



UPPSALA
UNIVERSITET



W13012

Examensarbete 30 hp
Juli 2013

Spårning av miljöstörande ämnen i Uppsala stads spillvattennät

Emanuel Isaksson

REFERAT

Spårning av miljöstörande ämnen i Uppsala stads spillvattennät

Emanuel Isaksson

Till dagens avloppssystemen är hushåll, industrier och diverse andra verksamheter påkopplade. Avloppsvattnet samlas upp i reningsverk där ett näringsrikt slam produceras. Slammet innehåller inte bara näring utan även ämnen från alla verksamheter som finns i städerna. För att minska flödet av miljöstörande ämnen till reningsverk och för att skapa en hållbar återföring av växtnäring har Svenskt Vatten tagit fram ett certifikat kallat REVAQ. Certifikatet kräver dels en bra slamkvalitet men i arbetet med certifieringen ingår även ett systematiskt uppströmsarbete för att kartlägga de miljöstörande ämnenas utsläpp. Uppsala Vatten och Avfall AB, ett kommunalägt bolag som driver Uppsalas spillvattennät och reningsverket Kungsängsverket, har nyligen fått en REVAQ-certifiering. Syftet med detta projekt var att kartlägga flödet av olika tungmetaller till reningsverket.

För att lokalisera källorna till de miljöstörande ämnena i Uppsala och för att kunna jämföra resultaten med en undersökning som gjordes 1989 delades Uppsala spillvattennät upp i 13 områden och två typer av provtagningar gjordes, en flödesproportionell och en passiv. En jämförelse mellan provtagningsmetoderna gjordes även för att Uppsala Vatten AB i framtiden endast ska behöva använda den ena, mindre komplicerade metoden, vid nästa tungmetallspårning men ändå kunna få resultat ger nästan lika mycket information som från den mer komplicerade metoden. Dessutom gjordes en analys i SoFi, ett Excelverktyg som identifierar källor till utsläpp av miljöstörande ämnen i städer.

Resultaten av den flödesproportionella provtagningen visar att halterna av bly, kvicksilver och kadmium har minskat sedan 1989 medan halterna av zink, koppar, krom och nickel har ökat i industriområdena I1 och I2. För bostadsområdena S5 och Bäcklösa hade halterna av kvicksilver, koppar och bly minskat sedan 1989 medan halterna av kadmium, zink och krom ökat. Kvoterna mellan metallhalterna och fosforhalterna i proven indikerar dock att halterna av kadmium och zink kan, i jämförelse med tidigare studier, ha varit för höga för att komma från bostadsområden. Industriområdet I1 stack ut som det område med de högsta halterna av flera metaller. Även om halterna av vissa metaller ökat sedan 1989 hade endast mängderna av krom, nickel och zink ökat medan kadmium, koppar, kvicksilver, bly och fosfor minskat. På grund av de höga vattenflödena från bostadsområdena kom en större procentuell andel av kadmium, zink och silver från dessa jämfört med industriområdena. Resultaten av den passiva provtagningen visar att området Ultuna stack ut med högst koncentration av flera metalljoner. Analysen som gjordes i SoFi tyder på att Uppsala Vatten och Avfall AB bör sätta in insatserna för att minska tungmetallflödet av kadmium, koppar, zink, krom och kvicksilver till Kungängsverket i bostadsområdena snarare än industriområdena vilket är en generell slutsats som kan dras från denna studie. Jämförelsen mellan provtagningsmetoderna visade att det fanns ett linjärt samband ($p < 0,05$) mellan de båda provtagningsmetoderna för provtagning av spillvatten under två veckor med en ungefärlig temperatur av 8 °C. Sambandet måste dock valideras för att kunna användas i framtida provtagningar.

*Institutionen för energi och teknik, Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU)
Box 7014, SE-750 09 Uppsala, Sverige*

ABSTRACT

Tracing hazardous substances in the wastewater system of Uppsala city

Emanuel Isaksson

To the sewer systems households, industries and other activities are connected. The wastewater is collected at treatment plants where a nutritious sludge is produced. The sludge does not only contain nutrients, but also hazardous substances originating from different activities in society. To reduce the flow of hazardous substances to treatment plants and to create a sustainable recycling of plant nutrients the Swedish Water & Wastewater Association has developed the certificate system REVAQ. This certificate requires a good quality of the sludge but also that the treatment plants maps the origin of the unwanted substances. Uppsala Water and Waste Inc., a municipally owned company that runs Uppsala's water and wastewater system, just recently got the REVAQ-certificate. The objective of this project was to map the flow of heavy metals to the wastewater treatment plant.

To locate the origin of the hazardous substances in Uppsala and to compare the results with a study done 1989, the flow of hazardous substances in the sewage system was measured with two methods, flow proportional measurements which were more expensive and complicated, and passive measurement, which were simpler and cheaper. A comparison between the measurement methods was done in order to be able to use only the passive measurement method at the next sampling session but still be able to get results almost as informative as the more complicated flow proportional method. Also an analysis with SoFi, an Excel tool which identifies origins of hazardous substances in cities, was done.

The results from the flow proportional sampling show that the concentrations of lead, mercury and cadmium has been reduced since 1989 while the concentrations of zinc, copper, chromium and nickel has increased in the industrial areas I1 and I2. In the residential areas S5 and Bäcklösa the concentrations of mercury, copper and lead has been reduced since 1989 while the concentrations of cadmium, zinc and chromium had increased. Though, the ratios between the concentrations of metal and phosphorous in these areas, indicate that the concentrations of cadmium and zinc might be too high to come from a residential area. The industrial area I1 was distinguished as the area with the highest concentration of many metals. Even though the concentrations of some metals had increased since 1989, only the flows of chromium, nickel and zinc had increased since 1989. A higher percentage of the flows of cadmium, zinc and silver came from the residential areas compared to the industrial areas. The results from the passive sampling show that the university area Ultuna had the highest concentrations of many metals. The analysis with SoFi indicates, just as the measurements, that the Uppsala Water and Waste Inc. interventions to reduce the flow of cadmium, copper, zinc, chromium and mercury to the wastewater treatment plant Kungsängsverket should be focused on the residential areas rather than the industrial areas. The comparison between the sampling methods showed that there was a linear relationship ($p < 0.05$) between the results of the two sampling methods when a sampling is done for two weeks and at a temperature of 8 °C. The relationship must be validated before it is used in future samplings.

*Department of Energy and Technology, Swedish University and Agricultural Sciences (SLU)
Box 7014, SE-750 07 Uppsala, Sweden*

FÖRORD

Detta examensarbete är gjort inom civilingenjörsutbildningen Miljö- och vattenteknik som ges av Uppsala Universitet i samarbete med SLU – Sveriges Lantbruksuniversitet. Arbetet har utförts åt Uppsala Vatten och Avfall AB och omfattar 30 hp.Handledare för arbetet var utredningsingenjör Caroline Holm på Uppsala Vatten och Avfall AB och ämnesgranskare var professor Håkan Jönsson vid Institutionen för energi och teknik, Sveriges Lantbruksuniversitet.

Jag vill först och främst tacka min handledare Caroline Holm som ställ upp och hjälpt mig varje gång jag kört fast. Tack vare din hjälp hade jag förvånansvärt lite ångest under hela arbetet! Jag vill även tacka min ämnesgranskare Håkan Jönsson som har kommit med bra input när jag inte vetat hur jag ska gå vidare. Tekniker Andreas Jansson i ledningsnätsgruppen vid Uppsala Vatten AB ska ha ett stort tack för all hjälp han bistod med under provtagningen. Det var skönt att det var du höll i min säkerhetslina när jag var nere i de mörka och trånga kloakerna Andreas! Jag vill också tacka Alexandra Zamparas och Camilla Olofsson på miljökontoret, Nicklas Bergqvist på MJK, Bertil Lustig, Ernst-Olof Swedling, Hans Holmström och Lars Göran Larsson på Uppsala Vatten AB.

Jag vill även passa på att tacka alla kollegor på Uppsala Vatten och Avfall AB där jag känt mig välkommen sedan dag ett. Det var kul att lära känna er!

Emanuel Isaksson

Uppsala, juni 2013

*Copyright © Emanuel Isaksson och Institutionen för energi och teknik, Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU)
UPTEC 13012 ISSN 1401-5765
Publicerad digitalt vid Institutionen för geovetenskaper, Uppsala Universitet
Uppsala 2013*

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Spårning av miljöstörande ämnen i Uppsala stads spillvattennät

Emanuel Isaksson

För att förbättra den sanitära situationen i svenska städer lades underjordiska avloppsvattenledningar i slutet av 1800-talet där vattnet leddes ut till sjöar och hav. I och med att det orenade avloppsvattnet kunde transporteras ut ur städerna försvann de sjukdomar som är relaterade till dålig sanitet, däribland kolera. I takt med att städer industrialiserades började mer vatten strömma i spillvattennätet som då började fungera som avlopp för industrier och diverse verksamheter som dök upp i städer. Efter flera miljökatastrofer som kunde härledas till att det orenade avloppsvattnet strömmade ut i sjöar och hav, övergödning exempelvis, började avloppsvatten renas. Idag renas avloppsvattnet på fosfor, kol och ofta kväve i avloppsreningsverk. Från reningsprocesserna bildas slam som innehåller näring men även spår av många ämnen som används i städerna av industrier och diverse verksamheter.

Det råder idag en debatt i Sverige angående vad som ska göras med slammet. Den ena sidan vill återföra näringen i slammet medan den andra sidan är skeptisk på grund av att slammet innehåller farliga ämnen som finns i samhället. För att minska flödet av miljöstörande ämnen till reningsverk och för att skapa en hållbar återföring av växtnäring har Svenskt Vatten tagit fram ett certifikat kallat REVAQ. Certifikatet kräver en bra slamkvalitet men i arbetet med certifieringen ingår även ett uppströmsarbete för att kartlägga de miljöstörande ämnens utsläpp. Uppsala Vatten och Avfall AB, ett kommunalägt bolag som driver Uppsalas reningsverk Kungsängsverket, har nyligen fått en REVAQ-certifiering.

Huvudsyftet med examensarbetet har varit att kartlägga utsläpp av flera metaller i Uppsalas spillvattennät samt att jämföra utsläppen av dessa metaller mellan dels de 13 områden som spillvattennätet delats in i och dels med de mätningar som gjordes 1989. Dessutom gjordes en jämförelse mellan två olika metoder att mäta tungmetaller på (passiv och flödesproportionell) och en beräkning i Excelverktyget SoFi gjordes.

Resultaten av den flödesproportionella provtagningen visar att halterna av bly, kvicksilver och kadmium har minskat sedan 1989 medan halterna av zink, koppar, krom och nickel har ökat i industriområdena I1 och I2. För bostadsområdena S5 och Bäcklösa hade halterna av kvicksilver, koppar och bly minskat sedan 1989 medan halterna av kadmium, zink och krom ökat. Kvoterna mellan metallhalterna och fosforhalterna i proven indikerar dock att halterna av kadmium och zink kan, i jämförelse med tidigare studier, vara höga för att vara representativa för bostadsområden. Industriområdet I1 stack ut som området med de högsta halterna. Även om halterna av vissa metaller ökat sedan 1989 var det endast flödena av krom, nickel och zink som ökat medan flödena av kadmium, koppar, kvicksilver, bly och fosfor minskat. På grund av de höga vattenflödena kom en större andel av kadmium, zink och silver från bostadsområdena än från industriområdena. Resultaten av den passiva provtagningen visar att området Ultuna hade högst koncentrationer av flera metalljoner.

Analysen som gjordes i SoFi tyder på att insatserna för att minska flödena av kadmium, koppar, zink, krom och kvicksilver till Kungängsverket bör sättas in i bostadsområdena, snarare än i industriområdena.

Jämförelsen mellan provtagningsmetoderna visade att det fanns ett linjärt samband ($p < 0,05$) mellan koncentrationen i den flödesproportionella provtagningen och den ackumulerade mängden joner i den passiva provtagningen vid en provtagningstid av två veckor och vid en ungefärlig temperatur av 8 °C. Sambandet måste dock valideras för att kunna användas i framtida provtagningar.

Ordlista

Aktivslamprocess (ASP) – Ett reningssteg i konventionella svenska reningsverk där BOD och kväve renas bort.

BOD – Biokemisk syreförbrukning är ett mått på hur mycket biologiskt nedbrytbart material det finns i vatten.

Dagvatten – Regnvatten och vatten från snösmältning i en stad.

Essentiella spårelement – Grundämnen som anses livsviktiga för växter och djur. Till essentiella element räknas: B, Ca, Cl, Co, Cr, Cu, F, Fe, H, I, K, Mg, Mn, Mo, Ni, Na, S, Si, Se och Zn.

Flockning – I reningsverk förbättras flockningen av flockningsmedel som gör att vissa ämnen klumpar ihop sig och blir större.

Gedigen form – Utan inblandning av annat material.

Givare – Apparat som samlar in, konverterar eller distribuerar en given signal till exempel syrehalt.

Handelsgödsel – Även kallat konstgödsel som ofta består av kväve, fosfor och kalium.

Hygienisering – Behandling som inaktiverar sjukdomsalstrande organismer (patogener).

Miljöstörande ämnen – i denna rapport är det silver, guld, vismut, kadmium, krom, koppar, kvicksilver, nickel, bly, tenn, volfram, zink och fosfor.

Nonylfenol - Ett svårnedbrytbart, bioackumulerande ämne som är giftigt för vattenlevande organismer.

Pe – Personekvivalent räknat som 70 g BOD/dygn.

PAH - Polyaromatiska kolväten, en samlingsparameter som omfattar många kemiska föreningar, varav flera är cancerogena.

PCB - Polyklorerade bifenyler, föreningar med stor tendens till bioackumulation, och som orsakar fortplantningsstörningar hos däggdjur.

Recipient – Den mottagande, för avlopp ofta vattendrag, sjöar och/eller hav.

Servisledning – Ledning mellan fastighet och det allmänna spillvattennätet.

Slamålder – Ett mått på hur länge slammet i genomsnitt är kvar i ASP. En kvot mellan medelmängden slam i luftningsbassängen och den mängd slam som pumpas bort.

Spillvatten – Vatten som endast kommer från avlopp det vill säga inte blandat med dagvatten.

Substansflödesanalys (SFA) – En analys som beskriver flödet av en viss substans (X).

TS – Torrsubstans. Bestäms genom att väga ett prov före och efter en uppvärmning till 105 °C. Hur länge provet ska vara uppvärmt beror på provets storlek.

Innehållsförteckning

REFERAT	i
Spårning av miljöstörande ämnen i Uppsala stads spillvattennät	i
ABSTRACT	ii
FÖRORD.....	iii
POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING.....	iv
1. INLEDNING.....	1
1.1. SYFTE	1
1.2. AVGRÄNSNINGAR	1
2. BAKGRUND.....	2
2.1. AVLOPPSSYSTEM GENOM HISTORIEN I SVERIGE.....	2
2.2. DAGENS AVLOPPSRENINGSVVERK	3
2.2.1. Grovrening.....	3
2.2.2. Sedimentering.....	3
2.2.3. Kemisk rening	4
2.2.4. Biologisk rening	4
2.2.5. Kväveavskiljning.....	4
2.2.6. Slambehandling	4
2.3. SLAM	5
2.3.1. Vad innehåller slam?	5
2.3.2. Vad används slammet till?.....	6
2.4. ÅTERFÖRING AV SLAM TILL JORDBRUKSMARK.....	6
2.4.1. Slamspridning och lagstiftning.....	6
2.4.2. Risk med återföring av slam till jordbruksmark.....	7
2.4.3. Organisationer emot slamspridning.....	7
2.4.4. Nyttan med att återföra slam till jordbruksmark	8
2.4.5. Organisationer för slamspridning	8
2.5. REVAQCERTIFIERING	9
2.5.1. Krav för att få certifikat.....	9
2.5.2. Prioriterade spårelement.....	10
2.5.3. REVAQ om kadmium	10
2.5.4. Pris på REVAQ-certifierat slam.....	10
2.6. AVLOPPSSYSTEM I UPPSALA.....	10
2.6.1. Uppsalas ledningsnäts utbyggnad.....	10
2.6.2. Uppsalas ledningsnät idag	11

2.6.3.	Kungsängsverkets utbyggnad.....	13
2.6.4.	Kungsängsverket idag	13
2.7.	PRIORITERADE SPÅRÄMNINGEN I UPPSALAS SLAM	14
2.7.1.	Årsflöden av metaller till Kungsängsverkets slam	16
2.8.	TIDIGARE STUDIER	16
2.8.1.	Spårning från 1988-1989.....	16
2.8.2.	Spårning från 1989 – Etapp 2.....	21
2.8.3.	Undersökning av källor av kadmium i centrala Eskilstuna	21
2.8.4.	Föroreningar från hushåll till Ryaverket i Göteborg	21
2.8.5.	Studie av farliga ämnen i Uddebo avloppsreningsverk	21
2.8.6.	Källor till tungmetallutsläpp i Stockholm	22
2.8.7.	Kartläggning av tungmetallutsläpp i Keighley Marley, England	22
2.8.8.	Guld i avloppsvatten.....	22
2.8.9.	Tungmetall/fosfor-kvoter i avloppsvatten	22
2.8.10.	Kartläggning för ursprung av tungmetaller i slam.....	23
2.8.11.	Flödesanalys av spårelement från källa till slam	23
3.	MATERIAL OCH METODER	25
3.1.	FLÖDESPROPORTIONELL PROVTAGNING	25
3.1.1.	Metaller som analyserades	25
3.1.2.	Provtagare ISCO 6712C	25
3.1.3.	Flödesmätare	26
3.1.4.	Placering av provtagare	27
3.1.5.	Tillvägagångssätt.....	27
3.1.6.	Vattenflöde i rör	28
3.1.7.	Provhantering	28
3.1.8.	Analys av metaller av ALS Scandinavia	29
3.2.	PASSIV PROVTAJNING.....	30
3.2.1.	Passiv provtagare - Ecoscope	30
3.2.2.	Analys av metaller.....	31
3.2.3.	Utförande.....	31
3.3.	JÄMFÖRELSE MELLAN PROVTAJNINGARNA	32
3.4.	SOFI.....	32
3.4.1.	Så fungerar SoFi.....	33
3.4.2.	Indata till SoFi	34
3.4.3.	SoFi -utförande.....	35

4.	RESULTAT	36
4.1.	FLÖDESPORPTIONELL PROVTAGNING.....	36
4.1.1.	Vattenflöde	36
4.1.2.	Guld	37
4.1.3.	Vismut och silver.....	37
4.1.4.	Kadmium	38
4.1.5.	Koppar och zink	38
4.1.6.	Krom, nickel och volfram.....	39
4.1.7.	Kvicksilver	40
4.1.8.	Bly	41
4.1.9.	Tenn.....	41
4.1.10.	Fosfor.....	42
4.1.11.	Kadmium/fosfor-kvot	42
4.1.12.	Tungmetallhalter/fosforhalter av vissa metaller	43
4.1.13.	Flöden av metaller	43
4.2.	PASSIV PROVTAGNING.....	44
4.2.1.	Kadmium, silver och kvicksilver.....	44
4.2.2.	Koppar	45
4.2.3.	Nickel	45
4.2.4.	Bly och krom	45
4.2.5.	Zink	46
4.2.6.	Fosfor.....	47
4.2.7.	Kadmium/fosfor-kvot	47
4.3.	JÄMFÖRELSE MELLAN ISCO OCH ECOSCOPE	48
4.3.1.	Ecoscope mot ofiltrerade halter	48
4.3.2.	Ecoscope mot filtrerade halter	49
4.3.3.	Ecoscope mot flöden av metaller.....	50
4.4.	SOFI – UTSLÄPP FRÅN OLIKA VERKSAMHETER.....	50
4.4.1.	Kadmium	50
4.4.2.	Kvicksilver	51
4.4.3.	Koppar	51
4.4.4.	Zink	52
4.4.5.	Krom.....	52
5.	DISKUSSION.....	53
5.1.	PROVTAGNINGSRISULTAT	53

5.1.1.	Flödestabell	53
5.1.2.	Guld	54
5.1.3.	Silver	54
5.1.4.	Vismut	54
5.1.5.	Kadmium	54
5.1.6.	Krom.....	55
5.1.7.	Koppar	55
5.1.8.	Kvicksilver	56
5.1.9.	Nickel	56
5.1.10.	Bly	56
5.1.11.	Tenn.....	57
5.1.12.	Volfram	57
5.1.13.	Zink	57
5.1.14.	Fosfor.....	57
5.1.15.	Felkällor i undersökningarna.....	58
5.2.	REGRESSONSANALYS	58
5.2.1.	Ecoscope mot ofiltrerade halter.....	58
5.2.2.	Ecoscope mot filtrerade halter.....	59
5.2.3.	Ecoscope mot flöden av metaller.....	59
5.2.4.	Alternativ analys.....	59
5.3.	HÄR BÖR INSATSERNA SÄTTAS IN	60
6.	SLUTSATS.....	60
6.1.	FORTSATT FORSKNING	60
	Referenser.....	62
	Bilaga 1	69
	Så fungerar ISCO 6712C.....	69
	Programmering av provtagare	69
	Bilaga 2	70

1. INLEDNING

I Sveriges tätorter är nästan alla människor anslutna till kommunala avloppsreningsreningsverk (Naturvårdsverket, 2008a). Till avloppsreningsreningsverk samlas allt som de anslutna väljer att spola ner i avloppen. Avloppsvattnet samlas upp för att renas på kväve, biologiskt nedbrytbara substanser (BOD) och fosfor innan vattnet släpps ut till en sjö eller annan recipient (Naturvårdsverket, 2008a). I reningsverket produceras en restprodukt kallad *slam* som innehåller i medelhalt ca 3 % fosfor av TS och 3,5 % kväve av TS (Svenskt Vatten, 2007). Slammet består dock inte bara av näring utan även av miljöstörande ämnen som tungmetaller. Det som återstår när slammet tagits bort släpps ut till recipient (Naturvårdsverket, 2012a).

Det finns idag en debatt kring vad som ska göras med slammet från avloppsreningsreningsverk. Den ena sidan ser värdet i slammet och vill återföra näringen till jordbruksmark. Den andra sidan är mer skeptisk och menar att det, utöver tungmetaller, finns ett stort antal okända ämnen i slammet som inte hör hemma på de värdefulla jordbruksmarkerna.

För att minska flödet av miljöstörande ämnen till reningsverk och för att skapa en hållbar återföring av växtnäring har Svenskt Vatten tillsammans med de berörda aktörerna, Lantbrukarnas Riksförbund, Lantmännen, Svensk Dagligvaruhandel samt Naturvårdsverket tagit fram ett certifikat för avloppsreningsverk kallad REVAQ (Finnsson, 2012). Certifikatet kräver dels en bra slamkvalitet men i arbetet med certifieringen ingår även ett systematiskt uppströmsarbete för att kartlägga de miljöstörande ämnernas utsläpp. Uppsala Vatten och Avfall AB (UVA), ett kommunalägt bolag som bland annat driver Uppsalas avloppsreningsverk Kungsängsverket, har nyligen fått REVAQ-certifikat.

1.1. SYFTE

Detta projekt syftar till att kartlägga utsläpp av flera olika metaller i Uppsalas spillvattennät samt att jämföra utsläppen av dessa metaller mellan dels de 13 olika områden som spillvattennätet delats upp i, dels med mätningar som gjordes 1989. En jämförelse mellan två olika provtagningsmetoder ska göras och dessutom ska en beräkning med Excelverktyget SoFi utföras för att utforska var insatserna i uppströmsarbetet bör sättas in för att minska utsläppen på effektivaste sätt.

1.2. AVGRÄNSNINGAR

Denna studie ämnar inte forska i vilka åtgärder som ska sättas in för att minska utsläppen.

2. BAKGRUND

De avloppsreningsverk vi har i Sverige idag har utvecklats stegvis. Epidemier eller miljöproblem har bidragit till utvecklingen. De första reningsverken byggdes under 1900-talet och idag finns över 2000 kommunala reningsverk i Sverige. Till dagens avloppsreningsverk kommer spillvatten från både hushåll och industrier. Avloppsslammet som bildas innehåller dels näring men även miljöstörande ämnen. För att ta tillvara på näringen sprids en del av slammet på jordbruksmark men det tvistas kring hur slammet bör användas eller kvittblivas.

2.1. AVLOPPSSYSTEM GENOM HISTORIEN I SVERIGE

Den sanitära situationen har historiskt sett varit odräglig för människor som bott i städer i Sverige (Bernes & Lundgren, 2009). Fram till 1600-talet var städerna fortfarande små men folk bodde trångt. Latrinavfall och sopor hamnade på gårdar eller gator och i de trångbodda städerna blev den sanitära situationen katastrofal. För att komma till rätta med den sanitära situationen byggdes rännstenar och diken som kunde leda avfallet till vattendrag, sjöar eller hav. När städer växte, till exempel ökade Stockholms befolkning från 10 000 till 60 000 personer under 1600-talet, blev sjöar och vikar kraftigt förorenade. Eftersom samma sjöar som fick ta emot avfallet utnyttjades som dricksvattentäkter spreds sjukdomar och många människor dog. Enligt Bernes och Lundgren (2009) var medellivslängden på 1860-talet upp emot 15 år lägre i städer jämfört med på landsbygden.

I Sverige blev problemen med dåliga sanitära förhållanden större i och med att urbanisering och industrialisering drog igång på 1800-talet (Bernes & Lundgren, 2009). Den påskyndande urbaniseringen gjorde att städerna snabbt ökade i folkmängd och till exempel dubblade Stockholm sin befolkning mellan 1870-talet och 1890-talet. År 1834 kom koleran till Sverige för första gången vilket skördade många offer. När koleraepidemierna härjade i Sverige blev det tydligt att sjukdomens spridning hade en stark koppling till konsumtion av förorenat vatten. Det, i kombination med den tekniska utvecklingen, ledde i sin tur till att underjordiska dricksvattenledningar drogs in i städer i slutet av 1800-talet. Problemen med stanken från den ökande mängden avfall på gator kvarstod dock. Lösningen på detta problem blev att dra underjordiska ledningar ut till åar, sjöar eller hav (Bernes & Lundgren, 2009). De första avloppsledningsnäten hade börjat läggas.

Att de större städernas invånare under slutet av 1800-talet förseddes med färskt vatten och sedan kunde bli av med det använda vattnet ledde till en dramatisk förbättring av hälsotillståndet (Bernes & Lundgren, 2009). Koleran kom aldrig tillbaka och medellivslängden ökade markant.

I början av 1900-talet i Sverige fick det tidigare kretsloppssystemet, där latrinan återanvändes i jordbruket, ställa sig åt sidan dels tack vare att handelsgödsel togs i bruk samt för de påtagliga hygieniska och estetiska fördelarna vattenklosetten innebar. Även om sjöar och vattendrag blev förorenade med vattenklosetten värderades den förbättrade levnadsstandarden högre (Bernes & Lundgren, 2009).

Med industrialiseringen började industrier blomstra i Sverige. Med det nya avloppsnätet började även utsläppen öka drastiskt. Det var framför allt massfabriker, pappersbruk och sockerbruk som stod för utsläppen (Bernes & Lundgren, 2009). Med de ökade utsläppen från

fabriker och det ökade humanavfallet från vattenklosetten blev vattendragen eller sjöarna så kraftigt förorenade att bottnar fick syrebrist, fisk dog och en väldig stank spreds kring recipienten. Problemet med de förorenade städerna hade inte lösts, endast flyttats. Ett sätt att behandla avloppsvattnet behövdes.

De allra första avloppsreningsverken i Sverige byggdes på 30-talet och innebar en mekanisk rening där större partiklar separerades från utgående vatten (Bernes & Lundgren, 2009). De första avloppsreningsverken med en biologisk rening byggdes redan på 50-talet men det var först på 60- och 70-talen som den stora utbyggnaden skedde (Berg, 2013). Den biologiska reningen ökade från 50-talet och framåt i stora delar av Sverige (i Norrland med låg befolkningstäthet samt god utspädning i älvarna ansågs inte reningen lika viktig) på grund av den paratyfusedemi som bröt ut 1953 i Alvesta i Småland (Augustinsson, 2003). Orsaken till epidemin var dålig hygien vid ett slakteri och en debatt blossade upp i media som resulterade i utbyggnader av biologisk rening i avloppsreningsverk (Uppsala Kommun, 1996).

På 70-talet skedde ytterligare en utbyggnad av avloppsreningsverken och nu infördes fosforavskiljning (Uppsala Kommun, 1996). Sverige gick internationellt sett i bräschen för fosforavskiljning från avloppsvattnet (Augustinsson, 2003). Anledningen till utbyggnaden var en strävan att minska den ökade övergödningen som orsakades bland annat av att fosforbaserade tvättmedel tagits i bruk.

I början 80-talet kom sedan den första kväveavskiljningen in i reningsprocessen för avloppsreningsverken (Uppsala Kommun, 1996). En bidragande orsak var att ett större antal sälar dött på västkusten och misstankarna lades på att det var dåligt renat avloppsvatten som orsakade säldöden. För att minska kvävetillförseln till havet och förbättra dess tillstånd ställdes krav på kväveavskiljning för kustbaserade avloppsreningsverk från Strömsund till Norrtälje (Svenskt Vatten, 2010).

2.2. DAGENS AVLOPPSRENINGSVERK

Alla kommuner i Sverige är enligt miljöbalken skyldiga att samla upp och rena avloppsvatten från samlad bebyggelse så att det kan släppas ut utan olägenheter som övergödning (Svenskt Vatten, 2007). I Sverige finns det idag strax över 2000 kommunala avloppsreningsverk (Svenskt Vatten, 2006). Det finns olika typer av strukturer på avloppsreningsverk men i princip har alla konventionella reningsverk i Sverige flertalet av de processer som redovisas nedan.

2.2.1. Grovrening

Allt vatten som kommer till konventionella reningsverk går först igenom en grovrening. I grovreningen avskiljs partiklar och grövre föroreningar i avloppsvattnet (Svenskt Vatten, 2010). Grovreningen består av galler, silar eller sandfång och renar bort grövre och tyngre partiklar som kaffesump eller träbitar. Huvudsyftet med grovreningen är att sortera bort material som kan störa följande reningssteg (Svenskt Vatten, 2010).

2.2.2. Sedimentering

Efter varje reningssteg i ett konventionellt reningsverk följer normalt sett en sedimentering (Svenskt Vatten, 2010). Den sedimentering som sker precis efter grovreningen kallas

försedimentering och sedimenteringen i slutet av processen kallas slutsedimentering. Principen med sedimentering är att avskilja partiklar som är tyngre än vatten. Syftet med sedimentering är dels att avlägsna partiklar som kan störa efterföljande reningssteg, dels att behålla största möjliga andel av slammet i reningsverket samt att säkerställa kvaliteten på det vatten som når recipienten (Svenskt Vatten, 2010).

2.2.3. Kemisk rening

Syftet med kemisk rening i avloppsreningsverk är att rena avloppsvattnet från fosfor (Svenskt Vatten, 2010). Via tillsats av en fällningskemikale fälls fosfor ut och aggregeras till tyngre partiklar och flockar, varför den sedan sedimenterar och blir till slam. Ofta sker fällningen av fosfor både i början och i slutet av reningsprocessen. Anledningen till att inte all fosfor renas bort i början av reningsprocessen är att de mikroorganismer som finns i det biologiska reningssteget behöver fosfor, se stycke 2.2.4 Biologisk rening. Fosforreduktionen är hög vid kemisk fällning och varierar grovt mellan 80 – 95 % (Svenskt Vatten, 2010).

2.2.4. Biologisk rening

I det biologiska reningssteget omvandlas och koncentreras föroreningar med hjälp av mikroorganismer (Svenskt Vatten, 2010). I det biologiska reningssteget används vanligen aktiv slamprocess, ASP, där rätt mängd slam återcirkuleras för att hålla rätt koncentration av mikroorganismer i processen (Carlsson B. , 2012). Till mikroorganismer räknas bland annat bakterier, svampar, protozoer och alger. Mikroorganismer används för att bryta ner det organiska materialet som finns i avloppsvattnet. Mikroorganismerna fångas sedan upp i sedimentering och lämplig mängd recirkuleras och resterande andel blir överskottsslam. I den biologiska reningen omvandlas en del av det kväve som finns i avloppsvattnet till kvävgas (Hallin, 2012).

2.2.5. Kväveavskiljning

Kvävet som kommer till avloppsreningsverket kommer huvudsakligen från oss människor och utsöndras framför allt med urinen (Svenskt Vatten, 2010). I en biologisk kväveavskiljning omvandlas det lösa kvävet via nitrifikation och denitrifikation till kvävgas som avgår till atmosfären. Det är långt ifrån alla avloppsreningsverk som har kväveavskiljning i Sverige idag men år 2002 var över 70 % av alla hushåll som var anslutna till de kustnära reningsverken anslutna till reningsverk med kväveavskiljning (Svenskt Vatten, 2010).

2.2.6. Slambehandling

Slam består av fasta partiklar i vatten (Svenskt Vatten, 2007). Vattnet som finns i slammet delas in i fyra typer beroende på hur det är bundet till slammet och hur svåra de olika typerna av vatten är att avskilja från slammet. *Hålrumsvatten* och *kapillärsvatten* går enklast att avskilja medan *adsorptionsvatten* och *cellsvatten* sitter desto hårdare bundet (Svenskt Vatten, 2007).

Målet med slambehandlingen är att på ett enkelt sätt kunna hantera restprodukten från de olika stegen i avloppsreningsverk (Naturvårdsverket, 2008b). Därför behandlas slammet ofta med slamavattning, till exempel centrifugering, för att avskilja en del vatten och höja TS-halten. När TS-halten stigit skickas slammet vidare till slamstabilisering, till exempel rötning.

Slammet kan även genomgå en hygienisering för att inaktivera patogener (Svenskt Vatten, 2007).

2.3. SLAM

Avloppsslam definieras i Sverige, liksom i EU, som ”Slam från avloppsreningsverk, flerkammarbrunnar eller liknande anordningar som behandlar avloppsvatten från hushåll eller tätorter, eller från andra reningsverk som behandlar avloppsvatten med liknande sammansättning” (Naturvårdsverket, 1994) År 2010 uppskattades mer än 200 000 ton TS slam producerades från de 402 största reningsverken i Sverige (Staaf & Bergström, 2010).

Det finns flera typer av slam beroende på i vilken process de härstammar i avloppsreningen (Svenskt Vatten, 2007). Från den mekaniska reningen kommer *primärslammet* som mest utgörs av fasta partiklar. Från den biologiska reningen kommer *bioslammet* som utgörs av mikroorganismer. Från fällningsprocessen kommer *kemslammet*. När alla typer av slam blandas samman får slammet benämningen *blandslam* (Svenskt Vatten, 2007).

2.3.1. Vad innehåller slam?

Cirka hälften av slammets torrsubstansinnehåll är organiskt material (mullämnen), ca 3 % är fosfor och 4,5 % är kväve (tabell 1), resterande slam innehåll är framför allt inert material (Naturvårdsverket, 2012a). Slammet innehåller även andra näringsämnen som till exempel svavel och kalcium.

Av de kemikalier som spolats ner i avloppen återfinns den största delen i slammet och endast en liten mängd hamnar i utgående vatten (Naturvårdsverket, 2008b). Vad gäller läkemedel hamnar den största delen inte i slammet utan istället i recipienten då ca 95 % av alla läkemedel är vattenlösliga (Naturvårdsverket, 2008b). Beträffande metaller i slam gjorde Eriksson (2001) en spårning av 61 metaller från ett 48 svenska avloppsreningsverk. Nio av de undersökta avloppsreningsverken hade någon metallhalt högre än satt gränsvärde för spridning (tabell 2). Studien fastslår att den mängd avloppsslam som får spridas oftast begränsas av kadmium, koppar eller fosfor (Eriksson, 2001). Naturvårdsverket och Statistiska Centralbyrån (2012) har tagit fram siffror angående slam innehåll av näring och miljöstörande ämnen (tabell 1).

Tabell 1. Medelhalter av näringsämnen, metaller och organiska miljögifter i slam från kommunala reningsverk (SCB & Naturvårdsverket, 2012).

Ämne	Medelvärden mg/kg TS 2010	Medelvärden mg/kg TS 2008
Fosfor	27 640	27 740
Kväve	44 080	42 590
Kadmium	0,9	0,8
Krom	28,8	28,3
Koppar	347,3	335,3
Kvicksilver	0,6	0,6
Nickel	16,6	16,9
Bly	21,9	22,3
Zink	570,1	544,3
Nonylfenol	10,6	10,6
PAH	0,94	0,98
PCB	0,04	0,05

2.3.2. Vad används slammet till?

Slam används inom EU i huvudsak till förbränning och markbyggnad (Gendebien, m.fl., 2009). 10 miljoner ton TS slam produceras i EU varje år och ca 37 % återanvänds (Gendebien, m.fl., 2009). I Sverige sprids ca 25 % av slammet på jordbruksmarker (Naturvårdsverket, 2013). Mängden slam som sprids på åkrar har minskat sedan 80 och 90-talet, då gödsling av jordbruksmark var det största användningsområdet för slam. Andra användningsområden av slam i Sverige idag är förbränning, markbyggnad, gödsling av skogsbruk, som anläggningsjord vid till exempel golfbanor och som resurs till framställning av fällningskemikalier (Naturvårdsverket, 2013).

I vissa andra länder i Europa är slamspridning vanligare än i Sverige (Svenskt Vatten, 2013a). I Frankrike sprids 70 % av slammet på jordbruksmark, i Danmark sprids 75 % av slammet på jordbruksmark och även England sprider upp mot 70 % av slammet på jordbruksmark (Svenskt Vatten, 2013a).

2.4. ÅTERFÖRING AV SLAM TILL JORDBRUKSMARK

Det har i många år pågått en debatt i Sverige angående vad som ska göras med slammet från avloppsreningsreningsverk. I stora drag kan debatten sammanfattas med att den ena sidan menar att slammet bör spridas på jordbruksmark för att utnyttja näringen och de jordförbättrande egenskaperna som slammet besitter. Den andra sidan anser att slammet innehåller allt för mycket farliga ämnen som inte hör hemma på våra värdefulla jordbruksmarker.

2.4.1. Slamspridning och lagstiftning

Mängden slam som får spridas på jordbruksmark varierar och beror på slammets och jordbruksmarkens kvalitet (Svenskt Vatten, 2013a). Det är ofta slammets innehåll av fosfor, kadmium eller koppar som begränsar slamspridningen. Vanligtvis sprids omkring 800 kg TS slam per hektar och år. För att minska markpackning sprids avloppsslam en gång var femte år (Svenskt Vatten, 2013a).

Det finns lagstadgade gränsvärden för sju metaller vid spridning av slam på jordbruksmark i Sverige (Tideström, 2008) (tabell 2). Det förs en diskussion om huruvida dessa gränsvärden, som redan är bland de strängaste i världen, ska bli ännu strängare (Naturvårdsverket, 2010).

Tabell 2. Gränsvärden för metallhalter i avloppsslam som ska spridas på jordbruksmark (Sveriges Rikes Lag, 1998).

Metall	mg/kg TS	Riksmedel mg/kg TS 2010	Förslag mg/kg TS*
Bly	100	21,9	100
Kadmium	2	0,9	1,3
Koppar	600	347,3	600
Krom	100	28,8	100
Kvicksilver	2,5	0,6	1,0
Nickel	50	16,6	50
Zink	800	570,1	800
Fosfor	-	27 648	-
Kväve	-	44 080	-
Silver	-	-	8

*Förslag på strängare gränsvärden från Naturvårdsverket 2010.

2.4.2. Risk med återföring av slam till jordbruksmark

Antibiotika fastnar i högre utsträckning i slam än övriga läkemedel (Svenskt Vatten, 2013a). Det spekuleras huruvida antibiotikan, som inaktiverar bakterier, skulle störa ekosystemet i jorden. För att undersöka antibiotikans påverkan på jordbruksmark vid slamspridning gjorde Ernervik (2011) en studie som visar att viss antibiotika som penicillin snabbt bryts ner i jordbruksmark och därför troligtvis inte utgör en stor risk vid slamspridning. Däremot finns annan typ av antibiotika som till exempel tetracykliner och kinoloner som är mer persistenta och därför utgör en större riskfaktor (Ernervik, 2011). Hur stor påverkan läkemedel har för jordbruksmarken är dock fortfarande under kartläggning.

Enligt den norska vetenskapskommittén för matsäkerhet (2009) utsätts människan för potentiella föroreningar från slam då vi konsumerar både grödor som odlas där slam sprids och kreatur som betar på marker där slam sprids. Metall och organiska föroreningar som härrör från slam anses dock utgöra en liten risk för den generella befolkningen. En större riskgrupp för intag av höga halter av bland annat kadmium är konsumenter som enbart äter grönsaker från slambehandlade jordar (Norska vetenskapskomitéen, 2009)

Nicholson och Chambers (2007) klassar zink, koppar, nickel, bly, kadmium, krom, arsenik och kvicksilver i en grupp av potentiella giftiga ämnen som kan finnas i jordbruksmarker och som även finns i slam. Av dessa tungmetaller har kadmium, bly och kvicksilver ingen biologisk funktion och är giftiga för oss människor. Andra metaller, till exempel koppar och zink, är essentiella och behövs i biologiska system men blir giftiga i för höga koncentrationer (Nicholsson & Chambers, 2007).

Sedan början av 80-talet har systematiska fältförsök av slamspridning på åkermark gjorts för att studera vilka effekter på mark och gröda blir gjorts i Lund och Malmö (Andersson, 2009). Undersökningen är unik eftersom det inte finns några liknande långtgående försök någon annanstans i Europa. Bakom projektet står LRF, Malmöhus läns Hushållningssällskap, kommunerna i sydvästra Skåne och Sysav. I fältförsöken görs en jämförelse mellan helt obehandlad mark, mark som gödslats med mineralgödsel och mark som gödslats med slam. Från två reningsverk i Lund och Malmö, har rötat och avvattnat slam använts vid spridning på försöksytorna utanför Malmö och Lund och vart fjärde år har slam tillförts åkrarna. Slammet har analyserats på 70 olika organiska toxiska ämnen och endast ett fåtal av ämnena kunde detekteras och då i låga halter. Inga tungmetaller, förutom kvicksilver och koppar, har enligt markanalyserna ökat i den slambehandlade marken sedan 80-talet. Slamtillförseln har hittills inte visat sig ha någon negativ påverkan på växternas upptag av tungmetaller (Andersson, 2009).

2.4.3. Organisationer emot slamspridning

Den svenska Naturskyddsföreningen (2012) anser att risken med att återföra slam ligger i att det inte bara tillför näring och mullämnen utan också en kemikaliecocktail som utgör en fara för miljön och människors hälsa. Naturskyddsföreningen anser att okunskapen om det stora antalet kemikalier som kan finnas i slammet och deras kombinationseffekter utgör en allt för stor risk om slammet sprids. Dessutom finns oroande höga halter av kadmium i slammet vilket bidrar till benskörhet och njurskador. Redan idag utsätts vi för höga halter av kadmium

i maten och av enbart den anledningen borde slammet förbjudas på våra åkrar. Istället borde insatserna läggas på nya tekniker som undanröjer farliga ämnen och sorterar ut näringsämnen (Naturvårdsverket, 2013).

Ytterligare en organisation som är emot slamspridning är Ren Åker Ren Mat (2009). Argumentationen är densamma som den Naturskyddsföreningen för och försiktighetsprincipen väger tungt. Organisationen listar bland annat läkemedelsrester, smittämnen, metaller, avfall från sjukhus, radioaktiva ämnen plus okända substanser som riskerar att hamna i avloppsslam. Ren Åker Ren Mat anser även att certifieringssystemet REVAQ (se stycke 2.5 REVAQCERTIFIERING) har för höga gränsvärden vilket innebär ett otillräckligt skydd för dessa föroreningar (Ren Åker Ren Mat, 2009). Gunnar Lindgren (2012) som företräder Ren Åker Ren Mat hävdar att slamspridningen är en irreversibel process så tillvida att det inte går att sanera och återställa åkrarna ifall de blir förstörda av de föroreningar som finns i slammet.

Även KRAV är emot slamspridning med motiveringen *"I KRAV-godkänd produktion väger kretsloppsprincipen tungt. Men kommunalt avloppsslam får inte spridas på KRAV-ansluten mark, eftersom man inte kan garantera att halterna av oönskade ämnen inte är för höga."* (Bengtsson, 2012).

2.4.4. Nyttan med att återföra slam till jordbruksmark

En av de viktigaste fördelarna med att återföra slam till jordbruksmark är att fosfor hamnar i ett kretslopp från tätort till landsbygd. Fosfor är ett essentiellt näringsämne för alla levande organismer (Naturvårdsverket, 2010). I dagens högproduktiva jordbruk finns ett stort behov av fosfor som idag till största delen kommer från handelsgödsel. Det spås att utvinningen av fosfat når sin kulmen redan om 20 år och återanvändningen blir allt viktigare (Rosemarin, m.fl., 2009). Tillgången på råfosfat är emellertid betydligt större än tillgångarna på kalium och svavel, varför risken för framtida brist är omstridd (Jönsson m.fl., 2012). Eftersom den största delen av avloppets fosfor fälls ut i reningsverken finns en stor potential i återföringen av fosfor via avloppsslam. Det ska sägas att växttillgängligheten för fosfor som finns i slammet varierar och är betydligt lägre än i mineralgödsel där fosfor initialt är direkt växttillgänglig (Linderholm, 2011).

En annan viktig fördel med slamspridning till jordbruksmark är mullämnena som finns i slammet. Mullämnen är bra för odlingsmarker eftersom det ökar strukturabilitet, underlättar vattentransport och infiltration (Bertilsson, 2008). Mullämnen bryts ned vid jordbearbetning och måste kontinuerligt tillföras åkrarna (Jönsson, m.fl., 2003).

Enligt Andersson (2009) påverkades mikrobiologin och mullhalt positivt av slamgödsling i den långliggande studien. Dessutom har slamgödslingen gett en klart positiv effekt på grödan och i genomsnitt har skördeökningen varit ca 7 % vid tillförsel av normal mängd slam förutom tillförsel av samma mängd mineralgödsel som i jämförelseledet.

2.4.5. Organisationer för slamspridning

Naturvårdsverket har av regeringen fått i uppdrag att utreda hållbar återföring av fosfor (Naturvårdsverket, 2012b). Naturvårdsverket anser att det finns ett behov av att återföra fosfor

ur avlopp till jordbruksmark för att undvika övergödning samt att fosfor är en ändlig resurs (Naturvårdsverket, 2010). Andra ämnen som svavel, kväve och kalium bör även återföras från avloppen. Näringsen ska återföras genom slamspridning men då krävs ett arbete för att minska föroreningarna till avloppen (Naturvårdsverket, 2010).

Lantbrukarnas Riksförbund (LRF) varken uppmanar eller avråder sina medlemmar att sprida slam, utan lämnar beslutet till varje enskild medlem. LRF anser dock att om slam ska spridas, är det endast REVAQ-certifierat slam (se stycke 2.5 REVAQCERTIFIERING) som bör spridas (Lantbrukarnas Riksförbund, 2010).

Lantmännen, en organisation som hjälper bönder att maximera avkastning, är positiva till slamspridning så länge det är REVAQ-certifierat (Lantmännen, 2013). Dessutom är både Svensk Dagligvaruhandel, en organisation var övergripande mål är att tillgodose konsumenternas behov av tillförlitliga produkter (Svensk Daglivsvaruhandel, 2013), och Svenskt Vatten, en branschorganisation som företräder vattentjänstföretagen i Sverige (Svenskt Vatten, 2013b) för spridning av REVAQ-certifierat slam (Finnsson, 2012).

2.5. REVAQCERTIFIERING

REVAQ är ett certifieringssystem reningsverk kan ansöka om (Svenskt Vatten, 2013c). Certifieringen arbetar för att minska flödet av farliga ämnen till reningsverk för att skapa en hållbar återföring av växtnäring från slam till jordbruksmark.

REVAQ påbörjades som ett utvecklingsprojekt 2002 och blev ett certifieringssystem 2008 (Svenskt Vatten, 2013a). Bakom REVAQ står Svenskt Vatten, LRF, Lantmännen, Svensk Dagvaruhandel och Naturvårdsverket. Svenskt Vatten är ensam ägare av REVAQ (Svenskt Vatten, 2013c).

REVAQ-certifieringen baseras på tre grundläggande strävanden (Svenskt Vatten, 2013a):

1. Att förbättra kvaliteten på inkommande avloppsvatten och därmed kvaliteten på växtnäringen.
2. Att certifieringen ska erbjuda öppen information om hur slammet produceras och dess sammansättning.
3. Att växtnäringen från avloppsfraktionen produceras på ett ansvarsfullt sätt som uppfyller fastställda krav.

Syftet med REVAQ-certifieringen är att kvalitetssäkra uppströmsarbetet hos reningsverken och på så sätt även kvalitetssäkra slammet och utgående vatten till recipient (Svenskt Vatten, 2013a).

2.5.1. Krav för att få certifikat

REVAQ ställer höga krav på reningsverk. Sammantaget är de de strängaste kraven i Europa och långt högre än kraven i svensk lagstiftning (Svenskt Vatten, 2013a). Kraven som ställs på reningsverken för att få REVAQ-certifieringen innebär ett aktivt uppströmsarbete, ett arbete med ständig förbättring, ett systematiskt arbetssätt, systematiserade kontroller, mätningar av ett 60 tal olika ämnen och spårbarhet på varje enskilt slamparti. Dessutom ska all information om slammet finnas tillgängligt för allmänheten (Svenskt Vatten, 2013c).

2.5.2. Prioriterade spårelement

Slammet ska till en början analyseras på 60 spårelement i tre på varandra följande månadsprov (Svenskt Vatten, 2012). De spårelement som vid slamspridning leder till en ackumuleringstakt i jordbruksmark över 0,2 % per år vid gödsling med slam ska identifieras. De av dessa spårelement som inte är essentiella spårelement klassas som prioriterade spårelement. För de spårelement som är essentiella men som ligger över 50 % av lagstadgat gränsvärde (tabell 2) blir även prioriterade spårelement. Dessutom kan spårämnen bli prioriterade då kraven på slamkvaliten blir mer stränga år för år. För de prioriterade spårelementen ska det finnas en handlingsplan för hur halterna ska minskas i slammet. Även essentiella spårelement kan bli toxiska i för höga koncentrationer. Därför ska det alltid göras en bedömning om åtgärder behövs för att minska de essentiella spårelement som leder till en ackumuleringstakt över 0,2 % per år (Svenskt Vatten, 2012).

2.5.3. REVAQ om kadmium

REVAQ arbetar för att kadmiumhalterna på lång sikt inte ska öka i jordbruksmarken (Svenskt Vatten, 2013a). För att kadmiumhalterna inte ska öka har REVAQ, sedan den 1 januari 2012, satt en gräns på 33 mg Cd/kg P och från den 1 januari 2025 får kadmium/fosfor-kvoten inte överstiga 17 mg Cd/kg P (Svenskt Vatten, 2012). Fram till den 1 januari 2025 kommer gränsvärdet att sänkas kontinuerligt.

2.5.4. Pris på REVAQ-certifierat slam

Det REVAQ-certifierade slammet är ofta gratis för bonden men det varierar i olika delar i landet (Svenskt Vatten, 2013a). Ibland får bonden betalt för att ta emot slammet. Priset varierar och beror på hur eftertraktat slammet är i olika kommuner (Holm, 2013).

2.6. AVLOPPSSYSTEM I UPPSALA

Uppsalas avloppssystem har utvecklats på liknande sätt som övriga avloppssystem i Sverige, se avsnitt 2.1 AVLOPPSSYSTEM GENOM HISTORIEN I SVERIGE (Flygt, 1995). Uppsalas befolkningmängd ökade kraftigt efter andra världskriget varför en stor utbyggnad av nätet gjordes då. Idag täcker ledningsnätet hela Uppsala stad och både bostäder och industrier är påkopplade nätet.

2.6.1. Uppsalas ledningsnäts utbyggnad

I anslutning till att ledningar med rent vatten drogs, började även avloppsledningar stegvis dras i Uppsala under 1900-talet (Uppsala Kommun, 1996). De första avloppsledningarna som drogs i början av 1900-talet var av dålig kvalitet och det gjordes ingen åtskillnad mellan regnvatten och spillvatten och allt vatten leddes den kortaste vägen direkt till Fyrisån (Flygt, 1995). Snart upptäcktes att rören inte var täta och att brunnar blev förgiftade av det läckande smutsiga vattnet vilket påskyndade utbyggnaden av stadens vattenledningsnät. När den stora utbyggnaden av vattenledningsnätet tog fart hade rörkvalitén blivit något bättre och betongrör blev standard.

När ledningsnätet byggdes ut valde man att göra ett duplikat system, det vill säga ett rör drogs för dagvatten och ett för spillvatten. Då ansågs fördelen med det duplikata systemet vara att det möjliggjorde en bräddning av spillvattnet ut på dagvattenledningen vid för högt vattenflöde. Ifall systemet skulle varit kombinerat, det vill säga både dagvatten och spillvatten

i samma ledning, skulle det inte finnas någonstans att tappa ut vattnet vid för högt vattenflöde och det hade blivit översvämning (Flygt, 1995).

De sanitära olägenheterna i Fyrisån förvärrades påtagligt under 20-talet när vattenklosett fick installeras i hemmen (Flygt, 1995). Fyrisån förvandlades snabbt till en stinkande kloak. För att åtgärda problemet drogs avskärande ledningar längs med Fyrisån som mynnade ut efter Islandsfallet. Nu hamnade avfall nedströms staden men problemen med förorenat vatten kvarstod. När de avskärande ledningarna dragits bestämdes att ett reningsverk skulle byggas. För att samla upp allt vatten på samma ställe började därför bygget av pumpstationen Tullgarn 1927 (Flygt, 1995). I samband med detta drogs en avloppsledning tvärs över Fyrisåns botten för att leda över det spillvatten som kom från västra sidan av ån till Tullgarns pumpstation. Reningsverket, dit vattnet sedan skulle ledas efter Tullgarns pumpstation, skulle dock inte stå klart förrän nästan 20 år senare, se avsnitt 2.6.3 Kungsängsverkets utbyggnad.

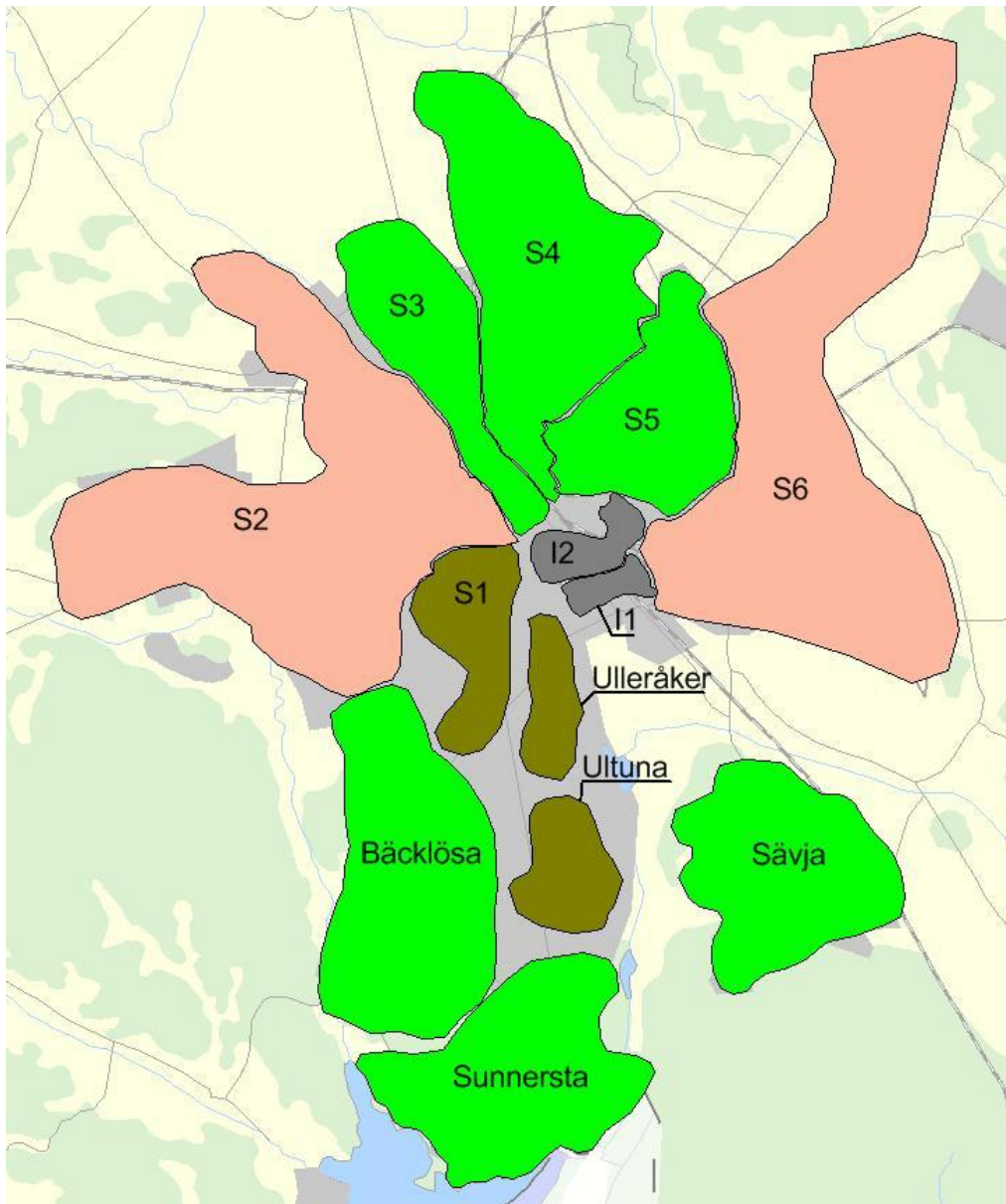
2.6.2. Uppsalas ledningsnät idag

Idag omfattar spillvattennätet hela Uppsala stad, Bälinge och Lövstalöt (Uppsala Vatten och avfall AB, 2013a). Det är totalt 488 km långt och det har 49 pumpstationer. Vattenförbrukningen ligger på 155 l/(p, d). Vid undersökningen 1989 gjordes en uppdelning av spillvattennätet i 13 delar, se stycke 2.8.1 Spårning från 1988-1989. Sedan dess har ledningsnätet byggts om otaliga gånger och nya områden har anslutits. För att kunna jämföra denna undersökning med 1989 års undersökning gjordes samma uppdelning av spillvattennätet som då, även om de olika områdena förändrats. Nedan följer en beskrivning av varje område som utgör Uppsala stads spillvattennät (tabell 3).

Tabell 3. En kort beskrivning av vad varje område som utgör Uppsalas spillvattennät S=samhällsområde, I=industri.

Område	Invånare	Områdes beskrivning	Områden i området	Verksamheter	Fordonst vättar
Ulleråker	1 914	Bostadsområde, universitetsområde		MIC, Ångström	0
Ultuna	513	Lite bostäder, universitetsområde		SLU (stora nybyggnationer), SVA	0
Sunnersta	6 469	Bostadsområde			0
Sävja	9 719	Bostadsområde	Sävja, Nántuna, Bergsbrunna		0
S6	5 242	Bostadsområde	Årsta, Fyrislund, Fyrislundsindustriområde	Fresenius Kabi, AMO Uppsala AB.	16
S5	19 304	Bostadsområde	Årsta, Salabacke, Fålhagen		7
S4	26 150	Bostadsområde (Byggarbete)	G:a Uppsala, Nyby, Löten, Kvarngärdet, Gränby		4
S3	14 224	Bostadsområde	Svartbäcken, Tunabacke, Norra centrum	F16, Tunaåsens sjukhus	4
S2	47 917	Bostadsområde	Bälinge, Luthagen, Berthåga, Rickoberga, Flogsta, Eriksberg, Kåbo	Librobäckes industriområde	6
S1	1 676	Bostadsområde, universitetsområde		Akademiska, BMC, SGU	4
Bäcklösa	18 595	Bostadsområde (Byggarbete)	Gottsunda (miljonprojekt), Valsätra, Norby		0
I1	7	Industriområde	Boländerna	Skrotcentralen	4
I2	11	Industriområde	Boländerna	Ge Healthcare AB, Kemwell AB, Lantmännen	5

Uppdelningen av Uppsalas spillvattennät i 13 områden, så som gjordes 1989, ger inte 13 helt isolerade områden. Mellan S2 och S3 finns en bräddningsledning som binder ihop de två områdena. Mellan områdena S6 och S5 finns även en ledning, men det flödar normalt inget vatten däremellan. Områdena finns definierade på kartan nedan (figur 1).



Figur 1. Bild över de 13 olika områden som utgör Uppsalas spillvattennät idag (Uppsala Vatten och Avfall AB 2013b).

Spillvattennätet kräver ständigt underhåll bland annat på grund av nybyggnationer, felkopplingar men även rörbrott (Jansson, 2013). En anledning till att rören havererar är att de fräts sönder av svavelväte som bildas då spillvattnet blir stående i rören. Uppgifterna som ingår i underhållsarbete är bland annat att byta ut ventiler på servisledningar och huvudledningar samt att rensa bort rötter och fett som satt sig i rören. När ledningar byts ut används idag ofta plast istället för betong för mindre rör (Jansson, 2013).

Varje år kommer ca 8 000 000 m³ ovidkommande vatten in till Kungsängsverket. Vattnet kan härröra från inläckage eller att ledningar är felkopplade (dagvatten påkopplat spillvattennätet).

2.6.3. Kungsängsverkets utbyggnad

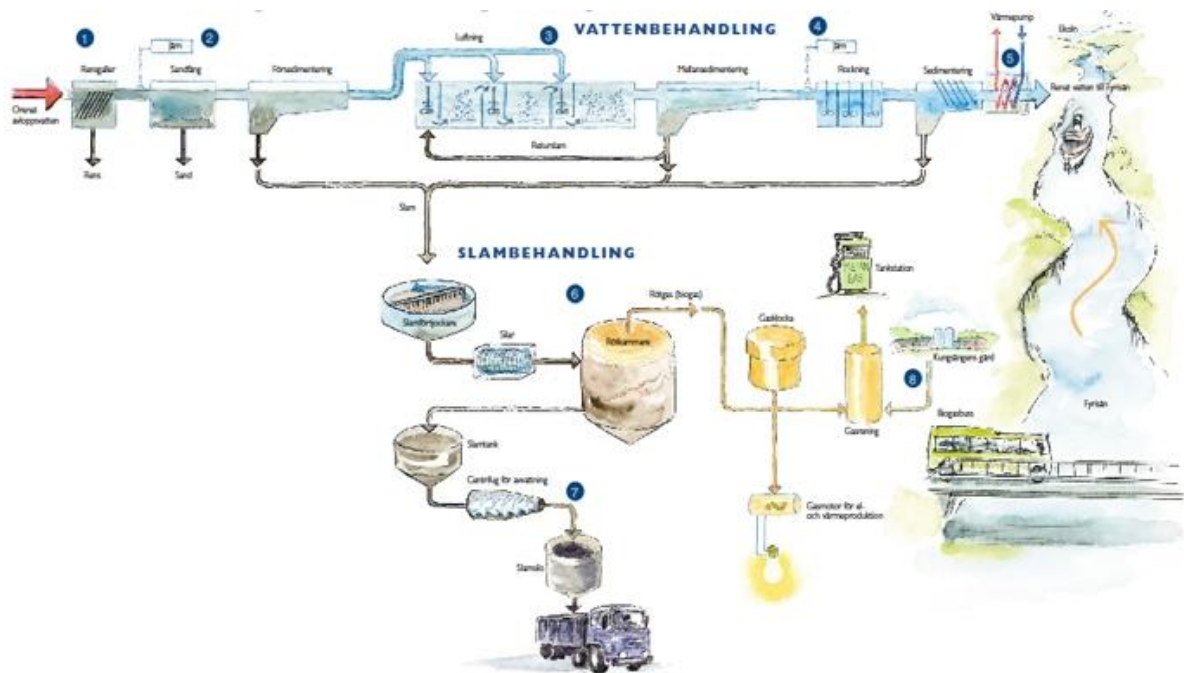
Den första reningen av Uppsalas spillvatten sattes igång runt 1930 (på den plats där Kungsängsverket ligger idag) då man insåg att det smutsiga vattnet behövde behandlas innan det släpptes ut (Uppsala Kommun, 1996). Det var en mekanisk rening med sandfång, galler och bassänger för avskiljning.

Kungsängsverket började först byggas 1942 och togs i bruk 1945 (Flygt, 1995). Utbyggnaden hade bromsats upp under andra världskriget då betongen behövdes till andra ändamål. 1945 hade reningsverket sandfång, sedimentering, slamförtjockning och slambehandling i form av rötning samt slamtorkning (Flygt, 1995). 1957 tillkom biologisk rening. 1972 togs fällningsbassänger för fosforavskiljning i bruk. 1997 stod en omfattande utbyggnad klar som möjliggjorde kväveavskiljning (Uppsala Kommun, 1996).

2.6.4. Kungsängsverket idag

Eftersom Kungsängsverket byggts ut flera gånger och nästan är 70 år gammalt har planlösningen blivit något rörig. Än idag används någon sedimenteringsbassäng som var med sedan starten. Idag är kapaciteten stor och Kungsängsverket klarar ca 200 000 pe.

I Kungsängsverket sker sedimentering vid tre tillfällen: efter grovrening, i den biologiska reningen samt precis innan vattnet lämnar verket (Uppsala Kommun, 2005). Järnklorid tillsätts dels efter grovreningen där en liten mängd fosfor avskiljs, och framför allt efter den biologiska reningen där den största delen av fosfor avskiljs. Allt slam blandas sedan samman för att rötas (figur 2). Fällningskemikalierna som används idag är betydligt renare än de var förr. De innehåller inte andra tungmetaller, zink och bly till exempel, som de gjorde förr (Swedling, 2013)



Figur 2. Flödesschema över Kungsängsverkets reningsprocess (Uppsala Kommun, 2005).

2.7. PRIORITERADE SPÅRÄMNINGEN I UPPSALAS SLAM

Kungsängsverket har 13 prioriterade metaller. Nedan följer en kort beskrivning om förekomst, generella användningsområden och toxicitet för varje metall. Alla metallerna kan vara i jonform eller finnas bundna till partiklar i avloppsvattnet.

Silver (Ag) är en sällsynt metall i naturen (Nationalencyklopedin, 2013 A). Silver har den högsta elektriska och termiska konduktiviteten av alla metaller. Silver används bland annat till smycken, elektronik men framför allt i fotografisk industri. Silver har ingen känd biologisk effekt men är inte toxisk för människan. Den har dock en inaktiverande effekt på patogener och används vid vattenrening och inom sjukvård för sårhäkning (Nationalencyklopedin, 2013a).

Guld (Au) är precis som silver en sällsynt metall i naturen (Nationalencyklopedin, 2013b). Guld används bland annat i tandvård, till smycken, i läkemedel och i industrier (mycket på grund av sin goda förmåga att leda värme och elektricitet) (Nationalencyklopedin, 2013b).

Vismut (Bi) framställs som en biprodukt från koppar-, bly- och tenntillverkning (Nationalencyklopedin, 2013c). Vismut är en dålig ledare för elektrisk ström och har en låg värmeledningsförmåga. Användningsområdet för vismut är bland annat elektriska säkringar, skydd vid strålbehandling, läkemedel men även kosmetika (Nationalencyklopedin, 2013c).

Kadmium (Cd) är ett vanligt grundämne som naturligt finns i alla jordar, och fyller vad man vet idag ingen funktion för någon livsform på jorden (Livsmedelsverket, 2013a). Kadmium används bland annat i konstnärsfärger, vissa glas- och porslinsprodukter, radiatorer, vissa elektriska apparater och motorer, som rostskyddsbeläggning för flygplan och finns även som en förorening i zink (Levlin, m.fl., 2001). Enligt Livsmedelsverket (2013a) är en källa till kadmiumspridning sopförbränning, en annan källa till det kadmium på våra åkrar än idag är att fosforgödseln förr (fram till 50-60 talet) innehåll höga halter av kadmium (Jönsson H. , 2012). Kadmium kan tas upp i växters rotsystem och finns i alla livsmedel (Livsmedelsverket, 2013a). För icke-rökare är den största exponeringskällan kosten. Kadmium ansamlas framförallt i njurarna där halveringstiden är 10-30 år, varför kadmiumhalterna ofta ökar ju äldre man blir. Kadmiumexponering kan orsaka skada på njurar och leda till benskörhet (Livsmedelsverket, 2013a).

Krom (Cr) är en vanlig metall i jordskorpan och finns alltid i kemiska föreningar, inte i gedigen form (Nationalencyklopedin, 2013d). Krom är ett essentiellt mikronäringsämne men i för höga koncentrationer kan det vara toxiskt bland annat för fisk. Brist på krom leder till förkortad tillväxt och livslängd för ryggradsdjur. Den största användningen av krom är som legeringsmetall då krom ökar legeringens hårdhet, styrka och motståndskraft mot korrosion. Kromlegering med kobolt används inom medicin och tandvård. Kanthal, den metallegering som används till spisplattor, består till 20-30 % av krom. I övrigt kan krom användas till ytbehandling och textulfärgning (Nationalencyklopedin, 2013d).

Koppar (Cu) finns i alla livsmedel och de högsta halterna finns i lever, nötter, frön och kakao (Livsmedelsverket, 2013b). Koppar finns i rör, exempelvis är 90 % av hushållens vattenledningar i Sverige gjorda av koppar. Koppar är en essentiell metall men ett för högt

intag kan skada levern. Speciellt spädbarn är en riskgrupp för ett för högt intag av koppar (Livsmedelsverket, 2013b).

Kvicksilver (Hg) finns naturligt i miljön men mängderna har ökat sedan människan börjat använda metallen (Livsmedelsverket, 2013c). Kvicksilver finns bland annat i fisk, framför allt rovfisk. Kvicksilver är en mycket giftig tungmetall som, om den kommer in i matkedjan, ackumuleras i människor och djur (Lewinsky, 2007). Kvicksilver skadar det centrala nervsystemet och orsakar även skada på kromosomer. Kvicksilver används bland annat till termometrar, i lysrör och lågenergilampor, batterier och i amalgam (Livsmedelsverket, 2013c).

Nickel (Ni) finns i relativt små mängder i jordskorpan och den finns sällan i gedigen form utan oftast i kemiska föreningar med järn (Fe) eller koppar (Nationalencyklopedin, 2013e). Nickel har en relativt bra ledningsförmåga av värme och elektricitet. En stor del av allt nickel som produceras används vid framställning av rostfritt stål och legeringar. I legering ökar nickel hårdhet, seghet och korrosionshårdhet för legeringen. Rostfritt stål finns bland annat i diskbänkar, i möbler, bilar etcetera. Nickel är ett essentiellt mikronäringsämne för vissa organismer men är i högre koncentrationer giftigt. Hos människor kan nickel vid kontakt orsaka hudallergier och vid inandning orsaka kronisk inflammation i de övre luftvägarna (Nationalencyklopedin, 2013e).

Bly (Pb) är en tungmetall som finns överallt i naturen (Livsmedelsverket, 2012). Spridningen av bly har minskat mycket tack vare att bilar idag körs på blyfri bensin. Bly används framför allt i bilbatterier men även som vikter, fiskesänken, färg, i legeringar och i elektronik. I vårt dagliga livsmedel är det i regel låga halter av bly. Lever från viltkött kan ha förhöjda halter av bly. Det mesta som förtärs kommer från spannmål, dryck och vegetabilier. Blyförgiftning kan leda till att vissa extremiteter (som armar) förlamas men kan även leda till blodbrist, då rödabldkroppar skadas (Livsmedelsverket, 2012).

Tenn (Sn) finns i jordskorpan men sällan i gedigen form (Nationalencyklopedin, 2013f). Tenn har god smidbarhet, låg giftighet, och är lätt att använda i legeringar med de flesta metallerna. Främst används tenn som korrosionsskydd men även vid tillverkning av konservburkar och i elektriska kontakter. Andra användningsområde är som lödmetall, som tandfyllningsmaterial tillsammans med kvicksilver och silver (amalgam). Tenn har ingen känd biologisk roll men är inte toxisk för människan varför metallen kan användas i konservburkar. Organiska tennföreningar är dock kraftigt toxiska och kan vid förtärning leda till kräkningar och andningsbesvär. Organiska tennföreningar används som bekämpningsmedel exempelvis i båtbottnfärg för att hindra alger att växa på båten (Nationalencyklopedin, 2013f).

Uran (U) finns i magmatiska bergarter, exempelvis graniter (Nationalencyklopedin, 2013g). Uran kan falla sönder varvid radioaktiv strålning och nya ämnen bildas och används som bränsle i kärnreaktorer för att framställa elektricitet.

Volfram (W) är ett sällsynt grundämne och finns inte i gedigen form i naturen (Nationalencyklopedin, 2013h). Volfram har de högsta smält- och kokpunkterna av alla metaller. Den har en bra elektrisk ledningsförmåga liksom värmeledningsförmåga. Volfram

används vid framställning av volframkarbid (WC) som är ett mycket hårt material (nästan lika hårt som diamant). Det används även i legering med stål för tillverkning av stålverktyg. Metallen används även som glödtråd i lampor, röntgenrör och elektronrör (Nationalencyklopedin, 2013h).

Zink (Zn) är en vanlig metall i jordskorpan och finns uteslutande i kemiskt bunden form (Nationalencyklopedin, 2013i). Zink är en av de metaller som viktmässigt säljs mest i världshandeln. Zink är en god ledare av ström och värme. Zink är en oädel metall och är kemiskt reaktiv. Zink är ett livsnödvändigt grundämne för människan och finns i hud, hår, naglar, ögon och prostatakörtel. Zink finns framförallt i kött och fullkornsprodukter. Vid brist av metallen kan man få håravfall, försenad pubertet och fördröjd mental utveckling (Nationalencyklopedin, 2013i). Zink används bland annat till ytbehandling och rostskydd av järn och stål, i legeringar (mässing) och däck, men finns även som kosttillskott (Levlin, m.fl., 2001).

2.7.1. Årsflöden av metaller till Kungsängsverkets slam

Varje år flödar stora mängder av framför allt zink, koppar och fosfor till slammet i Kungsängsverket (Uppsala Vatten och Avfall AB, 2013a). Vissa metallers årsflöden till slammet är redovisade i den årliga miljörapporten och visas nedan (tabell 4). Mängden fosfor har minskat mycket sedan 2008 då fosfor förbjöds i tvättmedel. 2007 var flödet i genomsnitt 0,86 kg/(pe, år) medan det 2012 var 0,65 kg/(pe, år).

Tabell 4. Årsflöden av kadmium, krom, koppar, kvicksilver, nickel, bly, zink, silver och fosfor till Kungsängsverkets slam (Uppsala Vatten och Avfall AB, 2013a).

År	Cd [kg/år]	Cr [kg/år]	Cu [kg/år]	Hg [kg/år]	Ni [kg/år]	Pb [kg/år]	Zn [kg/år]	Ag [kg/år]	P [kg/år]
2012	2,2	78	1400	2,1	52	46	1700	8	103 000

2.8. TIDIGARE STUDIER

Ett antal studier som kartlägger tungmetallutsläpp från olika delar av spillvattennät har tidigare gjorts, bland annat en källspårning från 1988-1989 i Uppsala.

2.8.1. Spårning från 1988-1989

Under vintern/våren 1988 gjordes en spårning av metallutsläpp till Uppsala stads spillvattennät (Nyberg, 1989a). Uppsala stads spillvattennät delades då precis som nu in i 13 olika områden (tabell 5). I de områdena där industrier eller annan miljöfarlig verksamhet fanns, togs dygnsprover under 14 dygn. Från övriga områden som mest bestod av hushåll togs endast ett veckoprov per område. Varje område hade en viss knutpunkt dit allt spillvatten fördes. Där togs proverna och vattenflödet mättes. Vattenförbrukningen 1989 låg på 180 l/ (p, d) och sammanlagda antalet invånare var 122500 p.

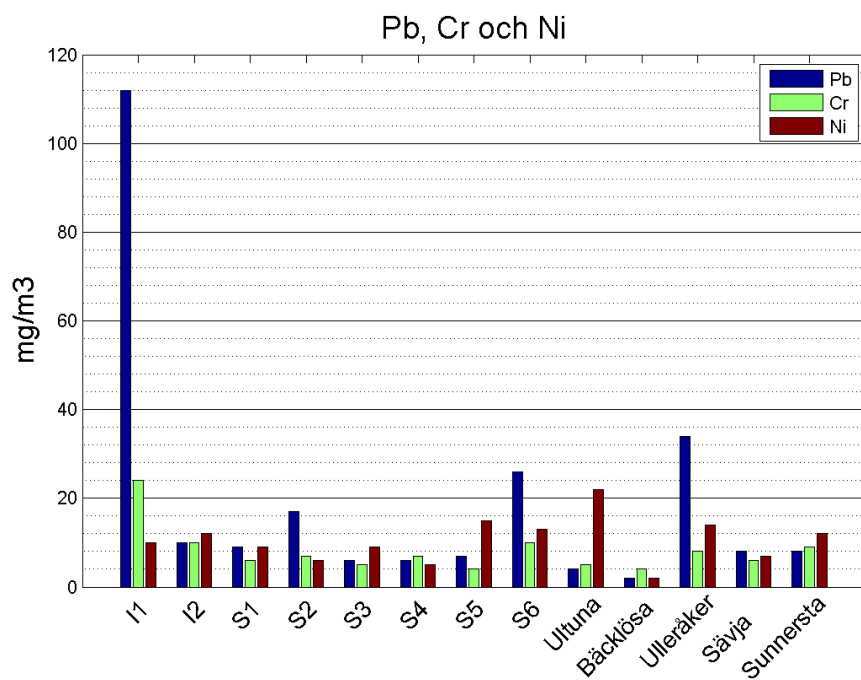
Tabell 5. Information om de områden som utgjorde Uppsalas spillvattennät 1989 (Nyberg, 1989a).

Område	Invånare	Beskrivning
I1	Inga boende	Industrier: Boländernas ind.omr, Farmek, Prometec, Uppsala Energi m.fl.
I2	Inga boende	Industrier: Pharmacia, Slotts, Bageri m.fl.
S1	1 200 p	Industrier: Akademiska sjukhuset, BMC, SGU m.fl.
S2	27 800 p	Industrier: Librobäck Bostadsomr: Luthagen, Berthåga, Rickomberga, Flogsta, Eriksberg m.fl.
S3	11 500 p	Industrier: F16, Tunaåsens sjh Bostadsomr: Svartbäcken, Tunabackar, Norra delen av centrum
S4	24 000p	Industrier: Arla Bostadsomr: G:a Uppsala, Nyby, Löten, Kvarngärder, Gränby m.fl.
S5	17 800 p	Bostadsomr: Salabacke, Fålhagen, Brillinge, Årsta m.fl.
S6	3 400 p	Industrier: Fyrislunds in.omr., Pharmacia, Salabacketvätten, Tryckerier m.fl. Bostadsomr: Fyrislund. Årsta m.fl.
Ultuna	200 p	Industrier: SLU, SLL och SVA
Bäcklösa	15 100 p	Bostadsomr: Norby, Valsätra, Gottsunda m.fl.
Ulleråker	100 p	Industrier: Ulleråkers sjukhus
Sävja	6 100 p	Bostadsomr: Sävjä, Bergsbrunna, Nântuna m.fl.
Sunnersta	4 800 p	Bostadsomr: Sunnersta

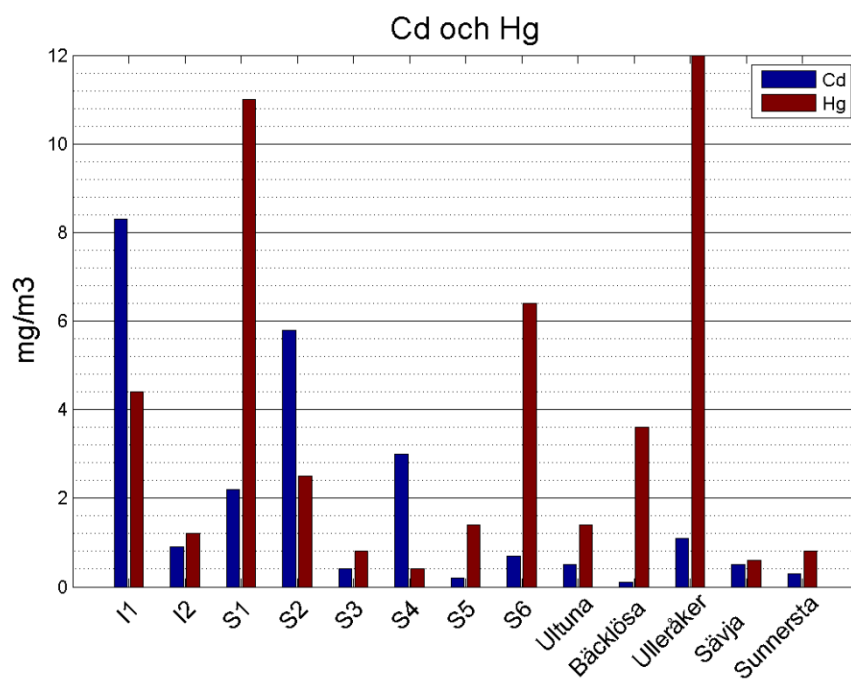
Alla prover analyserades för tungmetallerna bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, nickel och zink. Dessutom bestämdes halterna av det kemiska syrebehovet (COD), totalfosfor, suspenderade ämnen, konduktivitet och pH.

Provtagningsintervallet för veckoproverna var mellan 6 och 10 prov/timme. Dessa prover lämnades in för analys med jämna intervall och ett antal analyser av de många proverna gjordes. Med flödesdata kunde sedan beräkningar av medelflöden (g/d) för de olika metallerna göras.

Det var högre halter av koppar, bly och i viss mån kadmium i Uppsalas spillvatten jämfört med en del andra svenska reningsverk (Nyberg, 1989a). Området I1 hade över lag de högsta halterna av tungmetaller, framför allt bly, kadmium och krom (figur 3 och figur 4). Halterna varierade kraftigt under undersökningen vilket tyder på stötutsläpp av tungmetaller.

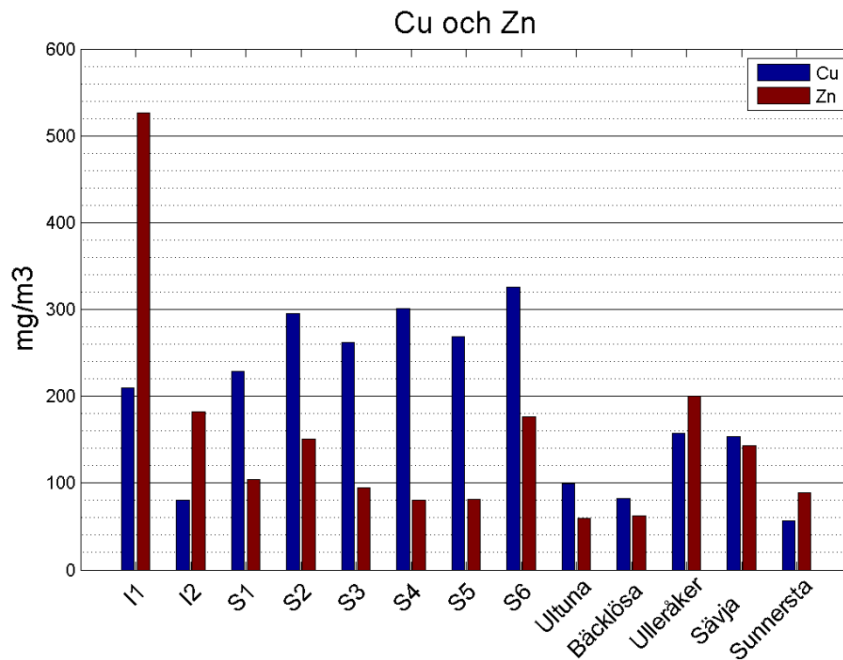


Figur 3. Medelhaltererna av Pb, Cr och Ni från de olika områdena som utgjorde Uppsalas spillvattennät 1989 (Nyberg, 1989a).



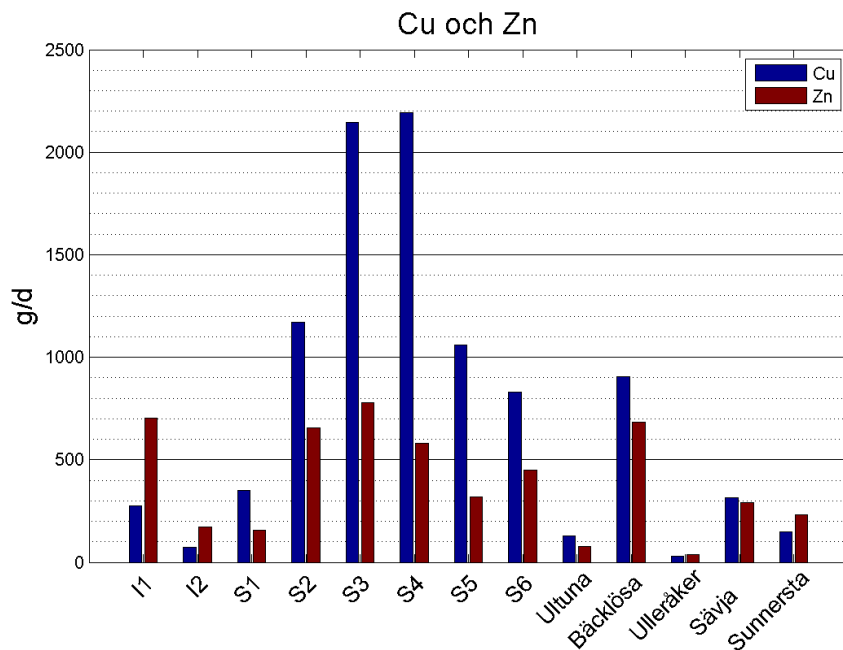
Figur 4. Medelhaltererna av Cd och Hg från de olika områdena som utgjorde Uppsalas spillvattennät 1989 (Nyberg, 1989a).

Halterna av koppar var jämt och högt från områdena med mycket bostäder (figur 5).

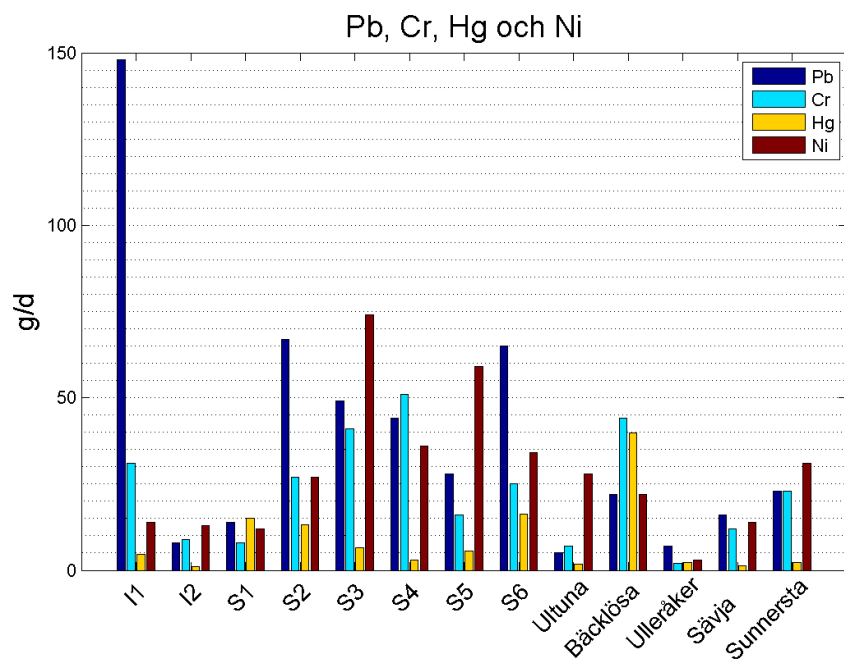


Figur 5. Medelhalt av Cu och Zn från de olika områdena som utgjorde Uppsalas spillvattennät 1989 (Nyberg, 1989a).

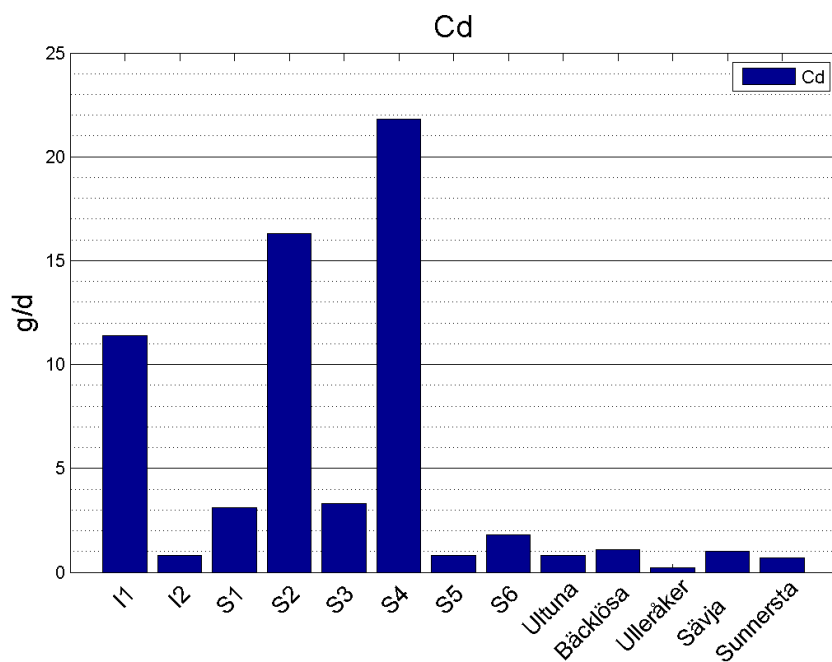
När utsläppen viktats mot vattenflödet från de olika områdena och räknats om till medelflöden sågs att bostadsområdena stod för de största utsläppen av koppar (figur 6). Vad gällde medelflödena av bly kom det mest från I1 (figur 7). Flödesmässigt kom mest utsläpp av kadmium från S4 (figur 8). De största flödena av zink kom från I1, S3 och Ulleråker. Vad gällde kvicksilver kom de största flödena från S1 och Bäcklösa.



Figur 6. Medelflöden av Cu och Zn från de olika områdena som utgjorde Uppsalas spillvattennät 1989 (Nyberg, 1989a).



Figur 7. Medelflöden av Pb, Cr, Hg och Ni från de olika områdena som utgjorde Uppsalas spillvattennät 1989 (Nyberg, 1989a).



Figur 8. Medelflöden av Cd från de olika områdena som utgjorde Uppsalas spillvattennät 1989 (Nyberg, 1989a).

De totala flödena av alla metaller som analyserades 1989 utom krom, nickel och zink har sjunkit i Uppsalas sedan dess (tabell 6).

Tabell 6. Årsflöden (slam inklusive utgående vatten) av de metaller som analyserades 1989 jämfört med 2012.

År	Cd [kg/år]	Cr [kg/år]	Cu [kg/år]	Hg [kg/år]	Ni [kg/år]	Pb [kg/år]	Zn [kg/år]	Ag [kg/år]	P [kg/år]
2012	3	88	1 630	2	111	52	2 120	8	105 100
1989	4	70	2 422	14	93	84	1 613	-	142 000

När utvärderingen av provtagningen gjordes upptäcktes att resultatet påverkats av mätningsfel. Till exempel så visade de summerade uppmätta delmängderna i ledningsnätet från alla områden endast 50-60% av mängderna metall som tillfördes Kungsängsverket. Detta antogs bero på att provtagningsutrustningen, som endast tog momentana prover, kunde ha missat stora momentana utsläpp.

I utredningen fastslås att fällningskemikalier stod för en stor del av tillförseln av de totala mängderna av bland annat zink och bly.

2.8.2. Spårning från 1989 – Etapp 2

En uppföljning av spårningen som gjordes vintern/våren 1988 utfördes några månader senare året efter, där de områden som ansågs vara mest intressanta återigen analyserades (Nyberg, 1989 B). De områden som analyserades igen var I1, S1, S2, S6 och Bäcklösa. Dessutom delades flera områden upp i mindre delar för att mer exakt kunna lokalisera utsläppen. Vid etapp 2 analyserades ett mindre antal metaller och till exempel analyserades Bäcklösa endast för kvicksilver. Prover togs varannan minut under dagtid 06.00-18.00 och nattetid 00.00 – 06.00.

En slutsats som Nyberg (1989 B) drar är att metallerna bly, kadmium, kvicksilver och zink förekommer i höga halter i spillvattnet från vissa delar av Uppsala centralort. Dessutom fastslås att stora flöden av bly, kadmium och zink kommer från I1 området och det är i detta område man föreslog att insatser för fortsatt kartläggning skulle sättas in (Nyberg, 1989 B). En anledning till att det var just höga halter av kadmium, bly och zink från I1 var att värmeverket var anslutet till spillvattennätet i I1-området. I slagg och aska från värmeverket kom det just höga halter av de tre tungmetallerna (Swedling, 2013).

2.8.3. Undersökning av källor av kadmium i centrala Eskilstuna

Ett försök att kartlägga de utsläpp av kadmium som skapar problem för Ekeby reningsverk i Eskilstuna gjordes i ett examensarbete av Kulbay och Lindvall (2012). Bland annat gjordes en passiv provtagning med Ecoscope och en substansflödesanalys med Excelverktyget SoFi. Det gjordes jämförelser mellan hushållspillvatten och industriutsläpp på spillvattennätet. Det fastslås att Eskilstuna Energi och Miljö AB:s anläggningar står för de stora utsläppen av kadmium. De relativa utsläppen av kadmiumjoner var fem gånger högre från industriella verksamheter jämfört med hushållen enligt Ecoscope-undersökningen (Kulbay & Lindvall, 2012).

2.8.4. Föroreningar från hushåll till Ryaverket i Göteborg

För att få en bild över vilka föroreningar i spillvattennätet som härstammade från hushåll samt för att kunna jämföra med historiska data gjorde Gryaab (2008) en provtagning med ISCO provtagare. Resultaten visar att mängden totalfosfor per person och dygn har minskat med 25-30 %. Mängden koppar per person och dygn har fördubblats medan mängderna kadmium och kvicksilver minskat med 70 respektive 65 % sedan 1998.

2.8.5. Studie av farliga ämnen i Uddebo avloppsreningsverk

Petter Samuelsson (2004) gjorde ett examensarbete för att undersöka om det fanns höga halter av farliga ämnen i inkommande vatten till Uddebo avloppsreningsverk i Luleå. Provtagning

av inkommande vatten visar att det var höga halter av framför allt zink ($76,6 \text{ mg/m}^3$) men även kadmium ($1,3 \text{ mg/m}^3$).

2.8.6. Källor till tungmetallutsläpp i Stockholm

Sörme och Lagerqvist (2004) gjorde en kartläggning av källor till ett antal tungmetaller i avloppsvatten i Stockholm. Källorna kartlades genom att utgå ifrån metallinnehåll och metallemission från olika varor. Resultatet från studien visar att det gick att spåra källorna till koppar, zink, nickel och kvicksilver medan det är mer diffusa utsläppkällor till kadmium, bly och krom. Koppar kom mestadels från kranvattnet, zink kom mestadels från galvaniserat material och biltvättar. Nickel kom mest från kemikalier i avloppsreningsverket och kranvattnet och kvicksilver mest från amalgam i tänder. För kadmium, bly och krom var resultaten inte lika tydliga men den största bidragande faktorn var biltvättar för alla tre metaller. En ytterligare slutsats som dras är att hushållens utsläpp av tungmetaller är underskattade och måste utredas mer (Sörme & Lagerqvist, 2004).

2.8.7. Kartläggning av tungmetallutsläpp i Keighley Marley, England

Akomeno Omu (2009) kartlade utsläpp av ett antal tungmetaller i Keighley Marley avloppsreningsverk i Yorkshire. Kartläggningen delar in utsläppen i antingen kommersiella utsläpp eller hushållsutsläpp (tabell 7).

Tabell 7. Olika tungmetallers ursprung i ett avloppsreningsverk (Omu, 2009).

Metall	Kommersiell	Hushåll
Al	-	Medicin, kosmetika, rengöringsmedel
Cr	Laboratorium, sjukhus, apotek, biltvätt, bansinmack	-
Cu	Laboratorium, sjukhus, apotek, biltvätt, bansinmack	Ledningar, fekalier, kosmetika, medicin, pesticider, matprodukter
Zn	-	Ledningar fekalier, kosmetika, medicin, pesticider, salvor
Pb	-	Ledningar, kosmetika, matprodukter
Hg	Sjukhus, tandläkare, apotek, biltvätt, bensinstation, laboratorium	-

2.8.8. Guld i avloppsvatten

En studie av Lottermoser (1994) visar att avloppsvatten i städer har högre halter av guld jämfört med avloppsvatten från landsbygden. Detta tros bero på den industriella verksamhet som finns i städer.

2.8.9. Tungmetall/fosfor-kvoter i avloppsvatten

Magnusson (2003) studerade miljöfarliga ämnen från spillvatten i ett nybyggt, renodlat bostadsområde utan industrier och dagvatten i Hammarby Sjöstad. En slutsats som dras är att hushållen står för en stor del av de diffusa utsläppen av många miljöfarliga ämnen i spillvattnet. Vid mätningar av inkommande hushållspillvatten sågs att de flesta tungmetaller som undersöktes, utom koppar, varierade under dygnet beroende på varierande hemmanärvaro och vattenanvändning. Resultaten av undersökningen visade bland annat att kvoten mellan kadmium och fosfor hamnade på $12,2 \text{ mg Cd/kg P}$ (tabell 8) (Magnusson, 2003).

Jönsson m.fl. (2005) gjorde en studie över sammansättningen av olika typer av avloppsvatten för att kunna jämföra utsläpp från olika avloppssystem i en substansflödesanalys med verktyget URWARE (URban WATER Research model). Studien visar att kadmium/fosfor-kvoterna i hushållsavloppsvatten från ett äldre avloppssystem hamnar på 29,1 mg Cd/kg P medan ett hushållsavloppsvatten från ett nytt avloppssystem ligger på 11,3 mg Cd/kg P (tabell 8) (Jönsson m.fl., 2005). Kvoterna från rapporten har justerats (dividerats med 0,79) så att de motsvarar ett avloppsvatten utan fosfor i tvätt- och diskmedel. Detta har gjorts med antagandet att det flödar 0,44 g/(p,d) fosfor från tvätt- och diskmedel i avloppsvatten (Naturvårdsverket 1995) och att det totala flödet av fosfor i avloppsvatten från ett bostadsområde är 2,08 g/(p,d) (Jönsson m.fl., 2005).

Tabell 8. Justerade tungmetall/fosfor kvoter (mg/kg) för att motsvara hushållspillvatten utan fosfor i tvätt- och diskmedel från URWARE (Jönsson m.fl., 2005) och Hammarby sjöstad (Magnusson, 2003).

Kvot	URWARE äldre system	URWARE nytt system	Hammarby sjöstad
Pb/P	825	266	470
Cd/P	36,9	14,3	15,5
Hg/P	9,0	6,7	7,1
Cu/P	6 980	3 934	5 203
Cr/P	876	241	368
Ni/P	1 104	444	990
Zn/P	15 228	9 898	9 645

2.8.10. Kartläggning för ursprung av tungmetaller i slam

Levlin m.fl. (2001) gjorde en kartläggning av tungmetallers ursprung i slam (tabell 9).

Tabell 9. Orsak till utsläpp av vanliga metaller i städer.

Metall	Orsak till utsläpp
Zn	Fordonstvättar, ytbehandlare, dag-, tak- och dränvatten, hushåll (urin, fekalier, korrosion), förbränningsanläggningar
Cd	Fordonstvättar, dagvatten från vägar och parkeringar, hushåll (urin, fekalier, korrosion), konstnärsskolor, tvättvatten från tvätterier
Ni	Ytbehandlare, verkstadsindustri (rostfritt stål), fordonstvättar
Hg	Hushåll (amalgam, urin och fekalier), tandvårdsmottagningar, laboratorier.
Pb	Fordonstvättar, dagvatten från flygplatser.
Cu	Tappvattensystem (kopparrör), industrispillvatten, dagvatten från trafikplatser.

2.8.11. Flödesanalys av spårelement från källa till slam

Wittgren och Pettersson (2013) gjorde en litteraturstudie över spårelementen silver, guld, vismut och antimon för att kunna utöka verktyget SoFi till att omfatta de nämnda spårelementen. Dessutom gjordes en provtagning och experiment för att undersöka specifika källor till de fyra spårelementen där fokus legat på källor i hushållet och tvättvatten från fordonstvättar. De potentiella källorna till spårelementen i hushåll som föreslås är kosmetika (silver, guld och vismut), smycken (silver och guld), silverbehandlade klädesplagg (silver), bestick (silver) och tandamalgam (silver). För fordonstvättar var intresset inriktat på vismut. Analysresultaten har sedan extrapolerats för att göra en uppskattning av varje källas bidrag till innehållet i inflödet till Slotthagens reningsverk i Norrköping (Wittgren & Pettersson, 2013).

Resultaten visade att kosmetika skulle kunna stå för 40 % av utsläppet av vismut i inflödet till reningsverket (Wittgren & Pettersson, 2013). Ögonskugga, handtvätt med silverringar och fordonstvätt skulle kunna bidra med 2 % vardera av silverinflödet. Tvättvatten från silverbehandlade kläder uppskattades kunna bidra med 4 %. Amalgamfyllningar skulle kunna

förklara 1 % av inflödet av silver, lika mycket som bidraget av vismut från fordonstvättar. Guld förklarades med mindre än 1 % för alla utvärderade källor (Wittgren & Pettersson, 2013).

3. MATERIAL OCH METODER

För att kartlägga utsläppen i Uppsalas spillvattennät gjordes två typer av provtagningar på avloppsvattnet, en flödesproportionell provtagning och en passiv provtagning och en substansflödesanalys i Excellverket SoFi. Den flödesproportionella provtagningen gjordes på fem områden (figur 1) och krävde mer arbete och förberedelser jämfört med den passiva provtagningen som var betydligt enklare att genomföra och gjordes i alla områden. Provtagningarna genomfördes under mars månad i ca 12 dygn. Det var minusgrader i luften och avloppsvattnet höll en ungefärlig temperatur av 8 °C.

3.1. FLÖDESPROPORTIONELL PROVTAGNING

Vid 1988-1989 års spårning togs prover med jämna mellanrum med intervall så kort som varannan minut. I denna studie var provtagningen inte styrd av tid utan vattenflöde. En flödesproportionell provtagning ger ett mer representativt resultat än en tidsstyrd provtagning. Förklaringen till detta är att i en spillvattenledning är vattenflödet och koncentrationen av miljöstörande ämnen inte konstant under ett dygn. I till exempel ett bostadsområde är användningen av vatten hög på morgon och kväll vilket ger olika vattenflöde och en koncentrationsförändring av miljöstörande ämnen under dygnet. Detsamma gäller industriområden där aktiviteter ofta sker dagtid vilket kan ge ett dynamiskt föroreningsflöde över dygnet. Om provtagningen styrs av vattenflöde kommer koncentrationsvariationen av miljöstörande ämnen att fångas upp och den totala mängden av ämnet som flödat förbi kan beräknas på ett mer representativt sätt jämfört med tidsstyrd provtagning. Syftet med den flödesproportionella provtagningen är att ta fram ett medelvärde över flödena av miljöstörande ämnen i spillvattennätet precis som för spårningen 1988-1989.

3.1.1. Metaller som analyserades

Från den flödesproportionella provtagningen analyserades proverna på alla prioriterade metaller (tabell 10) inklusive fosfor, exklusive uran som finns i bergrunden och dricksvattnet och inte antas komma från företaget eller privatpersoner. Metallerna analyserades av ALS Scandinavia.

Tabell 10. De metaller som analyserades i den flödesproportionella provtagningen av ALS Scandinavia. Förkortningarna står under namnet på metallen.

Silver	Guld	Vismut	Kadmium	Krom	Koppar	Kviksilver	Nickel	Bly	Tenn	Volfram	Zink
Ag	Au	Bi	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sn	W	Zn

3.1.2. Provtagare ISCO 6712C

ISCO 6712C är en automatisk portabel provtagare. Provtagaren kan anpassas till många typer av provtagningar och lämpar sig väl till kommunala och industriella avlopp (MJK Automation, 2012a). Provtagaren är laddad med ett visst antal flaskor som fylls beroende på hur styrningen är programmerad (bilaga 1). ISCO 6712C kan styras på tid, vattenflöde och händelser (händelser kan i detta sammanhang betyda att en flödespump slås på eller av). När alla flaskor är fyllda måste proverna hämtas och provtagaren laddas med nya tomma flaskor.

På provtagaren sitter en display där bland annat tiden till nästa provtagning syns. Dessutom sitter en regulator med en kontrollpanel på provtagaren varifrån provtagningen styrs

(Teledyne Isco, 2012). Provtagarens torrsvikt är 15 kg och när den är fylld med prover väger den 32 kg. Den är 26,6 cm hög och har en diameter på 45,1 cm.

3.1.3. Flödesmätare

För att kunna styra ISCO 6712C på vattenflöde måste vattenflödet vara känt (MJK Automation, 2012a). Detta görs genom att installera tillbehöret ISCO flödesmodul 750 till provtagaren. ISCO flödesmodul 750 är en area-hastighetsgivare som möjliggör flödesstyrd provtagning och som loggar nivåvärden direkt i provtagaren (MJK Automation, 2012b).

ISCO flödesmodul 750 har två givare, en för att mäta nivå och en för att mäta hastighet (MJK Automation, 2012b). Med nivåmätningen bestäms tvärsnittsarean som vattnet skapar i ledningen där provtagningen äger rum som tillsammans med hastigheten ger vattenflödet i ledningen (ekvation 1).

$$Q = A * v \quad (1)$$

Där Q är vattenflödet, A är tvärsnittsarean och v är vattnets hastighet.

Nivågivaren är en rund ring (figur 9) som spänns upp längs insidan av röret och placeras nedströms provtagaren för att undvika igensättningar av sediment. Hastighetsgivaren har två kristaller för hastighetsmätningen, en som skickar ut och en som fångar upp ultraljud. Genom att skicka ut ultraljud från den ena kristallen och registrera hur lång tid det tar för signalen att studsas på luftbubblor och partiklar i vattnet och fångas av den andra kristallen kan hastigheten bestämmas (MJK Automation, 2012b). För att få rätt vattenflöde i avloppsledningen krävs att det strömmar lika fort i hela profilen. Således kan inte ISCO flödesmodul 750 användas i en punkt där vattenflödet är allt för turbulent utan måste sitta mitt på ett rör där vattenflödet kan antas vara lika i hela profilen.



Figur 9. Flödesmätaren är den svarta dosan som sitter fast i botten på ringen som spänns upp i röret där vattenflödet ska mätas. Till vänster i bilden syns ISCO provtagaren (författarens bild).

Hastighetsmätarens noggrannhet beror på hur snabb vattenflödet är. I intervallet -1,5 m/s till 1,5 m/s är osäkerheten $\pm 0,03$ m/s och ifall hastigheten är större ligger osäkerheten på 2 % (Teledyne Isco, 2011)

Från flödesmätaren loggas hastigheten och vattennivån och för att räkna ut vattenflödet måste arean i röret räknas ut för varje nivå-loggning (ekvation 2)

$$A = \pi r^2 * \frac{\theta}{2\pi} - \frac{r^2 * \sin \theta}{2} \rightarrow \frac{r^2}{2} * (\theta - \sin \theta) \quad (2)$$

$$\theta = 2 * \arccos \left(1 - \frac{h}{r}\right)$$

Där r är radien och h är vattennivån.

3.1.4. Placering av provtagare

För att vattenflödesmätningarna ska bli så representativa som möjligt ska provtagaren placeras i en jämn ström, och således i mitten och inte i änden av ett rör där vattenflödet kan bromsas upp (Teledyne Isco, 2012). Dessutom ska uppsugningsröret inte placeras för nära botten eller för nära ytan då det riskerar att proverna får ett överskott av tunga fasta- eller flytande partiklar. Optimalt vore att ta prover från en plats där det är turbulent vattenflöde där föroreningarna blandas om och det erhålls en mer rättvis bild av föroreningsmängden i vattnet jämfört med att ta prover från ett laminärt vattenflöde.

3.1.5. Tillvägagångssätt

Uppsala Vatten hade under provtagningstillfället tillgång till fem provtagare varför fem punkter på spillvattennätet undersöktes. Dessa punkter är i områdena I1, I2, S5, S6 och Bäcklösa. Provtagningsvolymen var 50 ml och provtagarna var programmerade att flödesproportionellt ta ca 10 prov per dag. Nivå och hastighetsvärden loggades varje kvart. Provtagningen pågick i 12 dygn. Provtagarna sänktes ner i brunnarna och fästes med kedjor. Eftersom både flödesmätaren och insugningsröret är lösa delar till provtagaren kunde de placeras på olika ställen i rören. Flödesmätaren kunde sitta där det var mindre turbulent vattenflöde medan insugningsröret satt där det var mest turbulent vattenflöde. Provtagarna underhölls med tre till fyra dagars mellanrum för att plocka bort skräp från provtagnings silen samt för att byta batteri (figur 10).



Figur 10. Provtagningssilen vid brunn S5. Provtagnings silen var vid flera tillfällen täckt av trasor och hushållpapper, speciellt vid denna brunn. Till vänster står ISCO provtagaren (författarens bild).

3.1.6. Vattenflöde i rör

Innan provtagningen skulle sättas igång bestämdes medelvattenflöde i rören. När vattenflödet var känt kunde provtagarna programmeras för att ta ca 10 prover under ett dygn. Den första gången provtagarna underhölls justerades medelvattenflödet ifall färre eller för många prover tagits per dygn. Medelvattenflödet varierade något under provtagningstiden varför inte exakt 10 prov per dag togs.

All loggad data över nivå och hastighet behandlades i Matlab. Först sorterades alla negativa och nollvärden (provtagarnas utdata då något inte fungerat till exempel att något fastnat på nivågivaren) bort från nivå- och hastighetsvektorena och ersattes med senaste positiva värdet. Sedan, efter att vattenflödet räknats ut, gjordes en timmedelvärdesberäkning av vattenflödet för att reducera bruset i mätserien. Från varje provtagningsspunkt räknades ett medelvärde med data för en hel vecka ut för att kunna beräkna flöden av metaller från varje område. En grafisk studie över vattenutflöde från Kungsängsverket visar att vattenflödet varit jämt och ingen flödestopp inträffat under provtagningstiden.

3.1.7. Provhantering

Provtagarna tömdes regelbundet och proverna förvarades kyllda vid ca 8°C. Ett samlingsprov för varje provtagningsspunkt gjordes. Samlingsproverna innehöll en flödesviktad mängd från varje flaska med provvätska. Eftersom provtagningssilen ofta sattes igen med skräp kom det i vissa fall olika mycket vätska och ibland inget alls vid vissa provtagningstillfällen. Därför innehöll vissa flaskor mer vätska än andra. Dessutom hade volymen som skulle passera innan provtagarna tog ett prov justerats vid första underhållningstillfället. Hänsyn togs till dessa faktorer när uppsamlingsprovet blandades ihop. Volymen i varje plastflaska mättes och provtagningsrapporterna studerades där all information om vattenflöde och problem vid provtagning registrerats (figur 11). De provflaskor som haft stora störningar med okänd mängd provvolym vid ett flertal tillfällen sorterades bort då de inte kunde anses representera ett känt vattenflöde.

Alla flaskor som användes för proverna var i plast. För analyser av kvicksilver rekommenderar ALS Scandinavia att en flaska av glas används för provförvaring eftersom kvicksilver kan diffundera ut i plastflaskor. Detta gjordes inte på grund av praktiska skäl.

Tre typer av uppsamlingsprover á 125 ml blandades från varje provtagningsspunkt och skickades till ALS Scandinavia i Luleå (tabell 11). Alla prover från samma provtagningsplats var lika flödesviktade. Uppsamlingsprov typ ett var till för att analysera tungmetallhalt i ett filtrerat prov och typ två och tre var till för att undersöka metallhalt i ofiltrerade prover.

Uppsamlingsprov typ ett och två var identiska och innehöll endast provtagningsvätskan när proverna skickades iväg till ALS Scandinavia. Den tredje typen av uppsamlingsprov hade behandlats med 1 % (av volymen) Suprapur som är en renad salpetersyra. Den tredje serien surgjordes för att få med eventuella metaller som fastnat i plastflaskorna där proverna förvarats. Efter att de två första serierna tappats upp hölls 1 % Suprapur ner i alla plastflaskor där provvätskan förvarats. Flaskorna fick stå över natten och dagen därpå blandades proverna ihop. Det prov som surgjorts luktade mycket mer och hade en ljusare färg än de prover som inte surgjorts (figur 11).



Figur 11. På bilden till vänster står tre uppsamlingsprov från samma provtagningspunkt. De två flaskorna till vänster har inte surgjorts och flaskan till höger har surgjorts. På bilden till höger syns hur uppsamlingsproverna blandades ihop (författarens bilder).

Den första typen av uppsamlingsprov, som inte var surgjord, filtrerades hos ALS Scandinavia för att undersöka proverna utan större partiklar. Den andra typen av uppsamlingsprov, som inte var surgjord i Uppsala, skulle inte filtreras utan användes för att mäta halten av volfram i vätskan (tabell 11). Volfram reagerar nämligen med Suprapur och bildar utfällningar varför ALS Scandinavia behövde ett uppsamlingsprov utan syra. Vål hos ALS Scandinavia kan prover surgöras men under speciell behandling.

Tabell 11. Uppsamlingsprover som analyserades av ALS Scandinavia.

Namn på prov	Filtrerad av ALS Scandinavia	Ofiltrerad	Surgjord av ALS Scandinavia	Surgjord i Uppsala
Bäcklösa – 1	x		x*	
Bäcklösa – 2		x	x**	
Bäcklösa – 3		x		x
Industri 1 – 1	x		x*	
Industri 1 – 2		x	x**	
Industri 1 – 3		x		x
Industri 2 – 1	x		x*	
Industri 2 – 2		x	x**	
Industri 2 – 3		x		x
Samhälle 5 -1	x		x*	
Samhälle 5 -2		x	x**	
Samhälle 5 -3		x		x
Samhälle 6 -1	x		x*	
Samhälle 6 -2		x	x**	
Samhälle 6 -3		x		x

*Surgörning gjordes efter filtreringen.

**Surgjord under speciella förhållanden för att volfram inte skulle fällas ut.

3.1.8. Analys av metaller av ALS Scandinavia

Vid analys av silver gjordes uppslutning med saltsyra (HCL) i autoklav. För volfram blev provet upplöst med suprapur (HNO₃) och vätefluorid i värmeblock. Resterande metaller upplöster med 1 % suprapur i autoklav.

Kvicksilver analyserades, efter kallförångning, med atomfluorescens (AFS). Fluorescensspektrometern utnyttjar ljusemission från atomer (ALS Scandinavia, 2013). Halten kan bestämmas genom att provet bestrålas med ett ljus med en karaktäristisk våglängd för kvicksilveratomen som absorberar ljuset och sedan sänder ut det. Analysen gjordes enligt SS-EN ISO 17852:2008.

Analysen av resterande metaller utom silver och vismut gjordes med optisk emissionsspektrometri med induktivt kopplad plasma (ICP-AES). Plasman bildas av argongas som flödar genom ett radiofrekvensfält där temperaturen blir mycket hög (10 000°C) och gasen innehåller elektriskt laddade partiklar (ALS Scandinavia, 2013). Vid höga temperaturer avger de flesta ämnen ett unikt ljus, varifrån halten kan bestämmas. När halterna av ett visst ämne bestäms leds provet in i plasman i form av en aerosol av små vätskedroppar. Ljuset från de olika ämnena delas med ett gitter och fångas upp av känsliga detektorer. Analysen gjordes enligt EPA-metod 200.7 (ICP-AES)

Analysen av silver och vismut utfördes en metod (ICP-SFMS) som utnyttjar ett plasma av samma typ som ICP-AES men där grundämnena blir till joner som sedan separeras efter massa till laddningsförhållande i en masspektrometer (ALS Scandinavia, 2013). I ICP-SFMS används magnetiska elektrostatiske sektorer för att separera grundämnena. Denna metod används på ”svåra” provtyper där ICP-AES inte kan användas. Analysen gjordes enligt EPA-metod 200.8 (ICP-SFMS).

3.2. PASSIV PROVTAGNING

Med den passiva provtagare som användes i denna undersökning erhöles inte koncentrationen av metalljoner i vattnet, däremot ackumulerade provtagaren joner under tiden den var nedsänkt. Med den passiva undersökningen kunde en relativ jämförelse mellan olika områden göras. Eftersom det fanns ett begränsat antal ISCO 6712 C tillgängliga var en passiv provtagning det bästa alternativet för att kunna spåra utsläppen och göra en relativ jämförelse av metallutsläpp mellan de 13 olika områdena.

3.2.1. Passiv provtagare - Ecoscope

Ecoscope är en liten (11 cm lång och 3 cm i diameter) och lätt (under 40 gram) passiv provtagare som mäter ackumulerad mängd organiska ämnen och tungmetaller i vatten (Kulbay & Lindvall, 2012). En fördel med Ecoscope är att den inte kräver någon yttre energikälla, att den kan användas under en lång tid och att den lämpar sig väl att använda i trånga utrymmen som ett avloppssystem (ALcontrol Laboratories, 2013). Med flera Ecoscope går det att utföra provtagning i många punkter samtidigt vilket möjliggör en jämförelse av halter i olika punkter. Ecoscope lämpade sig således väl till denna studie där en jämförelse mellan 13 olika områden skulle göras.

Beroende på om det är metaller eller organiska ämnen ska analyseras prepareras Ecoscopen på olika sätt. För att analysera metaller prepareras Ecoscopen med en jonbytmassa (Carlsson M. , 2005). Metallerna ackumuleras i Ecoscopen genom att de vattenlösliga jonerna fastnar i jonbytmassan. Det är sedan jonbytmassan som analyseras för att bestämma den ackumulerade mängden joner under undersökningstiden. Om ett ämne som finns i både

positiv och negativ jonform ska analyseras, till exempel fosfor, måste dubbla uppsättningar Ecoscope sättas i provtagningspunkten för att fånga upp både kat- och anjoner.

Tiden som Ecoscopen ska vara nedsänkt i vattnet beror på föroreningsmängden och varierar mellan två till fyra veckor (Carlsson M. , 2005). Vid en spillvattenundersökning, som har en hög föroreningsmängd, bör Ecoscopen endast ligga i två veckor (ALcontrol Laboratories, 2012). Avgörande för de ackumulerade substansmängderna är bland annat momentanhaltan av respektive förening i det omgivande vattnet samt exponeringstiden. Enligt Al Control (2012) påverkas inte de ackumulerade substansmängderna av vattenflödet i någon större utsträckning. Dock är det så att om Ecoscopet ska fånga metalljonen i jonbytarmassan måste metalljonen komma i kontakt med det yttersta skiktet av Ecoscopet. Om ett Ecoscope skulle vara nedsänkt i ett förorenat vatten som stod helt stilla skulle det skiktet som är närmast Ecoscopet inte bytas ut och samma joner ligga runt det yttersta skiktet av Ecoscopet varför få joner skulle ackumuleras.

Ecoscopen levereras i flaskor fyllda med avjonat vatten och innan användning förvaras de i kylskåp upp till tre veckor (ALcontrol Laboratories, 2012). Ecoscopen bör placeras en bit under vattenytan så att det inte finns risk att det går torrt och kan med fördel hänga i ett snöre fäst i de två hål som provtagaren har. När provtagaren tas upp ska den läggas tillbaka i den flaska den levererades i med antingen det avjonade vattnet de anlände i eller med vatten från provtagningsplatsen.

3.2.2. Analys av metaller

Ecoscopen analyserades för mängder av kadmium-, silver-, kvicksilver-, koppar-, nickel-, bly-, krom-, zink- samt fosforjoner. Det gick inte att analysera Ecoscopen på alla spårämnen som från ISCO provtagningen utan ett begränsat antal metaller kunde analyseras. Från analysen gavs en halt tungmetall i jonbytarmassan (μg metall/kg jonbytarmassa).

Analysen görs med Induktivt kopplad plasma-masspektrometri (ICP-MS) (ALcontrol Laboratories, 2012). ICP-MS är en analysmetod som använder en plasma för att överföra grundämnen till joner där koncentrationen kan bestämmas i en masspektrometer (ALS Life Sciences, 2013). Analysmetoden gör det möjligt att mäta ytterst små mängder tungmetaller.

Metodbeteckningen för kvicksilveranalysen hette SS EN 1483:2007. Metodbeteckningen för P hette SS EN ISO 11885-1 och metodbeteckningen för övriga metaller hette SS EN ISO 17294-2:2005.

Detektionsgränsen för de olika metallerna som analyseras är olika för varje prov. Detta beror på att mängden jonbytarmassa varierar efter att proverna varit nere i vattnet under provtagningsstiden. Ju mer jonbytarmassa som vägts in, ju lägre blir detektionsgränsen.

3.2.3. Utförande

I denna studie skulle fosfor analyseras, därför var det två Ecoscope i varje brunn. Ecoscopen sattes ut i var och en av de 13 noder dit de olika områdets spillvattennät leds. Alla Ecoscope blev inte utsatta under samma dygn men de sista Ecoscopen att sänkas ner sattes ut 24 timmar efter de första. Ecoscopen fästes med ett snöre vid toppen av brunnen och placerades en bit

under vattenytan med hjälp av tyngder för att inte riskera att provtagarna skulle gå torra (figur 12).



Figur 12. Två Ecoscope med tyngd upphängda i fiskelina. Jonbytarmassan är placerad på toppen av Ecoscopen i de två mörka cirkelarna som syns i bilden. Tyngden är plastbehållaren som är fäst framför Ecoscopen (författarens bild).

Efter 12-13 dygn togs proverna upp och sattes ner i behållarna de leverats i med avjonat vatten och skickades tillbaka till Alcontrol Laboratories för analys.

3.3. JÄMFÖRELSE MELLAN PROVTAGNINGARNA

En undersökning med Ecoscope är enklare att göra än en undersökning med provtagare ISCO. Allt arbete som krävs med ISCO, till exempel programmering, provhantering och batteribyte, utgår. Däremot måste Ecoscopen fortfarande ses till några gånger under provtagningen då papper ofta fastnar på Ecoscopen som hindrar nytt vatten från att nå jonbytarmassan.

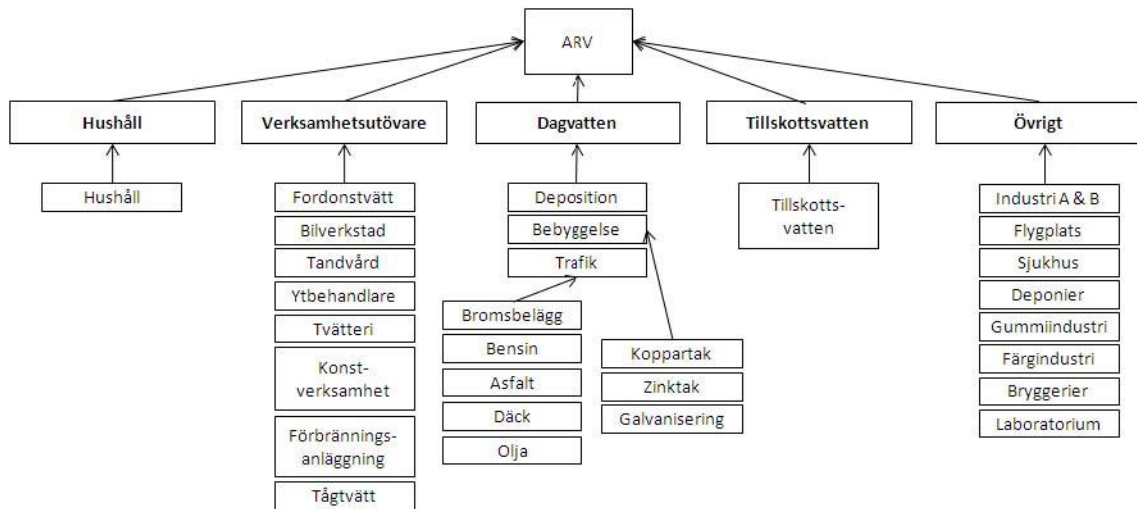
Syftet med att göra en jämförelse var att ta reda på ifall det fanns ett linjärt samband mellan provtagningsmetoderna för att Uppsala Vatten i framtiden ska slippa använda en flödesproportionell provtagning, och istället kunna översätta resultatet från den passiva provtagningen till halter. Om det finns ett samband mellan provtagningsmetoderna, det vill säga om det går att översätta resultaten från Ecoscope till halter, och vattenflödet är känt kan flödena av metallerna beräknas. Troligtvis finns ett samband mellan halten i vattnet och den ackumulerade mängden i Ecoscopen (Wigilius, 2013). Dock påverkas Ecoscopen även av andra faktorer som till exempel vattnets hastighet och sambandet mellan den ackumulerade mängden i Ecoscopen och halten i vattnet är troligtvis inte entydigt (Wigilius, 2013).

3.4. SOFI

Source Finder (SoFi) är ett Excellbaserat verktyg för att identifiera källor till tungmetallutsläpp uppströms avloppsreningsreningsverk (Norström m.fl., 2010). Initiativet till att utveckla SoFi kom då det ställdes högre krav på slamkvalité efter att det blev möjligt för avloppsreningsreningsverk att bli REVAQ – certifierade. SoFi blev resultatet av ett examensarbete vid Uppsala Universitet (Eronen, 2010) Huvudpoängen med SoFi är att kunna identifiera källor till och kvantiteter av tungmetallutsläpp samt att ge en fingervisning om vart insatserna bör sättas in för att på bästa sätt förbättra slamkvaliteten (Eronen, 2010).

SoFi visar en substansflödesanalys av tungmetaller i avloppssystemet. I SoFi beräknas fem metallers substansflödesanalys: kadmium, kvicksilver, koppar, zink och krom. I

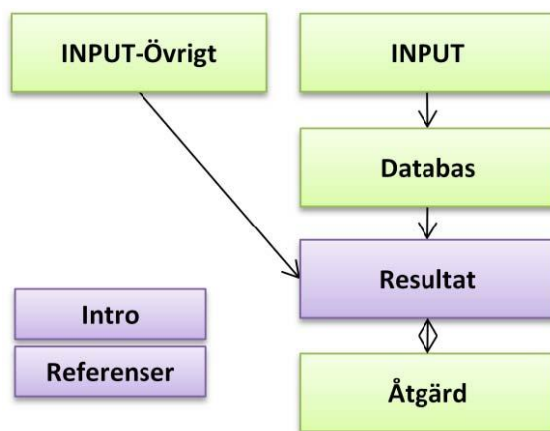
substansflödesanalysen delas källorna upp i fem domäner: hushåll, verksamheter, dagvatten, tillskottsvatten (inläckande vatten exempelvis dag och dränvatten) och övrigt (figur 13).



Figur 13. Substansflödesanalys av hur tungmetaller färdas i avloppssystemet (Eronen, 2010).

3.4.1. Så fungerar SoFi

SoFi är indelat i sju flikar varav fyra är grönmärkade och kräver indata för att resultat ska beräknas (figur 14). De indata som krävs är bland annat utsläpp av specifik metall per år och hur många procent av den specifika metallen som reduceras i avloppsreningsverket.



Figur 14. Principskiss för de olika flikarna samverkar i SoFi (Eronen, 2010).

Det finns sju flikar i Excelldokumentet, *Intro*, *INPUT*, *INPUT-Övrigt*, *Databas*, *Resultat*, *Åtgärd* och *Referenser*. Den första fliken, *INPUT* fylls med information till fyra av de fem källdomänerna: hushåll, verksamhet, dagvatten och dränvatten. Dessutom går det i samma flik att göra en resultatkontroll där data som matats in om tungmetallmängder kan jämföras med en uträkning som gjorts med schablonvärden.

Den andra fliken som kräver indata det vill säga *INPUT-Övrigt* fylls med information om A- och B-verksamheter och övriga verksamheter som inte räknas som något av de fyra första källdomänerna. A- och B-verksamheter är tillståndspliktiga miljöfarliga verksamheter (Uppsala Kommun, 2012).

Fliken *Databas* innehåller en sammanställning av emissionskoefficienter. Här kan val av emissionskoefficient göras för tungmetallkällorna hushåll, avfallsbränning och tillskottsvatten (Eronen, 2010).

Fliken *Resultat* visar mängden och även det procentuella bidraget av metallutsläpp från respektive källdomän.

Nästa flik som kan fyllas i heter *Åtgärd*. Där kan reduktion av utsläpp för olika källor matas in för att utvärdera den totala reduktionen från området.

De sista flikarna *Intro* och *Referenser* innehåller en beskrivning av SoFi och en referenslista.

3.4.2. Indata till SoFi

För att kunna göra en analys i SoFi behöver all indata definieras. Förutom antalet invånare och mängd läck- och dränvatten per år i området ska tabell 12, tabell 13 och tabell 14 fyllas i.

Tabell 12. De tomma raderna ska fyllas i SoFi med indata över verksamheters utsläpp per år.

Verksamheter	Enhet	Cd	Hg	Cu	Zn	Cr	Enhet
Fordonstvättar Personbil	antal/år						g/år
Fordonstvättar Övriga fordon	antal/år						g/år
Tågtvättar	antal/år						g/år
Tandvård	Antal						g/år
Bilverkstäder	Antal						g/år
Ytbehandlare	m ³						g/år
Konstnärsverksamhet	Gram						g/år
Industritvätt	Kg						g/år
Avfallsförbränning	m ³						g/år

Tabell 13. De tomma raderna ska fyllas i SoFi med indata om dagvatten ifall avloppsnätet är kombinerat.

Dagvatten	Enhet
Area hårdjord yta	Ha
Area väg	Ha
Trafikarbete	km/år
Area koppartak	Ha
Area zink tak	Ha
Andel av året som dubbdäck används	Andel
Andel som använder dubbdäck	Andel

Tabell 14. De tomma raderna ska fyllas i SoFi med indata över utsläpp från övriga verksamheter.

Övrigt	Cd	Hg	Cu	Zn	Cr	Enhet
Flygplats						g/år
Sjukhus						g/år
Deponier						g/år
Gummiindustrier						g/år
Laboratorium						g/år
Färgindustri/måleriföretag						g/år
Bryggerier/läskedryckstillverkning						g/år
Övrigt						g/år

Från diverse miljörapporter om olika verksamheter i Uppsala kunde indata till matas in. I de fall det inte fanns någon indata att tillgå har de inbyggda schablonvärdena i SoFi använts.

3.4.3. SoFi -utförande

Antalet invånare i Uppsala, både bokförda och icke bokförda, uppgår till 162 900 personer (Larsson, 2013). Mängden läck- och dränvatten varierar men ligger någonstans kring 8 000 000 m³ per år (Swedling, 2013).

På Uppsalas spillvattennät fanns ca 25 större, 10 medelstora och 21 små fordonstvättar. Benämningen större fordonstvätt fås då verksamheten tvättar fler än fem personbilar eller ett större fordon per dag (Miljökontoret, 2010). En medelstor fordonstvätt tvättar fler än 1 250 och mindre än 5 000 bilar om året. En mindre fordonstvätt tvätta mindre än 1 250 bilar om året. Alla fordonstvättar ska ha en egenkontroll där en provtagning på utgående avloppsvatten ska ingå. Hur ofta provtagningen ska göras beror på hur stor verksamheten är. Data av utsläppsrapporter och vattenförbrukning från cirka 20 stycken fordonstvättar inhämtades, medan resterande utsläppsdata togs från schablonvärden.

Det fanns 68 tandvårdsanläggningar och 74 bilverkstäder. För dessa verksamheter räknades med schablonvärden eftersom det inte fanns någon data att tillgå. Ytbehandlare släpper inte ut något avloppsvatten på ledningsnätet. Varken industritvättar, tågtvättar, avfallsförbränning eller dagvatten var påkopplat på spillvattennätet.

Det finns inga data på utsläpp från laboratorium från Uppsala Universitet, SVA eller SLU. Däremot fanns information om utsläpp från flygplatsen i Ärna samt utsläpp från Akademiska sjukhuset.

4. RESULTAT

Den flödesproportionella provtagningen visade att de högsta halterna av flera metaller (kadmium, krom, nickel, volfram, zink, koppar och bly) i avloppsvattnet återfanns i I1, även om halterna sjunkit drastiskt sedan 1989. Bäcklösa stack ut som ett område med det högsta vattenflödet och där halterna av flera metaller (kadmium, krom, nickel, zink, bly och fosfor) ökat sedan 1989. Från den passiva provtagningen stack området Ultuna ut där stora jonmängder av flera metaller (kadmium, silver, kvicksilver, nickel och krom) återfanns.

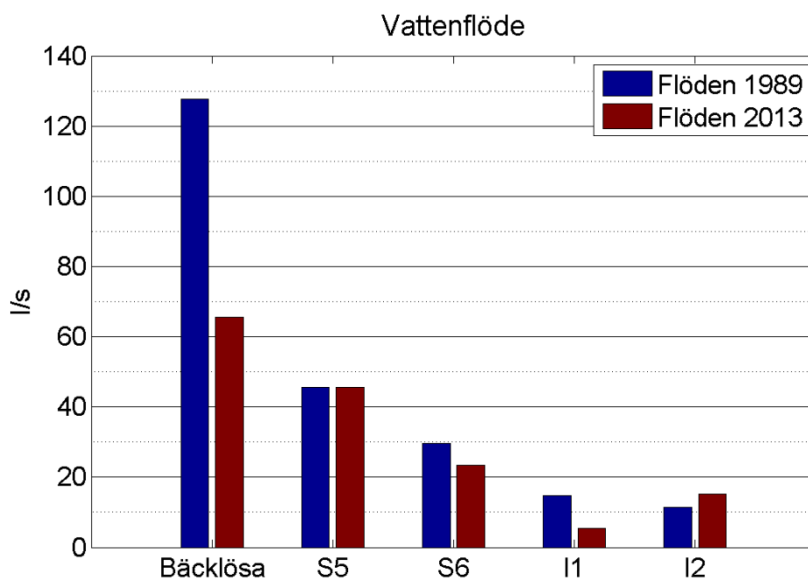
4.1. FLÖDESPROPORTIONELL PROVTAGNING

Generellt sett hade halterna av bly, kvicksilver och kadmium minskat sedan 1989 medan halterna av zink, koppar, krom och nickel har ökat i industriområdena I1 och I2. För bostadsområdena S5, Bäcklösa samt S6 hade halterna av kvicksilver och koppar minskat sedan 1989 medan halterna av kadmium, zink och krom hade ökat. Skillnaden mellan ofiltrerade och filtrerade prover var för flera metaller och fosfor större i industriområdena I1 och I2 jämfört med bostadsområdena, vilket indikerar att sediment kan ha provtagits i I1 och I2. Bostadsområdet S5 hade den högsta Cd/P -kvoten medan industriområdet I2 hade den lägsta kvoten.

De metaller som analyserades 1989 ligger med i graferna för att kunna underlätta en jämförelse. Resultaten av de två typerna av ofiltrerade prover (uppsluten i Uppsala och uppsluten av ALS Scandinavia) är redovisade som ett medelvärde med standardavvikelse (figur 16-figur 25). Standardavvikelsen för de ofiltrerade proverna är redovisade mellan högsta punkten i staplarna och det lilla vertikala strecket ovanför stapeln i graferna. De filtrerade proverna är redovisade ovanpå de ofiltrerade proverna i graferna. Detektionsnivån var olika för varje metall men densamma för ofiltrerade respektive filtrerade prover.

4.1.1. Vattenflöde

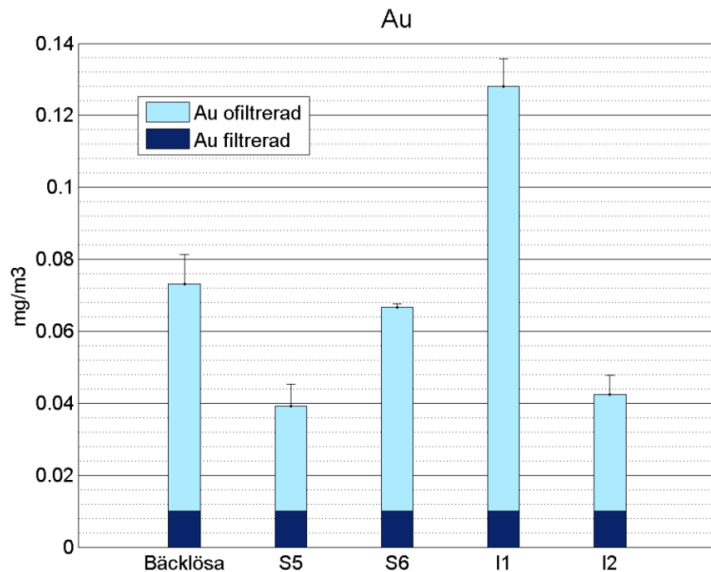
Vattenflödet var betydligt högre i både Bäcklösa och I1 år 1989 jämfört med under provtagningsperioden 2013. Mellan övriga vattenflöden är skillnaden inte lika stor (figur 15).



Figur 15. Vattenflöden i de fem områden där den flödesproportionella provtagningen gjordes.

4.1.2. Guld

Alla koncentrationmätningar av filtrerade prov för guld låg under detektionsnivån ($0,01 \text{ mg/m}^3$). De ofiltrerade proverna från de två industriområdena skiljde sig åt där I1 hade den högsta koncentrationen och I2 hade en betydligt lägre koncentration (figur 16).

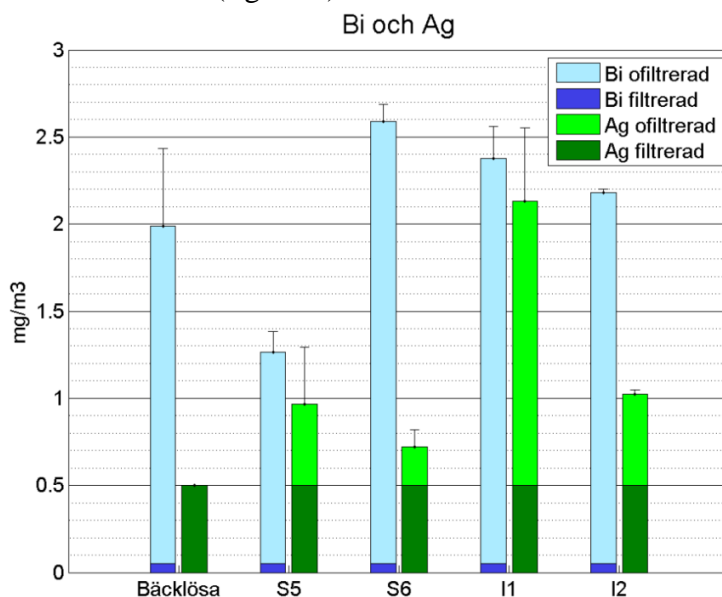


Figur 16. Koncentrationen av guld från de fem områden där flödesproportionell provtagning gjordes. Alla filtrerade prover låg under detektionsnivå ($0,01 \text{ mg/m}^3$). Både de filtrerade och ofiltrerade staplarna börjar vid noll.

4.1.3. Vismut och silver

För de filtrerade proverna låg koncentrationen av vismut under detektionsnivå ($0,05 \text{ mg/m}^3$) för alla fem områden. För koncentrationen av vismut från de ofiltrerade proverna utmärker sig S5 som det område med lägst koncentration. Den högsta koncentrationen av vismut från de ofiltrerade proverna kom från S6 följt av I1 och I2 (figur 17).

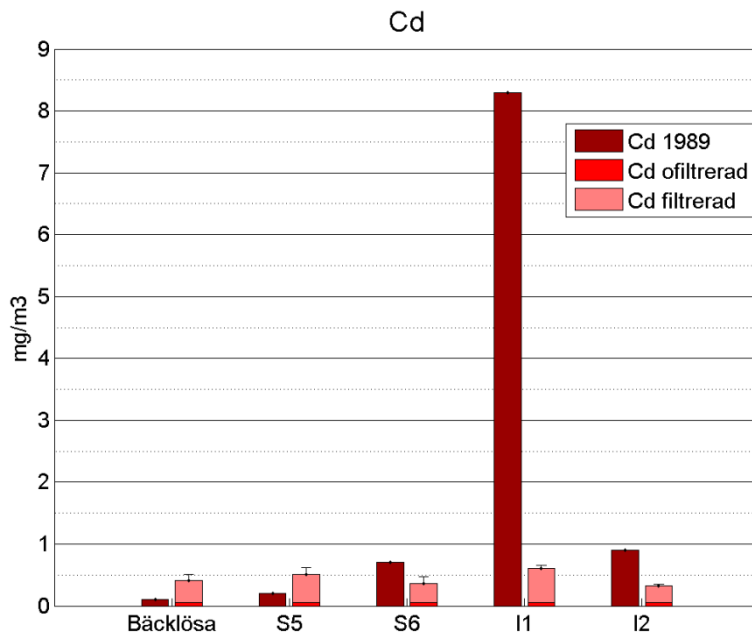
För silver var det I1 som hade de högsta halterna och Bäcklösa låg under detektionsnivå ($0,5 \text{ mg/m}^3$) för både filtrerade och ofiltrerade prover. De filtrerade proverna låg alla under detektionsnivå (figur 17).



Figur 17. Koncentrationerna av vismut och silver i de fem områden där flödesproportionell provtagning gjordes. De filtrerade proverna låg under detektionsnivå för både vismut och silver. Även det ofiltrerade provet för Bäcklösa låg under detektionsnivå för silver. Både de filtrerade och ofiltrerade staplarna börjar vid noll.

4.1.4. Kadmium

Koncentrationen av kadmium för de filtrerade proverna låg under detektionsnivån ($0,05 \text{ mg/m}^3$) för alla områden. Av de ofiltrerade proverna var koncentrationen av kadmium högst och lägst för de två industriområdena I1 respektive I2. Koncentrationen av kadmium varierade mindre mellan övriga områden. Från område I1 sticker det historiska mätvärdet för det ofiltrerade provet från 1989 ut som är flera gånger högre än det var i denna undersökning. Även för I2 och S6 har koncentrationen minskat betydligt. Noterbart är att för bostadsområdena S5 och Bäcklösa har koncentrationen ökat sedan 1989 (figur 18).

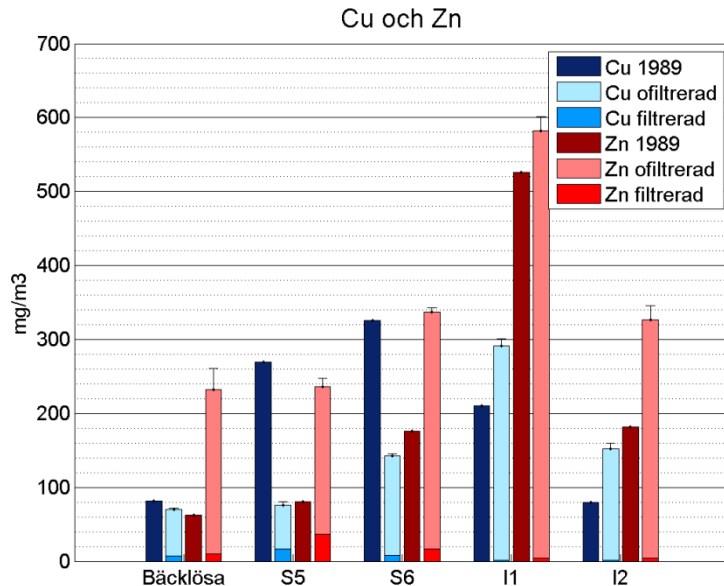


Figur 18. Koncentrationen av kadmium i de fem områden där flödesproportionell provtagning gjordes. Alla filtrerade prover låg under detektionsnivå ($0,05 \text{ mg/m}^3$). Både de filtrerade och ofiltrerade staplarna börjar vid noll.

4.1.5. Koppar och zink

För koppar låg endast koncentrationen av det filtrerade provet för I2 under detektionsnivån (1 mg/m^3). Bostadsområdena hade de högsta koncentrationerna av koppar från de filtrerade proverna. Av de ofiltrerade proverna var koncentrationen högre i industriområdena än bostadsområdena. Det var större skillnad i koncentration mellan de filtrerade och ofiltrerade proverna för industriområdena jämfört med övriga områden. Koncentrationen av koppar hade ökat i industriområdena sedan 1989 medan de sjunkit i övriga områden, framför allt S5 och S6 (figur 19).

För zink låg koncentrationen från bägge industriområdenas filtrerade prover under detektionsnivån (4 mg/m^3), medan högre koncentrationer mättes från bostadsområdena. För de ofiltrerade proven hade I1 den högsta koncentrationen, Bäcklösa och S5 hade de lägsta koncentrationerna. Koncentrationen hade stigit sedan 1989 i samtliga områden, dock minst i I1 (figur 19).



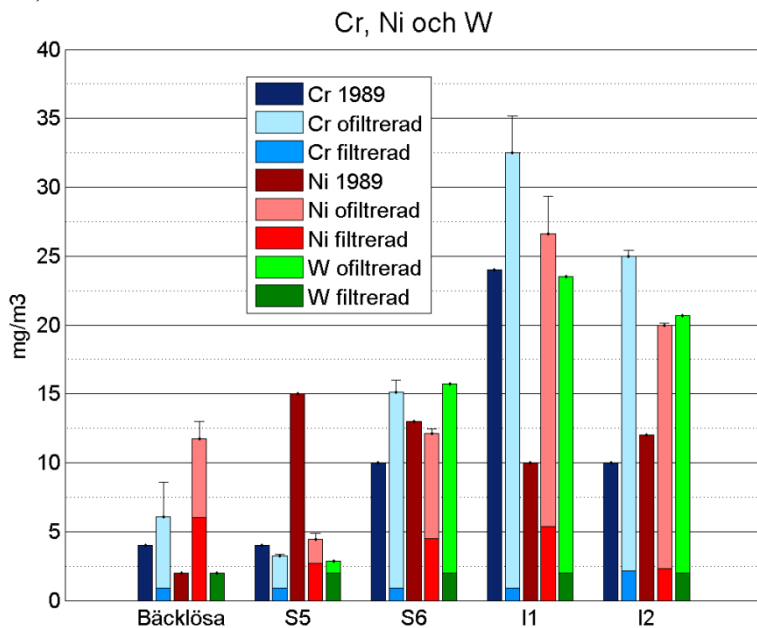
Figur 19. Koncentrationen av koppar och zink i de fem områden där flödesproportionell provtagning gjordes. Det filtrerade provet från I2 låg under detektionsnivå (1 mg/m^3) för koppar. De filtrerade proverna från I1 och I2 låg under detektionsnivå (4 mg/m^3) för zink. Både de filtrerade och ofiltrerade staplarna börjar vid noll.

4.1.6. Krom, nickel och volfram

Av de filtrerade proverna som analyserats för krom var det endast provet från I2 som inte var under detektionsnivån på $0,9 \text{ mg/m}^3$. De högsta halterna från de ofiltrerade proverna kom från industriområdena. Koncentrationen av krom hade, utom i S5, ökat sedan 1989 i samtliga områden och den största ökningen hade skett i I2 (figur 20).

Inget av de filtrerade proverna som analyserats för nickel hamnade under detektionsnivån och inget typ av område utmärker sig för att ha en speciellt hög koncentration. De högsta koncentrationerna från de ofiltrerade proverna kommer från industriområdena. I industriområdena var koncentrationsskillnaden mellan det filtrerade och de ofiltrerade proverna större än övriga områden. Halten av nickel hade stigit i industriområdena och Bäcklösa sedan 1989 (figur 20).

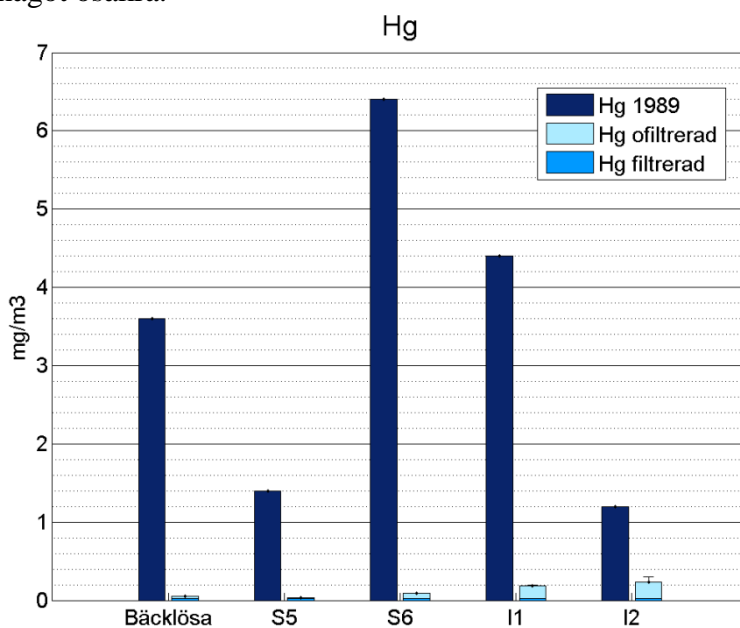
För volfram låg koncentrationen för alla filterade prover under detektionsnivån på 2 mg/m^3 och även det ofiltrerade provet från Bäcklösa var under detektionsnivå. De högsta koncentrationerna från de ofiltrerade proverna kommer från industriområdena samt S6 (figur 20).



Figur 20. Koncentrationerna av krom, nickel och volfram i de fem områden där flödesproportionell provtagning gjordes. För krom var endast de filterade proverna från I2 över detektionsnivå ($0,9 \text{ mg/m}^3$). För volfram låg alla filterade prover under detektionsnivå (2 mg/m^3) inklusive det ofiltrerade provet från Bäcklösa. Både de filterade och ofiltrerade staplarna börjar vid noll.

4.1.7. Kvicksilver

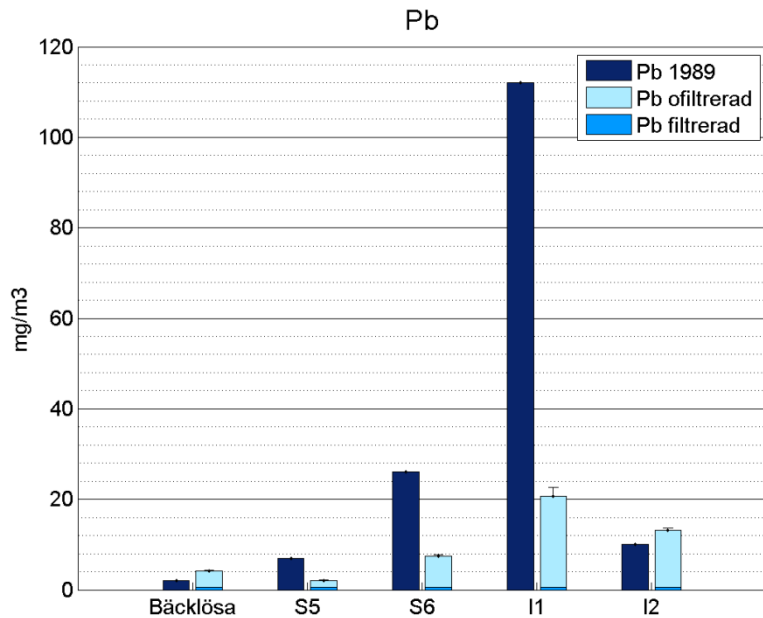
Av de filterade proverna var alla områdens koncentrationer under detektionsnivån ($0,02 \text{ mg/m}^3$). De högsta koncentrationerna av kvicksilver från de ofiltrerade proverna kom från industriområdena och framför allt I2. Det var betydligt högre koncentrationer av kvicksilver 1989 i alla fem områden, S6 i synnerhet, jämfört med under denna undersökning (figur 21). Proverna borde ha förvarats i glasflaskor men förvarades i plastflaskor varför resultaten är något osäkra.



Figur 21. Koncentrationen av kvicksilver i de fem områden där flödesproportionell provtagning gjordes. Alla filterade prover låg under detektionsnivå. Både de filterade och ofiltrerade staplarna börjar vid noll.

4.1.8. Bly

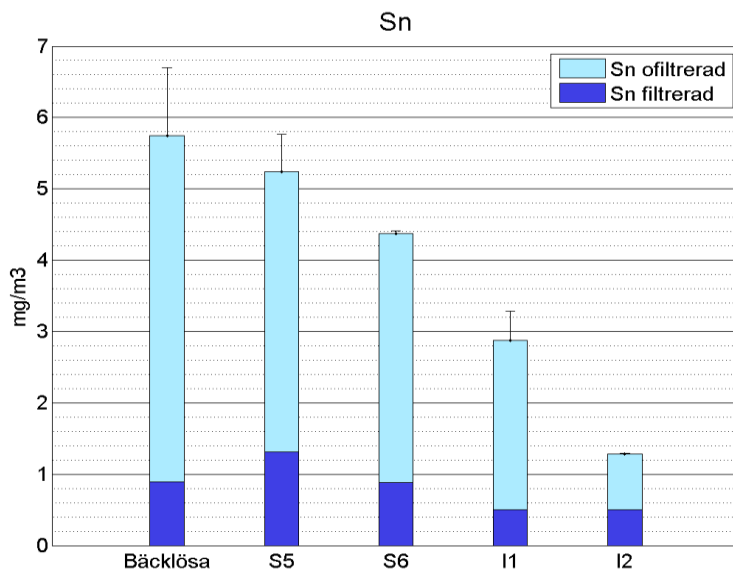
För de filtrerade proverna låg koncentrationen för alla områden under detektionsnivån (0.05 mg/m^3). Industriområdena hade högst koncentrationer från de ofiltrerade proverna. I Bäcklösa och I2 hade koncentrationen av bly ökat sedan 1989 medan den minskat i övriga områden, framför allt I1 (figur 22).



Figur 22. Koncentrationen av bly i de fem områden där flödesproportionell provtagning gjordes. Alla filtrerade prov låg under detektionsnivå. Både de filtrerade och ofiltrerade staplarna börjar vid noll.

4.1.9. Tenn

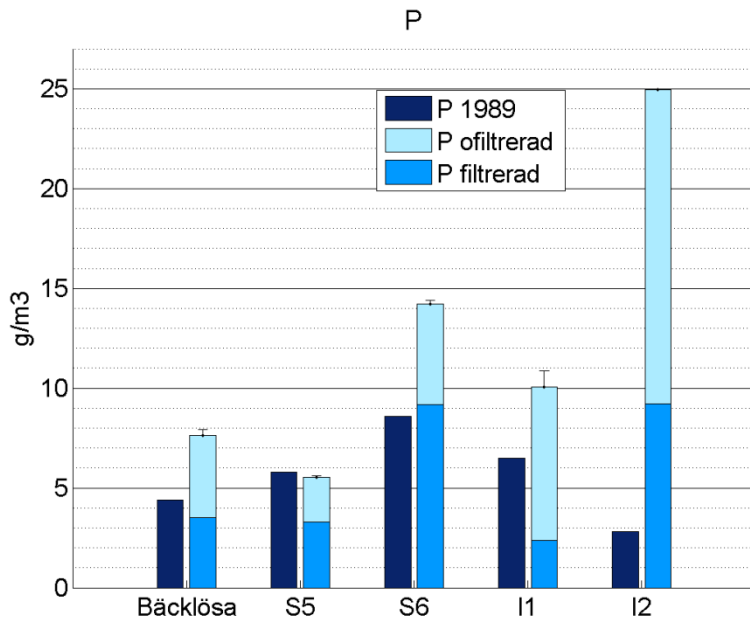
De två industriområdena I1 och I2 hade koncentrationer av tenn under detektionsnivån ($0,5 \text{ mg/m}^3$) i de filtrerade proverna medan koncentrationerna var relativt lika i övriga områden. De högsta koncentrationerna av tenn från de ofiltrerade proverna kom från bostadsområdena Bäcklösa och S5 samt S6 (figur 23).



Figur 23. Koncentrationen av tenn i de fem områden där flödesproportionell provtagning gjordes. I1 och I2:s filtrerade prover låg under detektionsnivå ($0,5 \text{ mg/m}^3$). Både de filtrerade och ofiltrerade staplarna börjar vid noll.

4.1.10. Fosfor

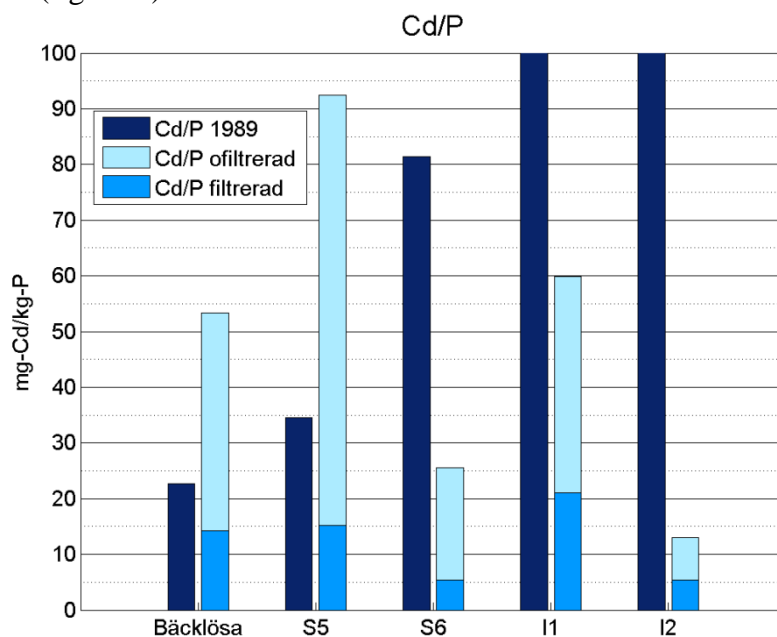
S6 och I2 hade de högsta koncentrationerna av fosfor, både det filtrerade och ofiltrerade proverna. Skillnaden i koncentrationerna mellan det filtrerade och de ofiltrerade proverna skiljde sig mer i industriområdena än i övriga områden, där I2 hade den största skillnaden. Sedan 1989 har halterna av fosfor ökat i samtliga områden utom S5, framför allt i I2 som hade den högsta halten av alla områden som testats (figur 24).



Figur 24. Koncentrationen av fosfor i de fem områden där flödesproportionell provtagning gjordes. Både de filtrerade och ofiltrerade staplarna börjar vid noll.

4.1.11. Kadmium/fosfor-kvot

När halterna av kadmium dividerades med halterna av fosfor hade område S5 den högsta kvoten. Även i I1 och Bäcklösa var det mycket kadmium i förhållande till fosfor. Jämfört med 1989 hade kvoten sjunkit i industriområdena medan den ökat i bostadsområdena Bäcklösa och S5 (figur 25).



Figur 25. Kadmiumhalterna delat med fosforhalterna i de fem områden där flödesproportionell provtagning gjordes. Kvoterna från I1 & I2 1989 var 1277 resp. 321 men slutar i figuren på 100. Både de filtrerade och ofiltrerade staplarna börjar vid noll.

4.1.12. Tungmetallhalter/fosforhalter av vissa metaller

Från hushållsområdena och framför allt S5 är kadmium/fosfor-kvoterna i spillvattennätet högre än vad de var i slammet 2012 (tabell 15). Även zink- och nickel/fosfor-kvoterna var högre i bostadsområdena jämfört med slammets kvoter. Industriområde I1 sticker ut med höga bly-, koppar-, krom-, nickel- och zink/fosfor-kvoter i jämförelse med Kungsängsverkets slam 2012.

Tabell 15. Tungmetall/fosforkvoter (mg tungmetall/kg P) från Bäcklösa, S5, S6, I1 och I2 samt Kungsängsverkets slam 2012.

Område	Cd/P	Pb/P	Hg/P	Cu/P	Cr/P	Ni/P	Zn/P
Bäcklösa	53,3	538	6,6	9 148	795	1 540	30 406
S5	92,5	366	5,7	13 635	587	798	42 767
S6	25,6	852	6,5	10 035	1 063	852	23 732
I1	59,8	2 048	8,7	28 976	3 231	2 644	57 903
I2	13,0	525	9,4	6 112	1 002	800	13 086
Slammet 2012	21,4	447	20,4	13 592	757	505	16 505

4.1.13. Flöden av metaller

För varje metall som Kungsängsverkets miljörapport (2012) redovisade det totala inkommande flödet (kg TS/år) av till Kungsängsverket beräknades den procentuella fördelningen av utsläppen från de olika områdena (tabell 16). I miljörapporten finns totalflöde per år av ett antal metaller, men inte alla som ingick i undersökningen. Totalflödet från provtagningen är framräknad genom att multiplicera vattenflödet med halterna från de ofiltrerade proverna av varje metall. Flödena multiplicerades sedan med antalet dagar per år och ett flöde av varje metall per år erhöles. Flödet mättes endast under två veckor och representerar inte ett medelflöde i röret under ett år. Beräkningen ger trots detta en bra bild över varifrån de olika metallerna härstammar.

De största andelarna av kadmium, zink och silver 2013 stod bostadsområdena Bäcklösa och S5 för. Bäcklösa stod dessutom för de största andelarna av krom, nickel, bly och fosfor 2013. Från I1, som hade de högsta halterna av flera metaller, kom de minsta flödena av flera metaller på grund av det låga vattenflödet. Flödena skiljde sig till stor del från 1989 för bland annat I2 där den procentuella fördelningen ökat för varje metall sedan 1989 (tabell 16).

Tabell 16. Procentuell fördelning av flöden från de olika områdena, räknat från de ofiltrerade proverna genom det totala flödet till slammet plus flödet i utgående i Kungsängsverket (Uppsala Vatten och Avfall AB, 2013a), jämfört med motsvarande siffror 1989.

Område	Cd [%]	Cr [%]	Cu [%]	Hg [%]	Ni [%]	Pb [%]	Zn [%]	Ag [%]	P [%]
Bäcklösa 2013	31	14	9	5	22	16	23	13	15
S5 2013	27	5	7	2	6	6	16	17	8
S6 2013	10	13	6	3	8	10	12	7	10
I1 2013	4	6	3	1	4	7	5	5	2
I2 2013	6	14	4	5	9	12	7	6	11
Bäcklösa 1989	9	23	14	104	9	10	15	-	12
S5 1989	7	8	16	14	23	12	7	-	6
S6 1989	15	13	13	43	13	28	10	-	6
I1 1989	95	16	4	12	5	64	16	-	2
I2 1989	7	5	1	3	5	3	4	-	1

Sedan 1989 hade flödet av zink och kadmium per person ökat för bostadsområdena. Även flödet av nickel per person från Bäcklösa var större under provtagningen än 1989 (tabell 17).

Tabell 17. Flöden av metaller per person från de olika områdena.

Område	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	P
	[g/(p.år)]	[g/(p.år)]	[g/(p.år)]	[g/(p.år)]	[g/(p.år)]	[g/(p.år)]	[g/(p.år)]	[g/(p.år)]
Bäcklösa 2013	0,045	0,7	7,8	0,006	1,3	0,46	25,8	850
S5 2013	0,038	0,2	5,6	0,002	0,3	0,15	17,6	411
S6 2013	0,051	2,1	20,0	0,013	1,7	1,04	47,3	1 992
Bäcklösa 1989	0,027	1,1	21,9	0,960	0,5	0,53	16,5	1 175
S5 1989	0,016	0,3	21,7	0,113	1,2	0,57	6,5	468
S6 1989	0,153	2,1	70,6	1,392	2,9	5,52	38,3	1 876

4.2. PASSIV PROVTAGNING

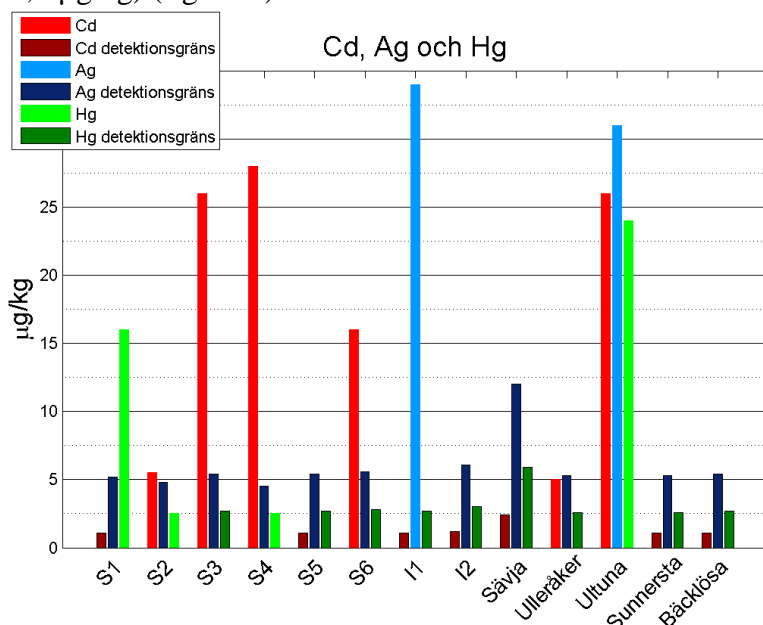
Enligt Ecoscope-analysen var det Ultuna som stod för de största ackumulerade mängderna av de flesta jonerna. Industriområdet I2 hade de minsta mängderna av flera joner. Resultaten är givna i koncentrationer av joner i jonbytermassan i graferna nedan. För att minimera antalet grafer har resultaten av de metaller som ligger i samma storleksordning parats ihop i samma graf. När analysen av en metall hamnat under detektionsnivån (som varierar för varje metall) har detektionsnivån satts som resultat i grafen.

4.2.1. Kadmium, silver och kvicksilver

Från industriområdena I1 och I2 samt S1, S5, Sunnersta, Bäcklösa och Sävja var de ackumulerade kadmiumjonerna under detektionsnivå (1,1 - 2,4 µg/kg). De största jonmängderna fångades upp i samhällsområdena S3, S4, Ultuna samt S6 (figur 26).

Från I1 och Ultuna hade Ecosopen sugit upp jonmängder över detektionsnivå av silverjoner (detektionsnivån varierade mellan 4,5 - 6,1 µg/kg) (figur 26).

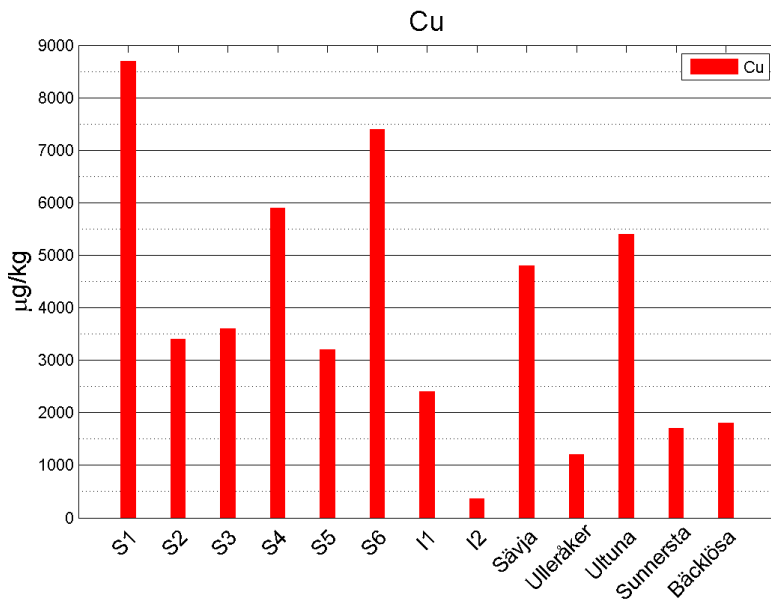
Samhällsområdena S1 och Ultuna hade de största mängderna av kvicksilverjoner. S3, S5, S6, I1, I2, Sävja, Ulleråker, Sunnersta, Bäcklösa hade jonmängder lägre än detektionsnivå (2,6 - 5,9 µg/kg) (figur 26).



Figur 26. Ackumulerade jonmängder av kadmium (S2, S3, S4, S6, Ulleråker & Ultuna över detektionsnivå), silver (I1 & Ultuna över detektionsnivå) och kvicksilver (S1, S2, S4 & Ultuna över detektionsnivå) från den passiva provtagningen.

4.2.2. Koppar

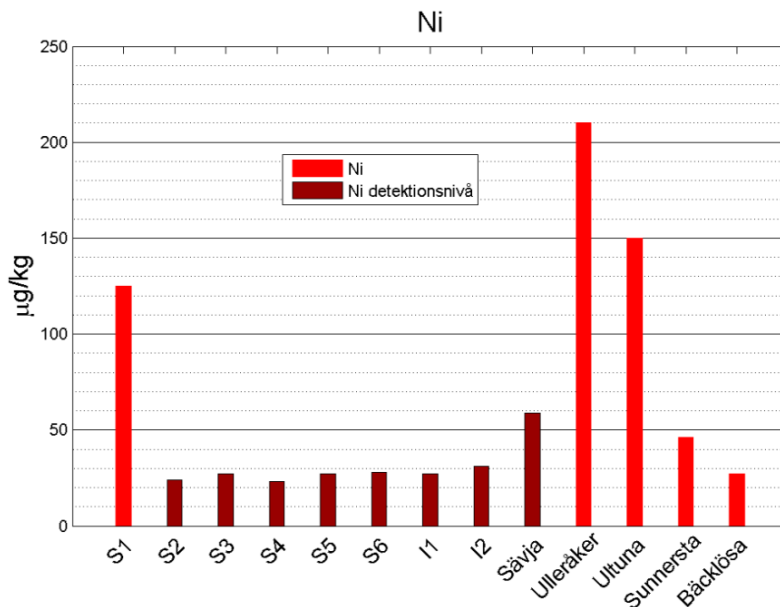
Från flera bostadsområden (S1 i synnerhet) hade större mängder kopparjoner ackumulerats än industriområdena. Inget område hade mängder under detektionsnivå (figur 27).



Figur 27. Ackumulerade jonmängder av koppar från den passiva provtagningen.

4.2.3. Nickel

De högsta koncentrationerna av nickeljoner kom från Ulleråker, Ultuna och S1. Båda industriområdena och flera bostadsområden hade koncentrationer under detektionsnivå (23 - 59 µg/kg) (figur 28).

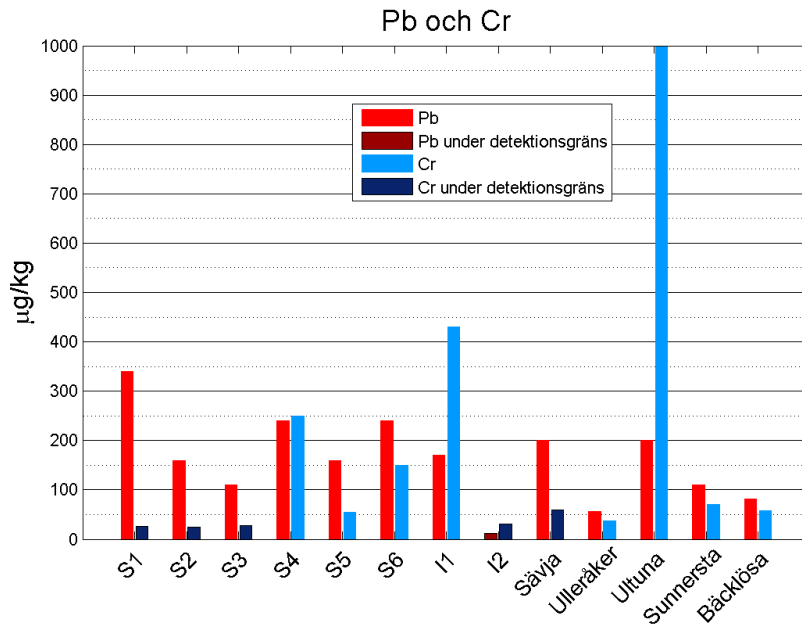


Figur 28. Ackumulerade jonmängder av nickel (S1, Ulleråker, Ultuna, Sunnersta & Bäckslösa över detektionsnivå) från den passiva provtagningen.

4.2.4. Bly och krom

Enligt den passiva provtagningen kom de största mängderna av blyjoner från samhällsområdena S1, S4 samt S6. Industriområdena stod inte för de stora utsläppen av blyjoner och I2 hade mängder under detektionsnivån (12 µg/kg) (figur 29).

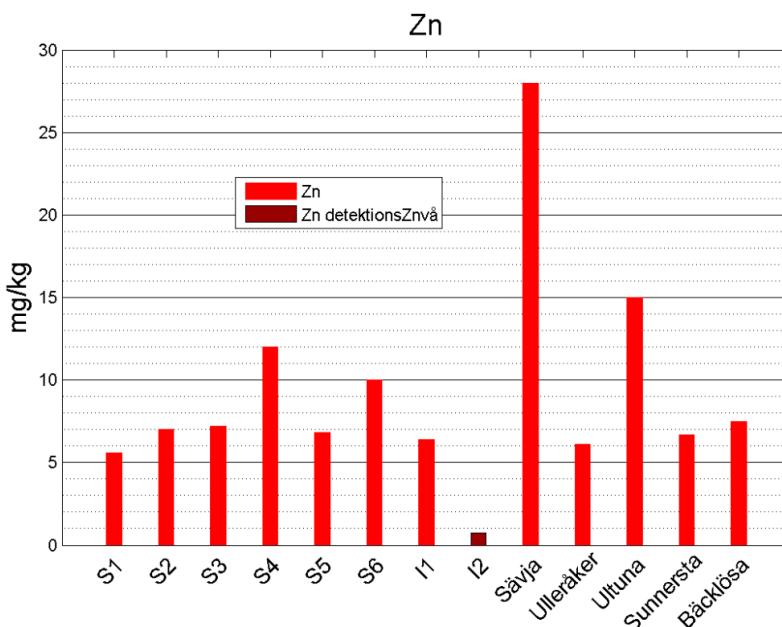
För kromjoner i avloppsvattnet sticker Ultuna ut med mer än dubbelt så stora ackumulerade mängder som I1 som hade den näst störst mängder. S1, S2, S3, Sävja och I2 hade mängder under detektionsgräns (24 - 59 µg/kg) (figur 29).



Figur 29. Ackumulerade jonmängder av bly (I2 under detektionsgräns) och krom (S1, S2, S3, Sävja & I2 under detektionsgräns) från den passiva provtagningen.

4.2.5. Zink

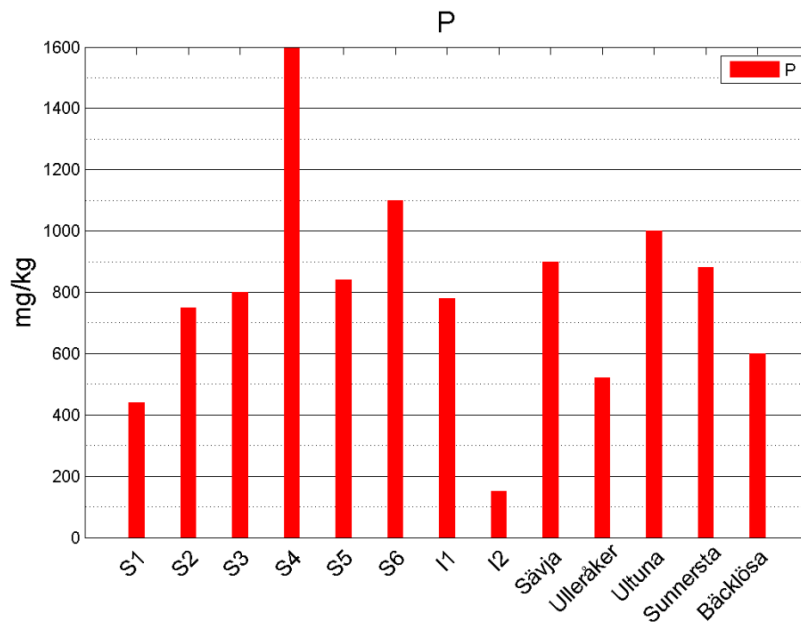
Ecoscopen hade fångat upp störst mängder av zinkjoner i Sävja, Ultuna och S4. I2 var det enda område som hade mängder under detektionsnivå (760 µg/kg) (figur 30).



Figur 30. Ackumulerade jonmängder av zink (I2 under detektionsnivå) från den passiva provtagningen.

4.2.6. Fosfor

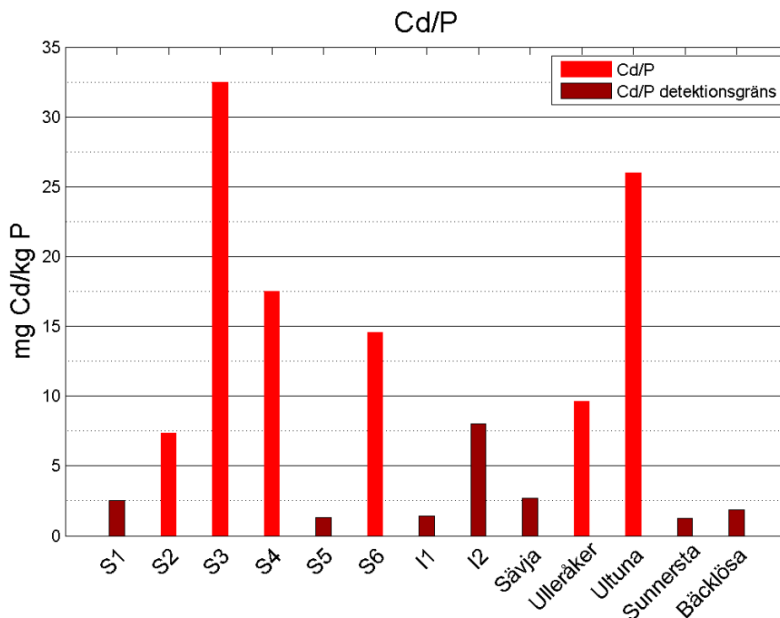
De högsta mängderna fosforjoner kom från S4, I2 sticker ut som det område som hade de lägsta mängderna (figur 31).



Figur 31. Ackumulerade jonmängder av fosfor från den passiva provtagningen.

4.2.7. Kadmium/fosfor-kvot

De högsta kadmium/fosfor-kvoterna för joner kom från S3 och Ultuna och industriområdena I1 och I2 hade kvoter under detektionsnivå (figur 32).



Figur 32. Kadmium-, delat med fosfors ackumulerade jonmängd.

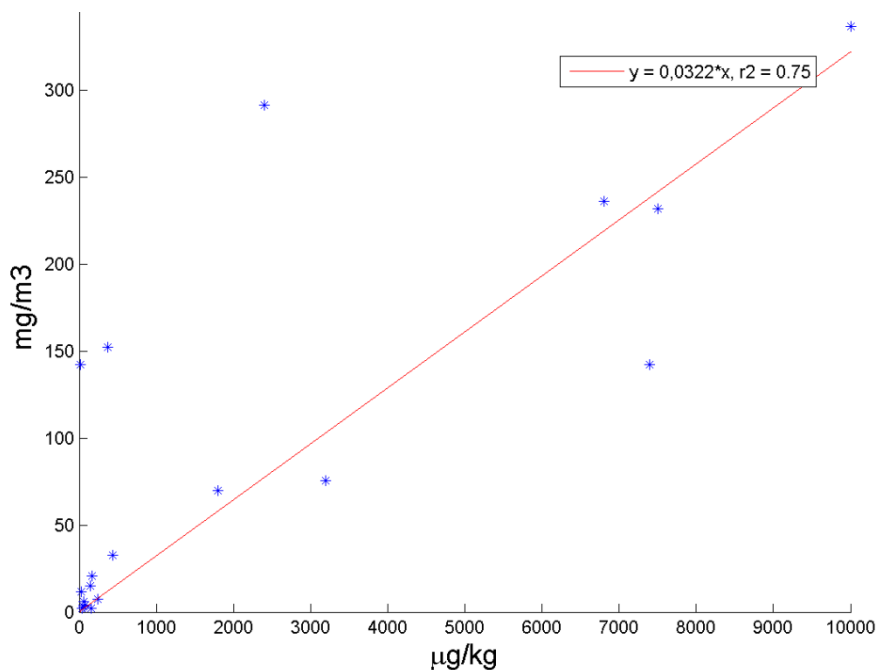
4.3. JÄMFÖRELSE MELLAN ISCO OCH ECOSCOPE

Från alla tillgängliga resultat där detektionsnivån var överskriden gjordes en regressionsanalys mellan resultaten från Ecoscopen och från den flödesproportionella provtagningen (filtrerade och ofiltrerade). Dessutom gjordes en regressionsanalys mellan resultaten från Ecoscopen och mängder (halter multiplicerade med vattenflöden). Alla regressioner hade ett statistiskt säkerställt linjärt samband ($p < 0,05$).

Uteliggare, det vill säga punkter som har en standardiserad residual > 2 eller < -2 , har plockats bort ur analysen. Alla regressionslinjer har tvingats genom origo.

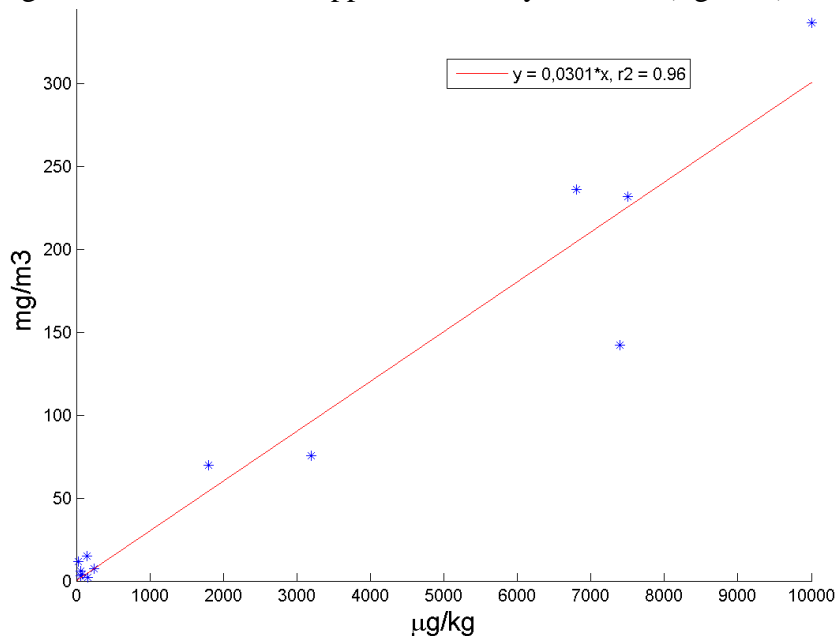
4.3.1. Ecoscope mot ofiltrerade halter

Regressionsanalysen mellan resultaten av Ecoscope-undersökningen och ISCO-undersökningen visar att det statistiskt säkerställt ($p < 0,05$) finns ett linjärt samband som går genom origo mellan de två resultaten (figur 33). Antalet punkter i analysen var 20 stycken och resultaten kom från alla områden. De metaller som var med i regressionen, det vill säga de metaller med halter över detektionsnivå från både ISCO- och Ecoscope-resultaten var silver, krom, koppar, nickel, bly och zink.



Figur 33. Regressionsanalys mellan ofiltrerade halter mätt med ISCO och ackumulerade jonmängder mätt med Ecoscope för metallerna silver, krom, koppar, nickel, bly och zink.

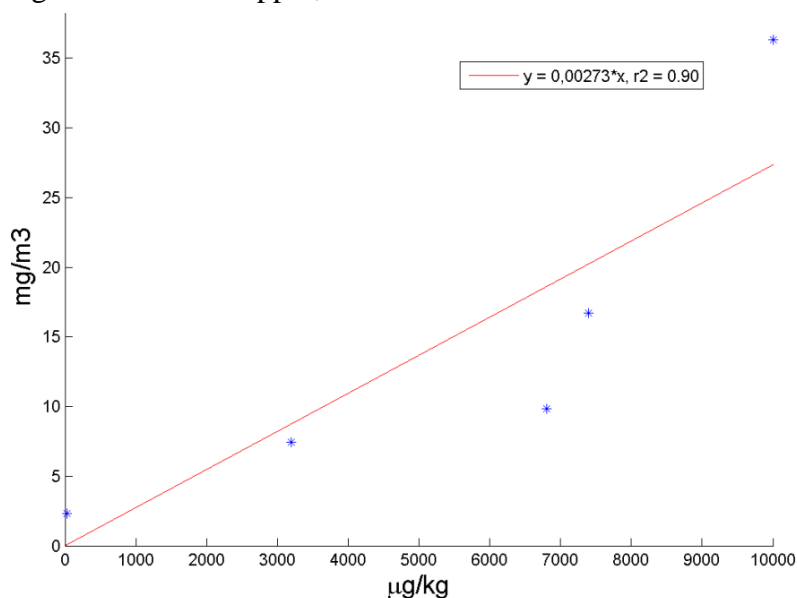
När analysen mellan resultaten av de två undersökningarna gjordes om utan resultat från I1 respektive I2 (där det var lågt vattenflöde och risk för sediment) blev analysen bättre, så till vida att r^2 -värdet steg från 0,74 till 0,96 samt att signifikansnivån blev högre (F- och pvärdet var $2,34 \cdot 10^{-9}$ respektive $7,13 \cdot 10^{-10}$). Lutningen på linjen blev marginellt lägre utan I1 och I2 och hamnade på 0,0301. Antalet punkter i analysen var 13 och de metaller som var med i regressionen var krom, koppar, nickel, bly och zink (figur 34).



Figur 34. Regressionsanalys mellan ofiltrerade halter mätt med ISCO och ackumulerade jonmängder mätt med Ecoscope utan uteliggare, I1 och I2 för metallerna krom, koppar, nickel, bly och zink.

4.3.2. Ecoscope mot filtrerade halter

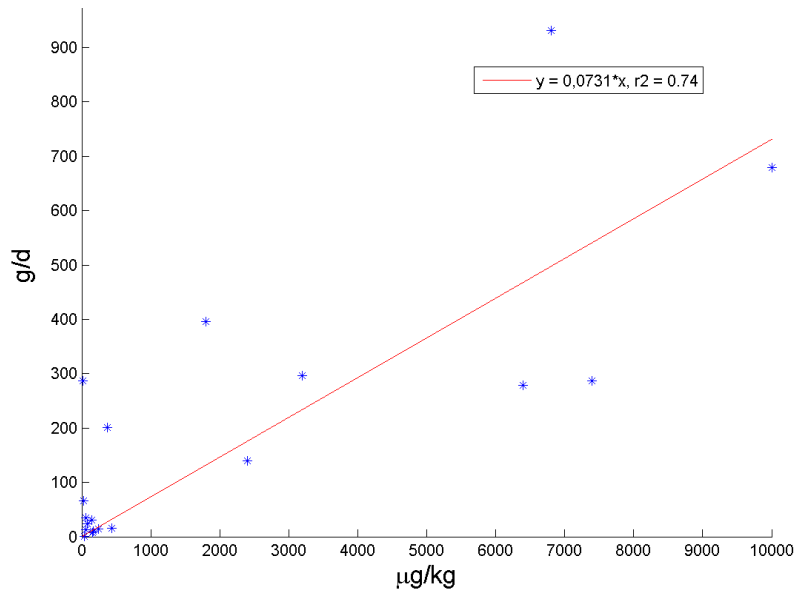
Regressionen för de filtrerade proverna utan I1 och I2 innehöll endast fem punkter då de flesta värdena för den filtrerade ISCO undersökningen låg under detektionsnivå (figur 35). Med data från I1 och I2 blev analysen i stort sett densamma vad gäller signifikans (F- och pvärdet var 0,0093 respektive 0,0039, lutning (0,00273) och r^2 -värde (0,90). De metaller som var med i regressionen var koppar, nickel och zink.



Figur 35. Regressionsanalys mellan filtrerade halter mätt med ISCO och ackumulerade jonmängder mätt med Ecoscope utan I1 och I2 för metallerna krom, nickel och zink.

4.3.3. Ecoscope mot flöden av metaller

Regressionen mellan resultaten av Ecoscope-undersökningen och flöden av metaller gjordes med 13 punkter med metallerna krom, koppar, nickel, bly och zink (figur 36). Lutningen på regressionslinjen blev nästan oförändrad (0,0731) när flödena från I1 och I2 utelämnades, därför redovisas inte den analysen. F- och pvärdet för regressionslinjen var $1,46 \cdot 10^{-6}$ respektive $1,04 \cdot 10^{-6}$.



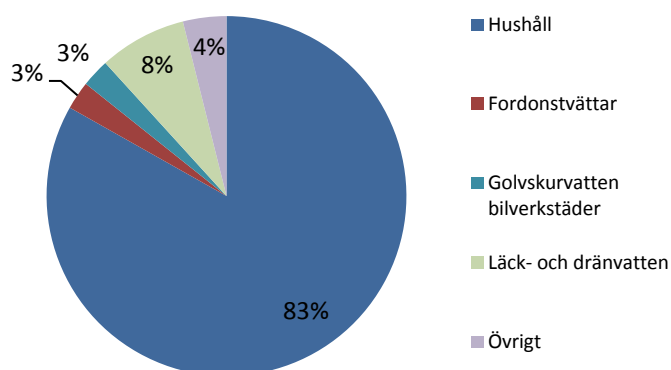
Figur 36. Regressionsanalys mellan flöden av metaller och ackumulerade jonmängder mätt med Ecoscope utan uteliggare.

4.4. SOFI – UTSLÄPP FRÅN OLIKA VERKSAMHETER

Resultaten från analysen som gjordes i SoFi visade att den största källan till utsläpp av kadmium, kvicksilver, koppar, zink och krom från Uppsalas spillvattennät var hushållen. En jämförelse mellan de totalflöden per år som SoFi räknar fram och de totalflöden per år som finns i miljörapporten 2012 visar att flödena av kadmium beskrivs väl (mindre än 25 % avvikelse från den uppmätta mängden) medan kvicksilver, koppar och krom underskattas med mer än 25 % och zink överskattas med mer än 100 % (bilaga 2).

4.4.1. Kadmium

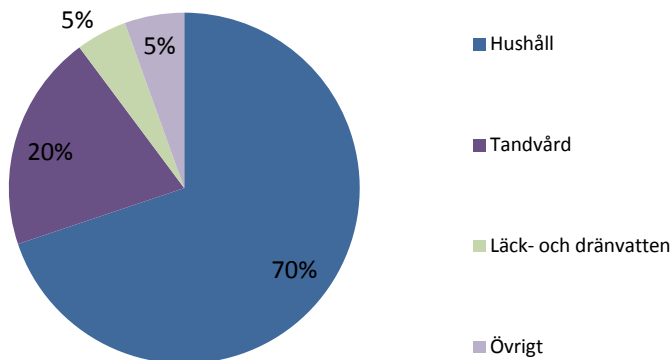
Enligt SoFi kommer den stora majoriteten av kadmiumutsläppen från hushållen. Läck- och dränvatten står även de för en betydande del av utsläppen (figur 37).



Figur 37. Fördelning av källor till utsläpp av kadmium. Utsläppen som härstammar från "Övrigt" i graferna är flygplatsen i Ärna samt Akademiska sjukhuset.

4.4.2. Kvicksilver

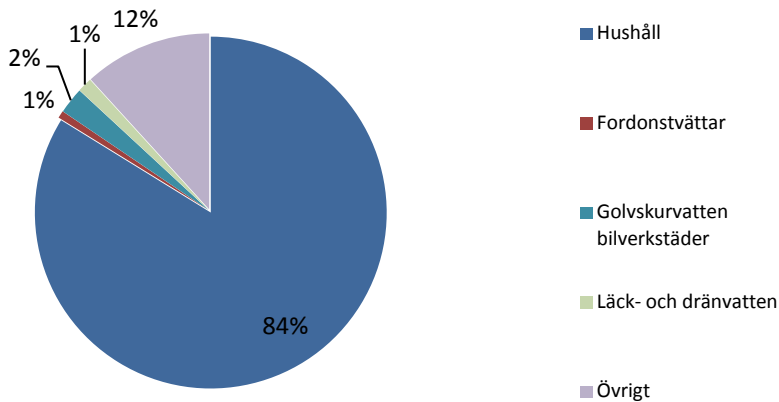
Vad gäller kvicksilver anser SoFi att utsläppen till största del härstammar från hushållen men att även tandvården står för en stor del (figur 38).



Figur 38. Fördelning av källor till utsläpp av kvicksilver. Utsläppen som härstammar från "Övrigt" i graferna är flygplatsen i Ärna samt Akademiska sjukhuset.

4.4.3. Koppar

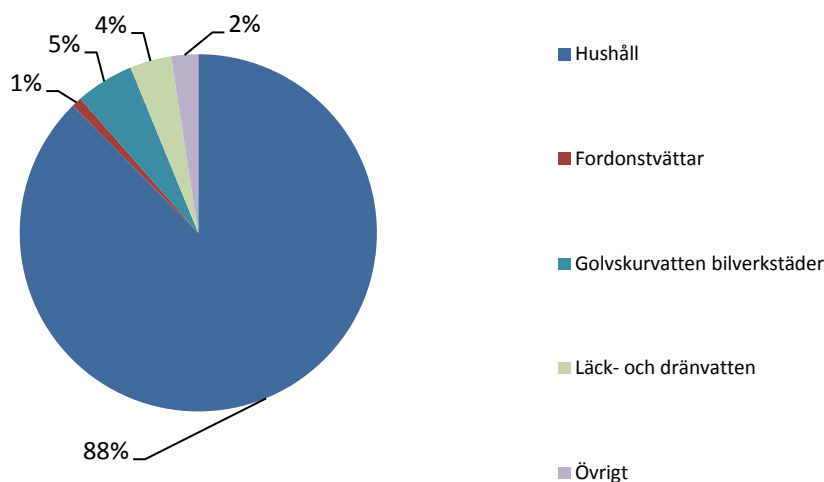
Även koppar kommer troligen till största del från hushållen men en betydande del av utsläppen kommer från övrig verksamhet, antingen flygplatsen i Ärna eller Akademiska sjukhuset (figur 39).



Figur 39. Fördelning av källor till utsläpp av koppar. Utsläppen som härstammar från "Övrigt" i graferna är flygplatsen i Ärna samt Akademiska sjukhuset.

4.4.4. Zink

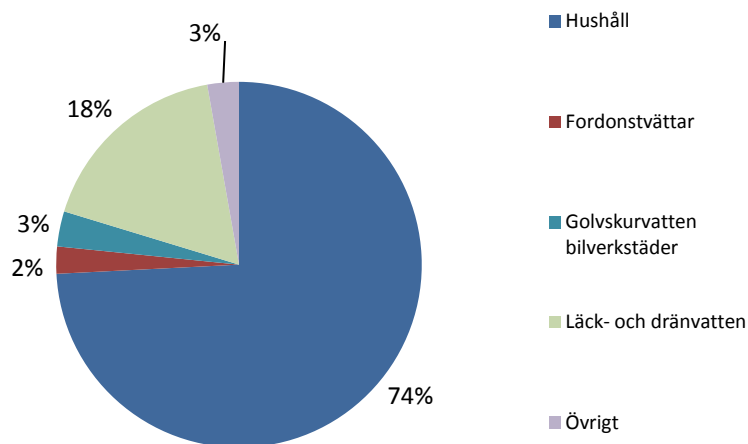
Zink kommer mestadels från hushållen, en liten del kommer även från golvsurning av bilverkstäder (figur 40).



Figur 40. Fördelning av källor till utsläpp av zink. Utsläppen som härstammar från "Övrigt" i graferna är flygplatsen i Ärna samt Akademiska sjukhuset.

4.4.5. Krom

Krom kommer troligen mestadels från hushållen även om läck- och dränvatten står för nästan en femtedel av den totala mängden (figur 41).



Figur 41. Fördelning av källor till utsläpp av krom. Utsläppen som härstammar från "Övrigt" i graferna är flygplatsen i Ärna samt Akademiska sjukhuset.

5. DISKUSSION

De generella slutsatser som kan dras av provtagningarna av Uppsalas spillvatten och analysen med SoFi är att de stora flödena av kadmium, zink, nickel, krom och koppar kom från bostadsområden och inte industriområden. Generellt hade halterna sedan 1989 ökat i bostadsområdena medan halterna minskat i industriområdena. Att halterna av flera metaller ökat kan bero på den minskade vattenförbrukningen vilket styrks då flödena av de flesta metallerna per person hade minskat sedan 1989 (zink och kadmium i undantag). Insatserna för att minska flödena av tungmetaller till Kungsängsverket och förbättra slamkvaliten borde inriktas på bostadsområden snarare än på industriområden i Uppsala.

5.1. PROVTAGNINGSRISULTAT

Även om de årliga flödena av kadmium, koppar, kvicksilver, bly och fosfor minskat sedan 1989 (tabell 6, s. 20) hade halterna ökat i flera områden. Detta tros bero på att vattenförbrukningen per person minskat sedan 1989. De ökade halterna av dessa metaller från flera områden betyder därför inte att det var högre utsläpp under provtagningen 2013 jämfört med 1989.

Tungmetallspårningen indikerar att högre och lika höga kadmium/fosfor-kvoter återfanns i spillvatten från bostadsområden som från industriområden (figur 25, s. 42 & figur 32, s. 47). Samma förhållande, att bostadsområden står för större utsläpp än industrier, gällde även för den procentuella jämförelsen för flödena av kadmium, zink och nickel (tabell 16, s. 43). Eventuellt kan halterna av kadmium, zink och nickel vara överskattade eftersom deras kvoter med fosfor var högre än hos slammet 2012 (tabell 15, s. 43). Halterna är dock naturligt lägre i slammet eftersom nästan all fosfor hamnar där men endast en del av metallerna. När kvoterna mellan flera metaller och fosfor sattes i relation till tidigare studier (tabell 8, s. 23 och tabell 15, s. 43) där kvoterna justerats för att fosfor ska vara förbjudet i tvätt- och diskmedel (Magnusson, 2003, Jönsson m.fl., 2005) blev kvoterna höga för kadmium, zink och koppar. En förklaring till de höga kvoterna är att det var tillfälligt höga halter av dessa metaller under provtagningen, en ny provtagning skulle kunna ge svar på ifall det var så. Alternativt underskattades halten fosfor i avloppsvattnet vilket skulle kunna bero på att det var en skiktning i avloppsvattnet med koncentrationsvariationer av fosfor och provtagaren låg endast i det ena skiktet. Detta problem skulle kunna undvikas i framtida provtagningar om avloppsvattnet aktivt rördes om innan det tas upp.

Två områden som stack ut i tungmetallspårningen var Ultuna och Bäcklösa. Från Ultuna kom högsta ackumulerade jonmängder av flera metalljoner och från Bäcklösa kom de största procentuella andelarna av flera metaller (tabell 16, s. 43). Vad som ligger bakom dessa utsläpp borde utforskas vidare av UVA. En orsak som borde utredas mer är hur byggnationer som skedde i dessa områden under provtagningen, kan ha påverkat resultatet.

5.1.1. Flödestabell

Tabell 16 (s 43) som beskriver den procentuella fördelningen av flöden från varje metall och område ger en överskådlig blick över vilket av de flödesproportionellt mätta områdena som stod för de största flödena av metallerna under provtagningen. I tabellen överstiger bly 100 % av det totala utsläppet av metallen 1989, vilket är orimligt. Anledningen till att

procentsatserna hamnar över 100 % är att vattenflödet och föroreningsflödet varierar över året och att undersökningen ägde rum under två veckors tid. Under dessa två veckor kan halterna ha varit lägre eller högre än vad de är genomsnittligt under ett år. Procentsiffrorna ska därför inte ses som exakta utsläppsflöden per år, men ger en god inblick i hur flödena av olika metaller fördelas och har förändrats sedan 1989.

5.1.2. Guld

Att det var höga halter av guld från I1 (figur 16, s. 37) stämmer överens med teorin om att industriell verksamhet kan bidra med höga halter (Lottermoser, 1994).

5.1.3. Silver

Att det var höga halter av silver i I1 (figur 17, s. 37) skulle kunna bero på att det finns eller funnits en fotografisk industri någonstans i området (Nationalencyklopedin, 2013 A).

De stora ackumulerade jonmängder av silverjoner i I1 och Ultuna (figur 26, s. 44) tyder på att någon verksamhet i dessa områden använder eller har använt silver i sin verksamhet. De stora jonmängder i I1 skulle även kunna bero på att Ecoscopen legat i kontakt med sediment som innehöll höga halter av silver. Det är möjligt att den pågående ombyggnaden och det myckna pålandat på Ultuna sätter gamla sediment i rörelse, men det borde utredas närmare om det finns en verksamhet som använder silver i Ultuna.

5.1.4. Vismut

En anledning till att det var lika höga halter av vismut i bostadsområdet Bäcklösa som industriområdena (figur 17, s. 37) skulle kunna vara att hushållen använder kosmetika där vismut ingår (Wittgren & Pettersson, 2013). Vismut har av Wittgren och Pettersson (2013) spårats till tvättvatten från fordonstvättar vilket kan förklara att S6 med många fordonstvättar hade höga halter.

5.1.5. Kadmium

En trolig anledning till att halterna (figur 18, s. 38) och den procentuella fördelningen (tabell 16, s. 43) av kadmium hade minskat i I1 var att värmeverket inte längre var påkopplat på spillvattennätet (Swedling, 2013). Det är intressant att halterna, den procentuella fördelningen och flödena per person (tabell 17, s. 44) hade ökat i Bäcklösa och S5 sedan 1989. En förklaring till att det kom mer kadmium från dessa områden jämfört med 1989 är att kadmium finns i kosten och att det bodde fler människor i dessa områden under provtagningen än 1989.

Kadmium/fosfor-kvoten i bostadsområdena Bäcklösa och S5 låg på 53,3 respektive 92,5 mg Cd/kg P och var högre än i industriområdet I2 som låg på 13,0 mg Cd/kg P. Det andra industriområdet, I1, hade en kvot på 59,8 mg Cd/kg P. Att kvoten var högre eller lika hög i bostadsområdena jämfört med industriområden (tabell 15, s. 43) är ett överraskande resultat. I jämförelse mellan Hammarby Sjöstads kadmium/fosfor-kvot i bostadsområden (Magnusson, 2003) var utsläppen i Uppsala flera gånger högre. Även i jämförelse med ett äldre system med URWARE (Jönsson m.fl., 2005) var kvoterna höga från bostadsområdena i Uppsala. Med tanke på att Kungsängsverkets slams kadmium/fosfor-kvot 2012 låg på 21,4 mg Cd/kg P har troligtvis fosforhalten underskattats eller så har kadmiumhalten överskattats i proverna. I varken Bäcklösa eller S5 verkade det under provtagningen vara någon risk för att sediment

kommit med i proverna då vattenståndet var högt i rören och vattenflödet i båda provtagningspunkterna var högt.

De stora jonmängderna kan härledas till bostadsområdena S3 och S4 samt Ultuna. Kadmium finns i kosten (Livsmedelsverket, 2013a) vilket kan förklara stora procent andelar från stora bostadsområden men de höga utsläppen från Ultuna, som inte är ett bostadsområde, förklaras av någonting annat. Eventuellt har ombyggnad och pålning fått gamla sediment i rörelse.

Från den passiva provtagningen var kadmium/fosfor-kvoterna högst i bostadsområdena då båda Ecosopen som legat i industriområdena hade jonmängder under detektionsnivå (figur 32, s. 47). Något motsägelsefullt var kadmium/fosfor-kvoten väldigt låg i S5, som enligt den flödesproportionella provtagningen hade högst kvot. Precis raka motsatsen gäller för S6.

Den passiva provtagningen av kadmium visade inte alls på samma resultat som i Eskilstuna där jonmängderna var fem gånger högre från industriområden jämfört med bostadsområden. I Uppsala var det industriområdena som hade de lägsta jonmängderna av kadmiumjoner (figur 26, s. 44). Med tanke på att det i Eskilstuna troligtvis var Eskilstuna Energi AB, där sopförbränning skedde, som stod för de stora utsläppen av kadmium och att värmeverket i Uppsala inte längre var anslutet till spillvattennätet så verkar resultatet rimligt.

5.1.6. Krom

De höga halterna av krom (figur 20, s. 40) från S6 skulle kunna förklaras av det stora antalet fordonstvättar i området, vilket stämmer med litteraturen (Omu, 2009). En möjlig hypotes till att kromhalterna hade stigit är att större mängder rostfritt stål används i samhället 2013 jämfört med 1989. Den procentuella kromandelen hade stigit i I2 sedan 1989. Detta kan bero på att sediment provtagits där halterna var högre än i avloppsvattnet.

Krom/fosfor-kvoterna från bostadsområdena Bäcklösa och S5 var i samma storleksordning som i slammet (tabell 15, s. 43) och i den storleksordning som föreslås komma från äldre avloppssystem enligt URWARE (Jönsson m.fl., 2005).

En hypotetisk förklaring till varför Ultuna står för stora utsläpp av kromjoner (figur 29, s. 46) skulle kunna vara de nybyggda lokalerna där mycket rostfritt stål användes. En alternativ förklaring är att laboratorierna på SLU och SVA släppte ut kromjoner under provtagningsperioden.

5.1.7. Koppar

En trolig anledning till att halten och flödena per person (tabell 17, s. 44) av koppar sjunkit i bostadsområdena sedan 1989 var att nya vattenverk byggts där vattnet avhärddas genom utfällning av kalcium vid högt pH. Denna typ av avhärddning leder till att mindre koppar löses ut ur vattenledningarna jämfört med avhärddning med jonbytare. Med avhärddningen borde även halterna av koppar från industriområdena ha sjunkit och en förklaring till att halterna var högre än 1989 är att sediment kan ha kommit med i proverna och de har högre kopparhalt än vattnet.

Koppar/fosfor-kvoterna i bostadsområdena var lägre eller lika stora som i slammet (tabell 15, s. 43) men högre än vad URWARE säger för ett äldre avloppssystem (Jönsson m.fl., 2005).

En förklaring till att det var stora jonmängder av kopparjoner från S1 är att Akademiska sjukhuset var anslutet till det området och Akademiska sjukhuset använder eget vatten och inte det centralt avhärdat från Uppsalas nya vattenverk. Sjukhus är en möjlig källa för kopparutsläpp (Omu, 2009). De stora mängderna av joner i S1 skulle även kunna bero på laboratorierna på BMC eller SGU. De stora mängderna av joner i S6 skulle kunna vara en konsekvens av det stora antalet fordonstvättar anslutna till området.

5.1.8. Kvicksilver

Proverna från den flödesproportionella provtagningen borde ha förvarats i glasflaskor för att kvicksilver inte skulle kunna diffundera ut ur provet. Hur stor effekt detta fått på resultatet är svårt att säga, men eventuellt är halterna något högre än vad resultatet visar. Halterna var betydligt högre 1989 jämfört med 2013 i samtliga områden och var högre i industriområdena än bostadsområdena (figur 22, s. 41).

Kvicksilver/fosfor-kvoten var betydligt lägre i avloppsvattnet från bostadsområdena jämfört med slammets kvot 2012 (tabell 15, s. 43). Avloppsvattnets kvot var i samma storleksordning som tidigare studier visat för ett avloppsvatten från ett äldre avloppssystem (Jönsson m.fl., 2005).

De stora ackumulerade mängderna av kvicksilverjoner i den passiva provtagningen från S1 (figur 26, s. 44) skulle kunna härröra från Akademiska eller något av laboratorierna på BMC eller SGU, vilket stämmer med andra undersökningar (Omu, 2009). Att det var stora jonmängder från Ultuna skulle även kunna bero på de laboratorier som finns på SVA och SLU eller ombyggnationen som skakad om sediment i äldre rör.

5.1.9. Nickel

Varför den procentuella fördelningen av nickel ökat i ett av bostadsområdena, Bäcklösa men inte i S5 sedan 1989 är svårt att förstå (figur 20, s. 40). Eventuellt har nybyggnationen av Gottsunda Centrum något med utsläppen att göra men detta är något UVA borde forska mer i.

Från avloppsvattnet i Bäcklösa var nickel/fosfor-kvoterna högre än både slammet 2012 (tabell 15, s. 43) och vad tidigare studier för äldre avloppssystem kommit fram till (Jönsson m.fl., 2005). Att kvoterna är mycket högre än vad de är i slammet kan indikera att halterna av nickel har överskattats för proverna i Bäcklösa.

De stora jonmängderna från Ultuna (figur 28, s. 45) skulle rent hypotetisk kunna härledas till att det har och byggs nya universitetslokaler där mycket nytt rostfritt stål använts. Enligt den hypotesen borde det även ha varit stora jonmängder från Bäcklösa, men där resultaten var under detektionsnivå. Det tyder på att det snarast var en annan verksamhet i Ultuna som släppte ut nickel.

5.1.10. Bly

En förklaring till att halterna sjunkit i I1 sedan 1989 (figur 22, s. 41) var att värmeverket kopplats bort från ledningsnätet (Swedling, 2013). Halterna av bly hade stigit i Bäcklösa sedan 1989 men flödet per person hade minskat (tabell 17, s. 44). Varför de procentuella

andelarna från området ökat är något UVA borde titta närmare på, eventuellt finns en konstnärsvärksamhet i Bäcklösa som står för utsläppen (Livsmedelsverket, 2012).

Bly/fosfor-kvoterna ligger inom ett rimligt intervall för båda bostadsområdena Bäcklösa och S5 (tabell 15, s. 43) både i jämförelse med kvoten i slammet 2012 och tidigare studier (Magnusson, 2003, Jönsson m.fl., 2005).

Från den passiva provtagningen var mängderna blyjoner relativt jämnt utspridda mellan områdena (figur 29, s. 46) och det verkar inte ha varit ett specifikt område som släppte ut mer än något annat.

5.1.11. Tenn

Det finns mycket tenn i hemmen (konservburkar och amalgam) vilket skulle kunna vara förklaring till att bostadsområdena hade de högsta halterna av metallen (figur 23, s. 41) (Nationalencyklopedin, 2013 I).

5.1.12. Volfram

Volframhaltens överrepresentation från industriområdena (figur 20, s. 40) skulle kunna förklaras av att den används som legering i stålverktyg (Nationalencyklopedin, 2013 F).

5.1.13. Zink

Zinkutsläpp har tidigare spårats till fordonstvättar (Sörme & Lagerqvist, 2004) vilket skulle kunna förklara varför S6 (med många fordonstvättar) har högre halter än S5 och Bäcklösa (figur 19, s. 39). Halterna från alla områdena var betydligt högre än vad Samuelsson (2004) mätte i Uddebo reningsverk i Luleå. Att den procentuella fördelningen ökat i från bostadsområdena S5 och Bäcklösa (tabell 16, s. 43) kan förklaras av den ökade befolkningmängden.

Zink/fosfor-kvoterna för bostadsområdena Bäcklösa och S5 är högre än kvoterna både i slammet 2012 (tabell 15, s. 43) och i tidigare studier funnit för äldre avloppssystem (Jönsson, m.fl., 2005). Detta kan indikera att zinkhalten överskattades i både Bäcklösa och S5.

Den passiva provtagningen visade på högre jonmängder av zinkjoner från S6 än S5 (figur 30, s. 46) vilket styrker att det kan vara fordonstvättar som släpper ut zink i S6. Hur stor del de nybyggda universitetslokalerna (mycket nya rör till exempel) i Ultuna har haft bidragit till att det blev så stora jonmängder där går inte att besvara men en sådan undersökning skulle vara intressant. De stora mängderna av zinkjoner i just Sävja men inte övriga bostadsområden borde utredas vidare.

5.1.14. Fosfor

Sedan 1989 har fosfor i tvättmedel och diskmedel förbjudits vilket borde leda till lägre halter i vattnet från bostadsområden. Det totala fosforflödet som kommer till Kungsängsverket har sjunkit med ca 40 ton sedan 1989 (tabell 6, s. 20). Att halterna av fosfor istället har ökat i Bäcklösa och S6 (figur 24, s. 42) förklaras av den minskade vattenförbrukningen sedan 1989. Minskningen av totalfosfor (p/d) sedan 1989 var 44 % och alltså något större än vad Gryaab (2008) fann på 20-30 %.

Varför det kom så mycket fosforjoner från S4 (figur 31, s. 47) är något som UVA rekommenderas att forska djupare i.

5.1.15. Felkällor i undersökningarna

Skillnaden mellan ofiltrerade och filtrerade prover var för flera metaller och fosfor större i industriområdena I1 och I2 jämfört med bostadsområdena, vilket kan bero på att det fanns sediment i provtagningspunkterna vid industriområdena. Detta styrks då halterna av flera metaller som förknippas med avfallsförbränning (zink, bly och kadmium) var höga i I1 där värmeverket tidigare var anslutet (Swedling, 2013). Generellt var det stor skillnad mellan de filtrerade och de ofiltrerade proverna, detta betyder att de ämnen som kommer till Kungsängsverket till största del är bundna till partiklar. Jonmängden från I2 för flera metaller var betydligt lägre än övriga områden vilket kan indikera att resultaten från Ecoscopet i I2 inte är trovärdigt, vilket kan ha att göra med det låga flödet.

Något förvånande var halterna för vissa prover högre för de prover som surgjordes av ALS Scandinavia än de prover som surgjordes i Uppsala. Proverna som surgjordes i Uppsala skulle innehålla även de partiklar som satt sig i provflaskans väggar. Troligtvis har mer/mindre partiklar från uppsamlingsprovet kommit med prov som skickats till analys. Partiklarna i proverna var i regel små och sedimenterade inte snabbt, dock fanns i vissa prov större partiklar som hade lättare att sedimentera. När proverna flödesviktades rördes de om vid varje upphällning, men vid något tillfälle kan alltså mer/mindre partiklar ha följt med de olika provtyperna.

Den passiva provtagningen kan ha påverkats av låga flöden (framför allt I1). Eventuellt var Ecoscopen inte alltid dränkta i avloppsvattnet, vilket lett till att resultaten troligtvis underskattades.

5.2. REGRESSIONSANALYS

Syftet med att göra en regressionsanalys var att ta reda på ifall det fanns ett linjärt samband mellan provtagningsmetoderna för att UVA i framtiden ska slippa använda en flödesproportionell provtagning, och istället kunna översätta resultatet från den passiva provtagningen till halter.

Regressionsanalyserna blev lidande av det låga antal värden som fanns att tillgå för analyserna på grund av det stora antalet mätvärden under detektionsnivå. Detta gäller framför allt de filtrerade proverna. Med halterna och jonmängderna av fosfor i analysen blev regressionslinjerna inte signifikanta. Fosfor finns i väldigt mycket högre koncentrationer än metallerna i avloppsvattnet vilken kan vara en anledning till att korrelationen blev sämre med fosfor än utan. Men alla analyser utan fosfor var signifikanta ($p < 0,05$) som dock måste valideras vid en likadan undersökning av spillvatten under två veckor vid en ungefärlig temperatur på 8 °C. Om sambanden visar sig stämma kan det komma att spara mycket arbete i en framtida undersökning.

5.2.1. Ecoscope mot ofiltrerade halter

Ett problem med analysen är att så många punkter låg under detektionsnivå för många av provtagningsmetoderna, varför de värden med de lägsta halterna inte kom med i analysen.

Värden för kvicksilver och kadmium vevar inte alls med i analysen på grund av att de inte samtidigt översteg detektionsnivån för båda provtagningsmetoderna.

Sambandet mellan de ofiltrerade halterna och Ecoscope-resultaten är troligtvis beroende av balansen mellan hur ämnena är fördelade i jonform och bundna till partiklar. Denna balans kan vara unik för Uppsala, därför finns en risk att detta samband inte är applicerbart på spillvattenundersökningar utanför Uppsala.

Anledningen till att I1 och I2 utelämnades ur regressionsanalysen var att resultaten av båda provtagningsmetoderna var osäkra på grund av att det var så låga vattenflöden i rören samt att det var mycket sediment i provtagningspunkterna. Sedimenten påverkade i sin tur den flödesproportionella provtagningen, då mycket partiklar kom med i proverna, partiklar som egentligen inte tillhör det spillvatten som under mätningen strömmade genom rören.

5.2.2. Ecoscope mot filtrerade halter

I denna analys fanns väldigt få mätvärden med och det är därför svårt att säga hur säkert det linjära sambandet mellan de två resultaten faktiskt är. Sambandet mellan de filtrerade halterna och Ecoscope resultaten bör annars vara oberoende av att undersökningen gjorts i Uppsala eftersom de filtrerade proverna mer eller mindre endast innehåller joner.

5.2.3. Ecoscope mot flöden av metaller

Regressionen mellan beräknade flöden och Ecoscope visade att det fanns en statistisk signifikans mellan dessa två parametrar. Det fanns dock ett stort problem med denna regression: det är inte vattenflödet som påverkar hur lång tid det tar för ”nytt” vatten att komma i kontakt med det yttersta skiktet av Ecoscopet, det avgörs av vattnets hastighet. Olika rördimensioner kommer att ge olika hastighet på vattnet, även om vattenflödet är detsamma. Med en högre hastighet kommer vattnet närmast det yttersta skiktet på Ecoscopen att bytas ut oftare än om vattnet strömmar långsammare, även om vattenflödet är detsamma vilket kan ge högre halter.

5.2.4. Alternativ analys

Ett möjligt alternativ till att göra en regressionsanalys med alla olika metaller på en gång är att göra en analys av varje metall för sig. Detta gjordes inte i rapporten. Anledningen till varför de analyserna inte gjordes var att det föreföll onödigt eftersom de regressioner som gjordes var signifikanta och r^2 -värdena höga samt att antalet punkter för varje metall var så pass lågt att det skulle ge en stor osäkerhet i analysen.

5.3. SoFi

Till substansflödesanalysen som gjordes i Excelverktyget SoFi användes schablonvärden för utsläpp av viss indata bland annat biltvättar och tandläkare. Detta medförde att resultaten av analysen blev mer osäkra vilket också visar sig vid jämförelse med de faktiska flödena in till Kungsängsverket varje år (bilaga 2). Ett problem som försämrade analysen i SoFi var att viss indata inte fanns att tillgå i Uppsala. Exempelvis görs ingen provtagning på utgående spillvatten från de laboratorier som kontaktades under studien. Med provtagning på alla verksamheter som är anslutna på spillvattennätet skulle analysen i SoFi kunna förbättras avsevärt.

5.4. HÄR BÖR INSATSERNA SÄTTAS IN

Ur UVA:s perspektiv är det intressant att veta varifrån de stora flödena av olika metaller kommer. Den flödesproportionella provtagningen visade att den stora andelen av kadmium, nickel och zink kom från Bäcklösa, ett utpräglat bostadsområde. Från I1 kom små procentuella bidrag av alla spårämnen och från I2 är endast andelarna av krom och fosfor anmärkningsvärt höga, vilket kan bero på att sediment följt med i analysen. Även om resultaten av totalflöden från analysen i SoFi stämmer dåligt överrens med de faktiska flödena som kommer till Kungsängsverket varje år, styrker SoFi slutsatsen att hushållen står för de största utsläppen av tungmetaller.

Utifrån den passiva provtagningen verkar Ultuna vara det mest intressanta området att titta närmare på angående utsläpp, då stora mängder av kadmium-, krom-, silver-, nickel- och kvicksilver-joner fångades upp där. En eventuell orsak kan vara att den pågående byggnationen i området sätter gamla sediment i rörelse. Därför rekommenderas UVA att göra en ny mätning så snart ombyggnationen är klar. En ny flödesproportionell provtagning i kombination med en Ecoscope-undersökning skulle kunna göras. Med bägge provtagningsmetoderna kan regressionsanalyserna valideras med resultaten från provtagningarna.

6. SLUTSATS

I jämförelse med industriområden var det högre eller lika höga kadmium/fosforkvoter i spillvatten från bostadsområden i Uppsala och dessa kvoter var också mycket högre än i avloppsslammet från Uppsala. Det var högre halter av flera metaller från industriområdena jämfört med bostadsområdena, men på grund av de låga vattenflödena blev det låga flöden av metallerna från dessa områden. Istället kom det större flöden av flera metaller (kadmium, zink och nickel) från bostadsområden.

Det finns i denna mätning ett linjärt samband ($p < 0,05$) mellan såväl filtrerade som ofiltrerade halter och den jonmängd som mättes med Ecoscope. Om sambandet kan valideras har UVA en enklare metod att bestämma halter i avloppsvattnet.

6.1. FORTSATT FORSKNING

UVA bör ta reda på hur man kan se till att minska flödet av kadmium och zink från hushåll. Var används metallerna i hushållen och hur ska man se till att de inte hamnar i avloppsvattnet?

UVA rekommenderas att göra en ny undersökning i Ultuna, där rören bör spolade för att röja undan eventuella sediment, för att se ifall jonmängden är fortsatt hög för kadmium, silver, kvicksilver, nickel och krom, eller om resultaten i denna mätning berodde på de stora ombyggnationerna som ägde rum under provtagningen. Både en flödesproportionell och en passiv provtagning av avloppsvattnet borde göras under två veckor och då spillvattnet har en ungefärlig temperatur av 8 °C för att de linjära sambanden ska kunna valideras.

UVA rekommenderas även att forska vidare i varför det kommer mycket (relativt andra områden) fosforjoner från S4, mycket nickeljoner från Ulleråker samt stora procentuella

nickelflöden från Bäcklösa. UVA borde inför nästa provtagning av I1, I2 eller liknande ledningar, spola ledningarna för att sediment inte ska komma med i proverna. Rören där provtagning ska göras bör alltid spolas först för såväl flödesproportionell provtagning som passiv provtagning.

Nästa gång en jämförelse mellan resultaten av en Ecoscope-undersökning och mängder ska göras, bör Ecoscopen sättas i provtagningsplatser med samma rördiameter. Om detta görs elimineras felkällan att samma flöden ger olika vattenhastighet i rör av olika diameter.

Det vore intressant att göra en mätning av tungmetaller i spillvatten i ett område före och under ett stort byggnadsprojekt. Kommer det då större mängder av kadmium, zink och nickel under en byggnation än vad det normalt sett gör?

Referenser

- ALcontrol Laboratories. (2012). *Användarinstruktion till Ecoscope*. Linköping: ALcontrol Laboratories.
- ALcontrol Laboratories. (2013). Hämtad Januari 14, 2013, från <http://se.alcontrol.com/sv/recipientvatten-passivprovtagning>
- ALS Life Sciences. (2013). *ALS Life Sciences*. Hämtad januari 30, 2013, från <http://www.alsglobal.se/als-scandinavia/analystekniker?c=1>
- ALS Scandinavia. (2013). *ALS Scandinavia - Analystekniker*. Hämtad Maj 7, 2013, från <http://www.alsglobal.se/als-scandinavia/analystekniker#icpsfms>
- Andersson, P.-G. (2009). *Slamspridning på åkermark - Fältförsök med kommunalt avloppsslam från Malmö och Lund under åren 1981-2008. Ett projekt i samverkan mellan kommunerna Malmö, Lund, Trelleborg, Kävlinge, Burlöv, Lomma, Staffanstorp och Svedala, samt SYSAV. Hushållningssällskapens rapportserie nr. 15*. Skåne: Hushållningssällskapet.
- Augustinsson, H. (2003). *Växtnäring från avlopp - historik, kvalitetssäkring och lagar. Underlag till auktionsplanen Bra slam och fosfor i kretslopp. Rapport 5220*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Bengtsson, H. (2012, Februari 17). *KRAV*. Hämtad Mars 26, 2013, från Får avloppsslam användas i KRAV-ordling?: <http://www.krav.se/Om-KRAV/Fragor-och-svar/Om-vaxtodling/Far-avloppsslam-anvands-i-KRAV-odling/>
- Berg, P. E. (2013). *Reningsverk*. Hämtad Januari 28, 2013, från Nationalencyklopedin: <http://www.ne.se/lang/reningsverk>
- Bernes, C., & Lundgren, L. J. (2009). *Bruk och missbruk av naturens resurser ISBN10:9162012746*. Värnamo: Naturvårdsverket.
- Bertilsson, G. (2008, Juli). *greengard*. Hämtad Mars 26, 2013, från greengard: <http://www.greengard.se/mullen2.htm>
- Carlsson, M. (2005). *Spårning av tungmetaller i Örebros spillvattenledningsnät. 2005:025 CIV*. Luleå: Luleå Universitet.
- Eriksson, J. (2001). *Halter av 61 spårelement i avloppsslam, stallgödsel, handelsgödsel, nederbörd samt i jord och gröda. Rapport 5148*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Ernervik, A. (2011). *A risk analysis of the potential harm on the soil environment caused by antibiotics in biosoils*. Lund: Lunds Universitet.
- Eronen, S. A. (2010). *Substansflödesanalys av tungmetaller i avloppssystemet- Nytt verktyg testat på Sigtuna och Solna kommuner. UPTEC W10 021*. Uppsala: Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala universitet.

- Finnsson, A. (2012). *Det här är REVAQ*. Stockholm: Svenskt Vatten.
- Flygt, B. (1995). *Uppsalas tekniska historia*. Uppsala: Uppsala kommun.
- Gendebien, A., Davis, B., Hobson, J., Palfrey, R., Pitchers, R., Rumsby, P., et al. (2009). *Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land - Draft Summary Report 1 Assessment of Existing Knowledge*. Bryssel: Milieu Ltd.
- Gryaab. (2008). *Jämförelse av provtagning i referensområden 1988 och 2006/2007, Hushållspillvatten Del 2*. Göteborg: Gryaab.
- Jönsson, H., Baky, A., Jeppsson, U., Hellström, D., & Kärrman, E. (2005). *Composting of urine, faeces, greywater and biowaste -for utilisation in the URWARE model. Rapport 2005:6*. Göteborg : Urban Water Chalmers University of technology.
- Jönsson, H., Eklind, Y., Albihn, A., Jarvis, Å., Kylin, H., Nilsson, M.-L., et al. (2003). *Samhällets organiska avfall - en resurs i kretsloppet. FAKTA Jordbruk. Sammanfattar aktuell forskning. Nr 1-2*. Uppsala: SLU.
- Jönsson, H., S., H., K., B., Gren, I.-M., Jensen, E.-S., Rockström, J., et al. (2012). Återvinn fler näringsämnen än fosfor i avloppsvatten. *Dagens nyheter, Debatt*.
- Kulbay, H., & Lindvall, M. (2012). *Undersökning av källor och flöden av kadmium i avlopp från det centrala Eskilstunas avlopp*. Stockholm: KTH Kemiteknik.
- Lantbrukarnas Riksförbund. (2010). *Styrelsens yttrande nr 16. Motion nr Väst 8, Skaraborg 4*. Lantbrukarnas Riksförbund.
- Lantmännen. (2013). *Lantmännen*. Hämtad Mars 27, 2013, från Slam. Vad handlar det om? Hur berörs Lantmännen?: <http://lantmannen.se/omlantmannen/om-lantmannen/vart-ansvar/fokusfragor/slam/>
- Lewinsky, A. A. (2007). *Hazardous Materials And Wastewater: Treatment, Removal And Analysis*. New York: Nova Science Publishers, Inc.
- Levlin, E., Tideström, H., Kapilashrami, S., Stark, K., & Hultman, B. (2001). *Slamkvalitet och trender för slambehandling. VA-FORSK Rapport 2001:05*. Stockholm ISBN: 91-89182-56-1: VAV AB.
- Linderholm, K. (2011). *Fosfor och dess växttillgänglighet i slam - en litteraturstudie. Rapport nr 2011-16*. Stockholm: Svenskt Vatten Utveckling.
- Lindgren, G. (2012, Mars 24). *Kostdemokrati*. Hämtad Mars 26, 2013, från Obefintligt stöd för slamspridning: <http://www.kostdemokrati.se/gunnarlindgren/2012/03/24/obefintligt-stod-for-slamspridning/>

- Livsmedelsverket. (2012, November 06). *Livsmedelsverkets hemsida, risker med bly*. Hämtad Maj 14, 2013, från <http://www.slv.se/sv/grupp1/Risker-med-mat/Metaller/Bly/Bly---fordjupning/>
- Livsmedelsverket. (2013a, Februari 11). *Livsmedelsverkets hemsida, risker med kadmium*. Hämtad Maj 14, 2013, från <http://www.slv.se/sv/grupp1/Risker-med-mat/Metaller/Kadmium/Kadmium---fordjupning/>
- Livsmedelsverket. (2013b, Maj 5). *Livsmedelverkets hemsida, risker med koppar*. Hämtad Maj 14, 2013, från <http://www.slv.se/sv/grupp1/Risker-med-mat/Metaller/Koppar/Koppar---fordjupning/>
- Livsmedelsverket. (2013c, Maj 5). *Livsmedelverkets hemsida, risker med kvicksilver*. Hämtad Maj 14, 2013, från <http://www.slv.se/sv/grupp1/Risker-med-mat/Metaller/Kvicksilver/Kvicksilver---fordjupning/>
- Lottermoser, B. G. (1994). *Gold and platinoids in sewage sludges*. Malaysia: Gordon and Breach Science Publishers S.A.
- Magnusson, J. (2003). *Sammansättning på hushållspillvatten från Hammarby Sjöstad: Hushållens bidrag av miljöfarliga ämnen till avloppsvattnet. Examensarbete 2003:292 CIV*. Luleå: Luleå Universitet.
- Milieu Ltd. (2009). *Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land -Draft Summary Report 1 Assessment of Existing Knowledge*. Bryssel
- Miljökontoret. (2010). *Fordonstvättar måste ha bättre rening än enbart oljeavskiljare*. Uppsala: Uppsala Kommun.
- MJK Automation. (2012a). *Portabel provtagare ISCI 6712*. Säffle: MJK Automation AB.
- MJK Automation. (2012b). *Flödesmodul 750 för provtagare 6712*. Säffle: MJK Automation AB.
- Nationalencyklopedin. (2013a). *Nationalencyklopedin: silver*. Hämtad Maj 15, 2013, från http://www.ne.se/lang/silver?i_whole_article=true
- Nationalencyklopedin. (2013b). *Nationalencyklopedin: guld*. Hämtad Maj 14, 2013, från <http://www.ne.se/lang/guld>
- Nationalencyklopedin. (2013c). *Nationalencyklopedin: Vismut*. Hämtad Maj 15, 2013, från <http://www.ne.se/lang/vismut>
- Naionalencyklopedin. (2013d). *Nationalencyklopedin: Zink*. Hämtad Maj 15, 2013, från <http://www.ne.se/lang/krom>
- Nationalencyklopedin. (2013e). *Nationalencyklopedin: Nickel*. Hämtad Maj 16, 2013, från <http://www.ne.se/lang/nickel>

- Nationalencyklopedin. (2013f). *Nationalencyklopedin: Tenn*. Hämtad Maj 15, 2013, från <http://www.ne.se/lang/tenn>
- Nationalencyklopedin. (2013g). *Nationalencyklopedin: Uran*. Hämtad Maj 15, 2013, från <http://www.ne.se/lang/uran>
- Nationalencyklopedin. (2013h). *Nationalencyklopedin: Volfram*. Hämtad Maj 15, 2013, från <http://www.ne.se/lang/volfram>
- Nationalencyklopedin. (2013i). *Nationalencyklopedin: Zink*. Hämtad Maj 15, 2013, från <http://www.ne.se/lang/zink>
- Naturskyddsföreningen. (2012). *Naturskyddsföreningen*. Hämtad Mars 26, 2013, från Naturskyddsföreningen: <http://www.naturskyddsforeningen.se/nyheter/slam-fran-ditt-avlopp-blir-godsel-pa-akern>
- Naturvårdsverket. (1994). *Statens naturvårdsverks författningssamling - Naturvård. ISSN 0347-5301. SNFS 1983:2 NV: 14*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket. (1995). *Vad innehåller avlopp från hushåll? Rapport 4425*. Stockholm: Naturvårdsverket
- Naturvårdsverket. (2008a). *Rening av avloppsvatten i Sverige 2008 – Avloppsvatten. ISBN: 978-91-620-8492-9*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket. (2008b). *Avloppsreningsverkens förmåga att ta hand om läkemedelsrester och andra farliga ämnen. Rapport 5794*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket. (2010). *Redovisning av regeringsuppdrag 21 Uppdatering av "Aktionsplan för återföring av fosfor ur avlopp". Dnr 525-205-09*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket. (2012a). *Naturvårdsverket*. Hämtad Februari 13, 2013, från Siffror om avloppsslam: <http://www.naturvardsverket.se/Start/Verksamheter-med-miljopaverkan/Avlopp/Avloppsslam/Siffror-om-avloppsslam/>
- Naturvårdsverket. (2012b). *Naturvårdsverket*. Hämtad Mars 26, 2013, från Hållbar återföring av fosfor: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Regeringsuppdrag/Fosfor/>
- Naturvårdsverket. (2013). *Naturvårdsverket*. Hämtad Februari 13, 2013, från Användningsmöjligheter för avloppsslam: <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning-amnesvis/Avlopp/Avloppsslam/Anvandningsmojligheter-for-avloppsslam/>
- Nicholsson, F. A., & Chambers, B. J. (2007). *SP0547: Sources and Impacts of Past, Current and Future Contamination of Soil*. Meden Vale Mansfield: ADAS Gleadthorpe.

- Norska vetenskapskomitéén. (2009). *Risk assessment of contaminants in sewage applied on Norwegian soils -Opinion från the Panel on Contaminants in the Norwegian Scientific Committee for food Safety*. ISBN: 978-82-8082-0. Oslo: Norska vetenskapskomitéén.
- Norström, A., Pettersson, P., Niemelä, M., Eronen, S. A., & Wennmalm, S. (2010). *SoFi-Source Finder. Ett verktyg för uppströmsarbete*. Uppdragsnr: 290028. Rapportserie nr: 2010:1. Stockholm: CIT Urban Water Management AB.
- Nyberg, U. (1989a). *Spårning av metallutsläpp till spillvattennätet, Slutrapport etapp 1*. Uppsala: Gatukontoret, Uppsala Kommun.
- Nyberg, U. (1989b). *Spårning av metallutsläpp till spillvattennätet etapp 2*. Uppsala: Gatukontoret, Uppsala Kommun.
- Omu, A. (2009). *Identification of the Sources of Heavy Metal in Urban Wastewater*. London: Imperial College London.
- Ren Åker Ren Mat. (2009, September). *Ren åker ren mat*. Hämtad Mars 26, 2013, från Initiativet för Ren Åker Ren Mat: <http://www.renakerrenmat.se>
- Rosemarin, A., Bruijne, G. d., & Caldwell, I. (2009). *Peak Phosphorous: The next inconvenient truth. Issue 15*. The Broker.
- Samuelsson, P. (2004). *Halter av farliga ämnen i slam och avloppsvatten i Uddebo avloppsreningsverk. 2004:310 CIV. ISSN:1402-1617*. Luleå: Luleå tekniska universitet: Institutionen för samhällsbyggnad; Avdelningen för VA-teknik.
- SCB & Naturvårdsverket. (2012). *Utsläpp till vatten och slamproduktion 2010. Kommunala reningsverk, skogsindustri samt övrig industri. MI 22 SM 1201. ISSN 1403-8978 Serie MI - Miljövård*. Statistiska Centralbyrån.
- Staaf, H., & Bergström, J. (2010). *Sveriges officiella statistik -Statistiska meddelanden MI 22 SM 1201: Utsläpp till vatten och slamproduktion 2010 - Kommunala reningsverk, skogsindustri samt övrig industri*. Naturvårdsverket och SCB.
- Stiftelsen Chalmers Industriteknik. (n.d.). *CIT Urban Water Management*. Hämtad Januari 15, 2012, från <http://www.chalmers.se/cit/urban-en/projects/optimisation-resource/source-finder-sofi>
- Svensk Daglivsvaruhandel. (2013). *Svensk Daglivsvaruhandel*. Hämtad Mars 27, 2013, från Branschorganisationen för dagligvaruhandeln: <http://www.svenskdagligvaruhandel.se/>
- Svenskt Vatten. (2006). *Fakta om vatten och avlopp*. Stockholm: Svenskt Vatten.
- Svenskt Vatten. (2007). *Avloppsteknik 3 -Slamhantering*. Stockholm: Svenskt Vatten.
- Svenskt Vatten. (2010). *Avloppsteknik 2 -Reningsprocessen*. Stockholm: Svenskt Vatten AB.

- Svenskt Vatten. (2012). *Regler för certifieringssystemet REVAQ. Utgåva 2.2.1*. Stockholm: Svenskt Vatten.
- Svenskt Vatten. (2013a). *Svenskt Vatten*. Hämtad Mars 27, 2013, från Frågor och svar om REVAQ, uppströmsarbete, fosfor och slam:
<http://www.svensktvatten.se/Documents/Kategorier/Avlopp%20och%20milj%C3%B6/REVAQ/130121%20REVAQ%20fra%CC%8Agor%20och%20svar.pdf>
- Svenskt Vatten. (2013b). *Svenskt vatten*. Hämtad Mars 27, 2013, från Om Svenskt Vatten:
<http://www.svensktvatten.se/Om-Svenskt-Vatten/>
- Svenskt Vatten. (2013c). *Svenskt Vatten*. Hämtad Mars 27, 2013, från Vad är REVAQ:
<http://www.svensktvatten.se/Vattentjanster/Avlopp-och-Miljo/REVAQ/om-REVAQ/>
- Sveriges Rikes Lag. (1998). Förordning (1998:944) om förbud m.m. i vissa fall i samband med hantering, införsel och utförsel av kemiska produkter. Sverige.
- Sörme, L., & Lagerqvist, R. (2004). *Sources of heavy metals in urban wastewater in Stockholm. Science of the total environment. Volume 298 Issues 1-3. Pages 131-145*.
- Teledyne Isco. (2011). *750 Area Velocity Module*. Lincoln, NE: Teledyne Isco.
- Teledyne Isco. (2012). *6712 Portable Samplers- Installation and Operation Guide*. Lincoln, NE: Teledyne Isco.
- Tideström, H. (2008). *PM Slamregler i kortet*. Sweco.
- Uppsala Kommun. (1996). *Avloppsvattenreningens utveckling i Uppsala*. Uppsala: Uppsala Kommun.
- Uppsala Kommun. (2005). *Så fungerar Kungsängsverket*. Uppsala: Uppsala Kommun.
- Uppsala Kommun. (2012). *Uppsala kommuns taxa inom miljöbalkens område*. Uppsala: Uppsala Kommun.
- Uppsala Vatten och Avfall AB. (2013a). *Miljörapport 2012 Kungsängsverket*. Uppsala: Uppsala Vatten och Avfall AB.
- Uppsala Vatten och Avfall AB. (2013b). Modifierad karta från UVAs databas.
- Waldenborg, M. (2002). *Spårning av föroreningskällor i Västerslätts dagvattensystem*. Umeå: Institutionen för biologi, miljö och geovetenskap, Umeå Universitet.
- Wittgren, H. B., & Pettersson, F. (2013). *Flödesanalys av spårelement från källa till slam. 2013-12*. Stockholm: Svenskt Vatten Utveckling.

Föreläsningsanteckningar

Carlsson, B. (2012). Rening av avloppsvatten -Introduktion. *Kursnamn: Kommunal och industriell avloppsvattenrening* (p. 6). Uppsala: Institutionen för informationsteknologi, UU.

Hallin, S. (2012). Biological N and P removal in avtive sludge process. *Kursnamn: Kommunal och industriell avloppsvattenrening* (p. 12). Uppsala: Institutionen för mikrobiologi, SLU.

Jönsson, H. (2012). *Composte, urine, faeces and sewage sludge as fertilisers*. Uppsala: SLU.

Personlig kontakt

Holm, C. (2013, Mars). Samtal med Caroline Holm, utredningsingenjör.

Jansson, A. (2013, Mars 23). Intervju med Andreas Jansson, tekniker på Uppsala Vatten AB.

Larsson, L.-G. (2013, Februari 7). Intervju med Lars-Göran Larsson.

Swedling, E.-O. (2013, Februari 7). Intervju med Ernst-Olof Swedling.

Wigilius, B (2013, Juni 19). Intervju med Bo Wigilius, expert på ALcontrol

Bilaga 1

Så fungerar ISCO 6712C

Provtagaren har en fördelararm som ställs in efter hur många flaskor som ska användas. Antingen kan 24, 12, 8 eller 4 flaskor (i plast) användas. Fördelararmen kan rotera runt sin axel och bestämmer beroende på programmeringen var provet ska hamna. Provtagaren tar proven genom att en mängd vätska suggs upp i sugledningen tills vätskan når en detektor. När vätskan nått detektorn börjar volymen vätska mätas och via fördelararmen placeras provet i en flaska. Innan och efter att provet tas rensas insugningsröret då pumpen inverterar flödet och luft blåses igenom röret. Ytterst på sugledningen sitter en sil som ser till att stora partiklar inte följer med proven. Den maximala sughöjden för insugningsröret är 8,5 m. Provvolymer kan ställas in från 10 till 1000 ml. När ISCO 6712C tar prover är osäkerheten $\pm 10\%$ av provvolymen (Teledyne Isco, 2012).

Det går att ansluta ISCO 6712C till en dator och hämta provtagningsrapport och det flöde som registerats under provtagningsepisoden. När provtagaren inte får upp något prov, till exempel när något ligger för silen, registreras det i provtagningsrapporten. Om provtagaren fått upp vätska men inte den mängd som programmerats, registreras även detta.

Programmering av provtagare

Innan provtagaren kan användas måste den programmeras. Programmeringen av provtagaren kan ske på flera olika sätt. Bland annat ställs antalet och volym per flaska in, om provtagningen ska baseras på tid eller flöde, antal prover per flaska och så vidare (Teledyne Isco, 2012). Vid flödesproportionell provtagning tas provet efter att en viss volym flödat förbi provtagaren efter start eller föregående prov.

Bilaga 2

	Cd	Hg	Cu	Zn	Cr
Sofi [g/år]	2 165	1 021	1 102 327	1 360 600	48 647
Miljörapport [g/år]	2 700	2 300	1 630 000	590 000	88 000
Skillnad [g/år]	-534	-1 278	-527 672	770 600	-39 352
% fel	-19,7	-55,5	-32,3	130,6	-44,7
Mindre än 25 % fel	X				