



# **Borås Energi och Miljö**

## **Veolia Water Technologies AB**



## **Reningsverket på Sobacken**

Förstudie läkemedelsrening på Sobacken  
2020-05-11

**Petter Lind  
Henrik Held**

## Innehållsförteckning

Innehållsförteckning.....	2
1 Sammanfattning.....	4
2 Bakgrund och syfte .....	5
3 Avloppsreningsverket på Sobacken .....	6
4 Förutsättningar.....	8
4.1 Kriterier för val av reningsmetod.....	8
4.2 Läkemedelsrester och andra mikroföroreningar.....	8
4.3 Dimensionerande avloppssituation.....	9
4.3.1 Flöde .....	9
4.3.2 Andra dimensionerande parametrar .....	12
4.4 Geografiska förutsättningar .....	12
4.5 Definition av reningsmål .....	13
4.5.1 Läkemedelsrester .....	13
4.5.2 Övriga föroreningar.....	13
5 Reningsmetoder läkemedelsrester.....	14
5.1 Adsorptionsprocesser .....	14
5.1.1 Granulerat aktivt kol (GAK).....	15
5.1.2 Mikrogranulerat aktivt kol, Filtraflo™ Carb och Opacarb FL .....	16
5.1.3 Pulveriserat aktivt kol (PAK) .....	17
5.1.4 Biokol .....	19
5.2 Processer för fysikalisk avskiljning .....	20
5.2.1 Ultrafiltrering (UF) / Membranbioreaktor (MBR) .....	20
5.2.2 Nanofiltrering (NF) / Omvänd osmos (RO).....	20
5.3 Oxidativa processer .....	21
5.3.1 Ozonering .....	21
5.4 Biologiska processer.....	21
5.4.1 Biologiskt aktiva filter (BAF).....	21
5.4.2 MBBR eXeno™ - biologisk läkemedelsrening.....	21
5.5 Kombinationsprocesser .....	22
5.5.1 PAK i MBR .....	22
5.5.2 MBBR eXenO <sub>3</sub> ™ - oxidation med ozon och biologisk läkemedelsrening .....	22
5.5.3 PAK + UF, Opaline C+.....	23
5.5.4 Ozon+GAK/BAF – kemisk oxidation och adsorption med granulärt aktivt kol.....	23
5.5.5 Ozon+Actiflo® Carb – adsorption med pulveriserat aktivt kol med ozondosering .....	24



5.5.6	Ozon + Opacarb FL .....	25
5.6	Ej beskrivna processer .....	25
6	Vald process för Sobacken.....	26
6.1	Processbeskrivning.....	27
6.1.1	Opacarb FL .....	27
6.2	Driftskostnader.....	30
6.2.1	Förutsättningar.....	30
6.2.2	Driftskostnader.....	30
6.3	Pilotförsök.....	31
6.4	Investeringskostnader.....	32
6.4.1	Förutsättningar.....	32
7	Slutsatser och diskussion .....	33
8	Bilagor.....	34
8.1	Flödesschema .....	34
9	Referenser .....	35



## 1 Sammanfattning

Borås Energi och Miljö har erhållit finansiering för att genomföra en förstudie kring läkemedelsrester i avloppsvattnet och reningsmetoder för läkemedelsrening. Veolia Water Technologies har på uppdrag av Borås Energi och Miljö genomfört utredningsarbete inom ramen för denna förstudie.

Avloppsreningsverket i Borås ligger på Sobacken och recipient för det behandlade avloppsvattnet är Viskan. Reningsverket är dimensionerat för 150 000 pe.

Borås Energi och Miljö fick prioritera ett antal utvärderingskriterier som de tyckte var viktigast för en framtida reningsanläggning för läkemedel. Utifrån dessa kriterier rekommenderades 3 olika teknologier – konventionella GAK-filter, Opacarb FL samt Actiflo Carb. Därefter beslutades i samråd mellan Borås Energi och Miljö och Veolia att Opacarb FL var den lösning som man vill gå vidare med och ta fram drifts- och investeringskostnader för samt planera pilotförsök för.

Opacarb FL är en teknologi som bygger på att avloppsvattnet leds genom en fluidiserad bädd av aktivt kol – mikroCarb. Det är en kompakt och effektiv teknologi som är lämplig för att nå det reningsmål som Borås Energi och Miljö önskar nå (<80% rening av läkemedelsrester som medelvärde).

Vidare togs dimensionerande underlag fram i form av dimensionerande flöden, temperatur etc. Baserat på dimensionerande data gjordes sedan en design på en anläggning med Opacarb FL. Driftskostnader och investeringskostnader beräknades för anläggningen. Resultatet av drifts- och investeringskostnadsberäkningen redovisas i nedanstående tabell.

	<b>Opacarb FL</b>
<b>Entreprenadkostnad</b>	142,5 MSEK
<b>Anläggningskostnad</b>	176 MSEK
<b>Driftskostnad</b>	6,6-13 MSEK/år

I nästa steg har Borås Energi och Miljö planer på att genomföra pilotförsök. Dessa kan sedan ligga till grund för mer detaljerade driftskostnadsberäkningar och användas för att validera den design som har tagits fram.



## 2 Bakgrund och syfte

Avloppsreningsverket på Sobacken ligger i Borås kommun och är dimensionerat för 150 000 pe. Det renade avloppsvattnet leds till recipienten Viskan. Borås Energi och Miljö har fått finansiering av naturvårdsverket för att genomföra en förstudie kring läkemedelsrester i avloppsvattnet och läkemedelsrening på avloppsreningsverket. I arbetet med denna förstudie har Veolia VA-Ingenjörerna fått i uppdrag att utreda följande delmoment:

- Kartläggning av reningsmetoder för läkemedelsrening
- Val av den eller de reningsmetoder som bäst lämpar sig miljö- och processmässigt på Sobacken ARV, följt av projektering

Denna rapport är resultatet av Veolias utredning kring ovanstående två punkter.



### 3 Avloppsreningsverket på Sobacken

Vattenlinjen på Sobackens avloppsreningsverk består av följande huvudprocesser:

- Inloppsdel – rensgaller och sandfång
- Försedimentering
- Biologisk behandling med biologisk fosforering och kväverening
- Mellansedimenteringar
- Slutpolering i Actiflo® (två linjer) och skivfilter (två stycken)
- Anammox-anläggning för rejektvattenrening

Inloppsdelen har en kapacitet om 9 600 m<sup>3</sup>/h.

Den biologiska reningsprocessen inklusive försedimenteringarna har en kapacitet om 5 700 m<sup>3</sup>/h.

Vardera Actiflo®-linjen har en kapacitet om 3 900 m<sup>3</sup>/h.

Skivfiltren har en gemensam kapacitet om 5 700 m<sup>3</sup>/h.

I Figur 1 nedan visas en översikt över Sobackens avloppsreningsverk, där man ser de olika delprocessernas placering. I Figur 2 visas ett översiktligt flödesschema för reningsprocessen.

Avloppsvattnet pumpas från Gässlösa till en kombinerad mottagningsbassäng och fördelningskanal före inloppsrensgallren. Från fördelningskanalen graviterar avloppsvattnet genom fyra parallellt installerade rensgaller i varsin kanal. Utloppet från rensgallerkanalerna leds till en utlopps- och fördelningskanal före sandfången. Från utlopps- och fördelningskanalen leds avloppsvattnet vidare till fyra parallella sandfång. Utgående avloppsvatten från sandfången samlas i en fördelnings- och överfallskanal efter sandfången tillsammans med rejektvatten som behandlats i en anammoxanläggning.

Från fördelnings- och överfallskanalen efter sandfång fördelas vattnet på två likadana behandlingslinjer. Vattenströmmarna möts inte igen förrän efter mellansedimenteringen.

Från fördelnings- och överfallskanalen efter sandfången leds normalt en stor del av avloppsvattnet via en fördelningsbrunn före försedimenteringen till de fyra försedimenteringsbassängarna. Flödet regleras med hjälp av två reglerluckor. Den resterande parten av avloppsvattnet leds normalt via två andra reglerluckor som reglerar förbiledningen förbi försedimenteringsbassängerna.

Om det inkommande flödet till fördelnings- och överfallskanalen efter förbehandlingen överstiger vad de fyra ovannämnda reglerluckorna tillåter att passera, leds överstigande flöde i by-pass. Detta görs automatiskt genom att vattnet leds över en fast kant ur kanalen, till en överfallsbrunn och vidare till en fördelningskanal före slutpoleringen. Härifrån strömmar vattnet till fördelnings- och överfallskanalen före Actiflo®-anläggningarna.

Det försedimenterade vattnet leds till var sin hydrolysanläggning. Försedimenterat vatten samt vatten som har letts förbi försedimenteringen möts i en ledningssammankoppling före hydrolysanläggningen i varje biolinje. Det blandade vattnet leds vidare till hydrolysanläggningen som också mottar returslam från mellansedimenteringen. Utgående slam från hydrolysanläggningen leds vidare genom denitrifikationsbassäng, luftningsbassäng och vidare till mellansedimenteringsbassängerna.

Utgående mellansedimenterat vatten från båda biolinjerna samlas i en gemensam utloppskanal efter mellansedimenteringsbassängerna. Från denna leds det biorenade vattnet vidare till en fördelningskanal före Actiflo®-anläggningarna.

Det mellansedimenterade vattnet leds, tillsammans med eventuellt vatten som har letts förbi sekundärsteget, in genom Actiflo®-anläggningarna. Eventuellt tillkommande förbilet vatten tränger undan mellansedimenterat vatten. Separeringsväggar säkrar att by-passat förbehandlat avloppsvatten i första

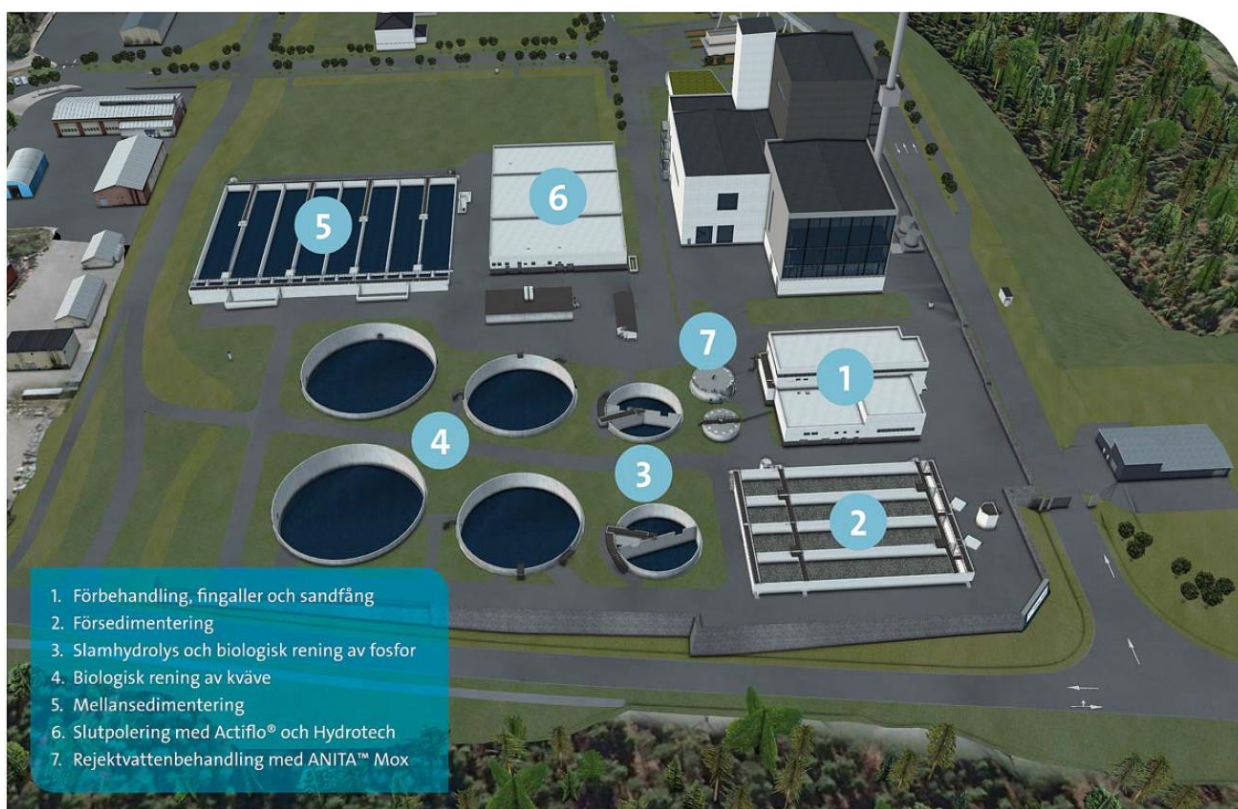


hand leds till Actiflo® 2. I detta fall leds utgående vatten från Actiflo® 2 genom ventilomställning förbi skivfiltrena och direkt till utloppet.

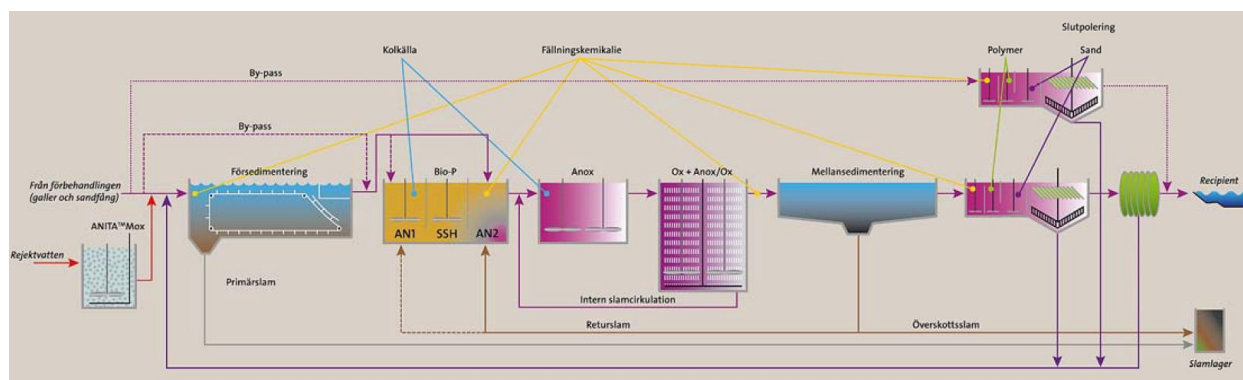
Om det samlade inkommande vattenflödet till fördelningskanalen överstiger Actiflo®-anläggningarnas kapacitet leds överskottet via en fast överfallskant till skivfiltren. Det är då enbart mellansedimenterat vatten som leds den vägen.

Det finns en utlopps- och fördelningskanal före skivfiltren. Kanalen mottar vatten från Actiflo®-anläggningarna och mellansedimenterat vatten som förbejds dessa. Vattnet fördelas på de två skivfiltren. Varje skivfilter har ett inbyggt nödöverfall som klarar av ett flöde motsvarande filtrets kapacitet.

Slam från Actiflo®-anläggningarna och skivfilter pumpas till en mottagningsbrunn för tertiärt slam före försedimenteringsbassängarna.



Figur 1: Översikt över reningsverket på Sobacken



Figur 2: Översiktligt flödesschema över reningsprocessen

## 4 Förutsättningar

### 4.1 Kriterier för val av reningsmetod

För att kunna välja vilken reningsmetod som ska designas och som kostnadsberäkningar ska baseras på så upprättades en utvärderingsmatris. Utvärderingsmatrisen innehöll 15 olika utvärderingsparametrar. Borås Energi och Miljö valde ut 8 av dessa som de ansåg var de viktigaste parametrarna för jämförelse mellan reningsmetoder. De utvalda kriterierna redovisas i Tabell 1 nedan.

**Tabell 1: Utvalda utvärderingsparametrar**

Parameter
Investering
Reningsmål $\geq 80\%$ , läkemedel
Elförbrukning
Kemikalieförbrukning
Driftsäkerhet (redundans)
Robusthet (tillförlitlighet, tålig)
Arbetsmiljö
Referenser

### 4.2 Läkemedelsrester och andra mikroföroreningar

I Tabell 2 nedan redovisas en lista med mikroföroreningar som Borås Energi och Miljö har valt för utvärdering av den reningsmetod som kommer att rekommenderas. Substanserna täcker in flera olika grupper av läkemedelstyper med olika egenskaper.

**Tabell 2: Utvalda substanser för jämförelse av metoder**

Ämne	Typ
17-alfa-etinylöstradiol	Hormon
17-beta-etinylöstradiol	Hormon
Ciprofloxacin	Fluorokinolon (bredspektrum antibiotika)
Citalopram	
Clarithromycin	Makrolidantibiotika
Diklofenak	Anti-inflammatoriskt
Hydrochlorothiazid	Blodtryckssänkande
Karbamazepin	Anti-epileptiskt
Metoprolol	Blodtryckssänkande
Oxacepam	Lugnande
Venlafaxin	Antidepressivt



I Tabell 3 redovisas resultat från två provtagningar som har genomförts på Sobacken av Borås Energi och Miljö, för de substanser från Tabell 2 som har analyserats. Även reduktionen för varje substans samt medelreduktionen som ett rakt medelvärde har beräknats. Medelreduktionen vid respektive provtagningstillfälle har beräknats till 17 respektive 16 %. Provtagningarna genomfördes genom att dygnsprover samlades in varje dygn under en vecka och blandades flödesproportionellt till veckoprover.

**Tabell 3: Analysresultat från läkemedelsstudier (ng/l)**

Ämne	LOQ <sup>1</sup>	2019-04-14			2019-07-12		
		In ARV	Ut ARV	Reduktion	In ARV	Ut ARV	Reduktion
<b>17-alfa-etinylöstradiol</b>							
<b>17-beta-etinylöstradiol</b>							
<b>Ciprofloxacin</b>	50	1 100	<50	95 %	1 500	<50	97 %
<b>Citalopram</b>	10	220	170	23 %	300	240	20 %
<b>Claritromycin</b>	10	<100	16	-	85	74	13 %
<b>Diklofenak</b>	5	810	530	35 %	1 200	1 100	8 %
<b>Hydrochlorothiazid</b>	50	1 200	910	24 %	2 100	1 700	19 %
<b>Karbamazepin</b>	5	590	600	-0,02 %	850	970	-14 %
<b>Metoprolol</b>	5	840	1 300	-55 %	1 500	2 100	-40 %
<b>Oxacepam</b>							
<b>Venlafaxin</b>	5	370	450	-22 %	880	640	27 %
<b>Medelreduktion</b>				<b>17 %</b>			<b>16 %</b>

<sup>1</sup>Limit Of Quantification = detektionsgräns, Eurofins

### 4.3 Dimensionerande avloppssituation

I samråd med Borås Energi och Miljö har beslut tagits att ett framtida reningssteg för läkemedelsrening i första hand ska integreras som ett nytt separat reningssteg på avloppsreningsverket på Sobacken. Det är alltså inte aktuellt att i denna förstudie utreda hur befintliga reningssteg skulle kunna byggas om eller anpassas för att på så vis införa läkemedelsrening.

Mest lämpligt placeras reningssteget så långt nedströms i processen som möjligt för att få så låg belastning som möjligt av övrigt organiskt material som kan konkurrera med läkemedelsreningen.

#### 4.3.1 Flöde

I Figur 3 nedan visas inkommande flöde till reningsverket på Sobacken för 2019. Flödet som redovisas i figuren är dygnsmedelflödet beräknat utifrån det summerade dygnsflödet per dygn dividerat med 24. Detta innebär att om man istället skulle analysera timflöden så skulle det förekomma högre flöden än de som syns i Figur 3. Man kan dock tydligt konstatera att höga flöden främst förekommer under sen höst och tidig vår, ungefär som förväntat.

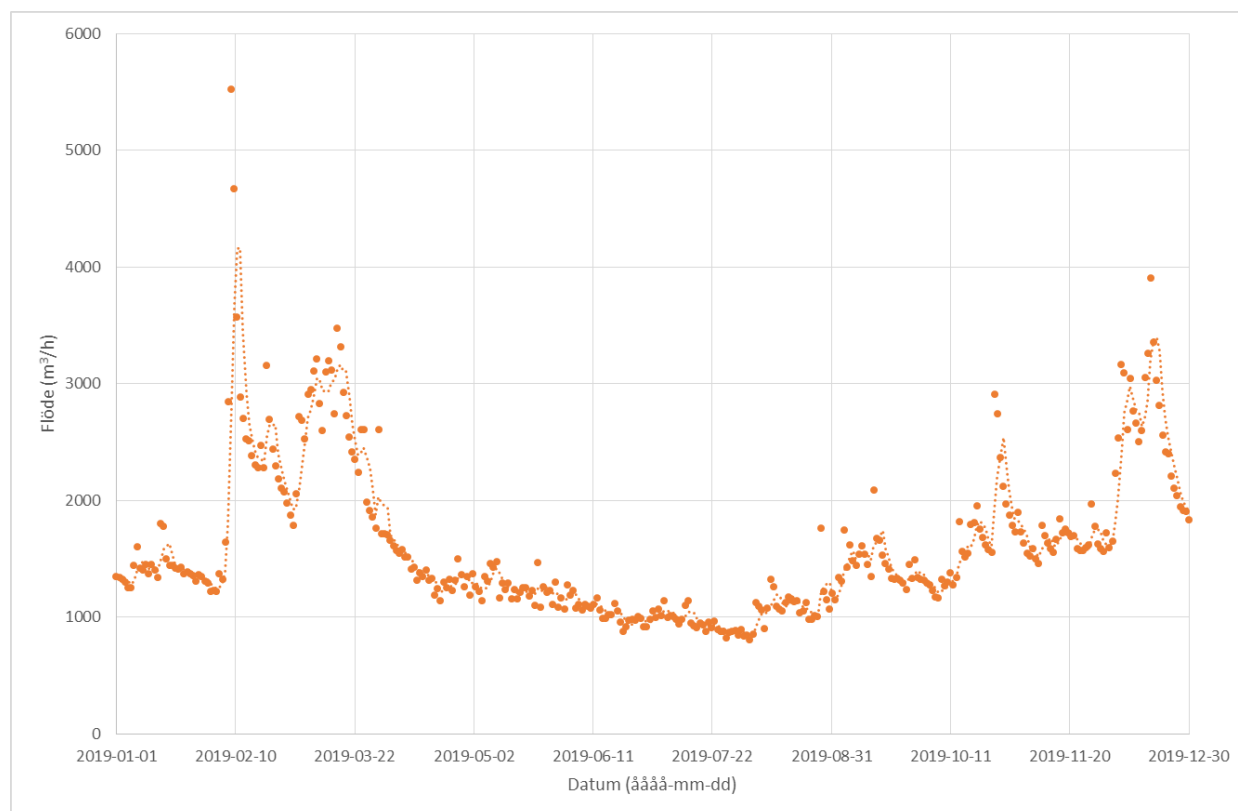
I Figur 4 visas ett varaktighetsdiagram baserat på dygnsmedelflödena från 2019. Man kan där konstatera att det förekommer två dygn där medelflödet överskridit 4 000 m<sup>3</sup>/h och att flödet ca 95 % av tiden underskrider 3 000 m<sup>3</sup>/h. Medelflödet för 2019 var 1 610 m<sup>3</sup>/h. Maxkapaciteten på det biologiska behandlingssteget på Sobacken är 5 700 m<sup>3</sup>/h.

I Figur 5 visas ett varaktighetsdiagram baserat på timflöden för 2019. Som förväntat så förekommer högre flöden jämfört med dygnsmedelflödena men skillnaden mellan varaktighetsdiagrammen för dygnsmedelflöde och timflöde är ändå relativt liten.

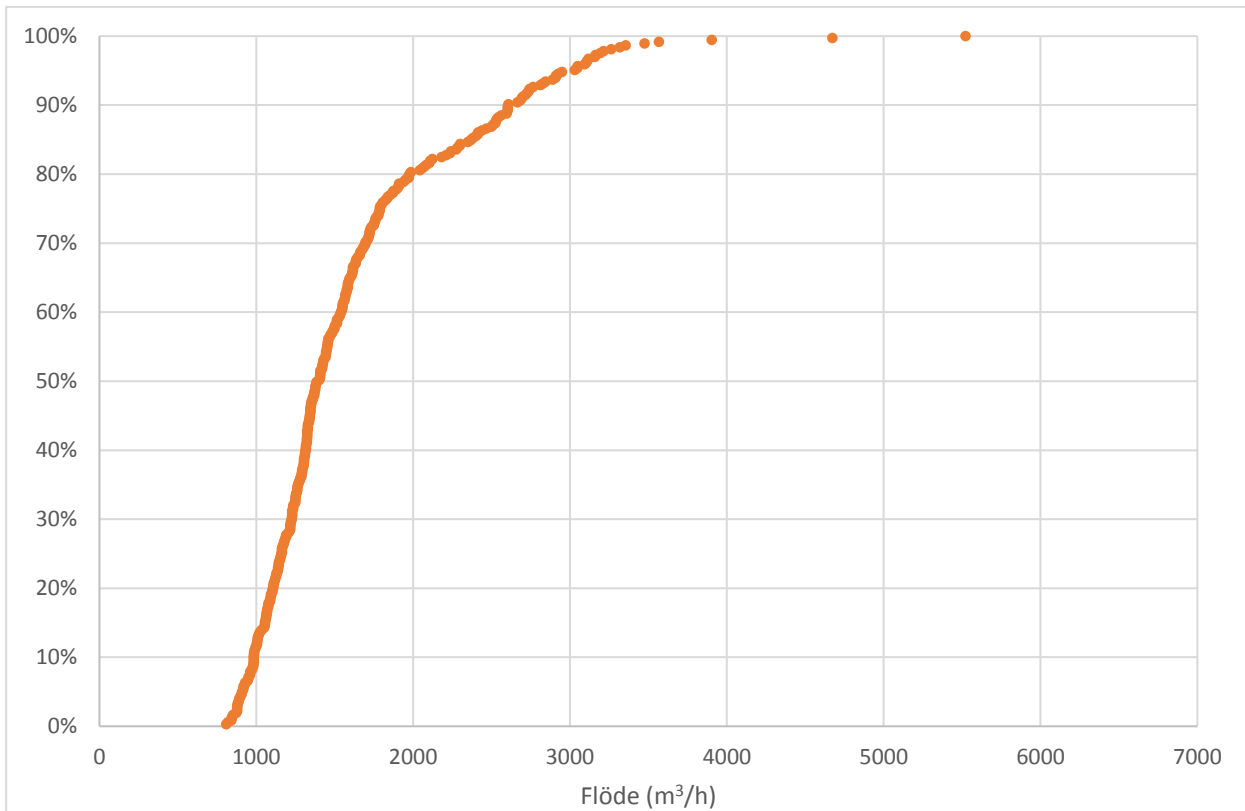
Vid projektmöte 2020-04-08 togs beslut om att det flöde som ska användas för dimensionering och kostnadsberäkning av nytt reningssteg för läkemedel ska vara 4000 m<sup>3</sup>/h. Detta flöde ska tolkas som det maxflöde som det framtida reningssteget kan ta emot. Med nuvarande flödessituation innebär detta att endast två dygn hade ett dygnsmedelflöde som överskred detta flöde under 2019.

Ser man till vilken varaktighet 4000 m<sup>3</sup>/h motsvarar så kan man konstatera att det för dygnsmedelflöden motsvarar 99,5 percentilen medan det för timflöden motsvarar 99,1 percentilen. Så baserat på timflöden kan man konstatera att flödet till Sobacken 99,1 % av tiden underskrider 4000 m<sup>3</sup>/h.

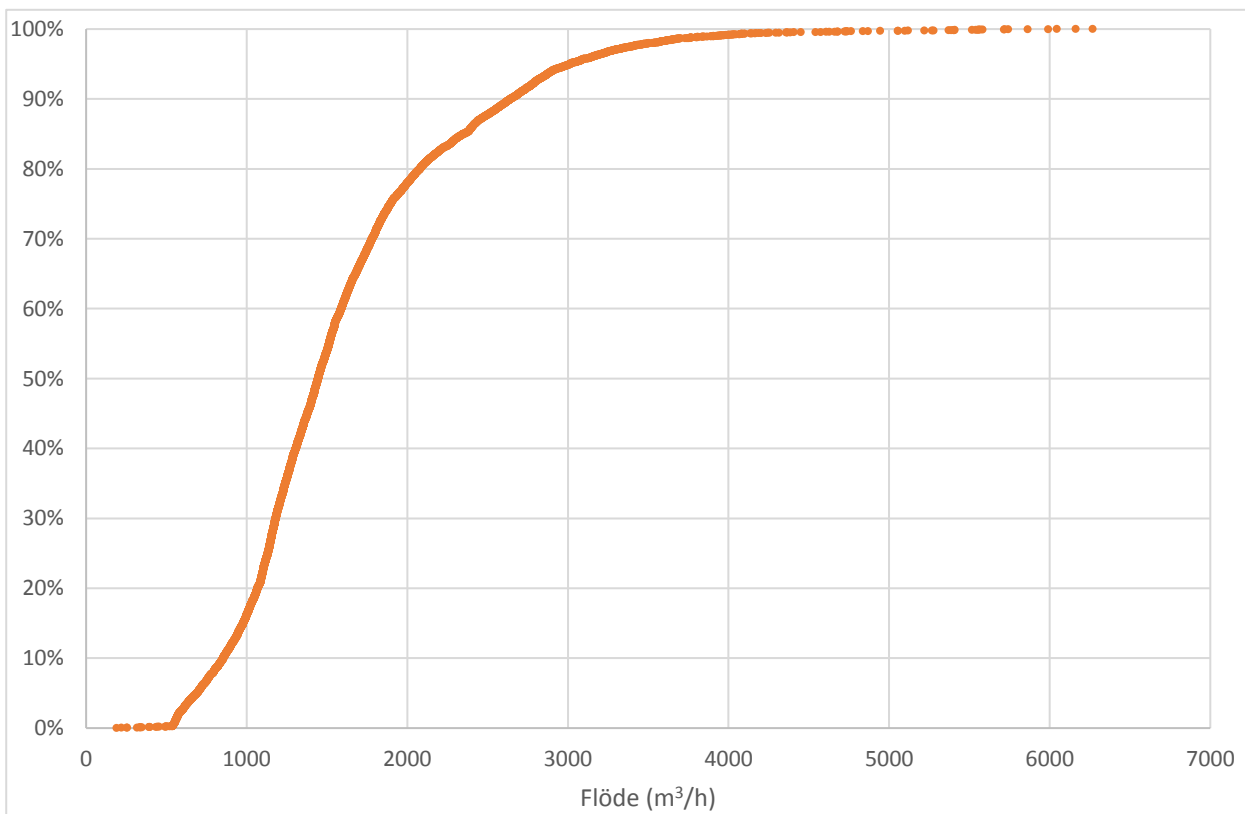
Den ackumulerade flödesmängden som överskrider 4000 m<sup>3</sup>/h är ca 54 000 m<sup>3</sup> för 2019 vilket motsvarar ca 0,4 % av det totala årsflödet 2019. Detta ska alltså tolkas som att 0,4 % av årsflödet 2019 hade behövt förbiledas en anläggning för läkemedelsrening om den dimensionerats för ett maxflöde om 4000 m<sup>3</sup>/h.



**Figur 3: Dygnsmedelflöden för 2019, Sobacken ARV**



**Figur 4: Varaktighetsdiagram baserat på dygnsmedelflöden**



**Figur 5: Varaktighetsdiagram baserat på timmedelflöden**

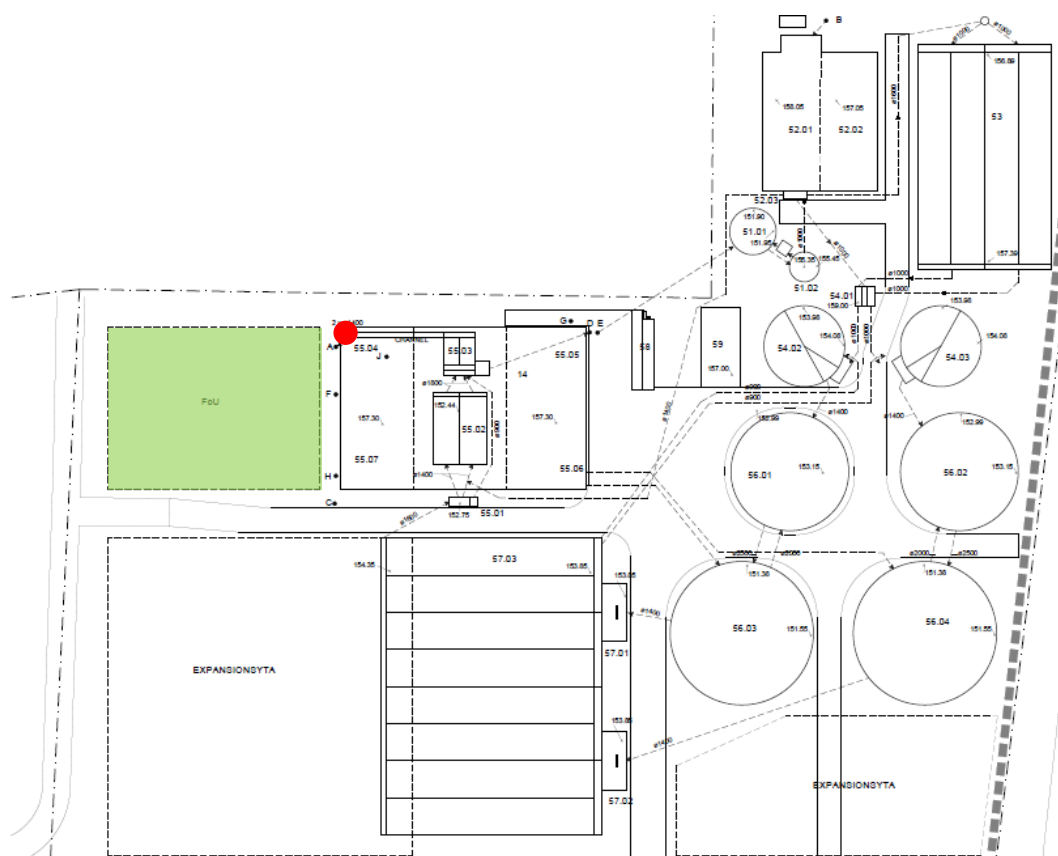
### 4.3.2 Andra dimensionerande parametrar

Eftersom avloppsvattnet genomgår biologisk rening med tertiär rening i Actiflo och/eller skivfilter förväntas vattnet ha låga halter löst organiskt material (DOC) (< 10 mg/l) och låga halter suspenderade ämnen (SS) (<10 mg/l). Detta antas vara dimensionerande förutsättningar när det gäller DOC och SS.

Dimensionerade temperatur är 8-20°C.

## 4.4 Geografiska förutsättningar

Den yta som Borås Energi och Miljö föreslår används för en framtida reningsanläggning för läkemedelsrester benämns i Figur 6 som FoU och har grönmärkats. Nuvarande utlopp från reningsverket är markerat med en röd cirkel i Figur 6. I Figur 7 nedan visas den tillgängliga ytan på ett flygfoto från Eniro. Måtten på ytan är ca 53 x 41 m vilket ger en total yta på ca 2 200 m<sup>2</sup>.



Figur 6: Översikt över reningsverket på Sobacken





Figur 7: Flygfoto över reningsverket på Sobacken, från Eniro

## 4.5 Definition av reningsmål

### 4.5.1 Läkemedelsrester

Vid projektmöten tillsammans med Borås Energi och miljö har det beslutats att målsättningen ska vara att nå 80 % reningsgrad med avseende på läkemedelsrester i den framtida reningsanläggningen.

Reningsgraden definieras som >80 % reduktion som medelvärde för de utvalda substanserna. En förutsättning för att den aktuella substansen ska kunna utvärderas i en framtida reningsanläggning är att den analyseras med ett analysresultat som är 5 ggr över detektionsgränsen i inkommande vatten.

### 4.5.2 Övriga föroreningar

Inga specifika mål har beslutats gällande rening av övriga föroreningar så som till exempel biocider, PFAS, fenoler, närsalter etc.



## 5 Reningsmetoder läkemedelsrester

Reningsmetoder för läkemedelsrester kan delas in i nedanstående fem huvudgrupper:

- Adsorptionsprocesser
- Processer för fysikalisk avskiljning
- Biologisk rening
- Oxidativa processer
- Kombinationsprocesser

Adsorptionsprocesser bygger på att ett ämne, i de flesta fall aktivt kol tillsätts till vattnet som ska renas varpå föroreningarna adsorberas till ytan på det tillsatta ämnet. Det tillsatta ämnet avskiljs från processen tillsammans med de adsorberade föroreningarna för vidare behandling. Ett exempel på adsorptionsprocesser är filter med granulerat aktivt kol.

Processer för fysikalisk avskiljning innebär att man installerar en barriär som vissa ämnen inte kan passera. Ett exempel är nanofiltrering.

Biologisk rening bygger på mikrobiologisk nedbrytning av läkemedelsresterna.

Oxidativa processer innebär att läkemedelsresterna oxideras, vanligtvis med ozon. Denna metod tar inte bort föroreningarna i vattnet utan omvandlar dem till andra ämnen.

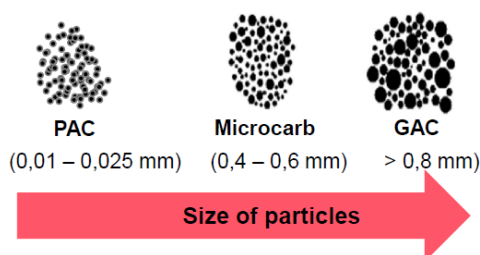
Genom att kombinera exempelvis behandling med aktivt kol och ozon kan man uppnå vissa fördelar som till exempel ökad reningsgrad. Detta brukar man kalla kombinationsprocesser.

Nedan beskrivs mer ingående olika tillgängliga processer för applicering av de ovan nämnda olika metoderna för läkemedelsrening. Denna beskrivning av olika möjliga processlösningar är inte heltäckande utan fokuserar i första hand på de processer som anses vara mest relevanta för läkemedelsrening vid svenska kommunala reningsverk.

Utifrån de utvärderingsparametrar som har valts ut (4.1 Kriterier för val av reningsmetod) så identifierades tre metoder som mest intressanta – dessa var: konventionella GAK-filter, Opacarb FL samt Actiflo® Carb. För dessa metoder redovisas tabeller med för och nackdelar medan det för de övriga nedan beskrivna processerna endast redovisas argument till varför de valdes bort och inte togs med för vidare utvärdering.

### 5.1 Adsorptionsprocesser

Adsorptionsprocesserna bygger på att aktivt kol tillsätts antingen i huvudprocessen eller i ett eget steg. Om processen placeras efter sista ordinarie steg innebär det att låga halter av organiskt material återstår i avloppsvattnet vilket medför att kolet kan utnyttjas mer effektivt för avskiljning av läkemedelsrester eftersom belastningen av övrigt organiskt material blir lägre och förbrukar mindre av kolets kapacitet. (Cimbritz m.fl. 2017). Kolet kan antingen vara pulveriserat, granulerat eller storleksmässigt där emellan, mikrogranulerat (Figur 8).



Figur 8. Storlekar för aktivt kol

### 5.1.1 Granulerat aktivt kol (GAK)

Principen bygger på att föroreningarna adsorberas på den aktiva kolytan i filterbäddar innehållande GAK. Med tiden kan en anpassad mikroflora etableras och är svårt att avstyra vilket innebär att rena adsorptionsfilter med GAK normalt sett inte existerar i verkligheten (Baresel m.fl. 2017c). Metoden GAK skulle därför kunna benämnas GAK/BAF och anses vara en kombinationsprocess.

GAK/BAF innebär en kombination av granulerat aktivt kol och biologiskt aktivt filter. En filterbädd bestående av GAK kommer att få en anpassad mikroflora som biofilm på det aktiva kolet vilket innebär en effektivare och bredare rening av flera substanser. När kolet blivit mättat behöver det bytas ut mot nytt kol och kan efter regenerering användas på nytt. Metoden har låg energiförbrukning på reningsverket men däremot förbrukas energi vid tillverkning och regenerering av kolet. Huvudkomponenter består av själva filterbädden och backspolningsutrustning (uppsamlingstank och pumpar). Öppna system är vanligare än trycksatta (Cimbritz m.fl. 2017).

För att förstå förloppet bakom de biologiska processerna i ett GAK/BAF-system krävs det detaljstudier av filtermaterialets yta och dess biofilm under filtrets hela livslängd (Baresel m.fl. 2017b).

Förbrukningen av aktivt kol kan minskas genom att använda två filter i serie och om vattnet dessutom har förbehandlats och är partikelfritt är det en stor fördel för metoden. Det finns ännu ingen enkel metod för att avgöra när kolet behöver bytas och kolbytesintervaller påverkar i hög grad driftkostnaden. Kolet kommer först bli mättat i den första reaktorn och därmed räcker det att byta ut kolet i den och placera reaktor nummer två som steg ett (Baresel m.fl. 2017b).

Eftersom man byter hela kolbädden när den är förbrukad så kommer reningen att vara som mest effektiv i början och mindre effektiv efterhand. I slutet av en period innan det är dags att byta kolbädd finns risk för förhöjda utsläppsvärden. Denna risk minskas genom att designa systemet enligt ovan med GAK-filter i serie.

För att etablera en biologi i ett GAK/BAF-system krävs en viss uppstartstid och som med all biologi är även biofilmen känslig för toxiska föroreningar men då GAK finns kan ändå en viss rening över filtret garanteras (Baresel m.fl. 2017c).

Driften av ett GAK/BAF-filter kan liknas vid driften av ett sandfilter även om kolet har en lägre densitet vilket påverkar backspolningen. När backspolning inte längre hjälper behöver kolet bytas ut eftersom ämnen som då har adsorberats har upptagit all ledig yta på kolet. Om kolet regenereras måste ungefär 10 % nytt aktivt kol tillsättas för att kompensera förlusterna (Cimbritz m.fl. 2017).

I Tabell 4 sammanfattas för- och nackdelar med läkemedelsrening med GAK/BAF.

**Tabell 4: Sammanfattning av för- och nackdelar med GAK/BAF**

Fördelar	Nackdelar
Möjligt att regenerera det aktiva kolet	Resurskrävande tillverkning om inte regenererat kol används
Ingen polymer eller fällningskemikalie krävs	Risk för igensättningsproblematik
Lågt energibehov på reningsverket	Ingen enkel metod för att veta när kolet ska bytas
Föroreningarna avskiljs – inga biprodukter/metaboliter i det behandlade vattnet	Risk för "genomslag" när kolet är mättat
Lätt att avvattna	

### 5.1.2 Mikrogranulerat aktivt kol, Filtraflo™ Carb och Opacarb FL

Precis som med GAK-filter så bygger principen för Filtraflo™ Carb och Opacarb FL på att föroreningarna adsorberas till ytan av aktivt kol.

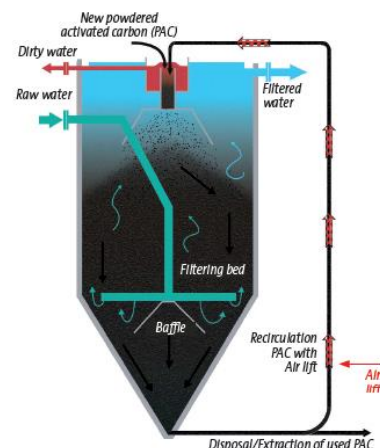
Jämfört med konventionella GAK-filter används en partikelstorlek på det aktiva kolet som är mindre än vanligt granulerat aktivt kol och benämns mikrogranulerat kol. Veolia har två processlösningar som bygger på mikrogranulerat kol. I motsats till konventionella GAK-filter så bygger dessa på att flödet går nerifrån och upp. Vidare skiljer sig det mikrogranulerade aktiva kolet som används i Veolias processer från vanligt granulerat aktivt kol genom att det tillverkas av pulveriserat aktivt kol som agglomereras. Detta gör att det aktiva kolet får en mycket stor specifik aktiv yta.

Filtraflo™ Carb och Opacarb FL är kontinuerliga processer, där det aktiva kolet kontinuerligt förnyas genom att uttaget aktivt kol ersätts med nytt aktivt kol, till skillnad från konventionella GAK-filter. Dosering av nytt kol och uttag av förbrukat kol sker automatiskt. Att processen är kontinuerlig medför att koldoseringen kan anpassas efter inkommande belastning. Figur 9 visar schematiskt hur Filtraflo™ Carb-processen är uppbyggd och Figur 10 visar principiellt hur Opacarb FL fungerar.

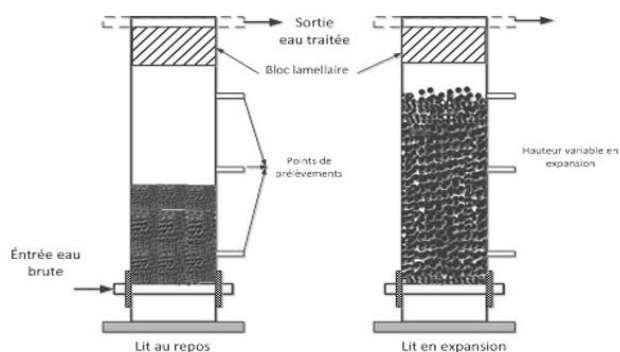
Det mikrogranulerade aktiva kolet har en större specifik aktiv yta genom att det har en mindre partikelstorlek och genom tillverkningsmetoden, jämfört med konventionellt GAK. Detta minskar kolförbrukningen för Filtraflo Carb™ och Opacarb FL jämfört med ett konventionellt GAK-filter. Samtidigt har mikrogranulerat kol fördelen att det är lätt att avvattna precis som konventionell GAK. Det är möjligt att regenerera det aktiva kolet och återanvända det och det krävs ingen polymer eller fällningskemikalie. Om låga utgående susphalter krävs kan eventuellt ett kompletterande filtersteg (mikrofilter) efter processen krävas.

Filtraflo™ Carb har en lägre flödes hastighet genom filtret vilket gör att filterbädden blir expanderad till skillnad från Opacarb FL som har en högre flödes hastighet vilket gör att bädden istället blir fluidiserad. Att filterbädden bara blir expanderad i Filtraflo™ Carb innebär att man får en viss filtreringseffekt som ger avskiljning av suspenderade ämnen.

Opacarb FL lämpar sig väl för att behandla avloppsvatten från såväl anläggningar med låga som höga flöden medan Filtraflo™ Carb i första hand är utvecklad för anläggningar med relativt låga flöden. Detta beror på att filterbäddarna har implementerats rent hydrauliskt på olika sätt i de två olika processerna. I Tabell 5 sammanfattas för- och nackdelar med processlösningar som bygger på mikrogranulerat aktivt kol.



Figur 9: Filtraflo™ Carb



Figur 10: Opacarb FL

**Tabell 5: Sammanfattning av för- och nackdelar med mikrogranulerat kol**

Fördelar	Nackdelar
Möjligt att regenerera det aktiva kolet	Resurskrävande tillverkning om inte regenererat kol används
Ingen polymer eller fällningskemikalie krävs	
Lågt energibehov på reningsverket	
Föroreningarna avskiljs – inga biprodukter/metaboliter i det behandlade vattnet	
Mer effektivt jämfört med vanlig GAK – lägre förbrukning av aktivt kol	
Lätt att avvattna förbrukat aktivt kol	
Kontinuerlig process där koldoseringen kan anpassas efter belastning	
Litet footprint jämfört med GAK-filter (Opacarb FL)	

### 5.1.3 Pulveriserat aktivt kol (PAK)

Tekniken är baserad på att pulveriserat aktivt kol tillsätts och föroreningarna adsorberas på kolet. Hög specifik yta är viktig för en effektiv avskiljning. PAK har mer aktiv yta jämfört med GAK vilket innebär att en kortare reaktionstid krävs och dessutom kan doseringen anpassas efter inkommande belastning. PAK kan inte regenereras men kan återcirkuleras i processen. Dosering av PAK förutsätter att det pulveriserade aktiva kolet kan lagras på verket i EX-klassad tank (Cimbritz m.fl. 2017).

#### 5.1.3.1 PAK+Sedimentering

I Figur 11 visas ett exempel på hur ett reningssteg med pulveriserat aktivt kol kan implementeras på ett kommunalt avloppsreningsverk. I exemplet doseras aktivt kol till en kontaktreaktor efter mellansedimenteringarna. Därefter tillsätts fällningskemikalie och polymer innan vattnet leds vidare till en sedimentering där det aktiva kolet avskiljs och återcirkuleras till kontaktreaktorn.

För att förbättra effektiviteten rekommenderas att recirkulera det kol som tas ut från processen till det biologiska behandlingssteget (Cimbritz m.fl. 2016). I flera fall rapporteras att sedimenteringen bör följas av ett sandfilter för slutpolering (Cimbritz m.fl. 2016, Baresel m.fl. 2017a).

**Figur 11: Exempel på implementering av PAK-process (Cimbritz m.fl. 2016)**

Denna metod rekommenderas inte för Borås Energi och Miljö framförallt på grund av att det är en utrymmeskrävande lösning som förväntas vara dyr i investering.

#### 5.1.3.2 PAK i huvudprocessen

Det pulveriserade aktiva kolet kan tillsättas i huvudprocessen i det biologiska steget och avskiljs då med slammet genom fällning, flockning eller sedimentering och tas om hand med resten av slammet. Med PAK i slammet begränsas dock slammets användning som gödningsmedel på åkermark. Vid användning av

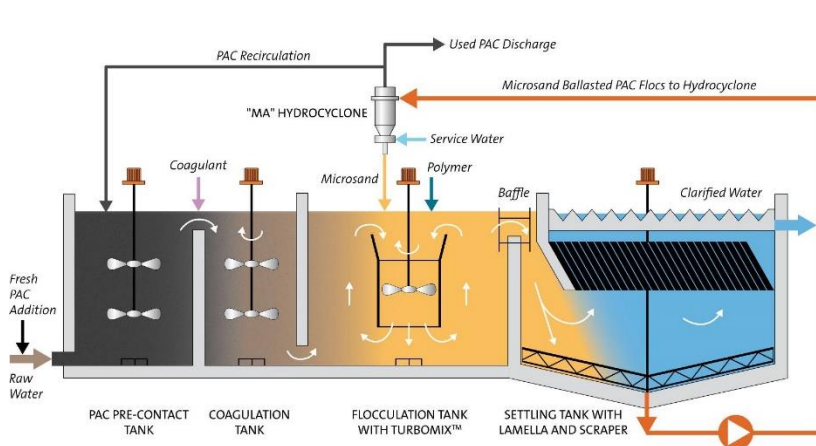
PAK i huvudprocessen krävs endast installation av lagringsutrymme och doserutrustning där doseringen kan anpassas efter inkommande belastning (Sundin, A-M. m.fl. 2017).

Denna process rekommenderas inte för Borås Energi och Miljö på grund av att den kommer att påverka befintliga processer vilket är beslutat att den framtida läkemedelsreningen inte ska göra. Vidare förväntas processen kräva höga doseringar för att nå den önskade reningsgraden på grund av att mycket annat organiskt material kommer att konkurrera med läkemedelsreningen.

### 5.1.3.3 Actiflo® Carb

Actiflo® Carb kombinerar den väletablerade Actiflo®-processen (höghastighets sedimentering med ballast i form av sand) med aktivt kol. Processen är kontinuerlig (till skillnad från exempelvis GAK-filter) och det aktiva kolet förnyas automatiskt genom att nytt aktivt kol doseras till processen samtidigt som motsvarande mängd förbrukat aktivt kol tas ut från processen.

Studier från pilot-/fullskaleanläggningar visar att det är möjligt att genom att dosera en liten mängd ozon direkt i Actiflo® Carb anläggningen öka läkemedelsreningen ytterligare på ett mer effektivt och säkert sätt än t.ex. med ett system med separat ozon- och efterföljande aktivkolsteg. Actiflo® Carb är en extremt kompakt och snabb process med snabb uppstart där doseringen kan anpassas efter belastningen. Eftersom både koagulant och polymer doseras så ger processen även fosfor och suspreduktion.

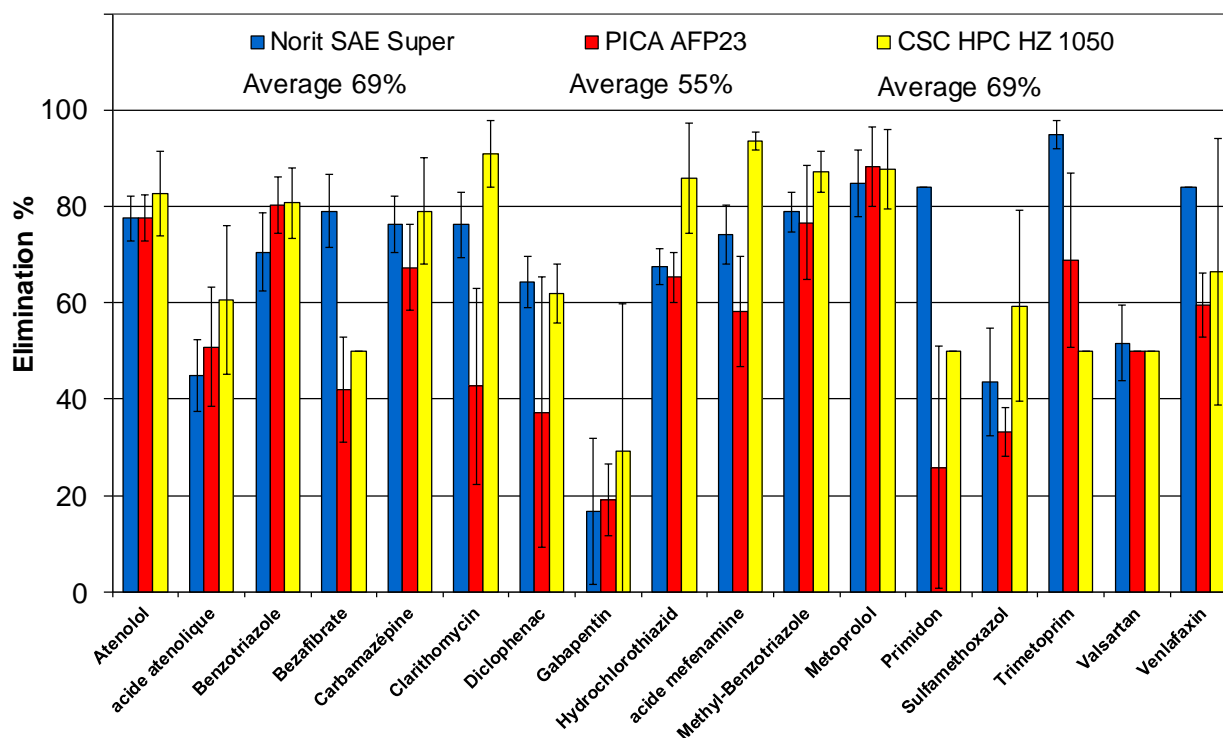


**Figur 12: Actiflo® Carb-processen**

Resultat från en pilotstudie utförd vid reningsverket i Cham visade att det var möjligt att nå reduktionsgrader mellan 55 och 69 % i medel, beroende på val av kolsort, vid en dosering om 10 g aktivt kol/m<sup>3</sup> (Gaid m.fl. 2011). I Figur 13 nedan visas resultaten från pilotförsöken där reduktionsgraden för ett antal läkemedelssubstanser redovisas.

Om överskottslammet från Actiflo® Carb kan ledas till det biologiska steget och blandas med det aktiva slammet så är det fördelaktigt eftersom man då får en enkel slamhantering och ett maximalt utnyttjande av adsorptionskapaciteten i det aktiva kolet.





Figur 13: Resultat från pilotförsök med Actiflo® Carb vid reningsverket i Cham

I Tabell 6 sammanfattas för- och nackdelar med Actiflo® Carb.

Tabell 6: Sammanfattning av för- och nackdelar med Actiflo® Carb

Fördelar	Nackdelar
Möjligt med belastningsstyrd dosering	Resurskrävande tillverkning om inte tillverkning sker från "använt" GAK-kol
Extremt kompakt och snabb process	Ger upphov till ett nytt slam (om det inte kan ledas till biosteget)
Lågt energibehov på reningsverket (jämfört med oxidering med ozon)	Ex-klassning av lagringssilo
Föroreningarna avskiljs – inga biprodukter/metaboliter i det behandlade vattnet	Kräver kemikalier
Ger även fosfor och suspreduktion	

#### 5.1.4 Biokol

Miljöeffekterna vid tillverkning av aktivt kol är hög i form av både utgångsmaterial och energi där flera LCA-studier finns framtagna. För att minska miljöbelastningen är det därför intressant både med en inhemsk produktion men även biokol som ett alternativ till konventionellt aktivt kol. Om kolet skulle produceras från organiska restprodukter som exempelvis reningsverkets egna slam skulle det kunna medföra en betydande minskning av påverkan på miljön och även kostnader, dessutom skulle utmaningar med dagens slamhantering lösas. Dock behövs fler utredningar utföras för vidareutveckling av koltyper, ökad kapacitet, stabilitet och avskiljningsförmåga (Cimbritz m.fl. 2017).

## 5.2 Processer för fysikalisk avskiljning

Nedan beskrivs processer för fysikalisk avskiljning. Dessa rekommenderas inte för Borås Energi och Miljö på grund av att det är relativt oprövade metoder för just läkemedelsrening samt på grund av höga investerings- och driftskostnader (hög förbrukning av energi och kemikalier för rengöring). Hade det funnits önskemål om att producera vatten som kan återanvändas så hade membran teknik varit mer intressant men det har inte varit något som efterfrågats. En annan stor nackdel med tekniken är att den genererar ett rejektflöde med höga koncentrationer av läkemedelsrester och andra föroreningar. Detta rejektflöde måste behandlas separat.

### 5.2.1 Ultrafiltrering (UF) / Membranbioreaktor (MBR)

Fysikalisk reningsmetod där partiklar filtreras ner till 10 nm, beroende på membranval. Separat ultrafiltrering används vid dricksvattenrening men som integrerat i huvudreningen förekommer det på avloppsreningsverk (MBR). Metoden har en bra reningseffekt på partiklar, mikroplaster, patogener och bakterier (även multiresistenta) men har ingen reningseffekt på läkemedelsrester som är lösta i vattenfasen. Om ultrafiltrering används som ett poleringssteg innebär metoden att en delström blir högkoncentrerad och behöver tas omhand. Vid användning av ultrafiltrering krävs en förfiltrering genom sil eller liknande för att skydda membranerna. Membranytorerna får beläggning som kräver rengöring av kemikalier och vid drift fås en ökad energiförbrukning. Tekniken anses i allmänhet vara dyrare än andra tekniker (Sundin, A-M. m fl. 2017).

### 5.2.2 Nanofiltrering (NF) / Omvänd osmos (RO)

Nanofiltrering och filtrering med omvänd osmos innebär en ytterligare förbättrad avskiljning jämfört med ultrafiltrering på grund av en ytterligare finare porstorlek på membranerna.

Nanofiltrering eller omvänd osmos bör föregås av nanofiltrering för att minska risken för igensättning och påväxt på membranerna (Baresel m.fl. 2017a) vilket annars leder till mycket underhåll och ökad energiförbrukning.

Nanofiltrering innebär filtrering ungefär i spannet 0,001-0,01  $\mu\text{m}$  och en tryckskillnad över membranerna om 2-40 bar krävs. För omvänd osmos är porstorleken på membranet istället i intervallet 0,0001-0,001  $\mu\text{m}$  och det krävs en tryckskillnad om 5-70 bar över membranerna (Baresel m.fl. 2017a).

Med omvänd osmos kan en reningseffektivitet >95 % uppnås med avseende på läkemedelsrester. För NF kan man förvänta sig en lägre reningseffektivitet. Både NF och RO har dock två stora nackdelar vilket dels är den stora energiförbrukningen och dels omhändertagandet av den rejektström som uppstår. Man kan räkna med att ca 10 % av det behandlade flödet blir ett rejektflöde med hög koncentration av läkemedelsrester (Baresel m.fl. 2017a). Detta flöde måste därmed behandlas separat exempelvis med GAK eller ozon.

På grund av de två stora nackdelarna med membranfiltrering blir tekniken främst intressant i de fall det är stor brist på vatten eftersom det behandlade vattnet blir mycket rent och lämpar sig för vattenåteranvändning.

## 5.3 Oxidativa processer

### 5.3.1 Ozonering

Metoden är en oxidativ behandling och innebär att oönskade ämnen oxideras med ozon antingen direkt eller indirekt. Anläggningen är flexibel i och med att doseringen kan styras och då processen är energikrävande är det viktigt att optimera doseringen av ozon i förhållande till önskad belastning. Detta kräver tillförlitlig mätutrustning och olika inblandningstekniker påverkar hur höga flöden som kan hanteras. Om möjligt kan det även vara fördelaktigt att designa anläggningen så att kontakttiden kan varieras (Baresel m.fl. 2017c). Om vattnet innehåller mindre mängd organiskt material går det åt mindre mängd ozon och därmed mindre mängd energi, eftersom oxidationsprocessen oxiderar alla ämnen som går att oxideras. En ozonanläggning placeras därför med fördel efter en fungerande biologisk rening. (Cimbritz m.fl. 2017)

Huvudkomponenter som krävs för ozonering är ozongenerator inklusive styrning och kylning, inblandning av ozon i avloppsvatten, syrgasgenerator eller syrgaslagring, kontakttank samt ozondestruktör och säkerhetssystem (Baresel m.fl. 2017c). Ozongas är både explosivt och instabilt vilket innebär att det inte går att lagra eller transportera på ett bra sätt utan måste genereras på plats från syrgas. Under anläggningens livslängd kan man förvänta sig samma reningsresultat (Cimbritz m.fl. 2017).

Generella dos-responsförhållanden finns men för att anpassa dimensioneringen krävs plats specifika försök (Baresel m.fl. 2017b), dessutom behöver kontakttiden designas för varje enskilt fall. Uppehållstiden i kontaktreaktorn varierar mellan 10-25 minuter och den specifika ozondoseringen mellan 0,4-0,9 g O<sub>3</sub>/g DOC (Cimbritz m.fl. 2017).

Flera pilotstudier med ozonering har utförts i Sverige den senaste tiden. Sammanfattningsvis visar flera av försöken att vissa läkemedelssubstanser reduceras i hög grad redan vid låga doser medan vissa substanser kräver betydligt högre doseringar. Det finns också flera studier som tyder på att ozonbehandling leder till ökad toxicitet och östrogena effekter i det behandlade vattnet varför ett efterföljande behandlingssteg allmänt sett i princip anses vara ett krav.

Oxidativ läkemedelsrening rekommenderas inte på grund av risken för bildning av toxiska metaboliter samt på grund av hög energiförbrukning. Borås Energi och Miljö har även framfört synpunkter på att de önskar undvika processlösningar med ozon.

## 5.4 Biologiska processer

För biologiska tekniker förutsätts att bakterier eller andra mikroorganismer finns som ska bryta ned specifika substanser och att de kan etablera sig utan specifika krav på omkringliggande förhållanden.

### 5.4.1 Biologiskt aktiva filter (BAF)

Utgörs vanligtvis av sandfilter eller aktivt kol som förutom filtret har en biologisk aktivitet som bryter ner vissa föroreningar. Om filtret består av GAK blir metoden effektivare då även adsorption av föroreningar ökar avskiljningen av föroreningar, se vidare under 5.5.1 GAK/BAF. För att minska belastningen på filtret bör denna metod placeras som ett sista steg. Metoden har ett lågt energibehov men bör backspolas regelbundet. (Sundin, A-M. m fl. 2017)

### 5.4.2 MBBR eXeno™ - biologisk läkemedelsrening

Senaste årens studier kring läkemedelsrening med biofilmsbaserade metoder, som MBBR, har visat att man kan uppnå en långt bättre reduktion med dessa jämfört med den allmänt förekommande och vanliga aktivslamprocessen. Metodiken har förfinats och genom att på ett väldefinierat sätt mata bakterierna i biofilmen en väl avvägd mängd extra lättillgängligt substrat, utöver de läkemedelsrester som normalt finns i mycket låga koncentrationer får man en robust biofilm med hög drivkraft för att även bryta ned läkemedlen.

Metodiken har patenterats av Veolia (svenskt patent SE539304) och marknadsförs nu under varunamnet eXeno™.

Med biologisk läkemedelsrening i eXeno™, kan man i ett efterpoleringssteg reducera ca 50±20 % av de kvarvarande läkemedelsresterna. Hur långtgående rening man uppnår är beroende på lokala förutsättningar gällande ingående föroreningar och halter, men även av klassiska biologiska parametrar som uppehållstider, temperatur och driftsparametrar som substrattillgång. Det är därför viktigt att försök utförs på det reningsverk man avser implementera processen på.

## 5.5 Kombinationsprocesser

Kombinationsprocesser ger en rening för fler substanser jämfört med att använda teknikerna var för sig och är därför att föredra när hög reningsgrad för ett brett spektra av substanser eftersträvas. Ett exempel är PFAS som är extremt persistenta kemikalier som är svåra att oxidera och därmed svåra att bryta ned med hjälp av ozonbehandling. Dessa kemikalier adsorberas däremot effektivt till aktivt kol. Genom att kombinera aktivt kol och ozon kan vardera processteg optimeras med avseende på de mikroöroreningar som den är mest effektiv för.

Nedan följer en beskrivning av några av de viktigaste kombinationsprocesserna.

### 5.5.1 PAK i MBR

Tekniken PAK i MBR (Membranbioreaktor) innebär att mikroöroreningar som normalt inte hålls kvar av ett UF-membranfilter adsorberas av PAK som tillsätts i avloppsvattnet och blandas med det aktiva slammet. I tekniken kommer både en adsorption och biologisk nedbrytning att ske och den yta som finns på det aktiva kolet kan fungera som en biofilmsbärare för bakteriell tillväxt. (Baresel m.fl. 2017)

Med PAK i MBR blandas aktivt kol med övrigt slam.

### 5.5.2 MBBR eXenO<sub>3</sub>™ - oxidation med ozon och biologisk läkemedelsrening

Ozonering kan med tillräckligt hög dos ge en stor reduktion av läkemedelsrester i avloppsvatten men riskerar att skapa toxiska metaboliter (se 0). Genom att kombinera ozonbehandling och biologisk behandling kan man skapa ett system där det biologiska steget används för att reducera toxiska effekter i avloppsvattnet och fortsätter att bryta ner de molekyler som inte har oxiderats fullständigt i ozonbehandlingen (Figur 14, t.v.). För att skapa en ytterligare mer långtgående rening med fokus på låga driftskostnader och liten kemikalieförbrukningen kan ett trestegssystem utformas (Figur 14, t.h.) där vattnet först behandlas i ett biologiskt reningssteg enligt beskrivningen i kapitel 5.4.2, därefter med oxidation med ozon och slutligen med ett mindre biologiskt steg för att ta bort toxicitet och bryta ner metaboliter.

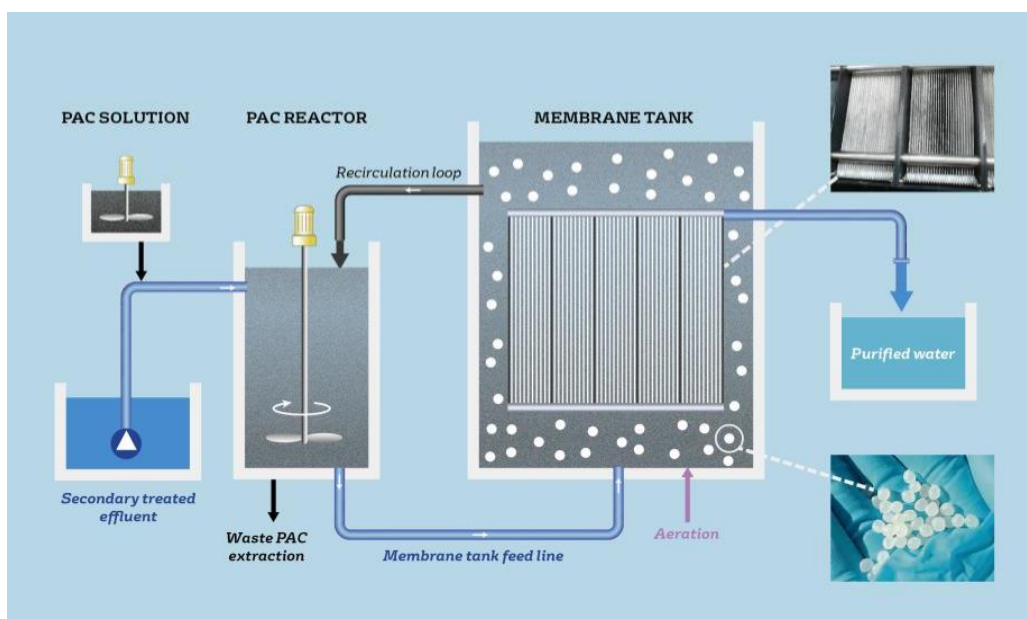


Figur 14: Ozon+MBBR eXenO<sub>3</sub>™. Till vänster tvåstegsprocess, till höger trestegsprocess.

### 5.5.3 PAK + UF, Opaline C+

Detta alternativ motsvarar i princip PAK+sedimentering som beskrevs i 5.1.3.1 men istället för att det pulveriserade aktiva kolet separeras genom tillsats av kemikalier och därefter sedimentering så separeras det med hjälp av ultrafiltrering. En fördel är att ett i princip partikelfritt vatten åstadkoms vilket säkerställer att inget läckage av aktivt kol sker. Vidare avskiljs även bakterier och virus med hjälp av UF-membranen. Eftersom bakterier med eventuella antibiotikaresistenta gener avskiljs med membranerna samtidigt som antibiotikasubstanser avskiljs genom adsorption i kolet så anses denna lösningen ge ett bättre skydd mot multiresistens i recipienten (Baresel m.fl. 2017a).

I Figur 15 nedan visas Veolias processlösning för PAK+UF – Opaline® C+. Lösningen bygger på att nytt pulveriserat aktivt kol doseras kontinuerligt till inkommande vatten varpå vattnet får reagera med det aktiva kolet i en kontakttank. Därefter separeras det aktiva kolet med hjälp av UF-membran och recirkuleras till kontakttanken vilket gör att en hög koncentration av aktivt kol upprätthålls i kontakttanken. Motsvarande mängd kol som doseras tas ut från kontakttanken som ett "överskottsslam". I membrantanken finns plastkuler som hjälper till att rengöra membranerna för att minska behovet av backspolning och rengöring.



Figur 15: PAK+UF – Opaline® C+

### 5.5.4 Ozon+GAK/BAF – kemisk oxidation och adsorption med granulärt aktivt kol

Reningseffekten när de två teknikerna ozon och GAK/BAF kombineras anses vara hög och genom att styra ozondoseringen blir tekniken mycket dynamisk och kan anpassas mot inkommande föroreningar. Om tekniken placeras som sista reningssteg innebär det att vissa föroreningar redan har tagits bort och biologin i GAK/BAF-filtret utvecklas mot mer svårnedbrytbara föroreningar. Risken för igensättningar av filtret blir mindre då halten av partiklar är låg. En högre syrehalt i vattnet från ozon-behandlingssteget kommer gynna de biologiska nedbrytningsprocesserna, under förutsättning att inte ozonrester finns kvar. Dock har inte de båda teknikerna testats så mycket i kombination i försök (Baresel m.fl. 2017b).



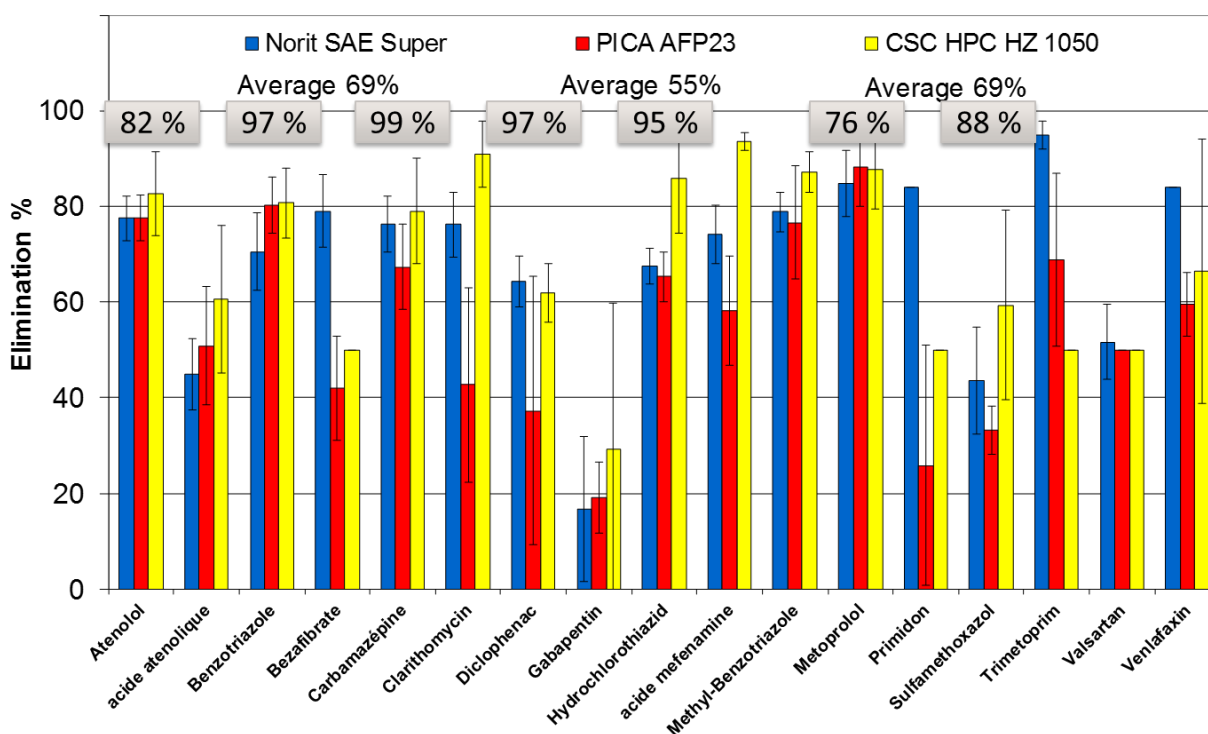
### 5.5.5 Ozon+Actiflo® Carb – adsorption med pulveriserat aktivt kol med ozondosering

Pilottester genomfördes med Actiflo® Carb i kombination med ozon vid reningsverket i Avranches (Gaid m.fl. 2011). Resultaten från försöken visade att en liten ozondos (0,5-1,0 g/m<sup>3</sup>) ledde till en betydligt bättre avskiljningsgrad av läkemedelsrester vid samma koldosering som vid försöken i Cham (10 g/m<sup>3</sup>).

Resultaten visas i Figur 16 tillsammans med resultaten från försöken i Cham. Resultaten från Avranches visas i de gråa rutorna ovanför staplarna för respektive substans. Resultat finns inte för lika många substanser som för Cham. Resultaten som redovisas är baserade på tester med Norit SAE Super. Som man kan se i figuren så förbättrades avskiljningsgraden avsevärt för samtliga substanser utom metoprolol och exempelvis så ökade avskiljningsgraden för Diklofenak och Carbamazepin från ca 65 % och 75 % till 97 % och 99 %.

Försök har även genomförts i Toulon i södra Frankrike under 2018. Där analyserades 25 olika substanser och olika doseringar av aktivt kol testades. Dessutom testades dosering av 20 ppm kol i kombination med ozon eller utan ozon. I de försöken kunde man åstadkomma i medeltal 10 % bättre reduktion av de 25 analyserade substanserna genom att dosera 2 ppm ozon. Om man istället utvärderade resultaten med avseende på vilken total mängd (massa) av läkemedelssubstanser som reducerades (till skillnad från ett rakt medelvärde över alla 25 substanser) så var förbättringen istället 16 %.

Eftersom dosen av ozon är väldigt låg och kontakttiden för ozon är kort sker ingen bildning av bromat eller toxiska nedbrytningsprodukter.



Figur 16: Resultat från försök med Actiflo® Carb och ozon vid reningsverket i Avranches



### 5.5.6 Ozon + Opacarb FL

Likt Actiflo® Carb kan Opacarb FL kombineras med en liten dos ozon. Ozondoseringen designas liknande som för Actiflo® Carb med en kort kontakttid och en låg dos. Syftet med att dosera ozon till Opacarb FL är detsamma som vid dosering i Actiflo® Carb – d v s att åstadkomma en avsevärd förbättring av reduktionen av läkemedelssubstanser vid en låg dos av ozon och utan risk för bildning av bromater och toxiska nedbrytningsprodukter.

## 5.6 Ej beskrivna processer

Utöver de processer som har beskrivits finns ytterligare ett antal tekniska lösningar – mer eller mindre utvecklade. Några exempel är

- avancerade oxidationsprocesser med till exempel UV-ljus och titandioxid
- rening med enzymer
- oxidation med kloridoxid
- fotokatalytisk rening

Det finns ytterligare exempel på metoder under utveckling som beskrivs i litteraturen. Dessa olika tekniska lösningar har inte beskrivits inom ramen för denna studie eftersom de inte anses relevanta i denna utvärdering, bland annat på grund av att de ännu inte är redo för fullskalig installation, på grund av osäkerheter kring reningseffektivitet eller andra faktorer.

## 6 Vald process för Sobacken

Utifrån de utvärderingsparametrar som valdes ut så prioriterades tre olika teknologier för jämförelse. De utvalda teknologierna var GAK/BAF, Actiflo® Carb och Opacarb FL. Dessa tre teknologier jämfördes sedan men avseende på de utvalda utvärderingsparametrarna. Resultatet av jämförelsen visas i Figur 17.

Parameter	GAK-filter	Opacarb FL	Actiflo Carb
Investering	☹️	😊	😊
Reningsmål ≥80%, läkemedel	😊	😊	😊
Elförbrukning	😊	😊	😊
Kemikalieförbrukning	😊	😊	☹️
Driftsäkerhet (redundans)	😊	😊	😊
Robusthet (tillförlitlighet, tålig)	😊	😊	😊
Arbetsmiljö	😊	😊	😊
Referenser	😊	😊	😊

Figur 17: Jämförelse mellan teknologier

Det har inte varit möjligt att göra denna utvärdering på en djup detaljnivå på grund av att tidplanen inte har medgett det. Nedan redovisas dock motiveringar till jämförelsen för de olika parametrarna ovan.

### Investering

Baserat på tidigare kostnadsanalyser så har det visat sig att investeringskostnaden för Actiflo® Carb är lägre än för ett GAK-filter. När det gäller skillnaden mellan Opacarb FL och GAK-filter så skiljer sig teknologierna genom att Opacarb FL har 5-10 gånger lägre ytbehov, inget behov av system för backspolning och avsaknad av filterbottnar. Bedömningen är därför att Opacarb FL har en lägre investeringskostnad jämfört med ett konventionellt GAK-filter.

### Reningsmål

Alla redovisade teknologier bedöms klara reningsmålet om >80 % rening av läkemedelsrester med fokus på de utvalda substanserna. De olika substanserna som har valts ut har olika förmåga att adsorberas på det aktiva kolet. Karbamazepin till exempel har visat vara lätt att avskilja i väldigt hög grad i de pilotförsök som Veolia har genomfört. Diklofenak däremot är svårare att avskilja i lika hög grad och kan kräva en högre dos av aktivt kol. Dock är reningsmålet här att nå >80 % reningsgrad som medelvärde vilket innebär att reduktionen av vissa specifika substanser kan underskrida 80 % samtidigt som reduktionen av andra substanser överskrider 80 % så att reningsmålet nås.

### Elförbrukning

Det förutsätts att vattnet måste pumpas till det framtida reningssteget för läkemedelsrening eftersom vattengången för utgående avlopp är låg. Skulle man leda vattnet genom reningssteget utan pumpning måste reningssteget grävas ner djupt. För konventionella GAK-filter och Opacarb FL så krävs framförallt energi till pumpning och eftersom Opacarb FL är djupare så krävs det mer energi. För Actiflo® Carb krävs något mindre energi till pumpning men å andra sidan så krävs det omrörare och recirkulationspumpar som kräver energi.



## Kemikalieförbrukning

Varken konventionella GAK-filter eller Opacarb FL kräver kemikalier. Actiflo® Carb kräver dock fällningskemikalie och polymer för att fungera.

## Driftsäkerhet och Robusthet

Alla processlösningarna anses vara driftsäkra och robusta lösningar men eftersom Actiflo® Carb kräver dosering av kemikalier och är beroende av att både omrörare och recirkulationspumpar är i drift och fungerar så gjordes bedömningen att den processen anses lite mindre driftsäker och robust.

Både konventionella GAK- och Opacarb FL-filter har inga "rörliga" delar i sina reaktorer.

## Arbetsmiljö

Bedömningen gällande arbetsmiljö utgår från samma resonemang som kring driftsäkerhet och robusthet. Det vill säga att man kan uppnå en god arbetsmiljö för alla processlösningarna men eftersom Actiflo® Carb kräver mer kemikalier och har mer maskinell utrustning fick den ett lite lägre betyg.

Konventionella GAK-filter kräver ett stort rörgalleri med ett ventilsystem för backspolning. Detta beror på att ett alltför stort GAK-filter kräver ett backspolningsflöde som inte är hanterbart. Filtret måste därför delas upp i ett antal olika "delfilter" som backspolas ett i taget. Möjligen skulle detta systemet göra att konventionella GAK-filter skulle få ett något lägre betyg.

## 6.1 Processbeskrivning

### 6.1.1 Opacarb FL

Den framtida läkemedelsreningen föreslås att utformas som fem parallella Opacarb FL reaktorer parallellt. Nedan följer en mer detaljerad beskrivning av den föreslagna processen. Se även bilaga "Processflödeschema Opacarb FL.pdf" för bättre förståelse för processen.

En ny pumpstation kommer att installeras till vilken det samlade utgående avloppsvattnet avleds. Pumpstationen utformas så att vattnet kan rinna genom den och vidare till utgående avloppsledning. Detta innebär att om ingen pumpning sker från pumpstationen så rinner allt utgående avloppsvatten genom den, obehandlat, till utloppsledningen och vidare till recipient.

I den nya pumpstationen installeras fem pumpar. Varje pump förser en Opacarb-reaktor med avloppsvatten. Pumparna är frekvensstyrda så att flödet kan regleras. För att Opacarb-reaktorerna ska arbeta inom sitt optimala flödesområde så kommer olika många reaktorer att vara i drift beroende på hur högt flödet är. Vid min-flöde är bara en reaktor igång och vid maxflöde krävs det att alla fem reaktorer är i drift. Normalt kommer allt vatten som kommer till pumpstationen att pumpas till läkemedelsreningen men om flödet in till pumpstationen är högre än flödet som pumpas till läkemedelsreningen så kommer skillnaden mellan inflödet till pumpstationen och det pumpade flödet att bräddas till utloppsledningen. Pumpstationen är försedd med nivåmätare som används för att reglera pumparna.

Flödet från respektive pump passerar via flödesmätare och tryckgivare vidare till inloppet till varsin Opacarb-reaktor. Vattnet leds in i botten på respektive reaktor och strömmar genom en bädd av aktivt kol. Processen är designad så att de flöden som varje reaktor tillåts arbeta inom gör att bädden hålls fluidiserad. När vattnet har passerat genom den fluidiserade kolbädden och ett lamellpaket så rinner det ut ur reaktorn via avdragsrännor. Vattnet rinner vidare till utgående ledning.



Aktivt kol lagras i en silo och doseras in till processen "kontinuerligt". Att kolet doseras kontinuerligt betyder inte att det måste doseras hela tiden eftersom slamåldern på det aktiva kolet är flera månader. Dosering av nytt kol kan till exempel ske en gång om dagen utan att det har någon påverkan på processens prestanda. Motsvarande mängd kol som doseras måste också tas ut från processen. Detta sker med hjälp av mammutpumpar som installeras i respektive reaktor. Det använda kolet samlas upp i en container där det avvattnas. Inga kemikalier eller någon speciell process för att avvattna kolet krävs. Det avvattnade kolet kan skickas iväg för regenerering så att behovet av nytillverkat aktivt kol minskas.

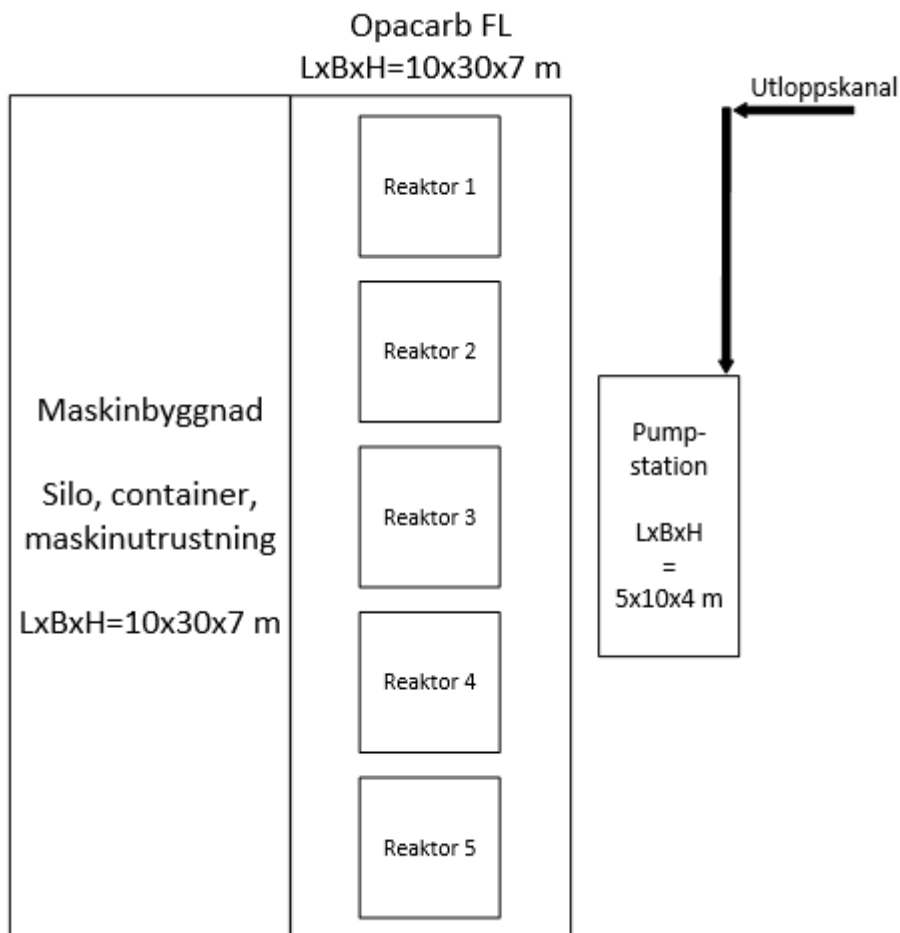
#### 6.1.1.1 Tekniska data och utformning

I nedanstående tabell (Tabell 7) redovisas tekniska data för processlösningen med Opacarb FL. I Figur 18 visas en preliminär utformning för en anläggning med Opacarb FL, layoutmässigt och i Figur 19 visas vilket ytbehov detta motsvarar på den tillgängliga ytan.

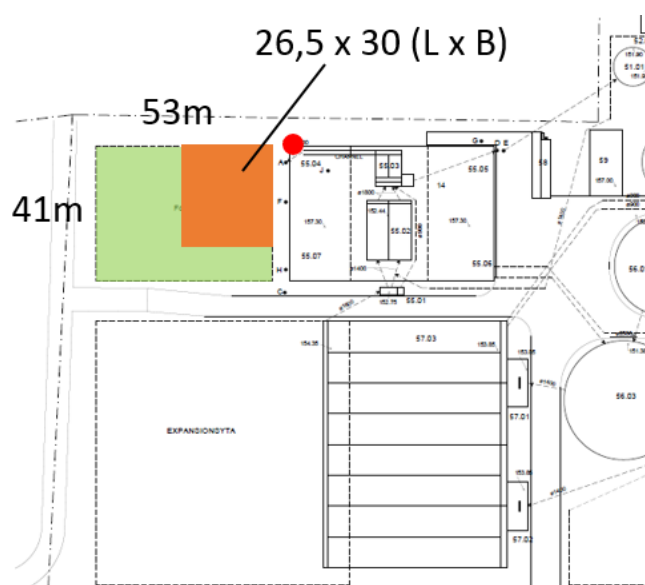
**Tabell 7: Tekniska data Opacarb FL**

Parameter	Enhet	Värde
Antal enheter	st.	5
Flödeskapacitet (min)	m <sup>3</sup> /h	500
Flödeskapacitet (max)	m <sup>3</sup> /h	4000
Ytbehov, per reaktor	m <sup>2</sup>	30





**Figur 18: Preliminär utformning av reningsanläggning läkemedel med Opacarb FL**



**Figur 19: Preliminärt ytbehov för reningsanläggning läkemedel baserad på Opacarb FL**

### 6.1.1.2 Förbrukningstal

Nedan följer en sammanställning av förbrukningstal inom intervall som anses vara relevanta för denna processutformning baserat på den reningsgrad som ska uppnås och det vattenflöde (vid den beräknade tryckhöjden) som kommer att pumpas till den nya anläggningen (Tabell 8). Årsförbrukningen är beräknad baserad på medelflödet för 2019, d v s 1 610 m<sup>3</sup>/h.

Ett ganska stort spann för förbrukningen av aktivt kol har redovisats. Detta beror på att det finns en osäkerhet kring exakt vilken dosering som krävs för att nå 80 % reningsgrad. Genom att genomföra pilotförsök så kan man verifiera vilken reningsgrad som kan uppnås för olika föroreningar i avloppsvattnet från Sobackens reningsverk specifikt. Detta kan då vidare användas för att göra mer noggranna driftskostnadsberäkningar.

**Tabell 8: Förbrukningstal för Opacarb FL**

Parameter	Specifik förbrukning		Årsförbrukning	
	Enhet	Värde	Enhet	Värde
µCarb	g/m <sup>3</sup>	20-40	ton/år	280-560
Elenergi <sup>1</sup>	kWh/m <sup>3</sup>	0,034-0,041	MWh/år	480-580

<sup>1</sup>Här avses elenergi för pumpning av vatten

## 6.2 Driftskostnader

### 6.2.1 Förutsättningar

Följande förutsättningar har använts vid driftskostnadsberäkningarna:

- Endast energibehov för pumpning av vatten ingår i driftskostnadsberäkningen
- Kostnaden för µCarb har beräknats baserat på kostnaden för inköp av regenererat aktivt kol. Kostnaden för att samla upp och regenerera det aktiva kolet från den egna anläggningen är ungefär samma som att köpa in regenererat aktivt kol.
- Driftskostnaderna är beräknade för ett årsflöde om 14 103 600 m<sup>3</sup> avloppsvatten.
- Personalkostnader ingår ej.

### 6.2.2 Driftskostnader

I Tabell 9 redovisas beräknade driftskostnader för Opacarb FL.

**Tabell 9: Driftskostnader för Opacarb FL**

Parameter	Enhet	Pris per enhet (SEK)	Årsförbrukning	Årlig kostnad (SEK)
Elenergi	MWh	1000	480-580	480 000-580 000
µCarb ny	ton	30 000	280-560	8 462 000-16 924 000
µCarb regen.	ton	22 000	280-560	6 206 000-12 411 000
<b>Summa<sup>1</sup></b>				<b>6 686 000-12 988 000</b>
<b>Vattenflöde</b>	m <sup>3</sup>	-	14 103 600	-
<b>Specifik kost.<sup>1</sup></b>	kr/m <sup>3</sup>	-	-	0,47-0,92

<sup>1</sup>Baserad på inköp av regenererat aktivt kol

### 6.3 Pilotförsök

Möjlighet finns att göra pilotförsök med Opacarb FL. I Figur 20 visas en Opacarb FL pilotanläggning. Att genomföra pilotförsök ger svar på vilken reningsgrad som kan uppnås vid en viss dosering av aktivt kol vilket gör att man kan beräkna driftskostnader med bättre noggrannhet. Det ger också en validering av den design som har presenterats i denna rapport.

Vidare ger en pilotanläggning väldigt goda möjligheter för driftspersonal, processingenjörer och underhållspersonal att lära känna processen. Detta gör dels att det blir lättare att ta en fullskalig anläggning i drift med gott resultat men kan också ge information om detaljer i designen som man vill utforma lite annorlunda i den fullskaliga anläggningen.

I pilotskala skulle man också kunna utvärdera effekten av att dosera ozon till processen för få en fullständig bild av vilka kostnaderna blir ur ett livscykelperspektiv både med och utan ozon. Att genomföra försöken med och utan ozon ger också möjlighet att utvärdera hur reningsgraden på enskilda substanser påverkas. Om vissa substanser prioriteras som viktigare än andra så kan det innebära att det är intressant att använda en liten dos ozon för att få en effektivare rening av dessa specifika substanser.

Eftersom det tar flera månader att omsätta kolet i en Opacarb FL så krävs det att man genomför pilotstudien under en relativt lång tidsperiod. Vår rekommendation är att man planerar för ett projektgenomförande om 1-2 år. Det första halvåret inkluderar planering, tillverkning, etablering etc. Därefter följer ett år med pilotdrift, provtagning, analys av resultat och rapportskrivning.



**Figur 20: Opacarb FL pilotanläggning**

## 6.4 Investeringskostnader

### 6.4.1 Förutsättningar

Följande förutsättningar har använts vid investeringskostnadsberäkningarna:

Antaganden

- Utloppskanalen efter skivfilteranläggningen förlängs med ca 15 m till en ny pumpstation.
- Markförhållanden med 2 m fyllnadsmassa därefter bergschakt med grundvattennivå 1 m under schaktbotten. Bör dock verifieras och säkerställas.
- Möjlighet att anlägga lämpliga tillfartsvägar. Eventuell utformning och behov bör undersökas närmare i ett nästa skede.
- Lösning med självfall inte hydraulisk möjlig.
- Bräddning för begränsning av flöden över 4 000 m<sup>3</sup>/tim till anläggningen sker vid befintlig avsedd punkt/-er.
- Överbyggnad för hela ytan inklusive pumpstation (separat).
- Maskinbyggnad med plåtbeklädnad.

Ingår ej

- Ledningar till och från anläggningen för
  - El
  - Kommunikation
  - Färskvatten
  - Rejektvatten
  - Internt avlopp

I Tabell 10 redovisas beräknade investeringskostnader för Opacarb FL

**Tabell 10: Investeringskostnader för Opacarb FL**

Parameter	Pris (SEK)	Kommentar
Bygg	40 000 000	
Mark	11 000 000	Yta 26,5x30 m <sup>2</sup> , delvis känslig schaktning
VVS	3 500 000	
Maskin	74 000 000	
El	5 000 000	
Automation	9 000 000	
<b>Entreprenad</b>	<b>142 500 000</b>	
Projekt-/byggledning	13 500 000	ca +10%
Oförutsett	20 000 000	ca +14%
<b>Anläggning</b>	<b>176 000 000</b>	

Förtydligande

- Pumpsteg (med flödesmätning) in till anläggningen, 1 pump per filter.
- Överbyggnad (med travers) för pumpstation, vägghöjd 4 m.
- Överbyggnad för maskinbyggnad, vägghöjd 7 m.
- Överbyggnad för Opacarb-filter från överkant filter, vägghöjd 2 m, total vägghöjd 7 m.

## 7 Slutsatser och diskussion

Inom denna studie har en genomgång av olika tekniska lösningar för läkemedelsrening presenterats. Av dessa olika lösningar valdes Opacarb FL ut som mest lämplig för reningsverket på Sobacken. Vidare har dimensionerande underlag för en framtida läkemedelsrening tagits fram vilket sedan har använts för att göra en dimensionering av en anläggning med Opacarb FL.

Reningsanläggningen som har presenterats är dimensionerad för "normala" driftsförhållanden och att nå reningsmålet om >80 % reduktion för de utvalda läkemedelssubstanserna. Borås Energi och Miljö har för avsikt att genomföra pilotförsök med läkemedelsrening. Detta är möjligt att genomföra med Opacarb FL. Det kan vara intressant att överväga att genomföra pilotförsöken i kombination med en liten dos av ozon enligt det koncept som Veolia rekommenderar. Detta förväntas ge en bättre reningseffekt, särskilt med avseende på de molekyler som är svårare att avskilja med aktivt kol, utan risk för bildande av bromater och toxiska nedbrytningsprodukter. Det kan också göra att man kan nå reningsmålet vid en lägre doseringsgrad av aktivt kol vilket skulle kunna innebära totalt sett lägre driftskostnader.

Driftskostnader och investeringskostnader har beräknats för den föreslagna anläggningen. I nedanstående tabell (Tabell 11) presenteras resultaten av dessa beräkningar. Om pilotförsök genomförs kan noggrannare driftskostnadsberäkningar tas fram.

**Tabell 11: Drifts- och investeringskostnader för Opacarb FL**

	<b>Opacarb FL</b>
<b>Entreprenadkostnad</b>	142,5 MSEK
<b>Anläggningskostnad</b>	176 MSEK
<b>Driftskostnad</b>	6,6-13 MSEK/år





## 8 Bilagor

### 8.1 Flödesschema

Flödesschema Opacarb FL\_v2.pdf

## 9 Referenser

Baresel, C., Magnér, J., Magnusson, K., Olshammar, M. 2017a. Tekniska lösningar för avancerad rening av avloppsvatten. IVL rapport C235.

Baresel, C., Ek, M., Harding, M., Magnér, J., Allard, A-S., Karlsson, J. 2017b. Kompletterande tester för en resurseffektiv avancerad rening av avloppsvatten. IVL-rapport 2287.

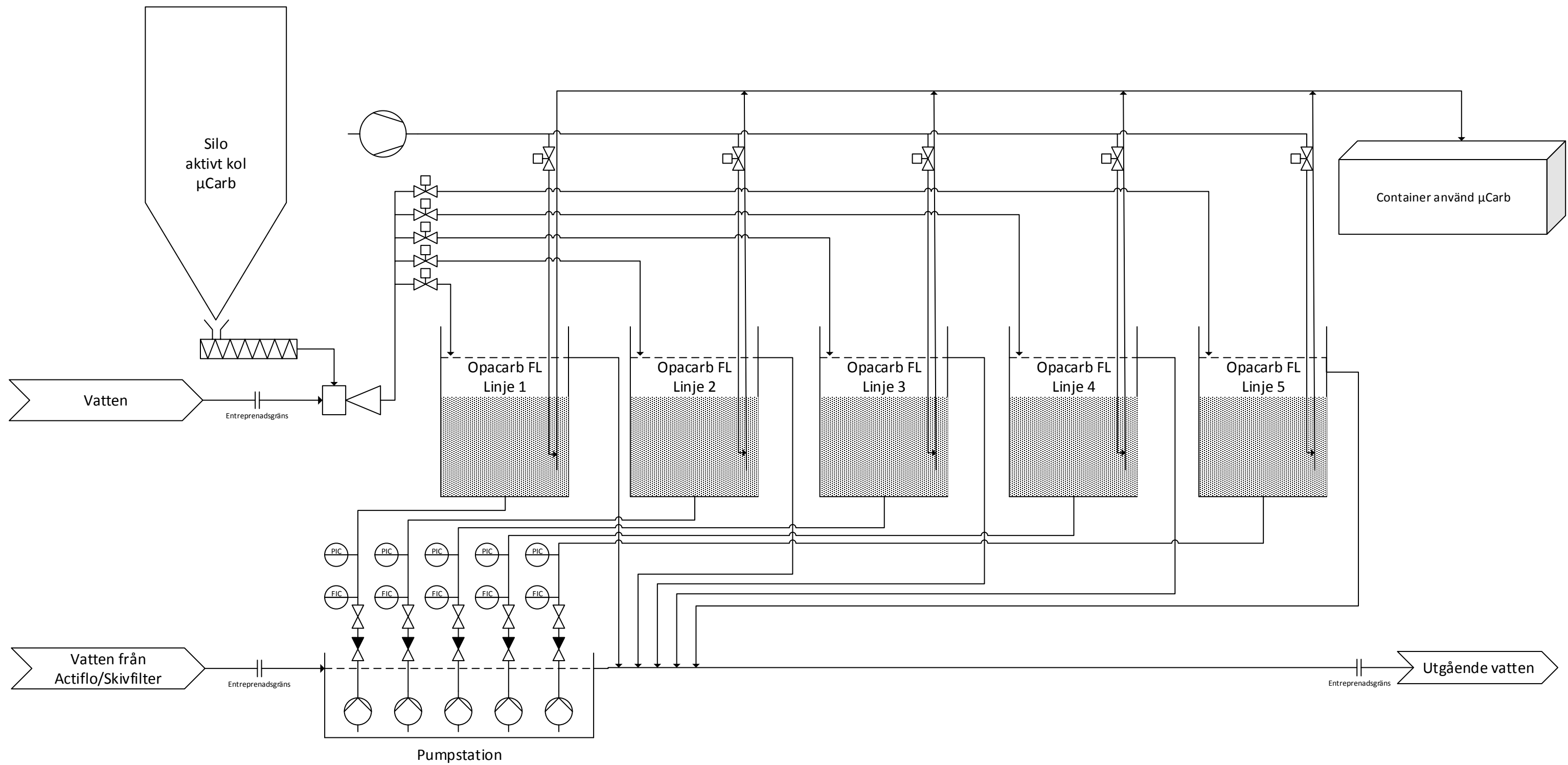
Baresel, C., Ek, M., Ejhed, H., Allard, A., Magnér, J., Dahlgren, L., Westling, K., Wahlberg, K., Fortkamp, U., Söhr, S. 2017c. Handbok för rening av mikroföroreningar vid reningsverk. IVL rapport B2288.

Cimbritz, M., Tumlin, S., Hagman, M., Dimitrova, I., Hey, G., Mases, M., Åstrand, N., la Cour Jansen, J. 2016. Rening från läkemedelsrester och andra mikroföroreningar. SVU-rapport 2016-04.

Gaid, K., Sauvignet, P. 2011. High rate PAC reactor with Ozone Oxidation for enhanced micro-pollutants removal from urban waste water. Direction Technique Veolia eau, 94417 Saint Maurice, France.

Sehlén, R., Malmberg, J., Baresel, C., Ek, M., Magnér, J., Allard, A., Yang, J. 2015. Pilotanläggning för ozonoxidation av läkemedelsrester i avloppsvatten. IVL rapport B2218.

Sundin, A-M., Linderholm, L., Hedlund, B., Joyce, K., Klingspor, K. 2017. Avancerad rening av avloppsvatten för avskiljning av läkemedelsrester och andra oönskade ämnen. Naturvårdsverkets rapport 6766.



Flödesschema Opacarb FL 2020-05-08  
 Läkemedelsrening Borås Sobacken

