

# Kan biokol rena akvatiska miljöer från läkemedelsrester?

STINA STOMBERG 2019  
MVEK02 EXAMENSARBETE FÖR KANDIDATEXAMEN 15 HP  
MILJÖVETENSKAP | LUNDS UNIVERSITET





**LUNDS**  
UNIVERSITET

Stina Stomberg

MVEK02 Examensarbete för kandidatexamen 15 hp, Lunds universitet

Intern handledare: Maria Hansson, Centrum för miljö- och klimatforskning,  
Lunds universitet

Extern handledare: Alexander Nordström, Segeå vattenförbund

CEC - Centrum för miljö- och klimatforskning  
Lunds universitet  
Lund 2019

# Abstract

Pharmaceutical residues are becoming more appearing in aquatic systems and it is affecting aquatic organisms. A literature analysis was made to determine if biochar can adsorb pharmaceutical residues and if it is more effective than the already established filter material active carbon. This study shows that biochar has good promises to be able to act as a filter to adsorb pharmaceutical residues. Properties like high surface area, pore volume and aromatic carbon, increase the adsorption and high ash -content decrease the adsorption. Pyrolystemperature and feedstock material appears to have the most impact on which properties biochar receives. More studies need to be made to be able to determine if the use of biochar as a filter material can be more adsorptive and cost-effective than active carbon.



# Innehållsförteckning

**Abstract 3**

**Innehållsförteckning 5**

**Inledning 7**

*1.1 Problembeskrivning 7*

*1.2 Syfte och frågeställning 10*

*1.3 Avgränsningar 10*

**Metod 11**

*2. Litteraturundersökning 11*

**Resultat 13**

*3.1 Litteraturanalys av Biokol och Aktivt kol 13*

*3.1.1 Biokol 13*

*3.1.2 Aktivt kol – PAK pulveriserat aktivt kol 14*

*3.2 Litteraturanalys av läkemedel 15*

*3.4 Laboratorieundersökningar 17*

*3.4.1 Biokol producerade från olika råmaterial och pyrolystemperatur 17*

*3.4.2 O-biokol och N-biokol 19*

*3.4.3 Påverkan av varierande pH 22*

*3.4.5 Biokol i kombination med andra filter 25*

**Diskussion 27**

**Slutsats 33**

**Tack 35**

**Referenser 37**



# Inledning

## 1.1 Problembeskrivning

Läkemedel används i stora mängder dagligen, både för personligt- och medicinskt bruk. Då många reningsverk inte är byggda för att ta emot läkemedelsrester passerar dessa substanser ofta rakt igenom reningen och följer med det utgående vattnet (Naturvårdsverket, 2018). Eftersom läkemedel är kemiskt stabila ämnen och har en förmåga att påverka biologiska processer i människokroppen kan resterna även påverka organismer i akvatiska miljöer (Naturvårdsverket, 2018). Hittills har inga halter av läkemedelsrester som anses utföra någon hälsorisk detekterats i akvatiska miljöer i Sverige, men även om halterna för tillfället inte utför någon risk går det inte att säga att det kanske inte gör det om några år då läkemedel består av stabila ämnen som kan vara kvar i miljön väldigt länge. (Naturvårdsverket, 2018). Länder där högre koncentrationer har uppmätts är lågkostnadsländer såsom Kina och Indien på grund av en större läkemedelsproduktion i dessa länder (Naturvårdsverket, 2018). På grund av för få utförda studier inom ämnet är kunskapen låg vad det gäller vilka biologiska effekter läkemedelsresterna har på djur och växter i miljön och vilka långtidseffekter som kan uppstå (Naturvårdsverket, 2018). De finns dock forskning som visar på att läkemedelsrester har negativ effekt på djur och växter i miljön. Läkemedel med hormoner hämmar vattenlevande organismers fortplantning och stör deras hormonsystem och antibiotikarester kan leda till att antibiotikaresistenta bakteriestammar gynnas (Naturvårdsverket, 2018).

Ett exempel på ett vattendrag i Sverige där höga koncentrationer av läkemedelsrester har uppmätts är Segeå som är recipient till Svedala reningsverk.

Segeå är belägen i sydöstra Skåne och är 4,6 mil lång. Huvudfåran rinner från Börringesjö i Svedala kommun och vidare genom Malmö kommun innan den mynnar ut i Öresund. Segeå lider av ett antal miljöproblem och enligt Vatteninformationsystem Sverige, (VISS), är den ekologisk status ”dålig” och den kemiska statusen ”uppnår ej god”. Ett antal påverkningskällor är kopplade till Segeå varav några av dem har betydande påverkan på den ekologiska- och kemiska statusen i ån. Sturups flygplats och brandövningsplatsen i Svedala bidrar med förhöjda halter av PBDE (Polybromerade difenyletrar) som används som flamskyddsmedel (Persson, 2017) och PFOS (Perfluoroktansulfonat) som återfinns i hydrauloljor inom flygindustrin (Kemikalieinspektionen, 2016). Enligt VISS överskrider värdena på kvicksilver, PBDE och PFOS de gränsvärden som finns och är den största påverkan på den kemiska statusen i Segeå. Näringsläckage av fosfor och kväve och avrinning av bekämpningsmedel såsom MCPA och Diflufenikan från jordbruk har också betydande påverkan på vattenkvalitén (VISS, 2019). Näringsläckage av fosfor och kväve bidrar till övergödning och miljögifter såsom bekämpningsmedel kan påverka organismerna som lever i ån (VISS, 2019). Svedala reningsverk har också en betydande påverkan på vattenkvalitén i Segeå då vattenflödet ut från reningsverket till ån är väldigt hög (Svedala kommun, u.å.). Som många andra reningsverk har Svedala reningsverk inget reningssteg som är specialiserat på att ta bort läkemedelsrester därför återfinns höga halter av läkemedelsrester i utloppsvattnet som når Segeå (Svedala Kommun, 2018). Enligt rapporten om läkemedelsutsläpp från Skånska Avloppsreningsverk (2017) har Svedala reningsverk höga koncentrationer av bland annat det antiinflammatoriska läkemedlet Diklofenak (1117 ng/L) och hjärtmedicinen Metoprolol (1430 ng/L) i utloppsvattnet till (Svahn & Björklund, 2017). Segeå är dock inte det enda vattendrag som är påverkat av läkemedelsrester i Sverige och det finns många fler reningsverk än Svedala reningsverk som har höga halter av läkemedelsrester i sitt utloppsvatten. Ett fåtal andra exempel är Kristianstad reningsverk som släpper ut höga halter av



antidepressiva medlet oxazepam (475 ng/L) och narkotikamedlet tramadol (208 ng/L) till Helge å, Ormanäs reningsverk som släpper ut en hög halt av det inflammationsdämpande medlet Ibuprofen (1158 ng/L) till norra delen av Västra Ringsjön och Sankt Olofs Reningsverk som släpper ut en hög halt av inflammationsdämpande medlet naproxen (1430 ng/L) till Rörums Södra Å (Svahn & Björklund, 2017).

På grund av att ett fåtal läkemedel även används inom jordbruket kan dessa påträffas i marken vilket gör dem tillgängliga för grödor att ta upp dem (Carter et al., 2014). Carter et al. (2014) undersökte i sitt experiment upptaget av läkemedelsrester i jord av två olika plantor, rädisor (*Raphanus sativu*) och ett sorts gräs (*Lolium perenne*) och om tillförseln av biokol i jorden kunde förhindra upptaget. Sex läkemedel testades varav det antiepileptika läkemedel karbamazepin var det som adsorberades till störst del (rädisa 52 µg/g och gräs 33 µg/g) (Carter et al., 2014). Resultatet från experimentet visade att även om alla sex läkemedelsrester återfanns i porvattnet i plantorna vid experimentets slut visade biokolet på en minskning i upptaget (Carter et al., 2014). På grund av att biokol har visat goda förutsättningar på läkemedelsretention är det intressant att undersöka ämnet vidare.

I kroppen bryts läkemedel ner till mindre delar och det saknas studier på vilka effekter de mindre produkterna har på miljön då effekterna är svåra att förutsäga (Farré m.fl, 2008). Det saknas även kunskap om vad olika kombinerade läkemedelsrester kan ha för biologiska effekter på djur (Naturvårdsverket, 2018). Det är därför viktigt att undersöka om det går att fånga upp läkemedelsresterna så att de inte påverkar omgivande miljö.

## 1.2 Syfte och frågeställning

Syftet med uppsatsen är att utvärdera om det går att rena vatten från läkemedelsrester genom att använda biokol som filter med hjälp av följande frågeställning,

- i) Kan biokol adsorbera läkemedelsrester från vatten och
- ii) Är det mer kostnads- och reningseffektivt än aktivt kol?

## 1.3 Avgränsningar

En avgränsning gjordes i litteraturundersökningen då det fanns en brist på artiklar från svenska utförda studier. Därför fokuserar den här litteraturundersökningen på artiklar från studier som utförts i andra länder än i Sverige. Då det finns en brist i utförda fältundersökningar fokuseras resultatet på artiklar om laboratorieundersökningar. Urvalet av artiklar har varken påverkats av ålder, kön eller nationalitet. Regenerering och hållbarhet för biokol som filtermaterial undersöktes inte då detta inte fick plats i arbetets omfång. Eventuella påverkande kemiska faktorer i läkemedlerna så som laddning på molekylerna och bindningsenergi är inte med i arbetet och valet av läkemedel som benämns i rapporten utgicks från vilka läkemedel som undersöktes i laboratieförsöken. Urvalet av läkemedel påverkades inte av namn eller produktionsansvarig.

# Metod

## 2. Litteraturundersökning

Projektet består av en litteraturstudie där resultatet från tidigare undersökningarna och experiment om biokols effektivitet att rena vatten från läkemedelsrester sammanställs. Projektet kommer även beröra skillnaderna mellan biokol och aktivt kol, vilket som är mest pris-och reningseffektivt. Det är en undersökning i samarbete med ett projekt som leds av Segeå vattenförbund. Segeå vattenförbund har som mål att skapa en pilotanläggning med biokol och under våren 2019 ta prover upp- och nedströms om Svedala reningsverk som kan utvärderas inom ramarna för projektet. Med hjälp av provresultaten vill Segeå undersöka om biokol är en möjlig och lämplig åtgärd vid reningsverket för att minska utsläppet av läkemedelsrester. På grund av en uppskjutning av Segeå vattenförbunds projekt till år 2020 kommer det här projektet inte behandla några provresultat. Målet med det här projektet är att sammanställa tidigare studier där biokols reningseffektivitet med avseende på läkemedelsrester har undersökts för att kunna dra slutsatser om biokol kan vara en eventuell lösning som kan implementeras i vattendrag för att minska läkemedelsrester i naturen.

En sökstrategi utfördes mellan 19-03-25 och 19-05-27 med sökorden "biochar", "pharmaceuticals" och "pharmaceuticals in water" på databasen LubSearch. Av de 209 träffarna valdes 16 artiklar ut utifrån deras relevans på titel och utav de 16 valdes 10 artiklar ut för att studeras närmare. De 10 artiklarna valdes ut utifrån en läsning av abstract där relevans av frågeställning och metod stod till hög vikt.

Tabell 1 Sökstrategin på LubSearch

Sökstrategi						
Databas	Sökord	Avgränsningar	Antal träffar	Urval 1	Urval 2	
<b>LubSearch</b>				1	2	
<b>2019-04-16</b>						
#1	"biochar"	Filter: vetenskapliga artiklar, analyser, avhandlingar och böcker från 20 år tillbaka	27,725	-	-	
#2	#1 AND "Pharmaceuticals" OR "Pharmaceuticals in water"	Filter: vetenskapliga artiklar, analyser, avhandlingar och böcker från 20 år tillbaka	209	16	10	

Det är brist på svensk forskning som gjorts inom området och därför består den här uppsatsen endast till stora delar av forsknings som gjorts i andra länder. De svenska källor som refereras till påträffades genom en sökning på Google, via hemsidor såsom Naturvårdsverket och från Segeå Vattenförbunds projektansökan. På grund av det även finns en brist inom utförda fältarbeten fokuseras resultatet till största del i den här uppsatsen på laboratorieundersökningar. En kedjesökning från artiklarna Dalameh et al., (2018) och Jung et al., (2013) utfördes som en komplettering till sökningen på LubSearch. Även här lades det stor vikt på artiklarnas titlar och innehåll i abstract, varav två artiklar från varje valdes ut. En kompletterande sökning gjordes på hemsidor såsom, VISS, Naturvårdsverket, Svedala kommun, Vårdguiden och Branschföreningen Biokol Sverige för att få ytterligare information. En sökning inom Naturvårdsverkets hemsida gav flera relevanta rapporter såsom Rapport 6766 och Rapport C 235.

# Resultat

## 3.1 Litteraturanlys av Biokol och Aktivt kol

### 3.1.1 Biokol

Enligt europeiska biokol certifieringen definieras biokol som en kol-liknande substans som är rik på aromatiskt kol och mineraler (Schmidt m.fl, 2016). Biokol produceras genom pyrolys, vilket är en kontrollerad upphettning av organiska material, till exempel löv, träd och gödsel under syrefattiga förhållanden och omvandlas till kol (Figur 2) (Rodríguez, 2012). Biokol är väldigt likt det kol som kommersiellt används vid grillning, men för att kunna klassas som biokol får det inte under snabb förbränning omvandlas till koldioxid (Branschföreningen Biokol Sverige, u.å.)



Figur 1 Bild på biokol. Foto: Victor de Schwanberg

Biokol erhåller olika egenskaper beroende på vilken temperatur det organiska materialet förbränns vid och vilket råmaterial som använts (Hassby, 2014). Exempelvis, för att biokol ska adsorbera fosfor (fosfat), behöver biokolet vara positivt laddat då fosfat är minusladdat (Branschföreningen Biokol Sverige).

Biokol används idag främst som jordförbättrare (Rodríguez, 2012) men det förekommer även som filtermaterial vid vattenrening för att rena tungmetaller och gifter i spillvatten (Branschföreningen Biokol Sverige). Biokol har en förmåga att både adsorbera och absorbera ämnen (Branschföreningen Biokol Sverige). När biokol adsorberar ämnen dras olika laddade joner till varandra och ämnen lägger sig på ytan av biokolet, vid absorption suger biokolet till sig ämnen via dess porositet (Branschföreningen Biokol Sverige), adsorption fokuseras på i det är projektet.

Det finns rent biokol och näringsladdat biokol. Det vanligaste är att använda näringsladdat biokol som jordförbättrare då rent biokol suger åt sig näringen från jorden tills det är närings mättat vilket då tar näringen från växterna i jorden (Branschföreningen Biokol Sverige). På grund av att biokol har en porös struktur och hög specifik yt-area passar biokol väldigt bra som jordförbättrare, då det har visat effekter såsom att jorden håller vatten bättre, gör jorden mer porös och att jordens förmåga att binda näringsämnen ökar (Branschföreningen Biokol Sverige). Det finns däremot färre studier som gjorts på hur biokol kan fungera som filtermaterial vid avloppsreningsverk för att rena vattnet från läkemedelsrester.

### 3.1.2 Aktivt kol – PAK pulveriserat aktivt kol

Aktivt kol har liknande egenskaper som biokol men produceras på ett lite annat sätt, aktivt kol kan produceras av fossilt kol och blir ofta kemiskt behandlat för att öka dess filtrerande egenskaper (Branchföreningen Biokol Sverige, u.å.). Till skillnad från biokol är aktivt kol ett välanvänt filtermaterial idag (Branchföreningen Biokol Sverige, u.å.). Granulerat aktivt kol (GAK) är en typ av aktivt kol, vars grundläggande princip är adsorption av föroreningar på den aktiva kolytan (Naturvårdsverket, 2017). Vid implementering i avloppsreningsverk placeras GAK i filterbäddar i ett separat reningssteg, när kolet är mättat behöver

det regenereras för att kunna användas på nytt (Naturvårdsverket, 2017). GAK har visat på god avskiljningsgrad för läkemedelsrester i redan aktiva installationer, dock är resursförbrukningen vid tillverkning och regenerering av kolet hög (Naturvårdsverket, 2017). Pulveriserat aktivt kol (PAK) är också en typ av aktivt kol som fungerar på samma sätt som GAK (Naturvårdsverket, 2017). Skillnaden är att PAK avskiljs med slammet efter huvudprocessen i det biologiska steget, det kan inte regenereras och kan därför inte användas igen (Naturvårdsverket, 2017). PAK kan vid vissa applikationer även kontaminera avloppsslammet vilket således leder till att slammet inte kan användas vidare, exempel som gödningsmedel på åkermark (Naturvårdsverket, 2017). Naturvårdsverket (2017) tar även upp i sin rapport att även om PAK och GAK är väletablerade filter så är det intressant att hitta andra material för läkemedelsrening i avloppsverk. Vid regenereringen förbrukas 10-20% av det aktiva kolet, därför är det intressant att undersöka ämnen som inte behöver regenereras såsom biokol (Naturvårdsverket, 2017).

### 3.2 Litteraturanlys av läkemedel

Resultatet från Läkemedelsutsläpp från Skånska Avloppsreningsverk (2017) visade att Svedala reningsverk har av 21 testade läkemedel de högsta utsläppen av 11 av dem (Tabell 2), varav det icke-steroida antiinflammatoriska medlet diklofenak och hjärtmedicinen metoprolol har de högsta värdena i utloppsvattnet, 1117 ng L<sup>-1</sup> resp. 1430 ng L<sup>-1</sup> (Tabell 2) (Svahn & Björklund, 2017). Resultatet från Stockholm vatten 2011 visar att höga koncentrationer av läkemedel påträffades i utsläpp från avloppsreningsverk även 2011 (Svahn & Björklund, 2017). Avloppsreningsverken som undersöktes då var Bromma avloppsreningsverk och Henriksdal avloppsreningsverk och de läkemedel som visade på högst koncentrationer var Metoprolol, 1161 ng L<sup>-1</sup> (Henriksdal) 1320 ng L<sup>-1</sup> (Bromma) och naproxen 476 ng L<sup>-1</sup> (Henriksdal) 565 ng L<sup>-1</sup> (Bromma) (Tabell 2).

Tabell 2. Lista av 13 ämnen varav 11 ämnen hade Svedala Reningsverk högst koncentration av i utloppsvattnet jämfört med 8 andra skånska reningsverk. Resterande två ämnen hade högre koncentration i andra reningsverk, Ibuprofen från Ormanäs reningsverk och Naproxen från Sankt Olof reningsverk

Läkemedelsgrupp	Ämne	Mängd i ng L <sup>-1</sup>	Högsta mängd i ng L <sup>-1</sup>	Stockholm vatten 2011 i ng L <sup>-1</sup>
Antidepressivt läkemedel	Citalopram	217	217	196 (Henriksdal), 140 (Bromma)
Antibiotika	Klaritromycin	213	213	
Icke-steroida antiinflammatoriska medel	Diklofenak	1117	1117	288 (Henriksdal), 257 (Bromma)
Antibiotika	Erytromycin	640	640	
Icke-steroida antiinflammatoriska medel	Ibuprofen	107	1158 (Ormanäs)	42 (Henriksdal), 80 (Bromma)
Antiepileptika läkemedel	Karbamazepin	699	699	373 (Henriksdal), 305 (Bromma)
Mjäll och mjällseksem	Ketokonazol	6	6	8 (Henriksdal), 9 (Bromma)
Används mot högt blodtryck	Losartan	921	921	204 (Henriksdal), Bromma 187
Sänka blodtryck, betablockerare	Metoprolol	1430	1430	1161 (Henriksdal), 1320 (Bromma)
Icke-steroida antiinflammatoriska medel	Naproxen	304	1430 (Sankt Olof)	476 (Henriksdal), 565 (Bromma)
Bakteriedödande antibiotika	Sulfametoxazol	281	281	60 (Henriksdal), 52 (Bromma)
Bakteriehämmande antibiotika	Trimetoprim	107	107	35 (Henriksdal), 186 (Bromma)
Sömnmedel	Zolpidem	4	4	5.1 (henriksdal), 4.8 (Bromma)



### 3.4 Laboratorieundersökningar

#### 3.4.1 Biokol producerade från olika råmaterial och pyrolystemperatur

På grund av att biokol kan produceras av många olika typer av råmaterial samt via olika pyrolystemperaturer har olika biokol olika egenskaper. I en studie gjord av Dai et al. (2016) jämfördes de kemiska skillnaderna mellan biokol gjort på växter och biokol gjort gravgödsel. De gödselbaserade biokolet bestod av en lägre halt kol (141g/kg resp. 652 g/kg) men högre halt aska, fosfor och kväve (Dai et al., 2016). Dai et al. (2016) observerade även en skillnad i pH, där det gödselbaserade biokolet hade högre pH än det växtbaserade.

Lonappan et al. (2018) jämför i sin artikel, adsorptions kapaciteten på diklofenak för rent biokol, det biokol som erhöles från fabrikerna, och mineraliserat biokol, det erhållna biokolet men omgjort till mikropartiklar. De två biokolen som användes var ett biokol gjort på tall-träd och ett biokol gjort på gravgödsel och ett aktivt kol som referenspunkt (Lonappan et al., 2018). En koncentration på  $500 \mu\text{g L}^{-1}$  användes för diklofenak då denna ansågs vara en miljömässigt relevant koncentration (Lonappan et al., 2018). Mikropartikel biokolet visade på en lite högre avlägsnande kapacitet (68%) än det råa tall-träd biokolet (40%) (Lonappan et al., 2018). Att mikropartikel biokolet adsorberar bättre skriver Lonappan et al. (2018) att det beror på ökningen som skedde i specifik yt-area när det råa tall-träd biokolet gjordes om till mikropartiklar ( $0,18 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  till  $13,3 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ) då en ökning i specifik yt-area bidrar till en ökning i adsorptionsplatser. Båda gravgödsel biokolen visade på utmärkt adsorptionsförmåga, 82% för det råa gravgödsel biokolet och 99,6% för mikropartikel gravgödsel biokolet vilket Lonappan et al. (2018) skriver beror på biokolens höga specifika yt-area ( $21,4 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  och  $43,5 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ). Trots den stora specifika yt-arean för det aktiva kolet ( $900 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ) visade det på lägre adsorptionsförmåga än mikropartikel gravgödsel biokolet (95% jämfört med 99,6%) (Lonappan et al., 2018) (tabell 3). Vid en spektroskopisk mätmetod

noterades ett antal oorganiska funktionella grupper, såsom halogenider, sulfider och karboxylsyror, på ytan på grisdödsel biokolet (Lonappan et al., 2018). Dessa funktionella grupper bidrar till en polär yta på biokolet vilket ökar dess adsorberande förmåga (Lonappan et al., 2018). Resultatet visar på att biokol gjort på gödsel kan fungera som ett utmärkt substitut mot aktivt kol (Lonappan et al., 2018).

Lin et al. (2017) är en annan artikel som också noterar att yt-arean och porvolymen på biokolet är en av de viktigaste faktorerna för ett bra adsorberande medel. I artikeln undersöks samverkan mellan salt och organiskt material med avseende på adsorption av två läkemedelsrester, ibuprofen och sulfametoxazol (Lin et al., 2017). Tre biokol, alla framställda med träflisor som råmaterial men producerade av olika företag, användes för att se om de skulle vara någon skillnad på olika trädslag och granulerat aktivt kol (GAK) som referenspunkt (Lin et al., 2017). Liknande resultatet i Lonappan et al., (2018) visade resultatet i Lin et al., (2017) studie på att det aktiva kolet har en högre specifik yt-area och porvolym än biokolen. Det aktiva kolet hade en yt-area på  $784.6 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  och de tre biokolen hade yt-areor på  $369.1 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  (W-biokol),  $207.8 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  (C-biokol),  $7.753 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  (G-biokol). Skillnaden i yt-area och porvolym för de olika biokolen berodde på att biokolen från de olika företagen producerades av olika trädslag där biokol gjort på mjukt trädslag visade på bäst resultat (Lin et al., 2017). W-biokolet visade på 20 % högre adsorptions kapacitet för sulfametoxazol men 10% lägre för ibuprofen än det aktiva kolet (Lin et al., 2017) (tabell 3). Vilket bevisar att adsorptions kapaciteten för det adsorberande ämnet kan kopplas samman med ask-innehåll, yt-area och porvolym (Lin et al., 2017). W-biokol hade lägre yt-area och porvolym men på grund av att det hade lägre ask innehåll än aktivt kol blev deras adsorptions kapaciteter väldigt lika (Lin et al., 2017). Ett högt ask-innehåll för aktivt kol (8.7%) antyder Lin et al. (2018) påverkar dess förmåga att adsorbera organiska komponenter, det gynnar snarare adsorptionen av andra komponenter

som föredrar ett högt askinnehåll såsom färgrester och metaljoner vilket skapar konkurrens mot adsorptionen av organiska komponenter (Lin et al., 2017).

Williams et al. (2015) experiment gick ut på att undersöka om biokol kan adsorbera läkemedelsrester från jord och på så sätt förhindra att växter tar upp läkemedelsresterna. De använde sig av tre olika biokol producerade av tre olika företag, ett gjort på vete och två gjorda på eukalyptusträd (Williams et al., 2015). De riktade in sig på två läkemedelsrester, karbamazepin och propranolol, och lät gräs växa i jord blandat med läkemedelsresterna (Williams et al., 2015). Resultatet visade att båda läkemedelsresterna togs upp av gräset både när biokol var närvarande och när det inte var närvarande, dock visade det på mycket lägre adsorption till gräset när biokol var närvarande (Williams et al., 2015). Både biokolen gjort på vete och eukalyptus adsorberade läkemedelsresterna, dock visade biokolet gjort på vete en lite högre adsorptions kapacitet (Williams et al., 2015). Williams et al. (2015) skriver tillika tidigare artiklar att skillnaden i adsorption beror på vilka egenskaper biokolet erhåller med olika råmaterial. I sin slutsats nämner Williams et al. (2015) att biokol kan fungera bra som en adsorbent av läkemedelsrester i jord men att mer forskning behöver.

#### 3.4.2 O-biokol och N-biokol

Vid pyrolysen kan olika faktorer regleras för att få olika önskade egenskaper på biokolet. En av faktorerna är pyrolystemperaturen, som kan regleras mellan mellan 300 och 900 °C (Mohanty et al., 2018), varav flera studier har visat att en högre pyrolystemperatur påverkar pH, biokolets specifika yta, anjonbyteskapacitet och katjonskapacitet (Wang et al., 2013; Mohanty et al., 2018; Cheng et al., 2017). Oh och Seo. (2016) visar i sitt laboratorieförsök att en hög pyrolystemperatur ger en stor yt-area. En annan faktor som också går att reglera förutom temperaturen, är mängden syretillförsel vid produktionen då

biokolet antingen kan produceras under förhållanden med syre (O-biokol) eller vid syrefria förhållanden (N-biokol) (Jung et al., 2013).

I ett laboratorieförsök utförd av Jung et al. (2015) undersöktes adsorptionen av diklofenak, naproxen och ibuprofen av O-biokol och N-biokol. N-biokolet producerades under förhållanden med bara kväve O-biokolet producerades under tillförseln av 7 % syre och 93% kväve vilket gör att det bara blir delvis förbränt inte helt förkolnat (Jung et al., 2015). Båda kolen blev sedan aktiverade med NaOH för att öka yt-area och porvolymen (Jung et al., 2015). Resultatet gav att N-biokol hade högre komposition av alifatiska kolväten, vilket indikerar att N-biokolet har en högre polaritet på ytan än O-biokolet, medan O-biokolet bestod av mer aromatiskt kol (Jung et al., 2015). Att O-biokolet bestod av en högre mängd aromatiskt kol berodde på en extra förbränning mellan alkylkol och syre som sker vid pyrolysen vid tillförsel av syre (Jung et al., 2015). Trots att O-biokolet bestod av mer aromatiskt kol än N-biokolet, hade N-biokolet högre adsorptions kapacitet (tabell 3). Det skriver Jung et al. (2015) beror på att N-biokolets högre polaritet och specifika yt-area påverkar adsorptions kapaciteten mer än vad aromatiskt kol gör.

I ett annat laboratorieförsök utförd av Jung et al. (2013) undersöktes skillnaden i adsorption, med avseende på läkemedelsrester, för NaOH aktiverat O-biokol och N-biokol jämfört med pulveriserat aktivt kol (PAK). På samma sätt som i Jung et al. (2015) visade resultatet att O-biokolet hade ett lägre syre innehåll än N-biokolet (13% resp. 0.65%) vilket resulterade i ett högre kol innehåll än N-biokolet (83.8% resp. 72.6%) (Jung et al., 2013). O-biokolet hade även högre aromaticitet än N-biokolet (74.1% resp. 62.5%) men på grund av att N-biokolet erhöll både högre yt-area än O-biokolet ( $1360.3 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  resp.  $1150.7 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ) och större porvolym ( $0.95 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$  resp.  $0.63 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ ) resulterade det i att N-biokolet adsorberade alla testade läkemedel bättre än O-biokolet (Jung et al., 2013) (tabell 3). Båda biokolen visade dock på både högre yt-area och porvolym än det aktiva kolet ( $972.3 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  och  $0.53 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ ) och på lägre ask-innehåll (N-

4.2% och O-2.7% AK- 20.1% resp.) (Jung et al., 2013). Jung et al. (2013) skriver tillika Lin et al. (2017) att det höga ask innehållet aktivt kol kan få lämpar sig bättre för adsorption av färgrester och metaller och att både N-biokol och O-biokol är bra substitut för aktivt kol på grund av sina höga yt-areor och porvolym.

Av ovanstående nämnda artiklars resultat går det att se en trend i vilka egenskaper som förbättrar adsorptionskapaciteten för biokol och aktivt kol och vilka egenskaper som försämrar adsorptionskapaciteten. Stor specifik yt-area, porvolym, aromatiskt kol och polaritet är egenskaper som förbättrar adsorptionskapaciteten och mycket ask innehåll är en egenskap som försämrar adsorptionskapaciteten. Det går även att se en trend i att aktivt kol ofta har större porvolym och yt-area än biokol men på grund av att aktivt kol ofta har högre ask-innehåll och biokol ofta har högre polaritet och aromatiskt kol så resulterar det i likande adsorptionskapaciteter.

Tabell 3. En sammanfattning av specifika yt-area, ask-innehåll och porvolym för olika biokol gjorda på olika råmaterial jämfört med olika aktivt kol. Samt adsorptionskapaciteten med avseende på olika läkemedel för biokolen och aktiva kolen.

Artikel	Adsorbant	Råmaterial	Specifik yt-area $m^2 g^{-1}$	Ask-innehåll	Porvolym $cm^3 g^{-1}$	Läkemedel	Adsorption kapacitet
<b>Lonappan et al. (2018)</b>	biokol	tall-träd	0,18	-	-	diklofenak	40%
	mineraliserat biokol	tall-träd	13,3	-	-	diklofenak	68%
	biokol	Grisgödsel	21,4	-	-	diklofenak	82%
	mineraliserat biokol	grisgödsel	43,5	-	-	diklofenak	99,60%
	aktivt kol		900	-	-	diklofenak	95%
<b>Lin et al. (2017)</b>	W-biokol	träflisor	369	4,80%	0,094	ibuprofen	ca 80%

						sulfametoxazol	ca 80%
	C-biokol	träflisor	208	6,50%	0,014	ibuprofen	mindre än 6%
						sulfametoxazol	10%
	G-biokol	träflisor	7,75	2,90%	0,001	ibuprofen	mindre än 6%
						sulfametoxazol	10%
	GAK		785	8,70%	0,304	ibuprofen	ca 95%
						sulfametoxazol	ca 45%
<b>Jung et al. (2015)</b>	O-biokol	tallträd	1360	4,70%	0,318	diklofenak	214 mg/g
						naproxen	228 mg/g
						ibuprofen	286 mg/g
	N-biokol	tallträd	1151	2,70%	0,643	diklofenak	372 mg/g
						naproxen	290 mg/g
						ibuprofen	311 mg/g
<b>Jung et al. (2013)</b>	O-biokol	tallträd	1151	2,70%	0,63	7 läkemedel	-
	N-biokol	tallträd	1360	4,20%	0,95	7 läkemedel	-
	PAK	tallträd	972	20,1%	0,53	7 läkemedel	-
<b>Dalahmeh et al. (2017)</b>	biokol aktiv biofilm		-	-	-	karbamezapin	ca 99%
						metoprolol	ca 99%
	biokol inaktiv biofilm		-	-	-	karbamezapin	ca 98%
						metoprolol	99% till 73%
	biokol ingen biofilm		-	-	-	karbamezapin	ca 99%
						metoprolol	ca 99%

### 3.4.3 Påverkan av varierande pH

För att maximera adsorptionen av läkemedel behöver pH också tas hänsyn till. Olika ämnen har olika pKa värden vilka påverkas av förändringar i pH.

I Jung et al. (2013) experiment undersöktes sju olika ämnen, tre hormonförstörande föreningar; bisfenol A, atrazin, 17-etinylestradiol (EE2) och

fyra läkemedelsrester; sulfametoxazol, karbamazepin, diklofenak, ibuprofen. Alla de sju ämnenas pKa värden skilde sig kraftigt åt (Tabell 3) (Jung et al., 2013).

Tabell 4. pKa värden för läkemedel nämnda i rapporten

ÄMNE	pKa	Referens
SMX sulfametoxazol	5,81	Jung et al., 2013
CBM Karbamazepin	13,96	Jung et al., 2013
BPA Bisphenol A	9,78	Jung et al., 2013
ATR Atrazin	14,48	Jung et al., 2013
EE2 17 alfa-ethinylestradiol	10,47	Jung et al., 2013
DCF Diklofenak	4,15	Jung et al., 2013
IBP Ibuprofen	4,52	Jung et al., 2013 Jung et al., 2013
PRL propanolol	9,42	Williams et al., 2015

Vid pH 3,5 är alla de sju testade föreningarna övervägande i sin neutrala form (Jung et al., 2013). Genom att höja pH påverkas föreningarnas jonbildning och hur mycket ämnena påverkas beror på respektives pKa värden, exempelvis förlorar diklofenak och ibuprofen protoner vid en höjning av pH (Jung et al., 2013). Ett pH värde under föreningens pKa gav en ökning i adsorption samtidigt som en ökning av pH, till över föreningens pKa, gav en sänkning i adsorption (Jung et al., 2013). Skillnaden i adsorption beror på en elektronisk koppling som sker när pH höjs, vilket påverkar föreningarna (Jung et al., 2013). Sulfametoxazol, diklofenak, ibuprofen och bisfenol A består av starka elektrondragande komponenter som påverkas när pH höjs, vilket inhiberar adsorptionen (Jung et al., 2013). Karbamazepin, atrazin och EE2 som däremot har högre pKa värden, påverkas desto mindre av ökningen i pH då det inte blir så stor skillnad mellan neutral form vid pH 3.5 och joniserad form vid högre pH (Jung et al., 2013). Resultatet från undersökningen stödjer detta då adsorptionen av karbamazepin, atrazin och EE2 var kontinuerligt hög mellan pH 3.5 till pH 10.5

och låg för sulfametoxazol, ibuprofen och diklofenak vid pH 10.5 (Jung et al., 2013).

Lin et al. (2017) experiment visade på samma sätt en förändring i adsorption med en förändring i pH då adsorptions hastigheten ökade med ett sjunkande pH värde. Vid pH 6-10 är ytan på diklofenak till största del negativt laddad (>90%) och på grund av att biokolets yta också är negativt laddad sker det en repulsion vilket resulterar i en lägre adsorption (Lin et al., 2017). En sänkning av pH till 4 sänkte även den negativa laddningen för diklofenak till 87.6%, trots den fortfarande höga negativa laddningen visades inget hinder för adsorptionen (Lin et al., 2017). En minskning av pH från 10 till 4 resulterade i en kraftig sänkning av laddning för sulfametoxazol då den negativa laddningen gick från över 99.5% till 0.69% (Lin et al., 2017). Trots den låga negativa laddningen vid pH 4 adsorberades sulfametoxazol bra på grund av en speciell elektron donator-accepterar interaktion mellan föreningen och biokolet (Lin et al., 2017).

Oh och Seo. (2015) undersökte adsorptionen av nio fenoler och två läkemedel, ibuprofen och triklosan, från vatten. Biokolen som användes vid adsorptionen hade producerats utifrån olika råmaterial såsom fallna löv, risstrån, majsstjälkar, kaffesump och slam (Oh & Seo, 2016). Till skillnad från tidigare undersökningar fick Oh och Seo (2015) resultatet att biokols reningseffektivitet inte var lika bra som för granulerat aktivt kol. Författarna diskuterar att den låga effektivitet på biokol kan ha att göra med ökningen i pH som skedde samtidigt som deprotonering av fenolerna. När pH var mellan 4-7 ökade adsorptions kapaciteten för biokolet och resultat visade på att både biokol och det granulerade aktiva kolet påverkades kraftigt av skillnader i pH (Oh & Seo, 2016). Biokolet gjort på slam visade på mest effektiv borttagning av både fenolerna och läkemedelsresterna vilket var på grund av sin stora yt-area (Oh & Seo, 2016). Oh och Seo. (2016) skriver dock i sin slutsats att biokol gjort på slam kan innehålla föroreningar såsom giftiga metaller och ska användas med varsamhet.



### 3.4.5 Biokol i kombination med andra filter

Dalahmeh et al. (2017) undersökte om biokol kan vara ett substitut mot redan implementerade reningsmetoder, såsom sandfilter, i lokala avloppsanläggningar för rening av läkemedelsrester. Dalahmeh et al. (2017) använde sig av tre olika biokol, biokol med aktiv och inaktiv biofilm (BC-aktiv-biofilm, BC-inaktiv-biofilm) och biokol utan biofilm (BC-ingen-biofilm). Både BC-ingen-biofilm och BC-aktiv-biofilm visade på högabsorption av både Karbamazepin och metoprolol då den låg runt 99% hela experimentet. BC-inaktiv biofilm visade bra adsorption för metoprolol (98%), även för Karbamazepin trots sänkningen i adsorption under experimentets gång (v.13, 99% till v.22, 73%). Dalahmeh et al. (2017) skriver i sin slutsats att biokol är ett lovande filtersubstitut i lokala avloppsanläggningar, speciellt med avseende på persistenta läkemedelssubstanser såsom karbamazepin.

### 3.5 Fältundersökningar

Det finns en brist i fältundersökningar som gjorts på just biokols adsorption av läkemedelsrester, speciellt på fältundersökningar som liknar Segeå vattenförbunds projekt. Ett projekt som liknar Segeås utfördes av Malin Mellhorn (2015) dock där hon istället undersökte biokols näringsretention för kväve och fosfor. Mellhorn (2015) utformade och installerade en bur med biokol där det uppkom ett antal problem. Mellhorn (2015) initiala plan var att placera en låda med två olika filter med två olika partikelstorlekar på biokolet i ett redan existerande dräneringsdike och när biokolet var mättat, sprida ut det på närliggande åkermark. Vid installationen var vattenflödet för högt och filtret gick inte att utformas enligt planen så det blev ett filter istället för två (Mellhorn, 2015). Vattenflödet fortsatte vara högt under hela projektets gång vilket resulterade i att mycket av vattnet forsade över burens istället för genom (Mellhorn, 2015). Buren kollapsade innan fältstudien var slut vilket resulterade i att alla resultat gick förlorade. Mellhorn (2015) skriver att vid utformning av burar av det här slaget är det viktigt att tänka på att mineralisera biokolet till rätt partikelstorlek. Biokol med mindre

partikelstorlek kan vara bra för burar som inte har så högt vattenflöde igenom sig och större partikelstorlekar på biokolet när större mängder vatten ska renas (Mellhorn, 2015).

## Diskussion

Biokol har visat sig vara ett utmärkt alternativ för adsorption av läkemedelsrester och kan på många aspekter även ses som ett bättre alternativ än aktivt kol. Det är dock många faktorer som påverkar både biokolets adsorptions kapacitet och läkemedlets förmåga att bli adsorberad.

Val av råmaterial och temperaturen vid pyrolysen är avgörande för vilka egenskaper biokolet får. Det är svårt att säga vilket råmaterial eller temperatur som ger det mest renings effektiva biokolet då olika läkemedel kräver olika förhållanden. Dock visade majoriteten av laboratorieundersökningarna att biokol gjort på de flesta organiska material har bra adsorberande kapacitet, varav biokol gjort på gödsel visade högst adsorberande trend. Laboratorieförsöken som undersöks i denna uppsats visar endast marginella skillnader i adsorptions kapaciteten mellan biokolen och det aktiva kolet, vilket visar på att det finns både bra och dåliga egenskaper i båda. Det aktiva kolet hade nästan i alla labbförsök både stor porvolym och yt-area, egenskaper som gynnar adsorptionen, men även hög ask innehåll, en egenskap som försämrar adsorptionen. Trots att biokolen hade lite mindre porvolym och yt-area än det aktiva kolet visade det på lika bra adsorption på grund av andra egenskaper som hög polaritet och aromatiskt kol, egenskaper som även dom gynnar adsorptionen. Ingen av studierna går in på vad egenskaperna i råmaterialen och vad pyrolystemperaturen ger exakt för olika egenskaper på biokolet. Det kan bero på att författarna inte anser att det är nämnvärt i deras artiklar, jag tror snarare att det beror på okunskap inom ämnet. Jag anser att det skulle behövas ett internationellt klassificeringssystem av biokol där olika råmaterial genomgår pyrolys med olika temperaturer, att de olika

egenskaperna som erhålls noteras och beskrivs vad de är mest lämpade att användas till. Tabell 3 är ett försök till att skapa ett klassificeringssystem, men det är ganska klart att tabellen har sina brister då det saknas information (markerade med "-") på grund av artiklarna inte redovisar alla egenskaper för biokolen. För att kunna skapa ett omfattande klassificeringssystem behövs mer resurser och tid än vad det här projektet hade i sitt omfång.

I några av studierna visade biokol på bättre adsorption än det aktiva kolet. Det mineraliserade gödselbaserade biokolet som skapades i Lonappan et al. (2018) studie visade på bättre adsorptions kapacitet än det aktiva kolet trots den stora skillnaden i yt-area. Att biokolet hade en bättre adsorptions kapacitet än det aktiva kolet berodde på mängden oorganiska funktionella grupper på biokolets yta vilka bidrar till en hög polaritet. Det visar att en hög polaritet på bioklets yta också är en önskvärd egenskap då det gör det lättare för läkemedlerna att binda till ytan på biokolet.

Något som också har visats påverka hur bra läkemedlerna adsorberas av biokolet är pKa värdet på läkemedelsresterna. Att olika läkemedelsrester har olika pKa är svårare att kontrollera än egenskaperna biokolet får av råmaterial och pyrolystemperatur, men det har ändå visats kunna regleras med pH (Jung et al., 2013; Lin et al., 2017). Både Jung et al. (2013) och Lin et al. (2017) visar att för att maximera adsorptionen för biokolet av ett läkemedel ska pH värdet ligga under ämnets pKa. Det är därför det är lättare att adsorbära ämnen med höga pKa värden, som Karbamazepin och atrazin, än dom med låga pKa, som Ibuprofen och Diklofenak, då det låga pKa värdet gör dom mer känsliga för förändringar i pH. Det var dock bara ett fåtal av studierna som visade biokolens pH vilket gör det till en svår faktor att jämföra.

En aktivering av biokolet till antingen O-biokol eller N-biokol visar sig vara ett effektivt sätt att öka adsorptions kapaciteten. En aktivering till O-biokol gav högre andel aromatiskt kol, dock visade en aktivering till N-biokol som en mer lönsam aktivering då det gav större yt-area, porvolym och en mer polär yta än för

O-biokolet. Ingen av studierna diskuterade vad olikheten i egenskaper berodde på mer än att de 7% syre vid pyrolysen gjorde O-biokolet mer aromatiskt än N-biokolet. Att det saknas information om orsakerna till olikheterna gör det svårt att veta vad det är som påverkar att N-biokolet och O-biokolet får olika egenskaper och hur de kan regleras. Båda biokolen visade dock på effektivare adsorption än det testade aktiva kolet vilket kanske är anledningen till att egenskaperna inte studeras närmre. För att besvara frågeställningen i den här rapporten krävs det inte en djupare förståelse om egenskaperna för olika biokol, dock för vidare studier kan det vara intressant att veta hur olika egenskaper erhålls för att kunna producera biokol med önskvärda egenskaper.

I inledningen skriver jag om osäkerheterna i vad läkemedelsrester kan ha för effekter på akvatiska miljöer och organismer som lever där. Både Carter et al. (2014) och Williams et al. (2015) visade att läkemedelsrester tas upp av växter, de visade emellertid inte hur växterna påverkades av upptaget av dem och hur länge resterna var kvar i växterna efter kontamineringen. De båda studierna visade dock att om biokol är närvarande kommer biokolet att adsorbera en del av läkemedelsresterna vilket leder till en mindre mängd som kan tas upp av växterna. Trots att biokolet inte kunde stoppa upptaget till växten helt visar det på att biokol kan fungera som ett bra alternativ för att minska läkemedelsrester i naturen. Vilket visar på att Segeå vattenförbunds ide om att placera burar med biokol ute i naturen borde kunna fånga upp stora delar av läkemedelsresterna innan de når växter och djur. Dock ska det ha i åtanke att det krävs mycket förundersökning för att kunna lyckas med ett sådant projekt. Mellhorn (2015) fältundersökning visade på att mycket kan gå fel vid den typen av projekt och skriver hur viktigt det är att välja rätt partikelstorlek på biokolet och utforma buren efter det vattenflöde som finns.

En anledning till att Segeå Vattenförbunds Projekt blev uppskjutet var för att Svedala avloppsreningsverk redan har ett pågående projekt med läkemedelsrening. Projektet heter Less is More och i det ingår tre

pilotanläggningar, en i Danmark, en i Litauen och en på Svedala avloppsreningsverk (Sweden water research, 2019). Pilotanläggningen i Svedala har en mekanisk vattenrening med membran-kolfilter medan de andra två pilotanläggningarna har kolfilter som placerats efter den befintliga reningsprocessen (Sweden water research, 2019). Byggnaden av pilotanläggningarna har pågått under 2018 och är nu i maj 2019 färdiga att tas i drift (Sweden water research, 2019). På grund av att Less is More har använt sig av aktivt kol skulle det kunna vara intressant för Segeå Vattenförbund att ta kontakt med ett annat reningsverk och hjälpa till att installera biokol filter istället, för att sedan jämföra resultaten på avlägsnande kapacitet för biokolet i deras projekt och det aktiva kolet i Less is More och se vilket som är mest effektivt. Ifall biokol och aktivt kol visar på lika bra adsorptionskapacitet borde andra aspekter tas hänsyn till såsom regenerering av aktivt kol, hur ofta filtren behöver bytas ut kostnad.

Kostnadsaspekten är svår att jämföra utifrån de referenser som används i den här artikeln då endast ett fåtal nämner inköpspris. Lin et al. (2017) var i princip den enda som skrev om priset och kom fram till att biokol är mycket billigare (246 dollar) att införskaffa än granulerat aktivt kol (1500 dollar). Det hade varit intressant att veta vad alla biokol och aktiva kol kostade som användes i de olika laboratorieförsöken för att kunna jämföra priserna för att kunna komma fram till vad som är mest kostnadseffektivt. Såklart behöver regenerering och hållbarhet även tas in i priskostnaden då ett mindre hållbart ämne behöver bytas ut oftare vilket gör det dyrare i längden. Tyvärr finns det väldigt lite information om priser vilket antagligen beror på att biokol är ett relativt nytt ämne och det är inte så många som producerar det än.

I en vidare studie hade det varit intressant att jämföra koncentrationerna på läkemedelsrester i utloppsvattnet från Svedala reningsverk med andra avloppsreningsverk för att se vilka läkemedelsrester som hamnar i störst koncentration i akvatiska miljöer. Undersöka orsaken till att läkemedlet har så

stor koncentration vilket oftast beror på att det är ett välanvänt läkemedel hos många personer, såsom hjärtmedicinen metoprolol, men kan också bero på spill från sjukhus samt vid produktionen av läkemedlet. Sedan vidta åtgärder där det behövs och går, som att minska eventuellt spill vid produktionen eller installera filter i avloppsreningsverk.

Det krävs mer kunskap om biokol för att kunna säga om det kan vara ett substitut mot aktivt kol. För att få mer kunskap krävs vidare studier, både stor- och småskaliga för att ta reda på mer exakt hur de olika egenskaperna på biokol erhålles, hur hållbart ämnet är och hur det påverkas av externa faktorer i miljön. Det går dock att säga att biokol ser ut att vara ett lovande material med avseende på adsorption av läkemedel.





## Slutsats

- Biokol har visat på lika bra och i vissa fall bättre adsorptions kapacitet med avseende på läkemedel än aktivt kol.
- Både pyrolystemperatur och val av råmaterial spelar stor roll i vad för egenskaper biokolet får. Egenskaper som aromatiskt kol, stor specifik ytarea, porvolym och polaritet är egenskaper som förbättrar adsorptionskapaciteten och högt ask-innehåll försämrar adsorptionen.
- Det finns många kunskapsluckor vilket gör det svårt att göra en omfattande bedömning om biokol är mer renings- och kostnadseffektivt än aktivt kol.
- Biokol kan vara ett bra substitut till aktivt kol, men det krävs fler studier inom ämnet, både små- och storskaliga, för att få reda på om det är lönsamt att använda sig av biokol istället för aktivt kol.



# Tack

Jag vill tacka biblioteket för föreläsningen som hölls om hur en vetenskaplig rapport ska skrivas. Det lärde mig hur jag skulle göra en sökstrategi och att jag alltid ska kolla en gång extra om mina referenser är trovärdiga. Jag vill också tacka Segeå Vattenförbund för samarbetet. Även om det inte blev ett så stort samarbete som först var planen så har det varit intressant att ta del av er projekttid. Slutligen vill jag tacka min handledare Maria Hansson för handledningen under projektets gång.



## Referenser

- Branschföreningen Biokol Sverige. Användningsområden. [http://biokolsverige.se/?page\\_id=97](http://biokolsverige.se/?page_id=97) (Hämtad 2019-04-02)
- Brydolf, J. (2015). Barnsäkerhet- *Barn och kemikalier*. Vårdguiden 1177. <https://www.1177.se/Dalarna/barn--gravid/att-ta-hand-om-barn/barnsakerhet/barn-och-kemikalier/> (Hämtad 2019-05-17)
- Carter, L. J., Harris, E., Williams, M., Ryan, J. J., Kookana, R. S., & Boxall, A. B. A. (2014). Fate and uptake of pharmaceuticals in soil-plant systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(4), 816–825. <https://doi.org/10.1021/jf404282y>
- Farré, M. la, Pérez, S., Kantiani, L., & Barceló, D. (2008). Fate and toxicity of emerging pollutants, their metabolites and transformation products in the aquatic environment. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 27(11), 991–1007. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2008.09.010>
- Hassby, O. (2014). *Biokol för rening av kväve och fosfor ur dagvatten i Segeåns avrinningsområde*.
- Jung, C., Boateng, L. K., Flora, J. R. V., Oh, J., Braswell, M. C., Son, A., & Yoon, Y. (2015). Competitive adsorption of selected non-steroidal anti-inflammatory drugs on activated biochars: Experimental and molecular modeling study. *Chemical Engineering Journal*, 264, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.11.076>
- Jung, C., Park, J., Lim, K. H., Park, S., Heo, J., Her, N., ... Yoon, Y. (2013). Adsorption of selected endocrine disrupting compounds and pharmaceuticals on activated biochars. *Journal of Hazardous Materials*, 263, 702–710. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.10.033>
- Lin, L., Jiang, W., & Xu, P. (2017). Comparative study on pharmaceuticals adsorption in reclaimed water desalination concentrate using biochar: Impact of salts and organic matter. *Science of the Total Environment*, 601–602, 857–864. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.203>
- Lonappan, L., Rouissi, T., Kaur Brar, S., Verma, M., & Surampalli, R. Y. (2018). An insight into the adsorption of diclofenac on different biochars: Mechanisms, surface chemistry, and thermodynamics. *Bioresource*

- Technology*, 249(August 2017), 386–394.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.10.039>
- Mellhorn, M. (2015). *Biokol som filtermaterial i anslutning till dränering av åkermarksdiken*.
- Naturvårdsverket. (2017). *Avancerad rening av avloppsvatten för avskiljning av läkemedelsrester och andra oönskade ämnen*. (April).
- Oh, S. Y., & Seo, Y. D. (2016). Sorption of halogenated phenols and pharmaceuticals to biochar: affecting factors and mechanisms. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(2), 951–961.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-015-4201-8>
- Rodríguez, G. R. (2012). *Nitrate and phosphate removal from aqueous solutions by biochar and agro-forestry residues*. (February), 2–68.  
[https://doi.org/S0145-305X\(06\)00087-5](https://doi.org/S0145-305X(06)00087-5) [pii]n10.1016/j.dci.2006.05.014
- Schmidt, H.-P., Bucheli, T., Kammann, C., Glaser, B., Abiven, S., & Leifeld, J. (2016). Guidelines for a Sustainable Production of Biochar - European Biochar Certificate -. *European Biochar Foundation*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4658.7043>
- Svahn, O., & Björklund, E. (2017). *Luska*.
- Williams, M., Martin, S., & Kookana, R. S. (2015). Sorption and plant uptake of pharmaceuticals from an artificially contaminated soil amended with biochars. *Plant and Soil*, 395(1–2), 75–86. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2421-9>



**LUNDS**  
UNIVERSITET

[WWW.CEC.LU.SE](http://WWW.CEC.LU.SE)  
[WWW.LU.SE](http://WWW.LU.SE)

Lunds universitet

Miljövetenskaplig utbildning  
Centrum för miljö- och  
klimatforskning  
Ekologihuset  
223 62 Lund