

Uppdragsgivare: Falu Energi och Vatten  
Handledare: Erica Jensen  
Ämnesgranskare: Roger Herbert

2 oktober 2018

# Analys av föroreningar i avloppsvatten i Falun

Malin Olsson

Civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik  
Uppsala Universitet

## Referat

### Analys av föroreningar i avloppsvatten i Falun

*Malin Olsson*

Avloppsvatten från hushåll och verksamheter innehåller en mängd föroreningar som kan påverka organismer och ekosystem negativt. Då avloppsvatten speglar kemikalieanvändningen i samhället återfinns allt ifrån läkemedel och högfluorerade ämnen till mikroplast och tungmetaller. En spridningsväg vidare i miljön för dessa föroreningar är via reningsverken, då flertalet av reningsverken inte har kapacitet att ta hand om alla föroreningar. I denna studie har metaller, läkemedel och organiska föroreningar i avloppsvattnet i Falun studerats. Syftet har varit att bidra med kunskapsunderlag inför framtida utveckling av Främby reningsverk samt ligga till grund för insatser med mål att minska mängden föroreningar i avloppsvattnet.

Analys av källor till tungmetallerna kadmium, koppar, krom, kvicksilver och zink gjordes utifrån data från verksamheter och schablonvärden med Excelverktyget ”Source Finder”. Där beräknades olika källors procentuella bidrag till metallutsläppen och en jämförelse kunde göras med de beräknade inkommande mängderna metall till reningsverket. Resultatet visade att det är troligt att gruvavfallet från Faluns gruvhistoria var källan till merparten av utsläppen av kadmium och zink, medan hushållen stod för största andelen koppar och krom. Av kvicksilver kom cirka en tredjedel från hushåll och en tredjedel från tandvårdsverksamhet. Förklaringsgraden ökade markant för framförallt kadmium och zink men även koppar då hänsyn togs till metallhalter i gruvavfallspåverkat vatten som en faktor till tillskottsvattnets sammansättning.

Analys genom provtagning på reningsverket utfördes med veckoprovtagning under åtta veckor för metaller och läkemedel samt i avloppssystemet med passiv provtagare för metaller och organiska ämnen. Analysen av metaller visade på högre halter kadmium och zink då flödet var högre och att ackumuleringen av dessa metaller i de passiva provtagarna var flera gånger högre på gruvpåverkade sidan av Falun än på andra sidan. Analysen av läkemedel visade på en bra rening av de lättnedbrytbara substanserna ibuprofen och naproxen men ingen rening av substanserna diklofenak, metoprolol, atenonol och karbamazepin. För diklofenak och karbamazepin kunde till och med en ökning ses genom reningsverket. Det höga flödet på grund av snösmältningen under provtagningen bidrog troligtvis till en utspädningseffekt och högre halter av läkemedelssubstanser än de under detta projekt uppmätta kan troligtvis ses under torrare perioder. Av de organiska ämnena var det många som var under detektionsgränsen och för de ämnen som detekterades var resultatet svårtolkat då jämförelser med andra studier försvåras av provtagningsmetoden. En provtagning av inkommande vatten skulle underlätta jämförelsen och vid upptäckt av höga halter kan spårning vidare göras med passiva provtagare.

Nyckelord: avloppsreningsverk; avloppsvatten; källor; tungmetaller; läkemedel  
Institutionen för geovetenskaper, Luft- vatten- och landskapslära,  
Uppsala universitet, Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala

## **Abstract**

### **Analysis of contaminants in wastewater in Falun**

*Malin Olsson*

Wastewater from households and industries contains a variety of contaminants such as pharmaceuticals, high-fluorinated substances, micro-plastic and heavy metals. Many of these can be harmful to organism and negatively affect ecosystems. A pathway to the environment can be the wastewater treatment plants though many of them do not have the capacity to remove all pollutants. In this thesis, heavy metals, pharmaceuticals and organic pollutants in the wastewater in Falun have been studied.

Sources of heavy metals cadmium, copper, chromium, mercury and zinc was analyzed with the tool "Source Finder" in Excel. Metal emissions from different sources were calculated and a comparison could be made with the amounts of metal in the influent at the waste water treatment plant. It was found that the inflow water (in leaking water from the surrounding ground) was the largest source of zinc and cadmium and that the high levels in the inflow depends on mining waste. The largest source for copper and chromium was households and for mercury the sources were households and the dental clinics.

Heavy metals were analyzed with sampling at the treatment plant and in five locations in the system up streams. It was found that higher levels of cadmium and zinc could be seen when the flow was higher and that the accumulation of these metals in the passive samplers was several times higher on the mining side of Falun than on the other side.

Pharmaceuticals were analyzed at the treatment plant and it was found that only ibuprofen and naproxen were removed. Several substances were not removed at all and diklofenak showed quite high level in the effluent. The high flow due to the snow melt during the sampling probably contributed to a dilution effect and higher levels of substances than those measured under this project are likely to be seen during drier periods.

Keyword: Wastewater treatment plant; Sewage water; Sources; Heavy metals; Pharmaceuticals;  
Department of Earth Sciences, Air, Water and Landscape Science, Uppsala University,  
Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala  
ISSN 1401-5765

## Förord

Detta examensarbete omfattar 30 högskolepoäng och avslutar studier inom civilingenjörsprogrammet i miljö och vattenteknik på Uppsala Universitet och Sveriges lantbruksuniversitet.Handledare var Erica Jensen, utvecklingsingenjör på Främby reningsverk, Falu Energi & Vatten AB och ämnesgranskare var Roger Herbert, universitetslektor vid Institutionen för geovetenskaper, Luft- vatten- och landskapslära, Uppsala Universitet.

Examensarbetet utfördes inom projektet ” Framtidens Främby” där Melviana Hedén, utvecklingsingenjör på Falu Energi & Vatten AB, är projektledare. Melviana har även varit min andra handledare i detta examensarbete.

Jag vill rikta ett stort tack till Erica och Melviana för all hjälp och stöd under arbetets gång med alltifrån värdefulla synpunkter som fört arbetet framåt, praktisk hjälp med provtagning till lån av cykel. Jag vill även tacka personal på Främby reningsverk för positivt bemötande och hjälp med provtagning. Jag vill tacka Roger för hjälp med rapportens struktur och konstruktiva synpunkter. Tack även till alla på Falu kommun, länsstyrelsen Dalarna, landstinget Dalarna och privata verksamheter i Falun som hjälpte mig i datainsamlingen.

*Malin Olsson*

Uppsala, augusti 2018

## Populärvetenskaplig sammanfattning

I avloppsvatten från hushåll och verksamheter hamnar föroreningar från hela vårt samhälle. Det kan vara föroreningar som tungmetaller, mikroplaster, läkemedelssubstanser, organiska miljögifter och högfluorerade ämnen. Flera av dessa ämnen är svårnedbrytbara och kan ha negativa effekter på organismer och ekosystem. Hemmet, kläder, hygienartiklar, mat, läkemedel, färger, kan ge upphov med föroreningar som via tvätt, städ, disk och utsöndring via kroppen kommer till reningsverken. Dagens reningsverk är byggda för att ta hand om i första hand organiskt material, fosfor och kväve för att undvika övergödning av våra sjöar. Om inte reningsverken har någon kompletterande behandling kan flera av de svårnedbrytbara föroreningarna passera reningsstegen opåverkat och på så vis spridas i miljön med utgående vatten. Ett sätt att minska mängden föroreningar som når reningsverken är att arbeta uppströms för att spåra källor till föroreningar och göra åtgärder vid källan för att minska utsläppen. I detta arbete har metaller, läkemedel och organiska föroreningar i avloppsvattnet i Falun undersökts.

Källor till tungmetallerna kadmium, koppar, krom, kvicksilver och zink har spårats med hjälp av ett verktyg i Excel, "Source Finder". Utifrån data för utsläpp från verksamheter och hushåll beräknades olika källors procentuella bidrag till metall i avloppsvattnet. Bland verksamheter fanns bilverkstäder, tandvårdskliniker, fordonstvättar, förbränningsanläggning, sjukhus, lakvatten från deponin och kadmium från konstnärsverksamhet. Även tillskottsvattnet var en parameter att ta hänsyn till. En jämförelse gjordes med de beräknade utsläppen och de uppskattade inkommande mängderna metall till reningsverket. Resultatet visade att gruvavfallet från Falu gruva (via tillskottsvattnet) troligtvis var den största källan till kadmium och zink. Hushållen var den största källan för koppar och krom, och för kvicksilver stod hushållen och tandvården för ungefär en tredjedel var. Verksamhetens bidrag till metaller i avloppsvatten visade sig var låg. Metaller analyserades också i avloppsvattnet genom provtagning på reningsverket och på fem platser ute i ledningsnätet. Provtagningarna talar också för påverkan av gruvavfallet. Det höga flödet på grund av snösmältningen gav höga halter av kadmium och zink. Provtagningen i ledningsnätet visade också på högre halter från grusidan av Falun jämfört med andra sidan.

Läkemedel analyserades i inkommande och utgående vatten på reningsverket. Substanserna ibuprofen och naproxen visade sig renas ganska väl, medan flera av de övriga substanserna passerade reningsverket relativt opåverkade, till exempel diklofenak, som dessutom sågs i höga halter. Diklofenak räknas som särskilt förorenande ämne och det finns riktlinjer för halter i ytvatten.

För att minimera spridning av miljögifter via reningsverken kan strukturerat uppströmsarbete och förbättrade reningsmetoder vara åtgärder som kan användas.

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	Inledning.....	1
1.1	Syfte.....	1
1.1.1	Frågeställningar.....	2
1.2	Avgränsningar.....	2
2	Bakgrund.....	2
2.1	Föroreningar.....	3
2.1.1	Metaller.....	4
2.1.2	Läkemedelsrester.....	6
2.1.3	Organiska föroreningar.....	9
2.2	Källspårning med verktyget SoFi.....	10
2.3	Områdesbeskrivning.....	11
2.3.1	Främby reningsverk.....	11
2.3.2	Falu koppargruva.....	12
3	Material och Metoder.....	14
3.1	Spårning av källor till tungmetaller med SOFI.....	14
3.1.1	Verktyget SoFi.....	14
3.1.2	Inhämtning och beräkning av data.....	15
3.2	Provtagningar.....	17
3.2.1	Provtagning på reningsverket.....	17
3.2.2	Provtagning i avloppsledningsnätet.....	17
4	Resultat.....	19
4.1	SoFi.....	19
4.1.1	Kadmium.....	20
4.1.2	Zink.....	20
4.1.3	Koppar.....	21
4.1.4	Krom.....	21
4.1.5	Kvicksilver.....	22
4.2	Provtagning.....	22
4.2.1	Reningsverket – metaller.....	22
4.2.2	Reningsverket – Läkemedel.....	24
4.2.3	Ecoscope - metaller.....	27
4.2.4	Ecoscope - Övriga ämnen.....	27
5	Diskussion.....	28
5.1	Metaller.....	28

5.2	Läkemedel.....	30
5.3	Organiska ämnen .....	31
6	Slutsats .....	31
7	Referenser.....	32

# 1 INLEDNING

Avloppsreningsverk i Sverige producerar stora mängder slam och produktionen uppskattades till 204 000 ton torrsbstans, TS, år 2016. Av slammet användes cirka 34 % inom jordbruket, 27 % till anläggningsjord och 22 % till sluttäckning av deponier (SCB, 2018a). Merparten av deponier som idag sluttäcks med bland annat slam beräknas vara klara till 2030 (Avfall Sverige, 2018) och då måste slammet ha ett nytt användningsområde. I slammet binds en del av näringsämnen, i huvudsak fosfor, från avloppsvattnet och genom att återföra dessa till åkermark kan slammet bidra till ett mer hållbart resursutnyttjande i jordbruket. Men i slammet återfinns även en del ämnen från avloppsvattnet som inte är önskvärda på åkermark, till exempel tungmetaller och organiska miljögifter (Naturvårdsverket, 2010). 2008 startades certifieringssystemet Revaq för att kvalitetssäkra användning av slam från reningsverk i jordbruk. Syftet med Revaq-certifiering är att minska mängden farliga ämnen till reningsverket och skapa en hållbar återföring av växtnäring. För att kunna certifieras ska reningsverket bedriva ett aktivt och strukturerat uppströmsarbete, vara öppen med information och kontinuerligt arbeta för förbättring (Svenskt Vatten, 2018).

På Främby avloppsreningsverk, ARV, i Falun produceras ca 3 500 ton slam/år. Idag komposteras slammet och används som anläggningsjord till vegetationsskiktet vid sluttäckningen av deponin i Falun. Snart är sluttäckningen klar och slammet måste omhändertas på annat sätt (Hedén, 2018). Falu Energi och Vatten, FEV, har inlett ett projekt för att analysera statusen på Främbyverkets inkommande avloppsvatten vad gäller föroreningar som ett underlag för att möjliggöra en Revaq-certifiering samt inför framtida utveckling av reningsverket.

Falun har en lång historia av gruvdrift där framför allt koppar, zink och bly utvunnits. Gruvavfallet har deponerat runt gruvområdet och som fyllnadsmaterial under stora delar av centrala Falun. Det uppskattas att en halv till en miljon ton tungmetaller har spridits till omgivande mark och vatten till följd av gruvdriften (Hanæus & Ledin, 2010).

I detta projekt ska källor och flöden av metaller i avloppsvattnet studeras som ett led i att utvärdera kvaliteten på spillvattnet som inkommer till Främby reningsverk och att möjliggöra en Revaq-certifiering av reningsverket.

## 1.1 SYFTE

Syftet med examensarbetet är att identifiera källor till tungmetaller i systemet genom att uppskatta och kvantifiera massflöden av metaller i avloppssystemet. Examensarbetet ska även undersöka nuvarande kvalitet på inkommande och utgående vatten på reningsverket med avseende på metaller och läkemedel. Detta ska i framtiden kunna ligga till grund för punktinsatser med syftet att minska halten metaller i avloppsvatten och slam i Främby reningsverk samt bidra med kunskap inför framtida utveckling av reningsverket.

För att uppnå syftet kommer flera metoder att användas. Modellering med Excelverktyget Source Finder, SoFi, kommer utföras för att spåra i vilken grad olika verksamheter bidrar till metaller i avloppsvattnet. Inkommande och utgående avloppsvatten vid Främby kommer att analyseras för att undersöka kvaliteten på det avloppsvatten som idag når



reningsverket. Provtagning med passiv provtagare i avloppssystemet kommer att utföras för att undersöka och jämföra kvaliteten på avloppsvattnet från olika områden.

### 1.1.1 Frågeställningar

Det finns två nyckelfrågeställningar som ska besvaras i arbetet:

- Hur stor del av metallerna koppar, krom, kadmium, kvicksilver och zink kan uppskattas komma från gruvavfallet?
- Vilka halter av metaller och läkemedel ses i inkommande och utgående vatten på Främby reningsverk samt kan skillnader ses vad gäller utsläpp av metaller och organiska föroreningar från olika områden i Falun?

## 1.2 AVGRÄNSNINGAR

Avloppsvatten speglar kemikalieanvändningen i samhället och innehållet av olika föroreningar är därför stort i spillvattnet. Detta projekt fokuserar därför, i samråd med uppdragsgivaren, på några utvalda föroreningar, med fokus på fem metaller och elva läkemedelssubstanser. Valet har bland annat gjorts utifrån de lokala problem som finns på orten med höga halter av framför allt zink, kadmium och koppar i avloppsvattnet. Metaller analyseras genom provtagningar, både i ledningsnät och på reningsverket, samt genom beräkningar i verktyget SoFi. Läkemedel analyseras på inkommande och utgående vatten på reningsverket och en screening av organiska föroreningar utförs i ledningsnätet. I Bilaga B redovisas alla ämnen som provtagits i arbetet.

## 2 BAKGRUND

De undermåliga sanitära förhållandena i Sverige under 1800-talet ledde till utbyggnad av ett vattenburet avloppssystem. Då var syftet att befrämja folkhälsan och vattnet släpptes orenat ut i sjöar och vattendrag utanför städerna. Under 1900-talet uppdagades miljöproblem i anslutning till avloppsutsläppen, i form av syrebrist, fiskdöd, övergödning och igenväxta sjöar. Utbyggnad av reningsverk tog fart under 1960- och 70-talen och minskade problemen i sjöar och vattendrag. Syftet var att erhålla ett så rent vatten som möjligt och därmed minimera utsläpp av oönskade ämnen till recipient (Naturvårdsverket, 2010).

Avloppsvattenreningen utvecklades för att ta bort partiklar, organiskt biologiskt nedbrytbart material, växtnäringsämnen och patogener ur avloppsvattnet för att förhindra syrebrist och övergödning samt minimera risken för smittspridning. Reningen innefattar vanligtvis mekanisk, kemisk och biologisk rening i olika steg (Svenskt Vatten, 2016). Den mekaniska reningen tar bort partiklar från avloppsvattnet genom gallerrens, sandfång och försedimentering. I den kemiska reningen tillsätts fällningskemikalie för att binda fosfor och fällningen med fosfor avskiljs med sedimentering. För att ta hand om organiskt material används biologisk rening där mikroorganismer bryter ner det organiska materialet. I alla steg bildas slam där merparten av de ämnen som renas bort anrikas (Naturvårdsverket, 2010).

Slammet behandlas för att minska volym, stabiliseras för att undvika luktproblem och göra det hanterbart för dess ändamål. På svenska reningsverk är den vanligaste behandlingstekniken att minska volymen med gravitationsförtjockare eller mekanisk

förtjockare och därefter stabilisera genom rötning. Slammet avvattnas sedan vanligtvis med centrifuger som ger en TS-halt på cirka 25 % (Svenskt Vatten, 2013). Slamproduktionen uppgick till 204 256 ton TS år 2016 och de största användningsområdena för slam var åkermark 34 %, anläggningsjord 28 % samt slutträckning av deponier 22 %. Andra användningsområden var förbränning, deponering och lagring (SCB, 2018a).

I slammet binds en del växtnäringsämnen från avloppsvattnet och för att bidra till ett mer hållbart resursutnyttjande är det önskvärt att återföra dessa till åkermark (Naturvårdsverket, 2010). Näringsen i slam från svenska reningsverk uppgick år 2016 till 26 857 mg fosfor och 45 330 mg kväve per kg TS (SCB, 2018a).

Revaq är ett certifieringssystem med syfte att kvalitetssäkra slam användning på jordbruksmark. Det långsiktiga målet är att icke-essentiella ämnen inte ska öka i marken. En certifiering innebär att reningsverket har ett strukturerat arbetssätt vad gäller organisation och dokumentation, bedriver ett aktivt och systematiskt uppströmsarbete, krav på slamkvalitet samt att oönskade ämnen i slammet har en spårbarhet. Uppströmsarbetet innefattar bland annat provtagning av inkommande vatten, kontroll av kemikalieanvändning hos verksamheter och en förteckning över möjliga källor till oönskade ämnen (Svenskt Vatten, 2018).

Det avloppsvatten som når reningsverken har olika ursprung och sammansättning. En del är spillvatten från hushåll och anslutna verksamheter, andra källor är dagvatten som kan nå reningsverken både då systemen är planerat gemensamma men även via felkopplingar. Tillskottsvatten i avloppssystemen är ett problem på många håll då det vid höga flöden kan leda till bräddning och oönskade utsläpp, sämre reningsgrad samt högre kostnader. Till tillskottsvatten räknas vatten som kommer in i systemet via trasiga och otäta ledningar och felkopplingar. Det kan alltså vara grundvatten, avrinningsvatten och dagvatten. Hur mycket som läcker in beror på många parametrar, bland annat grundvattennivå, markegenskaper, systemets konstruktion, material och ålder. Under de regnriska åren 2011-2012 beräknades cirka hälften av avloppsvattnet som nådde 12 reningsverk i Sverige härstamma från tillskottsvatten. Efter nederbörd syntes att andelen tillskottsvatten kunde vara upp till åtta gånger andelen spillvatten. Klimatförändringar kan leda till att problem med tillskottsvatten ökar som en följd av ökade regnmängder och intensitet (Hey, Jönsson & Mattson, 2016).

## **2.1 FÖRORENINGAR**

Förutom näringsämnen i avloppsvattnet som är önskvärda att kunna återanvända, innehåller även avloppsvattnet föroreningar. Typen av föroreningar speglar användningen av olika ämnen i samhället och ett exempel är användningen av flamskyddsmedel i plast och textilier. När lågbromerade difenyletrar, PBDE, succesivt ersattes av högbromerade PBDE, då dessa ansågs mindre skadliga, syntes effekter av detta i reningsverkens slam. Halterna av högbromerade PBDE ökade samtidigt som lågbromerade PBDE minskade. Men då det upptäcktes att högbromerade PBDE omvandlades till lågbromerade PBDE i miljön så minskade användningen även av högbromerade PBDE och från 2010 syns en minskning även i slammet av högbromerade PBDE. För ett fosforbaserat flamskyddsmedel, tris(1-klor-2-propyl) fosfat, TCPP, som är en vanlig ersättningsprodukt för PBDE, har halterna i slam ökat cirka fem gånger under

perioden 2004-2014 (Naturvårdsverket, 2018a). Andra föroreningar som kan ses i spillvatten från hushåll och verksamheter är till exempel tungmetaller, ftalater, högfluorerade ämnen, bisfenoler, läkemedel och mikroplast. Eftersom de flesta reningsverk inte har någon avancerad rening för miljögifter sprids flera av de svårnedbrytbara ämnena, till exempel vissa högfluorerade ämnen och läkemedelssubstanser, vidare ut i miljön med utgående vatten (Naturvårdsverket, 2018a).

### 2.1.1 Metaller

Metaller finns naturligt i jord, vatten och berggrund och vissa av dem är i små mängder livsviktiga för växter och djur. Mänsklig aktivitet har bidragit till en ökad halt av metaller i miljön och eftersom de inte bryts ned så blir de kvar och sprids i mark och vatten (Naturvårdsverket, 2018b).

I Stockholm undersöktes källor till tungmetaller i avloppsvattnet som inkommer till Henriksdalsverket utifrån beräkningar av metallinnehåll i avloppsvatten från olika källor grupperat i hushåll, industrier samt tillskottsvatten. Tillskottsvattnets metallhalt uppskattades med medianvärdet på grundvattnets metallhalt i området. De beräknade mängderna metaller jämfördes sedan med de faktiska mängderna som inkom till reningsverket. Studien fann att koppar och zink kunde spåras till 110 respektive 100 % samt nickel och kvicksilver till 70 %. Däremot var källorna till kadmium (60 % kunde spåras), bly (50 %) och framförallt krom (20 %) svårare att identifiera. Hushållen står för merparten av koppar- och kvicksilverinflödet till reningsverket (59 respektive 44-47 %). Den största bidragande källan för koppar i hushållsflödet var korrosion av kopparledningar. Flödet av zink och nickel fördelar sig rätt lika mellan hushåll och industrier. Tillskottsvattnet stod för en mindre del av metallinflödet, 2-10% (Sörme & Lagerkvist, 2002).

I SFS 1998:944 20 § regleras hur höga halter av tungmetaller som är tillåtna i avloppsslam för att använda slammet för jordbruksändamål (SFS 1998:944). Tabell 1 visar dessa gränsvärden.

Tabell 1. Gränsvärden för tungmetaller i slam för slamanvändning i jordbruk (SFS 1998:944).

<b>Metall</b>	<b>mg/kg TS</b>
Bly	100
Kadmium	2
Koppar	600
Krom	100
Kvicksilver	2,5
Nickel	50
Zink	800

## Bly, Pb

Bly har använts för många ändamål under historien, bland annat till legeringar, lödningar (t.ex. för konservburkar), vattenledningssystem, kokkärl, mynt och färgpigment. Den numera i Sverige utfasade användningen av bly i bensin var en betydande källa till bly i miljön. Idag finns bly i bilbatterier, plast, färgpigment, ammunition samt används till vissa legeringar och till lödning i elektronik. Den största exponeringen för människa är via livsmedel och dryck trots låga halter i dessa produkter. För höga halter bly är framför allt skadligt för foster, med bland annat skador på nervsystemet men kan även leda till högt blodtryck och kronisk njursjukdom hos vuxna (Karolinska Institutet, 2017a).

## Kadmium, Cd

Kadmium är en av de giftigaste tungmetallerna och användningen har minskat under de senaste decennierna till följd av förbud och utfasning. Källor till kadmium i miljön är gruv- och metallindustrin, mineralgödsel samt förbränning. Via deponering, mineralgödsel och avloppsslam kan kadmium tillföras åkermarker där växternas rötter tar upp metallen. Födan är också den huvudsakliga exponeringskällan hos icke-rökare. Kadmium ansamlas i njurarna där förmågan att rena blodet kan påverkas. Det finns indikationer på att risken för benskörhet och vissa cancerformer kan påverkas av höga halter kadmium (Karolinska Institutet, 2017b).

## Koppar, Cu

Koppar är ett essentiellt grundämne för människan och finns i alla livsmedel. Det är också vanligt i dricksvatten då vattenledningar i hushållen oftast består av kopparrör, vilket leder till att hushållen via kopparrör och dricksvatten är en stor källa till koppar i spillvatten. För högt kopparintag kan leda till leverskador (Livsmedelsverket, 2018).

## Krom, Cr

Krom används inom industrin i stor utsträckning, bland annat som en komponent i rostfritt stål för att öka korrosionsbeständigheten och som ytbehandling för andra metaller. Utöver detta återfinns krom även i pigment och färger samt inom lädertillverkning som garvningsmedel. Stora utsläpp till vatten återfinns vid reningsverk och pappermassafabriker. Vissa utsläpp till luft sker också vid metallindustrier, sopförbränningsanläggningar och pappersmassafabriker. Då krom finns naturligt i mark och berggrund sprids även krom genom vittring och avrinning. Krom är ett essentiellt mikronäringsämne, men höga halter kan vara toxiska då det kan ge upphov till mutationer och reproduktionsstörningar (Naturvårdsverket, 2017a).

## Zink, Zn

Zink används som korrosionskydd, galvanisering står för hälften av all zinkförbrukning. Det används även som råvara i metallindustrin för till exempel mässingtillverkning. Den största källan till utsläpp till luft i Sverige står förbränning av biomassa för. Även däckslitage bidrar till utsläpp i stor grad och diffusa utsläpp till vatten kommer till stor del från transportsektorn. Annars är det pappersmassafabriker och reningsverk som står

för en stor del av utsläppen till vatten. Zink finns naturligt i mark och berggrund i olika material och i olika halt. Zink är ett essentiellt näringsämne och ingår i flera enzymer. Zink är toxiskt i höga halter och kan vara skadligt för vattenlevande organismer där beteende- och reproduktionsstörningar kan ses vid höga halter zink (Naturvårdsverket, 2017b).

#### Kvicksilver, Hg

Användningen av kvicksilver har minskat stort till följd av beslut om utfasning och förbud. Förbränning av kol, smältverk, krematorier, småskalig guldutvinning och avfallsförbränning är källor till kvicksilverutsläpp i luften och miljön. Kvicksilverånga oxideras i luften och följer i jonform ( $\text{Hg}^{2+}$ ) med nederbörd ner till marken ofta långt från utsläppspunkten, kvicksilverutsläpp är således ett globalt problem. Oorganiskt kvicksilver omvandlas sedermera till metylkvicksilver som ansamlas i fisk. Fisk är också en stor källa till metylkvicksilver för människor. Metylkvicksilver kan skada utvecklingen av det centrala nervsystemet hos foster. Hos vuxna kan en hög exponering av metylkvicksilver leda till ökad risk för hjärtsjukdom (Karolinska Institutet, 2017c).

#### 2.1.2 Läkemedelsrester

Läkemedel framställs för att åstadkomma en biologisk effekt vid användandet och ska därmed vara persistenta för att kunna förvaras, transporteras och vid oralt intag stå emot magsyra. De läkemedelsrester som når reningsverken har i de flesta fall passerat kroppen och utsöndrats med urinen i olika former. De vattenlösliga substanserna avlägsnas i oförändrad form med urinen medan de lipofila substanserna omvandlas med hjälp av enzymer till vattenlösliga metaboliter som därefter utsöndras. Metaboliter kan bildas på flera sätt, till exempel konjugering vilket innebär att en kroppsegen molekyl kopplas till läkemedelssubstansen och därmed gör den mer löslig. Metaboliterna kan vara mer aktiv än den ursprungliga substansen, ibland önskvärd biologisk aktivitet men ibland även ökad toxisk effekt. Men vanligtvis minskar den biologiska aktiviteten hos metaboliten jämfört med ursprungssubstansen. I reningsverken kan metaboliter i vissa fall återbildas till den ursprungliga substansen vilket kan förklara att vissa substanser ökar i halt på vägen genom reningsverket (Naturvårdsverket, 2008).

På dagens reningsverk som inte har implementerat särskild läkemedelsrening kan läkemedelssubstanser ändå reduceras med tre olika mekanismer; avdrivning till luft, bindning till slam samt nedbrytning i det biologiska steget. Att studera substansernas kemiska egenskaper är ett sätt att uppskatta hur ämnena beter sig i reningsverket. Avdrivning till luft är i stort sett försumbar då substanserna oftast är svårflyktiga. Reduktion genom adsorption till partiklar i primärslam och överskottsslam påverkas bland annat av vattnets pH samt substansens fettlöslighet och laddning. Det är substanser med hög fettlöslighet som i huvudsak binds till slammet, både primär och överskottsslam. Positivt laddade substanser tenderar att binda mer till det negativt laddade överskottsslammet. Exempelvis binds diklofenak i högre grad i primärslam medan ciprofloxacin och norfloxacin binds i högre grad i överskottsslammet. Skillnad mellan substansers adsorptionspotential kan ses där till exempel diklofenak har hög potential att bindas till slam medan till exempel paracetamol har låg potential (Naturvårdsverket, 2008).

Det tredje sättet att reducera läkemedelssubstanser i ett reningsverk utan särskild läkemedelsrening är att substanser bryts ner. I biosteget kan de substanser som är relativt lättnedbrytbara reduceras om slamåldern är tillräckligt hög. En slamålder mellan tre och 15 dygn är optimal, under tre dygn är nedbrytningen mycket låg men för en slamålder på mer än 15 dygn är vinsten i ökad nedbrytning inte så stor. Det finns substanser som inte bryts ner oavsett slamålder, en sådan är karbamazepin. Andra substanser kräver väldigt hög slamålder för att kunna reduceras, till exempel diklofenak. Ibuprofen, som är relativt lättnedbrytbart, kräver mer än 2,6 dygn, men bryts ner om slamålder är runt fyra dygn. Vid rötning av slam kan viss nedbrytning ske, dock skiljer sig resultaten från olika undersökningar så det är svårt att avgöra betydelsen av rötning för reduktion av läkemedelssubstanser (Naturvårdsverket, 2008).

De största källorna till läkemedel i spillvatten är hushåll och sjukhus. I sjukhusens avlopp är substanserna mer koncentrerade till följd av mer intensiv lokal användning och skulle göra en lokal rening befogad då en högre halt leder till en högre nedbrytningsgrad. Hushållen står dock för den största andelen av användningen av läkemedel vilket gör lokal rening på sjukhus inte nödvändigtvis leder till någon markant minskning av läkemedelsinnehållet i spillvattnet som når reningsverket. Potentiellt kan också lakvatten från deponier vara en källa till läkemedelsrester då kasserade läkemedel i avfall och hushållssopor som tidigare deponerats kan nå reningsverken via lakvattnet. Denna källa bedöms dock liten i förhållande till hushållen (Naturvårdsverket, 2008).

De halter som återfinns i utgående vatten från reningsverken varierar stort mellan reningsverken (Naturvårdsverket, 2008). I Tabell 2 visas halter för nio substanser i inkommande och utgående vatten, slam och recipient vid reningsverk i Sverige.

Tabell 2. Halter i inkommande och utgående avloppsvatten, slam samt recipient vid reningsverk i Sverige (Naturvårdsverket, 2008). Kolumn Spridning visar spridningen i halt i utgående vatten. Kolumnen Frekvens visar antal datapunkter över detektionsgränsen i relation till det totala antal datapunkter för respektive substans.

<b>Substans</b>	<b>Halt in</b> ng/l	<b>Halt ut</b> ng/l	<b>Spridning</b> Halt ut, ng/l	<b>Slam</b> µg/kg TS	<b>Recipient</b> ng/l	<b>Frekvens</b> #ö.d.t./#n
Atenolol	3500	3200	690-16000	43	9	16/16
Diklofenak	320	240	27-700	37	3,4	78/84
Etinylöstradiol	20	3		160	<0,2	
Ibuprofen	6600	1200	3,2-7800	85	6	66/85
Karbamazepin	530	660	300-1400		10	15/15
Ketoprofen	2000	890	20-2900	74	6	81/85
Metoprolol	1000	1300	260-8500	51	13	31/31
Naproxen	5300	1500	67-15000	51	3	80/84
Paracetamol	100000	110	37-190	<50	<3	10/16

Källor, hushåll och sjukhus, till läkemedelssubstanser samt läkemedelsrening på ett befintligt kommunalt reningsverk i Kristiansstad studerades 2008. Reningsverket innefattade trestegsrening med kväverening och uppskattades ha en hydraulisk retentionstid på 35 timmar. Resultatet visade att reningsverket klarade att rena de flesta studerade substanser med undantag av diklofenak som visade på en ökad halt från

inkommande till utgående avloppsvatten i reningsverket. Tabell 3 visar ett urval substanser från resultatet i denna studie (Zorita, 2008).

Tabell 3. Halter i spillvatten från hushåll och sjukhus i Kristianstad samt halter i inkommande och utgående vatten på Kristianstads reningsverk (Zorita, 2008).

Substans ng/l	Hushåll	Sjukhus	ARV in	ARV ut
Diklofenak	700±120	380±10	230±9	490±55
Etinylöstradiol	-	-	-	-
Östradiol	26,5±6	17±5	3,2±4.1	-
Östron	32±6	150±16	14,5±4.5	3±3,4
Ibuprofen	14300±130	8800±100	6900±900	47,5±3,5
Naproxen	20200±210	9300±100	4900±480	290±10

Främby ARV ingick i en studie som undersökte behovet av läkemedelsrening utifrån recipienters känslighet. I studien som behandlar data från 2009-2014 ingick 15 reningsverk i Sverige av olika storlek och reningsssystem. Tabell 4 visar de värden som uppmättes på Främby samt de värden som uppmättes i Borlänge. Rapporten konstaterade också att strömningsförhållandena i Främbyviken var för komplicerade att beräkna varför recipientens känslighet inte kunde utvärderas (Sweco, 2016).

Tabell 4. Uppmätta halter läkemedelssubstanser på Främby och i Borlänge 2009-2014 (Sweco, 2016).

Substans ng/l	Främby n=1	Borlänge median (n=1-6)	Borlänge max
Diklofenak	230	250 (6)	1030
Ibuprofen	450	82 (6)	1620
Karbamazepin	430	390 (1)	390
Ketoprofen	52	210 (5)	720
Naproxen	58	190 (6)	2300

Gränsvärden för utsläpp i recipient finns i dagsläget inte för flertalet läkemedel. I *Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter om klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvatten*, HVMFS 2013:19, finns riktlinjer för särskilt förorenande ämnen och dit räknas tre läkemedelssubstanser, diklofenak, 17-alfa-etinylöstradiol samt 17-beta-östradiol, för bedömning av status i inlandsytvatten respektive kustvatten och vatten i övergångszon. Dessa ämnen finns på en gemensam bevakningslista för läkemedel inom EU. Schweiziska Ecotox Centre, som grundades 2008 av schweiziska federala rådet och parlamentet, har föreslagit miljö kvalitetsnormer för bland annat läkemedel i vattenförekomster (Sweco, 2016). Riktlinjerna i HVMFS 2013:19 visas i Tabell A2 i Bilaga A.

### 2.1.3 Organiska föroreningar

#### Nonylfenol

Nonylfenol är en alkylfenol som består av en alkylkedja med nio kolatomer bundna till en fenol. Nonylfenol fungerar som katalysator vid härdning av epoxyhartser men produceras i huvudsak för tillverkning av nonylfenoletoxilat (Kemikalieinspektionen, 2016a). Nonylfenoletoxilat används till bindemedelsemulsioner till färg och tidigare även i stor utsträckning till rengöringsmedel (Kemikalieinspektionen, 2012). Vid nedbrytning av nonylfenoletoxilat bildas nonylfenol som är svårnedbrytbart och bioackumuleras i miljön. Nonylfenol, som med sin stora alkylkedja är en av de giftigare alkylfenolerna, är klassificerat som mycket giftigt för vattenlevande organismer och kan resultera i långtidseffekter i miljön (Kemikalieinspektionen, 2016a).

#### Alifater

Alifatiska kolväten sprids främst genom användning av petroleumprodukter så som bensin, diesel och olja men finns i många andra produkter också. Spridning och miljöpåverkan beror bland annat på kolkedjans längd. Alifater med längre kedjor är mer tjockflytande och har mer lokal påverkan men kan även spridas längre och förorena vattendrag. Alifater med kortare kedjor är mer benägna att spridas då de är mer vattenlösliga och flyktigare och kan förorena vatten långt från källan (Åtgärdsportalen, 2018a).

#### Aromater

Även aromatiska kolväten är vanliga i många produkter men sprids i huvudsak genom användning av lösningsmedel och petroleumprodukter. De mindre aromaterna sprids lättare då de är flyktigare och mer vattenlösliga än de större aromaterna. De viktigaste mindre aromaterna är bensen, toluen, etylbensen och xylener. Aromatiska kolväten är betydligt mera toxiska än alifatiska kolväten (Åtgärdsportalen, 2018b).

#### Ftalater

Ftalater är mest kända som mjukgörare i plaster och gummiprodukter där produkten kan innehålla upp till 40 % ftalat. Ftalater kan hittas i allt från skosulor, plastslang, tapeter, golv, lim och färg. Vid slitage av produkter sprids ftalater i miljön och återfinns i stort sett överallt. De tre farligaste ftalaterna är di(etylhexyl)ftalat (DEHP), dibutylftalat (DBP) och bensylbutylftalat (BBP). Dessa är klassificerade som giftiga och reproduktionsstörande, DBP är också klassificerad som miljöfarlig och mycket giftig för vattenlevande organismer. Alla tre är förbjudna i leksaker och barnvårdsprodukter (Kemikalieinspektionen, 2016b) och DEHP finns med som prioriterat ämne i EU:s direktiv 2000/60/EG (2014). Då många ftalater är på väg att utfasas dyker andra produkter upp på marknaden för att ersätta ftalater som mjukgörare, till exempel 2-(etylhexyl)adipat (DEHA), vilken i likhet med DEHP har långa kolkedjor och blandas väl med plast (Naturvårdsverket, 2018a).

#### Triklorbensener

Triklorbensener är flyktiga organiska ämnen som förekommer i flera isomerer varav 1,2,4-triklorbensen räknas som prioriterat ämne inom vattenpolitiken enligt EU:s direktiv 2000/60/EG (2014). Ämnena används mestadels som lösningsmedel för vaxer, hartser och gummi. Spridning i miljön sker både via luft och vatten, och några stora punktkällor



är kemiindustri, avfallshantering och avloppsreningsverk. Triklorbensen är mycket giftigt för vattenlevande organismer och kan orsaka långtidseffekter i miljön (Naturvårdsverket, 2018c).

#### PAH

Polycykliska aromatiska kolväten (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAH) är en stor grupp ämnen som består av sammanbundna bensenringar av varierande antal. Den främsta källan är förbränningsprocesser av kolväten, då PAH bildas. Stenkolstjära, kreosot och beck som används till impregnering är en annan viktig källa till PAH. Även om kreosotimpregnering numer är förbjuden så innebär den omfattande användningen att stora mängder PAH är i omlopp i miljön. Alla PAH är giftiga för levande organismer. Många, främst de som består av 4-6-ringar, är också starkt cancerframkallande. PAH är dessutom reaktiva och bryts också ner i naturen. På så vis bildas andra ämnen som kan vara mer spridningsbenägna och ha andra effekter på miljön (Åtgärdsportalen, 2018c).

#### Naftalen

Naftalen förekommer i färgämnen, plaster, lösningsmedel och insektsmedel. Ämnet kan också spridas i miljön genom ofullständig förbränning. Naftalen kan tas upp i människan genom huden, blodet samt genom förtäring och kan orsaka lever- och njurskador och ämnet kan också vara cancerframkallande. I miljön kan naftalen orsaka skadliga effekter på vattenmiljön under lång tid då ämnet är mycket giftigt för vattenlevande organismer (Naturvårdsverket, 2009). Naftalen räknas också till de prioriterade ämnena enligt direktiv 2000/60/EG (2014).

## 2.2 KÄLLSPÅRNING MED VERKTYGET SOFI

SoFi utvecklades 2010 som ett verktyg i Excel för att spåra källor till fem tungmetaller i avloppssystemet (Agduhr Eronen, 2010). Verktöget beskrivs mer i avsnitt 3.1.1. I samband med detta användes verktöget på två kommuner i Stockholms län, Solna och Sigtuna. Studien (Agduhr Eronen, 2010) kom fram till att hushållen stod för största delen av tungmetaller i avloppsvattnet från de två kommunerna. I Solna uppskattades hushållen stå för 55-98% och i Sigtuna för 44-78%. I Sigtuna bidrog även flygplatsen och för båda kommunerna syntes även tillskottsvatten i systemet i viss mån bidra till tungmetaller. För kvicksilver var även tandvård en betydande källa. Verktögets beräknade mängder stämde i båda kommunerna ganska bra överens med de uppskattade mängderna inkommande tungmetaller till reningsverket men verktöget underskattade mängden krom, kvicksilver och zink jämfört med de uppskattade mängderna vilket tolkades som att det fanns källor till dessa tungmetaller som inte identifierats (Agduhr Eronen, 2010).

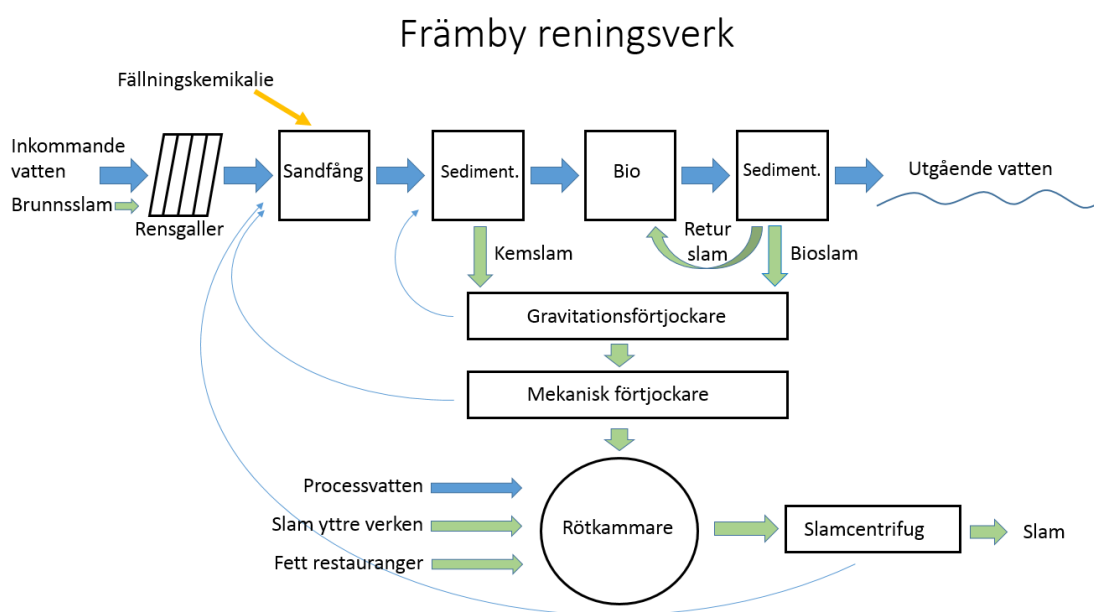
I Uppsala undersöktes källor till tungmetaller i avloppssystemet med hjälp av SoFi och denna studie (Isaksson, 2012) kom fram till att hushållen stod för mellan 70 och 88 % av tungmetallinnehållet i avloppsvattnet. Dock överskattades mängden zink med 130 % och övriga metaller underskattades med mellan 20-55 %. Detta ansågs bero på att schablonvärden användes för många verksamheter och att data för en del verksamheter saknades (Isaksson, 2012).

## 2.3 OMRÅDESBESKRIVNING

I detta stycke beskrivs Främby avloppsreningsverk samt Falu gruva och dess påverkan på området.

### 2.3.1 Främby reningsverk

Falu kommun har 58 340 invånare (SCB, 2018b) och varav drygt 40 000 är anslutna till Främby reningsverk som renar avloppsvattnet för Falu tätort samt de mindre orterna Danholn, Blixbo, Toftbyn och Sundborn (FEV, 2018). Verket renar cirka 5 miljoner m<sup>3</sup> per år, cirka 13 500 m<sup>3</sup> per dygn, (Jensen, 2018) i tre steg, mekanisk, kemisk och biologisk rening. Den mekaniska reningen tar bort partiklar från avloppsvattnet genom gallerrens och sandfång. I den kemiska reningen tillsätts fällningskemikalie för att binda fosfor och fällningen med fosfor avskiljs med sedimentering. Därefter följer den biologiska reningen, en aktivslamprocess, där mikroorganismer bryter ner det organiska materialet och bioslammet avskiljs med sedimentering. En del av bioslammet går i retur och resten går tillsammans med kemslammet till en mekanisk förtjockare. Slammet förs sedan via ett lager till en rötkammare där rötning sker ihop med slam från sju mindre reningsverk, nedan benämnda yttre verken, (Boda, Enviken, Grycksbo, Linghed, Bjursås, Vika och Sågmyra), processvatten från två hygienprodukttillverkare, samt fett från fettavskiljare från restauranger i Falun. På Främby produceras cirka 3 500 ton slam per år som idag komposteras och används som anläggningsjord till vegetationsskiktet vid sluttäckningen av deponin. Det renade vattnet släpps från eftersedimenteringen ut i Främbyviken i sjön Runn. Figur 1 visar en schematisk bild över reningsstegen på Främby.



Figur 1. Främby reningsverk har mekanisk, kemisk och biologisk rening av kommunalt avloppsvatten samt slam från enskilda avlopp. Det renade vattnet släpps ut i Främbyviken i sjön Runn. Till rötningen av slammet tillkommer processvatten från hygienprodukttillverkare, slam från yttre verken samt fett från restauranger i Falun.

Slammet som erhålls efter rötningen innehåller metaller och vissa metallhalter överstiger gränsvärdena för användning på jordbruksmark. 2017 översteg zink och kadmium gränsvärdena och kopparhalten var precis under gränsvärdet. 2016 översteg även koppar

gränsvärdet. *Tabell 5* visar halter i slam 2017 från Främby ARV och som jämförelse visas även halter i slammet från yttre verken samma år och gränsvärden från Förordning 1998:944.

Tabell 5. Metallhalter i slam från Främby ARV och yttre verken 2017 samt gränsvärden för användning i jordbruk enligt Förordning 1998:944.

Metall [mg/kg TS]	Främby	Yttre verken	Gränsvärden
<b>Pb</b>	24	15	100
<b>Cd</b>	3,6	1	2
<b>Cu</b>	590	183	600
<b>Cr</b>	19	17	100
<b>Hg</b>	0,5	0,4	2,5
<b>Ni</b>	13	11	50
<b>Zn</b>	3050	479	800

Metallhalter i inkommande avloppsvatten på Främby analyseras vanligtvis inte. Under 2011-2014 togs dock extra veckoprov av zink i inkommande vatten både på Främby och på de stora pumpstationerna Teaterparken (gruvsidan) och Slussen, då höga zinkhalter är ett känt problem i området. Resultatet visade på dubbelt så höga halter zink vid Teaterparken som vid Slussen.

### 2.3.2 Falu koppargruva

Falun har en mer än tusenårig historia av gruvdrift och var under 1600-talet världens största kopparproducent. Fram till nedläggningen 1992 hade 400 000 ton koppar, 500 000 ton zink och 160 000 ton bly utvunnits ur 30 miljoner ton bruten malm. Utvinningen har under åren resulterat i stora mängder restprodukter med olika karaktär beroende på anrikningsmetoder. Det äldre gruvavfallet innehåller mer koppar och det nyare avfallet är mer zinkrikt. Fram till 1900-talet sorterades malmen manuellt och restprodukten varp deponerades vid gruvan. Malmen bereddes sedan vid hyttor där slagg bildades som restprodukt. Slagg har använts som fyllnadsmaterial under stora delar av Falun, framförallt väster om Faluån. Under 1900-talet har malmen anrikats genom krossning, malning och vätseparation. I denna process bildades en anrikningssand som restprodukt och den deponerades i högar söder och norr om gruvan. Svavelsyratillverkningen, genom rostning av pyrit under 18- och 1900-talen ledde till deponering av restprodukten kisaska. Restprodukterna, mer än 7 miljoner m<sup>3</sup>, återfinns deponerade nära gruvan och längs vattendragen samt som fyllnadsmaterial under stora delar av centrala Falun. Det uppskattas att en halv till en miljon ton tungmetaller har spridits till omgivande mark och vatten till följd av gruvdriften (Hanæus & Ledin, 2010).

Mätningar av metallhalter i ytvatten och grundvatten runtom Falun visar på stark lokal påverkan. I Tabell 6 visas uppmätta halter i Faluån och sjön Runn jämfört med normalhalt i ytvatten i norra Sverige. Tabell 7 visar uppmätta halter i små vattendrag runt gruvan och gruvavfall. Metallhalter i grundvatten som kan ses i Tabell 8 visar på kraftigt varierande metallhalter (Hanæus & Ledin, 2005).

Tabell 6. Metallhalter i µg/l i vatten uppströms och nedströms Falun år 2002 jämfört med halter i lokalt opåverkade sjöar och vattendrag i norra Sverige (Hanæus & Ledin, 2005).

<b>Vatten</b>	<b>Zink</b>	<b>Kadmium</b>	<b>Koppar</b>
Faluån uppströms Falun (Varpan)	11	0,014	7,3
Faluån nedströms Falun (Slussen)	710	0,81	35
Runns ytvatten (centrala sjön)	91	0,1	8,5
Normalhalt i sjöar och vattendrag	1-3	0,003-0,009	0,3-0,9

Tabell 7. Metallhalter i µg/l i diken och bäckar i närheten av gruvan och gruvavfall. Gruvdiket och Ingarvsdiket bildar Gruvbäcken som mynnar i Faluån. Syrabäcken har sitt utlopp i sjön Tisken, nedströms Faluån, uppströms slussen (Hanæus & Ledin, 2005).

<b>Vatten</b>	<b>Zink</b>	<b>Kadmium</b>	<b>Koppar</b>
Gruvdiket	530000	1100	60000
Ingarvsdiket	5300	3,8	110
Gruvbäcken	9500	12	530
Syrabäcken	19000	20	1200

Tabell 8. Metallhalter i µg/l i grundvatten i Falun. För centrum, Hosjö och Korsgården visas medelvärden av tre respektive två mätningar i olika brunnar under 2005-2011 (personlig kommunikation, Länsstyrelsen Dalarna, 2018). För Gruvavfall är det ett medelvärde av mätningar i brunnar från tre gruvavfallsplatser 2004, Galgberget, Ingarvsmagasinet och Kisbränderna. För Gruvområdet är det ett medelvärde av mätningar från 2003 i området närmast gruvan (Hanæus & Ledin, 2005).

<b>Område</b>	<b>Zink</b>	<b>Kadmium</b>	<b>Koppar</b>
Centrum	440	0,24	14
Hosjö	29	0,01	8,5
Korsgården	167	0,19	39
Gruvavfall	103000	130	2167
Gruvområdet	332000	501	63000

Hanæus & Ledin (2005) påvisade att det finns en korrelation mellan zink och kadmium vilket indikerar att de härrör från samma gruvavfallsobjekt. Järn ansågs däremot utifrån korrelationsberäkningarna komma från en annan källa medan koppar delvis har samma ursprung som zink och kadmium.

Det industrihistoriska landskapet kring Falu koppargruva, dit inte bara gruvan räknas utan även många bevarade miljöer runtom, är sedan 2001 Världsarv. Detta medför att åtgärder för att minska metalläckage från gruvavfall inte får påverka de kulturhistoriska värdena negativt, så täckning eller bortförel av gruvavfallet för att minska läckage är inte möjligt (Hanæus & Ledin, 2010).

### 3 MATERIAL OCH METODER

För att uppnå syftet användes följande metoder:

- Modellering med verktyget Source Finder, SoFi för att spåra i vilken grad olika verksamheter kan uppskattas bidra till metaller i avloppsvattnet.
- Analys av reningsverkets inkommande och utgående avloppsvatten för att undersöka kvaliteten på vatten.
- Provtagning med fem passiva provtagare i avloppssystemet för att undersöka och jämföra kvaliteten i vattnet från olika områden i Falun.

#### 3.1 SPÅRNING AV KÄLLOR TILL TUNGMETALLER MED SOFI

För att spåra möjliga källor till tungmetaller och i vilken grad olika verksamheter kan uppskattas bidra till metallutsläpp i avloppssystemet användes verktyget Source Finder, SoFi.

##### 3.1.1 Verktöget SoFi

SoFi är ett verktyg i programmet Excel som utvecklats för att analysera flöden av metaller i avloppssystem. De metaller som kan analyseras är kadmium, koppar, krom, kvicksilver och zink. Modellen beräknar metallflöden under ett år för ett användardefinierat område, till exempel ett upptagningsområde, en kommun eller ett mindre område i kommunen. Data från upptagningsområdet som matas in i programmet inkluderar bland annat antal anslutna personer, utsläpp från olika verksamheter (uppmätta eller schablonvärden) samt vatten från marken som läcker in i systemet (Urban Water, 2010). Uppbyggnaden i Excel baseras på sju kalkylblad: Intro, INPUT, INPUT-Övrigt, Databas, Resultat, Åtgärd och Referenser. I fliken Intro beskrivs verktygets flikssystem och arbetsgång samt avgränsningar. Bland avgränsningar nämns att lagring i systemets sediment inte tas med i beräkningarna. Under INPUT matar användaren in data om området. Data indelas i fyra huvudkällor för metaller; hushåll, verksamheter, dagvatten samt tillskottsvatten. För hushåll anges hur många personer som är anslutna till det studerade området. Under verksamheter anges antal fordonstvättar, tågtvättar, bilverkstäder, tandvårdsenheter. Vidare anges vattenmängd från ytbehandlare och förbränningsanläggning samt mängd industritvätt och utsläpp från konstnärsverksamheter. Här kan väljas att skriva in specifika värden då sådana finns för utsläpp av metaller eller använda schablonvärden. Om dagvatten är anslutet anges area hårdgjord yta, väg, koppar- och zinktak samt dubbdäcksanvändande och trafikarbete. Mängd tillskottsvatten som läcker in i systemet matas också in. En resultatkontroll finns också där verktygets beräkningar kan jämföras med uppmätta värden från området. Under fliken INPUT-Övrigt anges metallutsläpp från A- och B- verksamheter in, till exempel flygplats, sjukhus, deponier och färgindustrier. Under Databasfliken presenteras de värden som används för schablonberäkningar. Här kan vissa val göras, bland annat på kopparemissioner från hushåll och metallhalter i tillskottsvattnet. Beräkningarna redovisas under fliken Resultat där fördelningen av olika källors bidrag till metaller i avloppsvattnet visas i diagram och tabeller. Under Åtgärd finns möjlighet för användaren att undersöka effekten av olika åtgärder i upptagningsområdet för att minska metallinflödet till reningsverket. Sista fliken listar de referenser som ligger till grund för schablonvärdena i SoFi.

### 3.1.2 Inhämtning och beräkning av data

Områdesspecifika data inhämtades på olika sätt och en verksamhetsförteckning över upptagningsområdet som utfördes 2017 på FEV fanns tillgänglig som utgångspunkt. Uppgifter om antal anslutna personer samt mängd tillskottsvatten i avloppssystemet erhöles från Främbyverkets miljörapport 2017 (FEV, 2018a). Som tillskottsvatten räknades allt tillkommande vatten som inte kunde härledas till hushållens och verksamhetens vattenförbrukning, lakvatten från deponin eller kondensvatten från förbränningsanläggningen. För 2017 var mängden tillskottsvatten 1 930 613 m<sup>3</sup>, vilket motsvarar cirka 40 % av inkommande avloppsvattenflöde det året.

En lista över fordonstvättar samt deras klassning erhöles från miljökontoret i Falun. Därifrån inhämtades också uppgifter om antal tvättade fordon på tre fordonstvättar och specifika utsläpp från två fordonstvättar. Övriga fordonstvättar kontaktades via mail och uppgifter om antal tvättade fordon erhöles från ytterligare två fordonstvättar. Resterande antal tvättar uppskattades utifrån klassning av verksamheten. De fordonstvättar som tvättade mindre än 5000 fordon om året, klass U, uppskattades tvätta 2500 fordon. De som tvättade fler än 5000 fordon om året, klass C, uppskattades med en beräkning av medelvärdet från de fordonstvättar vars antal var känt.

Uppgift om antal bilverkstäder hämtades från verksamhetsförteckningen. Ett antagande gjordes om att alla verkstäder våttorkar sina golv.

Information om antal tandvårdsstolar på landstingssidan erhöles från Landstinget Dalarna. De privata tandläkarmottagningarna kontaktades via mail och information erhöles från fyra mottagningar. Resterande tandvårdsstolar uppskattades utifrån antal tandläkare i verksamhetsförteckningen.

Ytbehandlare fanns listade i verksamhetsförteckningen och uppgifter om vattenförbrukning för dessa erhöles genom FEV (Jensen, 2018). Information om utsläpp och vattenmängd från förbränningsanläggningen erhöles från anläggningens miljörapport (FEV, 2018b). Det är kondensvatten från förbränningen som släpps till avloppsledningsnätet. Information om utsläpp från avfallsanläggningen erhöles från anläggningens egenkontrollprogram (FEV, 2018c). Uppgift om mängd industritvätt per år inhämtades från tvätteriverksamheter via telefon.

Kadmium från konstnärsverksamhet uppskattades utifrån värden i andra studier, där andelen kadmium från konstnärsverksamhet uppskattats till 7 % (Agduhr Eronen, 2010). Dock modifierades andelen då den uppmätta mängden kadmium i avloppsvattnet var mycket högre i Falun (3112 g/år) än på de andra orterna (Solna 963 g/år respektive Sigtuna 508 g/år) men det inte ansågs att konstnärsverksamheten bidrog till mer kadmium i spillvattnet i Falun. Ett medelvärde av mängden kadmium från konstnärsverksamhet i Solna och Sigtuna gav cirka 52 g/år vilket omräknat gav en andel på cirka 2 % i Falun.

På sjukhusets spillvatten fanns inga mätvärden att tillgå. Hänsyn till lasarettet togs genom att beräkna utsläppet utifrån vattenförbrukningen och vad det skulle motsvara omräknat till utsläpp från hushåll. Vattenförbrukningen på 14000 m<sup>3</sup> motsvarar 200 falubor och sedan användes de schablonvärden för hushåll som finns i SoFi.

Det finns tre mikrobryggerier i Falun som är anslutna till avloppssystemet. Inga uppgifter om utsläpp från dessa fanns att tillgå och litteratur om metallutsläpp från mindre bryggerier hittades inte varför ingen hänsyn togs till eventuella utsläpp från dessa.

Det finns fyra färgindustrier i området som kontaktades via mail och telefon varefter tre företag meddelade att deras processvatten inte går via kommunala avloppssystemet. Eventuella utsläpp från dessa industrier bortsågs från.

Dagvatten är separerat från spillvattensystemet i Falun.

Tabell 9 och Tabell 10 sammanfattar i SoFi använda värden.

Tabell 9. Indata i SoFi där schablonvärden på metallemissioner användes.

Område	Input	enhet
<i>Hushåll</i>		
Antal personer anslutna	40 166	Antal personer
<i>Verksamheter</i>		
Fordonstvättar	80 000	Antal tvättade fordon per år
Tandvård	84	Antal tandvårdsenheter
Bilverkstäder	35	Antal verkstäder
Ytbehandlare, vattenmängd	1755	m <sup>3</sup> per år
Kadmium från konstverksamhet	2	% av kadmiuminflöde
Industritvätt	3000	kg per år
Tillskottsvatten	1 930 613	m <sup>3</sup> per år

Tabell 10. Specificerade utsläpp för verksamheter i Falun. Deponi och Lasarettet redovisas i SoFi under gruppen Övrigt.

Verksamhet	Cd	Hg	Cu	Zn	Cr	Enhet
Fordonstvättar (18 918 fordon/år)	0,51		247	1869	33	g/år
Förbränning (117 315 m <sup>3</sup> vatten/år)	60	50	810	30770	470	g/år
Deponi	34	9,8	337,7	4010	200	g/år
Lasarettet	2,1	0,73	1600	1400	42	g/år

Beräkning av inkommande mängder metall till reningsverket utfördes utifrån halter i slam och utgående vatten då inga mätningar på metallhalter i inkommande vatten fanns att tillgå då ordinarie provtagningar inte innefattar metallhalter i inkommande vatten. Mängd metall från slam beräknades genom att yttre verkens metallmängder, som tillkommer till rötningen, subtraherades från den totala mängden metall i rötat slam. Halten metall i utgående vatten multiplicerades med utgående flöde och en mängd erhöles. Metallmängder från slam och utgående vatten summerades därefter. Eventuellt metalltillskott från hygienprodukttillverkarnas processvatten samt restaurangers fett togs ingen hänsyn till då mätningar inte fanns att tillgå.

Halter i tillskottsvattnet är svåra att bestämma då halterna kan variera. I SoFi kunde tre olika schablonvärden användas som baserades på undersökningar och medelvärden av grundvatten från Stockholm respektive Göteborg. Men då Falun ligger relativt långt från

dessa orter och är starkt påverkat av gruvverksamhet gjordes en kompletterande undersökning för att erhålla mer platsspecifika möjliga värden på tillskottsvattnets metallhalter. Grundvattenhalter från flera provtagningar i Falun under åren 2005-2011 erhöles via personlig kontakt från Länsstyrelsen Dalarna (2018) och dessa sammanställdes och användes för beräkning. Dessa halter (rad 1-3 i Tabell 8 ovan) är dock ganska lite påverkade av gruvverksamhet. Ett antagande gjordes därför att 1 % av tillskottsvattnet utgjordes av vatten med halter motsvarande det som uppmätts i grundvatten vid gruvavfall (rad 4 i Tabell 8 ovan). Tabell 11 listar de värden som användes i SoFi. Beräkningar i SoFi gjordes både med enkom medelvärdet av grundvattenvärden (*Grundvatten* i Tabell 11) som inte är särskilt påverkade av gruvverksamhet samt med inblandning av 1 % gruvpåverkat grundvatten (1 % gruvpåverkat vatten i Tabell 11).

Tabell 11. Medelvärden av sju mätningar från centrum (3), Hosjö (2) och Korsgården (2) samt medelvärde för mätningar vid gruvavfall, se Tabell 8. Ett streck indikerar att inget mätvärde fanns att tillgå.

<b>µg/l</b>	<b>Zink</b>	<b>Kadmium</b>	<b>Koppar</b>	<b>Krom</b>	<b>Kvicksilver</b>
Grundvatten	244	0,22	17	0,17	0,00063
Gruvpåverkat grundvatten	103000	130	2167	9	-
1 % gruvpåverkat vatten	1272	1,47	38,5	0,31	0,00063

## **3.2 PROVTAGNINGAR**

Provtagning av inkommande och utgående avloppsvatten samt slam utfördes på reningsverket. Passiv provtagning utfördes på fem platser i avloppssystemets ledningsnät. Proverna skickades för analys till Synlab. Värden som rapporterades som mindre-än värden (under detektionsgränsen) i analysrapporterna har satts till halva det värdet enligt rekommendationer av Helsel & Hirsch (2002).

### **3.2.1 Provtagning på reningsverket**

För att undersöka kvaliteten på inkommande vatten till Främby analyserades vecko- och dygnsprover under åtta veckor, vecka 15-22, av nio metaller (bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, nickel, zink, aluminium och järn) samt elva läkemedel. Under samma åtta veckor analyserades även utgående vatten för samma parametrar. I Tabell A3 i Bilaga A listas de läkemedel som ingick och vilken medicinsk funktion dessa har.

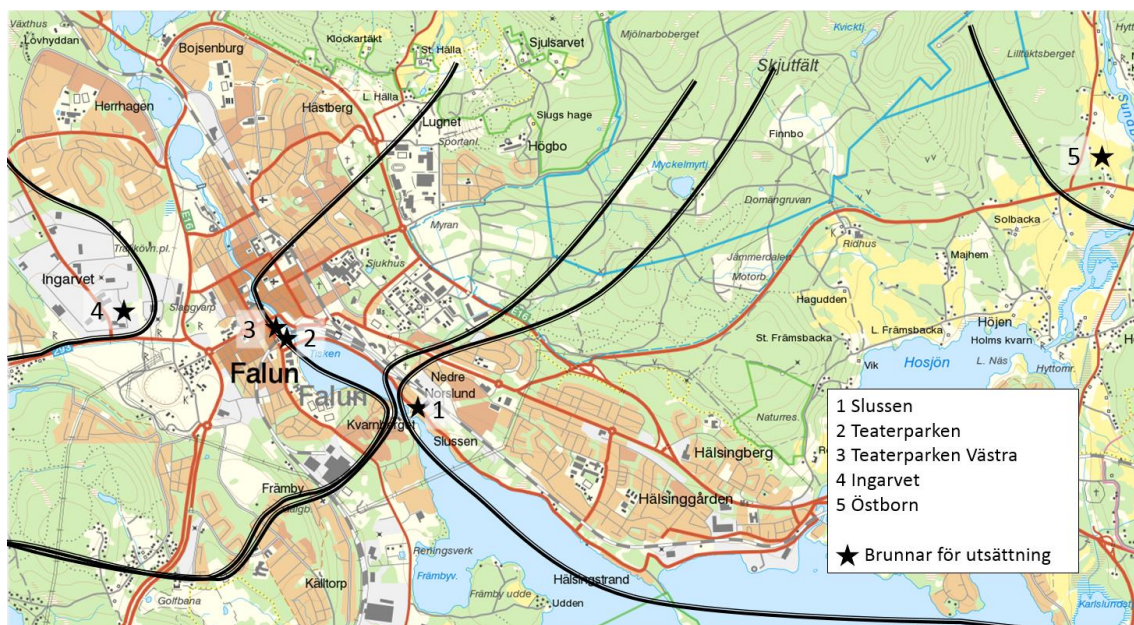
Dygnsprover av vatten togs som ett samlingsprov över ett dygn med den ordinarie provtagningsutrustningen på reningsverket och insamlingen av vatten sköttes av personal på Främby samtidigt med ordinarie insamling. Till veckoproven samlades vatten från dygnsprovtagningar och helgprovtagning under en vecka.

### **3.2.2 Provtagning i avloppsledningsnätet**

För att undersöka och jämföra kvaliteten i avloppsvattnet från olika områden i Falun användes passiva provtagare i avloppssystemet. De ämnen som analyserades var tio metaller (arsenik, bly, kadmium, kobolt, koppar, krom, kvicksilver, nickel, vanadin och zink), och organiska ämnen genom en screening som omfattar bland annat PAHer, alifater och aromater. En utförlig förteckning finns i Bilaga B. Fem platser i avloppssystemet utsågs där upptagningsområdena kunde karaktäriseras utifrån verksamheter, bebyggelse och gruvpåverkan. Via de två stora pumpstationerna Teaterparken och Slussen passerar



absoluta merparten av avloppsvattnet. Den största skillnaden mellan dessa är att via Teaterparken passerar avloppsvatten från områden där Falu gruva och gruvavfall är belägna, medan via Slussen passerar avloppsvatten från områden som inte är påverkade av gruvverksamhet. Östborn är en pumpstation uppströms Slussen som i huvudsak hanterar flödet från landsbygd österut. Teaterparken Västra är en brunn direkt uppströms Teaterparken som hanterar en stor del av det flöde som sedan passerar Teaterparken exklusive flödet från centrum och lasarettet. Ingarvet är en brunn uppströms Teaterparken som hanterar flödet från ett stort industriområde. Provtagarna sattes ut samma dag vecka 21 och togs in samma dag en vecka senare. I Figur 2 syns de ungefärliga upptagningsområdena för varje provtagare. Tabell 12 sammanfattar områdesbeskrivningarna.



Figur 2. Ungefärliga upptagningsområdena för de passiva provtagarna i avloppssystemet. Modifierad karta från VA-banken, FEV.

Tabell 12. Beskrivning av passiva provtagarnas upptagningsområdeskaraktär.

Provpunkt	Områdesbeskrivning
Slussen	Industrier, bostäder och landsbygd
Teaterparken	Teaterparken Västra + centrum och lasarettet
Teaterparken Västra	Gruvan och gruvavfall, industrier, bostäder
Ingarvet	Industriområde
Östborn	Landsbygd

Den passiva provtagare som användes var Ecoscope som är ett provtagningssystem för tungmetaller och organiska ämnen från Synlab. Metaller ackumuleras genom att de vattenlösliga jonerna tas upp av en jonbytare. De ackumulerade mängderna är en följd av bland annat momentanhalt i det studerade vattnet och exponeringstiden. Flödets storlek påverkar inte upptaget i någon större utsträckning. Metallhalterna relateras till jonbyttarmassans vikt varför enheten är  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Passiv provtagare kan användas för att till exempel jämföra olika områden i avloppssystemet med varandra (Synlab, 2018).

## 4 RESULTAT

Resultat från modellering med SoFi och provtagningar på reningsverket och i ledningsnätet presenteras på följande sidor.

### 4.1 SOFI

Här presenteras resultat från SoFi med och utan inblandning av gruvpåverkat tillskottsvatten.

Då SoFi kördes med metallhalter i tillskottsvattnet baserade på grundvatten utan inblandning av gruvpåverkat vatten ges förklaringsgrader på 27-80 % vilket kan ses i Tabell 13. Det är framförallt kadmium och zink som har låg förklaringsgrad.

Tabell 13. Uppmätta/Beräknade mängder metall per år och av SoFi beräknade mängder per år samt i vilken grad källorna kan förklaras av modellering med SoFi. Tillskottsvatten är utan påverkan av gruvan.

Resultatkontroll	Cd	Zn	Cu	Cr	Hg	Enhet
Uppmätt/Beräknad	3,1	3 009,6	532,2	14,4	0,6	kg/år
SoFi	1,1	821,9	373,8	11,5	0,4	kg/år
Förklaringsgrad	36	27	70	80	65	%

Med en uppskattad inblandning av gruvpåverkat vatten på 1 % i tillskottsvattnet ges förklaringsgrader på 65-95 %, vilket kan ses i Tabell 14.

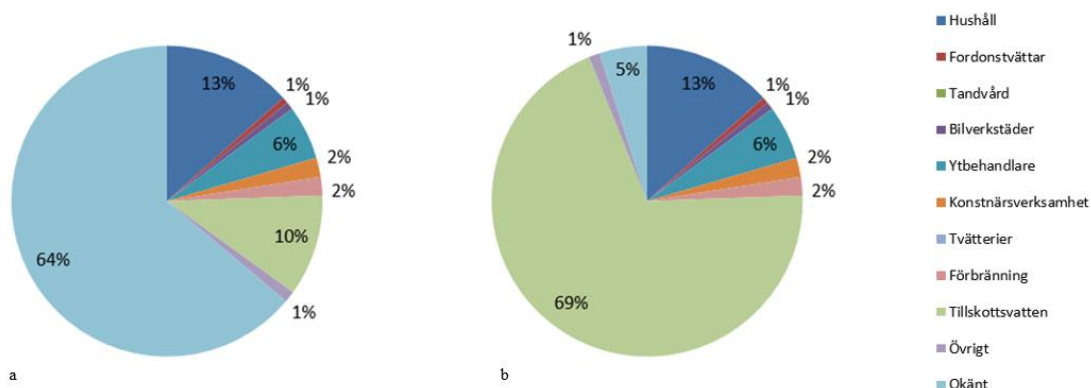
Tabell 14. Uppmätta/Beräknade mängder metall per år och av SoFi beräknade mängder per år samt i vilken grad källorna kan förklaras av SoFi. Både kadmium och zink kan förklaras i betydligt högre utsträckning. Tillskottsvatten med påverkan av gruvan.

Resultatkontroll	Cd	Zn	Cu	Cr	Hg	Enhet
Uppmätt/Beräknad	3,1	3 009,6	532,2	14,4	0,6	kg/år
SoFi	3	2 806,6	416,3	11,7	0,4	kg/år
Förklaringsgrad	95	93	78	81	65	%

Källorna till de olika metallerna redovisas i figur 3-7 där varje metall redovisas för sig med de två resultaten för olika värden på tillskottsvattnet parallellt. Kadmium, zink och koppar redovisas med båda värdena för tillskottsvattnet. För krom och kvicksilver visas endast en figur då det för krom endast var marginell skillnad och för kvicksilver endast fanns värden för ena fallet. Källan *Övrigt* består av utsläpp från deponi och lasarettet.

#### 4.1.1 Kadmium

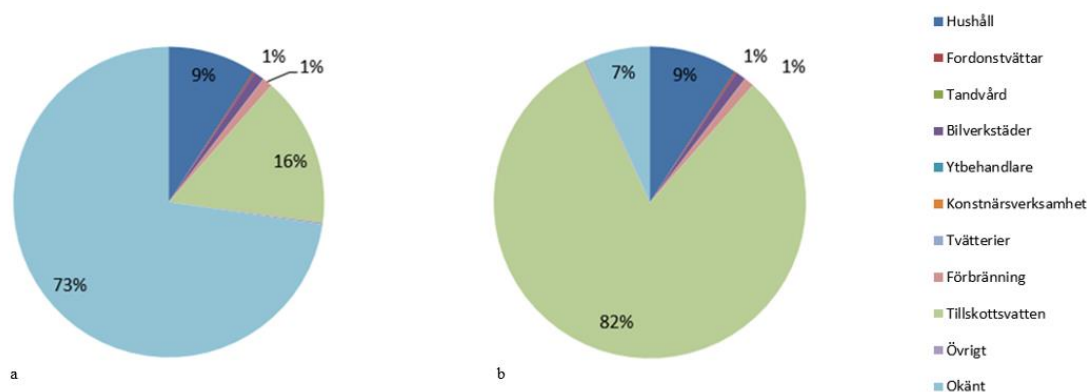
Utan gruvpåverkat tillskottsvatten är källan till kadmium till största delen okänd (Figur 3a). Hushåll, tillskottsvatten samt ytbehandlare står för mindre andelar. Med gruvpåverkat tillskottsvatten kommer kadmium i huvudsak från tillskottsvatten (Figur 3b).



Figur 3. Källor till kadmium. a) då tillskottsvattnet är opåverkat av gruvavfall. b) då tillskottsvattnet har inblandning av 1 % gruvpåverkat vatten.

#### 4.1.2 Zink

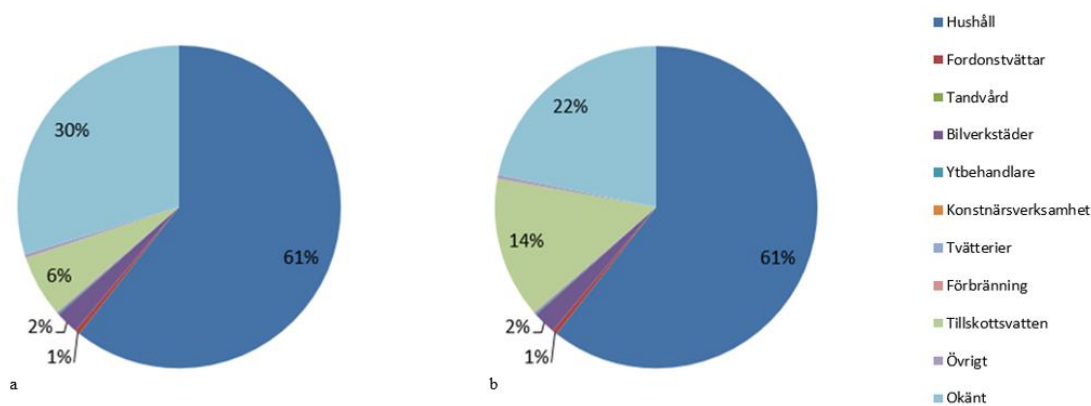
Källan till zink är till största delen okänd då halter för tillskottsvatten utan gruvpåverkan används. Tillskottsvattnet samt hushåll står för merparten av de kända källorna (Figur 4a). Med gruvpåverkat tillskottsvatten är den största källan till zink tillskottsvatten (Figur 4b).



Figur 4. Källor till zink. a) då tillskottsvattnet är opåverkat av gruvavfall. b) då tillskottsvattnet har inblandning av 1 % gruvpåverkat vatten.

### 4.1.3 Koppar

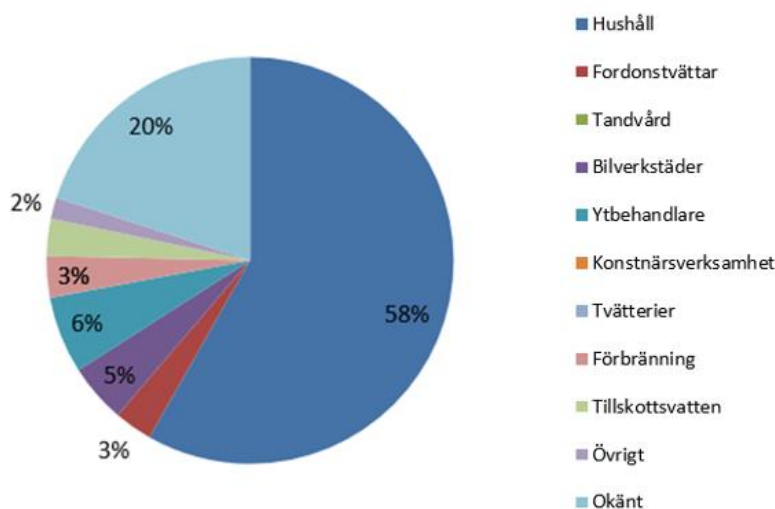
Största källan till koppar är hushållen (Figur 5). Utan gruvpåverkat tillskottsvatten är källan till 30 % okänd och en mindre andel kommer från tillskottsvattnet (Figur 5a). Med gruvpåverkat tillskottsvatten är 22 % av koppar av okänt ursprung och andelen från tillskottsvatten ökar till 14 % (Figur 5b).



Figur 5. Källor till koppar. a) då tillskottsvattnet är opåverkat av gruvavfall. b) då tillskottsvattnet har inblandning av 1 % gruvpåverkat vatten.

### 4.1.4 Krom

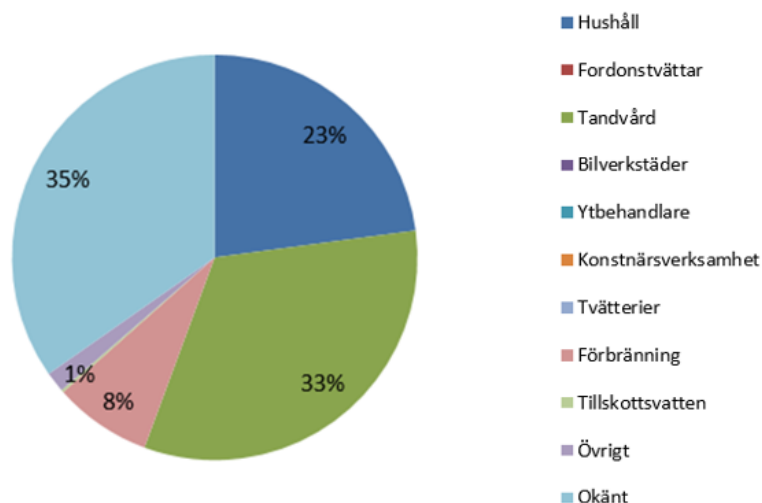
För krom skiljer sig inte resultaten nämnvärt åt med och utan gruvpåverkat tillskottsvatten. Krom kommer i huvudsak från hushållen. Men mindre andelar kommer från ytbehandlare, bilverkstäder, fordonstvättar, avfallsförbränning samt tillskottsvatten. Cirka 20 % är av okänt ursprung i båda fallen. I Figur 6 redovisas procentandelar från respektive källa då värden för opåverkat tillskottsvatten används.



Figur 6. Källor till krom då tillskottsvattnet är opåverkat av gruvavfall.

#### 4.1.5 Kvicksilver

Kvicksilver kommer i huvudsak från tandvårdskliniker och hushåll (Figur 7). Även förbränning bidrar med en mindre andel. En tredjedel är okänt. Resultatet är för fallet med tillskottsvatten utan gruppåverkan då värden för kvicksilver i gruppåverkat vatten inte fanns att tillgå.



Figur 7. Källor till kvicksilver.

## 4.2 PROVTAGNING

I detta stycke redovisas, i tabeller och visualiserat i grafer, resultatet av provtagningarna på reningsverket samt i ledningsnätet.

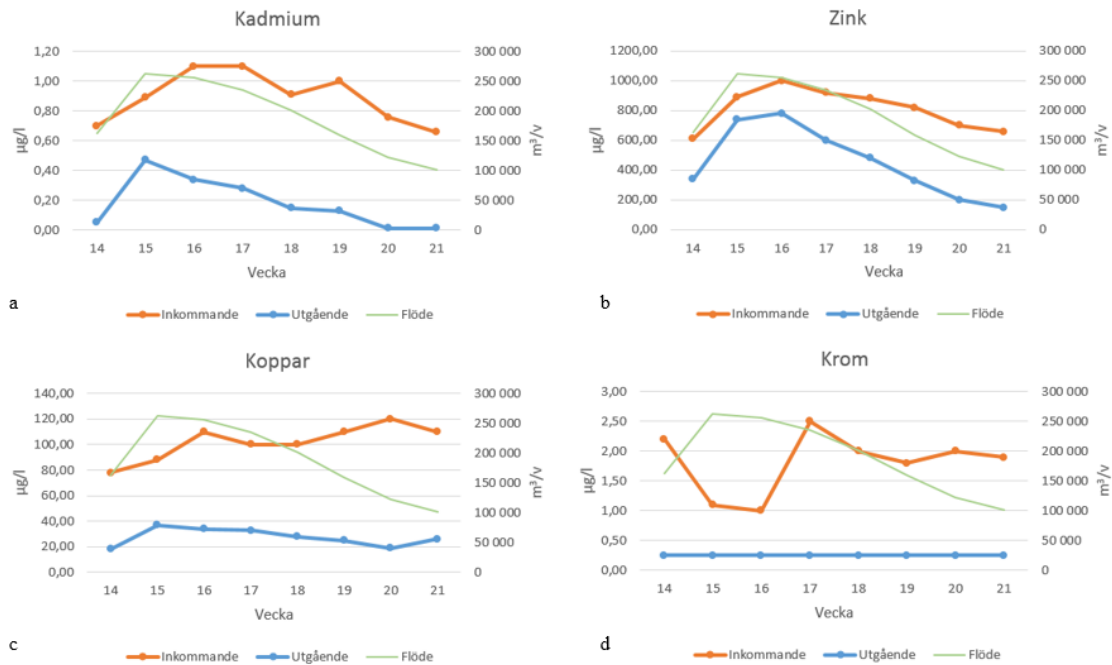
### 4.2.1 Reningsverket – metaller

Resultatet av veckoprovtagningen ses i Tabell 15, där redovisas medianhalter i inkommande och utgående vatten, intervallet på mätningarna samt reningsgrad som kunde ses under provtagningsperioden.

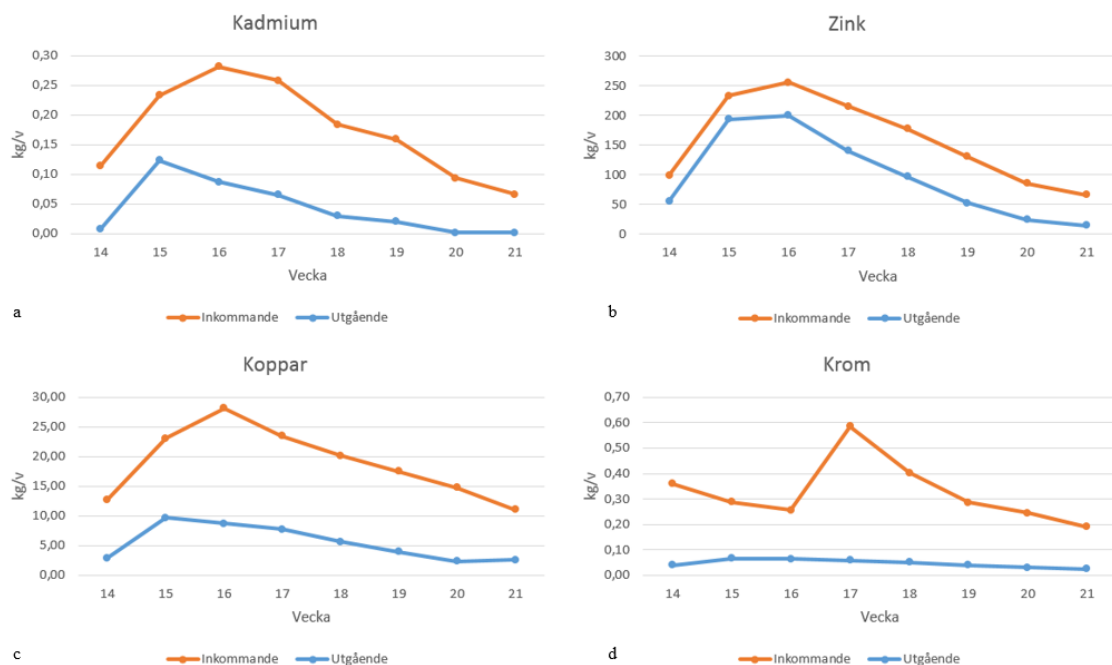
Tabell 15. Metallhalter i median samt intervall av halter i inkommande avloppsvatten och utgående vatten vid Främby reningsverk. Reningsgraden baseras på medianhalterna, reningsgrad inom parentes är osäker då mindre-än värden finns. n=8.

Metall	Halt in µg/l	Intervall Halt in, µg/l	Halt ut µg/l	Intervall Halt ut, µg/l	Reningsgrad %
Pb	2,65	2,4-6,3	0,25	<0,2-0,72	(91)
Cd	0,9	0,66-1,1	0,14	<0,03-0,47	(84)
Cu	105	78-120	27	18-37	74
Cr	1,95	1-2,5	0,25	-	(87)
Hg	0,05	<0,1-0,61	0,05	<0,1-0,16	
Ni	2,95	2,5-4,2	2,25	1,9-3,3	24
Zn	850	610-1000	410	150-780	52
Al	800	600-3300	350	100-800	56
Fe	1600	900-3100	200	110-360	88

I Figur 8 visualiseras inkommande och utgående halter av zink, kadmium, krom och koppar i en tidsserie för provtagningsperioden. Även inkommande avloppsvattenflöde visas. I graferna kan ses att zink och kadmium följer flödets trend tydligare än krom och koppar.



Figur 4. Inkommande och utgående halter från veckoprovtagningen av zink, kadmium, krom och koppar på Främby reningsverk under provtagningsperioden.



Figur 9. Massflöden i kg/vecka av inkommande och utgående metallmängder vid reningsverket. Här ses liknande trender för zink, koppar och kadmium, när inkommande avloppsvattenflöde är högt inkommer stora mängder av dessa metaller till reningsverken.

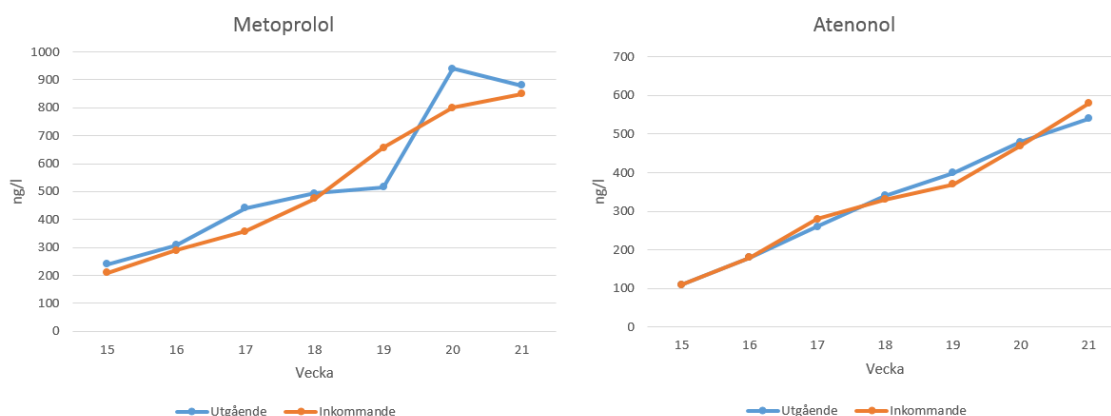
#### 4.2.2 Reningsverket – Läkemedel

Resultatet av veckoprovtagningen för läkemedel ses i Tabell 16. Där redovisas medianhalter i inkommande och utgående vatten, intervallet på mätningarna samt reningsgrad som kunde ses under provtagningsperioden.

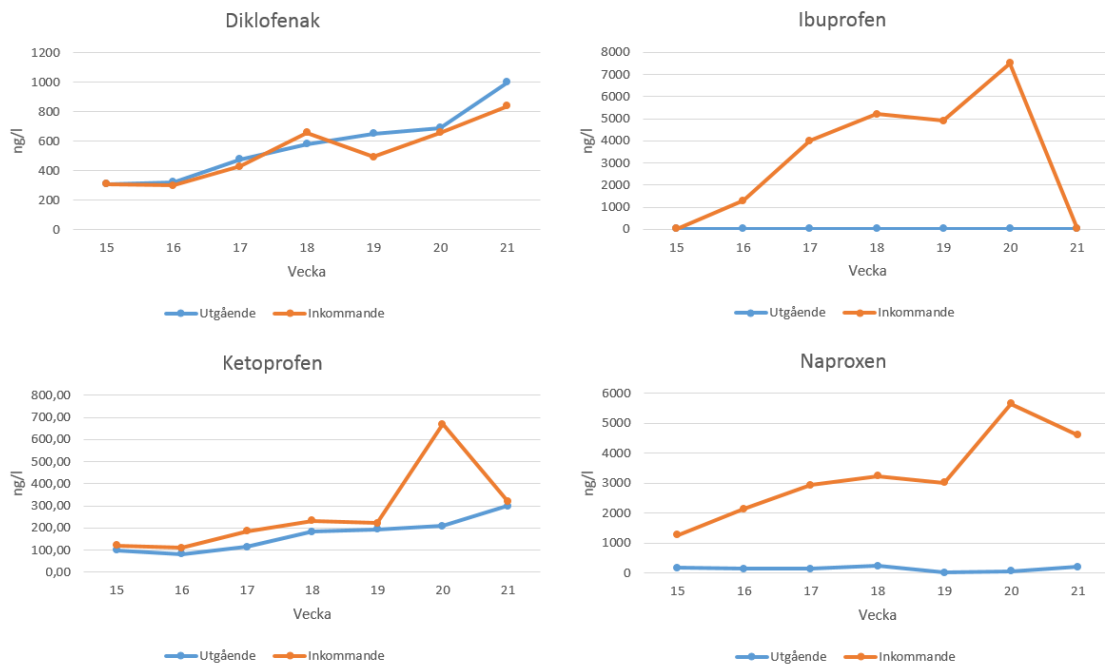
Tabell 16. Läkemedelshalter i median samt i vilket intervall halter förekom i inkommande avloppsvatten och utgående vatten vid Främby reningsverk. En stjärna indikerar att endast ett värde var över detektionsgränsen. Ett streck indikerar att inget prov var över detektionsgräns. Reningsgrad baseras på medianhalterna, reningsgrad inom parentes är osäker då mindre-än värden finns. n=7

Substans	Halt in ng/l	Intervall Halt in, ng/l	Halt ut ng/l	Intervall Halt ut, ng/l	Reningsgrad %
Etinylöstradiol	<5	-	<5	-	
Östradiol	<5	<5-9*	<5	-	
Östron	15	<5-23	<5	<5-7*	(83)
Atenolol	330	110-580	340	110-540	-3
Diklofenak	494	300-840	581	310-1000	-18
Ibuprofen	4000	<50-7500	<50	-	(99)
Karbamazepin	190	120-290	222	160-450	-17
Ketoprofen	222	110-670	183	83-300	18
Metoprolol	475	210-850	494	240-940	-4
Naproxen	3000	1100-5600	148	16-248	95
Paracetamol	<50	<50-19100*	<50	-	

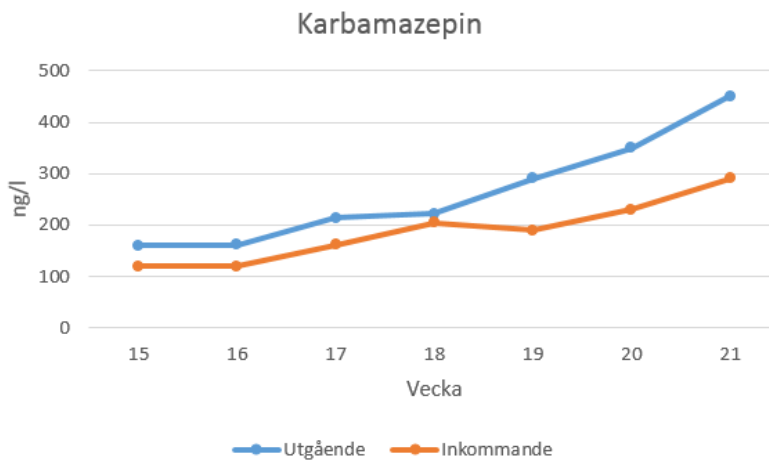
I Figur 4, Figur 5 samt Figur 6 visualiseras inkommande och utgående halter av läkemedelssubstanser i en tidsserie för provtagningsperioden. Figur 4 visar betablockerare, Figur 5 visar antiinflammatoriska substanser och Figur 6 visar en anti epileptika. Trenden är ökande halter under perioden samt att utgående halter är liknande de ingående halterna för flertal substanser.



Figur 10. Inkommande och utgående halter av två betablockerare på Främby under provtagningsperioden.



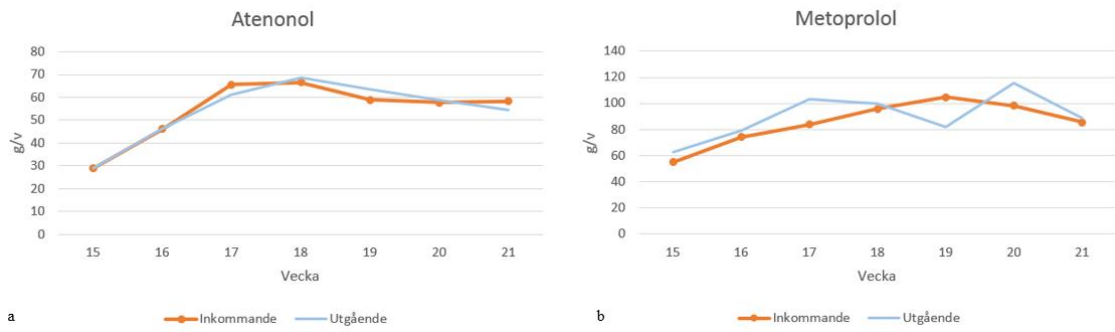
Figur 11. Inkommande och utgående halter av antiinflammatoriska substanser på Främby under provtagningsperioden.



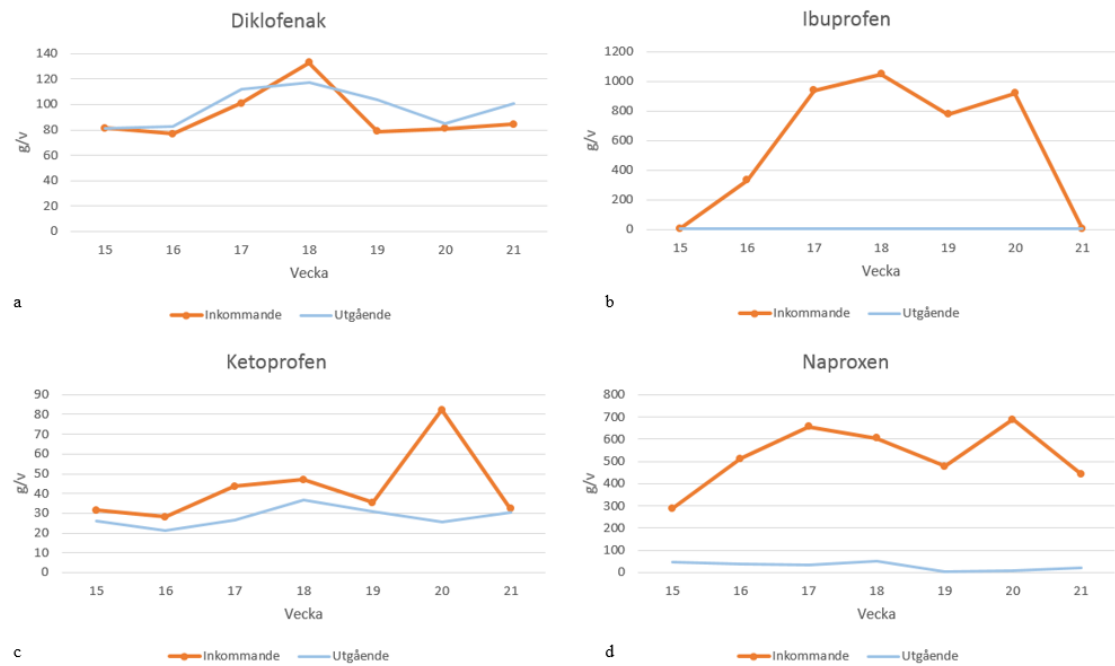
Figur 5. Inkommande och utgående halter av Karbamazepin, ett antiepileptika, på Främby under provtagningsperioden.

Inkommande massflöde per vecka av läkemedel visar inte någon tydlig trend. Massflöden visas i figur 13, 14 och 15. I Tabell A5 i Bilaga A visas även uppskattade årsmängder av läkemedelssubstanser.

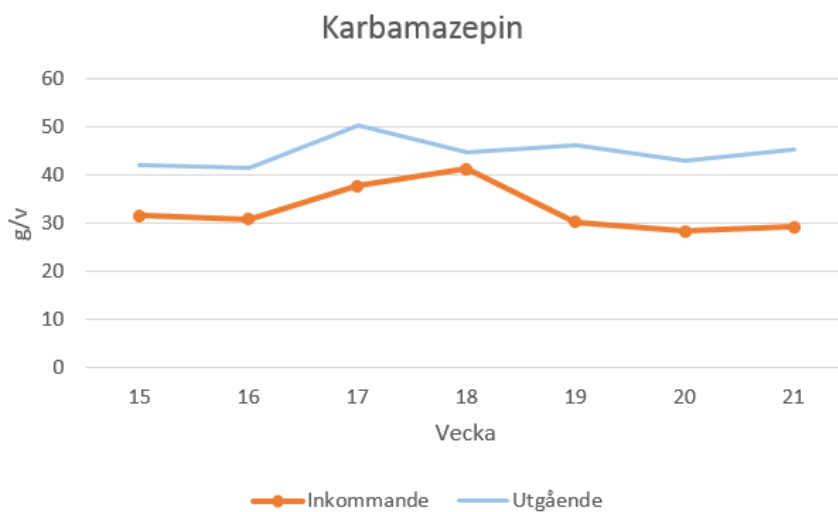




Figur 13. Massflöde i gram/vecka av betablockerare.



Figur 14. Massflöde i gram/vecka av antiinflammatoriska substanser.



Figur 15. Massflöde i gram/vecka av karbamazepin

#### 4.2.3 Ecoscope - metaller

I Tabell 17 redovisas uppmätta värden för metaller från provtagningen i avloppsledningsnätet. Teaterparken uppvisar för de flesta metallerna de högsta värdena medan Ingarvet uppvisar de lägsta värden med undantag av kadmium och zink där Östborn visar lägre värden.

Tabell 17. Mängd ackumulerad metall  $\mu\text{g}$  metall/kg jonbytomassa. Ett streck indikerar att mängden var under detektionsgräns.

Metall [ $\mu\text{g}$ /kg]	Östborn	Slussen	Ingarvet	Teaterparken	Teaterparken västra
As	22	15	13	38	28
Pb	78	215	12	256	204
Cd	2,8	17	10	57	65
Co	13	29	110	103	262
Cu	466	2481	398	4279	3873
Cr	10	-	-	57	-
Ni	43	-	-	-	38
V	33	53	-	24	21
Zn	6359	20654	17182	109810	83765
Hg	0,21	0,51	0,25	0,77	0,44

#### 4.2.4 Ecoscope - Övriga ämnen

Tabell 18 redovisas uppmätta värden för organiska föroreningar från provtagningen i avloppsledningsnätet. Tabellen visar de ämnen som på någon plats var över detektionsgräns, övriga provtagna organiska ämnen var under detektionsgräns på alla platser.

Tabell 18. Upptag av  $\mu\text{g}$  ämne/l lösningsmedel.

Ämne [ $\mu\text{g}$ /l]	Östborn	Slussen	Ingarvet	Teaterparken	Teaterparken västra
Alifatiska kolväten	1,6	6,5	1	4,7	13
Etylbensen	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01
Xylener	0,039	0,098	<0,03	<0,03	<0,03
Aromater större än xylen	<0,1	<0,1	0,17	<0,1	0,16
Bensylbutylftalat	0,03	0,061	<0,01	0,047	0,087
Di-n-butylftalat	0,045	0,065	<0,01	0,062	0,13
Diklorbensener	<0,01	<0,01	0,086	0,015	0,025
Naftalen	0,01	0,011	0,011	0,01	0,013

## 5 DISKUSSION

### 5.1 METALLER

Då SoFi användes med värden för tillskottsvatten utifrån relativt opåverkat grundvatten i området kunde inte källor till kadmium och zink spåras till mer än 36 respektive 27 %. Det fanns alltså stora eller många källor till dessa metaller som var okända. Utifrån tesen att dessa okända källor var inläckande vatten från gruvavfall runt om staden gjordes en uppskattning att 1 % av tillskottsvattnet utgjordes av detta vatten. Då ökade förklaringsgraden till över 90 % för både kadmium och zink, vilket gör det troligt att en stor källa till dessa metaller är just gruvavfall. Även förklaringsgraden för koppar ökade från 70 till 80 %. Det är sedan tidigare känt att gruvavfall läcker stora mängder av dessa tre metaller i området (Hanæus & Ledin, 2010). Att inte förklaringsgraden för koppar ökade med samma magnitud kan delvis förklaras med att metallhalten för det gruvpåverkade vattnet beräknades utifrån mätvärden av vatten vid nyare typer av gruvavfall som i högre grad läcker kadmium och zink, medan koppar läcker från äldre typer av gruvavfall som är mera utspritt under staden (Hanæus & Ledin, 2010). En annan förklaring är att en stor källa till koppar är hushållen och framför allt kopparledning (Sörme & Lagerkvist, 2002), vilket gör att påverkan från tillskottsvatten i förhållande till hushållens bidrag inte är lika stor som för zink och kadmium där andra kända källor är små. Även kromhalterna är högre i det gruvpåverkade vattnet, dock är halterna inte så höga att det påverkade resultatet nämnvärt i SoFi. Den låga förklaringsgraden för kvicksilver kan bero på analytisk osäkerhet då flertal värden var under detektionsgräns och att beräkningen av inkommande mängd kvicksilver därmed kanske inte är representativ för faktisk mängd.

Valet av 1 % som andel gruvpåverkat vatten gjordes godtyckligt för att se om det skulle gå att förklara metallflödena med att uppskatta ett tillskott från gruvpåverkat vatten. I ett område som Falun med kraftigt varierande metallhalter i grundvatten är det mycket svårt att erhålla representativa värden för metallhalter i tillskottsvattnet. Men med de otroligt höga halterna i olika typer av vatten i närheten av gruvan och gruvavfall samt även i Faluån och sjöarna Tisken och Runn är det ändå troligt att gruvan och gruvavfall kan påverka tillskottsvattnets halter i den storleksordning som antagits i detta projekt

Enskilda verksamheters och verksamhetsområdets andelsbidrag till metaller i avloppsvattnet är låg, med undantag av kvicksilver där tandvårdsverksamhet uppskattas bidra med 33 % och förbränningsanläggningen med 8 % och krom där ytbehandlare, fordonstvättar och bilverkstäder kan uppskattas stå för 14 % tillsammans. Men även om andelen som en verksamhet bidrar med är låg kan mängden metall vara hög från en enskild verksamhet då inkommande mängder av framför allt zink, kadmium och koppar är höga på Främby. Verksamheter kan också vara betydande källor till andra typer av föroreningar i avloppsvattnet så som mikroplast och högfluorerade ämnen. Ett fortsatt uppströmsarbete gentemot verksamheter är därför viktigt för att minska belastningen på reningsverket.

Tidigare studier som använt verktyget SoFi kom fram till att hushåll var den största källan till de fem tungmetallerna (Agduhr Eronen, 2010; Isaksson, 2012). I Uppsala uppskattades hushållen stå för 70-88 % av metallerna i avloppsvattnet (Isaksson, 2012).

I Solna uppskattades hushållen stå för 55-98% och i Sigtuna för 44-78% (Agduhr Eronen, 2010).

Även Sörme & Lagerkvist (2002) kom i sin studie i Stockholm fram till att hushållen var en stor källa till koppar (59 %), zink (30 %) och kvicksilver (44-47 %). Falun skiljer sig från dessa studier då hushållen stod för en mindre andel av metallinflödet av framför allt kadmium och zink. Sett till metallflöde/person var metallflödet av kadmium och koppar dubbelt så hög i Falun (0,075 g/p respektive 15 g/p) jämfört med Stockholm (0,04 g/p respektive 8,8 g/p) (Sörme & Lagerkvist, 2002). Zinkflödet/person skilde sig nära fem gånger, 75 g/p i Falun mot 16g/p i Stockholm (Sörme & Lagerkvist, 2002).

SoFi är ett relativt trubbigt verktyg då schablonvärden använts på flertalet verksamheter. En annan osäkerhet är de verksamheter som inte tagits hänsyn till då mätvärden saknats antingen för att det var små verksamheter eller att mätvärden inte erhöles. Det finns även en osäkerhet i utsläppen från lasarettet, som tagits hänsyn till men med antagandet att utsläppen motsvarar hushållsutsläpp från i detta fall 200 personer. Det är troligt att ett sjukhus har en annan sammansättning av avloppsvatten med avseende på metaller än hushåll.

Vid en jämförelse av provtagningen med Ecoscope mellan Teaterparken (påverkat av gruvan) och Slussen (opåverkat) ses att tre gånger större mängd kadmium och fem gånger större mängd zink upptagits vid Teaterparken än vid Slussen. Östborn visar lägst halter kadmium och zink. Detta stärker ytterligare att gruvavfallet runt om i Falun från lång tids gruvverksamhet skulle kunna vara en trolig källa till dessa metaller. Även koppar och krom uppmättes i högre utsträckning vid Teaterparken.

Provtagningen vid reningsverket skedde under åtta veckor i april-maj 2018. Detta sammanföll med den mycket snabba snösmältningen och Falun gick från snörik vinter till barmark och sommar på endast några veckor. Detta påverkade då även flödet i avloppsnätet med en stor mängd tillskottsvatten som följde då snösmältningen var som kraftigast. Halterna kadmium och zink var höga då flödet var högt, se **Fel! Hittar inte referenskälla.** 8, vilket kan ses som att tillskottsvattnets halter var högre än spillvattnet i systemet och påverkade den totala halten på det inkommande avloppsvattnet till reningsverket. Då koppar troligen i huvudsak kommer från hushållen, trots gruvan, ses inte samma tydliga påverkan av tillskottsvatten på halten koppar i avloppsvattnet.

Dock visar massflödena per vecka att tillskottsvattnet är en viktig källa även för koppar, där samma trend kan ses för koppar som för zink och kadmium under perioden.

En annan osäkerhet är de beräknade/uppskattade inkommande mängderna. Då inte metaller provtas regelbundet på inkommande avloppsvatten på Främby beräknades mängden metall utifrån halter i slam och utgående vatten. På reningsverket tillkommer processvatten från två hygienprodukttilverkare, fett från restauranger, slam från yttre verken samt enskilda avlopp. Mätvärden fanns endast för slam från yttre verken som därmed kunnat dras bort men processvatten, fett och enskilda avlopp kan potentiellt ha bidragit med metall till de beräknade mängderna och de beräknade mängderna skulle i så fall kunna justeras nedåt något.

Metallinnehållet i avloppsslammet, främst zink och kadmium, visar på så höga halter att en Revaq-certifiering och användning av slammet i jordbruk troligtvis inte kan bli aktuellt. Andra metoder att ta hand om slammet får studeras.

## 5.2 LÄKEMEDEL

Vad gäller läkemedel har undersökningen i detta projekt inte avvikit nämnvärt mot vad tidigare studier kommit fram till om läkemedelshalter eller rening av dessa på kommunala avloppsreningsverk. Betablockerarna atenolol och metoprolol, samt antiepileptikan karbamazepin renas inte utan halterna i utgående vatten är ungefär desamma som i inkommande vatten. Detta är i linje med vad Naturvårdsverket (2008) kom fram till i sin sammanställning. Dock ses halterna av dessa substanser vara i det lägre spannet vad som sågs i Naturvårdsverkets sammanställning. Det skulle kunna förklaras av en utspädningseffekt av det höga flödet på grund av snösmältningen som var under delar av provtagningsperioden. Högre halter av läkemedelssubstanser än de under detta projekt uppmätta kan troligtvis ses under torrare perioder. En annan förklaring till skillnaden i läkemedelshalter mellan denna studie i Falun och sammanställningen 2008 (Naturvårdsverket, 2008) kan vara förändringar i förskrivningen av dessa preparat med tiden.

Massflödena av läkemedel följer dock inte flödet vilket är förväntat då hushållens användning av läkemedel förväntas vara relativt konstant och ungefär samma mängd förväntas inkomma till reningsverket varje vecka.

Av de antiinflammatoriska substanserna ses en över 90 % rening av ibuprofen och naproxen. Ketoprofen visar en svag rening medan diklofenak visar på en ökning i halt genom reningsverket. Zorita et al. (2008) såg en liknande ökning i halt av diklofenak genom reningsverket i Kristianstad. En förklaring kan vara den återbildning av substanser som kan ske i reningsverken (Naturvårdsverket, 2008).

Jämfört med tidigare mätning av fem läkemedelssubstanser vid Främby och Borlänge (Sweco, 2016) ses en ökning av diklofenak i utgående vatten och en minskning av ibuprofen och karbamazepin. Ketoprofen och naproxen har ökat jämfört med den tidigare mätningen i Främby och närmar sig de medianhalter som uppmättes i Borlänge. Dock är det svårt att dra några slutsatser av detta då halterna kan variera stort beroende på omständigheter (till exempel flödet) och att datapunkterna är få.

För diklofenak ses att halterna i utgående vatten överstiger de riktvärden för ytvatten som ges av HVMFS 2013:19. Då utspädningsfaktorer är svårberäknade (Sweco, 2016) och recipientens känslighet följaktligen svårbedömd bör detta tas i beaktning och vidare utvärdering av läkemedel och läkemedelsrening kan rekommenderas.

Av de östrogena substanserna var det endast östron som detekterades i mer än ett prov. Då både etinylöstradiol och östradiol räknas till de särskilt förorenade ämnena (HVMFS 2013:19) bör metoder att analysera dessa användas där detektionsgränsen är lägre. Detta för att kunna jämföra med andra studier och riktvärden i HVMFS 2013:19.

Paracetamol i inkommande vatten detekterades endast i ett prov. Detta prov skiljde sig istället avsevärt från de andra proven genom sin halt på 19100 ng/l. Skälen till detta kan vara analysfel då endast ett prov visade på denna halt.

### 5.3 ORGANISKA ÄMNEN

Bland de organiska ämnen som detekterats i avloppsledningsnätet finns ämnen som detekterats på alla platser med liknande halt, till exempel naftalen, vilket kan tyda på diffusa källor. Andra ämnen detekterades med högre halt på vissa av platserna vilket kan tyda på ett mer specifikt ursprung. Bensylbutylftalat och di-n-butylftalat är exempel på det som båda hade högst halter i Teaterparken västra. Vad som talar emot att dessa ftalater skulle ha ett specifikt ursprung är att källor till ftalat i form av plast, gummi, färg, tapet och lim är väl spridda i samhället och på så vis ger ett diffust utsläpp. Att inte de organiska ämnena detekterats i högre utsträckning kan bero på tiden. Om provtagarna suttit ute en längre tid kan det resulterat i fler detekterade ämnen. Dock kan också halterna vara för låga för att detekteras av provtagarna. Med passiva provtagare jämfördes olika områden i Falun med varandra. En vanlig provtagning med ackrediterad analys av avloppsvatten skulle gjort det lättare att jämföra resultatet med andra studier och vid upptäckt av höga halter kan spårning vidare göras med passiva provtagare.

De speciella förhållandena vid provtagningen med mycket höga flöden i början av provtagningsperioden kan ha bidragit till att resultaten inte är representativa för ett helt år. Under hela provperioden var veckoflödet högre än medelveckoflödet 2017. Undersökningen med de passiva provtagarna bör dock inte ha påverkats nämnvärt av detta då flödet endast var marginellt högre än medelveckoflödet vecka 21 då provtagarna sattes.

## 6 SLUTSATS

Gruvan och gruvavfallet, genom tillskottsvattnet, kan uppskattas vara den största källan till zink och kadmium, medan hushållen kan uppskattas vara den största källan till koppar och krom. För kvicksilver uppskattas de största källorna vara hushållen och tandvården. Förutom tandvården bidrog enskilda verksamheter i låg grad till metallutsläpp. Förklaringsgraden ökade markant för framförallt kadmium och zink men även koppar då hänsyn togs till metallhalter i gruvavfallspåverkat vatten som en faktor i tillskottsvattnets sammansättning.

Vid höga flöden och stor andel tillskottsvatten ökar halterna av zink och kadmium i avloppsvattnet vilket ytterligare indikerar att tillskottsvattnet är den största källan till dessa metaller. Högre halter ses även i avloppsvattnet vid Teaterparken än vid Slussen vilket också talar för påverkan från gruvavfall på vattnet.

Av de elva analyserade läkemedelssubstanserna renas endast de lättnedbrytbara substanserna såsom ibuprofen och naproxen. För de östrogena substanserna behövs analysmetoder som kan analysera lägre halter. Då recipientens känslighet är svårbedömd och halter av diklofenak i utgående vatten ses över riktlinjerna för ytvatten bör fortsatta studier göras vad gäller läkemedel.

Av de organiska ämnena var det många som var under detektionsgränsen och för de ämnen som detekterades var resultatet svårtolkat då jämförelser med andra studier försvåras av provtagningsmetoden. En provtagning av inkommande vatten skulle underlätta jämförelsen och vid upptäckt av höga halter kan spårning vidare göras med passiva provtagare.

## 7 REFERENSER

2000/60/EG (2014). *Europaparlamentets och rådets direktiv 2000/60/EG. Bilaga X Lista över prioriterade ämnen inom vattenpolitikens område*. Tillgänglig: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:02000L0060-20141120> [2018-08-19]

Agduhr Eronen, S. (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.

Avfall Sverige (2018). *Deponering*. Tillgänglig: <https://www.avfallsverige.se/avfallshantering/avfallsbehandling/deponering/> [2018-04-16].

Falu Energi och Vatten, FEV (2018a). Främby reningsverk, miljörapportering 2017.

Falu Energi och Vatten, FEV (2018b). Västermalmsverket, miljörapportering 2017.

Falu Energi och Vatten, FEV (2018c). Falu avfallsanläggning, egenkontrollprogram, 2017.

Falu Energi och Vatten, FEV (u.å). *Reningsverk*. Tillgänglig: <https://www.fev.se/om-oss/anlaeggningar/reningsverk/> [2018-02-26].

Hanæus, Å. & Ledin, B. (2005). *Efterbehandling av gruvavfall i Falun, Kompletterande åtgärder för att minska metallläckaget till Faluån – Dalälven – Östersjön*. Rapport 2005:23. ISSN 1101-3044. Länsstyrelsen Dalarna, Miljövårdsenheten

Hanæus, Å. & Ledin, B. (2010). *Efterbehandling av gruvavfall i Falun 1992-2008*. Naturvårdsverket rapport 6398. ISBN 978-91-620-6398-6. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-6398-6.pdf?pid=3705> [2018-04-17].

Hedén, M. (2018). Utvecklingsingenjör FEV. Personlig kommunikation 2018-02-09.

Helsel, D.R. & R.M. Hirsch (2002). "Statistical Methods in Water Resources". I: *Statistical Methods in Water Resources Techniques of Water Resources Investigations, Book 4*. United States Geological Survey.

Hey, G., Jönsson, K. & Mattsson, A. (2016). *The impact of infiltration and inflow on wastewater treatment plants: A case study in Sweden*. Rapport nr 6, 2016, VA-teknik Södra.

Isaksson, E. (2013). *Spårning av miljöstörande ämnen i Uppsala stads spillvattennät*. UPTEC 13012. Uppsala: Institutionen för energi och teknik, Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU).

Jensen, E. (2018). Utvecklingsingenjör FEV. Personlig kommunikation 2018-02-28.

Karolinska Institutet (2017a). *Bly*. Tillgänglig: <https://ki.se/imm/bly> [2018-04-30].

Karolinska Institutet (2017b). *Kadmium*. Tillgänglig: <https://ki.se/imm/kadmium-0> [2018-04-30].

Karolinska Institutet (2017c). *Kvicksilver*. Tillgänglig: <https://ki.se/imm/kvicksilver> [2018-04-30].

Kemikalieinspektionen. (2016a). *Alkylfenoler och deras derivat*. Tillgänglig: <https://www.kemi.se/prio-start/kemikalier-i-praktiken/kemikaliegrupper/alkylfenoler-och-deras-derivat> [2018-05-01].

Kemikalieinspektionen. (2016b). *Ftalater*. Tillgänglig: <https://www.kemi.se/prio-start/kemikalier-i-praktiken/kemikaliegrupper/ftalater> [2018-05-01].

Kemikalieinspektionen. (2012). *Nonylfenoletoxilater*. Tillgänglig: <http://www3.kemi.se/sv/Innehall/Statistik/Kortstatistik/Kortstatistik-over-amnen-och-amnesgrupper/Nonylfenoletoxilater/> [2018-05-01].

Käppala och Urban Water Management (2010). *VÄGLEDNING - SoFi – Source Finder*. Tillgänglig: [http://www.urbanwater.se/sites/default/files/filer/vagledning\\_-\\_sofi.pdf](http://www.urbanwater.se/sites/default/files/filer/vagledning_-_sofi.pdf) [2018-03-15].

Livsmedelsverket (2018). *Koppar*. Tillgänglig: <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/oonskade-amnen/metaller1/koppar> [2018-04-30].

Länsstyrelsen (2018). Personlig kommunikation 2018-04-06.

Naturvårdsverket (2018a). *Gifter och miljö 2017*. ISBN 978-91-620-1301-1. Stockholm: Naturvårdsverket.

Naturvårdsverket (2018b). *Metaller som miljögift*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Manniska/Miljogifter/Metaller/> [2018-04-30].

Naturvårdsverket. (2018c). *Triklorbensener (TCB)*. Tillgänglig: <https://utslappisiffror.naturvardsverket.se/Amnen/Klorerade-organiska-amnen/Triklorbensener/> [2018-05-01].

Naturvårdsverket (2017a). *Krom (Cr)*. Tillgänglig: <https://utslappisiffror.naturvardsverket.se/Amnen/Tungmataller/Krom/> [2018-05-19].

Naturvårdsverket (2017b). *Zink (Zn)*. Tillgänglig: <https://utslappisiffror.naturvardsverket.se/Amnen/Tungmataller/Zink/> [2018-04-30].

Naturvårdsverket (2010). *Rening av avloppsvatten i Sverige*. ISBN 978-91-620-8629-9. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-8629-9.pdf> [2018-04-16].

Naturvårdsverket (2009). *Naftalen*. Tillgänglig: <https://utslappisiffror.naturvardsverket.se/Amnen/Ovriga-organiska-amnen/Naftalen/> [2018-05-19].



Naturvårdsverket. (2008). *Avloppsreningsverkens förmåga att ta hand om läkemedelsrester och andra farliga ämnen*. Rapport 5794. ISBN 978-91-620-5794-7. Naturvårdsverket, Stockholm.

SCB (2018a). *Utsläpp till vatten och slamproduktion 2016*. ISSN Serie MI – Miljö. Utkom den 3 april 2018. URN:NBN:SE:SCB-2018-MI22SM1801\_pdf. Tillgänglig: [https://www.scb.se/contentassets/4d4d22ee07cf4baa9f47e5bab805c00c/mi0106\\_2016a01\\_sm\\_mi22sm1801.pdf](https://www.scb.se/contentassets/4d4d22ee07cf4baa9f47e5bab805c00c/mi0106_2016a01_sm_mi22sm1801.pdf) [2018-04-16].

SCB (2018b). *Folkmängd i riket, län och kommuner 31 december 2017 och befolkningsförändringar 1 oktober–31 december 2017*. Tillgänglig: <http://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/befolkning/befolkningens-sammansattning/befolkningsstatistik/pong/tabell-och-diagram/kvartals--och-halvarsstatistik--kommun-lan-och-riket/kvartal-4-2017/> [2018-05-04].

Svenskt Vatten (2018). *Aktivt uppströmsarbete med Revaq-certifiering*. Tillgänglig: <http://www.svensktvatten.se/vattentjanster/avlopp-och-miljo/kretslopp-och-uppstomsarbete/revaq-certifiering/> [2018-04-17].

Svenskt Vatten (2016). *Hur renas avloppsvattnet*. Tillgänglig: <http://www.svensktvatten.se/fakta-om-vatten/avloppsfakta/hur-renas-avloppsvattnet/> [2018-04-18].

Svenskt Vatten (2013). *Slamanvändning och strategier för slamanvändning*. ISSN 1651-6893. Svenskt Vatten M137.

Sweco. (2016). *Behov av avancerad rening vid avloppsreningsverk - Finns det recipienter som är känsligare än andra?* Rapport för Naturvårdsverket, uppdragsnummer 1156402000

Synlab (2018). *Användarinstruktion till Ecoscope*. Tillgänglig: [http://synlab.se/sites/default/files/Alcontrol/Documents/PDF/SE/Provtagningsinstruktioner/Anvandarinstruktion\\_for\\_Ecoscope\\_180518.pdf](http://synlab.se/sites/default/files/Alcontrol/Documents/PDF/SE/Provtagningsinstruktioner/Anvandarinstruktion_for_Ecoscope_180518.pdf) [2018-06-15]

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

Zorita, S., Mårtensson, L. & Mathiasson, L. (2008) *Occurrence and removal of pharmaceuticals in a municipal sewage treatment system in the south of Sweden*. The Science of the Total Environment 407:2760–2770.

Åtgärdsportalen. (2018a). *Alifater*. Tillgänglig: <http://atgardsportalen.se/fororeningar/alifater> [2018-05-01].

Åtgärdsportalen. (2018b). *Monoaromater*. Tillgänglig: <http://atgardsportalen.se/fororeningar/aromater> [2018-05-01].

Åtgärdsportalen. (2018c). *PAH*. Tillgänglig: <http://atgardsportalen.se/fororeningar/pah> [2018-05-01].

## Bilaga A

### Prioriterade ämnen

#### EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2000/60/EG

### Prioriterade ämnen som provtas i projektet\*

Tabell A1. De 45 prioriterade ämnena enligt 2000/60/EG.

Nr	CAS nr	Ämne
1	15972-60-8	Alaklor
2	120-12-7	Antracen*
3	1912-24-9	Atrazin
4	71-43-2	Bensen
5	x	Bromerade difenyletrar
6	7440-43-9	Kadmium och kadmiumföreningar*
7	85535-84-8	C10-13-kloralkaner (klorerade paraffiner)
8	470-90-6	Klorfenvinfos
9	2921-88-2	Klorpyrifos
10	107-06-2	1,2-Diklorethan
11	75-09-2	Diklormetan
12	117-81-7	Di(2-etylhexyl)ftalat (DEHP)*
13	330-54-1	Diuron
14	115-29-7	Endosulfan
15	206-44-0	Fluoranten*
16	118-74-1	Hexaklorbensen (HCB)
17	87-68-3	Hexaklorbutadien (HCBD)
18	608-73-1	Hexaklorcyklohexan (HCH)
19	34123-59-6	Isoproturon
20	7439-92-1	Bly och blyföreningar*
21	7439-97-6	Kvicksilver och kvicksilverföreningar*
22	91-20-3	Naftalen*
23	7440-02-0	Nickel och nickelföreningar*
24	x	Nonylfenoler*
25	x	Oktylfenoler
26	608-93-5	Pentaklorbensen
27	87-86-5	Pentaklorfenol (PCP)
28	x	Polyaromatiska kolväten (PAH)
-	50-32-8	Benso(a)pyren*
-	205-99-2	Benso(b)fluoranten*
-	207-08-9	Benso(k)fluoranten*
-	191-24-2	Benso(g,h,i)perylene
-	193-39-5	Indeno(1,2,3-cd)pyren
29	122-34-9	Simazin
30	688-73-3	Tributyltennföreningar (TBT)
31	12002-48-1	Triklorbensen*
-	120-82-1	(1,2,4-triklorbensen)
32	67-66-3	Triklormetan (kloroform)
33	1582-09-8	Trifluralin
34	115-32-2	Dikofol

35	1763-23-1	Perfluoroktansulfonsyra och dess derivat (PFOS)
36	124495-18-7	Kinoxifen
37	x	Dioxiner och dioxinlika föreningar
38	74070-46-5	Aklonifen
39	42576-02-3	Bifenox
40	28159-98-0	Cybutryn
41	52315-07-8	Cypermeterin
42	62-73-7	Diklorvos
43	x	Hexabromcyklododekan (HBCDD)
44	76-44-8/1024-57-3	Heptaklor och heptakloreoxid
45	886-50-0	Terbutryn

Tabell A2. Riktlinjer och föreslagna MKN.

<b>Substans</b> ng/l	<b>HVMFS 2013:19</b> Inlandsytvatten	<b>HVMFS 2013:19</b> Kustvatten och vatten i övergångszon	<b>Ecotox Centre</b> Föreslagna MKN Kroniska effekter
Etinylöstradiol	0,035	0,007	0,037
Östradiol	0,4	0,08	0,4
Diklofenak	100	10	50
Ibuprofen			300
Karbamazepin			500
Metoprolol			64000
Naproxen			1700

#### Läkemedel

Tabell A3. Dessa ingår i analyspaketet FARMA1 som analyseras på Främby ARV i projektet.

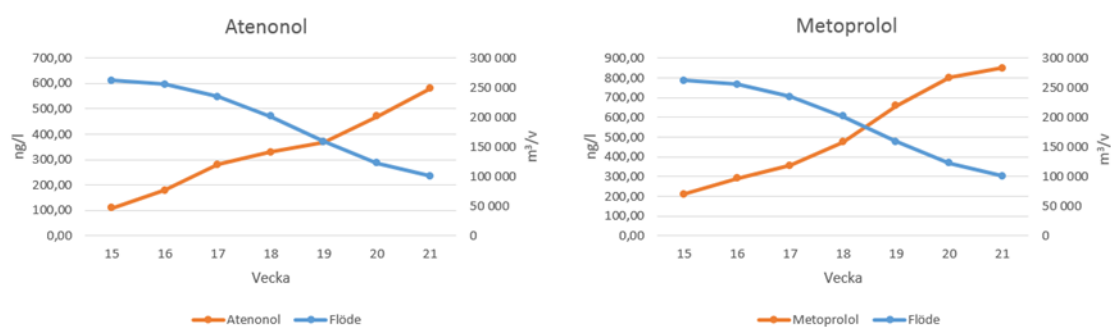
<b>Substans</b>	<b>Funktion</b>
17-alfa-etinylöstradiol	Könshormon
17-beta-östradiol	Könshormon
Östron	Könshormon
Atenolol	Betablockerare
Karbamazepin	Antiepileptika
Diklofenak	Antiinflammatoriskt
Ibuprofen	Antiinflammatoriskt
Ketoprofen	Antiinflammatoriskt
Metoprolol	Betablockerare
Naproxen	Antiinflammatoriskt
Paracetamol	Smärtstillande

Tabell A4. Metallhalt i slam på Främby.

Metall [mg/kg TS]	Främby 2017	Maj 2018
<b>Pb</b>	24	42,5
<b>Cd</b>	3,6	9,8
<b>Cu</b>	590	1050
<b>Cr</b>	19	22,5
<b>Hg</b>	0,5	0,71
<b>Ni</b>	13	13,5
<b>Zn</b>	3050	4450

Tabell A5. Massflöde per år beräknat utifrån massflöde under provtagningsperioden och extrapolerat.

Substans	Inkommande g/år	Utgående g/år
Atenolol	2839	2833
Diklofenak	4726	5069
Karbamazepin	1700	2324
Ketoprofen	2229	1471
Metoprolol	4438	4690
Naproxen	27269	1477



Figur A1. Inkommande halter av betablockerare i relation till flödet under provtagningsperioden.

## Bilaga B

Följande ämnen provtas i projektet:

### Reningsverk, inkommande, utgående och slam

Analys	Rapp.gräns	Analysmetod	Ackrediterad
Bly, Pb	0.2 µg/l	ISO 17294, syrauppslutet	Ja
Kadmium, Cd	0.03 µg/l	ISO 17294, syrauppslutet	Ja
Koppar, Cu	0.5 µg/l	ISO 17294, syrauppslutet	Ja
Krom, Cr	0.5 µg/l	ISO 17294, syrauppslutet	Ja
Kvikksilver, Hg	0.1 µg/l	EN ISO 15587-2, EN 1483	Ja
Nickel, Ni	0.5 µg/l	ISO 17294, syrauppslutet	Ja
Zink, Zn	3 µg/l	ISO 17294, syrauppslutet	Ja

### Reningsverk, inkommande och utgående

Analys	Rapp.gräns	Analysmetod	Ackrediterad
17-alfa-etinylöstradiol	0.02 µg/l	Aqua-Ref MA 12	Ja
17-beta-östradiol	0.02 µg/l	Aqua-Ref MA 12	Ja
Östron	0.02 µg/l	Aqua-Ref MA 12	Ja
Atenolol	0.05 µg/l	DIN 38407-F47	Nej
Karbamazepin	0.01 µg/l	DIN 38407-F47	Nej
Diklofenak	0.05 µg/l	DIN 38407-F47	Nej
Ibuprofen	0.05 µg/l	DIN 38407-F47	Nej
Ketoprofen	0.05 µg/l	DIN 38407-F47	Nej
Metoprolol	0.05 µg/l	DIN 38407-F47	Nej
Naproxen	0.05 µg/l	DIN 38407-F47	Nej
Paracetamol	0.05 µg/l	DIN 38407-F47	Nej

### Reningsverk, inkommande och slam

Analys	Rapp.gräns	Analysmetod	Ackrediterad
Oljeindex i vatten	0.1 mg/l	SS-EN ISO 9377-2, mod	Ja

### Ledningsnät, Ecoscope

Analys	Rapp.gräns	Analysmetod	Ackrediterad
Arsenik, As	- µg/kg	SS-EN ISO 17294-2:2016	Nej
Bly, Pb	- µg/kg	SS-EN ISO 17294-2:2016	Nej
Kadmium, Cd	- µg/kg	SS-EN ISO 17294-2:2016	Nej
Kobolt, Co	- µg/kg	SS-EN ISO 17294-2:2016	Nej
Koppar, Cu	- µg/kg	SS-EN ISO 17294-2:2016	Nej
Krom, Cr	- µg/kg	SS-EN ISO 17294-2:2016	Nej
Nickel, Ni	- µg/kg	SS-EN ISO 17294-2:2016	Nej
Vanadin, V	- µg/kg	SS-EN ISO 17294-2:2016	Nej
Zink, Zn	- µg/kg	SS-EN ISO 17294-2:2016	Nej
Kvikksilver, Hg	- µg/kg	fd. SS-EN 1483:1997	Nej

### Ledningsnät, Ecoscope

Analys	Rapp.gräns	Analysmetod	Ackrediterad
Nonylfenol	0.1 µg/ml	GC-MS, egen metod	Nej
Alifatiska kolväten	1 µg/ml	GC-MS, egen metod	Nej

Etylbensen	0.01 ug/ml	GC-MS, egen metod	Nej
Xylener	0.03 ug/ml	GC-MS, egen metod	Nej
Aromater större än xylen	0.1 ug/ml	GC-MS, egen metod	Nej
Bensylbutylftalat	0.01 ug/ml	GC-MS, egen metod	Nej
Di-(2-etylhexyl)adipat	0.01 ug/ml	GC-MS, egen metod	Nej
Di-(2-etylhexyl)ftalat	0.01 ug/ml	GC-MS, egen metod	Nej
Dietylftalat	0.01 ug/ml	GC-MS, egen metod	Nej
Dimetylftalat	0.01 ug/ml	GC-MS, egen metod	Nej
Di-n-butylftalat	0.01 ug/ml	GC-MS, egen metod	Nej
Di-n-oktylftalat	0.01 ug/ml	GC-MS, egen metod	Nej
Diklorbensener	0.01 ug/ml	GC-MS, egen metod	Nej
Triklorbensener	0.01 ug/ml	GC-MS, egen metod	Nej
Tetraklorbensener	0.01 ug/ml	GC-MS, egen metod	Nej
Acenaften	0.01 ug/ml	GC-MS, egen metod	Nej
Acenaftylen	0.01 ug/ml	GC-MS, egen metod	Nej
Antracen	0.01 ug/ml	GC-MS, egen metod	Nej
Benso(a)antracen	0.01 ug/ml	GC-MS, egen metod	Nej
Benso(a)pyren	0.01 ug/ml	GC-MS, egen metod	Nej
Benso(b+k)fluoranten	0.01 ug/ml	GC-MS, egen metod	Nej
Krysen + Trifenylen	0.01 ug/ml	GC-MS, egen metod	Nej
Fenantren	0.01 ug/ml	GC-MS, egen metod	Nej
Fluoranten	0.01 ug/ml	GC-MS, egen metod	Nej
Fluoren	0.01 ug/ml	GC-MS, egen metod	Nej
Naftalen	0.01 ug/ml	GC-MS, egen metod	Nej
Pyren	0.01 ug/ml	GC-MS, egen metod	Nej
Screening mindre flyktiga	- -	GC-MS, egen metod	Nej