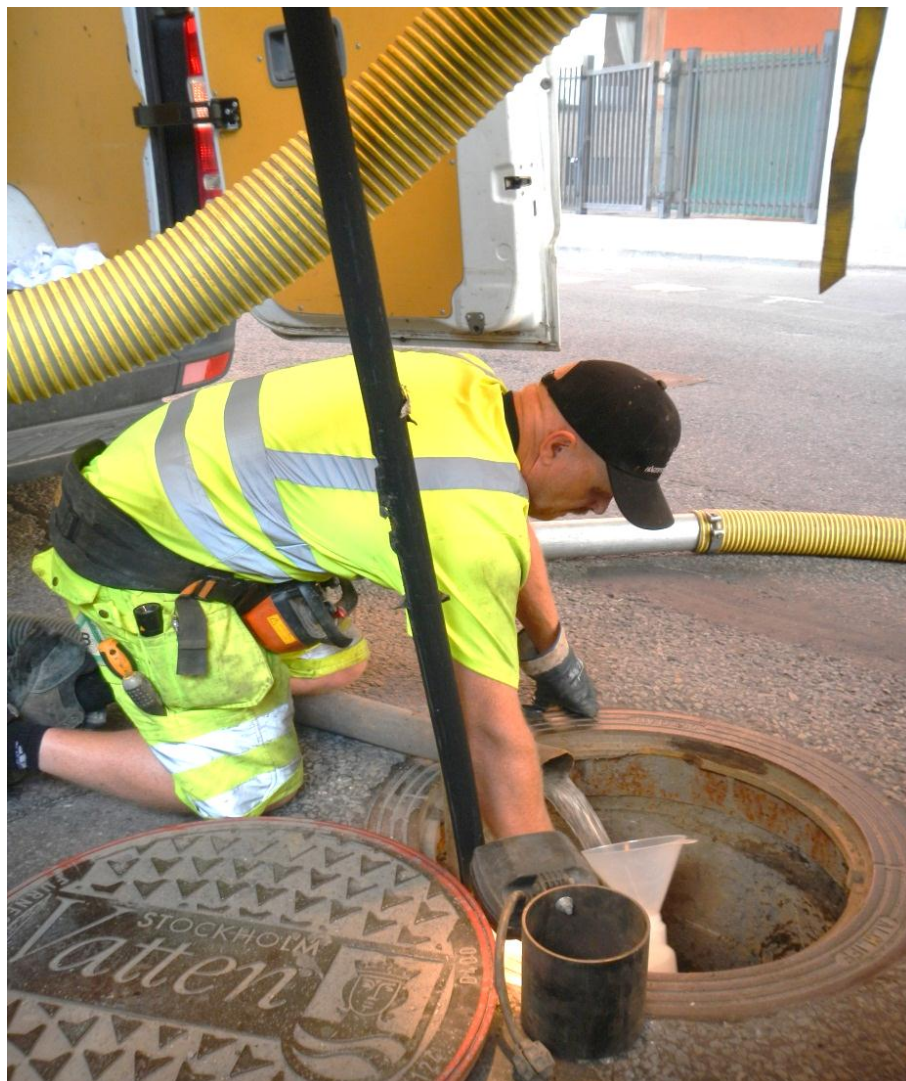


Säker spolning

Försök med tillsats av polymer i spolbil



Kvalitets- och miljöstyrning

Stockholm Vatten AB

2015-01-23

Emma Lilliesköld

Dnr: 14SV899

Försöket initierades och drevs av Emma Lilliesköld, Pia Dromberg och Thomas Ohlson från Stockholm Vatten AB och genomfördes i samarbete med övriga inblandade. Intresse, expertkunskaper och ett gott samarbete resulterade i en ny användbar metod.

Varmt tack till:

*Hjalmar Loeb, Brenntag (tidigare Kemira)
Fredrik Mannström, Polymore*

Jarl Söderholm, Kemira

Anders Byström, Kristoffer Fast, Håkan Pehrson, Göran Gardell, Marcus Holmgren, Sebastian Svarvars, B&B Högtrycksteknik.

*Cajsa Wahlberg, Maria Eriksson, Hanna Langlet och Monika Hallberg,
Stockholm Vatten.*

Sammanfattning

Efter spolningar och andra typer av rensningar i ledningsnätet märks ofta förhöjda metallhalter i reningsverkets slam. Den extra belastning av metaller som kommer till reningsverken beror på att så kallat *släppvatten* innehåller partikelbundna metaller som sedimenterar långsamt, men även att metaller i sedimentet förs vidare vid spolning.

Exempelvis kom det vid ett större ledningsnätsarbete år 2011 in mellan 50-60 kg extra bly till Henriksdals reningsverk vilket gjorde slammet oanvändbart för spridning på åkermark under ett halvår. Det kan ses i förhållande till industrins årliga bidrag på cirka 5 kg.

Idén till detta försök var att testa att tillsätta polymer direkt i spolbilen för att binda de partikulärt bundna metallerna, och därmed förbättra sedimentationen och minska mängderna metaller in till reningsverken.

Försöket genomfördes av en samarbetsgrupp bestående av medarbetare från ett spolbilsföretag (B&B Högtrycksteknik), Stockholm Vatten, polymertillverkaren (Kemira) och det företag som har beredare för polymerlösningar (Polymore).

Metoden att tillsätta polymer direkt i spolbilen visade sig mycket effektiv för att reducera metallhalten i släppvattnet. I släppvattnet avskiljdes 88 % bly och 99 % kvicksilver. För övriga metaller var avskiljningsgraden också god. Mängden metaller som med denna metod hindras att nå reningsverket varje år uppskattas till knappt 1 kg kvicksilver och 11 kg bly. Det motsvarar nära 6 respektive 4 % av den totalt inkommande mängden kvicksilver och bly till Henriksdals reningsverk. Den beräknade mängden gäller endast innerstadsspolningar och inte de spolningar i industriområden där tekniken också används.

Eftersom metoden också visat sig vara praktiskt användbar och kostnaden ringa så används den nu fortlöpande i de områden där sediment i ledningsnätet riskerar vara förorenat. För Stockholm Vattens del gäller det innerstaden och industriområden vilka alltid betraktas som riskområden, men även andra områden om bedömning gjorts att det behövs.

1. Inledning och bakgrund

Sediment med höga metallhalter och organiska föroreningar som kommer in till reningsverken vid kraftiga regn, snösmältning och spolningar bidrar till en ökning av dessa föroreningar i slammet. Det är inte klarlagt hur mycket av föroreningarna som härrör från äldre sediment eller är från dagens dagvattenföroreningar (Wahlberg m fl, 2013). Vid större ledningsnätsarbeten har slammet ibland påverkats så mycket att det pga höga metallhalter inte har gått att lägga på åkermark i upp till ett halvt års tid.

Tillskottet till slammet av föroreningar från ledningsnätets sediment har ökat i relativ betydelse i förhållande till industrins bidrag. Idag är antalet större industrier i Stockholm färre än tidigare och de som finns har oftast en fungerande rening vilket medför att industrierna inte längre står för det mesta av föroreningarna. Däremot finns föroreningar i sedimenten som spår av tidigare verksamheter och trafik. I innerstaden är ledningarna övervägande kombinerade dag- och spillvattenledningar. Källan till höga kvicksilverhalter i sedimentet är främst anslutna aktiva men även nedlagda tandläkarmottagningar medan man antagit att de höga blyhalterna härstammar från den tid när bensinen innehöll bly.

Stockholm Vatten har sedan länge bedrivit ett miljöarbete för att minska mängden oönskade ämnen i inkommande vatten till reningsverken för att förbättra kvalitén på såväl det renade avloppsvattnet som går ut i recipienten som på slammet.

Målen för Stockholm Vattens uppströmsarbete utgår ifrån de krav som ställs på verksamheten utifrån villkor i miljötillståndet, Naturvårdsverkets och REVAQ:s krav men även internt uppsatta mål. Stockholm Vattens slam från Bromma och Henriksdals reningsverk är REVAQ-certifierat sedan 2008. Certifieringen innebär att Stockholm Vatten ska verka för att slammet ska uppfylla de krav som ställs för att det ska kunna användas på åkermark som gödningsmedel.

1.1 Tungmetaller i sediment i Stockholms innerstad

Enligt Stockholm Vattens interna MQ-rutiner gällde tidigare att sedimentprov skulle tas ut, analyseras och bedömmas med avseende på metaller inför spolning av ett område där man misstänkte höga metallhalter. Sedimentproven togs i botten, mitten, ytan för att ge så representativa prover som möjligt.

Sedimentanalyser under 2013

Under 2013 togs därför, i enlighet med ovanstående rutin, 11 stycken sedimentprover som analyserades. De togs i samband med att spolningar eller andra ledningsnätsarbeten skulle utföras. Under de här beskrivna försöken togs sedimentprov ut vid två tillfällen. Det ena sedimentprovet togs ut vid Torsgatan under Barnhusbron (förförsöket) och det andra vid korsningen Adolf Fredriks kyrkogata/Sveavägen. I Tabell 1, Bilaga 3 visas resultaten från alla prover tagna under 2013.

Sedimentscanning 1990-talet

Under åren 1995-96 gjordes en scanning av sedimentet i Stockholm av ett konsultföretag på uppdrag av Stockholm Vatten. Stockholm Vatten gjorde utöver det, tillsammans med några av de anslutna kommunerna, i slutet av 90-talet en undersökning av innehållet av föroreningar i ledningsnätets sediment. Båda undersökningarna sammanfattades i en rapport av Stockholm

Vatten, ”Sammanställning av sedimentanalyser från Stockholm” (Lagerkvist, R. 2000). I Bilaga 3 visas medelvärden från sammanställningen. I första hand var det kvicksilver och bly som utmärkte sig med mycket högre halter i sedimenten än i rötslammet

Jämförelse mellan analyser från 2013 och sedimentscanning 1995-1996

En jämförelse mellan proverna som analyserats under 2013 och de tidigare visas i Bilaga 3. Att medelhalten skiljer sig i så hög grad mellan proven från 2013 och de äldre proven beror på att färre prov togs under 2013 än i den större undersökningen från 1996 där en större scanning var underlag för medelvärden. För bly, silver och kvicksilver är medelhalterna i sedimentet högre 2013 än i den tidigare sammanställningen medan medianerna ligger ungefär på samma nivå. Halterna varierade mycket mellan olika stickprov under 2013 vilket syns i tabellen.

Svårigheter med sedimentprovtagning

Det är svårt att ta representativa sedimentprov då sedimentet inte är homogent och proverna utgörs av lokala stickprov. Sedimentproven från Torsgatan innehöll t ex de hösta metallhalterna men halterna i släppvattnet på samma plats inte var de högsta. Släppvattenanalyserna är troligen mer representativa och skulle kunna ses som ett mått på föroreningsinnehållet i sedimenten. Släppvattnet är som en spegelbild av sedimentets verkliga innehåll. De metallhalter som det provtagna släppvattnet innehöll ligger långt över Stockholm Vattens varningsvärden och skulle aldrig accepteras från en industri.

1.2 Spolningar

Arbeten pågår ständigt i Stockholm Vattens ledningsnät. Det är ledningar som ska bytas, stopp som ska lösas, underhåll, områdesspolningar, men även större tunnelrensningar. I innerstaden görs kontinuerliga spolningar av ledningsnätet då mycket grus och annat material hamnar i de kombinerade ledningarna och vartefter det sätter igen ledningar, se bild 1.

För att få bort igensättningen luckras den upp genom spolning med högtryck varefter sediment och spolvatten sugs upp i spolbilen för att sedimentera. Vattenfasen som kallas *släppvatten* släpps tillbaks till ledningsnätet efter sedimentationen. Sedimentet körs därefter till en deponi på Högbytorp för omhändertagande. Under spolningen sugs naturligtvis inte allt sediment upp i spolbilen, även om det är syftet. En okänd del förs vidare i ledningarna. Den kända delen sediment är den som lämnas in för omhändertagande.

Alla föroreningar som frigörs vid spolningar når inte reningsverken. En del av de metaller och sediment som spolats vidare sedimenterar längre ner i ledningsnätet eller tunnarna, men förr eller senare riskerar metallerna att nå reningsverken.

1.3 Tidigare försök att avskilja metaller i släppvatten

Stockholm Vatten genomförde försök att avskilja metaller i släppvatten 2010 (Frenzel, 2010). Man prövade först i laboratoriemiljö, och sedan gjordes försök att leda släppvatten genom en sedimentationsanläggning för att på så vis avskilja i första hand kvicksilver.

Laborieförsöket gav lovande resultat, medan analyserna från det riktiga försöket visade att en sedimentationsanläggning inte gav tillräcklig rening på grund av för kort uppehållstid.



Bild 1 Spolning av ledning foto Pia Dromberg 2013

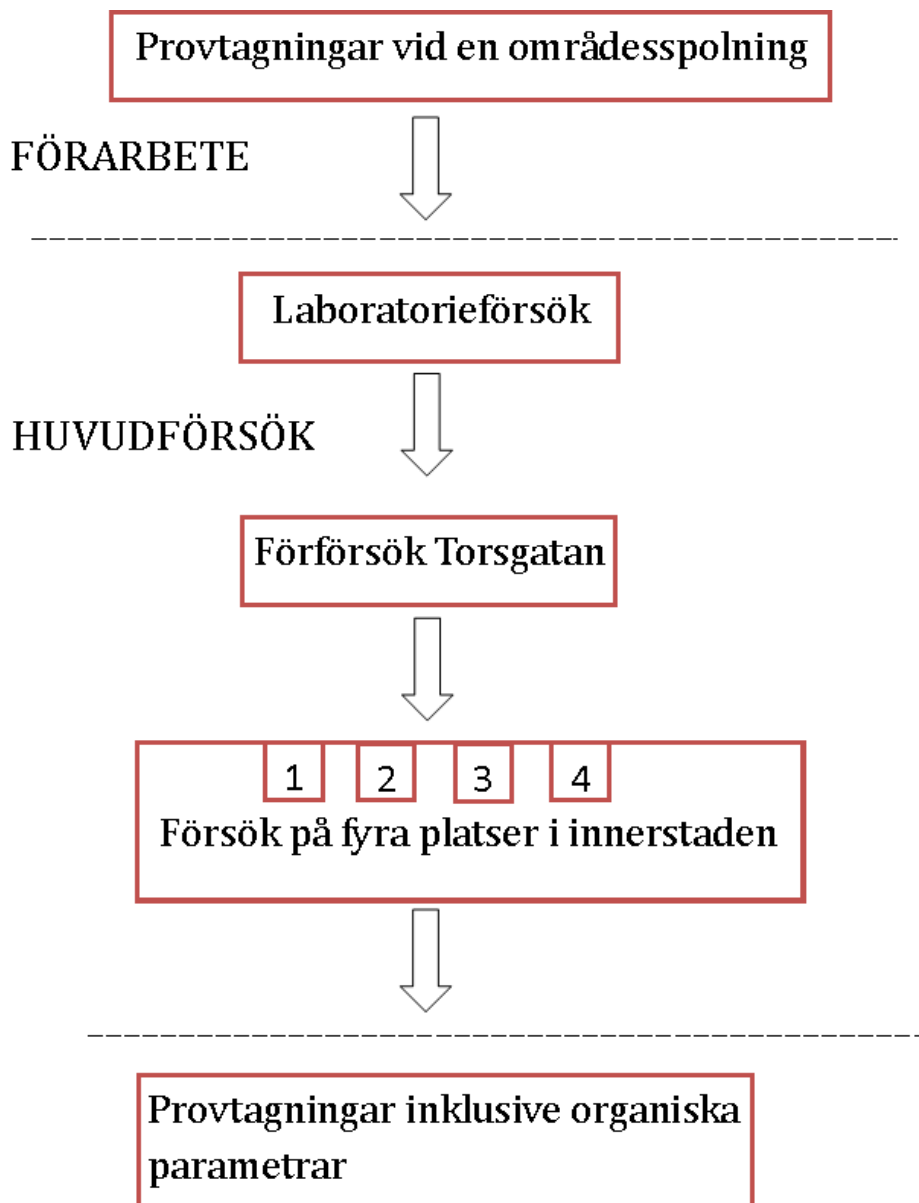
1.4 Förberedelser inför nya försök

Då det tidigare syns påverkan på slammet vid ledningsnätsarbeten så riggades en provtagning i samband med en större spolning i Stockholms innerstad våren 2013, se Bild 2. Detta för att se om förhöjda metallhalter från denna spolning syntes i vattenprover och slam, men även för att få information om hur stor andel av metallerna i släppvattnet som var partikelbundna. Vattenprover togs ut var 20:e minut under tre veckor nedströms spolningen (Karl XII:s pumpstation Västra) och blandades till veckosamlingsprov. Samtidigt togs prover från Henriksdals inkommande vatten och analyserades dygnsvis. Prover togs även ut från släppvatten. Provernas metallinnehåll analyserades både som uppslutet (ofiltrerat) och filtrerat. Filtrering av proverna visade att i genomsnitt 97 % (84-100%) av metallerna i släppvattnet var partikelbundna, och att det var höga metallhalter. Alla analysresultat redovisas i tabellerna i Bilaga 1.

2. Metod

Idén var att pröva om det gick att tillsätta polymerblandning direkt i spolbilen för att optimera sedimentationen av partiklarna, och sedan avskilja vattenfasen. Målet med försöken var att hitta en metod som gav en effektiv avskiljning av metaller och samtidigt var praktiskt möjlig, det vill säga inte tids- eller utrymmeskrävande för de företag som utför spolningsarbetet. I förarbetet, se kap 1.4 och Bilaga 1, visade sig metallerna i släppvattnet vara partikelbundna, och därför skulle polymer fungera bra som flockbildare.

Bild 2 Schema över försöksupplägget



2.1 Laboratorieförsök med släppvatten

Ett laboratorieförsök utfördes på Bromma reningsverk av Kemira (polymertillverkare), se Bild 2. I försöket testades polymer i släppvatten. Släppvatten hade hämtats från en spolning i Stockholms innerstad. Under tömning av släppvattnet togs prov i början, mitten och slutet av en utspolning för att få ett representativt prov. Olika sorter av polymerlösning blandades i flera enliters kärl innehållande släppvatten. Den polymer som gav snabbast synligt resultat visade sig vara samma sort som den som används i Bromma reningsverk för att optimera slamavvattningsprocessen. Polymeren som användes heter Superfloc C1594, och tillverkas av Kemira. Det är en katjonisk polyakrylatbaserad polymer med esterbundna sidokedjor vars kvartära amingrupper ger molekylen positiva laddningar.

Under laboratorieförsöket deltog personal från Stockholm Vattens Ledningsnätsavdelning samt miljöingenjörer, driftschef och anläggningschef på Bromma reningsverk. Ledningsnätsavdelningen tillfrågade därefter ett par spolföretag om de ville delta i ett eventuellt försök att blanda in polymer i spolbilen vid en riktig ledningsspolning och företaget B&B Högtrycksteknik tackade ja.

2.2 Förförsök med polymer i spolbil på Torsgatan

Ett förförsök att testa tekniken i praktiken gjordes vid en spolning på Torsgatan, se omslagsbild och bild 4. Kemira beräknade vilken lösning som borde passa utifrån släppvattnets beskaffenhet, samt hur stor volym som behövdes utifrån hur mycket sedimentblandat vatten som sögs upp per tidsenhet. För att få till rätt lösning gjordes en beredning av polymeren på spolföretagets område av Polymore. Blandningen fördes sen över till en cipaxbehållare. Behållaren togs sedan med på ett släp till platsen för spolningen, se Bild 5. Slangar kopplades från cipaxbehållare till spolbilens sugslang.



Bild 3 Obehandlat släppvatten till vänster, släppvatten med polymer till höger. Från förförsöket på Torsgatan. Foto Emma Lilliesköld 2013.

Provtagning förförsök

Prov av släppvatten togs sen ut av Stockholm Vatten med hjälp av personal från B&B. Prov togs i början, mitten och slutet av spolningen vid två utsläpp av släppvatten. Dubbelprov togs ut och analyserades var för sig. Resultaten från detta första test visade på 57-97% reduktion för de olika metallerna med ett snitt på 80 %. Se Bilaga 2 tabell 2. Resultatet var tillräckligt bra för att påbörja försöken på allvar, inklusive de justeringar som behövdes. Justeringarna gällde detaljen hur slangen från Polymerblandningen skulle fästas till sugslangen på bästa sätt.

Polymeren flockade partiklarna i släppvattnet och bildade en chokladpuddingsliknande massa som tillsammans med sedimentet kördes i spolbilen till Högbypörp för omhändertagande.

2.3 Försök på fyra platser i innerstaden

Under hösten 2013 togs prover på släppvatten ut under fyra tillfällen. Vid varje tillfälle togs prover på både på släppvatten med och utan polymer, och analyserades med avseende på metaller.



Bild4 Provdunkar med släppvatten från försöken där polymer använts dunken till vänster och vanligt släppvatten till höger. Foto Pia Dromberg 2013.

2.3.1 Polymerberedning och dosering

Det här är en generell beskrivning av tillvägagångssätt vid polymerberedning för detta syfte (Jarl Söderholm, Kemira och Fredrik Mannerström, Polymore) och försöken har utförts enligt denna. Beroende på mängd och typ av vatten så kan mängden polymerlösning behöva varieras, men koncentrationen bör för denna applikation inte överstiga 0,2 %.

1. Polymer blandas via beredare med vatten, 0,14 liter polymerlösning per 70 liter vatten, vilket ger koncentrationen 0,2 %.
2. Polymerblandningen får stå i Cipax-behållare och mogna 10 min till några timmar.
3. Till en spolbil på 7-8 kbm behövs ca 500 liter polymerlösning.
4. Cipax-behållaren körs på flak och ställs bredvid spolbilen. Se bild 5 och 6.
5. Slang från Cipax-behållare med polymer fästs på spolbilens sugslang på sugsidan.
6. Dosering av polymer sker vid varje sugning.
7. Sedimentation i spolbilstanken i 20-30 min.

Att tänka på:

Lösningen måste användas inom ett dygn då den sen börjar brytas ner och inte fungerar längre. T ex kan den beredas på eftermiddagen dagen innan den ska användas.

En kraftigare koncentration av polymer i lösningen medför längre hållbarhet men en sämre inblandning. För denna applikation rekommenderas att inte använda en koncentration över 0,2 % . Vid behov är det bättre att använda en ökad volym lösning än en högre koncentration. En viss överdosering är inget som ger någon negativ påverkan. En mycket kraftig överdosering kan ge tillfälliga klumpbildningar i ledningsnätet. För lite polymer kan leda till dålig sedimentering.



Bild 5. Cipaxbehållare med polymerlösning. Foto av Pia Dromberg 2013.

2.3.2 Provtagning

Prover togs ut av släppvatten som inte behandlats med polymer och släppvatten där man tillsatt polymer vid insugningen av vatten och sediment.

Vid varje försökstillfälle togs prover av släppvattnet ut på samma sätt:

- En större mängd prov togs ut i början, mitten och slutet av utspolningen av släppvatten i tre stycken 10 litersdunkar.
- Dunkarna skakades och blandades i lika delar om två liter från vart och ett av de tre delproven i ytterligare en 10-liters dunk.
- Från denna dunk togs dubbelprover om 250 ml ut för metallanalys.

Detta gjordes på samma sätt för släppvatten utan polymer och släppvatten där polymer tillsatts. Mellan 5-7 kubikmeter släppvatten släpptes ut under utspolningen.

Vid varje försökstillfälle analyserades alltså fyra 250 ml-prover; två stycken med polymer och två stycken utan polymer.



Bild 6. Försök och provtagning på Sveavägen. Gul slang från cipaxtank med polymerlösning kopplad till sugslang på spolbilen. Foto Pia Dromberg 2013.

2.4 Provtagning inklusive organiska parametrar

Efter att försöket med de fyra provtagningarna avslutats, analyserades både organiska ämnen och metaller i släppvatten när två tryckledningarna spolades vid Franska Bukten, Slussen, se Bild 7. Det togs ett dubbelprov där proven togs ut på samma sätt som vid tidigare provtagningar, se Resultat 3.2.

2.2.1 Analys

ALS Scandinavia utförde metallanalyserna och Eurofins analyserade de organiska ämnena i prover tagna vid Franska Bukten, Slussen. De metaller och organiska ämnena som analyserades vid samma tillfälle ses i tabell 1.

Metall	Analysmetod	Organiskt ämne	Analysmetod
Ag	1	Benso(a)pyren	3
As	1	Benso(b)fluoranten	3
Bi	1	benso (g,h,i)perylene	3
Cd	1	benso(k)fluoranten	3
Co	1	fluoranten	3
Cr	1	indeno(1,2,3-cd)pyren	3
Cu	1	Butylbenzylftalat (BBP)	4
Hg	2	Di-2-etylhexylftalat (DEH)	4
Mn	1	Dibutylftalat (DBP)	4
Mo	1	Di-iso-decylftalat	4
Ni	1	Dimetylftalat (DMP)	4
Pb	1	Di-n-oktylftalat (DNOP)	4
Sb	1		
V	1		
W	1		
Z	1		

Tabell 1 Metaller och organiska ämnen som analyserades.

Analysmetod 1: enligt EPA-metoder (modifierade) 200.7 (ICP-AES) och 200.8 (ICP-SFMS).

Analysmetod 2: Hg med AFS har skett enligt SS-EN ISO 17852:2008.

Analysmetod 3: HPLC

Analysmetod 4: GC/MS

3. Resultat

Resultat Släppvattens metallinnehåll

I tabell 2 visas halterna i släppvatten utan polymertillsats från de fyra försöken i innerstan samt förförsöket på Torsgatan., Här redovisas även medel- och medianvärden samt beräknad metallhalt för inkommande vatten till Henriksdal under 2013. I kolumnen längst till höger anges förhållandet mellan medianhalt i släppvatten halten i inkommande vatten till Henriksdal. De flesta metaller, men framförallt kvicksilver och bly, sticker ut med mycket högre halter i släppvattnet jämfört med inkommande vatten till Henriksdal.

Metall / $\mu\text{g/l}$	Försök 1	Försök 2	Försök 3	Försök 4	Förförsök	Medel släppvatten	Median släppvatten	Inkommande Henriksdal beräknat	Median släppvatten / Ink H-dal
Ag	39	10	60	12	2,0	30	21	0,60	35
As	34	20	60	6,0		30	30	1,0	30
Bi	9,0	5,0	10	0,10	3,0	7,0	6,0	1,2	5,0
Cd	7,0	2,0	9,0	1,0	0,40	5,0	3,5	0,13	27
Co	46	28	76	7,0	4,0	40	34	0,5	68
Cr	250	120	300	30	19	180	150	3,2	46
Cu	1700	1400	3800	290	170	1800	1500	68	22
Hg	150	15	98	31	1,0	73	52	0,12	430
Mn	1300	790	1400	200	200	970	880	51	17
Mo	16	15	33	9,0		18	16	2,5	6,4
Ni	220	80	257	29	19	150	120	5,8	20
Pb	1800	370	2100	540	49	1200	890	3,2	270
Sb	26	8,0	37	10	2,0	21	16	0,38	41
V	180	110	205	20		130	150		
W	30	17	18	3,0	8,0	19	18	1,2	15
Zn	2700	1400	3900	440	420	2200	1800	120	15

Tabell 2. Halter, medel- och medianvärden i släppvattenprover utan polymertillsats samt beräknad metallhalt för inkommande vatten till Henriksdal under 2013. I kolumnen längst till höger anges förhållandet mellan medianhalt i släppvatten och beräknad metallhalt i inkommande vatten till Henriksdal. Tomma rutor betyder att metallen inte analyserats.

Resultat Avskiljning av metaller i släppvatten med hjälp av polymer

Tabell 3 visar hur metodens effektivitet mätts genom att analyser av släppvatten med och utan polymer jämförts för att se hur mycket av de partikulära metallerna som polymeren binder och på så vis avskiljer. Detta är baserat på medelhalter av metaller från de fyra försökstillfällena. Resultaten visar att alla metaller reducerades med stor framgång. Alla utom molybden visade en reduktionsgrad på 85 %, de flesta långt över 90 %. Bly reducerades med 88 % och kvicksilver med 99 %.

Metall	Utan polymer µg/l	Med polymer µg/l	Avskiljningsgrad %
Ag	30	0,6	98
As	30	2,6	91
Bi	5,9	0,2	96
Cd	4,7	0,2	96
Co	39	2,0	95
Cr	170	6,4	96
Cu	1800	56	97
Hg	73	0,5	99
Mn	920	61	93
Mo	18	5,1	73
Ni	150	8,9	94
Pb	1200	150	88
Sb	20	3,1	85
V	130	4,7	96
W	17	1,2	93
Zn	2100	121	94

Tabell 3 visar medelhalterna av metaller i släppvatten från de fyra försökstillfällena, med och utan polymer samt avskiljningsgraden.



Bild 7. Spolarbete med polymermetoden vid Franska Bukten. Foto Emma Lilliesköld 2014

Resultat från Franska bukten, Slussen

Analysresultatet visade på en avskiljning av de organiska ämnena på mellan 21-97%. och i medeltal 70 %, se bilaga 5, tabell 1. Dimetylfthalat ökade efter tillsats av polymer. Det fanns i låga halter och kan vara artefakt från provtagningen eller beror på svårigheter med analys av så låga halter. Ämnena finns dock inte i polymeren (Jarl Söderholm, Kemira). De ämnen som bäst avskiljdes var di-2-ethylxyftalat och fluoranten med 97 respektive 94 %. Se Bilaga 5 tabell 1.

Vid denna provomgång analyserades även metaller. Det var mycket lite sediment i ledningen som spolades vid detta tillfälle och halterna av metaller innan polymertillsats var mycket lägre än i släppvattnet som analyserades vid de tidigare försöken. Halterna låg i medeltal på 17 % av metallhalten i de tidigare släppvattnen. Avskiljningsgraden blev lägre, 80 % i medeltal med medianen 85 %. Men metallhalterna efter polymertillsatsen var trots detta lägre än halterna i tidigare släppvatten där polymer använts, se Bilaga 5, tabell 2.

4. Diskussion

Beräkning av släppvatten som metallkälla begränsat till innerstadsspolningar

Här är bara spolningar i innerstaden medräknade. Räknar man med mängden metaller avskilda vid spolningar i industriområden skulle den avskilda metallmängden bli ännu högre.

Resultaten visar att släppvattnet är en betydande metallkälla för reningsverket och då speciellt för bly och kvicksilver. I tabell 5 jämförs mängden metaller som kan avskiljas från släppvattnet med hjälp av polymermetoden med den totala mängden inkommande metaller till Henriksdal under 2013. Under ett år skulle 11 kg bly och 0,6 kg kvicksilver, kunna avskiljas. Det motsvarar nära 4 respektive 6 % av den totala mängden av de metallerna i årligt inkommande till Henriksdal. Mängden släppvatten uppgår bara till 0,01 % av den totala mängden inkommande vatten.

Mängden avskild metall är beräknad utifrån antagandet att antalet spoldagar i innerstaden uppgår till 400 stycken vilket antagligen är i underkant. Varje spoldag släpps 24 kubikmeter släppvatten ut (Thomas Ohlsson, Stockholm Vatten). Volymen släppvatten blir då $24 \cdot 400 = 9600$ kubikmeter. För beräkningarna har medelvärdena av metaller i släppvatten från tabell 3 använts. I tabell 5 redovisas även den beräknade totala mängden metaller som nådde Henriksdals reningsverk under 2013 med ett inkommande flöde på 91 miljoner kubikmeter.

Metall	Ag	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn	W
Avskiljt i kg i släppvatten	0,2	0,1	0,04	0,3	1,7	14	0,6	10	1,4	11	0,1	19	0,2
Henriksdal inkommande 2013, kg	53	110	12	44	290	6200	11	4700	530	290	35	11000	110
Avskiljt i % av inkommande	0,5	0,1	0,3	0,8	0,6	0,2	5,7	0,2	0,3	3,7	0,4	0,2	0,1

Tabell 5. Mängd metaller som avskiljs med polymer, mängd metaller totalt in till Henriksdals reningsverk 2013 samt andelen metaller i procent som kan avskiljas med polymermetoden av den totala mängden som kommer in till Henriksdal under ett år.

Andra metallkällor

Ovanstående resultat av beräkning kan jämföras med andra källor till metaller i inkommande avloppsvatten. Stockholm Vatten har tidigare uppskattat de relativa bidragen av metaller från olika källor (Stockholm Vatten, tårtdiagram, 2007). Större källor till bly var dagvatten och biltvättar som uppskattades bidra med 22 respektive 10 % medan hushåll uppskattades stå för 43 %. Större mängder kvicksilver antogs komma från amalgam i tänder, runt 70 %, och amalgam från tandläkarkliniker, ca 12 %.

Betydelsen av avskiljningen

De metallhalter som det provtagna släppvattnet innehöll ligger långt över Stockholm Vattens varningsvärden och skulle aldrig accepteras från en industri. En avskiljning med hjälp av polymermetoden sker också av flera andra metaller, t ex kadmium. Även om man med denna metod bara tar hand om ca 0,3 % av den mängd kadmium som kommer in till verket årligen

från innerstadsspolningar så utgör det en viktig del i arbetet med att minska mängderna av denna metall i slam.

Dessa försök har visat att halterna av de partikelbundna metallerna reduceras kraftigt med hjälp av polymerblandning i spolbilen och är ett sätt att minska mängden inkommande metaller till reningsverket och slammet. Genom att använda polymer i spolbil finns en möjlighet att vid områdesspolningar av ledningar utföra en säker spolning.

Eftersom metoden visat sig vara praktiskt användbar och kostnaden låg har nu säker spolning införts som standard vid Stockholm Vattens områdesspolningar i innerstan och industriområden vid alla tillfällen där det är möjligt. Vi valt att betrakta alla sediment i innerstaden som risksediment då analyserna visar mycket olika halter för olika prover. Ibland kan metoden behöva användas även i andra områden, om det t ex funnits eller finns tandläkare anslutna till de ledningar som ska spolas.

Sedimentens innehåll

Det är svårt att ta representativa sedimentprov då sedimentet inte är homogent och proverna utgörs av lokala stickprov. Sedimentproven från Torsgatan innehöll t ex de hösta metallhalterna men halterna i släppvattnet på samma plats var inte de högsta. Släppvattenanalyserna är troligen mer representativa och skulle kunna ses som ett mått på föroreningsinnehållet i sedimenten.

Halterna av metaller i sedimenten i ledningsnätet verkar inte ha förändrats nämnvärt sedan mitten av 1990-talet. För bly låg medianen på samma som från tidigare undersökning (Ragnar Lagerkvist, 2000) vilket är både intressant och förvånande då bly i bensin försvann för länge sedan och även har minskat i atmosfäriskt nedfall. Mängden bly in till Henriksdals reningsverk är idag bara en tredjedel jämfört med mitten av 1990-talet.

Fortsatt arbete

Mängden sediment som förs bort med spolbilarna är känd eftersom den tas omhand vid Högbytorps kretsloppsanläggning till ett pris per ton. Högbytorp gör analyser för varje parti som kommer och det vore intressant att jämföra mängden metaller i dessa sedimentlaster från ledningsspolningar i Stockholm med de beräknade avskilda mängderna per år i detta projekt. Då skulle man få ett kvitto på om analyser och beräkningar stämmer någorlunda.

Det finns andra områden där tillsats av polymer troligen skulle göra nytta för att effektivisera en sedimentation och avskiljning av partikelbundna metaller. Det skulle till exempel vara intressant att testa en liknande metod vid rensningar av stora avloppstunnlar då stora mängder vatten hanteras och där reningsverkens slam påverkas kraftigt. Övriga användningsområden skulle till exempel kunna vara rening av golvscurvatten från verkstäder samt vatten från länshållning och gatusopning.

Bilagor förteckning

Bilaga 1 Analyser från en områdesspolning

Bilaga 2 Sammanställning släppvatten Torsgatan, förförsök

Bilaga 3 Sammanställning sedimentprover 2013

Bilaga 4 Sammanställning släppvattenprover försöket

Bilaga 5 Organiska ämnen och metaller, provtagning utanför försöket

Referenser

Wahlberg C, Lagerkvist R, Pettersson M. ,” Increased loads of hazardous substances to the Stockholm municipal WWTPs due to heavy rainfalls, snowmelt and maintenance of the sewerage system”. Muntlig presentation på IWA Conference on Holistic Sludge Management, Västerås(2013)

Frenzel M.”Tungmetallavskiljning vid områdesspolningar”, Stockholm Vatten (2010)

Lagerkvist R., ”Sammanställning av sedimentanalyser från Stockholm Vattens ledningsnät”. Stockholm Vatten Rapport nr 36, (2000).

Muntliga referenser:

Fredrik Mannström, Polymore

Jarls Söderholm, Kemira

Hjalmar Loeb, Brenntag

Thomas Ohlsson, Stockholm Vatten AB

Bilaga 1 Analyser från en områdesspolning

Provtagning vid en områdesspolning på Sveavägen mars 2013. Metallhalter från prov av släppvatten, dygnsprover i inkommande Henriksdal och veckosamlingsprover från Karl X1V pumpstation strax nedströms spolområdet. Meningen var att se hur vatten nedströms påverkades under spolningen.

I tabell 1 ses partikelbundna metaller i släppvatten i prov från en spolning. Här visas den uppslutna halten metaller ("ofiltrerat") och halten metaller efter filtrering (filtrerat). Delen partikelbundna metaller ses i kolumnen längst till höger redovisat i procent.

		Pb	Cd	Co	Cu	Cr	Hg	Ni	Ag	W	Zn
Sveavägen A	ofiltrerat	4300	32	270	18000	1000	190	1100	260	77	22000
	filtrerat	0,9	<0,02	8,2	0,7	<0,2	<0,05	35	<0,1	0,5	53
Sveavägen B	ofiltrerat	1000	5,9	64	3000	250	15	270	82	20	4200
	filtrerat	1,5	<0,02	10	0,7	<0,2	<0,05	42	<0,1	<0,26	20
Sveavägen C	ofiltrerat	1300	5,0	53	2400	160	34	190	65	13	4600
	filtrerat	1,4	<0,02	4,5	0,6	<0,2	<0,05	17	<0,1	1,2	17

Tabell 1. Partikelbundna metaller i släppvatten, ug/l och %.

I tabell 3 visas metallanalyser (uppslutna) från fyra veckosamlingsprov i Karl XII's pumpstation.

2013	Mn	Sb	Pb	Cd	Co	Cu	Cr	Hg	Ni	Ag	W	Zn	Bi
V 1	36	0,76	3,2	0,16	1,3	70	2,6	0,06	4,0	0,50	0,82	160	1,0
v 2	34	0,66	2,4	0,09	1,0	60	2,3	0,05	3,7	0,50	0,85	110	0,96
V 3	38	0,51	2,7	0,10	1,0	69	2,7	0,06	3,9	0,54	0,82	120	1,4
V 4	34	0,50	2,8	0,10	1,0	58	2,3	0,07	3,6	0,74	0,53	91	1,1
Medel ug/l	36	0,61	2,8	0,11	1,1	64	2,5	0,06	3,8	0,57	0,76	120	1,1

Tabell 3. Veckosamlingsprov metallhalter, ug/l, under fyra veckor Karl XII pumpstation

I tabell 2 visas metallhalter (uppslutna) i dygnsprover uttagna under tre veckor i Henriksdalsinloppet under tiden för en större akutspolning i innerstaden.

2013	Mn	Sb	Pb	Cd	Co	Cu	Cr	Hg	Ni	Ag	W	Zn	Bi
25-feb	38,0	0,6	1,8	0,2	<1	71,0	2,1	0,1	4,4	0,6	1,3	100,0	1,8
26-feb	38,0	0,8	2,1	0,4	<1	64,0	2,7	<0,1	4,6	<0,5	0,9	99,0	1,7
27-feb	37,0	0,9	<0,5	0,1	<1	63,0	2,3	0,1	4,3	0,7	1,0	110,0	1,5
28-feb	36,0	0,5	1,9	0,1	<1	61,0	2,3	<0,1	4,5	0,7	1,0	110,0	1,5
01-mar	42,0	0,7	2,5	0,2	<1	68,0	2,8	<0,1	5,0	0,7	1,6	120,0	1,6
02-mar	38,0	0,6	2,2	0,2	<1	64,0	3,2	<0,1	4,5	<0,1	1,4	120,0	1,2
03-mar	33,0	<0,5	1,4	0,1	<1	64,0	1,9	<0,1	4,2	0,5	0,7	97,0	1,6
04-mar	39,0	0,6	3,8	0,2	<1	73,0	2,7	0,1	5,0	0,9	1,0	110,0	1,8
05-mar	46,0	0,6	4,4	0,1	1,1	74,0	4,1	<0,1	4,9	0,7	1,5	110,0	1,8
06-mar	50,0	0,7	3,7	0,2	1,2	87,0	4,2	0,2	5,6	1,0	1,7	180,0	2,4
07-mar	36,0	<0,5	2,4	0,1	<1	70,0	2,4	0,1	4,3	0,8	0,7	98,0	1,5
08-mar	37,0	<0,5	2,2	0,1	<1	80,0	2,2	<0,1	4,8	0,7	0,8	110,0	1,9
09-mar	30,0	<0,5	1,6	0,1	<0,1	55,0	1,7	<0,1	3,7	<0,1	0,5	98,0	1,4
10-mar	30,0	<0,5	1,4	0,1	<1	56,0	2,6	<0,1	5,0	<0,1	<0,5	89,0	1,6
11-mar	35,0	<0,5	1,5	0,1	1,1	43,0	1,7	0,5	4,2	0,7	<0,5	86,0	1,1
12-mar	42,0	0,6	2,4	0,2	<1	72,0	2,2	0,8	4,2	0,8	0,7	130,0	1,9
13-mar	43,0	0,6	2,5	0,2	1,3	69,0	2,4	0,2	4,5	1,0	0,7	130,0	1,9
14-mar	40,0	<0,5	2,2	0,2	<1	85,0	2,3	0,1	4,2	0,7	0,8	130,0	1,7
15-mar	35,0	<0,5	2,1	0,1	<1	63,0	2,0	0,2	4,1	1,0	0,6	120,0	1,5
16-mar	43,0	<0,5	1,6	0,1	<1	62,0	1,9	<0,1	4,3	<0,5	0,6	130,0	1,8
17-mar	43,0	0,5	1,9	0,2	1,5	70,0	2,2	0,1	4,8	0,5	0,7	130,0	2,3
Medelhalt ug/l	38,6	0,6	2,3	0,2	1,2	67,3	2,5	0,2	4,5	0,7	0,9	114,6	1,7

Tabell 2 Dygnsprov av inkommande vatten i Henriksdalsinloppet under tre veckor 2013. Uppsluten metallanalys i ug/l.

Bilaga 2 Sammanställning släppvatten Torsgatan, förförsök

Tabell 1 visar metallhalter, uppslutet och filtrerat, från två utspolningar där varje prov är en sammanblandning av tre stickprov uttagna i början, mitten, slutet av utspolning. Tabell 2 visar medelvärden av metallhalter i släppvatten utan polymer och med polymer och reduktion av metallhalt mha polymer i procent.

	Torsg 1		Torsg 2	
	Upplöst	Filtrerat	Upplöst	Filtrerat
Bi	3,2	<0,05	2,8	0,06
Cd	0,37	<0,05	0,39	<0,05
Co	4,7	0,56	3,2	0,63
Cr	19	<0,5	19	<0,5
Cu	170	8,0	170	7,5
Hg	0,54	<0,02	1,2	<0,02
Mn	280	100	110	32
Ni	16	4,3	22	<7,44
Pb	32	0,31	65	0,47
Sb	2,3	0,28	1,7	<0,5
Zn	490	69	350	72
Ag	1,6	<0,5	2,1	<0,5
W	8,4	<0,5	7,1	<0,5

Tabell 1. Metallhalt medelvärden ug/l, uppslutet och filtrerat från två släppvattenutsläpp (Torsgatan 1 och Torsgatan 2).

	Utan polymer	Med polymer	Reduktion
Metall	Tot halt ug/l	Tot halt ug/l	%
Bi	3,0	0,14	95
Cd	0,40	0,05	86
Co	4,0	0,71	82
Cr	19	2,3	88
Cu	170	38	78
Hg	0,90	0,03	97
Mn	200	32	84
Ni	19	5,1	73
Pb	49	15	68
Sb	2,0	0,87	57
Zn	420	74	82
Ag	1,8	0,50	72
W	7,8	2,0	74

Tabell 2. Metallhalt ug/l med och utan polymer, reduktion av metallhalt i procent.

Bilaga 3 Sammanställning sedimentprover 2013

Sedimentprov uttagna av Stockholm Vatten vid 2013 års spolningar i City samt vid ledningsnätsarbeten på andra ställen.

Provtagning	Ag	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn	V	W
Sveavägen 48	17		0,39		45		0,74		22	62		320		
Sveavägen 48	15		0,44		49		15		34	62		270		
Sveavägen 48	6,9		0,21		53		0,66		33	120		220		
Torsgatan 2013 juni	190	8,5	1,0	9,2	50	1200	950	330	46	13000	110	1200	37	22
Sveav/Adolf Fredrik	130	4,8	1,3	10	63	1200	450	3,3	54	7000	310	750	38	
Sveavägen/odengatan	14	2,5	0,87	14	70	410	40	340	55	520	2,2	550		5,2
Bromma breddmagasin			0,16	6,0	31	110	<1	190	21	1300		160	23	
Bromma breddmagasin			0,31	2,2	19	120	<1	170	10	12		200	8,2	
Underverket	<0,81	0,30	0,11	6,2	87	80	0,09		34	60		140		1,1
Underverket	1,7	0,7	0,46	6,6	75	180	0,42		37	110		550		1,7
Västra inloppstuben Henriksdal	3,1		0,61	6,2	53	260	1,6		26	120		570		
Median 2013	15	2,5	0,44	6,4	53	220	1,6	190	34	120	110	320	30	3,5
Median (Lagerkvist, R, 2000)		9,0	1,0	12	30	190	2,0	160	11	120		430	24	7
slam medel H-dal 2013	2,5	7,8	0,77	5,1	21	410	0,74	160	20	20	1,5	560	29	7,7

Tabell 1 Analys av sediment från två försökstillfällen med polymertillsatts i spolbilen * samt övriga sedimentanalyser utförda under 2013 i jämförelse med Sammanställning av sedimentanalyser (Lagerkvist, R, 2000) och halt i slam 2013. Enhet mg/kg TS

Bilaga 4 Sammanställning släppvattenprover från försöket

I tabellerna ses medelvärdet för avskiljning av metaller i släppvatten med polymer, från vardera av de fyra försöksomgångarna. Här det den uppslutna metallhalten i släppvatten utan polymer som jämförts med den uppslutna metallhalten i släppvatten med polymerblandning.

Metall / ug/l	Utan polymer	Utan polymer	Medel, Utan Polymer	Med polymer	Med polymer	Medel, Med polymer	Avskiljning %
Ag	39	38	39	0,50	0,50	0,50	99
As	34	33	34	2,0	2,1	2,1	94
Bi	7,4	11	9,0	0,6	0,12	0,37	96
Cd	6,7	7,2	6,9	0,11	0,12	0,12	98
Co	46	46	46	0,50	0,7	0,6	99
Cr	240	260	250	2,2	2,8	2,5	99
Cu	1700	1700	1700	26	31	28	98
Hg	150	140	150	0,16	0,28	0,22	100
Mn	1300	1300	1300	33	35	34	97
Mo	16	16	16	2,1	2,2	2,1	87
Ni	220	220	220	7,2	7,8	7,5	97
Pb	1800	1800	1800	50	55	52	97
Sb	26	26	26	3,5	3,4	3,4	87
V	170	190	180	2,6	3,4	3,0	98
W	32	28	30	0,36	0,43	0,40	99
Zn	2700	1800	2700	70	79	74	97

Tabell 1. Försöksomgång 1 på Sveavägen den 30 september 2013. Analys av metallhalt i ug/l i släppvatten med och utan polymer. Avskiljning i procent.

Metall / ug/l	Utan polymer	Utan polymer	Medel, Utan Polymer	Med polymer	Med polymer	Medel, Med polymer	Avskiljning %
Ag	11	8,5	10	0,50	0,50	0,50	95
As	21	19	20	3,9	3,5	3,7	82
Bi	4,8	4,5	4,6	0,53	0,14	0,33	93
Cd	2,0	1,9	1,9	0,31	0,21	0,26	87
Co	29	27	28	4,4	3,6	4,0	85
Cr	120	110	120	10	5,5	7,9	93
Cu	1400	1300	1400	130	60	96	93
Hg	16	15	15	0,9	0,40	0,7	96
Mn	810	770	790	50	37	44	94
Mo	16	14	15	11	10	11	29
Ni	84	76	80	10	10	10	87
Pb	370	350	360	32	27	29	92
Sb	8,9	7,4	8,1	6,6	5,2	5,9	27
V	110	110	110	8,7	6,6	7,6	93
W	17	17	17	2,6	2,8	2,7	84
Zn	1400	1400	1400	110	96	100	93

Tabell 2. Försöksomgång 2 på Sveavägen den 2 oktober 2013. Analys av metallhalt i ug/l i släppvatten med och utan polymer. Avskiljning i procent.

Metall / ug/l	Utan polymer	Utan polymer	Medel, Utan Polymer	Med polymer	Med polymer	Medel, Med polymer	Avskiljning %
Ag	59	60	60	1	1,51	1,0	98
As	60	59	60	2,6	3,3	2,9	95
Bi	9,2	10	10	0,09	0,24	0,16	98
Cd	8,5	9,3	8,9	0,26	0,32	0,29	97
Co	76	76	76	1,8	2,9	2,3	97
Cr	300	300	300	8,3	18	13	96
Cu	3900	3600	3800	38	78	58	98
Hg	100	96	98	0,28	1,9	1,1	99
Mn	1400	1400	1400	110	150	130	91
Mo	33	34	33	3,2	3,5	3,4	90
Ni	260	260	260	10	16	13	95
Pb	2200	2100	2100	370	550	460	78
Sb	37	36	37	1,6	2,3	1,9	95
V	210	200	200	5,1	7,9	6,5	97
W	18	19	18	0,9	1,1	1,0	95
Zn	3800	3800	3800	150	290	220	94

Tabell 3. Försöksomgång 3 på Sveavägen den 9 oktober. Analys av metallhalt i ug/l i släppvatten med och utan polymer. Avskiljning i procent.

Metall / ug/l	Utan polymer	Utan polymer	Medel, Utan Polymer	Med polymer	Med polymer	Medel, Med polymer	Avskiljning %
Ag	11	13	12	0,50	0,56	0,53	96
As	6,3	5,6	5,9	1,6	1,7	1,7	72
Bi	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0
Cd	1,2	1,1	1,2	0,14	0,09	0,12	90
Co	7,5	6,5	7,0	0,86	0,79	0,83	88
Cr	32	27	30	1,8	1,8	1,8	94
Cu	310	270	290	46	34	40	87
Hg	27	35	31	0,18	0,28	0,23	99
Mn	210	190	200	38	36	37	82
Mo	9,4	8,5	8,9	4,0	4,2	4,1	54
Ni	32	26	29	5,7	5,3	5,5	81
Pb	580	490	540	88	33	61	89
Sb	12	9,2	10	1,2	1,1	1,1	89
V	20	19	20	1,8	1,3	1,6	92
W	2,9	2,9	2,9	0,57	0,61	0,59	80
Zn	450	430	440	90	77	83	81

Tabell 4. Försöksomgång 4 på Sveavägen den 4 november 2013. Analys av metallhalt i ug/l i släppvatten med och utan polymer. Avskiljning i procent.

Bilaga 5 Organiska ämnen och metaller, provtagning utanför försöket

I tabell 1 redovisas halten analyserade organiska ämnen i medelvärde från dubbelprov. Prov från släppvatten med och utan polymer. Avskiljningen redovisas i procent.

I tabell 2 redovisas analyserade halten metaller av medelvärdet från dubbelprov. Prov från släppvatten med och utan polymer. Avskiljningen redovisas i procent.

Ämne / µg/l	Utan polymer	Med Polymer	Reduktion %
Benso(a)pyren	0,01	<0,003	79
Benso(b)fluoranten	0,03	0,004	86
Benso(ghi)perylene	0,02	<0,003	80
Benso(k)fluoranten	0,01	<0,003	62
Fluoranten	0,05	<0,003	94
Indenol(1,2,3-cd)pyren	0,00	<0,003	21
Butylbenzylftalat	4,6	0,64	86
Di-2-ethylxyftalat	67	2,2	97
DBP	0,5	0,26	51
DEP	2,2	2,3	-4,5
Di-iso-decylftalat	53	9,3	82
Di-iso-nonylftalat	73	45	38
Dimetylftalat	<0,20	<2,0	-
Di-n-oktylftalat	0,27	<0,10	63

Tabell 1. Halten organiska ämnen µg/l med och utan polymer och avskiljning i procent.

Metall / µg/l	Utan polymer	Med polymer	Reduktion %
Ag	1,1	0,50	52
Bi	1,9	0,06	97
Cd	0,21	0,05	76
Co	3,7	0,68	82
Cr	13	0,90	93
Cu	140	12	91
Hg	1,6	0,02	99
Mo	6,9	1,7	75
Ni	15	4,9	67
Pb	31	1,8	94
W	22	2,7	88
Zn	290	23	92

Tabell 2. Halten metaller ug/l med och utan polymer och avskiljning i procent.