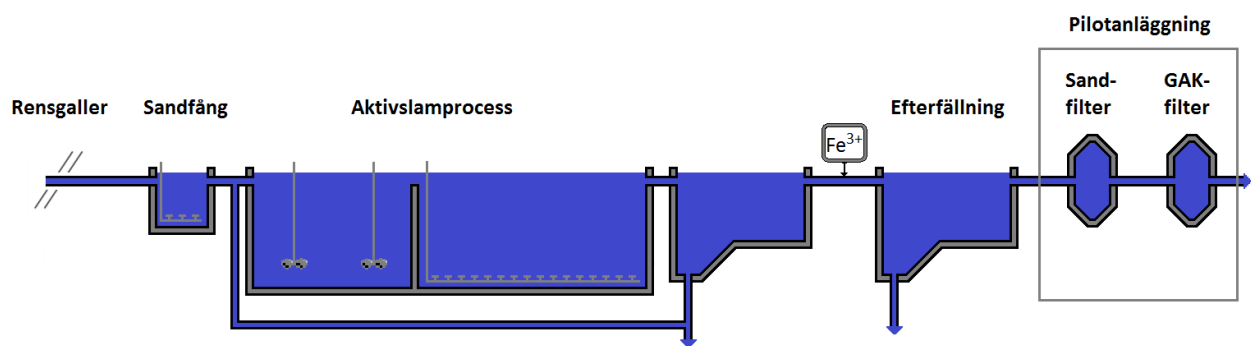


Läkemedelsrening i GAK-filter



Förord

Föreliggande rapport har skrivits inom ramen för projektet, *Läkemedelsrening i GAK-filter (M540)*, med finansiering från *Region Skånes miljövårdsfond*. Driften av pilotanläggningen som beskrivs i rapporten har bekostats av projektet, *Less is More*, med finansiering från *Interreg South Baltic*.

Författaren till rapporten tackar Region Skåne för stöd till den forskning om rening av organiska mikroföroreningar som bedrivs på Institutionen för Kemiteknik vid Lunds Tekniska Högskola. Syftet med projektet är att stödja utvecklingen och implementeringen av en teknisk lösning, filter med granulerat aktivt kol (GAK-filter), för att minska utsläppen av läkemedel och andra mikroföroreningar via avloppsvatten. Författaren vill även tacka personalen på Svedala avloppsreningsverk för teknisk hjälp med pilotanläggningen.

Per Falås

Lunds Tekniska Högskola, februari 2021

Innehållsförteckning

1. Introduktion	1
1.1. Syfte	2
2. Material och metod	3
2.1. Kol-14-märkta mikroföroreningar	3
2.2. Reningsverk och GAK-filter	4
2.3. Försök med kol-14-märkta mikroföroreningar	4
2.4. Vätskescintillation	5
2.5. Analys av kväve-fraktioner och organiskt material	5
3. Resultat och diskussion	7
3.1. Vattenmatris	7
3.2. Kol-14-märkta mikroföroreningar i vätskefasen	7
3.3. Bildning av kol-14-märkt koldioxid	9
4. Sammanfattning	11

1. Introduktion

Kommunalt avloppsvatten utgör en betydande utsläppsväg för läkemedel och andra organiska mikroföroreningar (Reemtsma et al., 2006). Några ämnen avlägsnas nästan fullständigt på avloppsreningsverk medan andra släpps ut i miljön. Nya reningsprocesser för att minska utsläppen av organiska mikroföroreningar finns tillgängliga (Eggen et al., 2014). Erfarenheter från framförallt Schweiz och Tyskland har visat att det till en rimlig kostnad är tekniskt möjligt att rena läkemedel och andra mikroföroreningar från avloppsvatten (Abegglen och Sigriest 2012).

Adsorption av organiska mikroföroreningar är en etablerad metod för att rena organiska mikroföroreningar från avloppsvatten (Abegglen och Sigriest 2012). Aktivt kol kan användas i pulveriserad eller granulerad form beroende på tillämpning. Granulerat aktivt kol, GAK, används oftast i filter för rening av organiska mikroföroreningar i avloppsvatten.

Under de senaste åren har regeringen gjort en nationell satsning för att stödja implementeringen av nya tekniker för rening av läkemedel på svenska avloppsreningsverk (Svenskt Vatten, 2020). Flera reningsverk har beviljats medel för att installera filter med granulerat aktivt kol för att minska utsläppen av läkemedel och andra organiska mikroföroreningar. Detta innebär att många av landets avloppsreningsverk med avancerad rening av mikroföroreningar kommer att använda GAK-filter.

I GAK-filter uppgår kolets exponeringstid mot avloppsvatten oftast till flera månader. Med den långa exponeringstiden blir tillväxt av biofilmbildande mikroorganismer på GAK-partiklarnas yta nästan ofrånkomlig. Biofilmen på GAK-partiklarnas yta kan ha både negativa och positiva effekter. Till de negativa effekterna hör en fördröjd transporten av mikroföroreningar till kolets adsorptionsplatser. Till de positiva hör inslag av biologisk nedbrytning av organiskt material (Simson, 2008) och mikroföroreningar (Reungoat et al., 2011; Altmann et al., 2016), en effekt som kan möjliggöra längre drifttid av GAK-filtret genom att kolets adsorptionsplatser friställs.

I Sverige har rening av organiska mikroföroreningar i GAK-filter tidigare genomförts i pilot-skala (Ek et al., 2014, Edefell et al., 2021). Resultat från pilot-studierna har visat att många mikroföroreningar kan avlägsnas till mer än 80% även efter 10 000 bäddvolym. Det stora antalet bäddvolym dessa GAK-filter kan behandla utan minskad reningsgrad har skapat osäkerhet kring vilka reningsmekanismer som är involverade - biologisk nedbrytning och/eller adsorption?

Att separera reningsmekanismerna, biologisk nedbrytning respektive adsorption, för organiska mikroföroreningar i GAK-filter har visat sig svårt. Hittills har den biologiska nedbrytningen av organiska mikroföroreningar i GAK-filter huvudsakligen uppskattats genom att jämföra avläsningen i biologiskt aktiva och biologiskt inaktiva (steriliserade) filter (Rattier et al., 2011; Paredes et al., 2016). Även om dessa jämförande studier har kunnat påvisa en bättre rening av

vissa mikroföroreningar i de biologiskt aktiva filtren än i de biologiskt inaktiva filtren har denna jämförande metod inte kunnat erbjuda en strikt separation av biologisk nedbrytning och adsorption i GAK-filter.

Användning av kol-14-märkta mikroföroreningar erbjuder en alternativ metod för att separera rening via adsorption och biologisk nedbrytning i GAK-filter. Genom att följa avlägsnande av kol-14 i vätskefasen och bildning av kol-14-märkt koldioxid har tidigare studier kunnat bekräfta biologisk nedbrytning av organiska mikroföroreningar i olika dricks- och avloppsreningsprocesser (Hedegard et al., 2014; Popple et al., 2016; Falås et al., 2018).

1.1. Syfte

Studien har som mål att undersöka hur adsorption och biologisk nedbrytning bidrar till reningen av organiska mikroföroreningar i GAK-filter genom att:

- 1) Använda isotopmärkta ämnen för att bestämma adsorption och biologisk nedbrytning av mikroföroreningar i kontakt med granulerat aktivt kol.
- 2) Utredda hur adsorption och biologisk nedbrytning skiljer sig för olika organiska mikroföroreningar i GAK-filter och undersöka hur dessa mekanismer förändras över tid.
- 3) Bedöma vilken reningsmekanism som bör optimeras för att maximera reduktionen av organiska mikroföroreningar i GAK-filter på avloppsreningsverk.

2. Material och metod

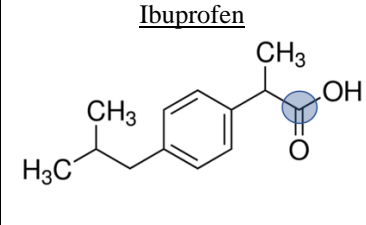
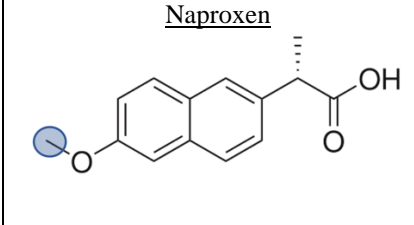
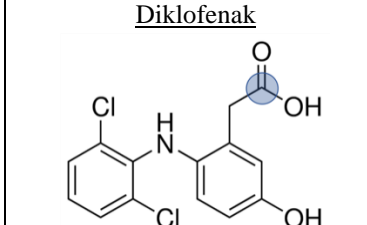
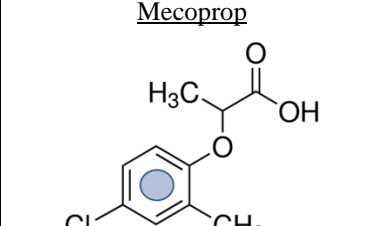
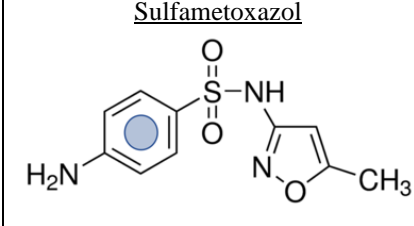
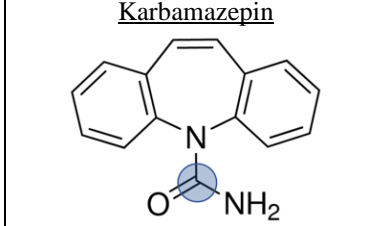
För att undersöka hur reningsmekanismerna i GAK-filter skiljer sig för olika organiska mikroföroreningar och utreda hur dessa reningsmekanismer förändras över tid gjordes en serie försök med kol-14-märkta ämnen och aktivt kol från ett GAK-filter på Svedala reningsverk.

2.1. Kol-14-märkta mikroföroreningar

Sex mikroföroreningar med olika urbana spridningsmönster och olika reningsgrad i avloppsreningsverk ingick i studien: fem läkemedel (ibuprofen, naproxen, diklofenak, sulfamethoxazol och karbamazepin) och en herbicid (mecoprop). De fem läkemedlen är upptagna på Naturvårdsverkets lista över ämnen som bör analyseras vid införande av avancerad rening av läkemedel på svenska reningsverk (Svenskt Vatten, 2019). Två av läkemedlen, diklofenak och karbamazepin, ingår även som indikatorsubstanser vid utvärderingen av den kompletterande reningen av mikroföroreningar i schweiziska avloppsreningsverk (FOEN, 2015). I Schweiz förordas de två mikroföroreningarna för att de är vanligt förekommande i utgående avloppsvatten och har avlägsnandemönster representativa för en stor grupp miljöföroreningar.

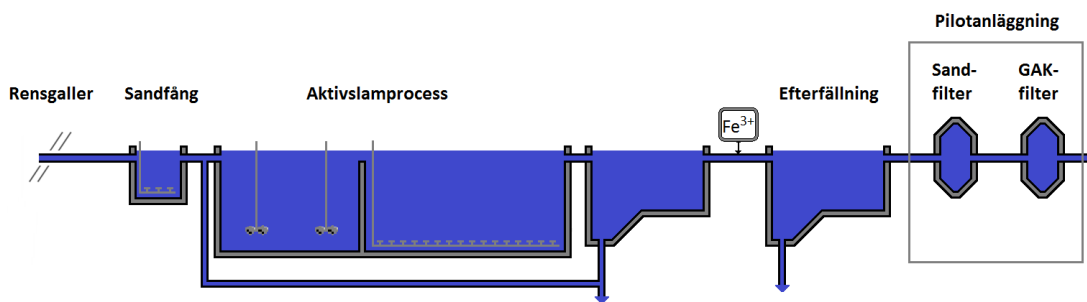
Tabell 1 visar strukturformler för på de sex organiska mikroföroreningarna och positionen på det radiomärkta kolet. Positionen på det radiomärkta kolet gjordes utifrån dess tillgänglighet på den kommersiella marknaden.

Tabell 1. Undersökta mikroföroreningar med kol-14-märkning i blått.

Organiska mikroföroreningar		
<p><u>Ibuprofen</u></p>  <chem>CC(C)Cc1ccc(cc1)C(C)C(=O)O</chem>	<p><u>Naproxen</u></p>  <chem>CC(O)C(=O)c1ccc2cc(O)c3ccccc23</chem>	<p><u>Diklofenak</u></p>  <chem>O=C(O)Cc1ccc(O)c(Nc2cc(Cl)ccc2Cl)c1</chem>
<p><u>Mecoprop</u></p>  <chem>CC(C)OC(=O)Oc1ccc(Cl)c(C)c1</chem>	<p><u>Sulfamethoxazol</u></p>  <chem>Cc1oc(N)nc1NS(=O)(=O)c2ccc(N)cc2</chem>	<p><u>Karbamazepin</u></p>  <chem>NC(=O)N1C=CC2=C1C=CC=C2</chem>

2.2. Reningsverk och GAK-filter

Ett GAK-filter med föregående sandfiltrering drevs i pilot-skala med utgående avloppsvatten från Svedala reningsverk (Figur 1). Inkommande vatten till Svedala reningsverk med medelkoncentrationer på 540 mg COD/L, 39 mg N_{tot} /L och 8 mg P_{tot} /L behandlas mekaniskt med rensgaller och sandfång. Efterföljande biologisk rening sker i en aktivslam process med fördenitrifikation och nitrifikation. Biologiskt behandlat vatten efterfälls slutligen med järnklorid. Utgående vatten från Svedala renings innehåller i genomsnitt 28 mg COD/L, 6 mg N_{tot} /L och 0.2 mg P_{tot} /L.



Figur 1. Schematisk bild av Svedala avloppsreningsverk med pilotanläggning bestående av sandfilter och GAK-filter i serie.

Del av det utgående avloppsvattnet leddes under försöksperioden till en pilot-anläggning bestående av ett sand-filter (19 L) och ett GAK-filter (19 L) i serie. Flödet genom filtren var (114 L/h) vilket motsvarar en *Empty Bed Contact Time* (EBTC) på 10 min. GAK-filtret var fyllt med granulerat aktivt kol av märket Aquasorbe 5000 från Jacobi med en specifik ytarea på 1200 m^2/g , enligt Brunauer-Emmett-Teller (BET) teorin. Backspolning av filtren gjordes manuellt varannan vecka och före varje försökstillfälle.

2.3. Försök med kol-14-märkta mikroföroreningar

För att utreda hur reningmekanismerna i GAK-filter skiljer sig för olika mikroföroreningar och undersöka hur de förändras över tid genomfördes en serie laboratorieförsök med kol-14-märkta mikroföroreningar. I försöken användes GAK från pilotanläggningen och utgående avloppsvatten från Svedala reningsverk. Avloppsvattnet filtrerades ($0.45 \mu m$), buffrades med 0,1 mM NaH_2PO_4 och justerades till pH 7 med 1.0 M NaOH (1 M). För att undvika syrefria förhållanden under försöken mätades även avloppsvattnet med syre (8-9 mg/L) innan försöken påbörjades.

Försök genomfördes vid fyra tillfällen (6500, 12000, 18000 och 27000 bäddvolymmer) i gastäta glasreaktorer (500 mL) med utgående avloppsvatten från Svedala reningsverk (150 mL), kol-

14-märkta mikroföroreningar samt GAK (12 g/L). I reaktorerna placerades även en koldioxidfälla med 20 mL NaOH (1 M) för att fånga radio-märkt koldioxid. Varje mikroförorening studerades separat i en biologisk aktiv reaktor och en biologisk inaktiv reaktor (värme behandlad; 85 °C, 60 minuter). Kol-14-märkta mikroföroreningar tillsattes för att nå en stråldos på 0.1 µCi/L, vilket motsvarar 4µg/L ibuprofen, 5µg/L naproxen, 5 µg/L diklofenak, 6 µg/L mecoprop, 13µg/L sulfametoxazol och 11 µg/L karbamazepin.

Efter att GAK tillförts reaktorerna förslöts de omedelbart och ställdes i en temperaturreglerad skakinkubator (25 °C, 150 rpm). Prov från koldioxidfällan (0,5 mL) och från vätskefas (1 mL) togs med kanyl genom ett gummisepta på reaktorn vid fasta tidpunkter under sju dygn. För att avlägsna GAK-rester från vätskefasen centrifugerades proven under 5 minuter vid 13 000 varv per minut. Klarfasen (0,8 mL) överfördes sedan till ett eppendorfrör för vidare analys.

Syrehalt och pH mättes regelbundet i parallella reaktorer utan tillsats av kol-14-märkta mikroföroreningar för att säkerställa syresatta förhållanden (> 3mg O₂/L) och neutralt pH (~7).

2.4. Vätskescintillation

Halten kol-14 i koldioxidfälla och vätskefas bestämdes genom vätskescintillation (Tri-Carb 4910 TR, PerkinElmer). Vid kol-14-analyserna pipetterades 0,2 mL från koldioxidfällan och 0,4 mL från de centrifugerade vätskeproven till scintillationsrör. Proven blandades sedan med scintillationsvätska (Hionic-Flour, PerkinElmer) för att nå en totalvolym av 4 mL. De omblandade proven analyserades genom vätskescintillation (Tri-Carb 4910 TR, PerkinElmer) under 5 minuter.

Efterföljande beräkningar av fördelningen av mängden kol-14 i gas- och vätskefas baserades på volym samt antal kol-14-sönderfall i vätskefas och koldioxidfälla.

2.5. Analys av kvävefraktioner och organiskt material

Kvävefraktioner och organiskt material i vattnet analyserades spektrofotometriskt med Hach kyvetter: NH₄⁺-N (LCK 303), NO₃⁻-N (LCK 339), löst COD (LCK 1414) och DOC (LCK 385).

3. Resultat och diskussion

3.1 Vattenmatris

Tabell 2 visar uppmätt pH tillsammans med initiala koncentrationer av löst COD, DOC, NO₃⁻-N och NH₄⁺-N i avloppsvattnet vid laboratorieförsök med GAK från pilotanläggningen på Svedala avloppsreningsverk. Halterna av potentiellt syreförbrukande ämnen såsom ammonium, löst COD och DOC var ganska lika vid de olika försöken. Syrehalten i slutet av försöken överskred också 4 mg O₂/L i samtliga försök.

Tabell 2. Vattenparametrar vid laboratorieförsök med GAK från pilotanläggningen på Svedala avloppsreningsverk vid olika bäddvolymmer.

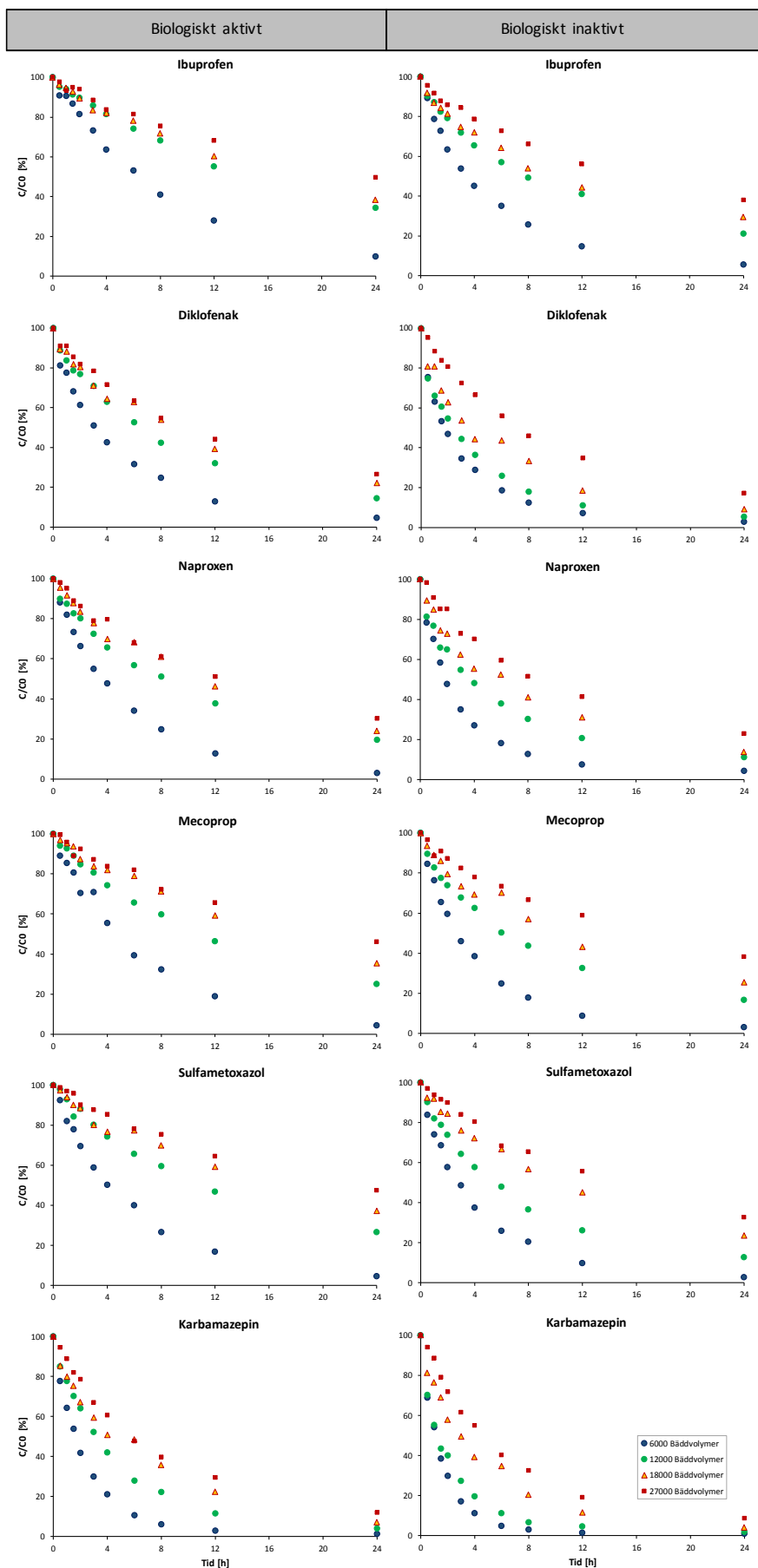
	pH	DOC	COD _{löst}	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N
6000 bäddvolymmer	7.0	11.4	27.3	3.53	0.9
12000 bäddvolymmer	7.0	9.8	20.9	0.2	0.4
18000 bäddvolymmer	7.0	10.6	27.7	1.1	1.3
27000 bäddvolymmer	7.0	13.4	34.4	2.4	4.3

3.2 Kol-14-märkta mikroföroreningar i vätskefasen

Figur 2 visar vätskekoncentrationer för sex kol-14-märkta mikroföroreningar i laboratorieförsök med biologiskt aktivt och biologiskt inaktivt GAK (12g/L) vid olika bäddvolymmer. I försöken med biologiskt aktivt och biologiskt inaktivt GAK ökade reningsgraden med ökad kontakttid för samtliga kol-14-märkta mikroföroreningar under det första dygnet. Koncentrationsförändringarna under det första försöksdygnet var även större vid 6000 bäddvolymmer än vid 27000 bäddvolymmer, vilket indikerar att adsorptionskapaciteten för filtret minskar med ökad drifttid. Liknande observationer har tidigare gjorts för GAK-filtret i pilotskala (Edefell et al., 2019; Fundneider et al., 2021).

Av de undersökta mikroföroreningarna sågs högst koncentrationsförändring för karbamazepin. Detta skulle kunna förklaras med att karbamazepin har en neutral laddning medan de övriga mikroföroreningarna har en negativ laddning vid pH 7, vilket minskar laddningsrepulsionen med den negativt laddade GAK-ytan (Guillossou et al., 2020). Tidigare försök med pulveriserat aktivt kol har även de visat högre adsorption av karbamazepin än av de övriga mikroföroreningarna (Margot et al., 2013; Löwenberg et al., 2014).

Högre reningsgrader observerades för biologiskt inaktivt GAK än för biologiskt aktivt GAK, vilket ger en första indikation på att adsorption snarare än biologisk nedbrytning var den drivande reningsmekanismen för de undersökta mikroföroreningarna i GAK-filtret på Svedala reningsverk. Den ökade reningsgraden i det biologiskt inaktiva kolet beror troligen på att värmebehandlingen, som även kan användas vid regenerering av tidigare använt kol, frigjort adsorptionsplatser för mikroföroreningarna som tidigare ockuperats av annat organiskt material.

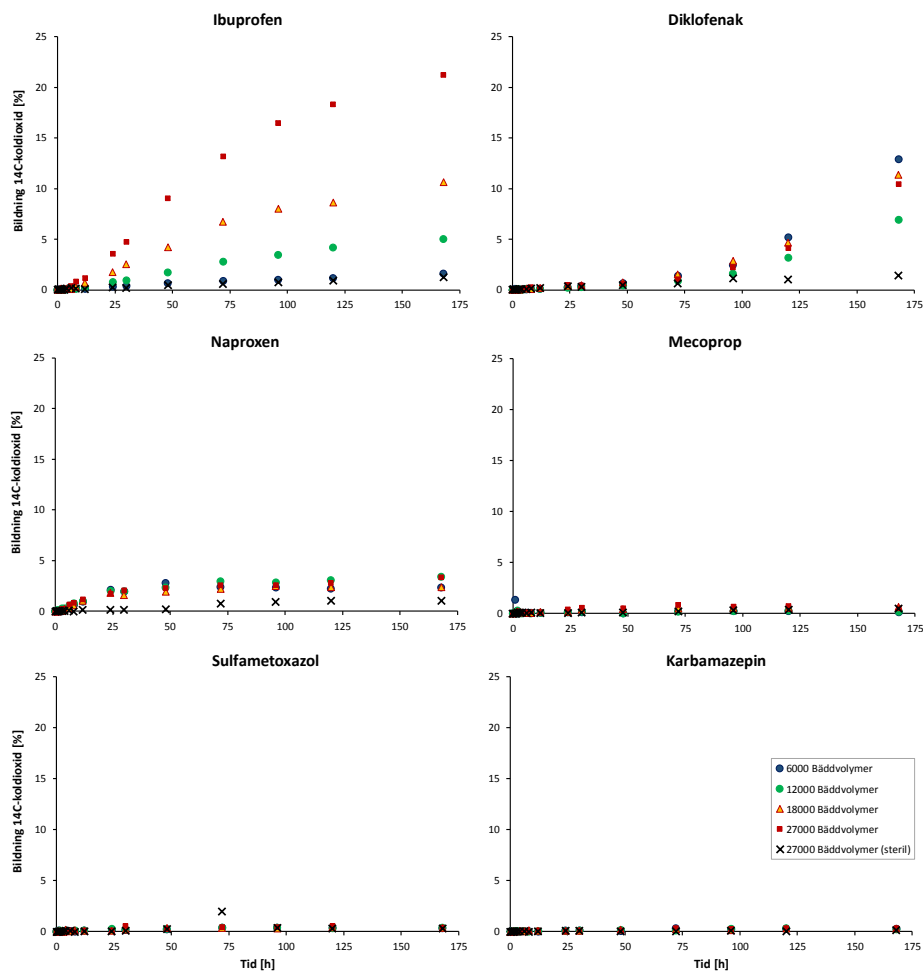


Figur 2. Vätskekoncentrationer för sex kol-14-märkta mikroföroreningar i laboratorieförsök med biologiskt aktivt och biologiskt inaktivt GAK (12g/L) vid 6000, 12000, 18000 och 27000 bäddvolymer.

3.3 Bildning av kol-14-märkt koldioxid

Figur 3 visar bildning av kol-14-märkt koldioxid från sex kol-14-märkta mikroföroreningar i kontakt med biologiskt aktivt GAK vid fyra olika bäddvolymmer och i kontakt med biologiskt inaktivt GAK vid 27000 bäddvolymmer. För karbamazepin, sulfametoxazol och mecoprop kunde inte någon bildning av kol-14-märkt koldioxid påvisas, vilket indikerar att den biologiska nedbrytningen av dessa ämnen var begränsad eller inte medförde en klyvning av det kol-14-märkta kolet. Nedbrytning av sulfametoxazol och mecoprop är kända från biologiska reningsprocesser. Däremot är karbamazepin ett mycket biologiskt stabilt ämne, som kräver kompletterande reningsmetoder för att kunna avlägsnas från avloppsvatten.

För de tre antiinflammatoriska ämnena, ibuprofen, naproxen och diklofenak, kunde en mindre bildning av kol-14-märkt koldioxid ses. Bildningen var dock långsam och uppgick endast till maximalt 25% av den ursprungliga mängden kol-14 i mikroföroreningen, vilket indikerar att adsorption snarare än biologisk nedbrytning är den huvudsakliga reningsmekanismen i GAK-filtret på Svedala reningsverk. Huruvida det är möjligt att öka den biologiska reningen av dessa ämnen i GAK-filter är dock inte helt känt.



Figur 3. Bildning av kol-14-märkt koldioxid från sex kol-14-märkta mikroföroreningar i försök med biologiskt aktivt GAK (12 g/L) vid fyra olika bäddvolymmer (6000, 12000, 18000 och 27000 bädvolym) och biologiskt inaktivt GAK (12 g/L) vid 27000 bäddvolymmer.

4 Sammanfattning

Försök för att utreda adsorption och biologisk nedbrytning av sex kol-14-märkta mikroföroreningar (ibuprofen, naproxen, diklofenac, mecoprop, sulfametoxazol och karbamazepin) i kontakt med granulerat aktivt kol från ett GAK-filter i pilotskala resulterade i följande fynd:

- Alla de undersökta mikroföroreningarna adsorberade till GAK och adsorptionshastigheten minskade med ökat antal bäddvolymmer.
- Biologisk nedbrytning kunde endast bekräftats för ibuprofen, naproxen och diklofenak i kontakt med GAK. Hastigheterna med vilka dessa ämnen bröts ned var dock för låg för att kunna utgöra en betydande reningsmekanism i det undersökta GAK-filtret.
- Adsorption förväntas således vara den huvudsakliga reningsmekanismen för mikroföroreningarna i det undersökta GAK-filtret.

Avsaknad av biologisk nedbrytning av vissa ämnen såsom karbamazepin indikerar slutligen att GAK-filter bör optimeras för att bibehålla en hög adsorptionskapacitet över tid.

Referenser

- Abegglen, C. and Siegrist, H., 2012. Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser – Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. *Scweizerische Eidgenossenschaft, Bundesamt für Umwelt BAFU*, Bern 2012.
- Altmann, J., Rehfeld, D., Träder, K., Sperlich, A., Jekel, M., 2016. Combination of granular activated carbon adsorption and deep-bed filtration as a single advanced wastewater treatment step for organic micropollutant and phosphorus removal. *Water Research* 92, 131–139.
- Edefell, E. Ullman, R., Bengtsson, E., 2019. Ultrafilter och granulerat aktivt kol för avskiljning av mikroföroreningar. *Svenskt Vatten Utveckling*, Rapport nummer 2019-1.
- Eggen, R.I., Hollender, J., Joss, A., Stamm, C., Schärer, M., 2014. Reducing the discharge of micropollutants in the aquatic environment: The benefits of upgrading wastewater treatment plants. *Environmental Science and Technology*, 48, 14, 7683-7689.
- Ek, M., Baresel, C., Magnér, J., Bergström, R., Harding, M., 2014. Activated carbon for the removal of pharmaceutical residues from treated wastewater. *Water Science and Technology*. 69, 2372-2380.
- Falås, P., Jewell, K.S, Hermes, N., Wick, A., Ternes, T.A., Joss, A., Nielsen, J.L., 2018. Transformation, CO₂ formation and uptake of four organic micropollutants by carrier-attached microorganisms, *Water Research* 141, 405-416.
- FOEN, Swiss Federal Office for the Environment, 2015. Erläuternder Bericht zur Änderung der Gewässerschutzverordnung, Referenz/Aktenzeichen, M473-0796. Websida, <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/41551.pdf>
- Fundneider, T., Acevedo Alonso, V., Wick, A., Albrecht, D., Lackner, S., 2021. Implications of biological activated carbon filters for micropollutant removal in wastewater treatment. *Water Research* 189, 116588.
- Guillossou, R., Le Roux, J., Mailler, R., Pereira-Derome, C.S., Varrault, G., Bressy, A., Vulliet, E., Morlay, C., Nauleau, F., Rocher, V., Gasperi, J., 2020. Influence of dissolved organic matter on the removal of 12 organic micropollutants from wastewater effluent by powdered activated carbon adsorption. *Water Research* 172, 115487.
- Hedegaard, M.J., Arvin, E., Corfitzen, C.B., Albrechtsen, H.J., 2014. Mecoprop (MCP) removal in full-scale rapid sand filters at a groundwater-based waterworks. *Science of the Total Environment* 499, 257-264.
- Löwenberg, J., Zenker, A., Baggenstos, M., Koch, G., Kazner, C., Wintgens, T., 2014. Comparison of two PAC/UF processes for the removal of micropollutants from wastewater treatment plant effluent: process performance and removal efficiency. *Water Research* 56, 26–36.
- Margot, J., Kienle, C., Magnet, A., Weil, M., Rossi, L., de Alencastro, L.F., Abegglen, C., Thonney, D., Chevre, N., Scharer, M., Barry, D.A., 2013. Treatment of micro- pollutants in municipal wastewater: ozone or powdered activated carbon? *Science of the Total Environment*, 461, 480–498.

- Paredes, L., Fernandez-Fontaina, E., Lema, J.M., Omil, F., Carballa, M., 2016. Understanding the Fate of Organic Micropollutants in Sand and Granular Activated Carbon Biofiltration Systems. *Science of the Total Environment* 551-552, 640-648.
- Popple, T., Williams, J.B., May, E., Mills, G.A., Oliver, R., 2016. Evaluation of a Sequencing Batch Reactor Sewage Treatment Rig for Investigating the Fate of Radioactively Labelled Pharmaceuticals: Case Study of Propranolol. *Water Research* 88, 83-92.
- Rattier, M., Reungoat, J., Gernjak, W., Joss, A., Keller, J., 2012. Investigating the role of adsorption and biodegradation in the removal of organic micropollutants during biological activated carbon filtration of treated wastewater. *Journal of Water Reuse and Desalination* 2(3):127-139.
- Reemtsma, T., Weiss, S., Mueller, J., Petrovic, M., González, S., Barcelo, D., Ventura, F. and Knepper, T.P., 2006. Polar Pollutants Entry into the Water Cycle by Municipal Wastewater: A European Perspective. *Environmental Science & Technology* 40(17), 5451-5458.
- Reungoat, J., Escher, B.I., Macova, M., Keller, J., 2011. Biofiltration of wastewater treatment plant effluent: Effective removal of pharmaceuticals and personal care products and reduction of toxicity. *Water Research* 45, 2751–2762.
- Simpson, D.R., 2008. Biofilm processes in biologically active carbon water purification. *Water Research* 42, 2839–2848.
- Svenskt Vatten (2019). Beställargrupp för minskade utsläpp av läkemedelsrester, mikroplaster och andra föroreningar via avloppsreningsverk, *Redovisning 2018-19*.
- Svenskt Vatten, 2021. Websida: www.svensktvatten.se/vattentjanster/avlopp-och-miljo/reningsverk-och-reningsprocesser/bestallargrupp-lakemedelsrester-mikroplaster-och-andra-fororeningar/
- Svenskt vatten (2019). Beställargrupp för minskade utsläpp av läkemedelsrester, mikroplaster och andra föroreningar via avloppsreningsverk, *Redovisning 2018-19*.