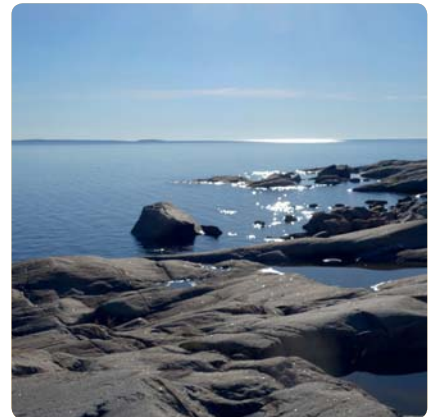


# Avancerad rening av avloppsvatten för avskiljning av läkemedelsrester och andra oönskade ämnen

Behov, teknik och konsekvenser

Redovisning av ett regeringsuppdrag

RAPPORT 6766 • APRIL 2017



# Avancerad rening av avloppsvatten för avskiljning av läkemedelsrester och andra oönskade ämnen

-

## Behov, teknik och konsekvenser

Redovisning av ett regeringsuppdrag

**Beställningar**

Ordertel: 08-505 933 40

Orderfax: 08-505 933 99

E-post: [natur@cm.se](mailto:natur@cm.se)

Postadress: CM Gruppen AB, Box 110 93, 161 11 Bromma

Internet: [www.naturvardsverket.se/publikationer](http://www.naturvardsverket.se/publikationer)

**Naturvårdsverket**

Tel: 010-698 10 00 Fax: 010-698 16 00

E-post: [registrator@naturvardsverket.se](mailto:registrator@naturvardsverket.se)

Postadress: Naturvårdsverket, 106 48 Stockholm

Internet: [www.naturvardsverket.se](http://www.naturvardsverket.se)

ISBN 978-91-620-6766-3

ISSN 0282-7298

© Naturvårdsverket 2017

Tryck: Arkitektkopia AB, Bromma 2017

Fotografer Omslag: Ryaverket i Göteborg: Emelie Asplund, Nykvarnsverket i Linköping: Lars Hejdenberg, HavsBild: Anna Maria Sundin.

## Förord

På uppdrag av regeringen redogör Naturvårdsverket i denna rapport för förutsättningarna för användning av avancerad rening vid avloppsreningsverk i syfte att avskilja läkemedelsrester. En analys av behovet av avancerad rening, av vilka tekniska lösningar som finns och för-och nackdelarna med dessa, samt en analys av övriga konsekvenser av användning av avancerad rening presenteras.

Uppdraget har genomförts i nära dialog med Havs- och vattenmyndigheten, Kemikalieinspektionen och Läkemedelsverket. Kontinuerlig dialog har även förts med Svenskt Vatten och förankring av underlagsmaterial och slutsatser har också skett genom en referensgrupp knuten till uppdraget. Vi vill tacka alla för ett gott samarbete!

Arbetet har på Naturvårdsverket genomförts av Anna Maria Sundin, Linda Linderholm, Britta Hedlund, Kerstin Bly Joyce, samt Karin Klingspor (projektledare).

Naturvårdsverket i april 2017



# Innehåll

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>1.</b> | <b>SAMLAD BEDÖMNING AV FÖRUTSÄTTNINGARNA FÖR ANVÄNDNING AV AVANCERAD RENING I SYFTE ATT AVSKILJA LÄKEMEDELSRESTER FRÅN AVLOPPSVATTEN</b> | <b>6</b>  |
|           | <b>SUMMARY</b>   | <b>9</b>  |
| <b>2.</b> | <b>UPPDRAG OCH GENOMFÖRANDE</b>  | <b>13</b> |
| 2.1.      | Uppdraget  | 13        |
| 2.2.      | Avgränsningar  | 13        |
| 2.3.      | Genomförande   | 14        |
| <b>3.</b> | <b>BAKGRUND</b>  | <b>16</b> |
| 3.1.      | Utmaningar med läkemedelsrester i avloppsreningsverk   | 16        |
| 3.2.      | Avloppsreningsverk i Sverige   | 17        |
| <b>4.</b> | <b>BEHOV AV AVANCERAD RENING</b>   | <b>20</b> |
| 4.1.      | Läkemedel som släpps ut i miljön   | 20        |
| 4.2.      | Effekter i miljön av läkemedelssubstanser och andra oönskade ämnen   | 21        |
| 4.3.      | Faktorer som påverkar koncentrationen i recipienterna  | 24        |
| 4.4.      | Recipients känslighet för läkemedelsrester   | 26        |
| 4.5.      | Halter i den omgivande miljön till följd av utsläppen  | 27        |
| 4.6.      | Behov av avancerad rening  | 30        |
| <b>5.</b> | <b>TEKNISKA LÖSNINGAR</b>  | <b>32</b> |
| 5.1.      | Aktuella tekniker  | 32        |
| 5.2.      | Samlad bedömning av reningseffektivitet  | 36        |
| 5.3.      | Samlad bedömning av driftsaspekter   | 39        |
| 5.4.      | Samlad bedömning av miljöaspekter  | 41        |
| 5.5.      | Samlad bedömning vid val av teknik   | 42        |
| 5.6.      | Slutsatser   | 43        |
| <b>6.</b> | <b>SAMHÄLLSEKONOMISK ANALYS</b>  | <b>45</b> |
| 6.1.      | Drivkrafter för att införa avancerad rening vid avloppsreningsverk   | 45        |
| 6.2.      | Hinder införa avancerad rening vid avloppsreningsverk  | 49        |
| 6.3.      | Nyttor med avancerad rening  | 51        |
| 6.4.      | Kostnader med avancerad rening   | 53        |
| 6.5.      | Slutsatser   | 59        |
| <b>7.</b> | <b>KÄLLFÖRTECKNING</b>   | <b>63</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>BILAGA 1 UPPDRAGET</b>  | <b>68</b> |
| <b>BILAGA 2 SAMRÅDSAKTÖRER OCH REFERENSGRUPP</b>   | <b>71</b> |
| <b>BILAGA 3 HAVS- OCH VATTENMYNDIGHETENS PÅGÅENDE<br/>UPPDRAG ATT FRÄMJA AVANCERAD RENING AV<br/>AVLOPPSVATTEN</b>                   | <b>72</b> |
| <b>BILAGA 4 SAMMANSTÄLLNING AV BERÄKNADE MÄNGDER AV<br/>LÄKEMEDEL SOM SLÄPPS UT ÅRLIGEN FRÅN ETT URVAL AV<br/>AVLOPPSRENINGSVERK</b> | <b>73</b> |
| <b>BILAGA 5 TEKNIKER FÖR AVANCERAD RENING OCH DESS FÖR- OCH<br/>NACKDELAR</b>  | <b>75</b> |
| <b>BILAGA 6 INTERVJUER MED TVÅ KOMMUNER ANGÅENDE<br/>INFÖRANDET AV AVANCERAD RENING</b>  | <b>83</b> |

# 1. Samlad bedömning av förutsättningarna för användning av avancerad rening i syfte att avskilja läkemedelsrester från avloppsvatten

Naturvårdsverket konstaterar att det finns ett behov att införa avancerad rening av läkemedelsrester i avloppsvatten. Sådan rening skulle även medföra rening av andra oönskade ämnen, vilket förstärker behovet.

Om och var läkemedelsrester riskerar att vara ett problem beror bland annat på de lokala förhållandena, till exempel recipientens känslighet. Samtidigt anser Naturvårdsverket att recipientens känslighet mot föroreningar inte bör vara ensamt avgörande vid kravställande på rening. Mängden utsläppta läkemedelsrester och långsiktiga effekter bör även tas i beaktande. Den samhällsekonomiska kostnaden för att införa avancerad rening beror delvis på reningsverkens storlek och existerande kapacitet varför även storleksgränser kan vara en indelningsgrund för kravställan.

Behovet motiveras framförallt utifrån risken för långsiktiga effekter av konstant exponering av låga halter läkemedelssubstanser i den akvatiska miljön med eventuell negativa effekter på vattenlevande organismer. Behovet motiveras även av att en del läkemedelssubstanser också är persistenta och kommer att lagras upp i miljön och ackumuleras i biota. Att framtida effekter för miljön och människans hälsa är svåra att förutse gör att införandet av avancerad rening kan motiveras utifrån försiktighetsprincipen i miljöbalkens allmänna hänsynsregler. Studier har visat att läkemedel bland annat kan ha hormonstörande effekter och risk för bidrag till spridning av antibiotikaresistens.

Vidare har en studie visat att beräknade halter<sup>1</sup> för ett antal läkemedelssubstanser i recipienterna överstiger värden i bedömningsgrunder<sup>2</sup> och effektnivåer<sup>3</sup> i ett antal vattenförekomster vid avloppsreningsverk. Detta indikerar att det finns ett behov av att vidare utreda om sådana vattenförekomster uppfyller kraven för god

---

<sup>1</sup> Utifrån data från miljöövervakningen, Naturvårdsverkets screeningprogram, samt några andra undersökningar. Se vidare kapitel 2.3.

<sup>2</sup> Ett sätt att bedöma risken för påverkan är att jämföra halten läkemedelsrester med värdena i bedömningsgrunderna för SFÄ (särskilt förorenande ämnen), vilket finns för tre läkemedelssubstanser i dagsläget. Värdena bygger på en uppskattning av vilka koncentrationer som inte innebär någon oacceptabel risk för effekter i vattenmiljön.

<sup>3</sup> Därutöver finns andra effektnivåer i den vetenskapliga litteraturen som kan användas för att jämföra de halter av läkemedelssubstanser och andra oönskade ämnen som hittas i miljön. Osäkerheterna kring de effektnivåer som finns är dock stora.

ekologisk status. Dessutom har det i en screeningstudie detekterats ett antal läkemedelssubstanser (15 av 101) i så hög halt i ytvattnet i recipienterna att de förväntas ha en farmakologisk effekt<sup>4</sup> i fisk som exponeras för vattnet.

Vid vilka och hur många avloppsreningsverk det finns ett behov av avancerad rening kan inte pekas ut med befintligt underlag, men faktorer som har stor betydelse för att prioritera var insatser behöver vidtas har identifierats. Vid implementering av kompletterande reningssteg för läkemedelsrester och andra oönskade ämnen behöver hänsyn tas till lokala förhållanden, såsom:

- Mängden läkemedelsrester och andra persistenta föroreningar som släpps ut till recipienten
- Recipientens vattenomsättning, där de recipienter med låg initial utspädning och låg vattenomsättning riskerar att uppnå halter som värdena i bedömningsgrunderna för särskilt förorenande ämnen (SFÄ) och effektnivåer
- Flera avloppsreningsverk med utflöde till samma recipient
- Recipientens känslighet, såsom till exempel ekologisk känslighet
- Variationer över året i vattenomsättning i recipienten och variationer i utsläppsmängder från avloppsreningsverket

Det finns tillgängliga tekniker för avancerad rening av avloppsvatten från läkemedelsrester. Teknikkombinationer som använder sig av olika reningsmekanismer, såsom fysikaliska metoder, oxidativa metoder, biologiska metoder och adsorption, resulterar i en nära fullständig rening av samtliga läkemedelssubstanser från avloppsvatten. Teknikerna skulle därutöver kunna bidra till rening av andra oönskade ämnen och möjlighet till minskad spridning av antibiotikaresistens, beroende på val av teknikkonfiguration. Det är viktigt att välja reningsteknik utifrån vilken målsättning som gäller och lokala förutsättningar då varje avloppsreningsverk är unikt.

Avancerad rening implementeras som ett komplement till befintligt avloppsreningsverk och samtliga tekniker är beroende av en väl fungerande huvudrening, vilket framförallt behöver beaktas vid mindre avloppsreningsverk där det inte är givet att en effektiv rening av närsalter, organiska ämnen och partiklar finns på plats. Samtliga tekniker fungerar vid både mindre och större avloppsreningsverk, men det finns skalfördelar vid installation vid större anläggningar med lägre kostnader. Generellt sett har större anläggningar även mer resurser för att säkerställa uppföljning, processoptimering, drift och underhåll av anläggningen. En effektiv rening för studerade ämnen för anläggningar större än 100 000 pe kan för flertalet reningstekniker uppnås för under 1 kr/m<sup>3</sup> utifrån vissa antaganden. För mindre anläggningar (2 000 – 20 000 pe) kan kostnaderna för vissa reningstekniker uppgå till ca 5 kr/m<sup>3</sup>, dock är osäkerheten i beräkningarna betydligt större för mindre avloppsreningsverk. Med bland annat fortsatt

---

<sup>4</sup> Den effekt läkemedlet är avsett att ge.



teknikutveckling, driftserfarenheter och mer resurseffektiva anläggningar kommer kostnadsbilden att kunna förändras över tid.

De miljökostnader som är förknippade med införandet av avancerad rening handlar främst om en ökad energianvändning och kemikalieanvändning. Detta innebär en negativ påverkan på andra miljö kvalitetsmål. Andra miljö aspekter att beakta är bildandet av restprodukter. En del av teknikerna medför en kontaminering av avloppsslammet, vilket bör beaktas vid val av teknik och slamstrategi på avloppsreningsverket.

Införandet av avancerad rening medför nyttor för miljö och hälsa. Flertalet studier har visat att läkemedel kan ha negativa effekter i den akvatiska miljön, bland annat hormonstörande effekter och risk för spridning av antibiotikaresistens. Nyttor för samhället är här identifierade, men det har inte varit möjligt att kvantifiera den nytta som avancerad rening skulle bidra till på nationell nivå.

Ett antal drivkrafter och hinder för införande av avancerad rening vid svenska avloppsreningsverk har identifierats. Exempel på drivkrafter är det identifierade behovet i den lokala recipienten, liksom förväntade nya eller tillkommande reningskrav. Vad gäller hinder står vatten- och avloppsbranschen inför stora utmaningar framöver, främst i form av ökade investeringsbehov. Ledningar behöver bytas ut i snabbare takt och kraven på avloppsvattenrening och säkrad produktion av dricksvatten ökar alltmer. Detta är särskilt kännbart för mindre kommuner. Kommuner som ingår i samverkanslösningar och regionala samarbeten bedöms dock kunna möta de framtida utmaningarna lättare. Små kommuner med liten betalningsbas har som regel svårare att finansiera avancerad uppgradering av sina avloppsreningsverk utöver lagkrav då andra investeringar måste prioriteras för att trygga den långsiktiga hållbarheten.

Sammanfattningsvis behöver en rimlighetsavvägning göras i det enskilda fallet där behovet och nyttan av införandet av avancerad rening ställs mot kostnaderna.

#### *Behov av fortsatt arbete*

Behovet av att införa avancerad rening på avloppsreningsverk varierar och vi vet idag inte hur många eller vilka som bör prioriteras. Det är också önskvärt att säkerställa en kunskapsuppbyggnad och hållbar implementering av avancerad rening eftersom detta är under utveckling, till exempel genom ett etappvis införande. Naturvårdsverket föreslår att regeringen låter utreda fortsatta steg i riktning mot ett införande av avancerad rening med början där behovet är störst:

Steg 1: Utreda vid vilka avloppsreningsverk behovet är störst att införa avancerad rening av läkemedelsrester

Steg 2: Utreda vilken styrning som på ett samhällsekonomiskt effektivt och ändamålsenligt sätt kan leda till att avancerad rening införs där behovet är störst.

# Summary

The Swedish Environmental Protection Agency (EPA) has determined a need to introduce advanced treatment of pharmaceutical substances in wastewater. An additional benefit of such an approach is that this advanced treatment would also include the treatment of other hazardous substances.

The extent to which pharmaceutical substances risk becoming a problem depends on local conditions such as the sensitivity of the receiving waters. While this is an important variable to consider, the Swedish EPA believes that the sensitivity of the receiving waters should not be the only consideration when setting requirements for treatment. The amount of released pharmaceutical substances and long-term effects should also be taken into account in decision making and justification. The investment- and operational costs of introducing advanced treatment depends in part on the size and current capacity of treatment facilities, which is why size limitations can be an additional consideration for setting requirements.

The need is justified broadly on the basis of the risk of long-term effects of a constant exposure to low levels of pharmaceutical substances in the aquatic environment with possible adverse effects on aquatic organisms, as well as the fact that some pharmaceutical substances are persistent and will remain in the environment and accumulate in biota. As future impacts on the environment and human health are difficult to predict, the introduction of advanced treatment can be justified on the basis of the precautionary principle as per the general rules in the Swedish Environmental Code. Several studies have shown that pharmaceuticals can have adverse effects in the aquatic environment, including endocrine-disrupting effects and the potential to contribute to the spread of antibiotic resistance.

Furthermore a study has shown that the calculated levels<sup>5</sup> for a number of pharmaceutical substances in receiving waters exceed established criteria<sup>6</sup> and impact levels<sup>7</sup> in several water bodies at wastewater treatment plants. This indicates that there is a need to investigate further whether such receiving waters meet the requirements for good ecological status. In addition, a screening study detected 15 out of 101 pharmaceutical substances in such high concentrations in

---

<sup>5</sup>Based on data from environmental monitoring, Swedish EPA screening programme and other studies. See also Chapter 2.3.

<sup>6</sup>One way to assess the risk of impacts is to compare the levels of pharmaceutical residues with the values from the specific pollutant criteria which are currently available for three pharmaceutical substances. The values are based on an estimate of the concentrations that do not present any unacceptable risk to impacts on the aquatic environment.

<sup>7</sup>In addition, there are other impact levels in the scientific literature that can be used to compare the levels of pharmaceutical substances and other unwanted substances found in the environment. The uncertainties surrounding the impact levels, however, are great.

the surface water of the recipient that they are expected to have a pharmacological effect<sup>8</sup> in fish exposed to the water.

The question of how many wastewater treatment plants require advanced treatment cannot be determined with existing evidence. However, the Swedish EPA has identified important factors for prioritising the necessary actions. When implementing additional treatment steps for pharmaceutical residues and other unwanted substances, the following local conditions should be considered:

- The amount of pharmaceutical substances and other persistent pollutants released into receiving waters
- The water recharge rate of the receiving waters, where the receiving waters with low initial dilution and low water renewal are more likely to reach the threshold values as stated in the specific pollutant criteria and impact levels
- The presence of several treatment plants that discharge to the same receiving water body
- The receiving water body's sensitivity, such as ecological sensitivity
- Fluctuations in water recharge rate over the year in the receiving waters, and variations in effluent volumes from the wastewater treatment plant

Techniques are available for advanced treatment of wastewater from pharmaceutical residues. Combinations of different techniques that use various treatment mechanisms – physical processes, oxidative methods, biological methods and adsorption – result in a near complete treatment of all pharmaceutical substances from the wastewater. In addition, these techniques could contribute to the removal of other unwanted substances and to a reduction in the spread of antibiotic resistance, depending on which technique is implemented. It is important to select a treatment technique based on the current objective and on local conditions, because each wastewater treatment plant and recipient is unique.

Advanced treatment should be implemented as a complement to existing treatment plants. All techniques rely on a properly functioning main wastewater treatment process, a crucial factor to consider at smaller wastewater treatment plants that may lack an efficient system for the purification of nutrients, organic substances and particles. Although all the techniques can be used at both small and large treatment plants, economies of scale and cost effectiveness can be achieved for installations at larger plants. In general, larger facilities have more resources to ensure follow-up, process optimisation, operation and maintenance of the facility. An effective treatment for studied substances for plants larger than 100,000 person equivalents (pe) can be achieved using several of the treatment techniques for under 1 SEK/m<sup>3</sup> based on certain assumptions. For smaller plants (2,000–20,000 pe), the costs of

---

<sup>8</sup> The effect that a drug is intended to provide.

some treatment techniques are about 5 SEK/m<sup>3</sup>. However, the uncertainty in the calculations is considerably greater for smaller wastewater treatment plants. With the continued development of techniques, operational experience and more resource-efficient waste water treatment plants, the cost structure will likely change over time.

The environmental costs associated with introducing advanced wastewater treatment are primarily related to increased energy consumption and chemical use. This gives a negative impact on other environmental quality objectives. Other environmental aspects to consider include the formation of residues. Some of the techniques involve contamination of the sewage sludge, which should be taken into account when choosing the technique and sludge strategy at the wastewater treatment plant.

The introduction of advanced treatment brings environmental as well as health benefits. Several studies have shown that pharmaceuticals can have adverse effects in the aquatic environment, including endocrine-disrupting effects and the potential to contribute to the spread of antibiotic resistance. The benefits for society are identified here, but it has not been possible to quantify the benefits of advanced treatment at the national level.

A number of drivers and obstacles exist for the introduction of advanced treatment at Swedish wastewater treatment plants. Drivers include the identified need in the local receiving waters, and new or additional treatment requirements that are expected. In regard to obstacles, the water and wastewater industry faces major challenges in the future, mainly in the form of greater investment needs. Piping needs to be replaced more rapidly, and the requirements on wastewater treatment and the safe production of drinking water are increasing. These challenges especially affect smaller municipalities. Municipalities included in collaborative solutions and regional cooperative efforts are expected to succeed in meeting future challenges more easily. Small municipalities with smaller budgets usually find it more difficult to finance advanced upgrades to their wastewater treatment plants beyond the legal requirements, since other investments tend to take priority for securing long-term sustainability.

All in all, a reasonable trade-off needs to be made in each individual case where the need for and the benefits of introducing advanced treatment are weighed against the costs.

#### *Continued efforts are needed*

The need to introduce advanced purification at treatment plants varies. We do not currently know how many or which plants should be prioritised. A solid knowledge base must be built up as well as a sustainable implementation of advanced treatment seeing that this is under development, for example through multi-stage deployment. The Swedish EPA proposes that the Government further investigate

further steps towards implementing advanced purification, starting where the need is greatest, are as follows:

Step 1: Investigate the wastewater treatment plants that have the greatest need for advanced treatment of pharmaceutical residues

Step 2: Investigate the governance and controls needed to implement advanced treatment where the need is greatest, in a way that is socioeconomically effective and fit for purpose.

## 2. Uppdrag och genomförande

### 2.1. Uppdraget

Naturvårdsverket fick i december 2015 i uppdrag av regeringen att utreda förutsättningarna för användning av avancerad rening i syfte att avskilja läkemedelsrester från avloppsvatten för att skydda vattenmiljön (se bilaga 1)<sup>9</sup>.

I uppdraget ingår att analysera behovet av avancerad rening, vilka tekniska lösningar som finns och för- och nackdelarna med dessa, samt övriga konsekvenser av användning av avancerad rening. Uppdraget ska redovisas till Regeringskansliet senast den 1 maj 2017.

### 2.2. Avgränsningar

Uppdraget har inriktats på avloppsreningsverk med en anslutning av fler än 2 000 personer eller som tar emot avloppsvatten med en föroreningsmängd som motsvarar mer än 2 000 personekvivalenter. Skälet till denna gräns, jämfört med i uppdraget angivna 20 000 personer eller personekvivalenter, är att samma tekniker i princip är aktuella för alla avloppsreningsverk över 2 000 personekvivalenter och det är av intresse att belysa förutsättningarna för en större andel av avloppsreningsverken. Avloppsreningsverk över 2 000 personekvivalenter är också en naturlig gräns då dessa är tillståndspliktiga.

Åtgärder uppströms avloppsreningsverken för att minska tillförseln av läkemedelsrester till miljön omfattas inte av uppdraget.

Avloppsvatten från industriell verksamhet eller djurhållning som inte är anslutna till kommunala avloppsvattenreningsverk omfattas inte av uppdraget.

I analysen av för- och nackdelar med olika avancerade reningstekniker har betydelsen av andra oönskade ämnen än läkemedelsrester beaktats.

Hanteringen av slam från avloppsreningsverk omfattas inte av uppdraget. Däremot har innehållet av olika läkemedelsrester (och andra önskade ämnesgrupper) i slammet till följd av den avancerade reningen, dvs. påverkan på slamkvaliteten, beaktats.

Reningstekniker som bedömts kunna vara tillgängliga idag utifrån bedömningsgrunden bästa möjliga teknik (BMT) har omfattats. Tekniker som bedömts vara under utveckling har beskrivits mer översiktligt.

---

<sup>9</sup> Ärende NV-08854-15.

## 2.3. Genomförande

Uppdraget har genomförts i nära dialog med Havs- och vattenmyndigheten, Kemikalieinspektionen och Läke­medelsverket. Havs- och vattenmyndigheten har periodvis även deltagit i projektgruppens möten. Kontinuerlig dialog har även förts med Svenskt Vatten. Förankring av underlagsmaterial och slutsatser har också skett genom en referensgrupp knuten till uppdraget. Se bilaga 2.

Uppdraget har på Naturvårdsverket genomförts i projektform med en intern styrgrupp. Havs- och vattenmyndigheten har varit adjungerad till styrgruppen.

### UNDERLAG

Analysen av behovet av avancerad rening, vilka tekniska lösningar som finns och dess för- och nackdelar samt övriga konsekvenser av användning av avancerad rening, har i huvudsak utgått från två underlagsrapporter som tagits fram inom ramen för detta uppdrag (Wallberg m.fl., 2016 och Baresel m.fl., 2017), samt från synpunkter från samrådsaktörer och referensgrupp.

Analys av behovet av avancerad rening av läkemedelsrester (och vissa andra oönskade ämnen) utifrån storlek på avloppsreningsverk, recipienttyp och risk för miljöeffekter har genomförts av Wallberg m.fl. (2016). Rapporten innehåller bland annat beräkningar av utsläpp av läkemedelssubstanser och andra oönskade ämnen från 14 avloppsreningsverk samt uppskattning av vilka halter i recipienten dessa utsläpp genererar. Underliggande data för detta är miljöövervakningen<sup>10</sup>, Naturvårdsverkets screeningprogram<sup>11</sup>, samt några andra undersökningar.

Analys av tekniska lösningar för avancerad rening av läkemedelsrester (och vissa andra oönskade ämnen), dess för- och nackdelar samt effektivitet avseende ett antal aspekter har genomförts av Baresel m.fl. (2017). Analysen bygger i huvudsak på kunskap och erfarenheter från Sverige, men internationella erfarenheter har beaktats.

Hittills framtagen kunskap inom Havs- och vattenmyndighetens pågående uppdrag att främja avancerad rening av avloppsvatten har också beaktats i den mån kunskap

<sup>10</sup> Den statligt finansierade miljöövervakningen är indelad i tio olika programområden. Mätningar av miljögifter görs inom de flesta programmen. Avseende läkemedel följs ett tiotal läkemedelssubstanser, varav ett par olika antibiotika, årligen i slam och utgående vatten från nio kommunala avloppsreningsverk.

För mer information se <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Miljoovervakning/Vad-ar-miljoovervakning/>

<sup>11</sup> Delprogrammet för screening är en del av miljöövervakningsprogrammet Miljögiftssamordning. I detta mäts halter av ett större antal läkemedelssubstanser för att på så sätt få en generell bild av spridning och förekomst av dessa i miljön.

Med "screening" menas översiktliga inventeringar för att identifiera nya miljöföroreningar som kan orsaka hälso- och miljöproblem. För mer information se <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Miljoovervakning/Miljoovervakning/Miljogiftssamordning/Screening/>

varit tillgänglig. Framför allt har kunskap från projektet ”Systemförslag för rening av läkemedelsrester och andra prioriterade svårnedbrytbara ämnen” (SystemLäk) kunnat beaktas. Havs- och vattenmyndigheten har tilldelats 32 miljoner kronor för att under 4 år (2014-2018) främja avancerad rening av avloppsvatten med syftet att reducera utsläppen av både läkemedelsrester och andra svårbehandlade föroreningar som inte kan renas bort i reningsverkens nuvarande processer.<sup>12</sup> Åtta projekt har tilldelats medel, varav några har slutredovisat sitt arbete, och andra kommer att slutredovisas 2017 eller 2018. En sammanfattande slutrapport från projekten kommer att publiceras 2018. För mer information om de olika projekten, se bilaga 3.

---

<sup>12</sup> Regeringens proposition 2013/14:1 Förslag till statens budget för 2014, utgiftsområde 20.



## 3. Bakgrund

### 3.1. Utmaningar med läkemedelsrester i avloppsreningsverk

Regeringen har uppmärksammat utmaningarna med vissa läkemedels skadliga effekter i miljön sedan flera år. Enligt regeringens bedömning bör avancerad teknik i full skala för avskiljning av läkemedelsrester och andra svårbehandlade ämnen vara testad och utvärderad senast 2018.<sup>13</sup> Att komplettera avloppsreningsverken med avancerade reningsmetoder skulle kunna reducera utsläppen av både läkemedelsrester och andra svårbehandlade föroreningar som inte kan renas bort i reningsverkens nuvarande processer.<sup>14</sup> Denna utredning, liksom Havs- och vattenmyndighetens pågående utredning (se bilaga 3) är led i det arbetet.

Det dominerande flödet av läkemedel till miljön sker via medicinering av oss människor då de utsöndras via urin eller fekalier och förs till avloppsreningsverken och vidare till vattenrecipienten. Andra källor till läkemedelsrester i miljön är bland annat läkemedel som används i veterinärmedicin, fiskodlingar och enskilda avlopp.

Avloppsreningsverken är vanligen inte utrustade för att bryta ned rester av läkemedel eller andra oönskade ämnen utan är byggda för att rena avloppsvattnet från syreförbrukande ämnen, fosfor och kväve. Läkemedelsrester med miljöfarliga egenskaper passerar därför i hög utsträckning opåverkade genom avloppsreningsverken och når vattenmiljön utanför. En viss del hamnar också i slammet som uppkommer i reningsverken.

Läkemedel som har en fysiologisk effekt på människan kan även ha effekter på djur och andra levande organismer. Skadliga effekter på djurlivet har observerats både i recipienter utanför avloppsreningsverk och i laboratoriestudier. Utsläpp av aktiva läkemedelssubstanser till miljön kan också bidra till spridning av antibiotikaresistens.

För att begränsa spridningen av läkemedelsrester till miljön behövs ett brett spektrum av åtgärder i hela kedjan från utveckling av nya läkemedel, tillverkning, användning, hantering av rester till utsläpp i miljön. Åtgärder uppströms avloppsreningsverken är fortsatt nödvändiga, men inte tillräckliga, under överskådlig tid för att minska utsläpp till miljön av läkemedelsrester från avloppsvatten. Rening i avloppsreningsverket med hjälp av avancerad reningsteknik ska ses som ett kompletterande steg på slutet för att avloppsvattnet ska vara mindre förorenat när det behandlade vattnet går ut i recipienten.

---

<sup>13</sup> Regeringens proposition 2013/14:39, På väg mot en giffri vardag - plattform för kemikaliepolitiken.

<sup>14</sup> Regeringens proposition 2013/14:1 Förslag till statens budget för 2014, utgiftsområde 20.

## 3.2. Avloppsreningsverk i Sverige

Ca 85 % av landets befolkning på ca 10 miljoner personer är anslutna till ca 1700 stycken kommunala avloppsreningsverk, övriga har enskilda (dvs. inte kommunala) avloppslösningar (Naturvårdsverket och SCB, 2016).

I Sverige finns (år 2014) 431 stycken kommunala avloppsreningsverk som är avsedda för en anslutning av fler än 2 000 personer eller som tar emot avloppsvatten med en föroreningsmängd som motsvarar mer än 2 000 personekvivalenter (pe). De små reningsverken dominerar i antal. Det finns ca 1300 reningsverk som är mindre än 2000 pe, som inte omfattas i detta uppdrag. Gruppen av 246 avloppsreningsverk som är i storleksintervallet 2 000-10 000 pe klassificeras i den fortsatta rapporten som små, se tabell 1. Det finns 19 stycken stora avloppsreningsverk, dvs. större än 100 000 pe, vilka renar ca hälften av landets avloppsvattenvolym. Av de 431 reningsverken ligger 135 stycken vid kusten. Se vidare tabell 1.

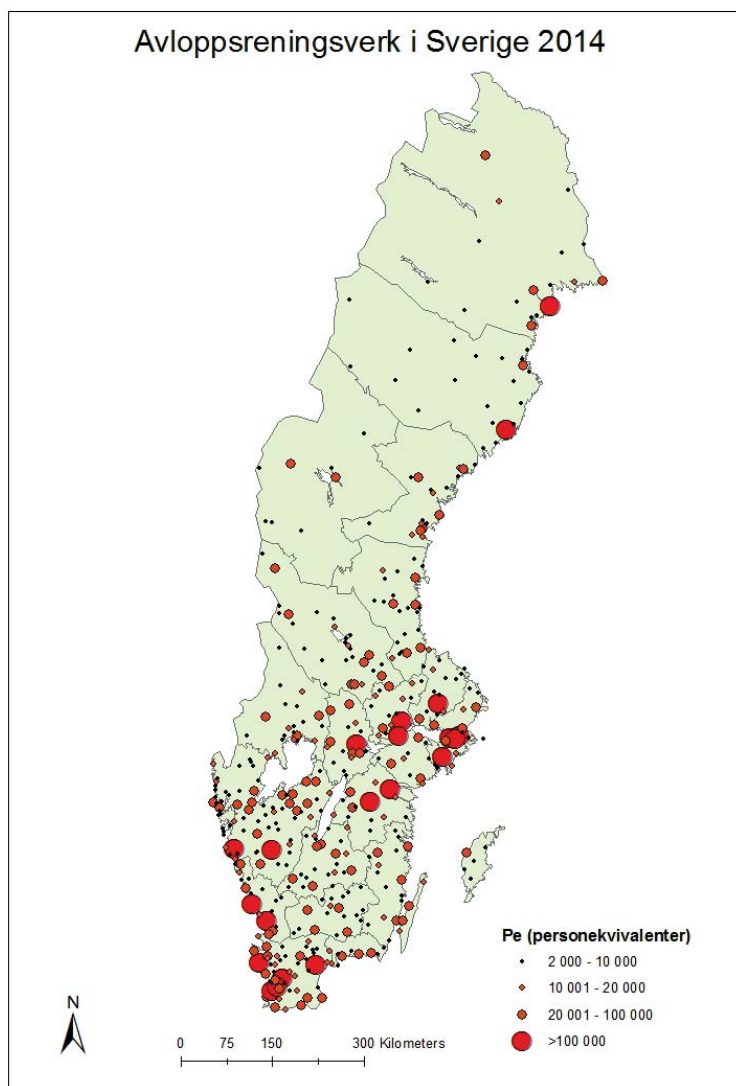
Detta uppdrag omfattar avloppsreningsverk större än 2 000 pe och täcker ca 90 % av utsläppen från avloppsreningsverk i Sverige (Naturvårdsverket och SCB, 2016).

**Tabell 1. Antal kommunala avloppsreningsverk i Sverige större än 2 000 pe.**  
Källa: Naturvårdsverket och SCB (2016).

| Storleksklass [pe] |                | Antal      | Därav vid kusten |
|--------------------|----------------|------------|------------------|
| Små*               | 2 001 - 10 000 | 246        | 65               |
| Mellanstora*       | 10 001-100 000 | 166        | 58               |
| Stora*             | 100 001-       | 19         | 12               |
| <i>Totalt</i>      |                | <i>431</i> | <i>135</i>       |

\* Benämning i detta uppdrag.

Lokalisering av avloppsreningsverk större än 2 000 pe framgår av figur 1.



Figur 1. Lokalisering av avloppsreningsverk större än 2 000 pe.  
Källa: Svenska miljörapporteringsportalen (SMP).

Ett konventionellt avloppsreningsverk består av en kombination av mekanisk, kemisk och biologisk rening, se figur 2.

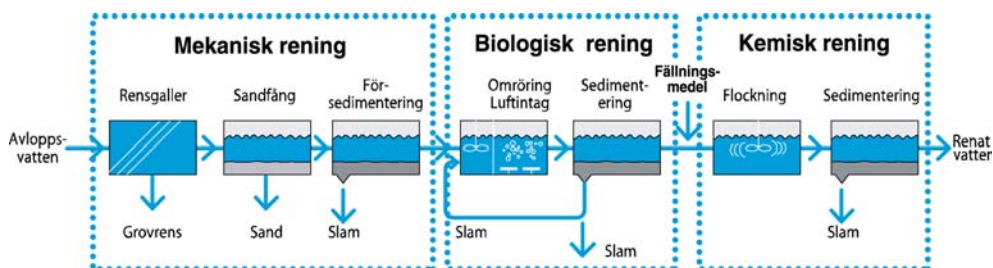
Den mekaniska reningen avskiljer fasta partiklar såsom till exempel toalettpapper, tops, sand och grus i början av reningsverket för att undvika att få in detta i efterföljande reningssteg.

Vid den kemiska reningen tillsätts fällningskemikalie (till exempel aluminium eller järn) för att fälla bort fosfor. Fällningen klumpar ihop sig och sedimenterar till botten och kan avskiljas som slam som pumpas till reningsverkets slambehandling. Kemisk fällning kan ske både som förfällning vid försedimenteringen, simultanfällning i den biologiska reningen eller som efterfällning.

Den biologiska reningen sker genom att mikroorganismer renar vattnet från fosfor, kväve och organiskt material, ofta i en s.k. aktivslamprocess där mikroorganismer lever i flockar som hålls i suspension i bassängen.

Slammet som bildas i reningsverket avskiljs och genomgår en efterföljande slambehandling. Slambehandlingen syftar till att stabilisera slammet innan slamavvattning. I Sverige är den vanligaste stabiliseringsmetoden anaerob rötning där mikroorganismer bryter ner det organiska materialet och bildar biogas. Därefter sker en avvattning av slammet för att minska mängden slam som transporteras bort från avloppsreningsverket. Rejektvattnet som avskiljs vid slamavvattningen återförs till avloppsreningsverket.

Avloppsreningsverk i norra delarna av Sverige har inte biologisk rening i samma omfattning som i övriga landet, och har inga generella krav på kväverening, vilket regleras i föreskrifterna 2016:6 om rening och kontroll av utsläpp av avloppsvatten från tätbebyggelse.



Figur 2. Rensningssteg i ett konventionellt avloppsreningsverk. Källa: Naturvårdsverket (2014).

## 4. Behov av avancerad rening

*I detta kapitel analyseras om det finns ett behov av avancerad rening av läkemedelsrester i avloppsreningsverk i Sverige.*

### 4.1. Läkemedel som släpps ut i miljön

Avloppsreningsverk är idag inte konstruerade för att reducera läkemedelssubstanser eller andra oönskade ämnen. Till viss del reduceras läkemedelssubstanser med traditionell avloppsreningsteknik, främst genom biologisk nedbrytning och adsorption till slampartiklar.

Från avloppsreningsverk kommer i huvudsak läkemedel från human konsumtion. Det finns ca 2 000 aktiva läkemedelssubstanser på marknaden för humanmedicin. Läkemedel som inte bryts ner helt i kroppen utsöndras via urin och avföring och hamnar i våra avloppsreningsverk. Detta är den kvantitativt sett största källan till läkemedel och läkemedelsrester i miljön i Sverige. Andra möjliga källor är utsläpp från t.ex. sjukhus och industri. En vanlig missuppfattning är att sjukhus står för en stor del av läkemedelsflödet till miljön. Baserat på definierade dygnsdoser så utgjorde försäljningen av läkemedel till slutenvården i Sverige endast drygt 2 % av den totala försäljningen under 2010 enligt Apotekens Service AB:s statistik (Larsson och Löf, 2015). Även mer avancerad vård sker numera också i hemmen istället för på sjukhus.

Svenskar är, ur ett internationellt perspektiv, duktiga på att lämna tillbaka överblivna läkemedel och det bedöms att ca 75 % av de oanvända läkemedlen återlämnas. Resten hamnar huvudsakligen i hushållssopor, som vanligtvis förbränns i Sverige, och en mindre andel spolans antagligen ner i avloppet. (Larsson och Löf, 2015)

I reningsverken kan läkemedelssubstanser gå tre öden till mötes; antingen bryts de ner, eller så hamnar de i det renade utgående avloppsvattnet, eller så hamnar de i slammet (Larsson och Löf, 2015). Hur väl ett läkemedel bryts ned eller renas från det utgående vattnet beror dels av läkemedlets kemisk/fysikaliska egenskaper (vattenlöslighet, persistens) och dels av avloppsreningsverkets processutbyggnad.

En sammanställning över reningseffektiviteten för 62 läkemedel i aktivslamanläggningar med kväverening har visat att för ca 25 % av läkemedlen är reningensgraden hög, för 25 % måttlig, för 25 % låg eller ingen, samt för 25 % så ökar halten i det utgående vattnet jämfört med det ingående vattnet. Ökningen kan framför allt bero antingen på provtagningsmetodiken eller på nedbrytningen av

läkemedel som konjugerats<sup>15</sup>. Det är också svårt att ta representativa prov som speglar inkommande och utgående vatten under samma tid, samt att det inkommande vattnet är en komplex matris med mycket organiskt material. (Hörsing, 2014)

De utsläppsmängder och halter av läkemedelsrester som diskuteras i detta kapitel (se kapitel 4.5) baseras på ett urval läkemedel (Wallberg m.fl., 2016):

*Smärtstillande/antiinflammatoriska*

diklofenak, ibuprofen, kodein, naproxen, paracetamol, ketoprofen, tramadol

*Antimikrobiella substanser*

azitromycin, ciprofloxacin, erytromycin, flukonazol, ketokonazol, klaritromycin, norfloxacin

*Kardiovaskulära substanser*

eprosartan, flekainid, metoprolol

*Neurologiska*

citalopram, karbamazepin, oxazepam, sertralin, zolpidem

*Hormoner*

levonorgestrel, estradiol, etinylestradiol

## 4.2. Effekter i miljön av läkemedels- substanser och andra oönskade ämnen

En del av de läkemedelssubstanser och andra oönskade ämnen som når den yttre miljön via utsläpp från avloppsreningsverk är persistenta. Halveringstiden kan variera från något år till tiotusentals år. Vissa persistenta ämnen bioackumuleras också i levande organismer.

Effekter som sedan uppstår i akvatiska miljöer är, eftersom allt sker under ytan, svåra att upptäcka och det är också svårt att klarlägga orsakssamband. Det är många läkemedel vars miljöeffekter, ensamma eller i kombination med andra, inte studerats. Det är dock tydligt att det kommer fler och fler studier av miljöeffekter av läkemedel, och då också hur en lång tids exponering för låga halter av läkemedel kan påverka miljön.

Även andra oönskade ämnen som når miljön via avloppsreningsverk har miljöeffekter, ensamma eller i kombination med andra oönskade ämnen (inklusive läkemedelsrester). Erfarenheten visar att i takt med att ny kunskap kommer fram hittas effekter vid lägre koncentrationer än tidigare.

---

<sup>15</sup> Konjugerats innebär att läkemedlet metaboliserats i kroppen för att lättare kunna utsöndras. Det kan därför inte detekteras i det inkommande vattnet. Dock kan det konjugerade läkemedlet sedan brytas ned i avloppsreningsverket till sin ursprungliga form, vilket gör att halterna i det utgående vattnet ser ut att vara högre än i det inkommande vattnet.

#### 4.2.1. Läkemedel

Syftet med de aktiva substanser som finns i läkemedel är att de ska ha en terapeutisk effekt och de kan därför även påverka vattenlevande organismer vars enzymer, hormoner och receptorer ofta påminner om människans (Gunnarsson m.fl., 2009). Fortfarande saknas dock mycket kunskap om läkemedels påverkan på den akvatiska miljön. De tester som traditionellt gjorts på läkemedel har främst varit tester av akut toxicitet, som brukar användas för vanliga industrikemikalier. Ämnen som påverkar reproduktionen eller är så akut giftiga att de orsakar snabb död medför så stora ekologiska förändringar att vi kan se dem direkt i miljön. Läkemedel är dock sällan akut toxiska men exponering för låga doser under en längre tid kan ha andra effekter, t.ex. beteendeförändringar, och det kräver ett annat sätt att testa dem. Varje läkemedel kan alltså ha sin speciella verkan.

Effekter av läkemedel i miljön har varit kända länge. De första negativa miljöeffekter som delvis kan tillskrivas läkemedel upptäcktes i engelska floder av sportfiskare i början på 1990-talet. De fick upp nästan bara honfiskar och många fiskar visade sig vara tvåkönade. Flera studier inleddes som bland annat visade att unga hanfiskar som hölls i burar nedströms utsläppen från engelska reningsverk började producera vitellogenin, ett protein som normalt bara ska finnas hos fertila honor (Purdom m.fl., 1994). Effekterna kunde senare kopplas till det renade avloppsvattnets innehåll av naturliga östrogener från människa och av syntetiskt östrogen, etinylestradiol, från p-piller (Larsson m.fl., 1999). Vid försök med exponering av fisk i renat avloppsvatten har liknande effekter konstaterats i Sverige (Adolfsson-Erici m.fl., 2005; Gunnarsson m.fl., 2009). Etinylestradiol kan också ha effekter på utvecklingen av äggstockar på groddjur (Pettersson och Berg, 2007). Etinylestradiol har visat sig vara både mer svårnedbrytbart och mer potent än de naturliga östrogenerna, dvs. lägre halter är tillräckligt för att ge en effekt. Nyligen har läkemedelssubstanser även påvisats i utter (Roos m.fl., 2017).

Många studier har gjorts i laboratoriemiljö där man har sett negativa effekter i koncentrationer som är relevanta för den yttre miljön. Zeilinger m.fl. (2009) visade till exempel att levonorgestrel, en progesteron-liknande substans som finns i bland annat vissa p-piller, hade en stor negativ effekt på fortplantningsframgången hos fisk redan vid låga halter. Fick m.fl. (2010) visade att regnbåge som exponerats för utgående avloppsvatten vid reningsverken i Stockholm och Umeå uppvisade halter av levonorgestrel i blodplasman som översteg den humana terapeutiska dosen. Det finns dessutom en rad andra läkemedel som verkar via samma receptor som levonorgestrel och det är sannolikt att dessa läkemedel har liknande effekter och kan samverka.

Triebkorn m.fl. (2004 och 2007) rapporterade att diklofenak, karbamazepin och metoprolol kan orsaka cellförändringar i flera organ i regnbåge i koncentrationer ned till 1000 ng/l. De Lange m.fl. (2006) rapporterade att simaktiviteten hos märkräfta påverkades vid en så låg koncentration som 10 ng/l av fluoxetin och

ibuprofen var och en för sig. Både fluoxetin (Brooks m.fl., 2005) och ibuprofen (Brown m.fl., 2007) kan tas upp och ackumuleras i vattenlevande organismer.

Det finns också rapporterade beteendeförändringar till följd av exponering av antidepressiva läkemedel i halter som är relevanta i recipienten i laboratorieförsök, som till exempel påverkan på abborrars benägenhet att gömma sig för predatorer (se till exempel Brodin m.fl., 2013). Påverkan på beteende, till exempel ett förändrat födosök, är en högst relevant ekologisk effekt men är normalt inte en effekt som ingår som en end-point i en riskbedömning (dvs. det är inte en effekt som undersöks). Sådana förändringar kan enbart visas med laboratorieförsök, men om halter i nivåer på något mikrogram per liter ( $\mu\text{g/l}$ ) som orsakar dessa typer av effekter förekommer i miljön skulle det kunna medföra storskaliga konsekvenser. Vi har idag inte tillräcklig kunskap för att kunna säga vad en arts potentiellt förändrade beteende, till exempel utanför ett avloppsreningsverk, kommer att ha för betydelse för populationens välmående/överlevnad.

Om man ser på studier av den marina miljön så sammanfattades effekter av läkemedel i Östersjön av Hallgren och Wallberg (2015). Insamlade data visade att högst koncentrationer av läkemedelssubstanser hittades i blåmussla. I en screeningstudie från Norge hittades ett stort antal olika läkemedel i sjöfågel (Miljødirektoratet, 2013). Det här tyder på att läkemedel förs vidare i näringskedjan. Det finns inte så många studier på effekter av läkemedel i marin miljö, men av de som finns så har det visats effekter som till exempel rörelse och födosök påverkats av betablockeraren propranolol på blåmussla, alger och kräftdjur (Ericson m.fl., 2010, Eriksson Wiklund m.fl., 2011, Oskarsson m.fl., 2012, Oskarsson m.fl., 2014, Kumblad m.fl., 2015). Citalopram kan påverka beteendet hos fisk genom att t.ex. minska födosöksbeteende (Kellner m.fl., 2015).

#### **4.2.2. Spridning av antibiotikaresistens**

Utsläpp av antibiotika till miljön kan också bidra till att multiresistenta bakterier utvecklas och sprids. Nedströms kommunala avloppsreningsverk har resistenta bakterier kunnat påvisas (se till exempel Larsson, 2012). Förekomsten av resistenta bakterier där kan vara ett resultat av att redan resistenta tarmbakterier kan passera reningsverken. Utsläpp av antibakteriella ämnen från reningsverk kan också på olika sätt påverka spridning av antibiotikaresistens (se till exempel Sutterlin, 2015).

Forskning pågår också för att i detalj utreda spridning av antibiotikaresistens via miljön vid konstaterade halter i recipienten (Schmitt m.fl., 2017).

#### **4.2.3. Andra oönskade ämnen**

Det har varit känt sedan länge att kemiska ämnen som kommer ut i miljön kan vålla skada och ackumuleras i levande organismer. Påverkan på sälar, havsörnar och andra fåglar och djur av DDT<sup>16</sup> och PCB<sup>17</sup> är exempel på det (Bernes, 1998).

---

<sup>16</sup> Diklordifenyltrikloretan



Effekter av metaller och organiska miljögifter i akvatiska miljöer framgår också av Naturvårdsverket (2008).

Det är ofta svårt att peka ut ett enskilt miljögift som orsak till de observerade effekterna. Det kan också vara blandningar av ett stort antal potentiellt giftiga ämnen som gemensamt leder till de effekter som registrerats. För de klassiska organiska miljögifterna DDT och PCB, liksom för en del andra halogenerade organiska föreningar, har kraftiga minskningar av halterna i biota observerats sedan 1970-talet, med däremot ökar halter av andra, nyare ämnen, som till exempel bromerade flamskyddsmedel och högfluorerade ämnen (PFAS).

### 4.3. Faktorer som påverkar koncentrationen i recipienterna

Sannolikheten för höga koncentrationer av läkemedel i närområdet i recipienten beror av mängden läkemedel som släpps ut, läkemedelssubstansernas egenskaper, till exempel persistens och bioackumulerbarhet, och vattenomsättningen i recipienten. Recipienter med hög vattenomsättning i förhållande till flödet från reningsverken kan ta emot större mängder av förorenande ämnen utan att halterna i recipienten överstiger effektnivåer. Hur höga halterna av många läkemedel är i vattendrag är dock inte alltid känt.<sup>18</sup>

#### 4.3.1. Mängd läkemedel som släpps ut och dess egenskaper

Stora avloppsreningsverk kan ha större påverkan än mindre då de släpper ut stora mängder av föroreningar. Spädningsberäkningar tyder på att läkemedel som släpps ut från avloppsreningsverk i havskustområden sprids snabbt under detektionsgränsen (Wallberg m.fl., 2016). Därmed skulle man kunna förvänta sig att läkemedel sällan detekteras i prov på havsvatten men så är inte fallet. I en nyligen genomförd genomgång av data från länderna kring Östersjön konstateras att läkemedel ofta detekteras även i havsvattenprover (Hallgren och Wallberg, 2015). Vissa läkemedel kan dessutom bioackumulera och återfinns i till exempel musslor, fisk och sjöfågel.

När det gäller utsläpp av framförallt persistenta ämnen så är mängden som släpps ut en viktig faktor då de ämnena kommer att lagras upp och stanna i miljön under en lång tid framöver. Så även om inte några effektnivåer<sup>19</sup> kommer att överskridas initialt så kommer halterna att öka över tid, vilket kan leda till att effektnivåer överskrids med tiden. Detta är en viktig faktor för till exempel Östersjön som har

---

<sup>17</sup> Polyklorerade bifenylter

<sup>18</sup> I den statligt finansierade miljöövervakningen mäts inte läkemedel löpande i vattendrag men ett totalt läkemedelssubstanser, varav ett par olika antibiotika, mäts årligen i slam och utgående vatten från nio kommunala avloppsreningsverk. För mer information se <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Miljoovervakning/Vad-ar-miljoovervakning/>

<sup>19</sup> Se vidare kapitel 4.5.1.

ett känsligt ekosystem, låg vattenomsättning och som tar emot avloppsvatten från miljontals människor. Halveringstiderna för de persistenta ämnen som idag släpps ut i miljön varierar mellan något år till tiotusentals år. Ett konstant utflöde av mer lättnedbrytbara ämnen kan också ge en effekt då även om halterna är låga så är exponeringen konstant.

Mängden läkemedelssubstanser och andra oönskade ämnen som släpps ut från ett avloppsreningsverk beror av hur många personer som är påkopplade till verket men också vilka industrier som är påkopplade samt t.ex. förekomst av dagvatten. När det gäller antal personer som är påkopplade så måste man även ta hänsyn till att det i vissa områden kan variera väsentligt över året på grund av till exempel hög andel semesterbostäder.

Beräknade mängder av läkemedel som släpps ut årligen från ett urval av avloppsreningsverk återfinns i bilaga 4 (Wallberg m.fl., 2016). I det utgående vattnet från vissa avloppsreningsverk återfinns alla de utvalda substanserna, i andra fall hittas ett mindre antal. Halterna i det utgående vattnet varierar från ett par nanogram per liter till ett par mikrogram per liter. De totala mängderna som släpps ut från avloppsreningsverken varierar mellan ett par gram till något hundratal kilo per år beroende på läkemedelssubstans och typ och storlek på avloppsreningsverk.

I tabell 2 (i kapitel 4.5.1) finns exempel på halter i recipient för tre utvalda avloppsreningsverk.

#### **4.3.2. Flera avloppsreningsverk inom samma avrinningsområde**

Om flera avloppsreningsverk ligger inom samma avrinningsområde så tillkommer ytterligare tillskott av läkemedelssubstanser och andra oönskade ämnen nedströms, vilket innebär att påverkansområdet blir större. Inom det avrinningsområde i Sverige som har störst antal avloppsreningsverk inom samma avrinningsområde ligger mellan 41 och 65 avloppsreningsverk. Flera avloppsreningsverk kan också ha sitt utlopp i vissa större sjöar.

#### **4.3.3. Vattenomsättningen i recipienten**

Recipienter kan i detta sammanhang indelas i tre kategorier (Wallberg m.fl., 2016):

- Recipienter med stor initial spädnings
- Recipienter med växlande förhållanden
- Recipienter med ingen eller liten initial spädnings

##### **RECIPIENTER MED STOR INITIAL SPÄDNING**

För recipienter med stor vattenomsättning eller stort flöde i förhållande till det vatten som släpps ut från avloppsreningsverket så kommer utspädningen att bli stor eller mycket stor. Detta är till exempel fallet när det utgående vattnet släpps ut i eller nära havet.

#### RECIPIENTER MED VÄXLANDE FÖRHÅLLANDEN

I närområdet utanför avloppsreningsverk som släpper ut sitt renade avloppsvatten i åar, vikar eller sjöar med begränsad vattenomsättning, finns en större risk att halter överskrider effektnivåer under sommarhalvåret vid lågvattenflöden eller beroende på vattenståndet i en sjö.

#### RECIPIENTER MED INGEN ELLER LITEN INITIAL SPÄDNING

Spridningsområdet med halter över effektnivåer kommer, särskilt vid lågvattenflöden, sannolikt att kunna sträcka sig flera km upp till mil nedströms utsläppspunkten i recipienter med ingen eller liten initial spädning.

## 4.4. Recipienters känslighet för läkemedelsrester

Recipientens känslighet för läkemedelsrester, såsom ekologisk känslighet och potentiell risk för förorening av dricksvattentäkter, är av betydelse för behovet av avancerad rening.

### 4.4.1. Ekologisk känslighet

Recipienter med lekande fisk, groddjur och andra vattenlevande organismer är särskilt känsliga för exponering av farliga ämnen. Kunskapen om var lek- och uppväxtområden för fisk finns är generellt bristfällig, både i sött och salt vatten. I havsområden ligger dessa områden ofta längs med kusten. I sötvattensområden kan fisk hittas i stort sett i alla typer av recipienter, förutsatt att det inte finns vattenhinder, även i små diken. Fiskar leker i vegetationsrika grunda områden vid olika tidpunkter för olika arter under en stor del av året men främst under vår och höst. Recipienter med rödlistade arter eller närhet till t.ex. Natura 2000-områden är andra faktorer som påverkar en recipients känslighet.

Östersjön är ett känsligt ekosystem med låg salthalt, låg biologisk mångfald och få trofinivåer, vilket medför att ekosystemet har en större känslighet för farliga ämnen än andra havsområden (havet.nu, 2017). Till Östersjön släpps avloppsvatten ut från miljontals människor och uppehållstiden för havsvattnet, och därmed av svårnedbrytbara ämnen såsom till exempel läkemedlet diklofenak, är lång.

### 4.4.2. Dricksvatten

Hälften av allt råvatten som används till dricksvatten i Sverige kommer från ytvatten, alltså sjöar eller rinnande vattendrag (Svenskt Vatten, 2017). Ett exempel är Mälaren som försörjer ca 2 miljoner människor med dricksvatten samtidigt som sjön är recipient till flera kommuners avloppsreningsverk.

Det finns kvalitetskriterier för bra dricksvatten i form av gränsvärden. För att visa att kriterierna är uppfyllda måste dricksvattenproducenter undersöka dricksvattnet regelbundet för att upptäcka förekomst av till exempel oönskade ämnen, bakterier och andra mikroorganismer. Det finns gränsvärden för bl.a. metaller,

bekämpningsmedel, aromatiska kolväten och PFAS (högfluorerade ämnen), men inte för läkemedelssubstanser.

Världshälsoorganisationen har konstaterat att undersökningar av läkemedelsrester i dricksvatten samstämmigt visat att halterna ligger flera tiopotenser (mer än 1000 gånger) under den lägsta terapeutiska dosen och långt under de beräknade acceptabla dagliga intagen. Stora säkerhetsmarginaler för enskilda ämnen tyder på att avsevärda negativa effekter på människors hälsa är mycket osannolikt vid nuvarande exponeringsnivåer för läkemedelssubstanser i dricksvatten. (WHO, 2012)

## 4.5. Halter i den omgivande miljön till följd av utsläppen

### 4.5.1. Läkemedelsrester

De mängder läkemedelssubstanser som släpps ut från avloppsreningsverk varierar mellan olika avloppsreningsverk och beroende av flöden och utspädning leder detta till olika halter i recipienterna.

Påverkan av halter läkemedel i miljön kan i dag bedömas utifrån bedömningsgrunder för särskilt förorenande ämnen eller effektnivåer. I dagsläget finns det bedömningsgrunder för inlandsvatten och kustvatten för tre läkemedel i Sverige genom att diklofenak, estradiol och etinylestradiol finns upptagna som särskilt förorenande ämnen (SFÅ) enligt Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter (2013:19) om klassificering och miljökvalitetsnormer avseende ytvatten. Om dessa ämnen släpps ut i en betydande mängd<sup>20</sup> i en specifik vattenförekomst ska bedömningsgrunderna användas för att bedöma om ämnena förekommer i sådana halter att risk föreligger att miljökvalitetsnormen för ekologisk status i vattenförekomsten inte nås eller kan försämrats. Miljökvalitetsnormerna ska tillämpas vid tillståndsgivning och tillsyn. Se vidare kapitel 6.1.1.

Utöver detta så finns effektnivåer för oönskade effekter i miljön<sup>21</sup> presenterade i den vetenskapliga litteraturen. Generellt så är osäkerheterna för de effektnivåer som finns för läkemedel stora och det bör man ha i åtanke vid eventuella riskbedömningar. För mer information se Wallberg m.fl. (2016, kapitel 5).

Ett konstant utflöde även av låga koncentrationer kan påverka organismer då de utsätts för dessa ämnen konstant och under en mycket lång tid. Kombinationseffekter är också en viktig faktor att beakta då blandningar av läkemedelssubstanser och andra oönskade ämnen kan visa en ekotoxisk effekt även

<sup>20</sup> Med betydande mängd menas om det finns risk för att den ekologiska statusen påverkas negativt. Finns risk att miljökvalitetsnormen överskrids innebär det en betydande mängd.

<sup>21</sup> Med effektnivåer menas här vattenkoncentrationer där läkemedlen skulle kunna ha en effekt i miljön.

om de enskilda substanserna förekommer i så låg koncentration att de inte enskilt ger någon effekt. Smärtstillande medel i kombination; diklofenak, ibuprofen, naproxen och acetylsalicylsyra, har visat att effekter uppstår vid betydligt lägre koncentrationer än vid försök med enskilda ämnen. Kombinationseffekter har även rapporterats för andra läkemedel som också kan antas ha samma verkningsmekanism, till exempel antibiotika, antidepressiva läkemedel, betablockerare samt även läkemedel i blandning med andra kemiska ämnen (sammanfattat av t.ex. Backhaus, 2014).

Halter läkemedelsrester i recipient nedströms avloppsreningsverk har beräknats för ett urval av svenska avloppsreningsverk i en studie. Beräknade halter i recipienten överstiger värdena i bedömningsgrunderna och effektnivåer för ett flertal läkemedel och avloppsreningsverk. (Wallberg m.fl., 2016) I tabell 2 finns exempel på halter i recipient för tre utvalda avloppsreningsverk med låg, växlande, samt hög initial spädning i recipienten. De smärtstillande ämnena diklofenak och ibuprofen, den kardiovaskulära substansen metoprolol samt hormonerna etinylestradiol, estradiol och levenorgestrel förekommer i halter över värdena i bedömningsgrunderna eller effektnivåer i närområdet utanför svenska avloppsreningsverk enligt beräkningarna som gjorts i Wallberg m.fl. (2016). För de tre läkemedel som listats som särskilt förorenande ämnen så överskrids enligt beräkningarna värdena i bedömningsgrunderna i recipienterna för alla tre ämnena vid flera av reningsverken. I tabellen framgår även antal avloppsreningsverk med överskridanden av värdena i bedömningsgrunderna eller effektnivåer i förhållande till antalet undersökta avloppsreningsverk. I tabellen har uppmätt maxhalt i det utgående vattnet använts tillsammans med den minsta spädningsfaktorn för respektive avloppsreningsverk, men överskridanden ses även då man använder sig av medianhalter och medianspädning. Detta indikerar att det finns ett behov av att vidare utreda om sådana vattenförekomster uppfyller kraven för god ekologisk status.

I bilaga 4 finns en sammanställning över vilka substanser som analyserats vid respektive reningsverk samt vilka mängder (beräknat på medianhalt) som släpps ut per år (kg/år) i studien genomförd av Wallberg m.fl. (2016).

**Tabell 2. Beräknad halt (ng/l) av läkemedelssubstanter i recipienten för tre utvalda avloppsreningsverk samt antal avloppsreningsverk med överskridanden av värdena i bedömningsgrunderna eller effektnivåer i förhållande till antal undersökta avloppsreningsverk. Källa: Wallberg m.fl. (2016).**

| Substanter             | Maxhalt i recipient (ng/l)<br>vid användning av minsta spädningfaktorn |  |   | Antal<br>avloppsreningsverk<br>med överskridanden av<br>värdena i<br>bedömningsgrunderna<br>eller effektnivå/<br>antal undersökta<br>avloppsreningsverk |
|------------------------|--|--|---|---|
|                        | Avlopps-<br>reningsverk<br>med liten<br>initial<br>spridning           | Avlopps-<br>reningsverk<br>med växlande<br>förhållanden* | Avlopps-<br>reningsverk<br>med stor<br>initial<br>spridning |   |
| <b>Hormoner</b>        |  |  |   |   |
| Etinylestradiol        | 1  | 0,07   | 0,04  | 4/6   |
| Estradiol              | 1  | 0,07   | 0,009   | 2/6   |
| Levonorgestrel         | 1  | 0,3  | 0,04  | 9/13  |
| <b>Antimikrobiella</b> |  |  |   |   |
| Azitromycin            | 6  | 0,4  | 0,03  | 0/7   |
| Ciprofloxacin          | 6  | 3  | 0,1   | 0/14  |
| Clarithromycin         | 19   | 2  | 1   | 0/7   |
| Erytromycin            | 56   | 3  | 0,9   | 0/7   |
| Flukonazol             | 132  | 3  | 2   | 0/8   |
| Ketokonazol            | 30   | 0,4  | 0,04  | 0/7   |
| Norfloxacin            | 1  | 0,07   | 0,009   | 0/14  |
| <b>Neurologiska</b>    |  |  |   |   |
| Citalopram             | 89   | 4  | 0,9   | 0/7   |
| Karbamazepin           | 278  | 9  | 2   | 0/9   |
| Oxazepam               | 185  | 7  | 0,8   | 0/7   |
| Sertralin              | 8  | 0,4  | 0,06  | 0/9   |
| Zolpidem               | 10   | 0,3  | 0,03  | 0/7   |
| <b>Smärtstillande</b>  |  |  |   |   |
| Diklofenak             | 987  | 14   | 2   | 5/14  |
| Ibuprofen              | 35   | 14   | 2   | 1/14  |
| Ketoprofen             | 43   | 4  | 0,5   | 0/14  |
| Kodein                 | 152  | 2  | 1   | 0/7   |
| Naproxen               | 33   | 3  | 0,9   | 0/14  |
| Paracetamol            | 104  | 8  | 0,4   | 0/7   |
| Tramadol               | 709  | 21   | 5   | 0/7   |
| <b>Kardiovaskulära</b> |  |  |   |   |
| Eprosartan             | 25   | 5  | 2   | 0/7   |
| Flekainid              | 58   | 2  | 0,2   | 0/7   |
| Metoprolol             | 506  | 21   | 5   | 3/7   |

Röd markering innebär överskridande av värdena i bedömningsgrunderna. Orange markering innebär överskridande av effektnivå.

\*Beräknade maxhalter vid median spädningfaktor i recipienten har använts.

Som jämförelse med uppmätta halter så överensstämmer de beräknade halterna av diklofenak i Fyrisån (Wallberg m.fl., 2016) förhållandevis väl med de halter som tidigare uppmätts i Fyrisån och värdet i bedömningsgrunden överskrider i båda

fallen. I en screeningstudie på uppdrag av Naturvårdsverket mättes 101 läkemedel i in- och utgående vatten från avloppsreningsverk, slam, ytvatten, dricksvatten och biota. Av de undersökta läkemedlen så detekterades 91 % i ingående vatten, 84 % i utgående vatten, 72 % i slam, 65 % i ytvatten, 23 % i biota samt 26 % i dricksvatten. Femton av 101 läkemedel detekterades i så hög halt att de förväntas ha en farmakologisk effekt i fisk. (Fick m.fl., 2014).

#### 4.5.2. Andra oönskade ämnen

Motsvarande beräkningar av utsläpp och halter i recipient har även gjorts för ett femtiotal andra oönskade ämnen (Wallberg m.fl., 2016). Dessa ämnen kan delas in i fem grupper: fluorerade ämnen, klorfenoler/fenoler, myskämnen, organofosfater och organotennföreningar. Gränsvärden saknas för de flesta av dessa ämnen men effektnivåer finns beskrivna i den vetenskapliga litteraturen även om osäkerheten kring dessa värden generellt är mycket stor. För de undersökta ämnena så överskreds värdet i bedömningsgrunden för PFOS<sup>22</sup> (fluorerat ämne) i sötvatten/kustvatten i fyra av nio undersökta avloppsreningsverk. Noteras bör att det finns 3000 kommersiella högfluorerade ämnen (PFAS) i omlopp på världsmarknaden (Kemikalieinspektionen, 2015), för vilka det inte finns gränsvärden. De här ämnena är extremt svårnedbrytbara i miljön och flera av dem ansamlas lätt i levande varelser (bioackumulerande) och är giftiga.

Persistenta ämnen i allmänhet och även metaller riskerar också att lagras upp över tid vilket gör att utsläpp av dessa bör undvikas.

## 4.6. Behov av avancerad rening

Naturvårdsverket bedömer att det finns ett behov av avancerad rening i åtminstone vissa avloppsreningsverk utifrån utsläppen av läkemedelsrester. Utsläpp av andra oönskade ämnen och risk för bidrag till spridande av antibiotikaresistens förstärker detta behov. Behovet varierar utifrån halter i recipient och recipienters känslighet. Överskridanden av värden i bedömningsgrunder och effektnivåer förekommer. Vilka och hur många avloppsreningsverk som behöver utöka sin rening går inte att säga idag men faktorer som har stor betydelse för att prioritera var insatser behöver vidtas har identifierats.

En förbättrad rening i syfte att avskilja läkemedelsrester från avloppsvatten kan också få andra positiva effekter då mycket av de kemikalier som vi använder i samhället också når den yttre miljön via avloppsreningsverken. En förbättrad rening kommer även att minska spridningen till miljön av dessa oönskade ämnen. En förbättrad rening kan även minska spridningen av bakterier som bär på antibiotikaresistensgener samt andra ämnen som kan påverka spridning av antibiotikaresistens.

---

<sup>22</sup> Perfluorooktansulfonsyra (PFOS), ingår i PFAS

Sannolikheten för höga koncentrationer av läkemedel i närområdet i recipienten beror av mängden läkemedel som släpps ut och vattenomsättningen i recipienten. Recipienter med hög vattenomsättning i förhållande till flödet från reningsverken kan ta emot större mängder av förorenande ämnen utan att effektnivåer överskrids jämfört med en recipient med låg vattenomsättning.

När det gäller utsläpp av framförallt persistenta ämnen så är mängden som släpps ut en viktig faktor då de ämnena kommer att lagras upp och kan stanna i miljön under en mycket lång tid framöver. Så även om inte några effektnivåer kommer att överskridas initialt så kommer halterna att öka över tid.

I dagsläget finns det få gränsvärden i vatten för såväl läkemedel som andra oönskade ämnen. I den vetenskapliga litteraturen finns effektnivåer som kan användas för att jämföra de halter av läkemedel och andra oönskade ämnen som man hittar i miljön. Osäkerheterna kring de effektnivåer som finns är dock stora. Beräknade halter för flera läkemedel i recipienterna till de flesta reningsverken som undersöktes i underlagsrapporten (Wallberg, m.fl., 2016) översteg värdena i bedömningsgrunderna och effektnivåer.

Slutsatsen blir att det finns ett behov av avancerad rening och att det finns recipienter som påverkas i större utsträckning än andra av utsläpp av läkemedelsrester på grund av lokala faktorer. Vid en prioritering av vilka avloppsreningsverk som behöver införa en avancerad rening och var man ska börja så är dessa förhållanden viktiga att beakta.

- Avloppsreningsverk med recipienter med låg vattenomsättning, vilket innebär att halter i närområdet ofta riskerar att ligga över effektkoncentrationer.
- Avloppsreningsverk med utsläpp till recipienter med utflöde från flera avloppsreningsverk eller med påverkan från utsläpp från stora avloppsreningsverk vilket kan resultera i halter som riskerar att ligga över effektkoncentrationer.
- Avloppsreningsverk som släpper ut stora mängder av läkemedel och oönskade ämnen, oavsett recipient, då utsläpp av framförallt persistenta ämnen kommer att lagras upp i miljön över lång tid.
- Avloppsreningsverk med känsliga recipienter t.ex. på grund av förekomst av rödlistade arter, att den används som eller planeras användas som dricksvattentäkt, eller närhet till Natura 2000-område.

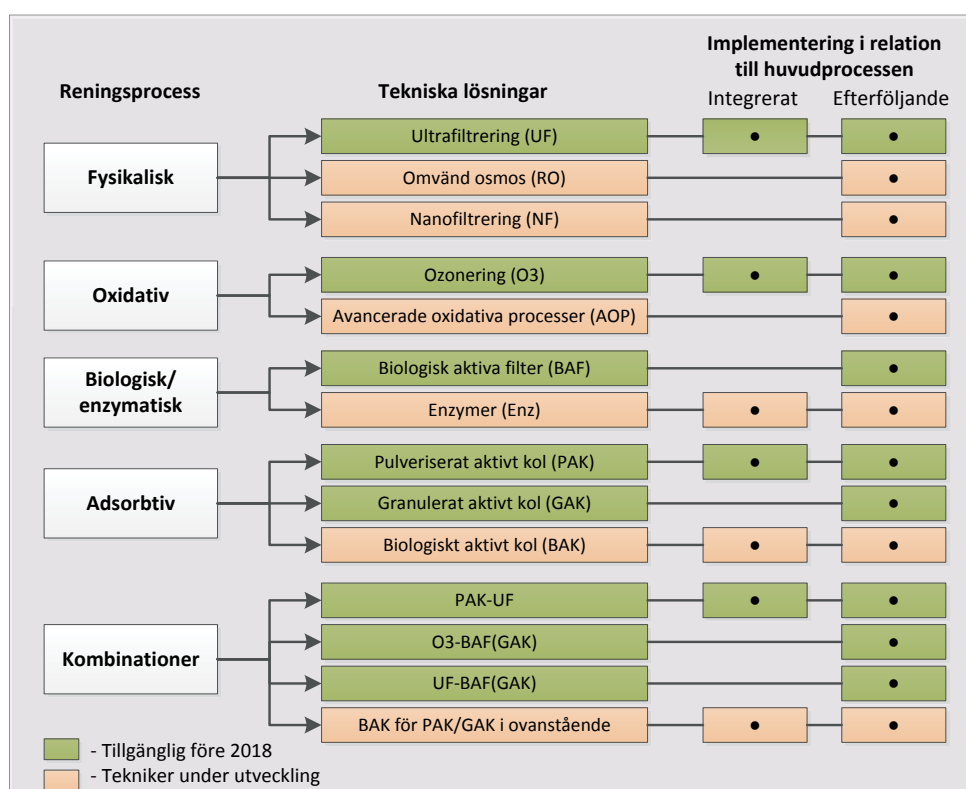


## 5. Tekniska lösningar

I detta kapitel beskrivs tekniker som kan tillämpas för avancerad rening med en kort beskrivning av funktion och för- respektive nackdelar avseende aspekterna reningseffektivitet, drift, ekonomi, miljö, restprodukter och arbetsmiljö. Baresel m.fl. (2017) Kostnader förknippade med investeringar och drift av de tekniker som studerats redovisas mer i detalj i kapitel 6.4. En mer utförlig beskrivning av för- och nackdelar för de beskrivna teknikerna återfinns i bilaga 5 och i Baresel m.fl. (2017).

### 5.1. Aktuella tekniker

Det finns ett antal tillgängliga tekniker för avancerad rening av läkemedelsrester och andra oönskade ämnen. En översikt av dessa framgår av figur 3. Teknikerna kan indelas i fyra olika reningsmetoder: fysikaliska, oxidativa, biologiska samt adsorptiva. Dessa kan även kombineras för en optimerad rening från mikroföroreningar.



Figur 3. Schematisk karakterisering av olika kompletterande reningstekniker.  
 Källa: Baresel m.fl. (2017).

Nedan beskrivs först de tekniker som bedöms vara tillgängliga och realistiska att implementera idag och därefter beskrivs några tekniker som bedöms vara under utveckling.

### 5.1.1. Ozonering (O3)

Ozonering (O3) är en oxidativ behandling där olika ämnen oxideras med ozon. Vanligaste applikationen för nedbrytning av organiska mikroföroreningar är som slutpolering efter huvudreningsprocessen eller integrerat i huvudreningsprocessen. Nedbrytningsgraden av svårnedbrytbara organiska föreningar beror bland annat på ozondos och kontakttid, men påverkas även av halten av andra organiska ämnen i det behandlade vattnet.

En fördel med ozonering är att det är en flexibel teknik med möjlighet att styra ozondoser, och att samma reningseffekt kan förväntas över anläggningens livstid. Ozonering kräver en aktiv övervakning och styrning för att få en optimerad process, där tekniker för detta är under utveckling. En nackdel vid ozonering är bildandet av transformationsprodukter vilka kan ha ekotoxikologiska effekter. Tekniken kräver därför en efterbehandling för att minimera riskerna med nedbrytningsprodukter. Vidare är energiförbrukningen relativt hög.

En anläggning kommer att tas i drift vid Tekniska verken i Linköping under 2017, vilket kommer att ge värdefulla erfarenheter.

### 5.1.2. Granulerat aktivt kol (GAK)

Den grundläggande principen för granulerat aktivt kol (GAK) är adsorption av föroreningar på den aktiva kolytan. Vid användning av GAK placeras kolet i filterbäddar i ett separat reningssteg. När kolet har blivit mättat (platser för adsorption upptagna) behöver kolet ersättas med nytt kol för att bibehålla reningseffektiviteten. Det använda kolet regenereras och kan sedan användas på nytt.

Tekniken har använts länge inom olika tillämpningar inom vattenrening, och uppvisar en god avskiljningsgrad för läkemedelsrester. För att få en effektiv rening krävs att föroreningsgrad och halt av suspenderade ämnen i det vatten som ska renas minimeras. Metoden har förhållandevis låg elförbrukning vid drift, men har en hög resursförbrukning vid tillverkning och regenerering av det aktiva kolet. En utveckling av aktivt kol baserat på olika biosubstrat pågår, se vidare avsnitt 5.1.9.

### 5.1.3. Pulveriserat aktivt kol (PAK)

Behandling med aktivt kol kan även göras med pulveriserat aktivt kol (PAK). Reningsprocessen är även här baserad på adsorption av föroreningar på kolet, där kolet tillsätts i huvudprocessen i det biologiska steget, före en eventuell slutfiltrering i till exempel sandfilter eller i ett kompletterande reningssteg. Till skillnad från GAK avskiljs PAK med slammet om det tillsätts till huvudprocessen och regenereras således inte.

En fördel med PAK är att det endast kräver installation av lagringsutrymme och doserutrustning vid dosering till huvudprocessen, och att doseringen kan anpassas

efter inkommande belastning. Vid vissa applikationer kan PAK-dosering innebära kontaminering av avloppsslammet, vilket begränsar möjligheterna att använda det som gödningsmedel på åkermark.

#### **5.1.4. Ultrafiltrering (UF)**

Membranfiltrering är en fysikalisk reningsmetod där partiklar filtreras. Beroende på membranval kan partiklar och även större lösta molekyler ner till ca 10 nm avskiljas. UF integrerat i huvudreningen på avloppsreningsverk som en membranbioreaktor (MBR) finns i fullskala, men ultrafiltrering är mer ovanligt som separat, efterföljande reningssteg. Ultrafiltrering (UF) används även inom dricksvattenrening som mikrobiologisk barriär.

En fördel med ultrafiltrering är att tekniken utgör en fysikalisk barriär mot recipienten och för ett eventuellt efterföljande reningssteg för avskiljning av läkemedelsrester (ozonering eller aktivt kol), och har en bra reningseffekt på partiklar, mikroplaster, patogener och bakterier och därmed även på multiresistenta bakterier, dock inte resistensbildning generellt. En nackdel med tekniken är att den avskiljer i sig inte ämnen lösta i vattenfasen, varför de flesta läkemedelsrester inte avskiljs med UF. Tekniken kräver användning av kemikalier och ökad energiförbrukning. Vidare anses tekniken i allmänhet vara dyrare än andra tekniker men utvecklingen av membranen har lett, och fortsätter leda, till lägre kostnader.

#### **5.1.5. Biologiskt aktiva filter (BAF)**

Biologiskt aktiva filter utgörs av vanliga filter (till exempel sandfilter eller aktivt kol) som utöver filterverkan även har en biologisk aktivitet som bryter ner vissa föroreningar.

En fördel med denna teknik är att den baseras på traditionella sandfilter- eller GAK-system som är en vedertagen teknik på avloppsreningsverk. GAK som filtermedia är fördelaktigt då adsorption av föroreningar och stor specifik yta skapar goda förutsättningar för etablering av biologin och avskiljning av läkemedelsrester. Ett stort antal mikro-föroreningar bryts ner varken i biofilmssystem eller aktivslamsystem, varför BAF med aktivt kol har den högsta avskiljningsgraden.

#### **5.1.6. Kombination pulveriserat aktivt kol – ultrafiltrering (PAK-UF)**

Kombinationen av pulveriserat aktivt kol (PAK) och ultrafilter (UF) kan användas som integrerat eller kompletterande reningssteg vid befintliga avloppsreningsverk. Det integrerade reningssteget utgörs av en MBR-process där PAK tillsätts till MBR-reaktorn.

En kombination av PAK och UF tillgodoser kravet på ett effektivt avskiljningssystem med aktivt kol som avskiljer föroreningar med adsorption och ultrafiltrering som avskiljer alla föroreningar större än membranens porstorlek,

inklusive eventuella rester av förorenat, pulveriserat aktivt kol. En nackdel med användning av aktivt kol i pulverform är att det försvårar en regenerering av det aktiva kolet. Vid användning av PAK - UF som separat reningssteg efter huvudrening ställs krav på separat hantering av det uppkomna slammet (retentatet) om det inte ska påverka kvalitén på det slam som produceras vid avloppsreningsverket. Om PAK istället doseras till en MBR-reaktor integrerat i reningsprocessen kommer den befintliga slamhanteringen påverkas med en negativ påverkan på slamkvaliten som följd.

#### **5.1.7. Kombination ozonering – biologiskt aktivt filter (med granulerat aktivt kol)**

Denna teknikkombination består av ozonering och en biologisk efterpolering med granulerat aktivt kol (GAK) som filtermaterial. Den ger en flerstegsrening med både oxidativ och biologisk nedbrytning samt adsorption av föroreningar och biprodukter som bildas vid ozonering. Ozoneringssteget medför en dynamisk styrning av reningseffektiviteten. Teknikkombinationen har testats både med och utan mikrofiltrering som förbehandling före ozonering (Baresel m.fl., 2017) och ger en närmast komplett rening av läkemedelsrester och andra föroreningar, förutom mikroplaster.

#### **5.1.8. Kombination ultrafiltrering - biologiskt aktivt filter (med granulerat aktivt kol)**

Detta system kombinerar membranseparation med ett biologiskt och adsorberande filter. Membranen kan vara integrerade i avloppsreningsverket och då kallas systemet membranbioreaktor (MBR) med efterföljande biologiskt och adsorberande filter (BAF(GAK)).

Att det aktiva kolet inte tillsätts i membransteget innebär en mindre belastning av membranen och att en negativ påverkan på slamkvaliteten kan undvikas, jämfört med systemet med pulveriserat aktivt kol (PAK). Reningseffektiviteten i BAF-systemet bestäms helt av biologin samt av adsorptionsförmågan hos filtermaterialet. Kombinationen av UF som avlägsnar mikroplaster och multiresistensbakterier, och aktivt kol som avskiljer läkemedelsrester inklusive antibiotika, medför att en eventuell multiresistens nedströms avloppsreningsverket kan förhindras med denna teknikkombination (Baresel m.fl., 2017).

#### **5.1.9. Exempel på tekniker under utveckling**

I detta kapitel beskrivs ett antal tekniker som bedöms vara under utveckling. De förekommer idag framför allt i pilotskala. Hur snabbt dessa tekniker är redo för implementering beror på ett antal faktorer, såsom till exempel reningsresultat i större skala och konkurrenskraft avseende investerings- och driftskostnader. Omvärldsfaktorer som till exempel behovet att återanvända avloppsvatten kan också vara av betydelse.

#### OMVÄND OSMOS/NANOFILTERING

Denna teknik kräver mindre nominell porstorlek än ultrafiltrering (0,001-0,01 µm). Vid användning krävs ofta förbehandling med UF för mer resurseffektiv drift och hanterbart underhåll. En bred rening kan åstadkommas men inte för alla substanser (till exempel inte för diklofenak). Dessutom bildas ett koncentrat som behöver behandlas med till exempel ozon eller GAK, vilket innebär att membransteget inte har något riktigt berättigande avseende läkemedelsrening (Baresel m.fl., 2017). Tekniken är mest relevant vid frågeställningar där det är aktuellt att återanvända det renade avloppsvattnet.

#### AVANCERADE OXIDATIVA PROCESSER (AOP)

Dessa processer omfattar avancerad oxidativ behandling med till exempel UV eller titandioxid (TiO<sub>2</sub>) i kombination med ozon. Tekniken kräver ett mer eller mindre partikelfritt vatten och separata reaktorvolymmer. Slutsatsen från IVLs kartläggning av tidigare studier är att vissa läkemedelssubstanser kan mineraliseras fullständigt med AOP, medan andra är betydligt mer resistenta och svårare att avlägsna (Baresel m.fl., 2017). AOP har potential som kompletterande reningsteknik vid förekomst av höga läkemedelskoncentrationer eller då periodvisa krav förekommer på läkemedelsrening där andra presenterade tekniker inte räcker till (Baresel m.fl., 2017).

#### BIOLOGISKT AKTIVT KOL (BAK)

En utveckling av aktivt kol kommer att kunna ge en mer resurseffektiv rening med GAK/BAF och PAK. Eftersom 10-20% av det aktiva kolet förbrukas vid regenerering är det intressant att hitta material av icke-fossilt ursprung, till exempel tillverkning av biokol från avloppsreningsverkens avloppsslam. Processen är under utveckling och kräver fortsatta forsknings- och utvecklingsinsatser. Inom SystemLäk<sup>23</sup> har adsorptionstester genomförts med olika typer av biokol, där vissa kunde reducera läkemedelsrester i försöksvattnet med en kapacitet jämförbar med kommersiellt aktivt kol (Baresel m.fl., 2017).

## 5.2. Samlad bedömning av reningseffektivitet

Läkemedelsrester når reningsverken framförallt i form av metaboliter som bildas i människokroppen och utsöndras via urin och avföring. En nyligen utförd svensk studie (Hörsing m fl., 2014) visar att ca 25 % av läkemedelsresterna renas bort i reningsverken, och att totalhalten av ytterligare ca 25 % minskas men dessa avlägsnas inte helt från vattenfasen. Med reningen avses här att substanserna avlägsnas från vattenfasen antingen via nedbrytning eller via överföring till slamfasen. Övriga 50 % bedöms inte kunna renas bort utan kompletterande eller förbättrade reningstekniker. (Baresel m.fl., 2017)

---

<sup>23</sup> Se bilaga 3.

I tabell 3 redovisas en bedömningsmatris med avseende på rening av läkemedelsrester (Baresel m.fl., 2017). Bedömningen av reningseffektiviteten görs i fyra kategorier med ingen, låg, måttlig eller bra reningsgrad.

I Baresel m.fl. (2017) beskrivs varje läkemedel mer i detalj. För vissa föroreningar som ingår i kartläggningen finns ingen information om reningseffektivitet för några eller samtliga reningstekniker. Ifall de biokemiska och fysikaliska egenskaperna för dessa föroreningar tillåter en bedömning av en förväntad reningseffekt så anges detta nedan i tabell 3. I bedömningen av den förväntade reningseffekten ingår bland annat egenskaper som antalet omättade bindningar, innehåll av halogener (klor, fluor, brom, m.m.), densitet, textur, polaritet och löslighet.

Som kan utläsas av tabellen resulterar teknikkombinationer som använder sig av olika reningsmekanismer såsom fysikaliska metoder, oxidativa metoder, biologiska metoder och adsorption en komplett rening av samtliga läkemedelssubstanser. Ultrafiltrering UF(MBR) renar endast partikulära fraktioner, vilket innebär att den inte har någon reningseffekt på läkemedelsrester som är lösta i vattenfasen.

**Tabell 3. Bedömningsmatris för tekniska lösningar med avseende på läkemedelsrening.**  
 Källa: Baresel m.fl. (2017).

| Läkemedel                  | Reningsteknik/-kombination |       |                  |                  |                             |        |                           |              |
|----------------------------|----------------------------|-------|------------------|------------------|-----------------------------|--------|---------------------------|--------------|
|                            | UF <sup>1</sup>            | GAK   | PAK <sup>2</sup> | BAF <sup>3</sup> | O <sub>3</sub> <sup>4</sup> | PAK-UF | O <sub>3</sub> -BAF (GAK) | UF-BAF (GAK) |
| Azitromycin                | -                          | (+++) | +++              | +++              | +                           | +++    | +++                       | +++          |
| Ciprofloxacin              | -                          | +++   | +++              | +++              | ++                          | +++    | +++                       | +++          |
| Claritromycin              | -                          | (+++) | (+++)            | (+++)            | (+)                         | (+++)  | (+++)                     | (+++)        |
| Diklofenac                 | -                          | +++   | +++              | +++              | +++                         | +++    | +++                       | +++          |
| E2 (17β-estradiol)         | -                          | +++   | +++              | +++              | +++                         | +++    | (+++)                     | +++          |
| EE2 (17α-ethinylestradiol) | -                          | +++   | +++              | +++              | +++                         | +++    | (+++)                     | +++          |
| Erytromycin                | -                          | (+++) | (+++)            | (+++)            | (+)                         | (+++)  | (+++)                     | (+++)        |
| Ibuprofen                  | -                          | +++   | +++              | +++              | ++                          | +++    | +++                       | +++          |
| Karbamazepin               | -                          | +++   | +++              | +++              | +++                         | +++    | +++                       | +++          |
| Levonorgestrel             | -                          | (+++) | (+++)            | (+++)            | (+++)                       | (+++)  | (+++)                     | (+++)        |
| Metoprolol                 | -                          | +++   | +++              | +++              | +++                         | +++    | +++                       | +++          |
| Oxazepam                   | -                          | +++   | +++              | +++              | ++                          | +++    | +++                       | +++          |
| Propranolol                | -                          | +++   | +++              | +++              | (+++)                       | +++    | +++                       | +++          |
| Sertralin                  | -                          | +++   | +                | +++              | ++                          | +      | +++                       | +++          |
| Sulfametoxazol             | -                          | +++   | +++              | +++              | +++                         | +++    | +++                       | +++          |
| Trimetroprim               | -                          | +++   | (++)             | +++              | +++                         | (++)   | +++                       | +++          |

- = ingen rening, + = 0-<20%, ++ = 20-<80%, +++ = >80% reningseffekt; ( ) = förväntad effekt utifrån substansens egenskaper och teknikens reningsmekanism.

UF = ultrafiltrering, GAK = granulerat aktivt kol, PAK = pulveriserat aktivt kol, BAF = biologiskt aktivt filter, O<sub>3</sub> – Ozonering, PAK-UF = teknikkombination PAK och UF, O<sub>3</sub>-BAF(GAK) = teknikkombination O<sub>3</sub> och BAF med GAK som filtermaterial, UF-BAF(GAK) = teknikkombination UF och BAF med GAK som filtermaterial.

<sup>1</sup> Viss avskiljning kan ske för substanser som sitter på partiklar

<sup>2</sup> Förutsätter effektiv avskiljning av PAK

<sup>3</sup> Här med GAK som filtermaterial

<sup>4</sup> För en ozondos på mellan 0,5-1 mg O<sub>3</sub>/g DOC

I tabell 4 redovisas reningseffektiviteten med avseende på andra föroreningar. Teknikkombinationer ger en mer långtgående rening för fler substanser än varje teknik för sig. Ultrafiltrering (UF/MBR) har en bra reningseffekt på patogener och bakterier och därmed även på antibiotikaresistens (VRE). Förutom för nonylfenol, bisfenol A och östrogena effekter (YES) som effektivare tas bort via ozonering, så ger adsorptiva/biologiska reningstekniker en något högre reningseffekt på många föroreningar (Baresel m.fl., 2017).

**Tabell 4. Bedömningsmatris för tekniska lösningar med avseende på rening av andra substanser eller risk för ökad förekomst av olika effekter**

Källa: Baresel m.fl. (2017).

| Effekt/förorening                               | Reningsteknik/-kombination |                  |       |       |                |        |                           |              |
|---|----------------------------|------------------|-------|-------|----------------|--------|---------------------------|--------------|
|   | UF                         | GAK <sup>#</sup> | PAK   | BAF   | O <sub>3</sub> | PAK-UF | O <sub>3</sub> -BAF (GAK) | UF-BAF (GAK) |
| Antibiotikaresistens (VRE)                      | ++                         | +                | +     | +     | +              | +++    | ++                        | +++          |
| Smittrisk                                       | +++                        | +                | -     | +     | ++             | +++    | ++                        | +++          |
| Bisphenol A                                     | -                          | +                | +     | +     | +++            | +      | +++                       | +            |
| Cybutryne/Irgarol                               | -                          | (+++)            | (+++) | (+++) | (+++)          | (+++)  | (+++)                     | (+++)        |
| Dioxiner <sup>1</sup><br>(PCB-28 till PCB-189)  | -                          | (+++)            | (+++) | (+++) | (++)           | (+++)  | (+++)                     | (+++)        |
| Endotoxiner                                     | -                          | (+++)            | (+++) | (+++) | (+)            | (+++)  | (+++)                     | (+++)        |
| Östrogena effekter (YES)                        | -                          | -                | (-)   | -     | +++            | (-)    | +++                       | (-)          |
| Ftalater (t.ex. DEHP)                           | -                          | +++              | +++   | +++   | +              | +++    | +++                       | +++          |
| Flamskyddsmedel (t.ex. HBCD)                    | -                          | +++              | +++   | +++   | +              | +++    | +++                       | +++          |
| Kloralkaner (C10 till C13) <sup>1</sup>         | -                          | (+++)            | (+++) | (+++) | (+)            | (+++)  | (+++)                     | (+++)        |
| Linjära alkylsulfonater (LAS)<br>(C10 till C13) | -                          | (+++)            | (+++) | (+++) | (+++)          | (+++)  | (+++)                     | (+++)        |
| Nonylfenol                                      | -                          | +                | +     | +     | ++             | +      | ++                        | +            |
| Oktylfenol                                      | -                          | +++              | +++   | +++   | ++             | +++    | +++                       | +++          |
| PFAS (inkl. PFOS)                               | -                          | +++              | +++   | +++   | +              | +++    | +++                       | +++          |
| Sukralos  | -                          | +++              | +++   | +++   | +              | +++    | +++                       | +++          |
| Terbutryn                                       | -                          | (+++)            | (+++) | (+++) | (+++)          | (+++)  | (+++)                     | (+++)        |
| Tributyltenn (TBT) <sup>1</sup>                 | -                          | (+++)            | (+++) | (+++) | (+)            | (+++)  | (+++)                     | (+++)        |
| Triklorbensen <sup>1</sup>                      | -                          | (+++)            | (+++) | (+++) | (++)           | (+++)  | (+++)                     | (+++)        |
| Triclosan                                       | -                          | +++              | +++   | +++   | ++             | +++    | +++                       | +++          |
| Tungmetaller <sup>2</sup>                       | (+)                        | (+)              | (+)   | (+)   | -              | (+)    | (+)                       | (+)          |
| Undviks skadliga nedbrytningsprodukter          | Ja                         | ja               | Ja    | Ja    | nej            | ja     | ja                        | ja           |

- = ingen rening, + = 0-<20%, ++ = 20-<70%, +++ = >70% reningseffekt; ( ) = förväntad effekt utifrån substansens egenskaper och teknikens reningsmekanism).

UF = ultrafiltrering, GAK = granulerat aktivt kol, PAK = pulveriserat aktivt kol, BAF = biologiskt aktivt filter, O<sub>3</sub> = ozonering, PAK-UF = teknikkombination PAK och UF, O<sub>3</sub>-BAF(GAK) = teknikkombination O<sub>3</sub> och BAF med GAK som filtermaterial, UF-BAF(GAK) = teknikkombination UF och BAF med GAK som filtermaterial.

<sup>1</sup> Hamnar mest i slamfasen.

<sup>2</sup> Förväntat effekt baseras på ett fåtal mätresultat för enstaka metaller och reningsmekanism.

### 5.3. Samlad bedömning av driftsaspekter

I tabell 5 redovisas en sammanställning över beaktade anläggnings- och driftsaspekter (Baresel m.fl., 2017).

Flera av de tekniker som finns för läkemedelsavskiljning liknar redan befintliga tekniker på avloppsreningsverk och är beprövade i fullskala vilket ger en värdefull driftserfarenhet, men implementeringen skulle innebära extra krav på underhåll och övervakning. Flertalet tekniker anses robusta, med stabil drift vid normala driftsförhållanden (Baresel m.fl., 2017). Tekniker med GAK/BAF liknar sandfiltersystem som är ett vanligt inslag på konventionella avloppsreningsverk och är lättast att implementera ur driftssynpunkt. Vid installation av UF/MBR eller ozonering behöver driftsaspekter relaterade till nya arbetsmoment kring rengöring av membran och hantering av ozon och syrgas sammanställas.

Samtliga tekniker fungerar vid både mindre och större avloppsreningsverk. Dock är de beroende av en väl fungerande huvudrening vilket framförallt behöver beaktas vid mindre avloppsreningsverk utan komplett rening. En rening av närsalter, biologiskt material och suspenderade ämnen behöver vara på plats innan installation av kompletterande rening av läkemedelsrester. Vid rening med UF/MBR krävs dessutom en förfiltrering genom sil eller liknande för att skydda membranerna.

En aspekt vid implementering av avancerad rening är hur tekniken klarar av en dynamisk belastning, detta både m a p både reningseffektivitet och resurseffektivitet, vilket i slutändan påverkar driftkostnaden för anläggningen. Vid ozonering eller dosering av pulveriserat aktivt kol (PAK) kan mängden oxidations-/adsorptionsmedel samt kontakt- eller uppehållstiden styras utifrån inkommande belastning, som kan variera både över dygnet, veckan och över året. Vid användning av granulerat aktivt kol (BAF/GAK) är det kontakt- eller uppehållstiden och val av material som kan påverka reningseffektiviteten.

Vid drift med hög hydraulisk belastning, med risk för slamflykt och driftstörningar, rekommenderas att möjligheten att förbilda den avancerade reningen, alternativt möjligheter till flödesutjämning, för att minska risken för driftstörningar och säkerställa en resurseffektiv rening (Baresel m.fl., 2017).

Vid implementering av avancerad rening i fullskala krävs ytterligare arbete för att identifiera indikatorer och analysmetoder för att mäta reningseffektiviteten, både vid drift och för uppföljning av reningseffektivitet.



**Tabell 5. Bedömningsmatris för tekniska lösningar med avseende på anläggnings- och driftsaspekter.** Källa: Baresel m.fl. (2017)

|  | Reningsteknik/-kombination |                |                  |                  |                |                  |                | O <sub>3</sub> -BAF (GAK) | UF-BAF (GAK)     |
|--|----------------------------|----------------|------------------|------------------|----------------|------------------|----------------|---------------------------|------------------|
|  | UF                         | GAK            | PAK              | BAF              | O <sub>3</sub> | PAK-UF           |                |                           |                  |
| Robust rening                                  | ☺                          | ☺              | ☺                | ☺                | ☺              | ☺                | ☺              | ☺                         | ☺                |
| Prövad teknik i fullskala                      | ☺                          | ☺              | ☺                | ☺                | ☺              | ☺ <sup>1</sup>   | ☺              | ☺                         | ☺ <sup>1</sup>   |
| Kräver lite underhåll/övervakning              | ☺                          | ☺              | ☺                | ☺                | ☺              | ☺                | ☺              | ☺                         | ☺                |
| Fungerar lösningen utan krav på andra tekniker | ☺                          | ☺ <sup>2</sup> | ☺ <sup>3</sup>   | ☺ <sup>2</sup>   | ☺ <sup>2</sup> | ☺                | ☺ <sup>2</sup> | ☺                         | ☺                |
| Lämplig anläggningsstorlek                     | Ingen begränsning          |                |                  |                  |                |                  |                |                           |                  |
| Litet platsbehov <sup>5</sup>                  | ☺/☺ <sup>4</sup>           | ☺              | ☺/☺ <sup>4</sup> | ☺/☺ <sup>4</sup> | ☺              | ☺/☺ <sup>4</sup> | ☺              | ☺/☺ <sup>4</sup>          | ☺/☺ <sup>4</sup> |

☺ = positivt svar, ☺ = varken positivt eller negativt, ☺ = negativt svar.

UF = ultrafiltrering, GAK = granulerat aktivt kol, PAK = pulveriserat aktivt kol, BAF = biologiskt aktivt filter, O<sub>3</sub> = ozonering, PAK-UF = teknikkombination PAK och UF, O<sub>3</sub>-BAF(GAK) = teknikkombination O<sub>3</sub> och BAF med GAK som filtermaterial, UF-BAF(GAK) = teknikkombination UF och BAF med GAK som filtermaterial.

<sup>1</sup> Kombinationen har inte testats i fullskala

<sup>2</sup> Extra förfiltrering kan vara fördelaktigt men är inget krav, kapaciteten minskar dock med fler partiklar

<sup>3</sup> Påverkar slamhantering och ett effektivt separationssteg krävs

<sup>4</sup> Integrerat/Separat lösning

<sup>5</sup> Platsbehov i jämförelse med andra tekniker/kombinationer i tabellen. Notera att befintlig infrastruktur så som sandfilter kan användas för placering av de olika teknikerna

I tabell 6 redovisas en riskbedömning med avseende på bland annat arbetsmiljö (Baresel m.fl., 2017). Hantering av ozon och dammande material (PAK) innebär att arbetsmiljörisker behöver beaktas. Även hantering av kemikalier för rengöring av membran samt flytande syre kräver ett aktivt arbetsmiljöarbete för att minska riskerna. Vid ozonering bildas transformationsprodukter, vilka eventuellt skulle kunna innebära en viss arbetsmiljörisk, vilket ännu inte undersökts närmare. (Baresel m.fl., 2017).

**Tabell 6. Bedömningsmatris för tekniska lösningar med avseende på miljöaspekter**  
 Källa: Baresel m.fl. (2017).

|   | Reningsteknik/-kombination |     |     |     |                 |        |     | O <sub>3</sub> -BAF (GAK) | UF-BAF (GAK) |
|---|----------------------------|-----|-----|-----|-----------------|--------|-----|---------------------------|--------------|
|   | UF                         | GAK | PAK | BAF | O <sub>3</sub>  | PAK-UF |     |                           |              |
| Skapas en restprodukt med hanteringsproblem | nej                        | nej | ja  | nej | ja <sup>1</sup> | ja     | nej | nej                       |              |
| Riskbedömning arbetsmiljö                   | ☺                          | ☺   | ☺   | ☺   | ☺               | ☺      | ☺   | ☺                         |              |

☺ = inga problem, ☺ = vissa problem, ☺ = problem.

UF = ultrafiltrering, GAK = granulerat aktivt kol, PAK = pulveriserat aktivt kol, BAF = biologiskt aktivt filter, O<sub>3</sub> = ozonering, PAK-UF = teknikkombination PAK och UF, O<sub>3</sub>-BAF(GAK) = teknikkombination O<sub>3</sub> och BAF med GAK som filtermaterial, UF-BAF(GAK) = teknikkombination UF och BAF med GAK som filtermaterial

<sup>1</sup> Risk för nedbrytningsprodukter vid enbart ozonering som slutbehandling

## 5.4. Samlad bedömning av miljöaspekter

De miljökostnader som är förknippade med studerade tekniker handlar främst om en ökad energianvändning samt kemikalieanvändning. För att kunna få en uppfattning om vilken teknik som har lägst miljöpåverkan krävs att en systemanalys genomförs med en samlad bedömning av miljöaspekter. Detta är en komplicerad analys att göra, till exempel är ekotoxiska effekter på mark och vattensystem svåra att kvantifiera (Baresel m.fl., 2017). En livscykelanalys, LCA, genomförs för närvarande för några reningstekniker av IVL<sup>24</sup>.

### ENERGIANVÄNDNING

Samtliga studerade reningstekniker/kombinationer kommer att medföra en ökad energianvändning och därmed risk för utsläpp vid produktionen av energin. För ozonering och UF-tekniker är det själva driften av dessa reningssteg som innebär en ökad energianvändning. För PAK, GAK, BAF och kombinationer med dessa tekniker är det främst produktion och generering av aktivt kol som kräver extra energi<sup>25</sup>. (Baresel m.fl., 2017)

Den ökade energianvändningen för drift av teknikerna är, som tabell 7 visar, lägst för filtertechnikerna (exkl. membranseparation). För andra tekniker beräknas kompletterande PAK, GAK eller BAF-system medföra en ökad energiförbrukning vid stora avloppsreningsverk (dvs. > 100 000 pe) med ca 2-10 % (1-6 kWh/(pe, år), ozonering med ca 20-60 % (10-36 kWh/(pe, år) och UF-steg upp till 100 % (ca 60 kWh/(pe, år) (Baresel m.fl., 2017). Den uppskattade extra energianvändningen för drift av ett UF-steg (dvs. 60kWh) är ungefär lika mycket som det går åt att värma upp 3 000 villor med direktverkande el under ett år (under antagandet att det behövs 20 000 kWh/år)<sup>26</sup>.

Större verk är generellt sett energieffektivare än mindre verk<sup>27</sup>. Den extra energianvändningen som teknikerna medför kan även komma att ändras i framtiden till följd av bättre implementering och utveckling av teknikerna, vilket i sin tur kan bidra till mer resurseffektiva processer (Baresel m.fl., 2017). Alternativa energikällor och effektivare processer kan påverka potentiella miljökostnader och kan även komma att förändras framöver. Vilken påverkan en ökad energianvändning till följd av avancerad rening kan få på andra miljömål, främst *Begränsad klimatpåverkan* och *Frisk Luft*, är därför svårt att bedöma i dagsläget.

<sup>24</sup> I pågående projekt "Systemförslag för rening av läkemedelsrester och andra prioriterade svårnedbrytbara ämnen" (SystemLäk), se bilaga 3.

<sup>25</sup> Vid användning av aktivt kol behövs resurser både vid tillverkning och regenerering i form av både material (kol) och energi (gas, ånga, el). (Baresel m.fl., 2017)

<sup>26</sup> 60 kWh (pe,år) \* 100 000 pe = 6 milj kWh/år / 20 000 kWh = 300 villor/år \* 10 st verk = 3 000 villor/år.

<sup>27</sup> Nyckeltal för svenska reningsverk skattar elenergianvändningen till 50-60 kWh/(pe, år), vilket innebär 0,4 kWh/m<sup>3</sup> för stora anläggningar (> 100 000 pe). För mindre anläggningar överstiger elanvändningen 100 kWh/(pe, år), dvs. > 0,6 kWh/m<sup>3</sup> behandlat vatten (Baresel m.fl., 2017).

#### FÖRBRUKNING AV KEMIKALIER OCH ANDRA MATERIAL

Vissa reningstekniker kräver kemikalier som vid tillverkning och användning kan orsaka en viss miljöpåverkan, och därmed effekt på miljömålet *Gifrfri Miljö*. Vid implementering av ultrafiltrering/MBR krävs kemikalier för rengöring av membran, vilket medför en ökad miljöpåverkan, liksom ett arbetsmiljömoment som behöver tas hänsyn till. Eftersom ozongasen är reaktiv kan den inte komprimeras och lagras på ett enkelt sätt, varför den genereras på plats, vilket innebär att flytande syre hanteras vid ozongenerering.

#### BILDANDET AV RESTPRODUKTER

I tabell 6 ovan redovisas en samlad bild av miljöpåverkan av de restprodukter som bildas vid införandet av avancerad rening.

Användningen av pulveriserat aktivt kol medför att en restprodukt bildas och som behöver hanteras. Antingen genom en separat hantering av det förorenade aktiva kolet i en PAK/slamhantering, eller genom att PAK hamnar i avloppsslammet vilket hindrar möjligheten att använda det som gödningsmedel på åkermark.

Vid ultrafiltrering bildas ett koncentrat som återförs till den biologiska reningen där ytterligare nedbrytning sker. Vid tvätt av membran bildas ett retentat som även det tas om hand genom återföring till den biologiska reningen vid avloppsreningsverket, varvid de negativa effekterna för miljö och arbetsmiljö kan begränsas (Baresel m.fl., 2017).

Vid ozonering bildas transformationsprodukter (till exempel bromat, nitrosaminer, formaldehyd och andra okända ämnen), där vissa är stabila och andra nedbrytningsbara. De har potentiellt ekotoxikologiska effekter som är svåra att kvantifiera. Med efterbehandling med biologisk rening och/eller aktivt kol kan dessa effekter begränsas (Baresel m.fl., 2017).

## 5.5. Samlad bedömning vid val av teknik

Det är viktigt välja reningsteknik utifrån vilken målsättning som gäller och utifrån lokala förutsättningar. Exempel på faktorer att beakta vid val av teknik och utformning av ett kompletterande reningssteg kan vara:

- Befintlig reningsprocess i avloppsreningsverket. Samtliga tekniker är beroende av en väl fungerande huvudrening vilket framförallt behöver beaktas vid mindre avloppsreningsverk utan komplett rening (Baresel m.fl., 2017). En rening av närsalter, biologiskt material och suspenderade ämnen behöver vara på plats innan installation av kompletterande rening av läkemedelsrester. Vid rening med ultrafiltrering/membranbioreaktor krävs dessutom en förfiltrering genom sil eller liknande för att skydda membranen.

- Befintlig infrastruktur och platsspecifika förutsättningar. Flera tekniker kan användas antingen integrerat i huvudreningen eller som kompletterande reningssteg. Utöver befintlig reningsprocess blir befintlig infrastruktur och platsspecifika förutsättningar såsom tillgängligt utrymme viktiga att ta hänsyn till. Till exempel kan ett sandfilter användas för implementeringen av ett reningssteg med granulerat aktivt kol (GAK/BAF).
- Inkommande belastning och karakterisering av inkommande vatten (till exempel andel industrianslutning respektive andel tillskottsvatten).
- Variationer i anläggningens belastning och flöde över tid, vilket kan medföra behov av en dynamisk reningsprocess med ökad styrning. Överväg att designa anläggningen så att den kan förbiledas vid höga flöden då risken är stor för slamflykt och driftstörningar. Ska läkemedelsreningen vara i drift delar av året, eller på delar av flödet, med hänsyn tagen till belastning och recipientens känslighet?
- Vid implementering av avancerad rening i fullskala krävs ytterligare arbete för att identifiera indikatorer och analysmetoder för att mäta reningseffektiviteten, både vid drift, för uppföljning av reningseffektivitet och mätning av eventuella biprodukters ekotoxicitet i utgående vatten.
- Befintlig slamavskiljning behöver beaktas vid val av teknik eftersom några tekniker riskerar att resultera i ett kontaminerat slam.
- Det finns skalfördelar vid installation av kompletterande rening, där drifts- och investeringskostnaden är lägre för större avloppsreningsverk.
- Målsättningen med det extra reningssteget behöver beaktas vid val av teknik, liksom investeringens livslängd. En enskild reningsteknik ger i dagsläget inte lika komplett rening som en kombination av tekniker, men kan vara det som kan motiveras av platsspecifika skäl eller ekonomi. Det sker en kontinuerlig teknikutveckling inom området, samtidigt som det finns en risk att nya typer av ämnen identifieras som behöver avskiljas. Detta kan tala för att designa den avancerade reningen utifrån målsättningen att erhålla en rening av ett brett spektrum av ämnen, snarare än några få specifika ämnen.

## 5.6. Slutsatser

- Det finns tillgängliga tekniker för avancerad rening av avloppsvatten för att rena avloppsvatten från läkemedelsrester. Teknikkombinationer som använder sig av olika reningsmekanismer såsom fysikaliska metoder, oxidativa metoder, biologiska metoder och adsorption resulterar i en näst intill fullständig rening av samtliga läkemedelssubstanser från avloppsvattnet (Baresel m.fl., 2017). Ultrafiltrering renar endast partikulära fraktioner, vilket innebär att den inte har någon reningseffekt på läkemedelsrester som är lösta i vattenfasen.

- Teknikkombinationer ger, till skillnad mot enskilda tekniker, en mer långtgående rening för fler substanser, både läkemedelsrester, mikroplaster och andra oönskade ämnen.  
Sett till rening av andra föroreningar och mikroplaster ger teknikkombinationer även här en mer långtgående rening för fler substanser än varje teknik för sig. Ultrafiltrering (UF/MBR) har utöver komplett avskiljning av mikroplaster en bra reningseffekt på patogener och bakterier och därmed även på antibiotikaresistens (VRE). Förutom för nonylfenol, bisfenol A och östrogena effekter (YES) som effektivare tas bort via ozonering, så ger adsorptiva/biologiska reningstekniker en något högre reningseffekt på många föroreningar (Baresel m.fl., 2017).
- Flera av de tekniker som finns för läkemedelsavskiljning liknar processmässigt redan befintliga tekniker på avloppsreningsverk. Till exempel liknar tekniker med granulerat aktivt kol de sandfiltersystem som är ett vanligt inslag på konventionella avloppsreningsverk, och bedöms därför lättast att implementera ur driftssynpunkt. Flertalet av de tekniker för avancerad rening som presenterats här är beprövade i fullskala internationellt vilket ger en värdefull driftserfarenhet. Flertalet tekniker bedöms vara robusta, med stabil drift vid normala driftsförhållanden (Baresel m.fl., 2017). Vid installation av ultrafilter/membranbioreaktorer eller ozonering behöver driftsaspekter relaterade till nya arbetsmoment kring rengöring av membran och hantering av ozon sammanställas.
- Avancerad rening innebär en ökad energianvändning och flera tekniker medför också en ökad kemikalieanvändning, vilket innebär en negativ påverkan på andra miljökvalitetsmål. Ozonering ger uppkomst till restprodukter som har potentiellt ekotoxikologiska effekter som är svåra att kvantifiera. Med efterbehandling med biologisk rening och/eller aktivt kol kan dessa effekter begränsas.
- Det är viktigt att välja reningsteknik utifrån vilken målsättning som gäller och lokala förutsättningar. Exempel på faktorer att beakta vid val av teknik och utformning av ett kompletterande reningssteg kan vara befintlig reningsprocess i avloppsreningsverket, befintlig infrastruktur och platsspecifika förutsättningar, karakterisering av inkommande avloppsvatten med avseende på sammansättning och flöde, befintlig och framtida slamanvändning liksom målsättningen med det extra reningssteget.

## 6. Samhällsekonomisk analys

*I detta kapitel förs ett resonemang om drivkrafter och hinder att införa avancerad rening vid svenska avloppsreningsverks. Vidare förs ett kvalitativt resonemang om nyttor och sedan ges information om kostnader (reningskostnader, miljökostnader m.m.) som uppkommer till följd av avancerad rening.*

### 6.1. Drivkrafter för att införa avancerad rening vid avloppsreningsverk

Vissa drivkrafter kan föreligga som innebär positiva incitament att införa avancerad rening vid avloppsreningsverk i Sverige. Några drivkrafter har identifierats men fler kan finnas.

#### 6.1.1. Framtida lagkrav

I dagsläget finns inga krav i Sverige på att avloppsreningsverk ska kunna avlägsna läkemedelsrester. Enligt befintlig lagstiftning kan dock mer långtgående reningskrav ställas i en enskild miljöprövning på vilka reningskrav som ska gälla i svenska avloppsreningsverk så länge EU:s avloppsdirektiv<sup>28</sup> följs. Detta eftersom avloppsdirektivet är ett minimidirektiv. De huvudsakliga styrmedlen kopplade till utsläpp från svenska avloppsreningsverk är krav i generella föreskrifter (bl.a. om bästa möjliga teknik (BMT) enligt bemyndigande i 9 kap. 4-5 § miljöbalken (MB), samt tillståndsprövning i det enskilda fallet (miljöfarlig verksamhet enligt 9 kap. MB) då miljökvalitetsnormer (enligt 5 kap. 2-8 §§ MB) beaktas. En drivkraft för att införa ytterligare reningssteg vid svenska avloppsreningsverk är att nya eller tillkommande krav på rening av miljöfarliga ämnen förväntas komma via svensk lagstiftning eller via EU:s ramdirektiv för vatten<sup>29</sup>.

#### RAMDIREKTIVET FÖR VATTEN

Enligt EU:s ramdirektiv för vatten ska god ekologisk och kemisk status vara uppnådd i alla vattenförekomster inom EU år 2015 och får inte försämrats om inte undantag har beslutats<sup>30</sup>. Det första prioämnesdirektivet<sup>31</sup> innehöll miljökvalitetsnormer för 33 prioriterade ämnen för vilka kemisk status ska bedömas i sjöar, vattendrag och kustvatten. Därefter har 12 nya ämnen

<sup>28</sup> Rådets direktiv 91/271/EEG av den 21 maj 1991 om rening av avloppsvatten från tätbebyggelse.

<sup>29</sup> Europaparlamentets och rådets direktiv 2000/60/EG av den 23 oktober 2000 om upprättande av en ram för gemenskapens åtgärder på vattenpolitikens område.

<sup>30</sup> Vilka möjligheter som finns för att göra undantag framgår av Havs- och vattenmyndighetens Vägledning för 4 kap. 9-10 §§ vattenförvaltningsförordningen om förlängd tidsfrist och mindre stränga krav – undantag från att nå en god status/potential till 2015 (Havs- och vattenmyndigheten, 2014).

<sup>31</sup> Europaparlamentets och rådets direktiv 2008/105/EG av den 16 december 2008 om miljökvalitetsnormer inom vattenpolitikens område och ändring och senare upphävande av rådets direktiv 82/176/EEG, 83/513/EEG, 84/156/EEG, 84/491/EEG och 86/280/EEG, samt om ändring av Europaparlamentets och rådets direktiv 2000/60/EG.

tillkommit<sup>32</sup>. Det har även skapats en bevakningslista över ämnen för att öka kunskapen om förekomsten av dessa ämnen och ta fram underlag för att föreslå nya prioriterade ämnen<sup>33</sup>. På listan över prioriterade ämnen ingår i dagsläget inga läkemedelsrester. På bevakningslistan finns däremot några läkemedelssubstanser/hormoner; diklofenak (smärtstillande/antiinflammatoriskt), etinylestradiol, estradiol och östron (hormoner), samt erytromycin, klaritromycin och azitromycin (antimikrobiella substanser) som hör till gruppen makrolida antibiotika.

EU:s lista över prioriterade ämnen samt bevakningslistan innebär att ett underlag finns som framöver skulle kunna ligga till grund för eventuellt striktare krav på EU-nivå för dessa ämnen. Enskilda medlemsländer kan även välja att införa skarpare krav än EU-gemensamma föreskrifter (Cimbritz m.fl., 2016).

Diklofenak, estradiol och etinylestradiol finns upptagna som särskilt förorenande ämnen (SFÅ) enligt Havs-och vattenmyndighetens föreskrifter (2013:19) om klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvatten. Därmed finns bedömningsgrunder för dessa tre ämnen i Sverige. Om dessa ämnen släpps ut i en betydande mängd<sup>34</sup> i en specifik vattenförekomst ska bedömningsgrunderna användas för att bedöma om ämnena förekommer i sådana halter att risk föreligger att miljö kvalitetsnormen för ekologisk status i vattenförekomsten inte nås eller kan försämrats. Miljö kvalitetsnormerna ska tillämpas vid tillståndsgivning och tillsyn. Kraven på att utreda hur verksamheten påverkar en norm kan bli långtgående, exempelvis i samband med en tillståndsprövning. Åtgärdsprogrammen enligt havsmiljöförordningen (2010:1341) och vattenförvaltningsförordningen (2004:660) kan utlösa krav på omprövning av tillstånden.

### 6.1.2. Andra drivkrafter

Förutom lagkrav finns även andra drivkrafter att införa avancerad rening vid avloppsreningsverk. Exempel på dessa kan vara en vilja att vara föregångare, engagemang inifrån organisationen samt kostnad kontra risk för recipienten.

Rening från läkemedelsrester har under flera år tillämpats vid Astra Zenecas anläggning i Södertälje och på vid Tekniska verken, Linköping pågår införandet av en fullskaleanläggning för läkemedelsrening vilken tas i drift under 2017. Dessutom genomförs försök med avancerad rening på flera kommunala anläggningar i Sverige, bland annat i Kalmar, Stockholm och Knivsta. Drivkrafter bakom beslut om avancerad rening beskrivs nedan för Tekniska verken, Linköping

<sup>32</sup> Europaparlamentets och rådets direktiv 2013/39/EU av den 12 augusti 2013 om ändring av direktiven 2000/60/EG och 2008/105/EG vad gäller prioriterade ämnen på vattenpolitikens område.

<sup>33</sup> Kommissionens genomförandebeslut (EU) 2015/495 av den 20 mars 2015 om upprättande av en bevakningslista över ämnen för unionsomfattande övervakning inom vattenpolitikens område i enlighet med Europaparlamentet och rådets direktiv 2008/105/EG. Delgivet med nr C(2015) 1756.

<sup>34</sup> Med betydande mängd menas om det finns risk för att den ekologiska statusen påverkas negativt. Finns risk att miljö kvalitetsnormen överskrids innebär det en betydande mängd.

och Kalmar Vatten utifrån genomförda intervjuer (se även bilaga 6). Sist beskrivs även drivkrafter som lett fram till införande av avancerad rening i Schweiz.

#### DRIVKRAFTER TEKNISKA VERKEN, LINKÖPING<sup>35</sup>

Pågående installation av ett kompletterande ozoneringssteg vid Nykvarnsverket i Linköping<sup>36</sup> är det enda exemplet som finns för implementering av en större fullskaleanläggning i Sverige<sup>37</sup>. En riskanalys har genomförts som visar att halterna av ett antal läkemedelsrester (som uppmätts i utgående avloppsvatten) riskerar att påverka recipienten (Stångån) negativt (Sehlén m.fl., 2015)<sup>38</sup>. Beräknad kostnad (cirka 25 miljoner kr) har bedömts vara motiverad gentemot risken för miljön. Tekniska verken planerar inte att öka VA-taxan i kommunen för att täcka kostnaderna, utan har och kommer att genomföra effektiviseringar inom VA-verksamheten som kompenserar för den ökade driftkostnaden som ozoneringen medför.

De främsta drivkrafterna som lett fram till beslutet att införa avancerad rening vid Nykvarnsverket, är enligt Tekniska verken själva, en kombination av viljeriktning att *gå före* på ledningsnivå, vilja att *bidra till nytta för företag, miljö och samhälle*, ett *engagemang och kompetens* hos medarbetare att bedriva utvecklingsarbete, *tillgång till resurser* samt en bedömning att *kostnaderna* är rimliga *i relation till samhällsnyttan* av att undvika risker i miljön (dvs. för recipienten).

#### DRIVKRAFTER KALMAR VATTEN<sup>39</sup>

Kalmar Vatten planerar att bygga ett nytt avloppsreningsverk som ska ersätta det befintliga. Våren 2016 fattade kommunfullmäktige ett inriktningsbeslut och en programhandling är nu (år 2017) under framtagande. Tidplanen för det nya reningsverket är att börja bygga år 2019 och vara i full drift år 2023. Pilotförsök med ultrafiltrering med syfte att bl.a. avskilja mikroplast genomfördes under 2015-2016. Därefter har ytterligare ett reningssteg med aktivt kol lagts till för att utvärdera avskiljningen av läkemedelsrester och andra organiska föroreningar<sup>40</sup>. I inriktningsbeslutet inkluderas investering i en ultrafiltreringsanläggning, men något beslut om införande av läkemedelsrening är ännu inte fattat (april 2017). Som

<sup>35</sup> Lövsén (2017). Se även bilaga 6.

<sup>36</sup> Reningsverket är dimensionerat för 235 000 pe och ägs och drivs av Tekniska verken, Linköping som har 900 anställda varav ca 100 arbetar med VA-tjänster.

<sup>37</sup> Ett pilotprojekt, vars primära syfte var att undersöka ozonbehandlingen som ett alternativ för läkemedelsrening vid Nykvarnsverket i Linköping och att ge tillförlitligt tekniskt underlag för ett beslut om en fullskalig processlösning, genomfördes under 2014-2015 inom ramen för projektet SystemLäk finansierat av Havs- och vattenmyndigheten (Sehlén m.fl., 2015). Avseende SystemLäk, se även bilaga 3.

<sup>38</sup> Riskanalysen är baserad på EC/PNEC-kvoten i recipienten (Stångån). EC/PNEC-kvoten är förhållandet mellan halten i utgående vatten, EC (Environmental Concentration) och PNEC (Predicted No Effect Concentration). (Sehlén m.fl., 2015)

<sup>39</sup> Ullman och Zhao (2017). Se även bilaga 6.

<sup>40</sup> Detta pilotprojekt kommer att pågå under ett år och avslutas i februari 2018.



underlag för utformningen av det nya reningsverket har en multikriterieanalys genomförts under 2012 där bl.a. utsläpp till vatten och smittspridning beaktats<sup>41</sup>. En relativt stor utredning om framtida reningskrav genomfördes även specifikt som uppdateras löpande genom aktiv omvärldsbevakning. (Urban Water, 2012)

De främsta drivkrafterna bakom utvecklingsarbetet om införande av avancerad rening i det nya reningsverket är, enligt Kalmar Vatten själva, en kombination av att det finns en vilja från ledningshåll att *ligga i framkant, engagemang och kompetens* hos medarbetare att bedriva utvecklingsarbete, att det finns ett *politiskt intresse* för riskerna i miljön och att det finns en *förväntan på kommande lagkrav* på rening av läkemedelsrester. *Försiktighetsprincipen* har vidare varit en viktig drivkraft (bl.a. utifrån risk för spridning av antibiotikaresistenta bakterier). Däremot har motivet att införa avancerad rening baserat på recipientens beskaffenhet (nytta kontra kostnad) inte bedömts som tillräckligt starkt.

#### DRIVKRAFTER SCHWEIZ

Schweiz är det land som varit först med att driva fram en lagstiftning som medför storskalig och omfattande reningsverksutbyggnad. Lagstiftningen trädde i kraft i januari 2016. Det har dock tagit tid innan lagstiftningen kom på plats och flertalet omfattande utredningar har genomförts. Från problembeskrivning till lagstiftning har det tagit ca 10 år. Utbyggnaden ska vara genomförd till 2040 (dvs. under en 25-års period). Drivkrafterna som lett fram till beslutet om fullskalig införande av avancerad rening av mikroförroreningar var till en början resultat från flertalet forskningsprojekt som *konstaterade effekter på den akvatiska miljön* på grund av hormonstörande ämnen. Förutom miljöeffekter bedömdes även en *risk för förorening av dricksvatten* föreligga. Undersökningar visade även att *allmänheten är positivt inställd* och att det *finns en betalningsvilja för åtgärder* (se 6.3.4). Schweiz har generellt sett känsliga recipienter då flertalet av recipienterna är dricksvattentäkter. Flera länder nedströms påverkas även av förändringar i vattenmiljön i Schweiz. Avancerad rening har bedömts kunna medföra betydande förbättringar av vattenkvaliteten. Vidare har det bedömts att kostnadseffektiva tekniker finns tillgängliga. (Cimbritz m.fl., 2016)

Totalt kommer ca 100 av 750 anläggningar att uppgraderas. Vissa mindre verk stängs och överförs till större verk där reningen anses vara mer kostnadseffektiv. Avloppsreningsverk med olika storlek ska enligt den nya lagstiftningen uppgraderas av olika skäl. Verk med belastning på minst 80 000 pe uppgraderas för att minska den totala belastningen av mikroförroreningar. Genom denna uppgradering beräknas mer än hälften av befolkningen omfattas. Verk dimensionerade för minst 24 000 pe med utsläpp till sjöar byggs ut för att skydda vissa dricksvattentäkter. Avloppsreningsverk med belastning från mer än 8 000 pe med utsläpp till recipienter med otillräcklig utspädning byggs ut för att skydda särskilt känsliga recipienter. (Cimbritz m.fl., 2016)

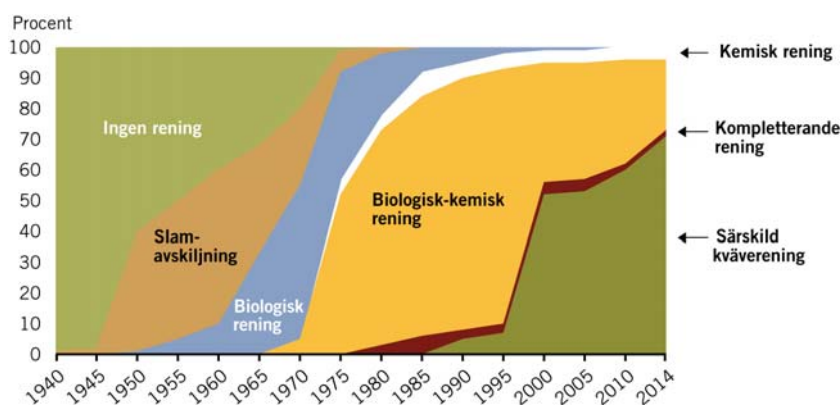
<sup>41</sup> Multikriterieanalysen baseras på ett antal rangordnade kriterier (här i rangordning): 1: Utsläpp till vatten och smittspridning. 2: Driftsäkert och robust avloppsreningsverk (relativt liten personalstyrka och ingen bränningskapacitet vid avloppsreningsverket). 3: Flexibilitet för framtida utbyggnad. 5: Flexibilitet i framtiden avseende högre lagkrav (på kväve, fosfor, läkemedel). (Urban Water, 2012)

## 6.2. Hinder införa avancerad rening vid avloppsreningsverk

Vissa hinder kan föreligga som innebär negativa incitament att införa avancerad rening vid avloppsreningsverk i Sverige då det är förknippat med kostnader som kan försvåra en uppgradering. Några hinder har identifierats men fler kan föreligga.

### 6.2.1. Investeringsbehov

Vatten och avloppsbranschen står inför utmaningar framöver främst i form av strategiska åtgärder och ökade investeringsbehov för att trygga en långsiktig hållbarhet. Detta omfattar hela VA-området och handlar om en tryggad dricksvattenförsörjning, klimatanpassning, förnyelsearbete på ledningsnät, samt för att kunna möta skärpta och nya reningskrav. Vatten- och avloppstjänster har god status idag men ökade strategiska åtgärder och investeringar krävs för att trygga den långsiktiga hållbarheten. Kompetens och personalresurser är generellt sätt relativt goda för driftsaspekter men resurserna är mer bristfälliga för långsiktigt strategiskt arbete. (Svenskt Vatten, 2016) Många anläggningar har varit i drift sedan 60- och 70-talet och genomgår nu upprustning och ombyggnation. Behovet av större investeringar för många avloppsreningsverk framöver kan utgöra hinder i form av betungande kostnader för anläggningar och eventuellt kommuner. Figur 3 visar utvecklingen av avloppsreningsteknik mellan 1940 och 2014 i svenska avloppsreningsverk. Den största utvecklingen skedde under 70-talet när stora satsningar av biologisk-kemisk rening skedde. (Naturvårdsverket, 2014)



Figuren visar utvecklingen av avloppsreningsteknik mellan 1940-2014

Figur 3: Utvecklingen av avloppsreningsteknik i Sverige 1940-2014.

Källa: Naturvårdsverket, 2014.

Det kan även finnas vissa tekniska hinder som är förknippat med kostnader att uppgradera ett befintligt avloppsreningsverk med avancerad reningsteknik. Samtliga tekniker som studeras i detta uppdrag förutsätter t.ex. en väl fungerande huvudrening. Befintlig infrastruktur och andra plats specifika förutsättningar (t.ex. om fysiskt utrymme finns) kan även utgöra avgörande hinder att installera avancerad reningsteknik. (Tekniska förutsättningar beskrivs mer utförligt i kap.5.)

Små VA-organisationer med färre än 20 000 personer står inför större utmaningar än övriga främst vad gäller att trygga den långsiktiga hållbarheten. Framtida investeringsbehov kan vara svårare att hantera i kommuner som har en mindre organisation. Längre avstånd där även färre betalande för VA-tjänster finns i förhållande till nödvändig infrastruktur påverkar även hantering av investeringskraven. Samverkan mellan kommuner ökar dock verksamhetens hållbarhet och kommuner som ingår i olika typer av ”samverkanslösningar” bedöms lättare kunna möta de framtida utmaningarna. (Svenskt Vatten, 2016)

Kostnaderna för VA-tjänster finansieras idag i Sverige till 99 % av VA-avgifter som tas ut från anslutna hushåll och industrier. Resterande procentenhet finansieras via kommunala skatter. Större kommuner har i regel full kostnadstäckning för VA-kostnaderna. (Naturvårdsverket, 2012) Små kommuner med liten betalningsbas för VA-tjänster har dock som regel svårare att finansiera avancerade uppgraderingar av sina avloppsreningsverk då ”baskraven” (t.ex. bristande ledningsnät) ofta prioriteras i första hand. Idag råder det brist på kvalificerad personal särskilt i mindre VA-organisationer som ofta måste förlita sig på konsulter för förberedelser, planering, projektering och genomförande (Naturvårdsverket, 2012). För mindre VA-organisationer kan kostnader och möjligheten att hitta rätt kompetens relaterade till krav på ökad kompetens och kunskap hos främst process- och driftpersonal anses som ett stort hinder för införande av kompletterande reningstekniker (Baresel m.fl., 2017). I de flesta kommuner med mindre än 2 000 – 50 000 personekvivalenter saknas även själva beställarkompetensen för att idag kunna investera i avancerad avloppsrening (Finnson, 2017b).

Vad VA-avgiften får täcka regleras bl.a. i 28 och 30 §§ lagen om allmänna vattentjänster. Enligt 28 § ska avgiften utöver bortledning av vatten även täcka kostnaderna för den rening av vattnet som behövs med hänsyn till skyddet för människors hälsa och miljön (här kan behov av avancerad reningsteknik innefattas). I 30§ regleras den s.k. självkostnadsprincipen, dvs. att avgiftsuttaget inte får överstiga de kostnader som är nödvändiga för att ordna och driva den allmänna VA-anläggningen. Utvecklingskostnader såsom kostnader för utveckling av teknik kan vara exempel på sådana nödvändiga kostnader<sup>42</sup>. Hänsyn måste dock tas till att VA-avgifterna måste vara skäligen och rättvist fördelade enligt 31 §.

### **6.2.2. Administrativa kostnader**

Administrativa kostnader till följd av styrmedel kan vara betungande för enskilda aktörer och skulle kunna utgöra ett hinder för avloppsreningsverk att införa mer avancerad reningsteknik. Införande av avancerad rening vid reningsverk omfattar normalt tillstånds- eller anmälningsplikt vilket är förknippat med vissa kostnader för reningsverken. Enligt 16 kap. 2 § MB får ett tillstånd begränsas till att enbart avse en ändring (ändringstillstånd). Det innebär att hela verksamhetens tillstånd inte nödvändigtvis behöver omprövas. En omprövning av ett tillstånd kan annars

<sup>42</sup> Regeringens proposition 2005/06:78. Allmänna vattentjänster (prop. 2005/06:78) sid. 87.

vara resurs- och tidskrävande för flera parter<sup>43</sup>. Om verksamheten inte är tillståndspliktig enligt 1 kap. 4 § miljöprövningsförordningen (2013:251) gäller anmälningsplikt enligt 1 kap. 11 §. Det innebär att en anmälan kan räcka om det är frågan om en mindre ändring. Tillståndsprövning krävs om ändringen i sig är tillståndspliktig, eller om ändringen innebär att olägenhet av betydelse för människors hälsa eller miljön kan uppkomma. Om det är fråga om en mindre ändring som inte har betydelse ur störningssynpunkt kan det istället räcka med en anmälan.

## 6.3. Nyttor med avancerad rening

Analysen i kapitel 4 visar att det finns ett behov av avancerad rening, åtminstone vid en del av svenska avloppsreningsverk. Effekterna i miljön har dock varit svåra att uppskatta då de varierar utmed hela landet. Tydligt är dock att negativa effekter i miljön skulle kunna undvikas om avancerad rening införs vid avloppsreningsverk som bidrar till en ökad miljönytta. Det har i detta uppdrag inte varit möjligt att kvantifiera den nytta som avancerad rening vid svenska avloppsreningsverk skulle bidra till på grund av osäkerheter kring effekterna samt vad reduktionsmålet är. Klart står dock att samhället kan få miljönyttor. Nedan beskrivs kortfattat motiv som argumenterar för nyttor för samhället till följd av avancerad rening.

### 6.3.1. Miljöeffekter

Flertalet studier har visat att läkemedel kan ha negativa effekter i den akvatiska miljön, bland annat hormonstörande effekter och risker för antibiotikaresistens. Bland annat har forskningsprojektet MistraPharma<sup>44</sup> i laborieförsök visat på effekter av olika typer av läkemedel vid halter som uppmätts i miljön. Det finns även ett stort antal vetenskapliga artiklar som visat på negativa effekter på ekosystem och arter (se vidare kapitel 4). Ytterligare negativa förändringar på ekosystem skulle kunna minskas, eller möjligen undvikas, om halter av läkemedel och andra farliga ämnen kan reduceras genom avancerad reningsteknik. Därmed skulle kostnader förknippade med sådana negativa effekter i miljön bättre kunna undvikas (dvs. ge en ökad miljönytta).

### 6.3.2. Hälsoeffekter

Det råder brist på kunskap i dagsläget om potentiella hälsoeffekter för människor till följd av utsläpp av läkemedelsrester till vattenmiljön, men genom till exempel antibiotika som kommer ut i miljön föreligger risk för spridning av antibiotikaresistens (se kapitel 4). Det står även klart att större hänsyn behöver tas till kombinationseffekter när riskerna för hälso- och miljöeffekter ska bedömas då vi vet lite om framtida påverkan på vår hälsa till följd av att effekter när ämnen samverkar (se t.ex. LäkeMedelsverket 2014 och referenser där). Cimbritz m.fl. (2016) för ett resonemang om att potentiella hälsoeffekter kopplat till skydd av

<sup>43</sup> Uppgår i genomsnitt till 1-2 år per verksamhet (Naturvårdsverket, 2012).

<sup>44</sup> MistraPharma Research Programme 2008-2015. Final report ([www.mistrapharma.se](http://www.mistrapharma.se)).

dricksvattentäkter kan vara en större drivkraft för att vidta faktiska åtgärder än olika ekotoxikologiska effekter. Författarna konstaterar att läkemedelsrester i vattenförekomster inte utgör ett direkt hot mot människors hälsa men att förekomsten av dessa ämnen ger motiv utifrån ett förtroendeperspektiv för konsumenten. (Cimbritz m.fl., 2016) Idag råder stora säkerhetsmarginaler för enskilda ämnen. Detta indikerar att betydande negativa effekter på människors hälsa inte är särskilt sannolikt vid nuvarande exponeringsnivåer i dricksvatten. Det finns dock kunskapsluckor vid bedömning av risker förknippade med exponering under lång tid av enskilda läkemedel, blandningar och i kombination med andra kemiska ämnen. (Wallberg m.fl., 2016)

### 6.3.3. Försiktighetsperspektiv

Många ämnen som ingår i läkemedel är svårnedbrytbara och trots låga halter ger de negativa effekter på vattenlevande organismer (se kapitel 4). Olika substanser kan även i en kombination ge effekter som idag är svåra att förutse. För att undvika onödiga risker för miljön kan motiv föreligga till införande av avancerad rening just eftersom effekterna i framtiden är så svåra att förutse. Även om vi i dagsläget vet mycket lite om framtida storskaliga konsekvenser för samhället är det möjligt att kostnader förknippade med dessa konsekvenser kan bli mindre om vi vidtar åtgärder idag istället för att vänta<sup>45</sup>. Att återställa skador på ekosystem i efterhand kan bli extremt dyrt eller till och med omöjligt om irreversibla effekter på ekosystem skett. Den samlade effekten på samhällsekonomin kan vara svår att bedöma men modelleringar av ekosystemförändringar brukar visa på förändringar på samhällsnivå. Östersjön är ett tydligt exempel på att skador på det marina ekosystemet inte går att återställa i efterhand. En utslagning av toppredatorer har lett till trofiska kaskadeffekter<sup>46</sup> i Östersjöns marina ekosystem. Torsken (*Gadus morhua*), som är en toppredator i Östersjöns näringskedja, har fiskats ut, vilket troligen är den viktigaste orsaken till de ständiga algblomningarna i Östersjön (Österblom m.fl., 2007). Nyttan av att minska algblomningar i Östersjön har beräknats överstiga kostnaden för samhället (se Havs- och vattenmyndigheten, 2013).

### 6.3.4. Exempel kvantifiering av nytta nationellt (och kostnader)

Schweiz är, som nämns i kapitel 6.1.2 ett av de första länderna som börjat införa avancerad rening i kommunala avloppsreningsverk i stor skala. Det är även det enda exemplet där en kvantifiering av nytta på en större skala har hittats. Logar m.fl. (2014) uppskattar nyttan av att uppgradera avloppsreningsverk i Schweiz genom att uppskatta människors betalningsvilja av att minska de potentiella miljö-

<sup>45</sup> Jämför klimatåtgärder där Stern, N. (2006) visat detta.

<sup>46</sup> Trofiska kaskader innebär att biomassan av en trofinivå (nivå i näringspyramiden) styrs av den ovanför. Predatorer reglerar alltså sina bytespopulationer snarare än att bytenas biomassa begränsas av deras föda. Om trofiska kaskader t.ex. reglerar sammansättningen av plankton kommer fiskarna att kunna påverka biomassan hos växtplankton (Havsmiljöinstitutet, 2012).

och hälsoriskerna<sup>47</sup>. Studien uppskattar den genomsnittliga betalningsviljan per hushåll till 100 CHF (ca 900 SEK) per år för att minska den potentiella risken för miljö- och hälsa. Aggregerat till en uppgradering av avloppsreningsverk till avrinningsområdesnivå innebär detta att nyttan uppskattats till ett årligt värde av 155 miljoner CHF (ca 1,4 miljarder SEK). Kostnaderna för att uppgradera 123 avloppsreningsverk har uppskattats till att årligen kosta 133 miljoner CHF (ca 1,1 miljarder SEK) eller 86 CHF (ca 760 SEK) per hushåll kopplade till dessa avloppsreningsverk. Det vill säga nyttan överstiger kostnaderna i denna studie. (Logar m.fl., 2014) Värderingstudien visar att det i detta fall finns motiv utifrån vad samhället önskar.<sup>48</sup> Schweiz är dock ett speciellt exempel då många recipienter är dricksvattentäkter samt att utsläpp där även påverkar flera andra länders recipienter. Det går därmed inte att göra en direkt jämförelse av nyttouppskattningen till svenska förhållanden.

## 6.4. Kostnader med avancerad rening

De kostnader som tas upp nedan är åtgärdskostnader, dvs. kostnader förknippade med investeringar och drift av de tekniker som studerats. Administrativa kostnader som olika typer av styrmedel medför (t.ex. skatt, subvention, avgift, utsläppsrätt, tillstånd, reglering etc.) är inte inkluderade. Sådana kostnader kommer dock att tillkomma vid införande av eventuella styrmedel för att få till stånd reningsåtgärder.

### 6.4.1. Reningskostnader

Beräknade reningskostnader för olika studerade reningstekniker anges i tabell 7. Kostnader inkluderar totala investeringskostnader, driftskostnader och kostnader per m<sup>3</sup> behandlat avloppsvatten<sup>49</sup>. En beräknad elförbrukning för drift av de olika teknikerna anges även i tabellen. Bedömningar av kostnader baseras på flera uppgifter men främst på jämförbara kostnadskalkyler och offerter från flera svenska och utländska teknikleverantörer och entreprenader (Baresel m.fl., 2017). För antaganden som ligger till grund för beräknade kostnader, såsom dimensioneringsflöde, inköpspris på el och aktivt kol, personalkostnader, ränta, ekonomisk livslängd etc., se Baresel m.fl. (2017).

<sup>47</sup> En s.k. public stated preference studie, även kallat scenariometodstudie, dvs. att människor tillfrågas om sin betalningsvilja för ett hypotetiskt scenario.

<sup>48</sup> En fond har inrättats för finansiering. Under införandeperioden informerades olika intressenter i samhället via olika typer av samråd. Samtidigt som lagstiftningen trädde i kraft höjdes VA-taxan med i genomsnitt 9 CHF per person och år (ca 80 SEK). När utbyggnaden av verk är klar och anläggningen tagits i drift återfås 75 % av investeringskostnaden från fonden. När anläggningen uppgraderats upphör också betalningskravet till fonden och man betalar istället drift och kapitalkostnader för den utbyggda anläggningen. För stora anläggningar blir detta oftast mindre än 9 CHF. (Cimbritz m.fl., 2016)

<sup>49</sup> Reningskostnader per kubikmeter behandlat vatten (kr/m<sup>3</sup>) räknas fram genom att summan av årliga investeringskostnader och driftkostnader delas med det totala årliga behandlade vattenflödet genom reningsverket. Antaget dimensioneringsflöde för samtliga verk är här 150 m<sup>3</sup>/(pe, år) (se antaganden i Baresel m.fl., 2017).

Skattningar anges för fem olika reningsverksstorlekar. Kostnader varierar mycket både mellan olika tekniker och olika reningsverksstorlekar. En effektiv rening för de ämnen som studerats för anläggningar större än 100 000 personekvivalenter (pe) beräknas kunna uppnås för under 1 kr/m<sup>3</sup> behandlat vatten med de antaganden som gjorts. För mindre anläggningar (2 000 – 20 000 pe) kan kostnaderna för vissa reningstekniker uppgå till drygt 5 kr/m<sup>3</sup>. Osäkerheterna är dock större för mindre avloppsreningsverk och särskilt för den minsta anläggningsstorleken (2 000 pe). Osäkerheten för mindre verk beror främst på att dessa inte varit fokus i projektet SystemLäk samt inte är en prioriterad storlek för teknikleverantörer. Dessa anges därför kursivt i tabell 7. Då angivna kostnader påverkas av flertalet parametrar samt baseras på många antaganden bör de beaktas med försiktighet. Angivna kostnader kan vidare först verifieras när flera fullskaleanläggningar har installerats<sup>50</sup>.

Av tabell 7 går att utläsa att de årliga investeringskostnaderna minskar jämfört med driftkostnader med anläggningens storlek. Mest utpräglad är denna minskning för tekniker med ultrafiltrering (UF) och kombinationer där UF ingår som ett reningssteg. För teknikkombinationer gäller generellt att investeringskostnaderna består av summan för de olika tekniker kombinationen består av. (Baresel m.fl., 2017)

Den extra elförbrukningen för drift av teknikerna beräknas uppgå till mellan 0,01 och 0,55 kWh/m<sup>3</sup> beroende på teknikval. Elförbrukningen för drift är lägst för GAK, BAF och PAK och som högst när ultrafiltrering ingår antingen som enskild teknik eller i en teknikkombination (se även kapitel 6.4.3) För tekniker där energiförbrukningen utgör en stor del av driftkostanden innebär större anläggningar en bättre energieffektivitet vilket resulterar i minskade kostnader med ökande anläggningsstorlek. (Baresel m.fl., 2017)

Beräknade kostnader är lägre än tidigare gjorda beräkningar<sup>51</sup>.

Teknikkombinationer medför ökade kostnader för installation och drift jämfört med implementering av enskilda tekniker. Rent finansiellt är ozonering det billigaste kompletterande reningssteget. Detta beror på lägre driftkostnader jämfört med t.ex. granulerat aktivt kol (GAK), pulveriserat aktivt kol (PAK) och biologiskt aktivt filter (BAF). Reningseffektiviteten är dock något bättre för de sistnämnda teknikerna. (Baresel m.fl., 2017)

---

<sup>50</sup> För utförlig information om kostnadsberäkningar för enskilda tekniker se Baresel m.fl. (2017).

<sup>51</sup> Till exempel beräkningar gjorda i Wahlberg m.fl. (2010).

**Tabell 7. Kostnadsberäkningar tekniker och teknikkombinationer.** Källa: Baresel m.fl. (2017).

| Reningsteknik/-kombination                  |                 |         |                  |                  |                |                     |  |                           |
|---|-----------------|---------|------------------|------------------|----------------|---------------------|--|---------------------------|
|   | UF <sup>1</sup> | GAK     | PAK <sup>2</sup> | BAF <sup>3</sup> | O <sub>3</sub> | PAK-UF <sup>4</sup> | O <sub>3</sub> -BAF (GAK) <sup>5</sup> | UF-BAF (GAK) <sup>4</sup> |
| <b>Installationskostnad CAPEX (Mkr)</b>     |                 |         |                  |                  |                |                     |  |                           |
| 2000 pe                                     | 11-14           | (4)     | 0,15             | (4)              | 1,4-5          | 14                  | (5-9)                                  | 15-18                     |
| 10 000 pe                                   | 13-19           | 6,5     | 0,2              | 6,5              | 2-7,5          | 19                  | 8,5-14,5                               | 19-25                     |
| 20 000 pe                                   | 17-25           | 7,5     | 0,25             | 7,5              | 3,4-9          | 25                  | 11-16,5                                | 22-32                     |
| 100 000 pe                                  | 50-75           | 17,5    | 0,8              | 17,5             | 10,5-20        | 75                  | 18-37                                  | 67-93                     |
| 500 000 pe                                  | 210-320         | 50      | 3,5              | 50               | 28-60          | 320                 | 58-110                                 | 260-370                   |
| <b>Annuitetskostnad CAPEX (Mkr/år)</b>      |                 |         |                  |                  |                |                     |  |                           |
| 2000 pe                                     | 0,8-1           | (0,3)   | 0,01             | (0,3)            | 0,1-0,4        | 1                   | 0,4-0,7                                | 1,1-1,4                   |
| 10 000 pe                                   | 1-1,5           | 0,4     | 0,015            | 0,6              | 0,15-0,55      | 1,4                 | 0,6-1                                  | 1,4-1,9                   |
| 20 000 pe                                   | 1,3-1,9         | 0,5     | 0,02             | 0,7              | 0,3-0,7        | 1,8                 | 0,8-1,2                                | 1,6-2,4                   |
| 100 000 pe                                  | 3,6-5,5         | 1,2     | 0,06             | 1,6              | 0,8-1,5        | 5,4                 | 1,3-2,5                                | 5-7                       |
| 500 000 pe                                  | 16-25           | 3,4     | 0,25             | 4,6              | 2-4,5          | 23                  | 4,3-7,5                                | 19-27                     |
| <b>Driftkostnad OPEX (Mkr/år)</b>           |                 |         |                  |                  |                |                     |  |                           |
| 2000 pe                                     | 0,4-0,5         | (0,7)   | 0,35             | (0,7)            | (0,2)          | 0,6                 | (0,8)                                  | 1,1-1,2                   |
| 10 000 pe                                   | 0,6-1           | 0,9     | 1                | 0,5              | 0,3            | 1,8                 | 0,7                                    | 1,1-1,5                   |
| 20 000 pe                                   | 0,8-1,6         | 1,6     | 2                | 0,9              | 0,4            | 3,1                 | 1,2                                    | 1,7-2,5                   |
| 100 000 pe                                  | 3,5-6           | 7,8     | 8,5              | 4                | 1,5            | 14                  | 4,9                                    | 7,5-10                    |
| 500 000 pe                                  | 14-25           | 38      | 43               | 19               | 6,5            | 65                  | 22,5                                   | 33-44                     |
| <b>Totalkostnad (kr/m<sup>3</sup>)</b>      |                 |         |                  |                  |                |                     |  |                           |
| 2000 pe                                     | 3,5-4,5         | 1-1,2   | 1,1              | 1-1,2            | 0,55-0,9       | 5,3                 | 1,5                                    | 4,5-5,7                   |
| 10 000 pe                                   | 1-1,5           | 0,8-1   | 0,7              | 0,7-1            | 0,25-0,55      | 2,1                 | 1,1                                    | 1,7-2,5                   |
| 20 000 pe                                   | 0,7-1,1         | 0,7-1   | 0,6              | 0,5-0,8          | 0,23-0,35      | 1,6                 | 0,75                                   | 1,2-1,9                   |
| 100 000 pe                                  | 0,5-0,75        | 0,5-0,7 | 0,57             | 0,35-0,6         | 0,19-0,20      | 1,3                 | 0,50                                   | 0,8-1,4                   |
| 500 000 pe                                  | 0,4-0,65        | 0,3-0,6 | 0,55             | 0,2-0,5          | 0,14-0,15      | 1,2                 | 0,40                                   | 0,6-1,2                   |
| Elförbrukning i drift (kWh/m <sup>3</sup> ) | 0,1-0,5         | <0,01   | 0,01-0,05        | <0,01            | 0,1-0,3        | 0,1-0,55            | 0,1-0,3                                | 0,1-0,5                   |

UF = ultrafiltrering, GAK = granulerat aktivt kol, PAK = pulveriserat aktivt kol, BAF = biologiskt aktivt filter, O<sub>3</sub> = ozonering, PAK-UF = teknikkombination PAK och UF, O<sub>3</sub>-BAF(GAK) = teknikkombination O<sub>3</sub> och BAF med GAK som filtermaterial, UF-BAF(GAK)= teknikkombination UF och BAF med GAK som filtermaterial

<sup>1</sup> Baserat på olika typer UF

<sup>2</sup> Baserat på vissa typer UF

<sup>3</sup> Med samma teknikutformning som GAK-filter dock med högre kapacitet och därmed mindre GAK-byten genom biologisk aktivitet.

<sup>4</sup> Baserat på kostnadsberäkningar för summan av enstaka tekniker

<sup>5</sup> Baserat på kostnadsberäkningar för både denna specifika teknikkombination och summan av enstaka tekniker



Ett försök till extrapolering till alla avloppsreningsverk i Sverige (större än 2 000 pe) innebär en uppskattad totalkostnad på mellan cirka 241 miljoner och 2,1 miljarder kronor per år vilket motsvarar cirka 55 – 480 kronor per hushåll och år<sup>52</sup> (se beräkningar i tabell 8). Uppskalningen till samtliga avloppsreningsverk i Sverige är lägre än tidigare beräkningar i till exempel Wahlberg m.fl. (2010)<sup>53</sup>. Den uppskattade totalkostnaden kan jämföras med att driften av Sveriges VA-verksamheter (vatten och avlopp) kostade 17 miljarder kronor under år 2012 (Finsson, 2017a). Kostnaderna kan även sättas i perspektivet att mellan 1971 och 1979 satsade svenska staten omkring 1,5 miljard kronor (motsvarande ca 5,5 miljarder i 2016 års penningvärde) för utbyggnad av kommunala avloppsreningsverk i Sverige (Naturvårdsverket, 2014).

**Tabell 8. Extrapolering av reningskostnader**

|  |
|--|
| Extrapolering till 431 avloppsreningsverk (total 8 049 753 anslutna personer (pe))                           |
| Avloppsreningsverk 2 -10 000 pe (246 verk)   |
| 150 m <sup>3</sup> /(pe, år) * 678 682 pe = 101,8 miljoner m <sup>3</sup> /år * 0,55 -5,7 kr/m <sup>3</sup>  |
| Totalt = 56 – 580 miljoner kr/år   |
| Avloppsreningsverk 10 – 20 000 pe (71 verk)  |
| 150 m <sup>3</sup> /(pe, år) * 602 021 pe = 90,3 miljoner m <sup>3</sup> /år * 0,25 – 2,5 kr/m <sup>3</sup>  |
| Totalt = 23 – 226 miljoner kr/år   |
| Avloppsreningsverk 20 - 100 000 pe (95 verk)   |
| 150 m <sup>3</sup> /(pe, år) * 2 542 267 pe = 381 miljoner m <sup>3</sup> /år * 0,19 – 1,4 kr/m <sup>3</sup> |
| Totalt: 73 – 534 miljoner kr/år  |
| Avloppsreningsverk 100 - 500 000 pe (19 verk)  |
| 150 m <sup>3</sup> /(pe, år) * 4 226 783 pe = 634 miljoner m <sup>3</sup> /år * 0,14 – 1,2 kr/m <sup>3</sup> |
| Totalt: 89 – 761 miljoner kr/år  |
| Totalt: 241 miljoner – 2,1 miljarder kr/år   |

#### VAD PÅVERKAR KOSTNADERNA MEST?

Plastspecifika förutsättningar påverkar reningskostnaderna till stor del. Till exempel kan vid vissa verk outnyttjad infrastruktur (såsom gamla sandfilter) utgöra en stor skillnad i val av kompletterande teknik ifall ett nyttjande av dessa innebär att investeringskostnaderna kan reduceras signifikant.

Det flöde som reningen ska avse (dimensioneringsflödet) kan vidare skilja sig mycket från anläggning till anläggning. Vattenflödet som behöver behandling blir därmed en viktig parameter som kan ha stor påverkan på reningskostnader per m<sup>3</sup> behandlat vatten. Kostnader baseras här på en genomsnittsbelastning på 150 m<sup>3</sup>/(pe och år). Detta är ett medelvärde för stora svenska avloppsreningsverk och har använts för samtliga verk i beräkningarna. Behöver anläggningar

<sup>52</sup> Under antagandet att det finns 431 avloppsreningsverk över 2 000 pe i Sverige (Naturvårdsverket och SCB, 2016). Antaget dimensioneringsflöde är även här 150m<sup>3</sup> / (pe, år).

<sup>53</sup> Där en totalkostnad på mellan 1,2 och 5,7 miljarder kronor per år uppskattades (Wahlberg m.fl., 2010).

dimensioneras för mycket högre flöden (t.ex. vid snösmältning eller skyfall) kommer investeringskostnaderna att öka. (Baresel m.fl., 2017)

En möjlig ökad efterfrågan av tekniken på marknaden samt ökade erfarenheter från verkliga installationer kommer troligen påverka kostnaderna framöver. Förbrukning av aktivt kol dominerar driftskostnaden för både PAK och GAK, vilket innebär att prisutveckling på kol påverkar kostnaderna. Även framtida utveckling med t.ex. biokol kan komma att ge viss effekt på kostnader. Elbehovet för drift av membran och kostnader för membran påverkar främst kostnader för tekniker där UF ingår. Angivna kostnader för UF kan därmed komma att minska om elbehovet minskar (om inte elpriset ökar signifikant). Även för ozonering är det elförbrukningen och/eller behov av flytande syre (LOX) som påverkar kostnaden per m<sup>3</sup> behandlat vatten i stor utsträckning. Prisutveckling för LOX blir därmed relevant. För BAK är filterbyten den dominerande kostnaden på sikt och kostnader för filtermaterial har därför en påverkan. För teknikkombinationerna är det de olika faktorerna från de enskilda teknikerna som påverkar kostnaderna. (Baresel m.fl., 2017)

Indirekta kostnader som kan uppstå till följd av införande av studerade tekniker har inte tagits med i bedömningen men kan komma att påverka kostnaderna. Till exempel har en utökad eller separat slamhantering inte tagits med i beräkningarna men behöver framförallt beaktas vid användning av PAK och kompletterande UF.

#### **6.4.2. Effekt/nytta av specifika tekniker**

Ingen av de reningstekniker som studerats kan ensam åstadkomma en komplett (med komplett menas här > 90 %) rening av läkemedelsrester och andra studerade föroreningar. En bred rening av mikroföroreningar fås endast när olika reningsmekanismer kombineras. Det vill säga teknikkombinationer som använder fysikaliska, oxidativa metoder, biologiska metoder och adsorption ger en mer komplett rening av samtliga läkemedelssubstanser (se kapitel 5.2).

#### **6.4.3. Miljökostnader**

De miljökostnader som är förknippade med studerade tekniker handlar främst om en ökad energianvändning samt kemikalieanvändning (se även kapitel 5.4).

Samtliga studerade reningstekniker/kombinationer kommer att medföra en *ökad energianvändning* och därmed risk för utsläpp vid produktionen av energin. För ozonering och UF-tekniker är det själva driften av dessa reningssteg som innebär en ökad energianvändning. För PAK, GAK, BAF och kombinationer med dessa tekniker är det främst produktion och generering av aktivt kol som kräver extra energi<sup>54</sup>. Den ökade energianvändningen för drift av teknikerna är, som tabell 7 visar, lägst för PAK, GAK och BAF. För andra tekniker beräknas kompletterande

---

<sup>54</sup> Vid användning av aktivt kol behövs resurser både vid tillverkning och regenerering i form av både material (kol) och energi (gas, ånga, el) (Baresel m.fl., 2017).

PAK, GAK eller BAF-system medföra en ökad energiförbrukning vid stora avloppsreningsverk (dvs. > 100 000 pe) med ca 2-10 % (1-6 kWh/(pe, år), ozonering med ca 20-60 % (10-36 kWh/(pe, år) och UF-steg upp till 100 % (ca 60 kWh/(pe, år). (Baresel m.fl., 2017) Den uppskattade extra energianvändningen för drift av ett UF-steg (60kWh) är ungefär lika mycket som det går åt att värma upp 3 000 villor med direktverkande el under ett år (under antagandet att det behövs 20 000 kWh/år)<sup>55</sup>.

Större avloppsreningsverk är generellt sett energieffektivare än mindre avloppsreningsverk<sup>56</sup>. Den extra energianvändningen som teknikerna medför kan även komma att ändras i framtiden till följd av bättre implementering och utveckling av teknikerna, vilket i sin tur kan bidra till mer resurseffektiva processer (Baresel m.fl., 2017). Alternativa energikällor och effektivare processer kan påverka potentiella miljökostnader och kan även komma att förändras framöver. Hur stor påverkan en ökad energianvändning till följd av avancerad rening har på andra miljömål, främst *Begränsad klimatpåverkan* och *Frisk Luft*, är därför svårt att bedöma.

I Schweiz beräknas energiförbrukningen öka med 5-30%, vilket motsvarar en ökning av landets totala energiförbrukning med 0,1 %. Det förväntas att mer energieffektiva avloppsreningsverk och förnyelsebar energiproduktion ska kompensera för detta. Då omställningen görs under en 25-årsperiod finns dock förväntningar på att utrymme kommer att skapas för val av nya resurseffektivare tekniker. (Cimbritz m.fl., 2016)

Vissa reningstekniker kräver kemikalier som vid tillverkning och användning kan orsaka en viss miljöpåverkan, och därmed effekt på miljömålet *Giftfri Miljö*. Det finns även vissa risker för bildning av nya eventuellt toxiska föroreningar till följd av vissa tekniker som innefattar oxidativa behandlingar. (Se även kapitel 5.4.)

#### 6.4.4. Andra kostnader

Andra kostnader som kan uppstå är till exempel arbetskraft, kostnader för övervakning, kompetensförsörjning och arbetsmiljökostnader. För vissa av de beskrivna reningsteknikerna behöver kunskap och erfarenhet hos reningsverkspersonal byggas upp. Genom kunskaps- och erfarenhetsöverföring från anläggningar som redan infört kompletterande reningstekniker bör kostnaderna dock kunna reduceras.

Inga av de beskrivna teknikerna och kombinationerna innebär driftsaspekter vid normal drift som inte skulle kunna hanteras då flera av teknikerna liknar andra

<sup>55</sup>  $60 \text{ kWh (pe, år)} * 100\,000 \text{ pe} = 6 \text{ milj kWh/år} / 20\,000 \text{ kWh} = 300 \text{ villor/år} * 10 \text{ st verk} = 3\,000 \text{ villor/år}$ .

<sup>56</sup> Nyckeltal för svenska reningsverk skattar elenergianvändningen till 50-60 kWh/(pe, år), vilket innebär 0,4 kWh/m<sup>3</sup> för stora anläggningar (> 100 000 pe). För mindre anläggningar överstiger elanvändningen 100 kWh/(pe, år), dvs. > 0,6 kWh/m<sup>3</sup> behandlat vatten (Baresel m.fl., 2017).

redan befintliga tekniker på anläggningarna<sup>57</sup> (se även kapitel 5.3). Drift vid höga belastningar innebär för samtliga reningstekniker att en extra övervakning och styrning för att undvika driftstörningar krävs. Vissa tekniker kräver även mer underhåll och övervakning än andra. Antingen kontinuerligt merarbete (t.ex. dosering av kol) eller merarbete som uppstår ibland (t.ex. vid byte av filtermaterial). Kompletteringen av befintlig rening med andra reningstekniker kan även i vissa fall påverka andra processrelaterade delar av reningsverket (t.ex. slamhantering) som kan ge upphov till kostnader i det specifika fallet. (Baresel m.fl., 2017)

De flesta studerade teknikerna/kombinationerna innebär inte några stora arbetsmiljöproblem (som framgått ovan). Vissa aspekter för arbetsmiljön behöver dock tas hänsyn till. Till exempel hantering av ozon eller dammande material (PAK) kan innebära risker för arbetsmiljön som bör beaktas. Även hantering av kemikalier vid UF-tekniker eller flytande syre kan innebära vissa risker för arbetsmiljön. (Baresel m.fl., 2017)

## 6.5. Slutsatser

Ett antal aspekter har belysts i detta kapitel som behöver beaktas vid en implementering av avancerad rening vid avloppsreningsverk i Sverige. En samlad bedömning av dessa aspekter ges här.

### 6.5.1. Nyttja jämfört med kostnad

Utifrån ett samhällsekonomiskt perspektiv skulle avancerad rening i idealfallet införas vid avloppsreningsverk där behovet är som störst utifrån recipientförhållanden. Överstiger nyttan kostnaden utifrån miljö- och hälsomål för en specifik recipient är det samhällsekonomiskt effektivt. Med detta inte sagt att det innebär att det är rimligt ur ett fördelningsperspektiv. Det vill säga även om det är lönsamt för hela samhället att införa avancerad rening vid avloppsreningsverk utifrån recipientförhållanden, så kan det bli kostsamt för vissa enskilda aktörer eller en viss geografisk region. En kvantifiering av nyttan har inte varit möjligt att göra till följd av att effekterna i miljön varit svåra att uppskatta samt att inget reduktionsmål finns. Klart är dock att införande av avancerad rening vid svenska avloppsreningsverk kommer att innebära en ökad miljönytta för samhället (då skadekostnader kan undvikas) och motiv bedöms föreligga utifrån ett försiktighetsperspektiv. Att återställa skador i efterhand kan få stora samhällsekonomiska konsekvenser.

#### VAD ÄR RIMLIGT?

Om nyttan överstiger kostnaden i ett specifikt avrinningsområde eller för en specifik recipient (se beskrivning av olika recipients känslighet i 4.3) torde det

---

<sup>57</sup> Till exempel liknar GAK/BAF-tekniker sådana sandfilterssystem som är vanliga på konventionella avloppsreningsverk i Sverige (Baresel m.fl., 2016).

vara motiverat att installera avancerad reningsteknik. Vid en implementering kan det i vissa fall kanske vara mer effektivt att ansluta mindre verk till större anläggningar än att installera avancerad reningsteknik i det mindre verket. I andra fall kanske det är motiverat att införa avancerad rening även i små avloppsreningsverk utifrån nytta kontra kostnad. För vissa mindre verk kan dock uppströmsarbete i vissa fall kanske vara billigare än att införa avancerade reningstekniker<sup>58</sup>.

### 6.5.2. Kostnader

En effektiv rening för studerade ämnen för anläggningar större än 100 000 pe kan för flertalet reningstekniker uppnås för under 1 kr/m<sup>3</sup> med de antaganden som gjorts. För mindre anläggningar (2 000 – 20 000 pe) kan kostnaderna för vissa reningstekniker uppgå till ca 5 kr/m<sup>3</sup>. Angivna kostnader påverkas av flertalet parametrar samt baseras på många antaganden och bör därför beaktas med försiktighet. Kostnaderna kan även komma att förändras framöver när mer kunskap finns.

Idag har vi inte kunskap om vilka eller hur många avloppsreningsverk som kan omfattas av införande av avancerad reningsteknik. Ett försök till extrapolering av kostnaderna till samtliga avloppsreningsverk i Sverige > 2 000 pe (431 verk) innebär en uppskattad totalkostnad på mellan ca 241 miljoner och 2,1 miljarder kronor per år vilket motsvarar cirka 55 – 480 kronor per hushåll och år. Driften av Sveriges VA-verksamhet (vatten och avlopp) kostade som jämförelse 17 miljarder kronor under år 2012. Uppskalningen är lägre än tidigare gjorda beräkningar i t.ex. Wahlberg m.fl. (2010).

#### SKALFÖRDELAR

Generellt visar genomförda beräkningar att det finns skalfördelar, lägre kostnader kan uppnås för större avloppsreningsverk för flertalet av de studerade reningsteknikerna. För tekniker där energiförbrukningen utgör en stor del av driftskostnaden innebär större anläggningar en bättre energieffektivitet och kostnaderna minskar då med ökande anläggningsstorlek.

Kostnader för små anläggningar (2 000 till 10 000 pe) skiljer sig mer än mellan stora anläggningar delvis pga. osäkerheter i beräkningarna. Klart är dock att investeringskostnaderna är dominerande för mindre anläggningar. Studerade tekniker utgår vidare från att reningsverket redan har en väl fungerande huvudrening. För mindre anläggningar är det inte givet att en effektiv rening av närsalter, organiska ämnen och partiklar finns på plats. Om så är fallet blir

---

<sup>58</sup> Vissa källor kan dock inte åtgärdas vid källan (t.ex. läkemedelsintag mot sjukdomar eller tillförsel av mikroplast från trafiken) (Läkemedelsverket, 2014).

investeringskostnaden högre. Till exempel är avancerad kväverening inte en del av reningsprocessen i många avloppsreningsverk<sup>59</sup>.

#### MILJÖKOSTNADER

Tekniker som studerats ger upphov till ökad energianvändning som innebär risk för utsläpp och därmed miljökostnader. Den extra energiförbrukningen för drift av teknikerna beräknas till mellan 0,01 och 0,55 kWh per m<sup>3</sup> behandlat vatten beroende på teknikval. Elförbrukningen för drift av tekniken är högst när ultrafiltrering ingår. Den ökade energianvändningen skulle vid stora verk (100 000 pe) innebära en ökning med ca 2-10 % vid implementering av PAK, GAK eller BAF-system, en ökning med ca 20-60 % för ozonering, och för UF-steg upp till 100 % (ca 60 kWh/(pe, år)). Den extra energianvändningen kan komma att ändras i framtiden till följd av mer energieffektiva processer. Det går därmed inte att bedöma hur stor påverkan kan bli på andra miljömål.

#### 6.5.3. Incitamentsstrukturen för avloppsreningsverk

Hur incitamentsstrukturen ser ut för avloppsreningsverk att införa avancerad reningsteknik är avgörande vid ett införande. Några drivkrafter och hinder som föreligger för avloppsreningsverk har identifierats. Fler föreligger säkerligen som inte identifierats här.

#### DRIVKRAFTER

Förväntade nya eller tillkommande lagkrav är en stark drivkraft för avloppsreningsverk att införa ytterligare reningssteg. Flera avloppsreningsverk har redan påbörjat en förberedelse för att krav på rening av läkemedelsrester kommer att införas framöver. Andra drivkrafter som har identifierats är att kostnaderna bedöms som rimliga jämfört med nyttan och/eller risken för recipienten. Försiktighetsprincipen är vidare en viktig drivkraft bl.a. till följd av risker för antibiotikaresistens. En framgångsfaktor för att ett avloppsreningsverk ska kunna bedriva utvecklingsarbete om avancerad rening, är att ett engagemang, resursmöjligheter och kompetens inom organisationen finns. Politiska beslut, politiskt intresse samt en positiv inställning från allmänheten kan även vara drivande faktorer.

#### HINDER

Hinder som identifierats för reningsverken är framförallt en viss konflikt med de stora utmaningarna som svenska VA-anläggningar just nu står inför med stora investeringsbehov som även kräver finansiering för att säkerställa en långsiktig hållbarhet (bl.a. klimatanpassning och upprustning av ledningsnät). Det innebär att finansiella hinder kan föreligga särskilt för mindre kommuner som har svårare att uppnå full kostnadstäckning. Fördelningseffekter blir därmed en viktig aspekt att

<sup>59</sup> Avloppsreningsverk över 10 000 pe omfattas av avloppsdirektivet (1991/271/EG) och har därmed strängare krav på bl.a. kväverening (Naturvårdsverket, 2012). För kväverening finns vidare en geografisk gräns (Naturvårdsverket, 2014).

beakta vid eventuell styrmedelsutformning. Samhällsintressen kan vidare möjligen stå emot lokala prioriteringar vilket kan behöva beaktas. Tekniska hinder till följd av platsspecifika förutsättningar kan även föreligga. Juridiska aspekter skulle kunna utgöra hinder för avloppsreningsverk (i form av administrativt betungande kostnader).

## 7. Källförteckning

- Adolfsson-Erici, M., Pettersson, M., Wahlberg, C. och Asplund, L. (2005). *Östrogena ämnen i avloppsvatten, slam och lagrad urin*. VA-Forsk, rapport 2005-03.
- Backhaus, T (2014). *Medicines, shaken and stirred: a critical review on the ecotoxicology of pharmaceutical mixtures*. Phil. Trans. R. Soc. B 369: 20130585. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2013.0585>
- Baresel, C., Magnér, J., Magnusson, K., Olshammar, M. (2017). *Tekniska lösningar för avancerad rening av avloppsreningsvatten*. IVL Svenska Miljöinstitutet, rapport Nr C 235. På uppdrag av Naturvårdsverket.
- Bernes, C. (1998). *Organiska miljögifter*. Monitor 16. Naturvårdsverkets förlag.
- Brodin, T., Fick, J., Jonsson, M. och Klaminder, J. (2013). *Dilute concentrations of a psychiatric drug alter behavior of fish from natural populations*. Science. Feb 15;339 (6121):814-5.
- Brooks, B.W., Chambliss, C.K., Stanley, J.K., Ramirez, A, Banks, K.E., Johnson, R.D. och Lewis, R.J. (2005). *Determination of select antidepressants in fish from an effluent-dominated stream*. Environmental Toxicology and Chemistry. Volume 24, Issue 2, Pages 464–469.
- Brown, J.N., Paxéus N., Förlin, L. och Larsson, D.G.J. (2007). *Variations in bioconcentration of human pharmaceuticals from sewage effluents into fish blood plasma*. Environmental Toxicology and Pharmacology. Volume 24, Issue 3, Pages 267–274.
- Cimbritz, M., Tumlin, S., Hagman, M., Dimitrova, I., Hey, G., Mases, M., Åstrand, N., Jansen, J. (2016). *Rening från läkemedelsrester och andra mikroföroreningar. En kunskapssammanställning*. Svenskt Vatten Utveckling. Rapport Nr 2016-04.
- De Lange, H.J., Noordoven, W., Murk, A.J., Lürling, M. och Peeters, E.T. (2006). *Behavioural responses of Gammarus pulex (Crustacea, Amphipoda) to low concentrations of pharmaceuticals*. Aquatic Toxicology. Volume 78, Issue 3, Pages 209–216.
- Ericson, H., Thorsén, G. och Kumblad, L. (2010). *Physiological effects of diclofenac, ibuprofen and propranolol on Baltic Sea blue mussels*. Aquatic Toxicology. Volume 99, Issue 2, Pages 223–231.



- Eriksson Wiklund, A-K, Oskarsson, H., Thorsén, G. och Kumblad, L. (2011). *Behavioural and physiological responses to pharmaceutical exposure in macroalgae and grazers from a Baltic Sea littoral community*. *Aquatic Biology* 14:29-39.
- Fick, J., Lindberg, R., Parkkonen J., Arvidsson, G., Tysklind M. och Larsson, D.G.J. (2010). *Therapeutic Levels of Levonorgestrel Detected in Blood Plasma of Fish: Results from Screening Rainbow Trout Exposed to Treated Sewage Effluents*. *Environmental Science&Technology*. 44, 2661-2666.
- Fick, J., Lindberg, R., Kaj, L., och Brorström-Lundén, E. (2014). *Results from the Swedish National Screening Programme 2010 – Subreport 3. Pharmaceuticals*.
- Finnson (2017a). Finnson Anders, miljöexpert, Svenskt Vatten. E-post 2017-03-08.
- Finnson (2017b). Finnson Anders, miljöexpert, Svenskt Vatten. E-post 2017-04-04.
- Gunnarsson, L. Adolfsson-Erici, M., Björleinius, B., Rutgersson, C., Förlin, L., och Larsson, D.G.J. (2009). *Comparison of six different sewage treatment processes- reduction of estrogenic substances and effects on gene expression in exposed male fish*. *Science of the Total Environment*. Volume 407, Issue 19, Pages 5235–5242.
- Hallgren P, Wallberg P (2015). *Pharmaceutical concentrations and effects in the Baltic Sea. Policy area Hazards of the EU Strategy for the Baltic Sea Region*. Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm, Sweden.
- Havsmiljöinstitutet (2012). *HAVET – om miljö tillståndet i svenska havsområden*. Göteborg: Havsmiljöinstitutet ISBN 978-91-980646-1-2.
- Havs- och vattenmyndigheten (2013). *The Baltic Sea –Our Common Treasure*. Rapport 2013:4. ISBN: 978-91-87025-28-0.
- Havs- och vattenmyndigheten (2014). *Havs- och vattenmyndighetens vägledning för 4 kap. 9-10 §§ vattenförvaltningsförordningen - om förlängd tidsfrist och mindre stränga krav – undantag från att nå en god status/potential till 2015*. Rapport 2014:12. ISBN 978-91-87025-57-0.
- Hörsing, M., Wahlberg, C., Falås, P., Hey, G., Ledin, A., Jansen, J. la C. (2014). *Reduktion av läkemedel i svenska avloppsreningsverk – Kunskapssammanställning*. Svenskt Vatten Utveckling, rapport No. 2014-16.
- Kellner, M., Porseryd, T., Porsch-Hallström, I. och Hansen, S. (2015). *Environmentally relevant concentrations of citalopram partially inhibit feeding in the three-spine stickleback (Gasterosteus aculeatus)*. *Aquatic Toxicology*. Volume 158, Pages 165–170.

Kemikalieinspektionen (2015). *Förekomst och användning av högfluorerade ämnen och alternativ -Rapport från ett regeringsuppdrag*. Rapport 6/15.

Kumblad, L., Oskarsson, H., Palmer, C., Eriksson och Wiklund, A-K (2015). *Response and recovery of Baltic Sea blue mussels from exposure to pharmaceuticals*. *Marin Ecology Progress Series* 526: 89–100.

Larsson, D.G.J., Adolfsson-Erici, M., Parkkonen, J., Pettersson, M., Berg, H., Olsson, P.-E. och Förllin, L. (1999). *Ethinylloestradiol - an undesired fish contraceptive?* *Aquatic Toxicology*. Volume 45, Issues 2–3, Pages 91–97.

Larsson, D.G.J. (2012). *Utsläpp från läkemedelsindustri påverkar miljön*. *Läkartidningen* nr 14–15, volym 109.

Larsson, J., Lööf, L. (2015). *Läkemedel i miljön*. *Läkemedelsboken*.  
[http://lakemedelsboken.se/kapitel/lakemedelsanvandning/lakemedel\\_i\\_miljon.html](http://lakemedelsboken.se/kapitel/lakemedelsanvandning/lakemedel_i_miljon.html)

Logar, I., Brouwer, R., Maurer, M., Ort, C.(2014). *Cost-Benefit Analysis of the Swiss National Policy on reducing micropollutants in treated wastewater*. *Environmental Science & Technology*. 2014 (48): 12 500-12 508.

Läkemedelsverket (2014). *Fördjupad analys av olika handlingsalternativ för att nå etappmålet om miljöhänsyn i läkemedelslagstiftningen inom EU och internationellt*. Rapport från Läkemedelsverket 2014-12-15.

Lövsén (2017). Lövsén Anna, Affärsområdeschef Vatten och Avlopp, Tekniska Verken, Linköping. Telefonintervju 2017-03-03.

Miljødirektoratet (2013). *Non-target screening - A powerful tool for selecting environmental pollutants*. Rapport M-27/2013.

Naturvårdsverket (2008). *Effekter av miljögifter på däggdjur, fåglar och fiskar*. Naturvårdsverkets rapport 5908.

Naturvårdsverket (2012). *Styrmedel för ökad rening från kommunala reningsverk*. Naturvårdsverkets rapport 6521.

Naturvårdsverket (2014). *Rening av avloppsvatten i Sverige 2014*. ISBN 978-91-620-8728-9.

Naturvårdsverket och SCB (2016). *Utsläpp till vatten och slamproduktion 2014. Kommunala reningsverk, massa- och pappersindustri samt viss övrig industri*. Sveriges officiella statistik Statistiska meddelanden MI 22 SM 1601.

Oskarsson, H., Eriksson Wiklund, A-K, Lindh, K. och Kumblad, L. (2012). *Effect studies of human pharmaceuticals on Fucus vesiculosus and Gammarus spp.* Marine Environmental Research, Vol. 74:1-8.

Oskarsson, H., Eriksson Wiklund, A-K, Thorsén, G., Danielsson, G., och Kumblad, L. (2014). *Community Interactions Modify the Effects of Pharmaceutical Exposure: A Microcosm Study on Responses to Propranolol in Baltic Sea Coastal Organisms.* PLoS ONE 9(4): e93774.

Pettersson, I. och Berg, C. (2007). *Environmentally relevant concentrations of ethynylestradiol cause female-biased sex ratios in Xenopus tropicalis and Rana temporaria.* Environmental Toxicology and Chemistry. Volume 26, Pages 1005–1009.

Purdom, C. E., Bye, V.V. J., Eno, N. C., Tyler, C.R., Sumpter, J. P. (1994). *Estrogenic Effects of Effluents from Sewage Treatment Works.* Chemistry and Ecology. Volume 8, Issue 4, Pages 275-285.

Roos, A., Loso, K., Fång, J. (2017). *Mätningar av läkemedelsrester i blod och urin från utter.* Rapport till Miljöövervakningen från Naturhistoriska Riksmuséet.

Schmitt, H., ter Laak, T. och Duis, K. (2017). *Development and dissemination of antibiotic resistance in the environment under environmentally relevant concentrations of antibiotics and its risk assessment.* Umweltbundesamt (the German Federal Environment Agency). Report No. (UBA-FB) 002408/ENG.

Sehlén, R., Malmborg, J., Baresel, C., Ek, M., Magnér, J., Allard, A-S., Yang, J.(2015). *Pilotanläggning för ozonoxidation av läkemedelsrester i avloppsvatten.* Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet. Rapport nr B 2218.

Stern, N. (2006). *The Economics of Climate Change – the Stern Review.* HM Treasury.

Sütterlin, S. (2015). *Aspects of Bacterial Resistance to Silver.* Doktorsavhandling, Uppsala Universitet.

Svenskt Vatten (2016). *Resultatrapport för hållbarhetsindex 2016.* Svenskt Vatten AB. ISSN: 1651-6893. 2016-12.

Svenskt Vatten (2017). *Råvatten- källan till dricksvatten.*  
<http://www.svensktvatten.se/vattentjanster/dricksvatten/ravatten>  
(2017-04-23)

Triebkorn, R., Casper, H., Heyd, A., Eikemper, R., Köhler, H-R. och Schwaiger, J. (2004). *Toxic effects of the non-steroidal anti-inflammatory drug diclofenac: Part II. Cytological effects in liver, kidney, gills and intestine of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss)*. Aquatic Toxicology. Volume 68, Issue 2, Pages 151–166.

Triebkorn, R., Casper, H. Scheil, V. och Schwaiger, J. (2007). *Ultrastructural effects of pharmaceuticals (karbamazepine, clofibrilic acid, metoprolol, diclofenac) in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) and common carp (Cyprinus carpio)*. Anal. Bioanal. Chem. 387, 1405–1416.

Ullman och Zhao (2017). Ullman Regine, Projektledare teknik, och Zhao Qing, Processingenjör, Kalmar Vatten. Telefonintervju 2017-03-03.

Urban Water (2012). *Systemanalys för spillvattenhantering i Kalmar*. Urban Water, 2012-03-06.

Wahlberg, C., Björleinius, B., Paxéus, N. (2010). *Läkemedelsrester i Stockholms vattenmiljö. Förekomst, förebyggande åtgärder och rening av avloppsvatten*. Stockholm Vatten. Rapportnummer 2010-16. ISBN 978-91-633-6642-0.

Wallberg, P., Wallman, P., Thorén, S., Nilsson, S., Christiansson, F. (2016). *Behov av avancerad rening vid reningsverk. – Finns det recipienter som är känsligare än andra?* Sweco Environment AB. Rapport för Naturvårdsverket.

WHO (2012). *Pharmaceuticals in drinking water*. ISBN: 978924150208.

Zeilinger, J., Steger-Hartmann, T., Maser, E., Goller, S., Vonk, R. och Lange, R. (2009). *Effects of synthetic gestagens on fish reproduction*. Environ. Toxicol. Chem. 28, 2663-2670.

Österblom, H., Hansson, S., Larsson, U., Hjerne, O., Wulff, F., Elmgren, R. och Folke, C. (2007). *Human induced trophic cascades and ecological regime shifts in the Baltic Sea*. Ecosystems 10: 877-899.

# Bilaga 1 Uppdraget



Regeringsbeslut I:51  
2015-12-17 M2015/04328/Ke

Miljö- och energidepartementet

Naturvårdsverket  
106 48 Stockholm

## Uppdrag att utreda förutsättningarna för användning av avancerad rening i syfte att avskilja läkemedelsrester från avloppsvatten

### Regeringens beslut

Regeringen uppdrar åt Naturvårdsverket att utreda förutsättningarna för användning av avancerad rening i syfte att avskilja läkemedelsrester från avloppsvatten för att skydda vattenmiljön. Myndigheten ska analysera behovet av avancerad rening, vilka tekniska lösningar som finns och för- och nackdelarna med dessa samt övriga konsekvenser av användning av avancerad rening. Uppdraget ska inriktas på avloppsreningsanläggningar med en anslutning av fler än 20 000 personer eller som tar emot avloppsvatten med en föroreningsmängd som motsvarar mer än 20 000 person-ekvivalenter.

Naturvårdsverket ska redovisa uppdraget till Regeringskansliet (Miljö- och energidepartementet) senast den 1 maj 2017.

### Bakgrund

Ett av kommunernas ansvar är att tillhandahålla vattentjänster. Enligt 6 § lagen (2006:412) om allmänna vattentjänster ska kommunerna ordna vattenförsörjning och avlopp i ett större sammanhang, om det behövs med hänsyn till skyddet för människors hälsa eller miljön. Hänsynen till miljön tillkom 2007. Vattentjänsterna finansieras genom avgifter från det s.k. VA-kollektivet enligt kommunallagens självkostnadsprincip oberoende av om huvudmannen är en kommunal nämnd, ett bolag eller kommunalförbund.

Enligt 28 kap. 1 § miljöprövningsförordningen (2013:251) ska den som vill driva en avloppsreningsanläggning med en anslutning av fler än 2 000 personer eller som tar emot avloppsvatten med en föroreningsmängd som motsvarar mer än 2 000 personekvivalenter ansöka om tillstånd hos miljöprövningsdelegationen. Länsstyrelsen är tillsynsmyndighet för

2

verksamheten, men kan överlåta tillsynen till den kommunala miljönämnden. Naturvårdsverket och branschorganisationen Svenskt Vatten har tagit fram en vägledning om formulering av villkor och krav för utsläpp från avloppsreningsverk. I dag är cirka 90 procent av Sveriges befolkning ansluten till omkring 2 100 kommunala reningsverk. Det finns cirka 100 reningsverk med en anslutning av fler än 20 000 personer eller som tar emot avloppsvatten med en föroreningsmängd som motsvarar mer än 20 000 personekvivalenter.

Reningsverken är byggda för att rena avloppsvattnet från syreförbrukande ämnen, fosfor och kväve. Mänskliga fekalier och urin är de viktigaste fosfor- och kvävekällorna. Ungefär hälften av all fosfor och cirka tre fjärdedelar av den totala mängden kväve finns i löst form. Reningsprocessen kan i princip delas upp i tre steg: mekanisk, biologisk och kemisk rening.

Det finns inga specifika bestämmelser i lag eller annan författning som uttryckligen reglerar rening av avloppsvatten från avloppsreningsanläggningar när det gäller avskiljning av läkemedelsrester och andra farliga kemikalier. Avloppsreningsanläggningar är vanligen inte heller utrustade för att bryta ned rester av läkemedel eller andra farliga kemikalier. Läkemedelsrester med miljöfarliga egenskaper passerar därför i hög utsträckning opåverkade genom avloppsreningsanläggningar och når vattenmiljön utanför. Skadliga effekter på djurlivet, t.ex. könsbyte hos fiskar, har observerats i recipienter utanför avloppsreningsverk.

Utmaningarna med vissa läkemedels skadliga effekter i miljön har uppmärksamats i regeringens proposition 2013/14:39, På väg mot en giftfri vardag – plattform för kemikaliepolitiken, och i regeringens beslut (dnr M2013/02682/Ke) om ökad miljöhänsyn i EU:s läkemedelslagstiftning. Enligt regeringens bedömning bör avancerad teknik i full skala för avskiljning av läkemedelsrester och andra svårbehandlade ämnen vara testad och utvärderad senast 2018.

Det finns olika möjliga tekniska lösningar för att rena bort läkemedelsrester. De metoder som diskuteras mest är separata reningssteg efter normal behandling, bestående av oxidation, membranfiltrering eller adsorption till ett fast material. Genom budgetpropositionen för 2014 anslags 32 miljoner kronor över fyra år till Havs- och vattenmyndigheten för att främja avancerad rening av avloppsvatten. Den renings-teknik som är aktuell för att avskilja läkemedelsrester har som positiv bieffekt att även utsläpp av andra skadliga kemikalier kan reduceras.

I Schweiz har avancerad rening införts i bland annat reningsverk med en föroreningsmängd som motsvarar fler än 80 000 personekvivalenter. Kostnaderna betalas av vattenabbonenterna.

### Närmare om uppdraget

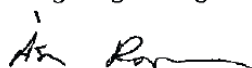
Naturvårdsverket ska utgå från den kunskap som genererats hos bland annat IVL Svenska Miljöinstitutet, Kungliga Tekniska högskolan och andra svenska aktörer som utvecklat olika tekniska lösningar i större reningsverk och studerar effektivitet och kostnader för olika renings-tekniker.

Uppdraget ska utföras i nära dialog med Havs- och vattenmyndigheten, Läke-medelsverket och Kemikalieinspektionen. Naturvårdsverket ska på lämpligt sätt även höra länsstyrelser, kommuner, kommunala bolag för vatten och avlopp och näringslivet samt övriga berörda myndigheter och aktörer.

Havs- och vattenmyndigheten ska bistå med kompetens om bevarande, restaurering och hållbart nyttjande av sjöar, vattendrag och hav samt om erfarenheter som genererats via de projekt om avloppsrening som myndigheten finansierat. Kemikalieinspektionen och Läke-medelsverket ska bistå med sin kompetens om faror och risker med kemikalier.

Naturvårdsverket ska redovisa uppdraget till Regeringskansliet (Miljö- och energidepartementet) senast den 1 maj 2017.

På regeringens vägnar

  
Åsa Romson

  
Jörker Forssell

Kopia till

Socialdepartementet  
Näringsdepartementet  
Arbetsmarknadsdepartementet  
Arbetsmiljöverket  
Boverket  
Havs- och vattenmyndigheten  
Kemikalieinspektionen  
Läkemedelsverket  
Sveriges Kommuner och Landsting  
Vinnova

## Bilaga 2 Samrådsaktörer och referensgrupp

| <b>Samrådsaktörer</b>   |                             |
|---|-----------------------------|
| HaV   | Margareta Lundin Unger      |
| KemI  | Stefan Gabring              |
| Läkemedelsverket  | Kia Sahlin                  |
| <b>Referensgrupp</b>  |                             |
| Sveriges Kommuner och Landsting (SKL)   | Tove Göthner                |
| Svenskt Vatten  | Anders Finnson              |
| Stockholm Vatten  | Cajsa Wahlberg              |
| Tekniska Verken i Linköping   | Robert Sehlén               |
| Kalix kommun  | Katarina Tano               |
| Svenskt Näringsliv  | Bo Olsson, IKEM             |
| KTH<br>Div. of industrial biotechnology   | Berndt Björleinius          |
| Umeå Universitet<br>Kemiska institutionen   | Jerker Fick                 |
| Lunds Tekniska Högskola<br>Institutionen för kemiteknik   | Michael Cimbritz            |
| Göteborgs Universitet<br>Institutionen för biomedicin   | Joakim Larsson, Lars Förlin |
| SLU<br>Institutionen för energi och teknik  | Håkan Jönsson               |
| SLU<br>Institutionen för vatten och miljö   | Jana Weiss                  |
| Högskolan i Kristianstad<br>Sektionen för lärande och miljö   | Erland Björklund, Ola Svahn |
| Uppsala Universitet<br>Institutionen för organismbiologi  | Björn Brunström             |
| Stockholms Universitet<br>Östersjöcentrum   | Emma Undeman                |
| <b>Inbjudna men ej deltagit</b><br>Länsstyrelserna<br>Livsmedelsverket<br>Jordbruksverket<br>Stockholms Universitet, Institutionen för miljövetenskap och analytisk kemi (ACES)<br>Chalmers, Matematisk vetenskap |                             |



## Bilaga 3 Havs- och vattenmyndighetens pågående uppdrag att främja avancerad rening av avloppsvatten

Havs- och vattenmyndigheten har tilldelats 32 miljoner kronor för att under 4 år (2014-2018) främja avancerad rening av avloppsvatten med syftet att reducera utsläppen av både läkemedelsrester och andra svårbehandlade föroreningar som inte kan renas bort i reningsverkens nuvarande processer.<sup>60</sup> Åtta projekt som fokuserar på olika områden har tilldelats medel, se tabell 9. Projekt 1, 2 och 7 har slutredovisat sitt arbete, projekt 4 och 8 kommer att slutredovisa 2017, projekt 3, 5 och 6 slutredovisar 2018. En sammanfattande slutrapport från projekten kommer att publiceras 2018.

**Tabell 9. Sammanställning av beviljade projekt inom utlysningen om avancerad rening av läkemedelsrester och andra svårnedbrytbara föroreningar.**

| Nr | Projekt  | Projektpartner  | Projekttid |
|----|--|---|------------|
| 1  | Läkemedel och organiska miljöföroreningar i kretsloppet  | JTI, Stockholms läns landsting, LRF, Telge Nät, SLU           | 2014-2016  |
| 2  | Pilotanläggning för ozonoxidation av läkemedelsrester i avloppsvatten- TVAB                          | Tekniska verken i Linköping AB, IVL - Svenska Miljöinstitutet | 2014-2015  |
| 3  | Fullskalig Rening Av Mikroföroreningar – FRAM  | Högskolan Kristianstad (HKR), Malmbergs                       | 2014-2017  |
| 4  | Systemförslag för rening av läkemedelsrester och andra prioriterade svårnedbrytbara ämnen -SystemLäk | IVL Svenska Miljöinstitutet, KTH, Stockholm Vatten, SYVAB     | 2014-2016  |
| 5  | Rening av svårnedbrytbara föroreningar i avloppsvatten – RESVAV                                      | Sweden Water Research AB                                      | 2014-2017  |
| 6  | Utvärdering av avancerad rening av avloppsvatten i fullskala   | Umeå universitet, Göteborgs universitet, SLU                  | 2014-2016  |
| 7  | Kunskapssammanställning om rening från läkemedelsrester och andra mikroföroreningar                  | Michael Cimbritz m. fl.                                       | 2016       |
| 8  | Interkalibrerad läkemedelsanalys (provning jämförelse av analyser)                                   |   | 2017       |

<sup>60</sup> Regeringens proposition 2013/14:1 Förslag till statens budget för 2014, utgiftsområde 20.

## Bilaga 4 Sammanställning av beräknade mängder av läkemedel som släpps ut årligen från ett urval av avloppsreningsverk

Halter läkemedelsrester i recipient nedströms avloppsreningsverk har beräknats för ett urval av svenska avloppsreningsverk i en studie av Wallberg m.fl. (2016).

I tabellen nedan finns en sammanställning över vilka substanser som analyserats vid respektive reningsverk samt vilka mängder (beräknat på medianhalt) som släpps ut per år (kg/år). Lila färgmarkering visar vilken substans som släpps ut i högst medianmängd vid respektive verk (kg/år). Gul indikerar de läkemedelssubstanser där data finns från samtliga avloppsreningsverk respektive vilka verk där samtliga substanser analyserats.

NATURVÅRDSVERKET RAPPORT 6766  
 Avancerad rening av avloppsvatten för avskiljning av läkemedelsrester och andra oönskade ämnen  
 Behov, teknik och konsekvenser

| Substans               | Torsås | Bollebygd | Borlänge | Estöv | Kristinehamn | Falun | Borås | Stockholm | Uppsala | Allingsås | Göteborg | Skövde | Visby | Umeå | Östersund |
|------------------------|--------|-----------|----------|-------|--------------|-------|-------|-----------|---------|-----------|----------|--------|-------|------|-----------|
| <b>Hormoner</b>        |        |           |          |       |              |       |       |           |         |           |          |        |       |      |           |
| Etinylestradiol (EE2)  |        |           |          |       |              |       |       | 0,3       | 0,1     |           |          | 0,02   | 0,02  | 0,2  | 0,04      |
| Estradiol (E2)         |        |           |          |       |              |       |       | 0,3       | 0,1     |           |          | 0,02   | 0,02  | 0,04 | 0,04      |
| Levonorgestrel         | 0,02   | 0,003     | 0,2      | 0,2   | 0,01         | 0,09  | 0,4   | 0,5       | 0,1     | 0,09      | 6        | 0,02   | 0,02  | 0,06 |           |
| <b>Antimikrobiella</b> |        |           |          |       |              |       |       |           |         |           |          |        |       |      |           |
| Azitromycin            |        |           |          |       | 0,005        |       |       | 1         | 0,2     |           |          | 0,02   | 0,008 | 0,03 | 0,1       |
| Ciprofloxacin          | 0,01   | 0,002     | 0,03     | 0,02  | 0,01         | 0,03  | 0,07  | 2         | 0,2     | 0,02      | 2        | 0,08   | 0,03  | 0,3  | 0,5       |
| Clarithromycin         |        |           |          |       | 0,05         |       |       | 3         | 0,8     |           |          | 0,07   | 0,007 | 0,7  | 0,04      |
| Erytromycin            |        |           |          |       | 0,05         |       |       | 7         | 1       |           |          | 0,5    | 0,08  | 1    | 0,4       |
| Flukonazol             |        |           |          |       | 0,1          |       |       | 13        | 5       |           |          | 0,6    | 0,3   | 5    | 0,6       |
| Ketokonazol            |        |           | 0,1      |       | 0,05         | 0,2   |       | 3         | 0,5     |           |          | 0,1    | 0,08  | 0,3  | 0,1       |
| Norfloxacin            | 0,004  | 0,002     | 0,03     | 0,02  | 0,01         | 0,03  | 0,07  | 0,5       | 0,1     | 0,02      | 0,7      | 0,02   | 0,02  | 0,06 | 0,1       |
| <b>Neurologiska</b>    |        |           |          |       |              |       |       |           |         |           |          |        |       |      |           |
| Citalopram             |        |           |          |       | 0,005        |       |       | 12        | 5       |           |          | 1      | 0,2   | 2    | 1         |
| Karbamazepin           |        |           | 2        |       | 0,4          | 3     |       | 58        | 17      |           |          | 3      | 1     | 8    | 2         |
| Oxazepam               |        |           |          |       | 0,7          |       |       | 36        | 10      |           |          | 2      | 0,6   | 3    | 1         |
| Sertralin              |        |           | 0,03     |       | 0,04         | 0,1   |       | 2         | 0,3     |           |          | 0,05   | 0,05  | 0,3  | 0,1       |
| Zolpidem               |        |           |          |       | 0,006        |       |       | 0,8       | 0,3     |           |          | 0,02   | 0,008 | 0,06 | 0,03      |
| <b>Smärtstillande</b>  |        |           |          |       |              |       |       |           |         |           |          |        |       |      |           |
| Diklofenak             | 0,2    | 0,1       | 1        | 0,6   | 0,8          | 1     | 4     | 37        | 29      | 0,5       | 25       | 2      | 0,7   | 5    | 3         |
| Ibuprofen              | 0,2    | 0,02      | 0,5      | 0,4   | 0,2          | 3     | 3     | 9         | 2       | 0,3       | 11       | 0,4    | 0,3   | 1    | 1         |
| Ketoprofen             | 0,1    | 0,09      | 1        | 0,4   | 0,01         | 0,3   | 2     | 3         | 2       | 0,8       | 54       | 0,5    | 0,3   | 2    | 2         |
| Kodein                 |        |           |          |       | 0,1          |       |       | 8         | 9       |           |          | 0,8    | 0,6   | 6    | 3         |
| Naproxen               | 0,2    | 0,08      | 1        | 0,8   | 0,01         | 0,4   | 2     | 4         | 1       | 1         | 60       | 0,8    | 0,5   | 3    | 8         |
| Paracetamol            |        |           |          |       | 0,1          |       |       | 8         | 0,7     |           |          | 0,5    | 0,5   | 1    | 0,4       |
| Tramadol               |        |           |          |       | 1            |       |       | 83        | 40      |           |          | 5      | 1     | 15   | 4         |
| <b>Kardiovaskulära</b> |        |           |          |       |              |       |       |           |         |           |          |        |       |      |           |
| Eprosartan             |        |           |          |       | 0,005        |       |       | 11        | 1       |           |          | 0,09   | 0,03  | 3    | 0,02      |
| Flekainid              |        |           |          |       | 0,3          |       |       | 12        | 3       |           |          | 0,3    | 0,2   | 1    | 0,4       |
| Metoprolol             |        |           |          |       | 2            |       |       | 126       | 27      |           |          | 5      | 4     | 19   | 8         |

# Bilaga 5 Tekniker för avancerad rening och dess för- och nackdelar

## Ozonering (O3)

Ozonering (O3) är en oxidativ behandling där olika ämnen oxideras med ozon, antingen genom den direkta kemiska reaktionen med ozonmolekylen eller indirekt efter bildandet av hydroxylradikaler vilket bryter ner specifika kemiska bindningar i ämnet. Vanligaste applikationen av ozonering för nedbrytning av mikroföroreningar är som slutpolering efter huvudreningsprocessen.

Nedbrytningsgraden av svårnedbrytbara organiska föreningar beror bland annat på ozondos, men påverkas även av halten av andra organiska ämnen i det behandlade vattnet. Eftersom ozongasen är reaktiv kan den inte komprimeras och lagras på ett enkelt sätt, varför den genereras på plats. En fördel med ozonering är att det är en flexibel anläggning med möjlighet att styra ozondoser och kontakttider, och att samma reningseffekt kan förväntas över anläggningens livstid. Ozonering kräver en aktiv övervakning och styrning för att få en optimerad process, där tekniker för detta är under utveckling. Detta är även en viktig aspekt för att få ner driftskostnaderna då energiförbrukningen är hög för ozongenereringen. En nackdel vid ozonering är bildandet av transformationsprodukter vilka har ekotoxikologiska effekter som är svåra att kvantifiera. Tekniken kräver därför en efterbehandling (gärna biologisk) för att minimera riskerna med nedbrytningsprodukter.

- + Lång erfarenhet av ozonering av vatten (främst dricksvatten) och slam (skum, flytslam)
- + Flera fullskaleinstallationer av kompletterande ozonbehandling för att oxidera läkemedelsrester och andra organiska föroreningar
- + Vid tillräckligt höga doser kan ozonering åstadkomma desinfektion av vattnet
- + Flexibel anläggning möjlig, med styrning av olika ozondoser och kontakttider
- + Samma reningseffekt över anläggningens livslängd kan förväntas
- + Förhållandevis låg totalkostnad (kr/m<sup>3</sup>), jämfört med övriga tekniker
- + Standardteknik med många aktörer på marknaden
- Ozondos som krävs varierar med olika substanser och vattnets sammansättning, som varierar över tid
- Kräver övervakning och styrning för optimerad drift, mätutrustning under utveckling
- För en effektiv rening behöver mängden organiska material i det vattnet som behandlas vara låg
- Bildas transformationsprodukter, vissa är stabila och andra nedbrytbara, har ekotoxikologiska effekter som är svåra att kvantifiera. Kan även innebära en viss arbetsmiljörisk, vilket ännu ej undersökts närmare.
- Kräver efterbehandling (gärna biologisk) för att minimera riskerna med nedbrytningsprodukter
- Hög energianvändning vid ozonering och tillverkning av flytande syre (samma nivå som för aktivt kol om tillverkning och regenerering av aktivt kol tas med)

- Arbetsmiljörisker vid hantering av ozon (brandrisk samt hälsovådligt)
- För att minimera risk för ozonläckage behöver material och utrustning i ett ozoneringssteg vara ozonbeständiga och säkerhetssystem installeras (till exempel läckvarnare, gaslarm, ozondestruktör)
- Brand- och explosionsrisk vid hantering av flytande syre

### **Granulerat aktivt kol (GAK)**

Den grundläggande principen för granulerat aktivt kol (GAK) är adsorption av föroreningar på den aktiva kolytan. Vid användning av GAK placeras kolet i filterbäddar i ett separat reningssteg. När kolet har blivit mättat (platser för adsorption upptagna) behöver kolet ersättas med nytt kol för att bibehålla reningseffektiviteten. Det använda kolet regenereras och kan sedan användas på nytt. Tekniken har använts länge inom olika tillämpningar inom vattenrening, och uppvisar en god reningsgrad av läkemedelsrester. För att få en effektiv rening krävs att föroreningsgrad och halt av suspenderat material i det vatten som ska renas minimeras för att maximera avskiljningen av läkemedelsrester och andra oönskade ämnen, och öka kolets livslängd. Metoden har förhållandevis låg elförbrukning vid drift, men har en hög resursförbrukning vid tillverkning och regenerering av aktivt kol.

- + Använts länge inom olika tillämpningar inom vattenrening
- + God reningsgrad av läkemedelsrester
- + Ingen begränsning i storlek av GAK-filter, passar såväl stora som små anläggningar
- + Biofilm på filtret medför biologisk nedbrytning av adsorberade substanser och andra organiska föroreningar och näringsämnen (se vidare avsnitt om BAF nedan)
- + Yteffektivt om möjlighet att omvandla existerande sandfilter till GAK-filter kan utnyttjas
- + Inga restprodukter som påverkar till exempel slamkvalitet, föroreningarna tas omhand vid regenerering
- + God arbetsmiljö
- Risk för igensättning, kräver regelbunden backspolning för att undvika hydraulikbegränsningar
- Andra föroreningar än de avsedda konkurrerar om adsorptionsplatserna – bra att minimera halten av suspenderat material i det vatten som ska renas i GAK
- Hög energi- och resursförbrukning vid tillverkning och regenerering av kol
- 10-20% kolförluster vid regenerering
- Ingen kommersiell tillverkning eller regenerering av aktivt kol i Sverige, innebär att fossila bränslen används i högre utsträckning för energiproduktion samt ökade transporter
- Osäkerhet kring kolbehov och kolets livslängd, vilket påverkar ekonomin i hög grad

## PAK

Behandling med aktivt kol kan även göras med pulveriserat aktivt kol (PAK). Reningsprocessen är även här baserad på adsorption av föroreningar på kolet, där kolet tillsätts i huvudprocessen i det biologiska steget, före en eventuell slutfiltrering i till exempel sandfilter eller i ett kompletterande reningssteg. Till skillnad från GAK avskiljs PAK med slammet om det tillsätts till huvudprocessen och regenereras således inte. Tillsätts PAK till det biologiska reningssteget ökar kontakttiden, men samtidigt är det fler föroreningar som konkurrerar om lediga adsorptionsplatser på kolet varvid kolets effekt på borttagningen av läkemedelsrester minskar. En fördel med PAK är att det endast kräver installation av lagringsutrymme och doserutrustning vid dosering till huvudprocessen, och att doseringen kan anpassas efter inkommande belastning. Tekniken förutsätter ett effektivt separationssteg för att inte släppa ut PAK till recipienten. Vid vissa applikationer kan PAK-dosering innebära kontaminering av avloppsslammet som då inte kan användas i lantbruksapplikationer.

- + Finns drifterfarenheter från tillsats av PAK till huvudprocessen vid fullskaleanläggningar
- + Ingen begränsning av anläggningsstorlek
- + Vid intern recirkulation och en ökad kontakttid kan PAK-partiklarna agera som bärare och därmed leda till minskning av andra föroreningar än läkemedelsrester i avloppsvattnet
- + PAK till huvudprocessen kräver endast installation av lagringsutrymme och doserutrustning
- + Lägre kostnad för PAK än för GAK om regenererat GAK kan användas som PAK
- + Låg energiförbrukning i driftskedet om dosering i huvudprocessen (förutsätter att UF inte krävs för separation)
  - Förutsätter ett effektivt separationssteg för att undvika att släppa PAK och miljögifter till recipienten, krävs ofta mer än eftersedimentering
  - Kan vid vissa av applikationerna ge en restprodukt i form av kontaminerat slam från avloppsreningsverket
  - Begränsad erfarenhet av separat hantering av PAK (vilket är nödvändigt om slamkvaliten inte ska påverkas negativt)
  - Skapar korrosiv och abrasiv<sup>61</sup> miljö som kan slita på material – ta hänsyn till detta vid val av utrustning
  - Viss osäkerhet kring kolbehov för att uppnå långtgående rening av läkemedelsrester
  - Hög energiförbrukning för tillverkning av PAK (och vid ev. regenerering)
  - Arbetsmiljöproblem vid bildning av damm. Kan minskas genom att hantera PAK i slutna system, med inert gas för att minska brand- och explosionsrisken.

---

<sup>61</sup> Teknisk beteckning för slitande/nötande.

### **Biologiskt aktiva filter (BAF)**

Biologiskt aktiva filter utgörs av vanliga filter (till exempel sandfilter eller aktivt kol) som utöver filterverkan även har en biologisk aktivitet som bryter ner vissa föroreningar. Även en våtmark kan räknas som ett biologiskt aktivt filter. För att minska belastningen av andra föroreningar än den reningen avser bör placeringen av BAF ske som sista reningssteg. Filtret backspolas regelbundet, och backspolningsvattnet återförs vanligtvis till det biologiska reningssteget i reningsverket. En fördel med denna teknik är att den baseras på traditionella sandfilter- eller GAK-system som är en vedertagen teknik på avloppsreningsverk. GAK som filtermedia är fördelaktigt då adsorption av föroreningar och stor specifik yta skapar goda förutsättningar för etablering av biologin, och avskiljning av läkemedelsrester. En nackdel är att biologin kräver några dagar upp till några veckors etableringstid, och kan medföra ökad igensättning och behov av backspolning med potentiella hydrauliska begränsningar över filtret. Ett stort antal mikro-föroreningar bryts ner varken i biofilmssystem eller aktivslamsystem, varför BAF med aktivt kol har den högsta avskiljningsgraden.

- + Baseras på traditionella sand- eller GAK-system vilket är vedertagen och känd teknik med flera teknikleverantörer
- + Kan tillämpas vid alla reningsverksstorlekar
- + Kräver i sig inga regelbundna byten av filtermedia då föroreningar bryts ner, dock kommer ett GAK-filter få nedsatt effektivitet över tid då adsorptionskapaciteten avtar, varpå regenerering eller utbyte av filtermassan krävs
- + GAK som filtermedia fördelaktigt då adsorption av föroreningar och stor specifik yta skapar goda förutsättningar för etablering av biologin
- + Ger en ökad avskiljning av närsalter
- + Restprodukt uppstår endast vid filterbyte
- + Ger en ökad nedbrytning av organiska föroreningar
- + Återföring av läkemedelsrester till huvudreningen möjliggör en utökad biologisk nedbrytning
- + Lågt energibehov
- För att minska halten av de flesta läkemedelssubstanser krävs det dock andra, eller kompletterande reningssteg om inte aktivt kol används som filtermaterial
- Biologin kräver längre kontakttider (> 10 min) och etableringstider (kan ta dagar upp till veckor). Vid användning av GAK som filtermaterial finns dock reningseffekten från start
- Hydrauliska kapacitetsproblem p g a mikrobiell tillväxt och filterverkan kräver regelbunden backspolning för att undvika potentiella driftsproblem
- Svårt att styra reningseffektiviteten m a p belastning i realtid
- Långtidserfarenheter saknas (>2år) för rening av avloppsvatten med BAF

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

Membranfiltrering är en fysikalisk reningsmetod där partiklar filtreras. Beroende på membranval kan partiklar och även större lösta molekyler ner till ca 10 nm avskiljas (Baresel m.fl., 2017). UF integrerat i huvudreningen på

avloppsreningsverk som en membranbioreaktor (MBR) finns i fullskala, men är mer ovanligt som separat reningssteg. Ultrafiltrering (UF) används inom dricksvattenrening som mikrobiologisk barriär.

En viktig aspekt vid drift av UF är att membranytorna med tiden får en beläggning, s.k. fouling, vilket kräver användning av kemikalier för rengöring av membranen. Utöver kemikalier leder UF till en ökad energiförbrukning, både vid drift och vid tillverkning av membranen.

En fördel med ultrafiltrering är att tekniken utgör en fysikalisk barriär mot recipienten och för ett eventuellt efterföljande reningssteg för avskiljning av läkemedelsrester (ozonering eller aktivt kol), och har en bra reningseffekt på partiklar, mikroplaster, patogener och bakterier och därmed även på multiresistenta bakterier, dock inte på resistensbildning generellt. Däremot avskiljer tekniken i sig inte ämnen lösta i vattenfasen, varför de flesta läkemedelsrester inte avskiljs med UF. Tekniken anses i allmänhet vara dyrare än annan teknik men utvecklingen och en effektivare utveckling av membranen har lett till lägre kostnader (Baresel m.fl., 2017). Vid applikation som MBR kan tekniken vara en yteffektiv lösning som ersätter behovet av eftersedimentering i en aktivslamprocess, vilket är en fördel vid reningsverk med platsbrist.

Sammanfattningsvis har UF en begränsad reningseffekt på läkemedelsrester och har endast potential som kompletterande reningssteg med avseende på partiklar eller i kombination med andra reningstekniker som aktivt kol eller ozonering.

- + Yteffektivt – ersätter eftersedimentering i aktivslamprocess
- + Fysikalisk barriär mot recipienten, och för ett ev efterföljande reningssteg
- + Renar bort partiklar ner till 0,1 µm (beroende på porstorlek), inklusive till exempel mikroplast, virus och antibiokaresistens
- Beläggning/fouling av membranytan – kräver energi och kemikalier
- Renar inte bort icke partikelbundna föroreningar, vilket innebär att de flesta läkemedelsrester inte avskiljs med UF
- Dyr teknik
- Energikrävande process (både för tillverkning av kemikalier och membran, samt vid drift)
- Kemikaliehantering – arbetsmiljöfråga och miljöfråga
- Koncentrat bildas som restprodukt

#### **Kombination pulveriserat aktivt kol – ultrafiltrering (PAK-UF)**

Kombinationen av pulveriserat aktivt kol (PAK) och ultrafilter (UF) kan användas som integrerat eller kompletterande reningssteg vid befintliga avloppsreningsverk. Det integrerade reningssteget utgörs av en MBR-process där PAK tillsätts till MBR-reaktorn. Kontakttiden i PAK-UF bestäms av reaktorvolymen och PAK/slamuttaget. En kombination av PAK och UF tillgodoser kravet på ett effektivt avskiljningssystem med aktivt kol som avskiljer föroreningar med



adsorption och ultrafiltrering som avskiljer alla föroreningar större än membranens porstorlek, inklusive eventuella rester av förorenat, pulveriserat aktivt kol. En nackdel med användning av aktivt kol i pulverform är att det försvårar en regenerering av det aktiva kolet. För beskrivning av PAK respektive UF, se respektive avsnitt.

Vid användning av PAK - UF som separat reningssteg efter huvudrening ställs krav på separat hantering av det uppkomna slammet (retentatet) om det inte ska påverka kvalitén på det slam som produceras vid avloppsreningsverket. Om PAK istället doseras till en MBR-reaktor integrerat i reningsprocessen kommer den befintliga slamhanteringen påverkas med en negativ påverkan på slamkvaliten som följd.

- + En hög PAK-uppehållstid i processen kan öka kolkapaciteten
- + Genom ultrafiltreringen tas alla föroreningar som är större än membranens porstorlek bort
- + Flexibilitet i anpassning till olika belastning via PAK-dosering
- + Biologisk film på det aktiva kolet kan öka avskiljning av organiska föroreningar
- + Ultrafiltrering ger en effektiv avskiljning av bakterier och virus, och antibiotika avlägsnas med PAK, teknikkombinationen motverkar utvecklingen av antibiotikaresistens i recipienten
- För att uppnå ett bra lösning för att hantera koncentratet kan tvåstegslösningar komma att behövas vid PAK-UF som kompletterande reningssteg
- En regenerering av PAK är inte möjlig vid PAK-MBR-alternativet (blandas med slam)
- PAK kan vid vissa av applikationerna ge en restprodukt i form av kontaminerat slam från avloppsreningsverket
- PAK kan skapa en korrosiv och abrasiv miljö vilket behöver tas hänsyn till vid införskaffandet av membran.

#### **Kombination ozonering – biologiskt aktivt filter (med granulerat aktivt kol)**

Denna teknikkombination består av ozonering och en biologisk efterpolering med granulerat aktivt kol (GAK) som filtermaterial. Den ger en flerstegsrening med både oxidativ och biologisk nedbrytning samt adsorption av föroreningar och biprodukter som bildas vid ozonering. Förhöjda syrekoncentrationer från ozoneringen gynnar en biologisk nedbrytning av föroreningar utöver adsorptionen, så länge de inte blir för höga vilket kan störa biologin. Teknikkombinationen har testats både med och utan mikrofiltrering som förbehandling före ozonering (Baresel m.fl., 2017) och ger en närmast komplett rening av läkemedelsrester och andra föroreningar, förutom mikroplaster, se vidare avsnitt 5.2 (Baresel m.fl., 2017). Ozoneringssteget medför en dynamisk styrning av reningseffektiviteten. Vid höga halter av suspenderat material rekommenderas en extra filtrering för att avlägsna partiklar större än 10 µm för att minimera mängden störande ämnen som förbrukar ozon eller BAF-kapacitet (Baresel m.fl., 2017).

- + Renar bort samtliga läkemedelssubstanser
- + Förhöjda syrekoncentrationer från ozoneringssteget gynnar en biologisk nedbrytning av föroreningar utöver adsorptionen
- + Kan bryta ner eller adsorbera restprodukterna som bildas vid ozonering
- + Kan åstadkomma en hygienisering av vattnet (men kan kräva högre ozondoser)
- + Minskar risken för multiresistenta bakterier genom borttagning av bakterier och nedbrytning eller adsorption av antibiotika
- + Möjlighet att styra reningen utifrån varierande belastning och reningsmål
- + Kända tekniker som kan levereras av ett antal teknikleverantörer
- + Det aktiva kolet kan regenereras
- + Kostnadseffektiv teknikkombination (jfr kostnads-nyttoanalys)
- + Tillämpbart i alla anläggningsstorlekar
- + I det närmaste komplett rening av även andra föroreningar (förutom mikroplast)
- + Extra rening av närsalter
- + Lägre ozondoser för samma reningseffekt än vid enbart tillämpning av ozonering
- + Kolbyte krävs mer sällan med föregående ozonering jämfört med system med enbart aktivtkolfiter
- Vid höga halter restozon kan biologin i det biologiska filtret störas
- Även vid applikation som slutreningssteg krävs extra filtrering för att avlägsna partiklar större än 10 µm
- Hög energianvändning i samband med ozonering och i samband med tillverkning av flytande syre och aktivt kol, dock finns indikationer på att teknikkombinationen är mer energieffektiv än respektive reningsteknik för sig
- Arbetsmiljöaspekter vid hanteringen av ozon (se avsnitt 5.3)

### **Kombination ultrafiltrering - biologiskt aktivt filter (med granulerat aktivt kol)**

Detta system kombinerar membranseparation med ett biologiskt och adsorberande filter. Membranen kan vara integrerade i avloppsreningsverket och då kallas systemet membranbioreaktor (MBR) med efterföljande biologiskt och adsorberande filter (BAF(GAK)). Att det aktiva kolet inte tillsätts i membransteget innebär en mindre belastning av membranen och att en negativ påverkan på slamkvaliteten kan undvikas, jämfört med systemet med pulveriserat aktivt kol (PAK). Reningseffektiviteten med ultrafiltrering (UF) följt av BAF (GAK) är mer än summan av reningseffektiviteten av varje system för sig, eftersom belastningen på BAF-systemet minskar tack vare det föregående UF-steget. Reningseffektiviteten i BAF-systemet bestäms helt av biologin samt av adsorptionsförmågan hos filtermaterialet (Baresel m.fl., 2017). Dessutom medför återföring av backspolvatten till det biologiska reningssteget i avloppsreningsverket att en extra biologisk nedbrytning erhålls (Baresel m.fl., 2017). Kombinationen av UF som avlägsnar mikroplaster och multiresistensbakterier, och aktivt kol som avskiljer läkemedelsrester inklusive antibiotika, medför att en eventuell multiresistens nedströms avloppsreningsverk kan förhindras med denna teknikkombination (Baresel m.fl., 2017).

På Sjöstadsverket har fleråriga tester utförts med MBR följt av BAF (GAK). I Kalmar pågår pilottester med ultrafiltrering följt av granulerat aktivt kol under 2017. Det finns flera leverantörer av membransystem respektive filter med aktivt kol, men kombinationen är ännu inte en kommersiell produkt (Baresel m.fl., 2017).

- + Högre reningseffektivitet då belastningen av partiklar och organiskt material minskar på GAK-systemet
- + Återföring av läkemedelsrester till huvudreningen möjliggör en utökad biologisk nedbrytning
- + Enklare membran kan användas och membranköp och drift blir därmed billigare än vid till exempel PAK-UF.
- + Rening av partikelbundna föroreningar inklusive mikroplaster
- + Förhindrar utvecklingen av multiresistens nedströms avloppsreningsverk genom avlägsnandet av bakterier och patogener med UF, och adsorption av antibiotika i BAF(GAK)
- + MBR innebär en kraftfullare, yteffektiv biologisk rening jämfört med en konventionell biologisk rening (avsnitt 3.1.1 i Baresel m.fl. (2017))
- Kemikaliehantering för rengöring av membranen
- Hög energianvändning för tillverkning av membran och aktivt kol
- Koncentrat bildas som restprodukt, i denna tillämpning hanteras detta integrerat i processen genom att pumpas tillbaka till huvudreningen.

## Bilaga 6 Intervjuer med två kommuner angående införandet av avancerad rening

Intervjuer har genomförts med företrädare för två kommuner där man är på gång respektive planerar införa avancerad rening med syfte att avskilja läkemedelsrester vid avloppsreningsverk.

### **Tekniska verken, Linköping<sup>62</sup>**

Vid Tekniska verken, Linköping är ett kompletterande ozoneringssteg under byggnation vid Nykvarnsverket i Linköping. Reningsverket är dimensionerat för 235 000 personekvivalenter (pe) och ägs och drivs av Tekniska verken, Linköping (Tv AB) som har 900 anställda varav ca 100 arbetar med VA-tjänster. Ett pilotprojekt, vars primära syfte var att undersöka ozonbehandlingen som ett alternativ för läkemedelsrening vid Nykvarnsverket i Linköping och att ge tillförlitligt tekniskt underlag för ett beslut om en fullskalig processlösning, genomfördes under 2014-2015 (Sehlén m.fl., 2015). Från idé till att anläggningen beräknas bli klar att tas i bruk har det tagit ca 4 år.

Den totala budgeten för projektet är 23-25 miljoner kronor varav ca 11 miljoner kronor beräknas för själva reningstekniken, 9 miljoner kronor för mark-/sprängningsarbete och anläggningsarbete, 2 miljoner kronor för byggnad och 2-3 miljoner kronor för övrigt såsom projektering, instrumentering m.m. Kostnaden för nytt ställverk är inte inkluderat i investeringsbudgeten eftersom den behövde göras ändå (Baresel m.fl., 2017). Implementeringen av avancerad rening kommer att medföra en total årlig kostnadsökning på ca 4 miljoner kronor/år, varav en ökad driftskostnad utgör ca 2 miljoner kronor per år. Detta motsvarar ungefär en 5 % -ig ökning av dagens driftkostnad.

De främsta drivkrafterna som lett fram till beslutet om avancerad rening som Tekniska verken själva lyfter fram är en kombination av viljeriktning att *gå före* på ledningsnivå, vilja att *bidra till nytta för företag, miljö och samhälle*, ett *engagemang och kompetens* hos medarbetare att bedriva utvecklingsarbete, *tillgång till resurser* samt en bedömning att *kostnaderna* är rimliga *i relation till samhällsnyttan* av att undvika risker i miljön (dvs. för recipienten).

### Vilja att gå före

Det finns en vilja från ledningen genom Tekniska verkens uttalade mål om att verka inom ett område som ger nytta både i ett företagsekonomiskt men även miljömässigt och samhällsekonomiskt perspektiv ("affär, samhälle och miljö").

---

<sup>62</sup> Lövsén (2017).

Tekniska verken har en vision om att bygga ”världens mest resurseffektiva region” och att vara ”drivande” är ett uttalat kärnvärde för verksamheten.

#### Engagemang och möjlighet till utvecklingsarbete

Tekniska verken lyfter särskilt fram att engagerade medarbetare som vill göra verklighet av ledningens vision är viktigt samtidigt som det måste finnas resurser och utrymme att kunna bedriva utvecklingsarbete. En bedömning har gjorts att det finns tillräckligt med drift- och underhållspersonal men att personal kommer att behöva kompetensutvecklas. Tekniska verken tror att en förutsättning är att reningsverket är tillräckligt stort så att resurser finns vid implementering av ny teknik.

#### Nytta kontra kostnad

Vid investeringsbeslutet har Tekniska verken gjort en analys där investerings- och driftskostnader vägts gentemot nytta. En riskanalys baserad på EC/PNEC-kvoten<sup>63</sup> i recipienten (Stångån) har genomförts (Sehlén m.fl., 2015) som visar att halterna av ett antal läkemedelsrester (som uppmätts i utgående avloppsvatten) riskerar att påverka recipienten (Stångån) negativt. Uppskattad/beräknad kostnad (cirka 25 miljoner kr) har bedömts vara motiverad gentemot risken för miljön.

#### Finansiella aspekter

Tekniska verken planerar inte att öka VA-taxan i kommunen, utan har och kommer att genomföra effektiviseringar inom VA-verksamheten som kompenserar för den ökade driftkostnaden som ozoneringen medför. Havs- och vattenmyndigheten har finansierat en förstudie och Tekniska verken hoppas på EU-finansiering av utökad program för uppföljning och driftoptimering, men dessa finansiella bidrag har inte varit avgörande för att genomföra satsningen. Pilotprojektet har varit avgörande för att få erfarenheter och få med sig driftpersonalen i projektet samt för att hitta den platsspecifika lösningen med ozoneringssteget. I detta fall har införandet skett efter en anmälan till länsstyrelsen, vilket inneburit begränsade administrativa kostnader. Tekniska verkens miljötillstånd för Nykvarnsverket är relativt nytt.

#### **Kalmar Vatten<sup>64</sup>**

Kalmar vatten har planer på att bygga ett nytt avloppsreningsverk som ska ersätta det befintliga. Våren 2016 fattade kommunfullmäktige ett inriktningsbeslut och en programhandling är nu under framtagande. Tidplanen för det nya reningsverket är att börja bygga år 2019 och vara i full drift år 2023. I inriktningsbeslutet inkluderas investeringen i en ultrafiltreringsanläggning, men något beslut om införande av läkemedelsrening är ännu inte fattat.

<sup>63</sup> EC/PNEC-kvoten är förhållandet mellan halten i utgående vatten, EC (Environmental Concentration) och PNEC (Predicted No Effect Concentration) (Sehlén m.fl. 2015).

<sup>64</sup> Ullman och Zhao (2017).

Som underlag för utformningen av det nya reningsverket har en multikriterieanalys<sup>65</sup> genomförts under 2012 där följande kriterier identifierades:

1. Utsläpp till vatten och smittspridning
2. Driftsäkert och robust avloppsreningsverk (relativt liten personalstyrka och ingen bräddningskapacitet vid avloppsreningsverket)
3. Flexibilitet för framtida utbyggnad
4. Flexibilitet i framtiden avseende högre lagkrav (på kväve, fosfor, läkemedel)

Pilotförsök med ultrafiltrering med syftet att avskilja mikroplast genomfördes under 2015-2016. Därefter har ytterligare ett reningssteg med aktivt kol lagts till för att utvärdera avskiljningen av läkemedelsrester och andra organiska mikroföroreningar. Detta pilotprojekt kommer att pågå under ett år och avslutas i februari 2018.

De främsta drivkrafterna enligt Kalmar Vatten själva bakom det utvecklingsarbete om avancerad rening som bedrivs, är en kombination av att det finns en vilja från ledningshåll att *ligga i framkant*, ett *engagemang och kompetens* hos medarbetare att bedriva utvecklingsarbete, att det finns ett *politiskt intresse* för riskerna i miljön och att det finns en *förväntan på kommande lagkrav* på rening av läkemedelsrester. *Försiktighetsprincipen* har vidare varit en viktig drivkraft viktigare än fastställd nytta kontra kostnad.

#### Vilja att gå före

Det finns en vilja från ledningen genom Kalmar Vattens vision om att bli Sveriges bästa VA-bolag. Dessa framtidsaspekter ingår naturligt i visionen och har lett till genomförande av pilotförsök med en kombination av ultrafiltrering och ytterligare reningssteg med aktivt kol.

#### Politiskt intresse

I samband med att Kalmar Vatten påbörjade arbetet med att välja system för det nya reningsverket uppmärksammades mikroplastproblematiken samt risker för negativ miljöpåverkan till följd av utsläpp av läkemedelsrester i samhällsdebatten. Ett intresse från politiker uppstod som följd, vilket bidragit till besluten om avancerad rening.

#### Förväntade strängare reningskrav

I multikriterieanalysen, som genomfördes 2012, beaktades bl. a utsläpp till vatten och smittspridning och behovet av en flexibel anläggning för att kunna möta framtida reningskrav. En relativt stor utredning om framtida reningskrav genomfördes specifikt och uppdateras löpande genom aktiv omvärldsbevakning.

---

<sup>65</sup> Urban Water, 2012.

### Försiktighetsprincipen

Kalmar vatten har i sitt inriktningsbeslut inkluderat investeringen i ultrafiltrering utifrån att det är motiverat att avskilja mikroplast och minska risken för spridning av antibiotikaresistenta bakterier ur ett försiktighetsperspektiv. Däremot har motivet att införa läkemedelsrening inte bedömts som tillräckligt starkt baserat på recipientens beskaffenhet.

### Finansiella aspekter

Det har inte tagits något finansieringsbeslut för att täcka den extra kostnad som den ytterligare reningen av läkemedelsrester kommer att innebära. Kalmar Vatten gör bedömningen att finansiering av avancerad rening blir svår att motivera om behov i recipienten och/eller lagkrav inte kan påvisas. Detta då kostnaden för ett sådant reningssteg bedöms vara mycket hög.

# Avancerad rening av avloppsvatten för avskiljning av läkemedelsrester och andra oönskade ämnen

RAPPORT 6766

NATURVÅRDSVERKET  
ISBN 978-91-620-6766-3  
ISSN 0282-7298

## Behov, teknik och konsekvenser

På uppdrag av regeringen redogör Naturvårdsverket i denna rapport för förutsättningarna för användning av avancerad rening vid avloppsreningsverk i syfte att avskilja läkemedelsrester. En analys av behovet av avancerad rening, av vilka tekniska lösningar som finns och för- och nackdelarna med dessa, samt en analys av övriga konsekvenser av användning av avancerad rening presenteras.

Naturvårdsverket konstaterar att det finns ett behov att införa avancerad rening av läkemedelsrester i avloppsvatten. Sådan rening skulle även medföra rening av andra oönskade ämnen, vilket förstärker nyttan. Behovet motiveras framförallt utifrån risken för långsiktiga effekter av utsläpp av läkemedelsrester i den akvatiska miljön.

Naturvårdsverket konstaterar vidare att det finns tekniker för avancerad rening som kan implementeras som ett komplement till befintliga reningssteg, där det finns skalfördelar vid installation vid större avloppsreningsverk med lägre kostnader som följd.

För att begränsa spridningen av läkemedelsrester till miljön behövs ett brett spektrum av åtgärder i hela kedjan från utveckling av nya läkemedel, tillverkning, användning, hantering av rester till utsläpp i miljön. Denna utredning är ett steg på vägen mot införandet av avancerad rening på avloppsreningsverk. Behovet av att införa avancerad rening varierar och vi vet idag inte hur många eller vilka avloppsreningsverk som bör prioriteras. Detta behov behöver klargöras, liksom att utreda vilken styrning som på ett samhällsekonomiskt effektivt och ändamålsenligt sätt kan leda till att avancerad rening införs där behovet är störst.

