

Avskiljning av läkemedelsrester med granulerat aktivt kol

Försök vid Himmerfjärdsverket

För SYVAB

Mats Ek
Projektledare

Rune Bergström

Christian Baresel

2013-10-21

Arkivnummer: U4492

Rapporten granskad av:
Staffan Filipsson

Innehållsförteckning

Bakgrund.....	2
Uppställning.....	2
Analys.....	3
Läkemedelsrester.....	3
Resultat.....	6
Driftserfarenheter.....	6
Avskiljning av läkemedelsrester.....	6
Övriga parametrar.....	12
Diskussion.....	13
Avskiljningsförmåga.....	13
Kolets kapacitet.....	13
Sorptionshastigheten.....	14
Igensättning.....	14
Kostnad för kolet.....	14
Referenser.....	15

Bakgrund

SYVAB vill inför den kommande ombyggnaden av verket belysa olika möjligheter att med extra polerstepg effektivt avlägsna olika organiska prioriterade föroreningar, som läkemedelsrester, ur biologiskt renat avloppsvatten. IVL Svenska Miljöinstitutet AB (IVL) har därför genomfört försök med kolbehandling av renat vatten från pilotanläggningen med MBR.

Uppställning

Reningssteget bestod av två seriekopplade kolonner med fyllning av granulerat aktivt kol enligt figur 1.



Figur 1. Försöksupställning för poleringsteget med aktivt kol.

Varje kolonn bestod av ett 200 cm högt genomskinligt rör av PVC, med inre diameter 150 mm. Varje kolonn innehöll ca 7 kg kol (Filtrisorb 400, Chemviron Carbon). Det gav en kolbädd på ca 80 cm i varje kolonn. I botten av kolonnerna satt en centralt placerad dysa, omgiven av grovt grus. Partikelfritt vatten från MBR-piloten pumpades in i toppen av den första kolonnen med en slangpump (WatsonMarlow 620Du) med variabelt flöde (0-600 l/tim). Från botten av den första kolonnen gick vattnet till toppen av den andra, lägre

placerade, kolonnen. Utloppen från vardera kolonnen var så högt placerade att vattennivån alltid täckte kolbäddarna.

I utloppet från kolonn 2 fanns en flödesmätare som gav både momentant och totalt flöde (Bürkert, typ 8030 med paddelhjul och transmitter 8025 från början, men mot slutet av försöket Hemomatik, Flowmax 44i, ultraljudsmätare). Flödet kontrollerades också vid behov manuellt med hink och klocka.

Kolonnerna var öppna uppåt, och den drivande kraften genom kolonnen var skillnaden i nivå mellan vattnet i kolonnen och respektive utlopp. Med ökande pumpflöde eller tilltagande igensättning i kolonnerna steg vattennivån i kolonnerna, tills den ökade drivande kraften motsvarade behovet. När nivån i en kolonn närmade sig överloppet i toppen backspolades kolonnen manuellt. Vid för hög nivå (nära bräddöverloppet) stängdes inmatningspumpen av automatiskt i väntan på backspolning.

Vid backspolning minskades flödet först så att det fanns plats för kolbädden att expandera vid flotation. Därefter drevs via ett ventilsystem luft in från botten under ca 2 minuter. Flödet anpassades så att bädden expanderade nästan ända upp till bräddöverloppet. Bädden blandades om och slampartiklar lossnade. Därefter stängdes luften av, och rent vatten pumpades in underifrån för att skölja ut det slam som lossnat. Flödet anpassades så att inget kol spolades ut. När tvättvattnet som lämnade kolonnen var klart avslutades backspolningen, och kolonnen var klar för drift igen. Proceduren tog drygt 5 min per kolonn.

Prover togs automatiskt ut via tidsinställda ventiler i inloppet till varje kolonn och utloppet från kolonn 2. Prover samlades normalt under en vecka, och förvarades sedan frusna i väntan på analys.

Analyser

Läkemedelsrester

Upptinade samlingsprover (100 ml ingående vatten eller 300 ml vatten efter kolonnerna) spikades med surrogatstandard Oxazepam- d_3 och filtrerades genom glasfiberfilter (GF/C, 0,45 μm). Filtren extraherades med metanol. Filtratet återfördes till vattenprovet innan upprensning på fastfaskolonn (200 mg Oasis HLB, Waters). Fastfaskolonnen konditionerades med metanol följt av MQ-vatten. Därefter applicerades provet på kolonnen med ett flöde på två droppar per minut. Analyterna eluerades från kolonnen med hjälp av metanol följt av aceton. Eluatet indunstades till torrhet under kvävgas vid 40°C. Provet återlöstes i metanol: vatten (1:1) och centrifugerades innan övervätskan överfördes till vial.

Absorberade ämnen i kolet analyserades efter avslutat försök. Efter att kolonnen dränerats blandades allt kol från kolonn 1 noggrant, och mindre prover togs ut och frystes i väntan på analys. Innan analysen påbörjades frystorkades kolet. 100 mg av det torkade kolet packades i fastfaskolonner (SPE). De absorberade ämnena extraherades från kolet genom

att eluera kolet med 2x5 ml aceton: 96%-ig ättiksyra (20:1). Extraktet indunstades till torrhet och återlöstes i 1,0 ml 0,5% EDTA-Na₂ löst i metanol: vatten (1:1).

Slutbestämningen av mängden läkemedel i proven utfördes på ett binary liquid chromatography (UFLC) system med auto injektion (Shimadzu, Japan). Den kromatografiska separationen genomfördes på en C8 reversed phase kolonn (dimension 50 x 3 mm, 5 µm partikelstorlek, Thermo Scientific) vid en temperatur på 35°C och ett flöde på 0,4 ml/minut. Mobilfasen bestod av 10 mM ättiksyra i vatten (A) samt metanol (B).

UFLC-systemet var kopplat till en API 4000 trippel quadrupole (MS/MS) (Applied Biosystems) med ett electrospray ionization interface (ESI) som kördes i positivt mode.

Tabell 1 visar vilka läkemedelsrester som analyserades.

Fenolära föreningar

Vattenprov (1 L) koncentrerades efter surgörning (pH 2) och tillsatts av internstandard på fastfaskolonn. Analyterna eluerades med aceton och därefter med hexan:MTBE blandning (3+1).

Extraktet koncentrerades med hjälp av kvävgas. Det sista acetonet extraherades bort med syra (0,05 M). Extraktet torkades över natriumsulfat och derivatiserades med reagenset MSTFA (N-Methyl-N-(trimethylsilyl) trifluoroacetamide) före slutbestämning med GC-MS/MS (MRM).

Tabell 1. Analyserade läkemedelsrester.

Substans	Verkan
Amlodipine	<i>Blodtryckssänkande</i>
Atenolol	<i>Blodtryckssänkande</i>
Bisoprolol	<i>Blodtryckssänkande</i>
Caffeine	<i>Stimulerande medel</i>
Carbamazepine	<i>Lugnande</i>
Ciprofloxacin	<i>Antibiotika</i>
Citalopram	<i>Antidepressiva</i>
Diclofenac	<i>Inflammationshämmande</i>
Doxycycline	<i>Antibiotika</i>
Enalapril	<i>Diuretika</i>
Estradiol	<i>Könsbormon</i>
Estriol	<i>Könsbormon</i>
Estrone	<i>Könsbormon</i>
Ethinylestradiol	<i>Könsbormon</i>
Finasteride	<i>Krymper prostata</i>
Furosemide	<i>Diuretika</i>
Hydrochlorothiazide	<i>Blodtryckssänkande</i>
Ibuprofen	<i>Inflammationshämmande</i>
Ketoconazole	<i>Antisvampmedel</i>
Ketoprofen	<i>Inflammationshämmande</i>
Metoprolol	<i>Blodtryckssänkande</i>
Naproxen	<i>Inflammationshämmande</i>
Norethindrone	<i>Könsbormon</i>
Norfloxacin	<i>Antibiotika</i>
Oxazepam	<i>Lugnande</i>
Paracetamol	<i>Inflammationshämmande</i>
Progesterone	<i>Könsbormon</i>
Propranolol	<i>Blodtryckssänkande</i>
Ramipril	<i>Blodtryckssänkande</i>
Ranitidine	<i>Medel mot magsår</i>
Sertralin	<i>Antidepressiva</i>
Simvastatin	<i>Blodfettsänkande</i>
Sulfamethoxazole	<i>Antibiotika</i>
Terbutaline	<i>Astmamedicin</i>
Tetracycline	<i>Antibiotika</i>
Trimetoprim	<i>Antibiotika</i>
Warfarin	<i>Blodförtunnande</i>

COD bestämdes vid några tillfällen med kyvettest. SYVAB genomförde dessutom egna analyser på suspenderat material i inkommande vatten till kolonnförsöket.

Resultat

Driftserfarenheter

Det förekom en hel del störningar i tillförseln av vatten från MBR. Från start 12 november 2012 var inloppspumpen bara ansluten till en av linjerna i MBR. Det begränsade flödet till maximalt 100 L/h, och med avbrott vid relaxation av membranen. Vattenledningen mellan MBR och kolfiltret frös också vid några tillfällen. Efter isolering, större buffertkäril före pumpen, och utnyttjande av båda linjerna i MBR fungerade tillförseln oftast bra.

Halten av suspenderat material ut från MBR låg normalt under 0,5 mg/L, men var vid några tillfällen av okänd anledning över 3 mg/L. I och med att halten av SS inte mättes kontinuerligt är det svårt att se om variationer i halten påverkade behovet av backspolning.

Pumpflödet varierade normalt mellan 50 och 100 L/h. Vid flöden kring 50 L/h krävdes backspolning mindre än en gång i veckan, medan 100 L/h krävde backspolning ca var tredje dag.

Avskiljning av läkemedelsrester

Tabell 2 visar avskiljningen av utvalda läkemedelssubstanser 111 dygn efter start. Det hade då varit avbrott i tillförseln åtminstone 14 dygn. Totalt hade ca 74 m³ vatten passerat kolonnerna, motsvarande drygt 10 m³/kg kol i kolonn 1.

Vid det här tillfället analyserades också ett samlingsprov från försedimenteringen under samma period, alltså det vatten som behandlades i MBR-piloten. Tabellen visar alltså dels avskiljningen/nedbrytningen över MBR, dels avskiljningen över kolonn 1, och även den totala avskiljningen från försedimenterat vatten till vatten behandlat med aktivt kol. Endast ämnen med mätbara halter i det försedimenterade vattnet redovisas.

Avskiljningen i biologin i MBR (själva membranet är för glest för att avskilja de här ämnena) varierade mellan -34 % och i praktiken 100 % för olika ämnen. En ökning av halten över MBR innebär normalt att föreningen varit delvis konjugerad i försedimenteringen, men att konjugatet avlägsnats i biologin så att föreningen syns i analysen. Observera också att osäkerheten i analyser i de här halterna är upp mot 20 %.

Endast koffein och ciprofloxacin kunde detekteras efter kolonn 1, och även för dem var avskiljningen mycket bra (minst 97 %). Gulmarkerade siffror är beräknade efter respektive kvantifieringsgräns, och är alltså en undre gräns för uppmätt avskiljning.

Kvantifieringsgränsen är beroende av andra föreningar, eller ”bruset” i varje enskilt prov, och kan alltså variera en del för samma ämne i olika prover.

Tabell 2. Avskiljning av olika föreningar över MBR och den första kolkolonnen efter 111 dygn den 4 mars 2013 vid ett flöde på 50L/h (ca 74 m³ behandlat vatten vilket motsvarar drygt 10 m³/kg kol i kolonn 1).

Substans	Koncentration i vatten [ng/L]			Avskiljning [%]		
	In MBR	Ut MBR /In K1	Ut K1	MBR	K1	Totalt
Amlodipine	368	476	<32	-30	>93	>91
Atenolol	2161	341	<20	84	>94	>99
Bisoprolol	1131	35	<12	97	>66	>99
Caffeine	51701	97	36	100	63	100
Carbamazepine	571	763	<8	-34	>99	>99
Ciprofloxacin	4988	1702	146	66	91	97
Citalopram	462	337	<4	27	>99	>99
Diclofenac	1058	826	<42	22	>95	>96
Enalapril	170	<28	<28	>84		>84
Hydrochlorothiazide	2607	1950	<15	25	>99	>99
Ibuprofen	7400	110	<41	99	>63	>99
Ketoconazole	2897	<29	<29	>99		>99
Ketoprofen	438	32	<23	93	>28	>95
Metoprolol	3493	2271	<3	35	>99	>99
Naproxen	2883	65	<49	98	>25	>98
Oxazepam	423	534	<2	-26	>99	>99
Paracetamol	425	100	<20	76	>80	>95
Propranolol	179	124	<2	30	>98	>99
Ranitidine	1486	323	<9	78	>97	>99
Sertralin	108	43	<4	60	>91	>96
Simvastatin	362	<33	<33	>91		>91
Sulfamethoxazole	303	48	<13	84	>73	>96
Terbutaline	65	33	<8	50	>76	>88
Tetracycline	137	<32	<32	>77		>77
Trimetoprim	187	166	<6	11	>96	>97
Warfarin	<20	<20	<9			

*Mindre än värden (<) avser lägsta kvantifieringsgräns (LOQ, S/N=10)

Anger att minskningen är minst angiven %-siffra

Anger ökning av halten över MBR

Tabell 3 visar motsvarande resultat när anläggningen varit igång under 202 dygn. Även här analyserades även försedimenterat vatten (in till MBR). I samband med provtagningen hade flödesmätaren slutat fungera, och det finns ingen notering om aktuellt flöde. Troligen var det ca 100 L/h, som ca 2 veckor före provtagningen. Totalt hade i så fall ca 200 m³ vatten passerat kolfiltret, alltså ca 29 m³/kg kol.

Tabell 3. Avskiljning av olika föreningar över MBR och den första kolkolonnen efter 202 dygn den 3 juni 2013 vid ett uppskattat flöde på 100L/h (ca 200 m³ behandlat vatten vilket motsvarar drygt 28 m³/kg kol i kolonn 1).

Substans	Koncentration i vatten [ng/L]			Avskiljning [%]		
	In MBR	Ut MBR /In K1	Ut K1	MBR	K1	Totalt
Amlodipine	247	<200	<100	>19		>60
Atenolol	158	64	25	59	61	84
Bisoprolol	61	<50	<10	>18		>84
Caffeine	72680	2566	324	96	87	100
Carbamazepine	503	605	83	-20	86	83
Ciprofloxacin	6984	2533	237	64	91	97
Citalopram	421	319	15	24	95	97
Diclofenac	1110	807	229	27	72	79
Enalapril	66	<50	<50	>24		>24
Furosemide	2302	577	154	75	73	93
Hydrochlorothiazide	2049	1622	183	21	89	91
Ibuprofen	4558	666	460	85	31	90
Ketoconazole	688	<50	<20	>93		>97
Ketoprofen	531	89	31	83	65	94
Metoprolol	3162	2182	77	31	96	98
Naproxen	2870	503	118	82	76	96
Oxazepam	313	344	78	-10	77	75
Paracetamol	<40	<40	<25			
Propranolol	171	129	<3	25	>97	>98
Ranitidine	144	104	<10	28	>90	>93
Sertralin	182	43	<1	76	>98	>99
Simvastatin	160	<100	<50	>38		>69
Sulfamethoxazole	110	47	47	57	2	58
Terbutaline	<30	<30	<25			
Tetracycline	236	87	<25	63	>71	>89
Trimetoprim	150	32	<10	79	>69	>93
Warfarin	11.5	<10	<4	>10		>65

*Mindre än värden (<) avser lägsta kvantifieringsgräns (LOQ, S/N=10)

	Anger att minskningen är minst angiven %-siffra
	Anger ökning av halten över MBR

Avskiljningen över MBR var för de flesta föreningarna i samma storleksordning som vid den tidigare provtagningen. Däremot var de analyserade halterna ut från kolkolonnen betydligt högre än vid den tidigare provtagningen.

I samband med upparbetningen av provet ut från kolkolonnen noterade man emellertid tydliga vita flagor i vattnet, något som inte förekommit tidigare. Vad detta betyder, eller varifrån de kommer är oklart, men det gör ändå att resultaten knappast är tillförlitliga.

Det förmodade högre flödet vid provtagningen skulle kunna innebära sämre avskiljning, men enligt nedan redovisade försök med olika uppehållstider bör skillnaden inte alls vara så här stor.

Tabell 4 visar avskiljningen vid provtagning strax innan anläggningen stängdes. Här finns ingen analys före MBR, utan bara avskiljningen i kolkolonn 1. Inga ämnen fanns i detekterbara halter ut från kolonn 2. Vid det här tillfället hade ca 1 m³ vatten ut från MBR samlats i en Cipax-behållare. Från den pumpades vattnet med olika hastighet in till kolonnerna. När minst 5 bäddvolymmer hade passerat kolonn 1 vid ett visst flöde togs prover, och nästa lägre flöde ställdes in. Testade flöden var 162, 102 respektive 51 L/h. Totalt hade ca 235 m³ vatten passerat kolfiltret sedan start, eller ca 34 m³/kg kol i kolonn 1.

Vid det lägsta flödet, motsvarande 16 minuters uppehållstid i kolet (räknat som total volym/flöde, alltså utan hänsyn till kolets egen volym), var det bara metoprolol som återfanns i kvantifierbar halt efter kolonn 1. Avskiljningen var alltså lika bra som vid den första analysen (tabell 2).

Vid högre flöde, 102 L/h eller ca 8 minuters uppehållstid, var reningen något sämre, men fortfarande kunde bara 7 föreningar kvantifieras i det behandlade vattnet. Avskiljningen av de flesta var klart över 90 %.

Tabell 4. Avskiljning av olika föreningar över den första kolkolonnen efter 281 dygn den 21 augusti 2013 vid flöden på 51 L/h respektive 102L/h (ca 235 m³ behandlat vatten vilket motsvarar drygt 34 m³/kg kol i kolonn 1). Även en del föreningar med icke mätbara halter in till kolonnen är medtagna för en enklare jämförelse med tabell 2 och 3.

Substans	Flöde 51 L/h			Flöde 202 L/h		
	In K1 [ng/L]	Ut K1 [ng/L]	Avskilj. [%]	In K1 [ng/L]	Ut K1 [ng/L]	Avskilj. [%]
Amlodipine	300	<100	>67	300	<100	>67
Atenolol	250	<10	>96	250	<10	>96
Bisoprolol	<50	<10		<50	<10	
Caffeine	170	<20	>88	170	<20	>88
Carbamazepine	630	>15	>98	630	21	97
Ciprofloxacin	1300	<25	>98	1300	100	92
Citalopram	250	<3	>99	250	<3	>99
Diclofenac	490	<25	>95	490	57	88
Enalapril	<50	<50		<50	<50	
Furosemide	<200	<100		<200	<100	
Hydrochlorothiazide	1100	<25	>98	1100	26	98
Ibuprofen	<40	<40		<40	<40	
Ketoconazole	<50	<20		<50	<20	
Ketoprofen	<40	<20		<40	<20	
Metoprolol	1300	8,4	99	1300	11	99
Naproxen	<120	<80		<120	<80	
Oxazepam	380	>10	>97	380	16	96
Paracetamol	110	<25	>77	110	<25	>77
Propranolol	130	<3	>98	130	<3	>98
Ranitidine	150	<10	>93	150	<10	>93
Sertralin	12	<1	>92	12	3,6	70
Simvastatin	<100	<50		<100	<50	
Sulfamethoxazole	<50	<15		<50	<15	
Terbutaline	36	<25	>31	36	<25	>31
Tetracycline	60	<25	>58	60	<25	>58
Trimetoprim	<30	<10		<30	<10	
Warfarin	<10	<4		<10	<4	

*Mindre än värden (<) avser lägsta kvantifieringsgräns (LOQ, S/N=10)

Anger att minskningen är minst angiven %-siffra

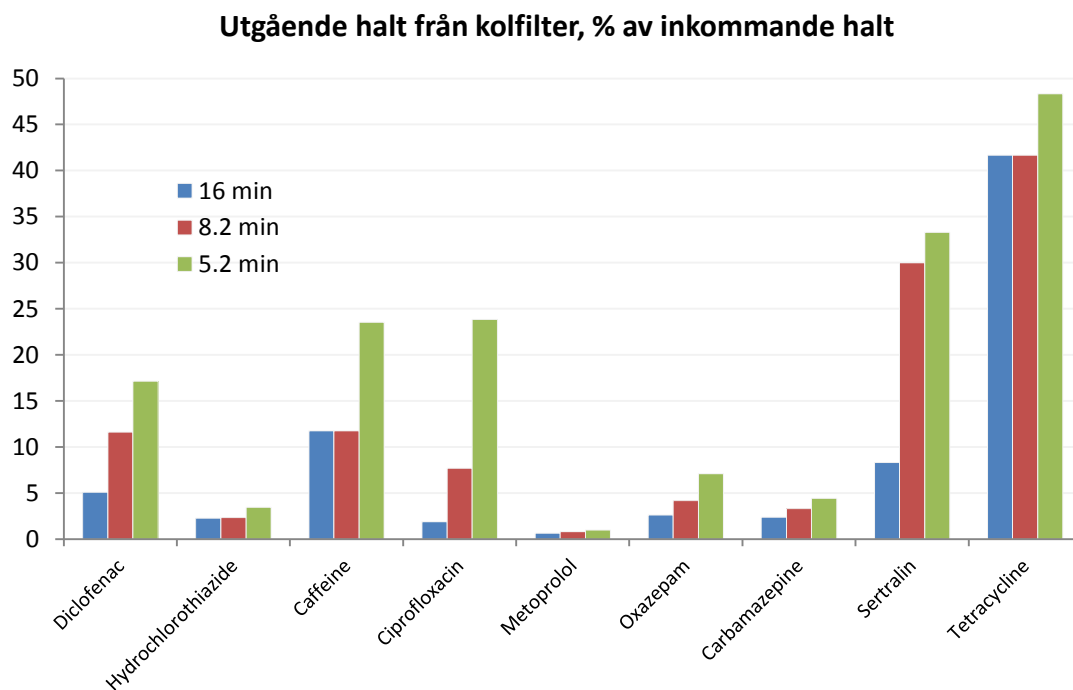
Tabell 5 visar tydligare avskiljningens beroende av uppehållstiden i kolonnen. Här redovisas data från tre olika flöden, och bara föreningar som vid något av flödena hade mätbara halter ut från kolonn 1.

Tabell 5. Resthalt efter kolonn 1 vid olika uppehållstider i kolbädden, procent av inkommande halt.

Substans	Kvar efter kolonnen [%]		
	Kontakttid 16 min	Kontakttid 8.2 min	Kontakttid 5.2 min
Caffeine	<12	<12	24
Carbamazepine	<2.4	3.3	4.4
Ciprofloxacin	<2	8	24
Diclofenac	<5	12	17
Hydrochlorothiazide	<2.3	2.4	3.5
Metoprolol	0.6	0.8	1.0
Oxazepam	<2.6	4.2	7.1
Sertralin	<8	30	33
Tetracycline	<42	<42	48

Resterande andel är mindre än angiven siffra

Figur 2 illustrerar samma sak i stapelform. Observera att nästan alla data för 16 min är mindre än figuren visar enligt tabell 5. Halterna var under detektionsgränsen för alla ämnen utom metoprolol.



Figur 2. Resthalt ut från kolonn 1 vid olika uppehållstider. (Observera att nästan alla data för 16 min är mindre än figuren visar enligt tabell 5. Halterna var under detektionsgränsen för alla ämnen utom metoprolol.)

Det tycks krävas en uppehållstid, definierad som total volym/flöde, på mellan 10 och 15 minuter för riktigt bra avskiljning av de flesta föreningarna.

Övriga parametrar

Det breda analyspaketet som använts är inte alls tillräckligt känsligt för olika typer av hormoner som kan finnas i avloppsvattnet. Därför gjordes en särskild analys där ämnena derivatiserades före analys, för ökad känslighet. Det visade sig dock att vattnet ut från MBR inte hade kvantifierbara halter av något av de studerade ämnena, och någon avskiljning över kolet kunde därför inte beräknas. Aktuella rapporteringsgränser i analysen var:

- Etinylöstradiol 3,8 ng/L
- Östradiol 2,6 ng/L
- Östriol 20 ng/L
- Östron 7,5 ng/L
- Noretisteron 0,5 ng/L.

Ett antal fenolära föreningar analyserades också i prover från försöket med lågt flöde i tabell 4. Tabell 6 visar resultaten.

Tabell 6. Avskiljning av några fenolära föreningar i kolonn 1 vid 51 L/h.

Förening	Halt före kol [ng/L]	Halt efter kol [ng/L]	Minskning [%]
2,4,6-tribromfenol	1,1	0,5	55
2,4-dibromfenol	1,6	1,2	25
4-iso-nonylfenol	109	56	49
Bisfenol A	60	<10	>83
Pentaklorfenol	3,0	<1	>67
Triklorsan	25	3,7	85

Även dessa prioriterade föreningar avskiljdes till en del, dock för de flesta inte lika effektivt som läkemedelssubstanserna.

Tidigt under försöket, efter att ca 43 m³ vatten passerat kolonnerna, avskiljdes fortfarande en betydande del av **allt** organiskt material i vattnet i kolkolonnerna. COD in till K1 var då 23 mg/L, ut från K1 13 mg/L och ut från K2 4,9 mg/L. Belastningen över K1 var då ca 5 m³/kg kol, och inklusive K2 ca 2,5 m³/kg kol. En del av detta är antagligen nedbrytning i samband med denitrifikation i bädden, medan adsorptionen till kolet minskar långt innan kolet är mättat med avseende på läkemedelsföreningar (Ek m.fl. 2013).

Diskussion

De viktigaste parametrarna för att bedöma kolet för avskiljning av läkemedelsrester (och eventuellt andra oönskade organiska spårämnen) är:

- Avskiljningsförmåga, alltså föreningarnas affinitet till kolet som styr kolets förmåga att avlägsna substanser
- Kolets kapacitet, hur mycket vatten kan behandlas med en viss mängd kol innan kolet behöver bytas ut
- Sorptions hastigheten, vilken uppehållstid för vattnet krävs, och alltså storlek på kolfilteranläggningen
- Igensättning, behov av backspolning som en viktig drift parameter
- Kostnad för kolet och hela anläggningen

Avskiljningsförmåga

Avskiljningen har för de flesta föreningarna varit över 95 % ända tills försöket bröts (34 m³ vatten/kg kol) vid måttlig hydraulisk belastning. Det stämmer bra med motsvarande resultat vid pilotskaleförsök vid Sjöstadsverket upp till ca 50 m³ vatten/kg kol (Ek m.fl. 2013). De flesta av de analyserade föreningarna avskiljades bra, trots den skiftande kemiska strukturen och egenskaperna hos de olika föreningarna. Det är positivt att metoden avlägsnar ett så brett spektrum av föreningar.

Kolfiltrets förmåga att avskilja andra föroreningar än läkemedelsrester och en del prioriterade fenolära föreningar har inte undersökts i detta försök. Tidigare tester med likartade förutsättningar (Ek m.fl. 2013) har dock visat en ytterligare rening i kolfiltren av kväve, organiskt material och tungmetaller.

Kolets kapacitet

Eftersom försöket inte kunde drivas till något tydligt genombrott säger det inte så mycket om den maximala kapaciteten. Det liknande försöket vid Sjöstadsverket (Ek m.fl. 2013) visade dock att man började få genombrott i den första kolonnen efter ca 50 m³ vatten/kg kol. Om man bara har ett steg skulle detta alltså vara kapaciteten. Detta gäller ifall man sätter en gräns vid att högst 10 % av inkommande halt av någon förening får lämna den första kolonnen. Om man däremot har två seriekopplade system kan man utnyttja kapaciteten i det första steget betydligt bättre, upp till åtminstone 75 m³ vatten/kg kol. Det andra steget belastas fortfarande väldigt lite, och har stor kapacitet som ett nytt första steg efter att det mättade första steget tömts för regenerering eller destruktion.

Ett system med bara ett steg måste tillåta att en viss andel av vissa ämnen passerar bädden innan den byts ut, medan ett system med två bäddar kan ge nära noll i utsläpp. Det är dock frågan om det är motiverat med så fullständig avskiljning för de här föreningarna. Genom

att anpassa drifttiden för första steget kan ett två-stegs filter enkelt anpassas till olika behov och önskemål.

Sorptionshastigheten

Försöken tyder på att man behöver en nominell uppehållstid mellan 10 och 15 minuter för maximal avskiljning för de flesta föreningar. Med en bäddhöjd av kol på ca 80 cm betyder det en ytbelastning mellan 4,8 och 3,2 m³/h. Med ett antaget framtida flöde på ca 6 000 m³/h skulle det betyda en bäddyta på mellan 1 250 och 1 875 m². Det gäller för ett steg.

Omräknat till kolmängd skulle det betyda 500 till 750 ton kol. Med kapaciteten 50 m³ vatten/kg kol innebär detta att kolet måste bytas efter 174 resp. 260 dygn. Vid två-stegs filter ökar den totala kolmängden men kolet kan användas längre.

Igensättning

Försöken i den här lilla skalan tyder på att man behöver backspola bädden med några dagars mellanrum, och att hela backspolningsproceduren per sektion kan klaras av på mindre än 15 min med tillgång till tillräckligt mycket backspolningsvatten. Det innebär inte någon större minskning i hydraulisk kapacitet, förutsatt att man har många oberoende sektioner.

Backspolningsvattnet bör vara uppsamlat vatten som passerat bädden, och vattnet med slam efter backspolningen återförs till försedimenteringen.

Kostnad

Chemviron Carbon uppgav 2012 priset på nytt kol av den använda kvaliteten till knappt 20 000 kr/ton. Det skulle i ren kolkostnad innebära ca 0,4 kr/m³ behandlat vatten. För regenererat kol (som i det här sammanhanget antagligen skulle fungera lika bra) var priset ca 10 000 kr/ton.

Större delen av totalkostnaden skulle alltså troligen vara för investeringar och andra driftskostnader. Dessa kommer att variera mycket beroende på lokala betingelser. En kostnadsuppskattning för 100 000 pe (Wahlberg m.fl. 2010) och ett enstegssystem hamnade på 0,5 SEK/m³ i kapitalkostnad. Det skulle betyda totalt 0,9, eller ca 1 SEK/m³.

Referenser

- Ek, M., Bergström, R., Magnér, J., Harding, M. och Baresel, C.: Aktivt kol för avlägsnande av läkemedelsrester ur behandlat avloppsvatten. IVL rapport B2089 (2013).
- Wahlberg, C., Björleinius, B. och Paxéus, N.: ”Läkemedelsrester i Stockholms vattenmiljö”. Rapport från Stockholm Vatten 2010. ISBN 978-91-633-6642-0.