvärdet och att fordonstvättar och förbränning av avfall låg under riktvärdena (Figur 7).



Figur 7 Målstyrning för koppar.

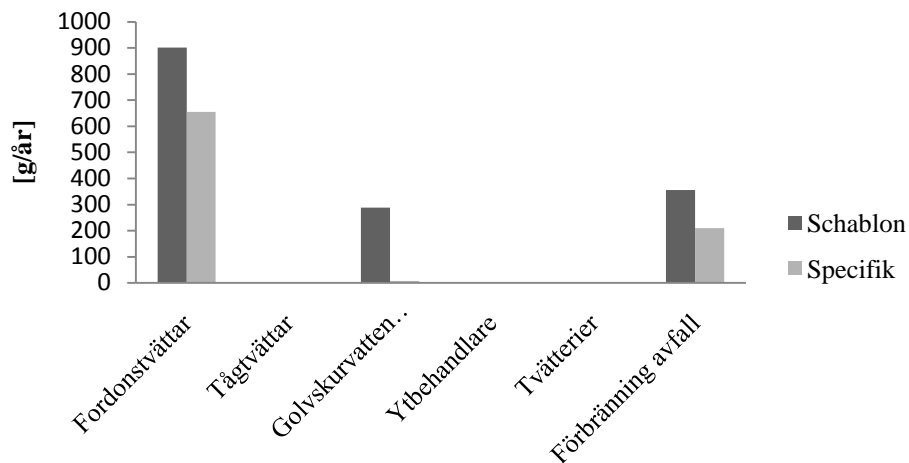
Krom

Det största bidraget med krom stod hushållen för (Tabell 19) och uppskattningsvis kom en fjärdedel av det från föda och tre hundradelar av det från dricksvattnet. Andra stora källor var Arlanda och tillskottsvatten. Mindre bidrag kom från fordonstvättar och förbränning av avfall.

Tabell 19 Kromkällors bidrag i gram/år

Krom	[g/år]
Hushåll	7 159
Fordonstvättar	655
Golvscurvatten bilverkstäder	8
Förbränning avfall	210
Tillskottsvatten	2 302
Övrigt	3 200
Summa	13 534

Vid målstyrning utläses att de specifika mängderna understeg schablonmängderna för fordonstvättar, golvscurvatten från bilverkstäder och förbränning av avfall (Figur 8).



Figur 8 Målstyrning för krom.

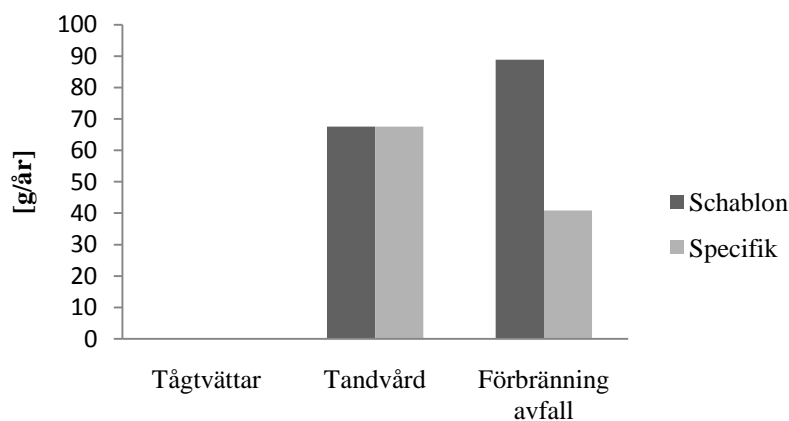
Kvicksilver

Den största kvicksilverkällan var hushållen och vid uppskattning av kvicksilvertillskottet från föda var det bidraget i princip lika stort som hushållens bidrag. Dricksvatten uppskattades bidra med runt en femtiondel av hushållens bidrag. Andra källor var tandvård, tillskottsvatten och förbränning av avfall (Tabell 20).

Tabell 20 Kvicksilverkällors bidrag i gram/år

Kvicksilver	[g/år]
Hushåll	126
Tandvård	68
Förbränning avfall	41
Tillskottsvatten	12
Summa	247

Vid målstyrning kan det utläsas att de specifika utsläppen av kvicksilver från förbränning av avfall låg under riktvärdena (Figur 9).



Figur 9 Målstyrning för kvicksilver.

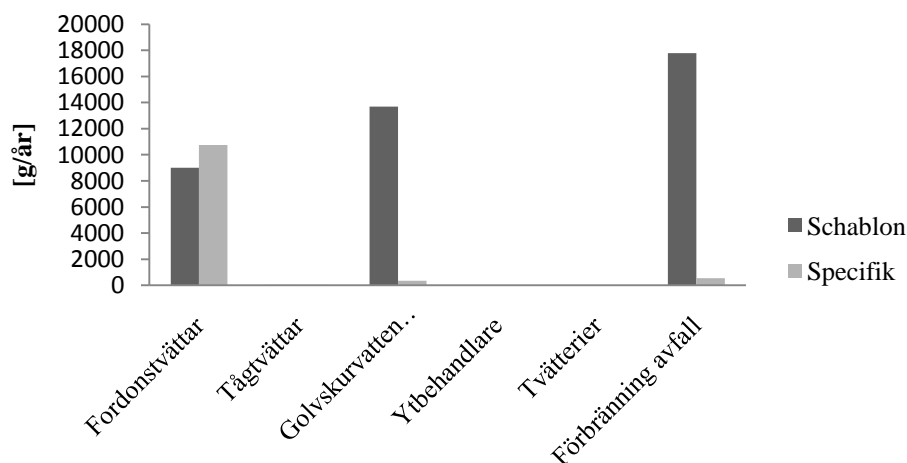
Zink

Den största bidragande källan med zink till avloppssystemet var hushållen (Tabell 21) som gav runt 240 kilo på ett år, av detta beräknades tre femtedelar komma från föda. Arlanda, tillskottsvatten och fordonstvättar gav också nämnvärda tillskott. Golvskurvatten från bilverkstäder och förbränning av avfall gav mindre bidrag.

Tabell 21 Zinkkällors bidrag i gram/år

Zink	[g/år]
Hushåll	236 366
Fordonstvättar	10 750
Tågtvättar	8
Golvskurvatten bilverkstäder	361
Förbränning avfall	537
Tillskottsvatten	13 812
Övrigt	64 000
Summa	325 832

Vid målstyrning kan utläsas att fordonstvättarna översteg riktvärdena för utsläpp av zink till avloppssystemet. Golvskurvatten från bilverkstäder och förbränning av avfall låg under medelvärde och riktvärde. Från tågtvättar kom endast ett litet tillskott (Figur 10).



Figur 10 Målstyrning för zink.

6.1.2 Åtgärder

Hushållen stod för det största bidraget med tungmetaller till avloppssystemet. SoFi visade också att det är vid den största källan som åtgärdsinsatser var mest effektivt. Fordonstvättarna i Sigtuna överskred riktvärdena för zinkutsläpp med 19 procent, men en reduktion från fordonstvättarna av zink med denna procentsats skulle totalt minska zinktillskottet till avloppssystemet i kommunen med mindre än en procent. Ett annat exempel är Arlanda som släppte cirka 330 gram kadmium på ett år. Om åtgärdsinsatser på Arlanda lyckades halvera denna kadmiumtillförsel skulle det innebära en total kadmiumreduktion på 21procent från kommunen. Om Käppalaförbundet inte skulle ta emot avloppsvatten från avfallsförbränningsanläggningen skulle kvicksilvertillskottet från Sigtuna kommun totalt minska med 16 procent.

6.2 SOLNA KOMMUN

6.2.1 Källfördelning

Resultaten från Solna kommun presenteras på samma sätt som för Sigtuna kommun. Födans beräknade bidrag med tungmetaller visas i Tabell 22.

Tabell 22 Födans bidrag med tungmetaller i Solna kommun.

	Cd [g/år]	Cu [kg/år]	Cr [kg/år]	Hg [g/år]	Zn [kg/år]
Solna	250	26,2	3,2	234	262,1

Beräknat från tungmetallinnehåll i urin och fekalier (Jönsson, 2005) och antalet invånare i Solna kommun.

Hushållens bidrag jämfördes även med det uppskattade tungmetallbidraget från dricksvatten (Tabell 23).

Tabell 23 Dricksvattens bidrag med tungmetaller i Solna kommun.

	Cd [g/år]	Cu [kg/år]	Cr [kg/år]	Hg [g/år]	Zn [kg/år]
Solna	12	71,1	0,3	4	-

Beräknat från tungmetallinnehåll i Norrvattens utgående vatten (för zink fanns inga koncentrationer dokumenterade) (Görvålverkets Laboratorium, 2009), antal invånare i Solna kommun och vattenanvändning (medelvärde beräknat för lägenhet och småhus) (Energimyndigheten, 2010).

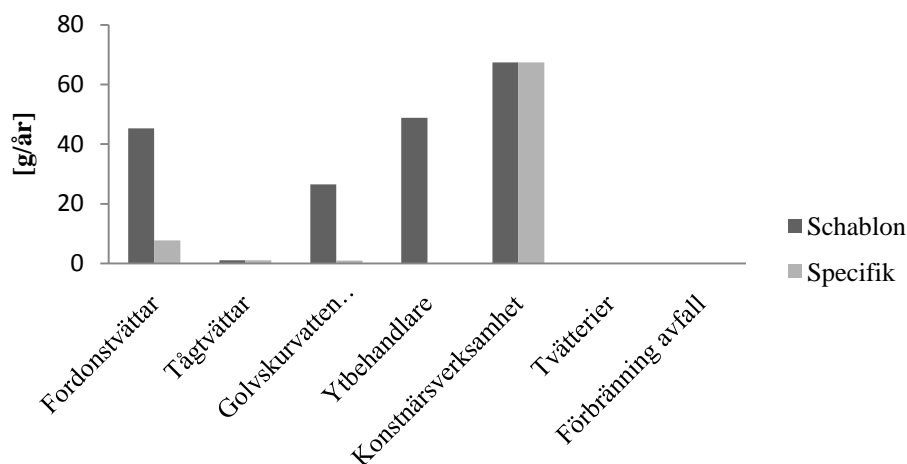
Kadmium

Från Solna kommun kom runt 800 gram kadmium till Käppalaverket (Tabell 24), det största bidraget kom från hushållen varav ungefär två femtedelar beräknades komma från födointag och en femtiondel från dricksvatten. Tillskottsvatten och konstnärsvksamheter gav också större bidrag.

Tabell 24 Kadmiumkällors bidrag i gram/år

Kadmium	[g/år]
Hushåll	679
Fordonstvättar	8
Tågtvättar	1
Golvskurvatten bilverkstäder	1
Konstnärsvksamhet	67
Torr och våt dep.	3
Tillskottsvatten	69
Summa	828

Vid målstyrning understeg de specifika mängderna schablonmängderna för fordonstvättar, golvskurvatten från bilverkstäder och ytbehandlare (Figur 11). Anledningen till detta är att fordonstvättarna och ytbehandlarna släppte ut mindre kadmium än riktvärdena och att golvskurvatten från bilverkstädernas utsläpp låg under medelvärdetsutsläppen. För konstnärsvksamheter och tågtvättar fanns inga mätdata. Det fanns inga tvätterier eller avfallsförbränningsanläggningar i Solna.



Figur 11 Målstyrning för kadmium.

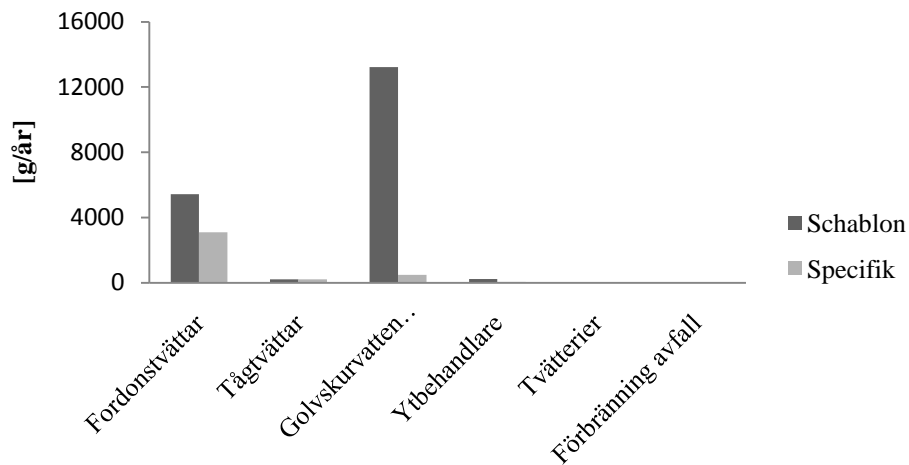
Koppar

Den största kopparkällan var hushållen som bidrog med runt 500 kilo (Tabell 25) varav en tjugondel uppskattades komma från födan och sju femtiondelar från dricksvattnet. Vid beräkning av hushållens bidrag med Hammarby Sjöstads emissionskoefficient erhöles ett bidrag på ungefär 200 kilo. Källor som gav ett tillskott på över ett kilo var tillskottsvatten, fordonstvättar och koppartak.

Tabell 25 Kopparkällors bidrag i gram/år

Koppar	[g/år]
Hushåll	524 271
Fordonstvättar	3 103
TågTvättar	218
Golvscurvatten bilverkstäder	496
Ytbehandlare	60
Koppartak	1 889
Totalt trafik	28
Torr och våt dep.	79
Tillskottsvatten	6 212
Summa	536 356

Vid målstyrning kan det utläsas att golvscurvatten från bilverkstädernas utsläpp låg under schablonvärden vilket också gällde fordonstvättar och ytbehandlare (Figur 12). Detta innebar att bilverkstäderna låg under medelvärdesutsläpp och att fordonstvättar och ytbehandlare höll sig under riktvärden.



Figur 12 Målstyrning för koppar.

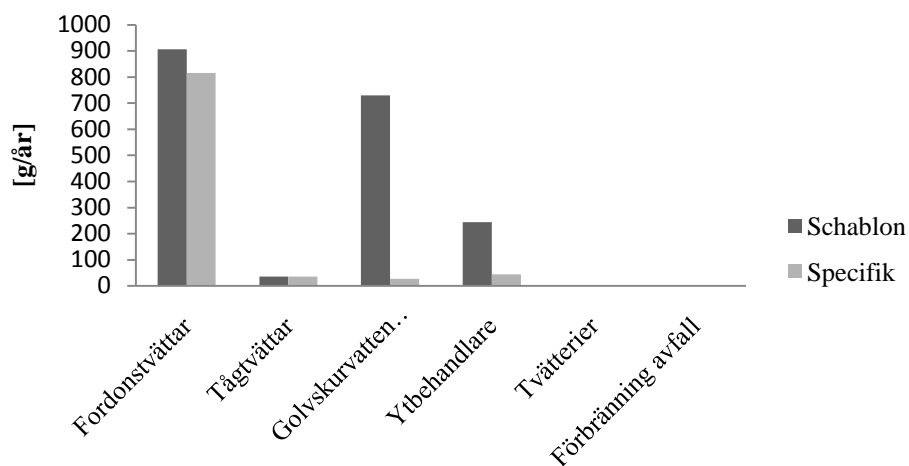
Krom

De största bidragen med krom till avloppssystemet var hushållen följt av tillskottsvatten och fordonstvättar (Tabell 26). Av hushållens bidrag uppskattades en fjärdedel komma från föda och en femtionedel från dricksvatten.

Tabell 26 Kromkällors bidrag i gram/år

Krom	[g/år]
Hushåll	13 587
Fordonstvättar	815
Tågtvättar	36
Golvscurvatten bilverkstäder	27
Ytbehandlare	44
Totalt trafik	1
Torr och våt dep.	13
Tillskottsvatten	3 451
Summa	17 974

Vid målstyrning utläses att de specifika mängderna var mindre än schablonmängderna för fordonstvättar, ytbehandlare och golvscurvatten från bilverkstäder (Figur 13).



Figur 13 Målstyrning för krom.

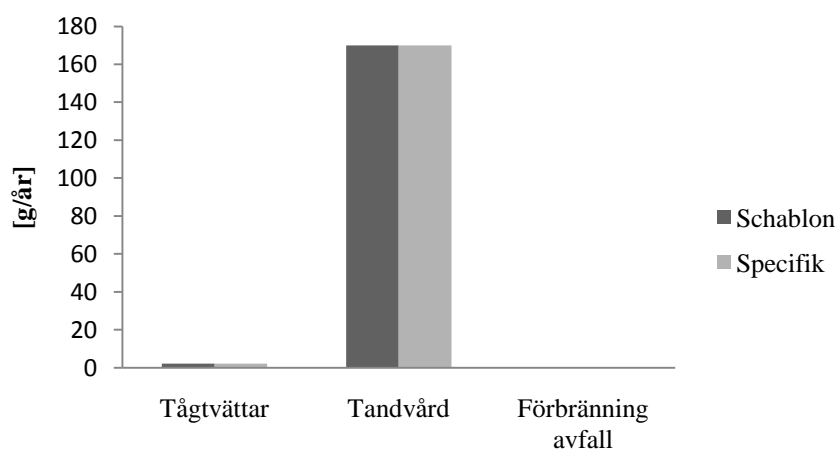
Kvicksilver

Solna bidrog med ungefär 400 gram kvicksilver på ett år och de största källorna var hushåll och tandvård (Tabell 27). Hushållens bidrag och uppskattningen av mängden från föda var i princip lika stora och den uppskattade mängden från dricksvattnet av hushållens bidrag var en femtiondel.

Tabell 27 Kvicksilverkällors bidrag i gram/år

Kvicksilver	[g/år]
Hushåll	238
Tågtvättar	2
Tandvård	170
Tillskottsvatten	17
Övrigt	3
Summa	430

Schablonvärden användes för tågtvättar och tandvård. Från avfallsförbränning kom inget tillskott av kvicksilver i Solna (Figur 14).



Figur 14 Målstyrning för kvicksilver.

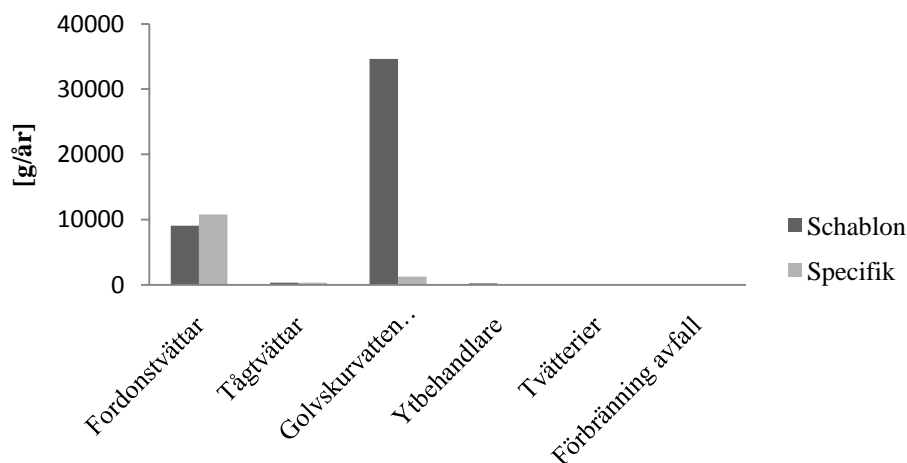
Zink

De största bidragande källorna med zink till avloppssystemet var hushåll, tillskottsvatten och fordonstvättar (Tabell 28). Uppskattad mängd från föda var tre femtedelar av tillskottet från hushållen.

Tabell 28 Zinkkällors bidrag i gram/år

Zink	[g/år]
Hushåll	448 607
Fordonstvättar	10 784
Tågtvättar	364
Golvskurvatten bilverkstäder	1300
Ytbehandlare	68
Totalt trafik	14
Torr och våt dep.	277
Tillskottsvatten	20 708
Summa	482 122

Fordonstvättarna överskred riktvärdet för utsläpp av zink (Figur 15). Golvskurvatten från bilverkstäderna låg under medelvärden och ytbehandlarna låg under riktvärdesutsläpp. För tågtvättar användes schablonvärden.



Figur 15 Målstyrning för zink .

6.2.2 Åtgärder

Även för Solna kom det största bidraget med tungmetaller från hushållen och det var också där som åtgärder visade sig vara mest effektivt.

6.3 RESULTATKONTROLL

För att få en uppfattning om rimligheten i SoFis resultat gjordes en uppskattning av hur mycket av den mängd tungmetaller som inkommer till Käppalaverket som ”borde” komma från de studerade kommunerna och denna andel jämfördes sedan med SoFis beräknade tungmetallbidrag från kommunerna.

6.3.1 Sigtuna kommun

Från Tabell 29 utläses att SoFis beräknade värden för kadmium och koppar översteg det uppskattade bidragen och att det för de andra tungmetallerna gjordes en underskattning av bidragen från kommunen med SoFi jämfört med de uppskattade bidragen.

Tabell 29 Jämförelse mellan det uppskattade bidraget av metaller från Sigtuna kommun och det med SoFi beräknade tillskottet

	Cd [kg/år]	Cu [kg/år]	Cr [kg/år]	Hg [kg/år]	Zn [kg/år]
Uppskattat bidrag från Sigtuna	0,6	275,2	15,6	0,4	396,2
Beräknat bidrag med SoFi	0,8	330,1	13,5	0,3	325,8

6.3.2 Solna kommun

Med SoFi gjordes en överskattning av koppartillförseln jämfört med den uppskattade tillförseln (Tabell 30). En underskattning av de andra tungmetallerna gjordes i förhållande till det uppskattade bidraget från Solna. Särskilt stor var skillnaden för zink.

Tabell 30 Jämförelse mellan det uppskattade bidraget av metaller från Solna kommun och det med SoFi beräknade tillskottet

	Cd [kg/år]	Cu [kg/år]	Cr [kg/år]	Hg [kg/år]	Zn [kg/år]
Uppskattat bidrag från Solna	1,1	521,8	29,5	0,7	751,3
Beräknat bidrag med SoFi	0,9	536,4	18,0	0,4	482,2

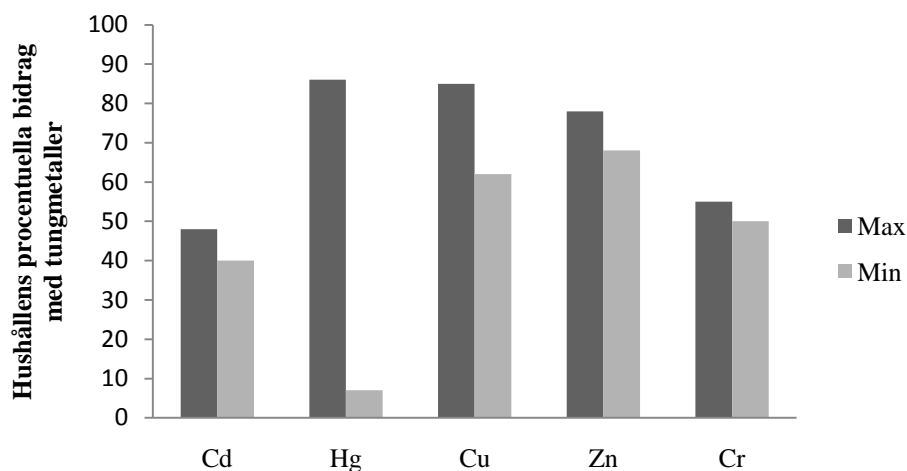
Beräknat från tungmetallinnehåll i Norrvattens utgående vatten (för zink fanns inga koncentrationer dokumenterade) (Görvålverkets Laboratorium, 2009), antal invånare i Sigtuna kommun och vattenanvändning (medelvärde beräknat för lägenhet och småhus) (Energimyndigheten, 2010).

6.4 KÄNSLIGHETSANALYS

För att undersöka SoFis känslighet för osäkerheter i emissionskoefficienter och indata gjordes en känslighetsanalys med avseende på resultaten från Sigtuna kommun.

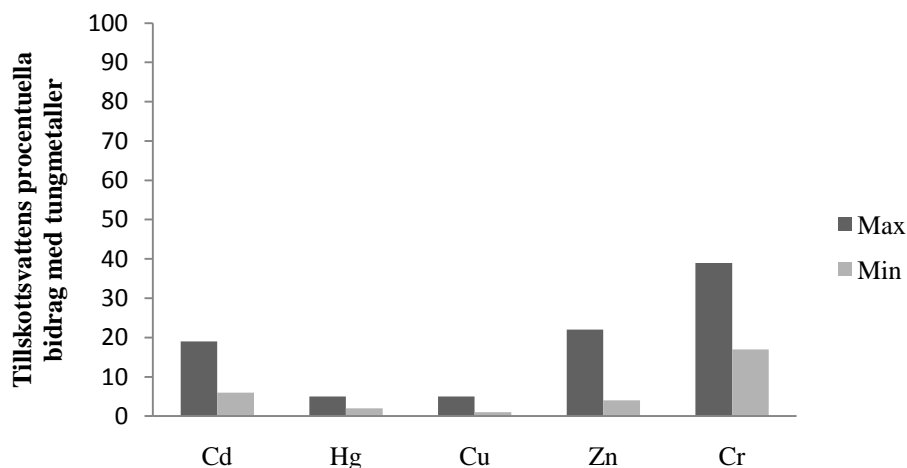
6.4.1 Emissionskoefficienter och indata

Kvicksilvertillskottet från hushållen varierade med 80 procent beroende på om maximum- eller minimumemissionskoefficient användes vid beräkning av källans procentuella tillskott (Figur 16). Det fanns således en stor osäkerhet i emissionskoefficienterna för kvicksilver från källan hushåll. För koppar erhöles en variation på 23 procent beroende på val av emissionskoefficient. Emissionskoefficienten som resulterade i minst koppertillförsel kommer från Hammarby Sjöstad. För de andra tre tungmetallerna varierade bidraget från hushållen med runt tio procent.



Figur 16 Hushållens procentuella bidrag med tungmetaller beroende på val av maximum- eller minimummissionskoefficient.

När tillskottsvattens bidrag med tungmetaller i procent undersöktes vid val av maximum- eller minimummissionskoefficient, erhöles störst skillnad i tungmetalltillskott från krom (Figur 17).



Figur 17 Tillskottsvattens procentuella bidrag med tungmetaller beroende på val av maximum- eller minimummissionskoefficient.

De olika antagandena om kadmiumtillförsel testades och gav resultaten som visas i Tabell 31. År 2000 antogs ungefär tio procent av kadmiumtillförseln komma från konstnärsvksamheter och för närvarande antar Käppalaverket att sju procent kommer från denna källa vilket totalt innebär en reduktion på cirka 1,5 gram/år mellan åren 2000 och 2010. När kadmiumtillförseln minskades från detta område förändrades fördelningen på så vis att de största källornas, Arlanda och hushållen, bidrag växte.

Tabell 31 Beräknad mängd kadmium från konstnärsvksamhet beroende på antaganden om hur stor procentandel av kadmiumet som kommer därifrån

Antagande inkommande Cd till reningsverk [%]	Mängd [g/år]
1	5,1
7	35,5
10	50,8

7. DISKUSSION

7.1 VERKTYGET SoFi

Fördelar

- SoFi är baserat på schablonvärden vilket innebär att det kan användas utan mätdata men om det finns möjliggörs målstyrning.
- Resultaten presenteras enkelt både grafiskt och i tabellform utan att beräkningsstegen är synliga (men de är åtkomliga).
- Resultaten från SoFi kontrolleras mot uppmätta eller beräknade mängder, vilket möjliggör en rimlighetsuppskattning och kvalitetssäkring.
- SoFi kan bidra med underlag vid åtgärdsplanering genom att det ger en källfördelning av tungmetaller.
- SoFi är användarvänligt och det är enkelt att ta fram information om delområdena hushåll, verksamhetsutövare, tillskottsvatten och A- och B-verksamheter.

Begränsningar

- Om inga mätdata från verksamhetsutövare finns görs beräkningar framförallt med riktvärden vilket kan innebära en överskattning eller underskattning av verksamhetsutövarnas bidrag.
- Förhållandevis svårt att hitta information om delområdet dagvatten, då information om hårdgjorda ytor, zink- och koppertak ofta saknas men kan beräknas med avloppsledningskartor och ortofoton.

Till grund för SoFi ligger den databas som presenterats i delkapitel 3.3 Schablonvärden, med värden på emissionskoefficienter som är av fyra typer: riktvärden, sammanställningsvärden, uppskattningar och mätvärden. Riktvärdena används på två sätt. Om mätdata för verksamhetsutövare finns fungerar riktvärdena som jämförelse mot mätdata och målstyrning är möjlig. Om mätdata däremot inte finns, används riktvärden som schablonvärden vilket kan ge en överskattning eller underskattning av källans mängdtillskott till avloppssystemet.

Sammanställningsvärden är mätvärden som sammanställts av till exempel European Environmental Agency och anses således generella. Uppskattningsvärden har använts i två fall där inga andra värden funnits att tillgå vid uppskattningen av kadmiuminnehåll i zinkprodukter och konstnärverksamheters tillskott av kadmium till reningsverket. Detta är osäkra värden då det inte finns några empiriska data. Frånsett osäkerheten i att värdet för konstnärverksamheter är en uppskattning är det också en ”bakåtberäkning” då det är en uppskattning av hur stor del av den inkommande kadmiummängden till reningsverket som kommer från konstnärverksamheter.

Mätvärden och medelvärden av mätvärden har använts i stor utsträckning. Säkerheten i mätvärdena ökar när fler värden används till medelvärdesberäkningar. Exempelvis är schablonvärdena för tvätterier baserade på en mätning från ett tvätteri och anses därmed som osäkra data. Schablonvärdena för golvscurvatten från bilverkstäder baseras på provtagningar från 20 bilverkstäder och får anses något säkrare men är fortfarande osäkra data då de baseras på stickprov. Mätvärden från delområdet hushåll baseras på fyra referenser och för varje referens har provtagningen inkluderat flera hushåll.

Känslighetsanalysen av emissionskoefficienter för hushåll visade en känslighet i SoFi för osäkra emissionskoefficienter för stora källor. För kvicksilver blev det en skillnad i hushållens bidrag med 80 procent beroende på om den minsta eller den största emissionskoefficienten användes. Anledningen till den stora variationen kan härledas till att det största värdet är uppmätt i ett område där det finns en skola. von Rein & Hylander (2000) beskriver en kvicksilversanering av skolor men möjligen kan det finnas kvar kvicksilver i rörsediment som en konsekvens av tidigare kvicksilveranvändning. Den minsta emissionskoefficienten för hushåll kommer från en provtagningsserie på fyra provtagningstillfällen där ett av värdena baseras på ett mindre-än värde (Gryaab, 1999). Dessutom är kvicksilver svårt att analysera vilket kan ge stor osäkerhet i analysresultaten. Känslighetsanalys gjordes också för koppar och det blev en skillnad på 20 procent av hushållens bidrag beroende på val av emissionskoefficient. Detta förklaras med att det minsta värdet kommer från stadsdelen Hammarby Sjöstad där koppar fasats ut vid nybyggnation, vilket innebär att koppar inte ska ha använts i ledningar och rör. Det finns ytterligare mätningar på hushållspillvatten men dessa är ej inkluderade här då de beskriver olika fraktioner av hushållspillvatten, i denna studie är det helhetsbilden av hushållspillvattnet som är aktuell.

Känslighetsanalysen av emissionskoefficienter för tillskottsvatten visade att den största osäkerheten fanns för krom där en skillnad i storlek på tillskottsvattens bidrag var 20 procent. Skillnaden är svårförklarad. Den kan bero på olika berggrund då emissionskoefficienterna kommer från två skilda områden, Stockholm och Göteborg, eller på föroreningsutsläpp. För Stockholm finns en tidigare referens än den använda vilken uteslöts då den nya anses mer aktuell.

Uppskattningen av hur konstnärverksamheters tillskott av kadmium till reningsverket påverkar den procentuella källfördelningen testades också i känslighetsanalysen, vilket visade att den övriga källfördelningen i stort inte påverkas.

Sammanfattningsvis var det de ”stora källornas” emissionskoefficienter som gav utslag i SoFi och det är därför extra viktigt att dessa värden är tillförlitliga. Vid eventuell vidareutveckling av databasen är det av stor vikt vid val av data att säkerställa att det endast är spillvatten från den betraktade källan som undersöks. Detta för att undvika felkällor. Det är också viktigt med tillräckligt bra mätutrustning för att om möjligt undvika beräkningar på mindre-än värden.

Känslighetsanalys gjordes för två delområdens emissionskoefficienter vilka uppskattades få stor påverkan på resultaten i de två studerade områdena. I dessa områden fanns i princip inget kombinerat avloppssystem. Det vore därför intressant att

vidare studera ett område med större del dagvatten påkopplat till spillvattensystemet (större del kombinerat avloppssystem) för att undersöka osäkerhet i dagvattens emissionskoefficienter.

Rimligheten i SoFis resultat undersöktes genom en resultatkontroll, vilket innebar att de uppskattade mängderna från kommunerna jämfördes med SoFis beräknade mängder. Säkra slutsatser kunde inte dras då uppskattningen av mängdtillskottet endast byggde på antalet invånare och inte tog hänsyn till verksamheter i områdena, men kunde ändå ge en uppfattning om rimligheten. Utfallet visade att SoFis mängdtillskott generellt överrensstämde bra med det uppskattade mängdtillskottet från respektive kommun. Den mest avvikande skillnaden var för zink där det blev en underskattning på runt 70 kilo för Sigtuna kommun och 250 kilo för Solna kommun. Möjligen fanns okända källor för denna metall eller berodde skillnaden på uppskattningen som endast baserades på antalet invånare i kommunerna? Utifrån resultatkontrollen bedömdes SoFi ge en rimlig uppskattning av tillförsel av tungmetallmängder till avloppssystemet för de två fallstudieområden för alla metaller, förutom för zink. En jämförelse mellan resultaten från SoFi och mätvärden från utloppet från båda kommunerna skulle vara ett intressant vidarearbete för att med större säkerhet kunna ta ställning till resultaten.

Resultaten från fallstudiernas källfördelning visade för båda kommunerna att de största bidragen för alla fem studerade tungmetaller till avloppssystemet kom från hushållen. För koppar kom nästan hela bidraget från hushållen och vid jämförelse mellan bidraget från Sigtuna och Solna med bidraget från Hammarby Sjöstad (där koppar fasats ut vid byggnation) erhöles stora skillnader i kopparbidrag. Det större bidraget från Sigtuna och Solna skulle kunna härledas till användningen av koppar i rörledningar. För kvicksilver visade resultaten att i princip hela hushållstillskottet kom från föda. Detta kan troligen härledas till slitage av tandlagningar och inte till födointag. Jämförelsen mellan hushållens bidrag med tungmetaller med bidraget från dricksvatten visade att dricksvattnet endast stod för en liten del (uppskattningsvis mellan en femtiondel av kadmium, krom och kvicksilver och tre tjugondelar av kopparn) av bidraget från hushållen. I Sigtuna var Arlanda en stor bidragande källa för alla metaller förutom kvicksilver. Det största tungmetallbidraget uppskattas komma från verkstäder och fordonstvättar enligt Stockholm - Arlanda Airport (2008). En källa vilken återkom för fler av tungmetallerna för båda kommunerna, var tillskottsvatten som gav bidrag med metaller mellan tiotals gram upp mot tiotals kilo beroende på vilken metall det var. För kvicksilver stod tandvård för stora delar av tillskottet i båda kommunerna och i Sigtuna gav även avfallsförbränning ett relativt stort tillskott. I stort såg fördelningen för de två kommunerna liknande ut. Den diffusa källan hushållen stod för det största tillskottet varefter olika verksamhetsutövare spelade roll. Den största skillnaden kommunerna emellan var punktkällan Arlanda och avfallsförbränningen i Sigtuna.

Mätdata fanns för källorna fordonstvättar, golvscurvatten från bilverkstäder, avfallsförbränning och ytbehandlare, vilket möjliggjorde målstyrning för dessa verksamhetsområden. Dessa mätdata visade att verksamhetsutövarna generellt höll sig under riktvärden eller medelvärden som fanns för respektive verksamhet. Det enda

överskridandet var zinkutsläpp från biltvättar, där riktvärdena överskreds med runt ett kilo för båda kommunerna (Figur 10 och 15).

Resultatkontrollen visade att SoFi överskattade mängden för kadmium och koppar från Sigtuna och för Solna erhöles en överskattning av koppar, medan de andra metallerna underskattades. Sigtuna låg generellt högre än Solna vilket kan förklaras med bidraget från Arlanda flygplats. Om detta bidrag drogs bort, erhöles en underskattning av samma storleksordning för kadmium i Sigtuna som i Solna. Underskattningen av de andra metallerna kan bero på okända källor eller förklaras med att uppskattningen av tillförseln från kommunerna endast baserades på antalet boende i området och ej på vilka verksamheter som fanns där. Det var dock en större underskattning av zink, vilket rimligen kan förklaras med att det fanns oidentifierade zinkkällor.

7.2 KÄLLOR OCH ÅTGÄRDER

Tidigare studier har visat att punktkällor har minskat i betydelse och att det är de diffusa källorna som det ska arbetas gentemot. Resultaten från denna studie stödjer tidigare resultat och indikerar att det är hushållens aktiviteter som behöver undersökas vidare.

Beroende på vilken källa som det behöver vidtas åtgärder gentemot finns olika åtgärdsalternativ. Mot verksamhetsutövare är tillsyn och information bra alternativ. Käppalaförbundet arbetar med dessa metoder mot de två stora källorna i Sigtuna kommun, vilka var Arlanda och avfallsförbränningsanläggningen.

Koppar som utsöndras från kopparledningar och rör i byggnader har visats stå för en väsentlig del av koppartillförseln till spillvattnet. Utbyte av dessa rör anses orimligt men en möjlighet finns att fasa ut kopparanvändningen vid nybyggnation. Vid nybyggnation kan även källsortering av hushållsvatten vara ett alternativ för att minska tillförsel av skadliga ämnen till spillvattnet. Om en separering av gråvatten (bad-, disk- och tvättvatten) och svartvatten (fekalier och urin) görs kan gråvattnet renas separat för bevattning, vilket skulle utesluta gråvattnets bidrag med skadliga ämnen till spillvattensystemet.

Åtgärder kan sättas in direkt mot hushållen, eller längre bak i ledet, mot tillverkare och distributörer genom exempelvis lagstiftning, miljö kvalitetsmålet och råd. Rimliga åtgärder riktade direkt mot hushållen är att medvetandegöra problemen som kommer av användning av varor som innehåller tungmetaller och vilka det är. Metoder är exempelvis informationskampanjer och/eller media.

Metallerna förekommer i födointaget och förändrade konsumtionsvanor skulle kunna vara en möjlighet att minska tungmetalltillförseln till avloppssystemet då resultaten från fallstudierna visade att födan stod för en stor del av metallutsläppen. Resterande mängd tungmetaller från hushållen kommer från gråvatten. Vilka produkter är det som ger det bidraget? Exempelvis förekommer kadmium i tobak, zink i hygienprodukter, krom i bordsartiklar och kvicksilver i amalgam. Hur ser fördelningen ut, vilka produkter ska undvikas? Dessa frågor vore intressant att undersöka närmare för att möjliggöra riktade insatser mot hushållen.

SoFi kan beräkna den totala reduktionen från ett område som resultat av en delreduktion från en eller flera källor. Då det är svårt att uppskatta till vilken grad det går att reducera metallutsläpp från en källa med en åtgärd kan ingen rimlig uppskattning göras för hur stor total påverkan en åtgärd kan ha på utsläpp av metaller från ett område. Det enda som kan göras är att diskutera eventuella reduktioner från en källa som resultat av en åtgärd. Om huvudman beslutar att inte ta emot avloppsvatten från en viss verksamhet kan dock uppskattning säkert göras att minskningen blir 100 procent.

En vidare undersökning av vilka åtgärdsalternativ som finns och dess effektivitet av tungmetallreducering skulle vara ett intressant vidarearbete. Detta för att förenkla och förbättra val av vilka åtgärdsinsatser som bör riktas mot vilken källa.

7.3 VIDAREUTVECKLING AV SoFi

- Hushållen visades vara den största bidragande källan för tungmetaller till avloppssystemet för de två studerade kommunerna och därför skulle en utveckling av SoFi med avseende på hushållsdelen vara intressant. Vilka varor och aktiviteter bidrar med tungmetaller härifrån?
- Vidareutveckling av SoFi för att inkludera fler ämnen. Metaller som det arbetats med tidigare är bly och nickel och metaller som blivit mer aktuella på senare tid är silver, guld, vismut, volfram och tenn (Finnson, 2010). Organiska ämnen är också en möjlig vidareutveckling.
- Ur användarsynpunkt skulle det vara intressant med en funktion som importerar indata från andra Excelark för att förenkla inmatningsprocessen och bearbetningen av indata.
- Att inkludera tillskott av tungmetaller från sediment är önskvärt då detta är en källa som det behöver arbetas mer med.

8. SLUTSATSER

- Verktøget SoFi som gör substansflödesanalys och identifierar utsläppskällor och storleken av utsläppen av tungmetallerna kadmium, koppar, krom, kvicksilver och zink till avloppssystemet har utvecklats och applicerats på två kommuner.
- SoFi kan beräkna den totala reduktionen från ett studerat område om åtgärdseffekten för en källa är känd. Att exempelvis eliminera kadmiumtillskottet från förbränningsanläggningen i Sigtuna genom ett beslut av huvudman att inte ta emot spillvattnet därifrån, skulle reducera det totala kvicksilvertillskottet från Sigtuna kommun med 16 procent.
- Resultaten från substansflödesanalysen visade för Sigtuna och Solna kommuner att det var hushållen som stod för det största bidraget av de fem studerade tungmetallerna till avloppssystemet. Den näst största källan förutom för kvicksilver, var Arlanda flygplats.
- Sedan tidigare finns verktyg som gör SFA för tungmetaller för olika flöden inom VA-området, men det finns ett behov av ett verktyg som gör SFA med avsikten att identifiera tungmetallkällor från spillvatten mer detaljerat än bidraget från hushåll och dagvatten (vilket tidigare fokuserats på). SoFi fyller detta tomrum och kan bidra med underlag vid åtgärdsplanering genom en källfördelning av tungmetaller för områdena hushåll, verksamhetsutövare, dagvatten och tillskottvatten i gränssnittet Excel.
- En intressant vidareutveckling av SoFi är utvidgning av hushållsdelen för identifiering av vilka varor och aktiviteter som därifrån ger störst bidrag med tungmetaller.

9. REFERENSER

- Ahlman, S. & Svensson, G. (2005). *SEWSYS - a tool for simulation of substance flows in urban sewer systems*. Göteborg: Urban Water, Chalmers Tekniska Högskola.
- Bergbäck, B., Johansson, K. & Mohlander, U. (2001). Urban Metal Flows - A Case Study of Stockholm. *Water, Air and Soil Pollution: Focus* 1 (3-4), 3-24.
- Bergbäck, B., Hjortenkrans, D. & Månsson, N. (2005). *Kadmium i Stockholm - en substansflödesanalys*. Stockholm: Miljöförvaltningen Stockholm stad.
- Bergbäck, B. & Jonsson, A. (2008). *Stockholms väg mot en giftfri miljö*. Stockholm: Miljöförvaltningen Stockholm stad, Stockholm Vatten.
- ChemSec (2010). ChemSec: <http://www.chemsec.org/list/sin-database> den 12 03 2010
- Danielsson, B., Nordenadler, M., Persson, E. & Rosell, J. S. (2008). *Utfasning av farliga ämnen*. Helsingborg: INTERREGA IIIA & Helsingborg.
- Donner, E., Eriksson, E., Scholes, L. & Revitt, M. (2008). *Priority pollutant behaviour in treatment and reuse systems for household wastewater*. ScorePP.
- Ekstrand, S., Östlund, P. & Hansen, C. (2001). Digital air photo processing for mapping of copper roof distribution and estimation of related copper pollution. *Water, Air, and Soil Pollution: Focus* 1 (3-4), 267-278.
- Energimyndigheten (2010). Mätningar av varm- och kallvattenförbrukning: <http://www.energimyndigheten.se/sv/energifakta/Statistik/Forbattrad-energistatistik-i-bebyggelsen/Matning-av-varm--och-kallvattenforbrukning/> den 15 06 2010
- Enskog, L. (2000). *Kadmium. Miljö och hälsoaspekter vid slamspridning*. Examensarbete. Stockholm: Stockholm Vatten.
- Erlandsson, Å. (2007). *Miljösystemanalys av VA-system i omvandlingsområden - Fallstudie i Värmdö kommun*. Examensarbete, Institutionen för biometri och teknik. Uppsala: SLU Institutionen för biometri och teknik.
- Fortum (2009). *Miljörapport 2008. Bristaverket och Brista Bränslemottagning*. Stockholm: Fortum.
- Gorodetskaja, G. (2006). *Golvskurvatten från bilverkstäder inom Käppalaverkets upptagningsområde*. Stockholm: Käppalaförbundet.
- Gryaab (1999). *Provtagningar i referensområden. Etapp 5. Drän-och dagvatten*. Göteborg: Gryaab.
- Gryaab (2008). *Provtagningar i referensområden 2006/2007 -Hushållspillvatten Del 1*. Göteborg: Gryaab.

- Görvälnverkets Laboratorium (2009). Kontroll av dricksvatten:
[http://www.norrvatten.se/PageFiles/351/Analysrapport%20Utg%c3%a5ende%20dricks vatten.pdf](http://www.norrvatten.se/PageFiles/351/Analysrapport%20Utg%c3%a5ende%20dricks%20vatten.pdf) den 15 06 2010
- He, W., Odnewall Wallinder, I. & Leygraf, C. (2001). Comparison between corrosion rates and runoff rates from new and aged copper and zinc as roofing material. *Water Air Soil Pollut: Focus* 1 (3-4), 67-82.
- Hilding, E. (2010). *Spillvatten Måby 2009. Stockholm - Arlanda Airport*. Linköping: ALcontrol Laboratories.
- Hjortenkrans, D. (2008). *Road traffic metals -sources and emissions*. Kalmar: Kalmar Högskola.
- Huynh, E. (2005). *Kadmiumexponering och människors hälsa*. Lund: Miljöförvaltningen. Lund kommun.
- Hylander, L., Lindvall, A., & Gahnberg, L. (2006). High mercury emissions from dental clinics despite amalgam separators. *Science of the Total Environment* 362 (1-3), 74-84.
- ISS TrafficCare (2007). *Policy för tågvtättar*. Stockholm: ISS TrafficCare.
- Jeppson, U., Baky, A., Hellström, D., Jönsson, H. & Kärrman, E. (2005). *The URWARE Wastewater Treatment Plant Model*. Göteborg: Urban Water.
- Johansson, C., & Burman, L. (2006). *Halter och deposition av tungmetaller i Stockholm 2003/2004*. Stockholm: Institutionen för tillämpad miljövetenskap.
- Jönsson, H., Baky, A., Jeppson, U., Hellström, D. & Kärrman, E. (2005). *Composition of urine, faeces, greywater and biowaste. For utilisation in the URWARE model*. Göteborg: Urban Water
- KemI (1998). KemI: http://www.kemi.se/upload/Forfattningar/KIFS/K98_8.pdf den 13 03 2010
- KemI (2009). Kadmium i fosfatgödselmedel:
<http://www.kemi.se/templates/Page.aspx?id=5251> den 12 03 2010
- KemI (2010a). Begränsningsdatabasen: <http://apps.kemi.se/begransningsdatabas/> den 13 03 2010
- KemI (2010b). Det här är Reach: http://www.kemi.se/templates/Page____4676.aspx den 14 03 2010
- KemI (2010c). Prioriteringsguiden - PRIO:
http://www.kemi.se/templates/PRIOframes____4045.aspx den 19 04 2010

- Kwonpongsagon, S., Waite, D., Moore, S. & Brunner, P. (2007). A substance flow analysis in the southern hemisphere: cadmium in the Australian economy. *Clena Technologies and Environmental Policy* 9 (3), 175-187.
- Käppala (2008). Industrikontroll:
<http://www.kappala.se/default.asp?show=11&varuid=12&uulid=126&ulid=98&lid=1>
 den 25 05 2010
- Käppala (2009a). *Riktlinjer för utsläpp från fordonstvättar inom Käppalaförbundets verksamhetsområde*. Stockholm: Käppalaförbundet.
- Käppala (2009b). Riktlinjer för utsläpp till avlopp från tågtvättar:
http://www.kappala.se/admin/bildbank/uploads/Dokument/Industrikontroll/Riktlinjer_tavgvattar.pdf den 09 04 2010
- Käppala (2009c). ARBETSMATERIAL: Ytbehandlare. Stockholm: Käppalaförbundet.
- Kärrman, E., Erlandsson, Å., Elofsson, M., Olsson, S., Hellström, D., & Björleinius, B. (2008). *Verktyg för systemanalys av VA i omvandlingsområden*. Stockholm: CIT Urban Water Management AB.
- Kärrman, E., Erlandsson, Å., Norström, A. & Stafström, S. (2010). *Kostnader och miljöpåverkan från VA i omvandlingsområden - Vidareutveckling av VeVa. Fallstudie i Värmdö kommun*. Stockholm: CIT Urban Water Management AB.
- Lagerkvist, R. (2004). *Golvskurvatten från industrier och bilverkstäder*. Stockholm: Stockholm Vatten.
- Leander, A. (2008). *Kartläggning av användning av oönskade organiska ämnen och metaller hos verksamheter uppströms Sjölund och Klagshamns ARV*. Malmö: VA SYD.
- Levlin, E., Tideström, H., Kapilashrami, S., Stark, K. & Hultman, B. (2001). *Slamkvalitet och trender för slamhantering*. Stockholm: VAV AB.
- Lindgren, M. (2005). *Funktionskontroll av amalgamavskiljare. April - Juni 2005*. Stockholm: Käppala.
- Lindh, K. (2006). *Rent avlopp Hammarby Sjöstad*. Stockholm: Stockholm Vatten.
- Lindqvist, A. (2002). *Substance flow analysis for environmental management in local authorities*. Linköping: Linköping Universitet.
- Lindström, M. (2007). *Attityder till farliga kemiska ämnen i varor*. Stockholm: Miljöförvaltningen Stockholm Stad, Svenskt Vatten & Kalmar Högskola.
- Lohm, U., Bergbäck, B., Hedbrant, J., Jonsson, A., Svidén, J., Sörme, L. & Östlund, C. (1997). *Databasen Stockhome -Flöden och ackumulativa av metaller i Stockholms teknosfär*. Motala: Linköpings Univeristet, Tema vatten i natur och samhälle.

- Magnusson, J. (2003). *Sammansättning på hushållsspillvatten från Hammarby Sjöstad*. Examensarbete, Institutionen för Samhällsbyggnadsteknik. Luleå: Luleå Tekniska Universitet.
- Miljömålrådets kansli - Naturvårdsverket (2009a). Miljömål: <http://www.miljomal.se/15-God-bebyggd-miljo/Delmal/Avfall-2005-2015/> den 26 03 2010
- Miljömålrådets kansli - Naturvårdsverket (2009b). Miljömål: <http://www.miljomal.se/4-Giftfri-miljo/Delmal/Utfasning-av-farliga-amnen-20072010/> den 13 03 2010
- Månsson, N. & Bergbäck, B. (2007). *Bly, kadmium och Kvicksilver. -Flöden och lager i Stockholms teknofär*. Stockholm: Miljöförvaltningen Stockholm Stad, Stockholm Vatten, Kalmar Högskola.
- Månsson, N. (2009). *Substance Flow Analyses of metals and organic compounds in an urban environment - the Stockholm example*. Kalmar: Kalmar Högskola.
- Månsson, N., Bergbäck, B. & Sörme, L. (2009). Phasing Out Cadmium, Lead, and Mercury. Effects on Urban Stocks and Flows. *Journal of Industrial Ecology*, 94-111.
- Naturvårdsverket (1997). *Oorganisk ytbehandling*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket (2005). *Fordonstvättar - Branschfakta*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket (2008). *Effekter av miljögifter på däggdjur, fåglar och fiskar i akvatiska miljöer*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket (2009). REVAQ-certifiering av reningsverk. Stockholm.
- Naturvårdsverkets författningssamling (2003). NFS 2002:28 Naturvårdsverkets föreskrifter om avfallsförbränning. Stockholm.
- Norström, A., Pettersson, F., Niemelä, M., Agduhr Eronen, S., Wennmalm, S. (2010). ARBETSMATERIAL: *SoFi - Source Finder. - Verktyg för uppströmsarbete*. Stockholm: CIT Urban Water Management AB, Käppalaförbundet.
- Ntziachristos, L. & Boulter, P. (2009). *Road vehicle tyre and brake wear. Road surface wear*. EMEP/EEA.
- Persson, D. & Kuerca, V. (2001). Release of Metals from Buildings, Constructions and Products during atmospheric exposure in Stockholm. *Water Air and soil Pollution: Focus* 1 (3-4), 133-150.
- von Rein, K. & Hylander, L. (2000). Experiences from phasing out the use of mercury in Sweden. *Reg Environ Chang* 1 (3-4), 126-134.

Reisinger, H., Gerald, S., Jakl, T., Quint, R., Müller, B., Reiss, A. & Brunner, P. (2009). Lead, Cadmium and Mercury Flow Analysis - Decision support for Austrian Environmental Policy. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft* 61 (5-6), 63-69.

Sigtuna kommun (2009). *Sigtuna kommun*. Alla tiders mötesplats:
http://www.sigtuna.se/templates/Page____5367.aspx den 08 04 2010

Solna stad (2009). Solnastad: <http://www.solna.se> den 08 04 2010

Soutukorva, Å., Söderqvist, T. & Hasselström, L. (2008). *Miljögifter och nya verktyg ur samhällsekonomiskt perspektiv*. Stockholm: Stockholm stad.

Stockholm-Arlanda Airport (2008). Stockholm-Arlanda Airport:
<http://www.arlanda.se/upload/dokument/Milj%c3%b6/Milj%c3%b6rapportering/Milj%c3%b6rapportering%202008/Stockholm-Arlanda%20Airport%202008.pdf> den 15 06 2010

Stockholm Vatten (2009a). Analysresultat från Berundsen tvätteri. Stockholm.

Stockholm Vatten. (2009b). Riktlinjer för utsläpp till avlopp från fordonstvätt:
http://www.stockholmvatten.se/Stockholmvatten/commondata/infomaterial/Avlopp/tagt_vatt.pdf den 09 04 2010

Stockholm Vatten, SYVAB & Käppala (2008). Måla utan att skada miljön. Hantera kadmium i färg på rätt sätt:
<http://www.stockholmvatten.se/Stockholmvatten/commondata/infomaterial/Avlopp/Kadmiumfolder08.pdf> den 14 04 2010

Stockholm stad (2009). *Stockholms stad*. Hämtat från Frågor och svar:
<http://www.stockholm.se/Fristaende-webbplatser/Fackforvaltningssajter/Trafikkontoret/vinterdack/Fragor-och-svar/> den 21 05 2010

Stålbyggnadsinstitutet (2010). Zink - Stålets rostskydd. Stockholm, Sverige.

SWECO VIAK (2004). *Grundvatten i Stockholm*. Stockholm: Miljöförvaltningen Stockholm Stad.

Svenskt Vatten (2009). *Råd vid emottagande av avloppsvatten från industri och annan verksamhet*. Svenskt Vatten.

Svenskt Vatten (2010). Uppströmsarbete:
http://www.svensktvatten.se/web/P95_Mottagande_av_avloppsvatten.aspx den 16 05 2010

Sveriges riksdag (1998). Svensk författningssamling:
<http://www.riksdagen.se/webbnav/index.aspx?nid=3911&bet=1998:944> den 26 03 2010

Sörme, L., Bergbäck, B. & Lohm, U. (2001). Goods in the Anthroposphere as a metal emission source. *Water, Air and Soil Pollution: Focus* 1 (3-4), 213-227.

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

Sörme, L., Lindqvist, A. & Söderberg, H. (2003). Environmental Assessment. Capacity to Influence Sources of heavy Metals to Wastewater Treatment Sludge. *Environmental Management* 31 (3), 421-428.

Sörme, L. (2006). *Kvicksilver i Stockholm 2002 - en substansflödesanalys*. Stockholm: Miljöförvaltningen Stockholm Stad.

Vendel, C. (2004). *Karaktärisering av hushållspillvatten i Tyktorp 2004*. Stockholm: Käppalaförbundet.

Vienola, S. (2008). ARBETSMATERIAL: Sammanställning av C-klassade fordonstvättar. Stockholm: Käppalaförbundet.

van der Voet, E., van Oers, L., Guinée, J. & Udo de Haes, H. (1999). Using SFA indicators to support environmental policy. *Environmental Science and Pollution Research* 6 (1) 49-58.

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

Weiss, J. (2006). *Rening av tvättvatten från konstnärer - kadmium*. Examensarbete, Miljötekniker. Stockholm: Stockholm Miljöcenter & Stockholm Vatten.

Wickman, T. (2009). EU-projektet ScorePP - Åtgärder för minskade utsläpp av vattendrektivets prioriterade ämnen: <http://insyn.stockholm.se/miljo/document/2009-05-13/Dagordning/8/8.pdf> den 14 03 2010

Personlig kommunikation

Ernarp, Karolina (2010). Processchef tillsyn. Miljö- och Hälsoskyddsförvaltningen. Solna kommun. (den 31 03 2010).

Finnson, Anders (2010). Svenskt vatten. (den 20 04 2010).

Hugmark, Peter (2010). Miljöingenjör. Käppalaförbundet. (den 08 04 2010).

Hugmark, Peter. Norden, Lars. Jamtrot, Arne. Norström, Anna. Niemelä, Merja & Agduhr Eronen, Sara (2010). Referensgruppmöte. Stockholm. (den 18 02 2010).

Käppalaförbundet (2010). (den 18 06 2010).

Leijonmarck, Fredrik (2010). Trafikingenjör. Stadsbyggnadsförvaltningen. Solna kommun. (den 16 04 2010).

Niemelä, Merja (2010). Miljöingenjör. Käppalaförbundet. (den 08 04 2010).

Olsen, Torben (2010). Stadsbyggnadskontoret. Sigtuna kommun. (den 01 04 2010).

Palmgren, Torsten (2010). Teknisk chef. Käppalaförbundet. (den 08 04 2010).

Persson, Åsa (2010). Miljö-och hälsoskyddsinspektör. Miljö- och Hälsoskyddskontoret. Sigtuna kommun. (den 12 05 2010).

Pettersson, Ove (2010). Kvalitets- och miljöansvarig. Sweden Recycling AB. (den 12 05 2010).

Svensson, Gilbert (2010). Adjungerad professor. Luleå tekniska universitet. (den 19 03 2010).

Wallén, Jan (2010). Kart- och mätchef. Stadsbyggnadskontoret. Sigtuna kommun. (den 28 03 2010).

Wihlke, Carin (2010). Kart- och mätningenjör. Stadsbyggnadsförvaltningen. Solna kommun. (den 28 03 2010).

Bilaga 1. Visualisering av SoFi

Intro

W19

SoFi - Ett verktyg för substansflödesanalys av tungmetaller i avloppssystemet

Verktgets uppbyggnad - Dokumentets filkar

```

    graph TD
      INPUT-Övrigt --> Databas
      INPUT --> Databas
      Databas --> Resultat
      Resultat --> Åtgärd
      Intro --- Resultat
      Referenser --- Resultat
    
```

Flikförklaring

De grönmärkade flikarna är inputflikar där du skriver i data om det studerade området, de grönmärkade cellerna är de celler du kan ändra på

INPUT Här läggs data och mätningar in om det studerade området. Här finns valideringsdel.

Databas Databasen. Det finns möjlighet att välja en del av värdena som ska användas

INPUT-Övrigt Här läggs data in om A- och B-verksamheter och andra ev. mätningar. För detta område finns inga schablonvärden.

Resultat Här visas en fördelning över källornas fördelning i % och mängd. Här finns även en jämförelse mellan den specifika och den generella fördelningen för verksamhetsutövare

Åtgärd Här kan reduktion av utsläpp på olika områden testas för att se var det är effektivt att sätta in åtgärder

Referenser Referenser för schablonvärdena

Systembild - studerade källor för tungmetallutsläpp

```

    graph TD
      ARV --> Hushäll
      ARV --> Verksamhetsutövare
      ARV --> Dagvatten
      ARV --> Tillskottsvatten
      ARV --> Övrigt
      Hushäll --> Hushäll
      Verksamhetsutövare --> Fordonstvätt
      Verksamhetsutövare --> Bilverkstad
      Verksamhetsutövare --> Tandvård
      Verksamhetsutövare --> Vtbehandlare
      Verksamhetsutövare --> Tvätteri
      Verksamhetsutövare --> Konstverksamhet
      Verksamhetsutövare --> Förbränningsanläggning
      Verksamhetsutövare --> Tågtvätt
      Dagvatten --> Deposition
      Dagvatten --> Bebyggelse
      Dagvatten --> Trafik
      Deposition --> Bromsbelägg
      Deposition --> Bensin
      Deposition --> Asfalt
      Deposition --> Däck
      Deposition --> Olja
      Bebyggelse --> Koppertak
      Bebyggelse --> Zinktak
      Bebyggelse --> Galvanisering
      Tillskottsvatten --> Tillskottsvatten
      Övrigt --> Industri A & B
      Övrigt --> Flygplats
      Övrigt --> Sjukhus
      Övrigt --> Deponier
      Övrigt --> Gummindustri
      Övrigt --> Färgindustri
      Övrigt --> Bryggerier
      Övrigt --> Laboratorium
    
```

Arbetsgång

Systemdefinition
Vilket område ska studeras? Gör systemav verksamheter och aktiviteter vilka är kopplade som ska beaktas.

Informationsinsamling och bearbetning
Information om området insamlas genom tilläggsmyndigheter. Beroende på kommunansvarsområden mellan avdelningar från kvar någonstans berörd part kan vända sig till och avloppsledningskartor). Stadsbyggnad tillskottsvatten). Miljö- och hälsoskyddsför verksamhetsutövare och eventuella mätningar. Miljörapporter från A och B verksamheter eventuella mätningar från övriga verksamheter

Inmatning
All inmatning av data sker i de gröna flikarna. Fliken "INPUT" om antalet anslutna personer VERKSAMHETER-MÄTNINGAR, för in mätningar och motsvarande enhet för mätvärdena enligt SCHABLON, för in information om de verktyg. Fyll i information om dagvatten och tillskottsvatten om mängder tungmetaller som kommer beräknade under VALIDERING. För in information om verksamheter och Övrigt i fliken "INPUT" - föras in och för Hushäll (Cu), Förbränning (kan emissionskoefficient väljas).

Resultat
Resultaten visas nu i Resultatfliken. Fördelningen som mängd. Kontrollera att fördelningen gör detta för de områden som det för.

Avgränsningar

Intro INPUT INPUT-Övrigt Databas Resultat Åtgärd Referenser

INPUT

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M					
1	Studerat område:																	
2	HUSHÅLL INPUT Enhet Datareferens Datum																	
3	Antal personer anslutna											antal						
4	VERKSAMHETER - MÅ Cd Hg Cu Zn Cr Enhet																	
5	Fordonsvättar <i>personfordon</i>											g/år	antal/år					
6	<i>övriga fordon</i>											g/år	antal/år					
7	Tågsvättar											g/år	antal/år					
8	Tandvård (Praktiker)											g/år	antal					
9	Bilverkstöder											g/år	antal					
10	Ytbehandlare											g/år	m ³					
11	Konströrsverksamhet											g/år	gram					
12	Industrivätt											g/år	kg					
13	Avfallförbränning											g/år	m ³					
14	VERKSAMHETER - SCHABLON																	
15	Fordonsvättar <i>personfordon</i>											antal/år						
16	<i>övriga fordon</i>											antal/år						
17	Tvättade tåg (12 m)											antal/år						
18	Tandvård (antal enheter)											antal						
19	Bilverkstöder (som vätorkar golv)											antal						
20	Vattenmängd ytbehandlare?											m ³						
21	Inflöde kadmium reningsverk?											gram						
22	<i>Kadmiumtillskott konströrsverksamhet?</i>											%						
23	Industrivätt											kg						
24	Vattenmängd avfallförbränning											m ³						
25	DAGVATTEN																	
26	Area hårdgjordyta (där kombinerat avloppssystem)											ha						
27	Area väg (där kombinerat system)											ha						
28	Trafikarbete (där kombinerat system)											km/år						
29	Area koppertak (inom kombinerat system)											ha						
30	Area sinktak (inom kombinerat system)											ha						
31	Andel av året som dubbdäck används											andel						
32	Andel som använder dubbdäck											andel						
33	TILLSKOTTSVATTEN																	
34	Mängd tillskottsvatten											m ³ /år						
35	RESULTATKONTROLL Cd Hg Cu Zn Cr Enhet																	
37	Uppmätt/Beräknad											kg/år						
38	mängd från området																	
39	Med verktyget beräknat											0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	kg/år

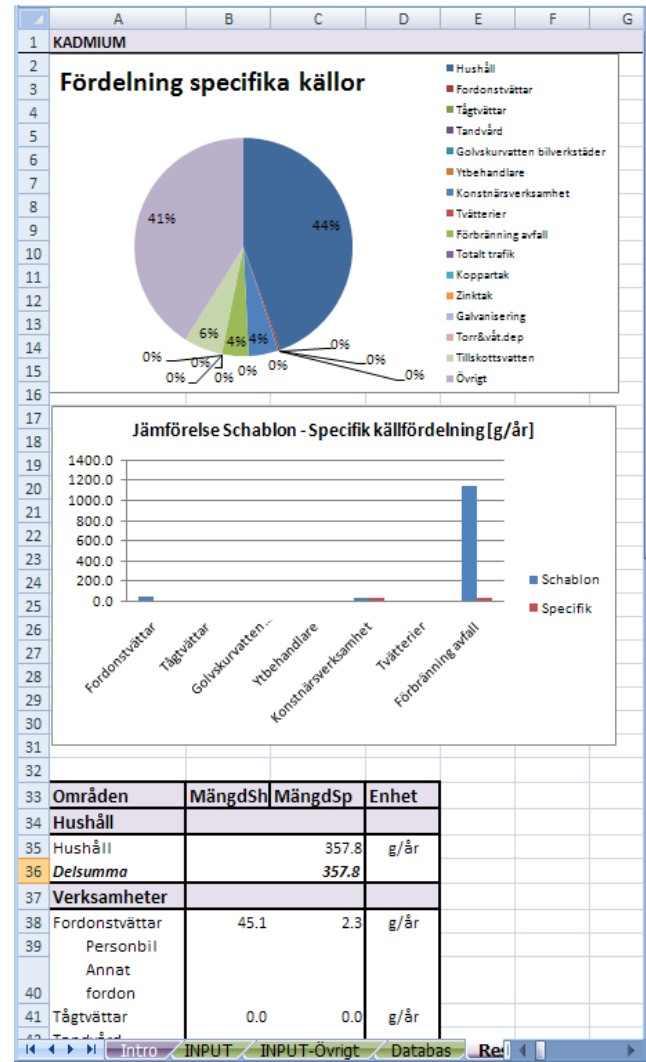
INPUT - Övrigt

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	ÖVRIGT				Cd	Hg	Cu	Zn	Cr	Enhet
2	Flygplats									g/år
3	Sjukhus									g/år
4	Deponier									g/år
5	Gummiindustri									g/år
6	Laboratorium									g/år
7	Färgindustri/måleriföretag									g/år
8	Bryggerier/Läskedryckstillverkning									g/år
9	Övrigt									g/år
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18	Summa				0	0	0	0	0	0 g/år

Databas

	A	B	C	D	E	F	G
1	Hushåll	Cd	Hg	Cu	Zn	Cr	Enhet
2	Hushåll	1.0E-02	3.7E-03	8.0	6.9E+00	2.1E-01	g/(inv*år)
4	Verksamheter	Cd	Hg	Cu	Zn	Cr	
5	<i>Fordonstvättar</i>						
6	Personbil	3E-04		3E-02	5E-02	5E-03	g/fordon
7	Annat fordon	7.5E-04		9E-02	1.5E-01	1.5E-02	g/fordon
8	Tågtvättar	3E-05	6E-05	6E-03	1E-02	1E-03	g/12m tåg
9	Tandvård		2.5				g/(praktik*år)
10	Golvskurvatten	7E-01		3.5E+02	9.1E+02	1.9E+01	g/(verkstad*år)
11	bilverkstäder						
12	Ytbehandlare	1E-01		5E-01	5E-01	5E-01	g/m ²
13	Konstnärsskolor	8E-02					% inkom.
14	Tvätterier	2.6E-05		8.7E-03	1.8E-02	8.7E-04	g/kg
15	Förbränning	0.001	0.001	0.002	0.1	0.002	g/m ³
16	Dagvatten	Cd	Hg	Cu	Zn	Cr	
17	<i>Trafik</i>						
18	Bromsbelägg	1.7E-07		3.8E-04	6.5E-05	1.7E-05	g/km
19	Däck	5.0E-08		1.9E-06	8.0E-05	2.6E-07	g/km
20	<i>Asfalt</i>						
21	odubbat	1.3E-09		1.8E-07	5.4E-07	4.3E-08	g/km
22	dubbat	3.0E-07		4.3E-05	1.3E-04	1.0E-05	g/km
23	Bränsle	6.5E-07		1.1E-04	6.5E-05	3.3E-06	g/km
24	Oljespill	1.3E-09		3.9E-08	1.4E-05		g/km
25	<i>Bebyggelse</i>						
26	Koppartak			1.8			g/(m ² *år)
27	Galvanisering	3.5E-05			3.5		g/(m ² *år)
28	Torr&våt.dep	5.0E-01	1.0E-01	1.5E+01	5.3E+01	2.5	g/(ha*år)
29							
30	Tillskottsvatten	Cd	Hg	Cu	Zn	Cr	
31	Tillskottsvatten	2E-05	5E-06	1.8E-03	6E-03	1E-03	g/m ³
33	reduktionsfaktor						
34	trafik	7E-01					
35	bebyggelse	5E-01					
36	deposition	6E-01					
37							
38	Användning galvanisstål	Cd			Zn		
39	zink	1E-05			2E-02		del
40							

Resultat



Åtgärd

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Ämne	Cd			Enhet		Hg			Enhet
2	Områden	Mängd	Reduktion	NyMängd		Mängd	Reduktion	NyMängd	g/år	
3	Hushåll									
4	Hushåll	357,8		357,76	g/år	125,6		125,56	g/år	
5	Delsumma	357,8		358	g/år	125,6		126	g/år	
6	Verksamhetstö									
7	Fordonstvättar	2,3		2,3	g/år					
8	Personbil									
9	Annat fordon									
10	Tågvtättar	0,0		0,0225	g/år	0,0		0,045	g/år	
11	Tandvård					67,5		67,5	g/år	
12	Golvskurvatten									
13	bilverkstäder	0,3		0,3	g/år					
14	Ytbehandlare	0,0		0	g/år					
15	Konstnär-	35,6		35,56	g/år					
16	Tvättierier	0,0		0	g/år					
17	Förbränning avfall	32,0		32	g/år	40,9		40,9	g/år	
18	Delsumma	70,2		70,2	g/år	108,4		108	g/år	
19	Daqvatten									
20	Trafik									
21	Brombelägg	0,0		0	g/år					
22	Däck	0,0		0	g/år					
23	Axfelt	0,0		0	g/år					
24	*dubbat	0,0		0	g/år					
25	Bränsle	0,0		0	g/år					
26	Oljespill	0,0		0	g/år					
27	Totalt trafik	0,0		0	g/år					
28	Bebyggelse									
29	Koppartak									
30	Zinktak	0,0		0	g/år					
31	Galvanisering -									
32	byggnader	0,0		0	g/år					
33	Torrvt.t.dep	0,0		0	g/år	0,0		0	g/år	
34	Delsumma	0,0		0	g/år	0,0		0	g/år	
35	Tillskottsvatte									
36	Urbant vatten	46,0		46,0	g/år	11,5		11,51	g/år	
37	Delsumma	46,0		46,04	g/år	11,51		11,51	g/år	
38	Övrigt	330,0		330	g/år	0,0		0	g/år	
39	Summa	888		884	g/år	245,5		246	g/år	

Referenser

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	REFERENSER - DATABAS											
2	Ahlman, S., & Svensson, G. (2005). <i>SEWSYS - a tool for substance flows in urban sewer systems</i> . Gothenburg: Urban Water, Chalme											
3	Gorodetskaja, G. (2006). <i>Golvskurvatten från bilverkstäder inom Käppalaverkets upptagningsområde</i> . Stockholm: Käppalaförbundet.											
4	Gryaab. (1999). <i>Provtagningar i referensområden. Etapp 5. Drän-och dagvatten</i> . Göteborg: Gryaab.											
5	Gryaab. (2008). <i>Provtagningar i referensområden 2006/2007 - Hushållsfallvatten Del 1</i> . Göteborg: Gryaab AB.											
6	He, W., Odnevall Wallinder, I., & Leygraf, C. (2001). Comparison between corrosion rates and runoff rates from new and aged											
7	Hjortenkrans, D. (2008). <i>Road traffic metals - sources and emissions</i> . Kalmar: Kalmar Högskola.											
8	Hugmark, Norden, Jamrot, Norström, Nemeä, Agduhr Eronen (den 18 02 2010). Referensgruppmöte. Stockholm.											
9	ISS TrafficCare. (2007). <i>Policy för tågvtättar</i> . Stockholm: ISS TrafficCare.											
10	Johansson, C., & Burman, L. (2006). <i>Halter och deposition av tungmetaller i Stockholm 2003/2004</i> . Stockholm: Institutionen för tillän											
11	Käppala. (2008). <i>Sammanställning av C klassade fordonstvättar</i> .											
12	Käppala. (2009a). <i>Riktlinjer för utsläpp från fordonstvättar inom Käppalaförbundets verksamhetsområde</i> . Stockholm: Käppala.											
13	Käppala. (den 14 08 2009b). Hämtat från Riktlinjer för utsläpp till avlopp från tågvtättar: http://www.kappala.se/admin/bild/											
14	Lagerkvist, R. (2004). <i>Golvskurvatten från industrier och bilverkstäder</i> . Stockholm: Stockholm Vatten.											
15	Lindh, K. (2006). <i>Rent avlopp Hammarby Sjöstad</i> . Stockholm: Stockholm Vatten.											
16	Magusson, J. (2003). <i>Sammansättning på hushållsfallvatten från Hammarby Sjöstad</i> . Luleå: Luleå Teniska Universitet.											
17	Naturvårdsverket. (1997). <i>Organisk ytbehandling</i> . Stockholm: Naturvårdsverket.											
18	Naturvårdsverket. (2005). <i>Fordonstvättar - Branschfakta</i> . Naturvårdsverket.											
19	NFS 2002:28 Naturvårdsverkets författningssamling. "Naturvårdsverkets föreskrifter om avfallsförbränning											
20	Ntziachristos, L., & Boulter, P. (2009). <i>Road vehicle tyre and brake wear. Road surface wear</i> . EMEP/EEA.											
21	Persson, D., & Kuerca, V. (2001). Release of Metals from Buildings, Constructions and Products during atmospheric exposure											
22	Stockholm Vatten. (2009). <i>Analysresultat från Berundsén tvätterier</i> . Stockholm.											
23	Stockholm Vatten. (den 21 12 2009). <i>Tågvtättar</i> . Hämtat från Riktlinjer för utsläpp till avlopp från fordonstvätt: http://www.stc											
24	Ståbyggnadsinstitutet. (den 11 02 2010). <i>Zink - Stålets rostskydd</i> . Stockholm, Sverige.											
25	SWEKO VIAK. (2003-2004). <i>Grundvatten i Stockholm</i> . Stockholm: Miljöförvaltningen. Stockholms Stad.											
26	Svensson, G. (den 19 03 2010). Personlig kommunikation.											
27	Weiss, J. (2006). <i>Rening av tvättvatten från konstnärer - kadmium. Examensarbete</i> . Stockholm Miljöcenter Stockholm Vatten.											
28	Vendel, C. (2004). <i>Karakterisering av hushållsfallvatten i Tyktorp 2004</i> . Stockholm: Käppalaförbundet.											