

Beställargrupp för minskade utsläpp av läkemedelsrester, mikroplaster och andra föroreningar via avloppsreningsverk

Redovisning 2022



Svenskt Vatten

Svenskt Vatten AB

POSTADRESS BOX 14057, 167 14 Bromma

BESÖKSADRESS Gustavslundsvägen 12, 167 51 Bromma

TELEFON 08-506 002 00

E-MAIL svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se

Förord

I slutet av 2021 beviljades Svenskt Vatten bidrag av Naturvårdsverket för att fortsätta arbetet med en beställargrupp för minskade utsläpp av läkemedelsrester och andra mikroföroreningar. Denna rapport utgör en slutlig redovisning av de aktiviteter som genomförts under 2022, inom ramen för arbetet med denna beställargrupp.

Ett stort tack för medverkan i arbetet riktas till Klara Westling (Svenskt Vatten), Elin Salmonsson (Sweco) och Jessica Sellin (tidigare IVL Svenska Miljöinstitutet), styrgruppen samt alla representanter som medverkat från beställargruppens anslutna organisationer.

Hanna Östfeldt,
Haninge, November 2022

Innehåll

Förord	2
Sammanfattning	4
1 Inledning	5
1.1 Syfte och mål	5
2 Beskrivning av aktiviteter i uppdraget.....	7
2.1 Medlemmar i beställargruppen	7
2.2 Sammanfattning webinarie 2022-10-25	9
2.3 Sammanfattning av slutrapporter	15
3 En kunskapssammanställning om mikroplastutsläpp från kommunalt avloppsvatten i Sverige 2022 – bilaga 217	
4 Slutsatser – beställargruppens arbete 2022	18
5 Nationella rapporter om avancerad rening	19
Bilaga 1	22
Bilaga 2	38
Bilaga 3	59
Bilaga 4	62

Sammanfattning

Det finns ett ökande behovet av att införa avancerad rening av läkemedelsrester och andra mikroföroreningar i avloppsvatten samt att förbättra kunskapen om mikroplaster i spillvatten. Många VA-organisationer i Sverige står därför inför gemensamma utmaningar vad gäller framtida krav på avancerad rening. Svenskt Vatten fick av denna anledning i juni 2018 bidrag beviljat av Naturvårdsverket för att bilda en beställargrupp. Denna beställargrupp om 36 medlemmar har fortsatt sitt arbete och utvecklats vidare under 2022.

Målen med beställargruppen är att bidra till en kostnadseffektiv introduktion av tekniker för avancerad rening av läkemedel och andra mikroföroreningar, bygga upp kunskap om var i dagens reningsverk som mikroplasterna avskiljs och hur utsläpp av mikroplaster från avloppsvatten kan begränsas, samtidigt som mängden avskilda mikroplaster som kommer till slammet kan minimeras på kostnadseffektiva sätt. Beställargruppens metoder ska även bidra till att resultat och erfarenheter sprids och kan tillämpas vid upphandlingar, drift och skötsel i de svenska reningsverk som har behov av detta.

Under sommaren 2022 påbörjades årets konsultuppdrag som syftade till att sammanställa kunskapsläget av mikroplastutsläpp från svenska kommunala avloppsreningsverk. Projektet syftade till att sammanställa och diskutera kända utsläpp av mikroplast via kommunalt avloppsvatten till vattenförekomster och mark med fokus på utsläpp från renat avloppsvatten, bräddvatten och slam. Målet var att ge en samlad bild av de totala mikroplastutsläppen från kommunalt avloppsvatten i Sverige och föra en diskussion kring osäkerheten kopplad till befintliga data.

Under året har det inom beställargruppen genomförts ett webinarie där fokuset dels var återkoppling från pågående och avslutade bidragsfinansierade projekt, dels driftserfarenheter av fullskalig rening av läkemedel samt kartläggningar av läkemedel i recipient och på reningsverk.

Det finns ett fortsatt behov av en beställargrupp eller motsvarande branschpassad kunskaps-/erfarenhetsplattform. Detta behov kan sammanfattas som ett samordningsbehov för kommande projekt, ett uppföljningsbehov där såväl positiva som negativa erfarenheter från pågående projekt snabbt kan fångas upp och komma andra till godo, och ett fortsatt kunskapsbehov i form av branschpassade sammanfattningar av kommande forskningsrön och teknikutveckling.

1 Inledning

Det finns ett behov av att införa rening av läkemedelsrester och andra mikroförroreningar i kommunalt avloppsvatten (Naturvårdsverket, 2017). Behovet har dessutom förstärkts i och med att EU har presenterat sitt nya förslag på avloppsdirektiv som innefattar just läkemedelsrening för reningsverk större än 100 000 personekvivalenter (pe) och för reningsverk med minst 10 000 pe där recipienten är känslig. Till det föreslår EU-kommissionen nya miljö kvalitetsnormer för kemisk status inkluderat PFAS (24) och flera läkemedelsrester samt föreslår skärpta värden för östrogener och diklofenak.

Tillgängliga tekniker för denna avancerad rening finns, men mognadsgraden varierar och erfarenheter från fullskaleanläggningar är begränsad och resursåtgången samt miljöpåverkan är hög. Med fortsatt teknikutveckling och mer driftserfarenhet finns potential för både ökad resurseffektivitet och minskade kostnader och lägre miljöbelastning.

Många reningsverk står inför liknande utmaningar och en beställargrupp i branschen, som fokuserar på läkemedelsrester och andra mikroförroreningar, är en viktig plattform och stöd för reningsverken med att införa avancerad rening. Svenskt Vatten ansökte därför till Naturvårdsverket under slutet av 2021 för en fortsatt finansiering under 2022 av den beställargrupp som verkat sedan 2018. Fokus på 2022 års arbete har varit att sammanställa kunskap om det svenska utsläppet av mikroplaster från kommunala avloppsreningsverk samt att hålla webinarie för beställargruppens medlemmar och andra intressenter.

Idag består beställargruppen av medlemmar som representerar nästan 40 olika VA-organisationer i Sverige (se kapitel 2.1). I denna slutrapport redovisas de olika aktiviteterna som genomförts i beställargruppen under 2022 samt vilka resultat de olika aktiviteterna givit.

1.1 Syfte och mål

Beställargruppen ska underlätta införandet av avancerad rening på de svenska avloppsreningsverken samt bygga upp kunskap om mikroplaster. Genom att flera beställare går samman i en gemensam förfrågan till marknaden skapas en större köpkraft och därmed också starkare incitament för att leverantörerna ska utveckla nya lösningar. Målet är att nya mer kostnadseffektiva lösningar med hög reningsgrad och driftsäkerhet utvecklas, introduceras och sprids på marknaden. Genom att prova och utvärdera olika alternativa lösningar, metoder och produkter gemensamt kan medlemmarna dela på kostnaderna och riskerna, för att bygga upp kunskap och erfarenhet.

Beställargruppen ska utgöra ett stöd för reningsverken så att dessa kan handla upp robusta processlösningar som ger en kostnads- och resurseffektiv rening. Genom att enas om metoder, krav och kriterier kan upphandlingar bedrivas effektivare och ge bättre konkurrens på marknaden. Beställargruppen kan bli ett stöd vid förberedelser inför upphandlingar genom att ta fram kriterier för reningskrav, tekniska prestanda och modeller för utvärdering av kostnader.

Beställargruppen ska också verka för samverkan och kunskapsutbyte mellan de reningsverk som erhåller stöd från Naturvårdsverket för införande av avancerad rening av mikroförroreningar. Beställargruppen ska även aktivt sprida erfarenheterna och resultaten av de ovanstående punkterna till anläggningsägare som inte är medlemmar i nätverket.

Syftet med de konsultstudier som genomförs inom ramen för beställargruppens arbete är att ta fram material som möjliggör beställargruppens fortsatta arbete med nationell och internationell utblick. Den erfarenhet från fullskaleanläggningar gällande

teknik, upphandling och kravställande som finns i Europa behöver komma beställargruppens medlemmar tillgodo för att förbättra möjligheterna att förenkla införandet av avancerad rening på svenska avloppsreningsverk.

Målen för beställargruppen är att:

- Bidra till en miljöanpassad och kostnadseffektiv introduktion av tekniker för avancerad rening av läkemedelsrester och andra föroreningar.
- Bidra till att bygga upp kunskap om var i dagens reningsverk som mikroplasterna avskiljs och hur utsläpp av mikroplaster från avloppsvatten kan begränsas, samtidigt som mängden avskilda mikroplaster som kommer till slammet kan minimeras på kostnadseffektiva sätt.
- Bidra till att beställargruppens metoder, resultat och erfarenheter sprids och kan tillämpas vid upphandlingar, drift och skötsel i de svenska reningsverk som har behov av detta.

2 Beskrivning av aktiviteter i uppdraget

Beställargruppens arbete påbörjades 2022 med ett första startmöte med Naturvårdsverket den 3 februari. Mötets främsta syfte var att bestämma omfattning för gruppens arbete 2022. Under mötet bestämdes följande aktiviteter:

- Anordna ett webinarie – som främst ska rikta sig till berörda reningsverk för att dela erfarenheter, positiva som negativa.
- Konsultuppdrag för kartläggning av de studier som gjorts på svenska reningsverk över mikroplaster – hur skiljer sig reningsverken åt, vad är osäkerheten i data, samt hur bidrar reningsverken som transportkälla för mikroplaster? Konsultuppdraget har utförts i ett samarbete mellan Sweco och IVL Svenska miljöinstitutet.
- Fortsätta att hålla hemsida uppdaterad
- Fortsätta sammanställning av de projekt som Naturvårdsverket finansierat och redovisat sina rapporter.

2.1 Medlemmar i beställargruppen

Medlemmarna i beställargruppen för läkemedelsrening och mikroplaster utgörs till stor del av de VA-organisationer som ansökt och fått beviljat stöd från Naturvårdsverket för investeringar eller förstudier för läkemedelsrening under 2018–2021 (se bilaga 3). Även andra intresserade VA-organisationer uppmuntras att vara med i beställargruppen. I Tabell 1 presenteras de medlemmar och VA-organisationer som är involverade i beställargruppen samt deras kontaktuppgifter. Medlemskap i beställargruppen är avgiftsfritt.

Bolag/Kommun/Förbund	Representant Beställargruppen
Alingsås	Josefin Pehrsson
Borås Energi Miljö	Christine Berggren
Borlänge Energi	Jesper Johansson
Enköping	Annelie Pahv
Enköping	Louise Boisen
Eskilstuna Strängsnäs Energi & Miljö	Anna Bogren
Falun Energi & Vatten	Melviana Hedén
Gryaab	Gustaf Ernst
Gryaab	Susanne Tumlin
Gästrike Vatten	Elisabet Aulenius
Gästrike Vatten	Wen Zhang
Haninge kommun	Hanna Östfeldt
Kalmar	Qing Zhao
Karlshamns energi	Johanna Johansson
Karlstad kommun	Christer Petterson
Kungsbacka kommun	Jonatan Flodin
Käppalaförbundet	Jonas Grundestam
Lidköpings kommun	Gudrun Magnusson
Lidköpings kommun	Amanda Andersson
Luleå Miljöresurs AB	Erika Broström
Motala kommun	Anna Odnell
Motala kommun	Anna-Carin Pålsson
MSVA	Jessica Schröder
MSVA	Malin Tu vesson
Mälarenergi	Jan Nordin
NVAA	Emma Gunnerblad
NSVA	Hamse Kjerstadius
NSVA	Amanda Widen
Region Gotland	Henrik Sedman
Ronneby Miljö och Teknik AB	Mattias Andersson
Ronneby Miljö och Teknik AB	Paulina Malmgren
Österlen VA	Stefan Blomqvist
Simrishamns kommun	Marcus Hasselgren
Sorsele	Lars-Gunnar Burman
Syvaab	Ross Roberts
SVOA	Sara Nilsson
Tierps kommun	Jørgen Johnsen
Uppsala Vatten & Avfall AB	Anna-Maria Sundin
Uppsala Vatten & Avfall AB	Johanna Andersson
VAKIN	Sven Tunell
VA Syd	Disa Sandström
VA Syd	Kerstin Hoyer
VA Syd	Ivelina Dimitrova
VIVAB	Moshe Habagil
VIVAB	Alexander Keucken

Tabell 1

Medlemmar i
beställargruppen
november 2022.

Medlemmar i beställargruppens styrgrupp 2022 är:

- Jesper Olsson, Käppalaförbundet
- Pernilla Bratt, Lidköping
- Pär Gustafsson, NSVA
- Sara Söhr, Syvab
- Ylva Eriksson, VA Syd
- Klara Westling, Svenskt Vatten, ordförande
- Hanna Östfeldt, Svenskt Vatten, ledare för beställargruppens sekretariat.

2.2 Sammanfattning webinarie

Beställargruppen anordnade ett webinarie 25 oktober 2022. Att avancerad rening för läkemedel, mikroplaster och andra mikroföroreningar ligger i ropet med till exempel det nya förslaget på avloppsdirektivet gjorde att webinariet blev fullsatt med 150 deltagare. De deltagande personerna var ett brett spann med representanterna från VA-organisationer, länsstyrelser, konsultbolag, forskningsvärlden, läkemedelsindustrin samt teknikleverantörer.

Nedan följer kort sammanfattning från respektive föredrag:

Uppdatering från Naturvårdsverket – Maximilian Lüdtke, Naturvårdsverket

Från Naturvårdsverket kom uppdatering att 12 förstudier har beviljats i 2022 års utlysning till ett totalt belopp på ca 26 miljoner kronor.

Naturvårdsverket är inblandade i ett antal aktiviteter:

- revidering av EU:s avloppsdirektiv
- revidering av EU:s miljö kvalitetsnormsdirektiv ("prioämnesdirektivet")
- översyn av EU:s slamdirektiv – revisionsförslag planerat till 2023
- regeringsuppdrag – svensk implementering av EU-förordning "återanvändning av avloppsvatten på jordbruksmark". Är ute på remiss och förordning blir gällande sommar 2023
- pågående forskningssynteser om ökat användande av avlopp som resurs
- etappmålsansvar "Läkemedel i miljön" tillsammans med Läkemedelsverket

Drifterfarenheter från läkemedelsrening i Linköping – Robert Sehlén, Tekniska Verken i Linköping

I Linköping på Nykvarnsverket finns en fullskaleanläggning för läkemedelsrening som består av ett ozonsteg med ozoninblandning med efterföljande reaktor, efterbehandling och kväverening med hjälp av MBBR samt en tertiär sedimentering. Inblandningen ozon sker med hjälp av en venturinjektor och radiella diffusorer och reaktortanken utformad för plugflöde med en uppehållstid på 12 min. Syrehalten som bildas från ozonet utnyttjas i MBBR:n. Höglödestoppar går förbi anläggningen.

Initialt var det många problem med ozonanläggningen. Värme är ett problem som behöver hanteras då ozonproduktion alstrar värme. Värmeväxlaren som installerades var inte rätt dimensionerad vilket ledde till hög temperatur i vattnet som i sin tur bröt ned ozonet och därmed behövdes ännu mer ozon produceras. Ett annat problem med värmeväxlaren var påväxt av biofilm vilket har löst genom en liten dos ozon in till växlaren. Ett annat problem var programmeringen, det har krävts mycket arbete för att få det att stämma. De flesta problemen med ozonanläggningen är åtgärdade, om den inte är igång nu är det oftast för att det biologiskt renade vattnet är för grumligt.

Anläggningen är idag driftstabil och drifttimmar går att rondera, rengöra silkorg för drivvatten 1–2 ggr/vecka sam tillsyn av instrument. Försök har gjorts att styra ozondos mot en UVA-mätare men främst sätts dosen manuellt.

I maskinrummet finns det dubbla rumsmonitorer för ozon och syre samt att bärbar gasmätare behöver användas i rummet. Kraftigt spänningsfält genereras vilket gör att pacemaker kan störas. Det finns även risk för hörselskador pga. av högfrekvent ljud (1400 Hz) som skapas i transformatorskåpet.

Kartläggning reningsverk som källa till spridning av mikroplaster – Elin Salmonsson, Sweco och Jessica Sellin, IVL

Det uppskattas att det idag finns mer än 150 miljoner ton plast i världens hav, som varje år antas öka med mellan 5 och 13 miljoner ton. Plast som hamnar i naturen fragmenteras långsamt till mikroplaster. Avloppsreningsverk är viktiga för att minska tillförseln av mikroplast till miljön. Kartläggningen syftar till att sammanställa kända utsläpp för avloppsreningsverk genom utsläpp av renat vatten, bräddvatten samt slam.

Mikroplast definieras som fasta partiklar av plast och gummi upp till 5 mm och kan förekomma i flera olika former som korn, flagor och fibrer. I naturen fragmenteras till mindre delar och kan finnas kvar i århundranden. Källor till mikroplast kan vara t.ex. slitage av däck, konstgräsplaner, nedskräpning m.m. Transportvägar är främst dagvatten, luft, avloppsvatten och slam.

Kartläggningen har studerat studier som gjorts på åtta reningsverk, en pilotanläggning, Naturvårdsverkets nationella skattning samt tio reningsverk från Danmark och tre reningsverk från Norge. Det ligger stora felkällor främst för att antalet studier är få, det har bara gjorts enstaka provtagningar samt olika metoder har använts.

Kartläggningen visar på 93–100 % reduktion av mikroplaster genom svenska avloppsreningsverk. Till naturen/recipient kommer varje år ca 0,1–10-tals ton mikroplaster genom renat avloppsvatten, 1–10-tals ton mikroplast genom bräddvatten samt 10–100-tals ton mikroplast genom slam. Detta att jämföra med 1000–10 000-tals ton mikroplast varje år från däck och konstgräs. För avloppsreningsverken betyder det att de främsta åtgärderna bör ligga på bräddvatten och slam. En stor del av mikroplasterna hamnar i rensat vid bra rensavskiljning vilket gör att mikroplasterna tas ur flödet och förbränns.

Den inkommande halten mikroplastpartiklar som kommer till avloppsreningsverken har av oklar anledning stor variation. För att öka säkerheten i analysresultat och jämförbarhet mellan studier bör utveckling ske genom dels förbättrad försöksupställning (fler viktbaseerade analyser, större analysintervall och fler prov per studie), dels mer forskning och samordning (standardiserade analysmetoder och bättre metoder för slamanalys).

Läkemedelsrening vid Ängens avloppsreningsverk – referat av Mark- och miljödomstolens dom – Gudrun Magnusson, Lidköpings kommun

Lidköping ska bygga ett nytt reningsverk och inför det lämnades en ansökan med samlad prövning av vattenverksamhet och miljöfarlig verksamhet in till Mark och miljödomstolen i Vänersborg juni 2019. Domen kom ett år senare juni 2020. I den domen fick man inte flytta utsläppspunkten pga miljökvalitetsnormen för ammoniak samt risk för smitta när det renade avloppsvattnet leds genom staden. Lidköpings kommun skulle dessutom installera läkemedelsrening från start, inklusive utredningsvillkor och förslag till slutliga villkor som skulle lämnas in fem år efter att verket tagits i drift.

Lidköpings kommun överklagade domen till Mark- och miljööverdomstolen (MÖD) och åtog sig i samband med det mycket strängare utsläppsvillkor avseende ammonium/ammoniak samt att installera läkemedelsrening från start men samtidigt yrkade de att villkoret om läkemedelsrening skulle upphävas. Läkemedelsreningen ska installeras som ett led i den innovativa utvecklingen med för ett villkor ansåg de att teknikmognaden är låg och under utveckling samt det inte finns några fastställda miljökvalitetsnormer avseende särskilt förorenande ämnen angående läkemedelsrester i de aktuella vattenförekomsterna/recipienterna. Detta resulterade i att MÖD medgav yrkad utsläppspunkt samt upphävde villkoret om läkemedelsrening men att Lidköping åtagit sig att bygga ett sådant reningssteg. Dock fick kommunen fyra utredningsvillkor som innehåller bland

annat att ”*identifiera lämpliga parametrar och analysmetoder... av utsläpp av smittämnen, läkemedelsrester, biocider och andra mikroföroreningar*”.

Lidköpings kommun har därför börjat kartlägga nuläget genom kartläggning av läkemedelsförekomst i Lidan genom att försöka identifiera de läkemedelsrester med riskkvoter över 1 (riskkvot = EC/PNEC – EC – environmental concentration, PNEC – predicted no effect concentration). Även PFAS utvärderas.

Är ozonering ett säkert alternativ för kvartär rening på Sjölunda trots höga halter bromid i inkommande vatten – Lennart Höglind, VA Syd

VA Syd har utför en förstudie i samband med teknikval för Nya Sjölunda. Det är höga halter bromid i inkommande avloppsvatten (pga havsvatten) som ligger över riktlinjer från Schweiz (0,4 mg/l) vilket skulle kunna innebära för höga halter av bromat vid installation av ett ozoneringssteg. För att undersöka detta har ekotoxikologiska tester för saltvatten samt dosresponsförsök ozonering utförts.

Ekotoxikologiska tester tar fram en så kallad nolleffekthalt och beroende på kvalitén på underlaget fastställs en säkerhetsfaktor. Sedan kan PNEC för bromat beräknas genom att dividera nolleffekthalt på säkerhetsfaktor. VA Syd gjorde extra tester för att få en så låg säkerhetsfaktor som möjligt (PNEC = 0,11 mg/l). En bedömning gjordes utifrån rimlig utspädning i utsläppspunkten, vilket sattes till 100 gånger.

Riskkvoter för Sjölunda för att se på behovet att reningseffekt för respektive läkemedel. Detta togs fram genom att titta på PNEC-värden i salthalt för olika läkemedelsrester, studera uppmätta halter av läkemedelsrester i utgående renat avloppsvatten (max-halt) och anta 100 ggr utspädning.

Ozoneringsförsök gjordes sedan på de fyra läkemedel med störst behov av reningseffekt – diklofenak, citalopram, erythromycin samt oxacepam. Oxacepam krävde en dos på 0,6 mg ozon/mg DOC för 80 % reningseffekt vilket skulle ge med höga halter bromid en bromatbildning på ungefär 0,4 mg bromat i utgående renat avloppsvatten. Med 100 gångers utspädning skulle det innebära att 0,004 mg bromat/l i utgående vatten vilket är under PNEC för bromat på 0,11 mg/l.

Läkemedelsreduktion i aerob granulärt och aktivt slam – Britt-Marie Wilén, Chalmers

Studie i läkemedelsreduktion i aerob granulärt slam (AGS) och jämfört skillnaden i avskiljning mellan aktivt slam (CAS) och AGS. AGS är en speciell form av biofilm utan bärrammaterial som bildas under särskilda förhållanden i SBR-tankar och är en blandning av granuler och slamflockar. Granulerna är kompakta och sedimenterar snabbt. Slamåldern är lång med hög mikrobiell diversitet. I granulerna finns det zoner med olika redoxförhållanden vilket skapar olika mikromiljöer med möjlighet för olika mikroorganismer att samexistera. Den höga diversiteten av mikroorganismer skulle kunna vara gynnsam för nedbrytning av läkemedel.

Studien har utförts på Österröds avloppsreningsverk som har två parallella biologiska processer, en del AGS (60 % av flödet) och en del CAS (40 % av flödet – fördenitrifikation, nitrifikation och efterdenitrifikation).

Vid mätningar av kvarvarande fraktion på olika läkemedelsrester i utgående vatten uppvisade AGS inte bättre resultat än CAS. Transformationshastigheter undersöktes i satsvisa försök under 48 h i aeroba och anoxiska förhållanden. För de flesta ämnen var avskiljningen snabbare vid aeroba förhållanden.

AGS har en högre mikrobiell diversitet än CAS vilket skulle kunna innebära att andra faktorer kan ha spelat större roll vid avskiljning såsom exponering av mikroföroreningar för biomassan eller massöverföringsbegränsningar.

Studien kan läsas i SVU-rapporten 2022-8.

<https://www.svensktvatten.se/contentassets/40765c9472174169b49cc802cbe41d65/svu-rapport-2022-08.pdf>

Hur förhåller sig klimatpåverkan och kostnader för regenerering av aktivt kol i en egen anläggning, en regional anläggning i Sverige eller regenerering hos en extern part i Centraleuropa – Jakob Kragh Andersen

Förstudie för att undersöka klimatpåverkan, energianvändning och kostnad för regenerering av GAK (granulerat aktivt kol). Tre olika scenarier har undersökts – befintlig anläggning i Belgien/Tyskland (1100 ton aktivt kol/år), ny anläggning på Sjölanda (1100 ton aktivt kol/år) eller ny regional anläggning i Sverige (6000 ton aktivt kol/år).

Beräkningar har gjorts på siffror från leverantörer för reaktivering av GAK på anläggningar i Europa, leverantörer för utrustning till reaktiveringsanläggningar samt från litteratur. För en lokal eller regional regenerering har en termisk regenerering i form av flervåningsugn antagits.

Beräkningar har gjorts för de olika scenarierna och bedömts i känslighetsanalys:

- gas- och energiförbrukning (kWh/kg GAK)
- klimat – dels i form av CO₂-emissionsfaktorer för produktion av jungfruligt GAK och extern reaktivering av GAK (ton CO_{2eq}/ton GAK), dels CO₂-emissionsfaktorer för energi (g CO₂/kWh), dels CO₂-emissioner för transport (kg CO_{2eq}/km)
- ekonomi SEK/ton GAK.

För klimatpåverkan visade extern reaktivering i Centraleuropa (~2 kg CO_{2eq}/kg GAK) dubbelt så stor påverkan än lokal och regional reaktivering (~1 kg CO_{2eq}/kg GAK).

Vid jämförelse för specifik årlig kostnad för reaktivering beräknades den regionala anläggningen vara lönsammast på ca 7 000 SEK/ton GAK, följt av en lokal regenerering på ca 11 000 SEK/ton GAK. Extern regenerering var dyrast med beräknad årlig specifik kostnad på strax över 16 000 SEK/ton GAK.

Transporterna hade inte så stor inverkan på klimatkalkylen, typ av el- och gas använd gav större påverkan på emissionsfaktorerna.

Försök med PAK-MBR på SYVAB Himmersfjärdsverket – Ross Roberts, SYVAB

Himmersfjärdsverket ska byggas om till MBR-process och Syvabs ägardirektiv pekar på att kunna hantera läkemedelsrening. Därför har en PAK-MBR pilot på Hammarby sjöstadswerk installerat men två parallella linjer – en för testlinje och en som referenslinje. Samma membrankassetter har använts som i full-skala och styrsystemet är egenutvecklat i Cactus.

Visuellt hade PAK-MBR-linjen betydligt mindre skul/flytslam samt ingen missfärgning i utgående vatten (permeat). Reduktion redan i MBR av substanser med höga halter som enkelt tas bort. Reduktionen ökade ytterligare vid tillsats av PAK. Vid en PAK-dos på 25 mg/l sågs ökad reduktion av Syvabs samtliga Prio-substanser. Summan av samtliga läkemedel renades bort med ca 85 % i MBR men med PAK ökar det till 99 %. För summan av 16 svårnedbrytbara läkemedel ökar reningseffekten med PAK från 25 % till 96 %. PFOS reduceras kraftigt redan i MBR men negativ och oklar trend för övriga PFAS, dock väntar Syvab på fler analyser.

PAK tycks medföra positiva effekter i MBR som t.ex. minskad energi- och kemikalieförbrukning och bättre slamegenskaper. Med en ”lämplig” slambehandling kan mikroförroeningarna tas bort från kretsloppet.

Jämförelse PAK-dos på 15–20 mg/l har gjorts mot GAK (tidigare förstudie) där ett antagande av 20 000 bäddvolymeter i ett filter innan det byts ut motsvarar ungefär 30 mg/l. Kostnaden för GAK och PAK ligger på ungefär samma nivå vilket skulle innebära att GAK skulle vara 20–30 Mkr dyrare per år (GAK – 60 Mkr/år och PAK 30–40 Mkr/år).

Pilotanläggning för läkemedelsrening Uddebo avloppsreningsverk – Erika Boström, Luleå Miljöresurs och John Lindam, Mellifq

En pilotanläggning för läkemedelsrening har utförts vid Uddebo avloppsreningsverk (Luleå). Piloten har syftat till att göra en kartläggning av nuläget, få erfarenheter av teknik och för Norra Sverige. Piloten från Mellifq bestod av ozon och GAK och driftutvärderingen visade ungefär 80 % reningsgrad där sandfilter stod för en hög grad.

I pilotprojektet har två olika analyspaket använts varav det ena analyspaketet återkommande rapporterade högre värden än det andra analyspaketet, vilket visar på problemet med metod och osäkerheter i analysresultat.

Beräkning har gjorts för vad en uppskalning skulle innebära för Uddebo reningsverk – 500 kg mätbara aktiva substanser skulle kunna renas bort per år men skulle också innebära ökad energianvändning på 5 400 MWh/år vilket motsvarar 70–75 % av dagens energibehov.

Pilotprojekt läkemedelsrening – Inge Mårdner, Lycksele Avfall och Vatten AB

Pilotprojektet syftade till att rena avloppsvatten från läkemedelsrester och då göra en jämförelse mellan elektroperoxone (Envix) och ozonering. Jämförelsen gjorde genom att testa tre olika doser ozon och för elektroperoxone tre olika kvoter ozon och peroxid. Sedan utvärderades detta på reningsgrad av läkemedelsrester och biocider, bromatbildning och toxicitetsanalys. Testerna har utförts sommarperiod, höstperiod och nu återstår en vinterperiod innan slutrapportering sker i slutet av året.

Jämförelsen visade på 40 % bättre reningsgrad för läkemedelsrester i vatten renat med Elektroperoxone jämfört med ozonering. Ingen bromatbildning kunde påvisas i något test vid Elektroperoxone. Toxicitetsanalyser pågår och referensmätningar har gjorts i älven, uppströms och nedströms reningsverket.

Avancerad rening av mikroföroreningar vid Duvbackens avloppsreningsverk – en förstudie, Linda Önnby, Sweco/IVL – Svenska miljöinstitutet

För att kunna avgöra vilket behov som finns för rening av läkemedelsrester och andra mikroföroreningar vid Duvbackens avloppsreningsverk har en miljöriskbedömning gjorts. Som underlag till miljöriskbedömningen har karaktärisering av inkommande och utgående vatten samt slamfas gjorts med analyser av >200 substanser (läkemedel, hormoner, PFAS11, fenoler och effektbaserad analys). Resultat visade att största delen av mikroföroreningarna hamnar i vatten jämfört med slam. Utifrån analyserna har PEC/PNEC-kvoter tagits fram för att få fram de ämnena med högst miljörisk (kvot ≥ 1).

PEC baseras på analyser från utgående vatten från Duvbackens ARV till recipient (spädningsfaktor 10) samt analyser från en recipientprovtagningsspunkt. Vid utsläppspunkten hamnar fem ämnen i hög risk-kategorin, inkluderat diklofenak och PFOS men detta skulle behövas ses närmare på med hjälp av modelleringsmetodik. Detta gör att behovet av avancerad rening vid Duvbackens ARV inte kan uteslutas. Både GAK och ozon tycks vara lämpliga tekniker utifrån vattenmatrik och riskämnen. Dock är GAK väsentligt dyrare än ozon + MBBR, sett till både drift och investering samt så har GAK större klimatpåverkan. Med för ozon behöver bromidhalterna bekräftas.

Avloppsvattens påverkan på vattenlevande organismer – Tanja Näslund, Formas och Magnus Breitholtz, Stockholms universitet

Naturvårdsverket finansierar forskning och avancerad rening på avloppsreningsverk och Formas fick uppdrag att ta fram en översikt för hur svenskt avloppsvatten påverkar vattenlevande organismer och om avancerad rening eventuellt minskar påverkan. För att kunna svara på frågorna har en litteratursökning gjorts varav 35 vetenskapliga studier klarade urvalskriterierna. Kriterierna bestod studier på vattenlevande organismer utsatta av konventionellt renat avloppsvatten, det skulle finnas jämförelse med antingen opåverkat vatten eller vatten som renats med avancerat teknik samt innehålla

utfall i form av skadliga effekter eller effekter som kan indikera skada eller påverkan på vattenlevande organism eller ekosystem. Studierna skulle endas baseras på svenska data. Resultatet evidensgranskades och endast resultat med medium eller hög tillförlitlighet inkluderades i synteserna, och sedan har slutsatserna graderats efter en fyrgradig skala.

Slutsatserna blev att de kunde vara säkra på att vattenlevande organismer som exponeras av avloppsvatten påverkas på ett sätt som kan indikerar skada. De var ganska säkra på att ozonering eller aktivt kol minskar påverkan på vattenlevande organismer jämför med konventionellt renat avloppsvatten. Det vetenskapliga underlaget är otillräckligt för att bedöma om behandlingsvåtmarker påverkar vattenlevande organismer. Dessa slutsatser leder till att mer forskning behövs om svenskt avloppsvattens påverkan på vattenlevande organismer på alla trofnivåer.

<https://formas.se/analys-och-resultat/rapporter/2022-05-31-svenskt-kommunalt-avloppsvatten-och-dess-paverkan-pa-vattenlevande-organismer.html>

Läkemedelsrester i Västra Götaland. Hur ser läget ut och vad bör göras?

– Per Rosander, Västra Götalandsregionen

Västra Götalandsregionen har miljömål för 2030 för minskad miljöpåverkan från läkemedel. Som en del av detta har regionen kartlagt läkemedelsföreningar. Syftet var att få kunskap om recipientkontroll – historisk data och trender; källor – spridningsvägar, punktutsläpp, hushåll; prioriteringar – hot spots; åtgärder – som planeras av andra; indikatorer – hur utvärderas åtgärder? samt rekommendationer – åtgärder som bör prioriteras.

Totala avloppsflödet från vårdinrättningar till kommunala ARV endast en liten del av totalmängden vilket gör att nyttan av lokal rening beror på vårdinrättning och typ av läkemedel, flöden m.m. VGR är den region med flest enskilda avlopp – generellt sämre nedbrytning och når ytvattenrecipienter fort. Spridning av slam (43 % av regionens slam) – påverkan oklar men mindre risk för ytvattenpåverkan. Regionen har 1 ARV >500 000 pe, 8 ARV 20 000–50 000 pe och 34 ARV 2 000–20 000 pe. Inget ARV har rening för läkemedel. Ingen systematisk och återkommande kartering av läkemedel vid ARV även om några karteringar har gjorts. Ingen systematisk och återkommande kartering av läkemedel i ytvatten i VGR och de prover som gjorts visar tydliga halter över gränsvärden (MKN).

Utredningens rekommendationer blev därför:

- Kartlägga dagens situation: göra regiontäckande kartering i de mest känsliga ytvattenrecipienterna som tar emot avloppsvatten och upprepa med ett visst intervall
- Öka miljömedvetenhet, kunskapsöverföring: allmänheten, vården och djurhållning
- Samarbeten: över regionerna och med olika aktörer inom regionen
- Åtgärda: upphandling (läkemedel med mindre miljöpåverkan), urinseparerande system i vårdmiljöer, avloppsreningsverk tekniska åtgärder på verk till störst miljönytta, enskilda avlopp (rådgivning).

<https://mellanarkiv-offentlig.vgregion.se/alfresco/s/archive/stream/public/v1/source/available/sofia/rs4307-1443998878-474/native/Kartl%c3%a4ggning%20av%201%c3%a4kemedelsf%c3%b6roreningar%20i%20V%c3%a4stra%20G%c3%b6taland.pdf>

Läkemedelskartläggning – framtagande av en road-map för kommande investeringar – Amanda Widén, NSVA

NSVA har 13 olika reningsverk med olika recipienter och resurser och tar därför fram en roadmap för kommande investeringar. Kartläggning har gjorts för hormoner, YES, läkemedel, PFAS11 och fenoler. Prover har tagits på inkommande, utgående och i recipient. En påverkansbedömning med beräknade och uppmätta halter i recipient där

bedömningen inkluderar gräns- och bedömningsvärden, kronisk toxicitet – PEC/PNEC-kvot, akut toxicitet samt östrogen påverkan.

Från påverkansbedömningen har målsubstanser identifierats och en prioritering av reningsverken kunnat göras. Åtgärdsförslag blir då baserade på målsubstanser och lokala förutsättningar. Schablonkostnader tas fram för drift och investering.

2.3 Sammanfattning av slutrapporter

Alla de projekt som fått medel ifrån Naturvårdsverket antingen för en förstudie eller ett investeringsprojekt ska redovisa sina resultat i en slutrapport. På beställargruppens hemsida sammanfattas slutrapporterna i ett dokument som kommer att vara levande och uppdateras vartefter slutrapporterna lämnas in och kan refereras till som en leverans i beställargruppens redovisning av årets aktiviteter. 2021 fanns det 19 slutrapporter sammanfattade och i år har ytterligare 10 slutrapporter sammanfattats. Tabell 2 sammanfattar de rapporter som har sammanfattats under detta år: Sammanfattande tabell för samtliga slutrapporterade rapporter återfinns sist i bilaga 1.

VA-verksamhet och storlek på RV	Undersökta tekniker	Prioriterade läkemedelssubstanser efter riskvärdering	Läkemedelssubstanser som ligger nära eller överskrider SFÅ enligt HVMFS 2029:25	Investeringskostnad och driftkostnad
Alingsås kommun Nolhaga reningsverk 30 000 pe	Sandfilter + ozon + GAK och BAK	Ej utfört men högrisk- läkemedel som oxaze- pam, metoprolol och trimetoprim återfinns samt PFAS	-	-
Haninge kommun Fors reningsverk 13 000 pe	GAK, ozon + sandfilter och PAK Utv. med fiskar	Citalopram, diklofenak, furosemid, oxazepam, ranitidin, sertralin, venlafaxin	Diklofenak	Uppskattad driftkost- nad för ozon-sandfilter: 1,5 kr/m ³
NSVA Recolab	Nanofilter + ozonering	-	-	Inv: 6,74 MSEK
Region Gotland Visby reningsverk 40 000 pe	UF + RO Rening på retentat: GAK, ozon och H2O2/ UV	-	-	Uppskattade kostn: Investeringar: UF: 70 MSEK, RO: 31 MSEK, UV/H2O2: 3 MSEK, O3: 12 MSEK, GAK: 13 MSEK Specifik kostnad/m ³ : UV/H2O2: >0,7–2,1 kr, O3: 0,9–3,5 kr, GAK: 0,63–2,1 kr
Ronneby Miljö och teknik AB Bräkne-Hoby ARV 3 500 pe	Sandfilter + ozonering + GAK	-	-	Inv: 11 MSEK
VAKIN Öns och Flurkmars ARV 100 000 pers (Öns ARV)	• Ozon och GAK • Sandfilter + 1 linje BAK och 1 linje avancerad ox-proccs + GAK	-	-	Investering (Flurkmars ARV): 7,6 MSEK
VIVAB Getteröverket 56 700 pe	UF + GAK	Citalopram, Clarithromycin, Diklofenac, Erythtomycin, Furosemide, Oxazepam, Sertraline och Sulfamethoxazole	Diklofenak och PFOS	Uppskattade kostn.: UF: 0,5–0,65 kr/m ³ , GAK: 0,5–1 kr/m ³
Örebro kommun Skebäckverket	-	Diklofenak i utgående spillvatten från Skebäckverket	Diklofenak under- skriver gränsvärdet	-
Österlen VA AB Kiviks nya ARV	MBR + 2 GAK			77 MSEK (inkl. projekte- ring, intern tid m.m)
Österlen VA AB St Olofs ARV	Sandfilter + GAK	-	-	8 MSEK

Tabell 2

Sammanfattning av
slutrapporter som
sammanfattats under 2022.

3 En kunskapssammanställning om mikroplastutsläpp från kommunalt avloppsvatten i Sverige 2022 – bilaga 2

Kunskapssammanställningen om mikroplastutsläpp i Sverige från kommunalt avloppsvatten har skrivits på uppdrag av Svenskt Vattens beställargrupp under 2022. Syftet med projektet är att sammanställa och diskutera kända utsläpp av mikroplast via kommunalt avloppsvatten till vattenförekomster och mark med fokus på utsläpp från renat avloppsvatten, bräddvatten och slam. Målet är att ge en samlad bild av de totala mikroplastutsläppen från kommunalt avloppsvatten i Sverige och föra en diskussion kring osäkerheten kopplad till befintliga data.

Projektet består av en litteraturstudie samt en kvantitativ analys. Den kvantitativa analysen är baserad på resultat från åtta svenska avloppsreningsverk som analyserat antal mikroplastpartiklar i inkommande och utgående renat avloppsvatten samt två till fyra svenska studier som analyserat eller skattat vikt av mikroplastpartiklar i inkommande och utgående renat avloppsvatten, bräddvatten och slam. Jämförelser har gjorts med danska och norska studier.

Föreliggande sammanställning visar att uppskattningsvis 1 000-tals miljarder mikroplastpartiklar kan släppas ut med det renade vattnet från svenska avloppsreningsverk årligen, eller uppskattningsvis mellan 0,1 och 10-tals ton per år, se figur nedan. Generellt har de undersökta svenska avloppsreningsverken en hög reduktionsgrad av antal mikroplastpartiklar på ca 99 %. Reduktionsgraden kan dock variera med reningsteknik.

De största transportvägarna av mikroplastpartiklar från avloppsvatten till vattenrecipient är bräddvatten och utgående renat avloppsvatten. Slam är den största transportvägen av mikroplastpartiklar från avloppsreningsverk till naturen. Viktmässigt uppskattas transporten som sker via bräddvatten och utgående renat avloppsvatten utgöra enstaka procent av utsläppen som sker via slam, som vidare utgör enstaka procent av de uppskattade utsläppen från mikroplastkällorna däck och konstgräs.

Variation i analyserade storleksintervall och analysmetoder såväl som det begränsade antalet analyser medför stor osäkerhet i analysresultaten som presenteras i förekommande rapport. I enighet med de flesta studier inom området belyser förekommande sammanställning behovet av standardiserade analysmetoder, fler viktbaserade analyser, större analysintervall med avseende på partikelstorlek, bättre metoder för analys av slam samt fler studier där ett större antal prov per studie analyseras för att kvantifiera mängden mikroplast från renat avloppsvatten, slam och bräddvatten.

Rapporten finns att läsa i sin helhet i bilaga 2.

4 Slutsatser – beställargruppens arbete 2022

Syftet med att driva en beställargrupp för minskade utsläpp av läkemedelsrester och andra mikroförureningar via avloppsreningsverk var att underlätta införandet av avancerad rening på de svenska avloppsreningsverken samt bygga upp kunskap om mikroplaster. Slutsatsen som kan dras av projektet under 2022 är att beställargruppen fortsatt har fungerat som en plattform för alla medlemmar i samband med utredningar kopplade till behov och teknikval, i uppförandet av fullskaliga anläggningar för avancerad rening, samt en sammanfogande kunskapsbank om nya och etablerade tekniker.

Ett digitalt webinarie har hållits som blev fulltecknat med ett stort spann av deltagare från medlemsorganisationerna, akademien, konsulter och leverantörer. Detta visar på det stora intresset för ämnet samt behovet av kunskapsutbyte. Ett intresse som bara tordes öka med eventuella krav på läkemedelsrening från ett framtida avloppsdirektiv.

Konsultuppdragets sammanställning visade intressanta slutsatser att i förhållande till de potentiella utsläppen från mikroplastkällorna däck och konstgräs är utsläppen från avloppsvatten små. Sammanställningen föreslår att slam och bräddvatten är de enskilt största spridningsvägen av mikroplast från avloppsreningsverk. Resultaten är dock behäftade med stora osäkerheter bland annat till följd av bristen på standardiserade analysmetoder och det begränsade antalet analyser.

Det finns ett fortsatt behov av en beställargrupp eller motsvarande branschanpassad kunskaps-/erfarenhetsplattform. Detta behov kan sammanfattas som ett samordningsbehov för kommande projekt, ett uppföljningsbehov där såväl positiva som negativa erfarenheter från pågående projekt snabbt kan fångas upp och komma andra till godo, och ett fortsatt kunskapsbehov i form av branschanpassade sammanfattningar av kommande forskningsrön och teknikutveckling.

I ett eventuellt fortsatt arbete med beställargruppen skulle till exempel en uppföljande intervju med deltagande organisationer kunna utföras för en konsekvens- och styrmedelsanalys. Frågor skulle kunna vara om de anläggningar som finansierats som investeringsprojekt är de fortfarande i drift och finns kompetens i personalen att fortsätta drifva dessa samt de förstudier som har gjorts har de lett till en investering eller inte? Det stora intresset vid webinariet visar också på det fortsatta behovet av kunskapsutbyte.

5 Nationella rapporter om avancerad rening

Baresel, C., Cousins, A.P., Hörsing, M., Ek, M., Ejhed, H., Allard, A.S., Magnér, J., Westling, K., Wahlberg, C., Fortkamp, U., Söhr, S. (2015). *Pharmaceutical residues and other emerging substances in the effluent of sewage treatment plants – Review on concentrations, quantification, behaviour, and removal options*. IVL Swedish Environmental Research Institute, Report 2226, Stockholm.

Baresel, C., Ek, M., Ejhed, H., Allard, A.-S., Magnér, J., Dahlgren, L., Westling, K., Wahlberg, C., Fortkamp, U., Söhr, S. (2017). *Handbok för rening av mikroförroeningar vid avloppsreningsverk – Planering och installation av reningstekniker för läkemedelsrester och andra mikroförroeningar*. Slutrapport SystemLäk projekt. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport B2288.

Baresel, C., Karlsson, L., Thorsén, G., Esfahani, B. (2021) *Kartläggning av läkemedelförroeningar i Västra Götaland*. IVL Svenska Miljöinstitutet. Rapport 6521

Björklund, E. & Svahn, O. (2017a). *LUSKA Läkemedelsutsläpp från skånska Avloppsreningsverk 2017. Ett utvecklings- och samverkansprojekt på Högskolan Kristianstad I samarbete med Region Skåne och 6 skånska reningsverksaktörer*, Högskolan Kristianstad Rapport.

Björklund, E. & Svahn, O. (2017b). *Interkalibrerad läkemedelsanalys 2017 – Ett samarbetsprojekt för ökad analyskvalité*, Högskolan Kristianstad Rapport.

Björklund, E. (2022). *En enkel försäljningsbaserad modell för prediktering av kemisk belastning av individuella läkemedel till specifika reningsverk – en empirisk studie exemplifierad med karbamazepin och validerad med kemisk analys*. Högskolan Kristianstad Rapport

Cimbritz, M., Tumlin, S., Hagman, M., Dimitrova, I., Hey, G., Mases, M., Åstrand, N., Jansen, J. la Cour (2016). *Rening från läkemedelsrester och andra mikroförroeningar – En kunskapssammanställning*. Svenskt Vatten Utveckling, Rapport 2016-04.

Edefell, E., Ullman, E., Bengtsson, E. (2019). *Ultrafilter och granulerat aktivt kol för avskiljning av mikroförroeningar*. Svenskt Vatten Utveckling, Rapport 2019-01.

Formas (2022) *Svenskt kommunalt avloppsvatten och dess påverkan på vattenlevande organismer – en systematisk översikt*. Formas Rapport F1:2022

Formas (2022) *Svenskt kommunalt avloppsvatten och dess påverkan på vattenlevande organismer – samhällsekonomisk analys*. Forms Rapport F2:2022

Havs- och vattenmyndigheten (2018). *Reningsteknik för läkemedel och mikroförroeningar i avloppsvatten. Redovisning av åtta projekt som fått medel från Havs- och vattenmiljöanslaget 2014–2017*. Rapport 2018:7.

Ljung, E., Borg Olesen, K., Andersson, P-G., Fältström, E., Vollertsen, J., Wittgren, HB., Hagman, M. (2018) *Mikroplaster i Kretsloppet*. Svenskt Vatten Utveckling, Rapport 2018-13.

Naturvårdsverket (2017). *Avancerad rening av avloppsvatten för avskiljning av läkemedelsrester och andra oönskade ämnen – behov, teknik och konsekvenser*. Redovisning av regeringsuppdrag. ISBN 978-91-620-6766-3.

Naturvårdsverket (2019). *Mikroplaster i miljön år 2019 - Redovisning av ett regeringsuppdrag*. Skrivelse: 2019-05-28, Ärendenr: NV-08867-17. maj 2019.

Pirzadeh P., Svahn O. & Milenkovski S (2021). Läkemedel i vattenrecipienter. Hur prioriterar vi framtidens rening? En studie om läkemedels påverkan på vattenmiljön nedströms reningsverk som grund för prioritering för avancerad rening och återvinning av vatten. Länsstyrelsen Skåne, Rapportnummer: 2021:13.

Svenskt Vatten (2020). ReningsVÄRK – Läkemedelsrester i vår gemensamma vattenmiljö. Svenskt Vatten nov 2020, Meddelande M149.

Svenskt Vatten (2016). *Mikroplaster – källor och uppströmsarbete samt möjligheter till rening vid kommunala reningsverk.* Svenskt Vatten 22 dec 2016.

Tumlin S. (2017) *Microplastics Report from an IWA Sweden conference and workshop in Malmö*, November 8–9, 2017. VA-teknik Södra – Rapport Nr. 08.

Bilagor

Bilaga 1

Sammanfattning av slutrapporter

Innehåll

1 Inledning	24
2 Sammanfattningar av projektrapporter	25
2.1 NV-06665-18 Kiviks nya ARV, Simrishamn/Österlen VA AB (fullskala).....	25
2.2 NV-06672-18 Recolab, NSVA (Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp AB) (fullskala).....	26
2.3 Bräkne-Hoby ARV, Ronneby Miljö och Teknik AB (fullskala).....	27
2.4 NV-03605-19 St Olofs ARV, Österlen VA AB (fullskala)	28
2.5 NV-03667-19 Öns och Flurkmårks ARV, VAKIN (förstudie med fullskala)	28
2.6 Visby reningsverk, Region Gotland (förstudie)	29
2.7 Fors reningsverk, Haninge kommun (förstudie)	30
2.8 NV-02961-20 Nølhaga avloppsreningsverk, Alingsås kommun (förstudie)	31
2.9 Skebäckverket, Örebro kommun (förstudie).....	32
2.10 Getteröverket, VIVAB (Vatten och Miljö i Väst AB) (förstudie).....	33
3 Sammanfattande tabell	35

1 Inledning

Naturvårdsverket har i uppdrag att fram till 2023 fördela bidrag för att genomföra åtgärder som syftar till att förbättra vattenmiljön. Naturvårdsverket får använda 170 miljoner kronor för att ge bidrag till investeringar i:

- dagvattenåtgärder som minskar mikroplaster och andra föroreningar via dagvatten
- implementering av avancerad rening för avskiljning av läkemedelsrester vid avloppsreningsverk.

Vid implementering av avancerad rening delas projekten in i:

Förstudieprojekt som omfattar framtagning av underlag för ett investeringsbeslut. *Investeringsprojekt* som omfattar hela processen från förstudie, upphandling, genomförande av entreprenad, idrifttagning samt utvärdering. Ett investeringsprojekt gäller en anläggning.

I varje projekt sammanfattas resultaten i en slutrapport. Denna sammanfattning består av tio slutrapporter, övriga rapporter som redan har sammanfattas återfinns på beställargruppens hemsida:

<https://www.svensktvatten.se/vattentjanster/avlopp-och-miljo/reningsverk-och-reningsprocesser/bestallargrupp-lakemedelsrester-mikroplaster-och-andra-foro-reningar/sammanfattning-lakemedelsrapporter/>

På beställargruppens hemsida sammanfattas också dessa slutrapporter i en tabell med en kort beskrivning av projektet, vald teknik, projektgenomförande och kontaktinformation. Även en presentation av prioriterade läkemedelsrester för varje reningsverk presenteras.

Sammanfattande tabell över slutrapporter som presenteras här samt tidigare sammanfattade rapporter finns i kapitel 3.

2 Sammanfattningar av projektrapporter

2.1 NV-06665-18 Kiviks nya ARV, Simrishamn/Österlen VA AB (fullskala)

Österlen VA AB har fått bidrag för investering av läkemedelsrening i samband med byggnationen av Kiviks nya avloppsreningsverk.

Simrishamns kommuns VA-organisation, nuvarande Österlen VA AB, hade fått tillstånd för reningsverket redan 2017 men i och med erfarenheter av avancerad rening vid Stengårdens reningsverk samt att organisationen ville ställa om tankesättet av ett reningsverk – går från avfallsanläggning till produktionsanläggning – hade man fått in nya drivkrafter för det nya reningsverket. Samtidigt tog kommunfullmäktige beslut om cirkulär vattenrening.

För att kunna installera avancerad rening drogs två parallella delar i gång – projektering av reningsverket och bearbetning av Länsstyrelsen så att en rad anmälningsärenden kunde göras i stället för att söka ett nytt tillstånd. Bland annat innebar ändringarna nya villkor för verksamheten (och de två aktiva kolfiltren):

Provtagning av föreslagna 15 ämnen, Estrone, Estradiol, Etinyestardiol, Clarithromycin, Trimethoprim, Ciprofloxacin, Citalopram, Carbamazepine, Tramadol, Oxazepam, Venlafaxine, Diclofenac, Naproxen, Atenolol och Metoprolol (3 hormoner, 3 st antimikrobiella, 5st neurologiska, 2 smärtstillande och 2 kardiovaskulära se bilagor) valda utifrån persistens, biologiska- och kemiska egenskaper, samt att det visat sig att de förekommer i relevanta halter. Provtagning i fråga ska ske sex gånger jämnt fördelat över året, av inkommande spillvatten till reningsverket samt utgående renat spillvatten till recipient. För att bedömning av kolfiltrets kapacitet och utbytesbehov av filtermassa och dess egenskaper ska kunna möjliggöras, kan provtagningsfrekvensen behöva höjas då förekomsten av mikroföroreningar påtagligt ökar. Frekvensen på den utökade provtagningen ska stämmas av med sakkunnig.

Systemlösningen för reningsverket blev MBR + 2 aktivkolfilter. Andemeningen för Österlen VA AB är att ha tre fullskaleanläggningar med olika avancerad rening för att möjliggöra testbäddar för forskning och utveckling. Organisationen valde att detaljprojektera själva för att ha kontroll och styrning av process och produkter. För utförandeentreprenaden handlades en entreprenör upp (Malmberg Water AB) och arbetena påbörjades hösten 2019. Våren 2020 slog pandemin till men projektet kunde utföras bra ändå med lite fördröjningar i tid på sluttampen då material och personal från Tyskland blev kvar på hemmaplan. När idrifttagning närmade sig hittades två fel i underlaget, dels hade två bassänger skiftat namn på ritning, dels krockade två huvudmatningar med en befintlig takstol. Detta orsakade tidsförskjutning på fyra veckor för åtgärder. Anläggningen stod ändå i sig klar enligt plan och alla kostnader var upparbetade förutom de 5 % av entreprenadsumman som hölls till slutbesiktning.

Anläggningen är nu i fullt bruk. Dock kommer vissa justeringar behöva göras. Utbildning av bolagets personal är gjord men det kommer troligen att behöva anställas ytterligare personal för att köra enbart detta reningsverk. Analyspaketet har växt pga. Huber levererat krav på analyser för att deras garantier ska upprätthållas. Under byggnationsåret har bakgrundsanalyser gjorts varje månad och ska fortsätta att tas ett år för att kunna möjliggöra jämförelse mellan innan och efter byggnation.

Utöver denna bidragsfinansierad investering ingår Kiviks ARV i ett antal studier:

- SVU-projekt: Kan avloppsvatten bli vårt framtida dricksvatten? – en utvärdering av processkombination MBR+GAK
- SVU-projekt: Juridiska utmaningar när avloppsvatten blir tekniskt vatten
- Projekt Region Skåne om lärdomar och utarbeta underlag för testbäddar
- Doktorandprojekt (Lunds universitet, Linköpings universitet och RISE) – cirkulära lösningar i smart symbios där Simrishamn är ett case för cirkulär vattenanvändning- och hantering
- Linköpings universitet – projekt för sistaårsstudenter om förutsättningar för cirkulära vattenflöden, en fallstudie i Simrishamns kommun gällande regionens vattenproblematik.

2.2 NV-06672-18 Recolab, NSVA (Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp AB) (fullskala)

NSVA (Nordöstra Skånes Vatten och Avlopp AB) har genom Naturvårdsverket fått bidrag för investering för Recolab i en teknik som har till huvudsakligt syfte att avskilja läkemedelsrester från avloppsvatten. I Recolab behandlar man källsorterat avloppsvatten och vid installation av läkemedelsreningen behövde man ta beslut ifall man skulle behandla enbart klosettvalet (som innehåller majoriteten av läkemedelsresterna) eller om behandlingen skulle allt källsorterat avlopp. En konsult undersökte ett koncept på en integrerad anläggning där rejekt från matavfalls- och klosettvaletbehandling behandlas tillsammans med gråvatten med en kombinerad membranfiltrering och ozonering. Konceptet visade sig billigare att drifva än referensalternativet (ozonering av hela avloppsvattnet ihop med biologisk behandling eller ultrafiltrering). Kostnadssänkningen berodde på läkemedelsrester koncentreras upp med en volymreduktionsfaktor på 4–5 varpå koncentratet behandlas med ozon. Vidare produceras ett permeat av dricksvattenkvalitet. NSVA valde därför att gå vidare med konstruktion av en kombinerad nano-filtrerings- och ozoneringsanläggning.

NCC utförde den pågående byggnationen av Recolab och fick därför i uppdrag att handla upp den valda processlösningen. Den nederländska firman Landustrie fick uppdraget att leverera processutrustning. Leveransen inkluderade en membranlösning i steg vilket möjliggör att testa olika flödesbelastningar samt olika membrantäthet. Detta ger en god lösning där NSVA har möjlighet att vidareutveckla tekniken för att finna olika behandlingstekniker beroende på önskad kvalitet på permeat, reningsgrad av läkemedelsrester samt energiåtgång. Koncentratet behandlas med ozon (15 min) innan det återsänds till den biologiska behandlingen.

Installationen påbörjade våren 2020 och skulle vara klart till årsskiftet, men på grund av pandemin blev överlämningen förskjutet till mars 2021. Då driftstarten skjutits fram samt att kostnaderna för installation ökat valde NSVA senarelägga utredning av relationen av TOC mot reduktion av läkemedelsrester (för att kunna styra anläggningen mot TOC).

Kraven på anläggningen kommer vara enligt nedanstående tabeller:

	Gränsvärde
Turbiditet	≤0,5 NTU
E. coli	0 CFU/100 ml
Enterococcus	0 CFU/100 ml
Coliforms	≤10 CFU/100 ml

Tabell 1

Tillåtna utsläppskoncentrationer i dygnsmedelprov.

Substans	Beskrivning	Kategori
Amisulprid	Läkemedel	1
Karbamazepin	Läkemedel	1
Citalopram	Läkemedel	1
Klaritromycin	Läkemedel	1
Diklofenak	Läkemedel	1
Hydroklortiazid	Läkemedel	1
Metoprolol	Läkemedel	1
Venlafaxin	Läkemedel	1
Bensotriazol	Korrosionsinhibitor	2
Kandesartan	Läkemedel	2
Irbesartan	Läkemedel	2
4-eller 5-metylbensotriazol	Korrosionsinhibitor	2

Tabell 2

Organiska föroreningar som skall mätas avseende reduktion på 80 % massa (48 h medelprov enligt schweiziska riktlinjerna).

På grund av önskemål från Helsingborgs stad har NSVA gått vidare med frågan att återvinna vatten av dricksvattenkvalitet från det membranfiltrerade permeatet. Helsingborgs stad önskar utnyttja det återvunna vattnet till en lokal simhall som ska byggas mitt emot anläggningen Öresundsverket och byggnaden Recolab. Under våren 2020 sökte NSVA medel från Länsstyrelsen för säkrad dricksvattenförsörjning för att kunna genomföra en mikrobiologisk barriäranalys samt projektera för utökning av reningssteg i anläggningen för att nå säkerställt skydd. Detta resulterade i ett principförslag som ska projekteras - det nanofiltrerade vattnet ska genomgå ett kompletterande behandlingssteg av ozonering, filtrering genom aktivt kol och behandling av UV-ljus.

2.3 Bräkne-Hoby ARV, Ronneby Miljö och Teknik AB (fullskala)

En fullskaleanläggning för rening av läkemedelsrester samt PFAS/PFOS har installerats vid Bräkne-Hoby ARV. Anledningen till att installera en fullskaleanläggning vid Bräkne-Hoby ARV i Ronneby kommun är att dels har läkemedelsrester påvisats i avloppsvattnet, dels är recipienten Hanöbukten en viktig naturresurs med betydande fiske och sandstränder för rekreation. Bukten har dokumenterade miljöproblem.

Utgående behandlat avloppsvatten från reningsverket leds till reningsanläggningen där reningen av läkemedelsrester sker genom följande steg: vattnet passerar först ett sandfilter varefter det pumpas vidare till en reaktortank för ozonering (dos 3–5 g/m³) och slutligen passerar vattnet ett aktivt kol-filter. Anläggningen har varit i bruk sedan december 2020 och provtagning på vatten före och efter reningsanläggningen för läkemedelsrester har utförts under perioden januari till oktober 2021. Ronneby Miljö och Teknik AB har även installerat en pilotanläggning vid avloppsreningsverket i Rustorp för utvärdering. Arbetet vid anläggningarna är två olika projekt men vissa slutsatser och lärdomar har använts vid arbetet med den fullskaliga anläggningen.

Målet för anläggningen är att uppnå en reduktionsgrad på 80 % för utgående halter av läkemedelsrester. Från analysresultaten under perioden januari till oktober 2021 går det att konstatera att halterna av läkemedelsrester är ökande i utgående vatten under den andra delen av undersökningen (ca juli till oktober). En anledning till detta kan bero driftproblem vid ordinarie reningsverk pga. slamflykt och försämrad biorening. De läkemedelsrester som annars skulle ha bundits till slammet hamnar i anläggningen för läkemedelsrening i stället. Liknande resultat kan ses för PFAS/PFOS men med en skillnad i sammansättningen avseende inkommande/utgående vatten då det i vissa provtagningsomgångar påvisats högre halter i utgående vatten än i inkommande vatten.

I princip reducerades läkemedelsresterna till 100 % för samtliga analyserade parametrar. För PFAS/PFOS kunde en tydlig renig ses men ej lika hög som för läkemedelsresterna. Detta beror dels på då vissa PFAS-parametrar var under detekteringsgränsen på både inkommande och utgående vatten. Två typer av fenoler (4-n-nonylfenol samt 4-tert-oktylfenol) analyserades vid anläggningen men kunde inte påvisas varken på inkommande eller utgående vatten.

2.4 NV-03605-19 St Olofs ARV, Österlen VA AB (fullskala)

Då Simrishamn redan har två reningsverk med läkemedelsrening valdes en reningsprincip för St Olofs ARV som inte fanns på någon av de andra reningsverken. Då St Olofs sedan tidigare ingått i forskningsprojektet KASK/LUSKA kunde utredning för val av teknik använda sig av denna bakgrundsdata. Recipienten är dessutom viktig att skydda ur känslighetssynpunkt. Ingen tillståndprocess behövdes göras utan endast en ändring till Ystad-Österlenregionens Miljöförbund.

Projektet handlades upp som en totalentreprenad där Österlen VA själva upprättade förfrågningsunderlag med handlingar och kravspecifikation utifrån tidigare erfarenheter. Den upphandlade entreprenören stod för detaljprojekteringen. April 2021 påbörjades entreprenaden och projektet har flutit på enligt plan och anläggningen är nu i fullt bruk. Reningsanläggningen består av ett sand- och kolfilter.

Bakgrundanalyser har gjorts varje månad under byggnationsåret och analyserna kommer fortsätta en gång i månaden ett år efter färdigställande för att analysera före och efter. Då det finns så pass mycket analysdata historiskt är analyspaketet utökat för att matcha bakgrundsdata samt så har två ytterligare analyspunkter lagts till, upp- och nedströms reningsverket.

2.5 NV-03667-19 Öns och Flurkmarks ARV, VAKIN (förstudie med fullskala)

VAKINs projekt har varit uppdelat i ett antal delprojekt och utförts tillsammans med Mellifq (före detta Ozonetech) samt Umeå universitet:

1. Förstudie: kartläggning av Flurkmarks och Öns ARV med hjälp av provtagning och analys av läkemedelsrester.
2. Dimensionering av reningssteg: kapacitetsbestämning av reningssteg och rening i lab-skala.
3. Beställning och leverans av reningssteg.
4. Installation och driftsättning av rening i fullskala.
5. Utvärderingsfas.

Förstudiens mål var få information och kunskap om olika reningstekniker för läkemedelsrening och utreda vilken metod som skulle fungera bäst vid reningsverken och recipienterna. Öns reningsverk är Umeås största reningsverk och behandlar vatten från

ca 100 000 personer och har sitt utsläpp i Umeälven. Flurkmarks reningsverk släpper sitt renade avloppsvatten i Fällforsån som flyter samman med Tavelån. Den sistnämnda ån har bestånd av den utrotningshotade arten flodpärlmusslan. I förstudiens första fas genomfördes en kartläggning av läkemedelshalterna vid både Öns och Flurkmarks reningsverk samt närliggande recipienter. Analyser av 101 läkemedel utfördes samt även analyser av PFOA och PFOS. I inloppet till Öns reningsverk återfanns 35 av de 101 läkemedlen och vid utloppet 33 av 101, och halten hade totalt sjunkit med 18 % genom reningsverket. Omräknat släpper Öns reningsverk ut ca 88 kg läkemedel per år. Två stickprov togs i recipienten både uppströms och nedströms reningsverket, dock var alla analyserade läkemedel under kvantifieringsgränsen. För Flurkmarks reningsverk kunde 19 av 101 läkemedel detekteras i inloppet och i utloppet 22 av 101. Utsläppet beräknas till ca 354 g/år. Två stickprov togs i Fällforsån, ett uppströms och ett nedströms. Uppströms var den totala läkemedelshalten 80 ng/l (främst Klonazepam, Cyproheptadin och Trihexyfenidyl) och nedströms var den totala halten 42 ng/l (främst Cyproheptadin och Sotalol). PFOS och PFOA uppmättes vid Öns reningsverk 3,1 ng/l respektive 2,7 ng/l och vid Flurkmarks reningsverk var de båda ämnena under kvantifieringsgränsen.

Två pilotstudier genomfördes för respektive reningsverk, en längre reningsfas med enbart ozon (för att studera kinetiken) samt en kortare pilotstudie med ozon i kombination med GAK-filtrer. För pilotstudien vid Öns reningsverk visade enbart ozonering på 80 % reduktion av läkemedel och vid ozon i kombination med GAK visade 15 min ozonering 55 % reduktion och efter GAK vara alla läkemedel under kvantifieringsgränsen. Motsvarande för Flurkmarks reningsverk visade ozonering på 92 % reduktion och efter 15 min ozonering följt av GAK-filtrer var alla läkemedel under kvantifieringsgränsen. För Flurkmarks reningsverk hade pilotstudien en visuellt förbättrande effekt på färgen på avloppsvattnet som gick från gulaktigt till helt klart.

Fullskala – För implementering av fullskala valdes Flurkmarks reningsverk för dess mindre flöde. Två containerlösningar har installerats. Container 1 innehåller ett sandfilter som renar hela flödet samt ett BAK-filter som renar halva flödet. Det andra halvan av flödet går till container 2 där det renas först genom en avancerad oxidationsprocess (möjlighet till olika kombinationer av ozon, UV och väteperoxid) och sedan genom ett GAK-filter. Uppföljningen av de olika reningsstegen visade att den mest effektiva av oxidationsprocesserna var ozonering med en reningsgrad på mellan 90–95 %. För BAK-filtreringen nåddes 72 % och 98 % reduktion vid olika provtagningar. Det var dock svårt att avgöra om det bildats en mikrobiologisk kultur i filtret.

Installationen av fullskaleanläggningen vid ett litet reningsverk som Flurkmarks reningsverk har inneburit en del problem i form av problem med vattenkvalitén och flöden, för litet elförsörjningssystem och låg bemanning då det endast besöks vid rondering. Anläggningen har även haft problem med frostsador. Dock kommer anläggningen att fortsättas att köras för att få värdefull kunskap om läkemedelsrening samt drift- och underhållskostnader. Detta är särskilt viktigt för en eventuellt framtida installation vid Öns reningsverk.

2.6 Visby reningsverk, Region Gotland (förstudie)

Region Gotland har tillsammans med IVL Svenska Miljöinstitutet gjort en förstudie för att utreda förutsättningarna för en fullskaleinstallation för att minska utsläppen av läkemedelsrester till recipienten samtidigt som avloppsvatten kan recirkuleras. Behovet av att kunna recirkulera vatten är stort på Gotland då vattentillgång inte är tillräcklig och tidvis finns det behov av att förstärka med ytterligare vattenresurser.

För projektet användes en pilotinstallation med avancerad membranteknik vid Visby reningsverk för återvinning av renat avloppsvatten. Retentatet som uppstod vid piloten var då koncentrerad med läkemedelsrester och det i sin tur behandlades i olika piloter vid

reningsverket och vid Hammarbysjöstadsverk för analys av lämpligast metod. Fördelen med att behandla retentatet är att volymen är betydligt mindre än det ursprungliga vattenflödet och koncentrationen av mikroföroreningar som läkemedel är betydligt högre.

För återcirkulering av vatten användes först en MBR-pilot som följdes av omvänd osmos (RO), men efter problem med MBR-piloten byttes den ut mot ultrafiltrering. De undersökta teknikerna för behandling av retentat i syfte att reducera läkemedelsrester var GAK, ozonering och väteperoxid i kombination med UV (H_2O_2/UV). Testerna visade att läkemedelsresterna kunde effektivt reduceras från retentatet med H_2O_2/UV och GAK samtidigt som ozonering inte visade samma positiva resultat. Utifrån pilot-testerna kunde en grov kostnadsuppskattning göras som visade på att en GAK-lösning skulle vara mest kostnadseffektiv.

Vid en hög H_2O_2/UV -dos renades minst 60 % av resterna bort, de flesta över 90 %. Totalmängden läkemedelsrester reducerades med 98 % vid den högsta dosen. Resultaten visade också att reningseffekten ökade signifikant med ökande dos H_2O_2 medan ökningen av reduktion av ökad UV-dos var mindre signifikant. För ozonering krävdes höga ozon-doser på 20 mg O_3/l för att få hög reduktion. För vissa substanser som till exempel Oxazepam, Atenolol och Metoprolol krävdes doser över 30 mg O_3/l för att kunna uppnå en betydande reduktion. För GAK som utfördes genom kolonntest med tre kolonner i serie visade resultaten att i mätbara halter kunde detekteras efter andra och sista kolonnen. För den första kolonnen kunde en reduktion på ca 80 % för 18 av 23 substanser. För några substanser som Clarithromycin, Erythromycin, Fluconazole, Losartan och Sulfamethoxazole var reduktionen lägre än 80 % över den första kolonnen. Vid användning av filter i serie kan reduktionen låtas sjunka till 50–60 % av den första kolonnen för att få en genomsnittlig reduktion på 80 % över alla filter över tid. Retentat är mer koncentrerat men med filter i serie skattas kolbehovet till ca 20 g/m³ för 2-filter-serie och ca 13 g/m³ för 3-filter-serie.

Förstudien har visat att det går att återvinna vatten av dricksvattenkvalitet samtidigt som det går att få en effektiv rening av läkemedelsrester från RO-retentat.

2.7 Fors reningsverk, Haninge kommun (förstudie)

Fors reningsverk i Haninge ska byggas om och har reserverat plats i sin nybyggnation för en eventuell läkemedelsrening. Denna förstudie har syftat till att ta fram ett principförslag för en framtida investering om sådan blir aktuell. Förstudien har gjorts i samarbete med Ramboll, IVL Svenska miljöinstitutet och B2 Processteknik. Fors reningsverk släpper sitt vatten till ett känsligt åsystem (Vitsån) med en begränsad vattenföring. Detta gör att till exempel sommartid står reningsverket för uppemot hälften av vattenflödet, vilket i sin tur innebär en begränsad utspädning av läkemedelsrester. Vitsån hyser dessutom ett skyddsvärt reproducerande bestånd av havsöring.

Tre provtagningar utfördes i recipientvattnet i Vitsån vilket indikerar på höga nivåer av läkemedel. Däremot detekterades inte feminiserande hormoner men däremot i en nationell kontext höga koncentrationer av diklofenak, ca 20 gånger högre än mätningar gjorda i Mälaren, Vänern och Vättern. Koncentrationen av läkemedelsrester var generellt hög i Vitsån jämfört med andra undersökningar gjorda i Sverige och beror dels på den låga utspädningen, dels på höga inkommande halter.

Reningen vid Fors ARV är god för dagens villkorade ämnen, men svårnedbrytbara ämnen såsom många läkemedelsrester avskiljs i genomsnitt till mindre än 50 % enligt två provtagningar utförda under år 2020. Riskbedömningen som gjorts visar att många av de undersökta läkemedelsresterna idag utgör en risk för vattenlevande organismer i Vitsån. I sammandrag medför dagens rening att 10 substanser en utgör hög risk av de 50 studerade läkemedelssubstanserna, sju substanser utgör medelhög risk, 12 substanser medför låg risk och 19 substanser medför försumbar risk i recipienten. Utförda

beräkningar tyder på att antalet högrisksubstanser efter införande av läkemedelsrening minskar till en (Citalopram).

Pilotförsöken utfördes på utgående vatten från reningsverket och de läkemedelsrenade vattnet leddes sedan till container med akvarium där öringsmol under 28 dygn exponerades för de läkemedelsrenade vattnet samt utgående avloppsvatten utan avancerad rening som referens.

Pilotanläggningen som användes innehöll behandlingsenheter i form av förbehandling, läkemedelsavskiljning med GAK respektive ozonering, samt olika efterbehandlingar till ozoneringslinjen. På grund av tillfälliga driftsproblem på reningsverket kompletterades enheten med ett nitrifierande försteg för att få ned ammoniumhalten inför exponeringsförsöken med havsöring. Utvärderingen visade att avskiljningen i utgående vatten från piloten var minst 95 % med GAK och 90 % med ozonering med en ozondos på 4,5–5 g O₃/m³. Försök gjordes även med PAK och för 80 % reduktion krävdes en dos på 17 g/m³ och för 90 % reduktion krävdes en dos på 22 g/m³. Dessa doser är relativt höga men läkemedelskoncentrationen i utgående vatten var under undersökningen ca fem gånger så hög som Henriksdals reningsverk. Som efterbehandling jämfördes sandfilter med förlängd efterreaktionstid i uppehållsvolymer, dock gav det sistnämnda mindre effekt än sandfilter mätt i UVA 254 nm.

Även om huvudfokus i projektet varit att studera läkemedelsrester så har några övriga mikroföroreningar följts upp och analyser utförts. Denna uppföljning omfattade nonylfenol, PFAS-11 (11 poly- och perfluorerade alkylsubstanser), Microtox, bromidkoncentration och YES (Yeast Estrogen Screen). Resultatet från pilotförsöket visade att nonylfenol låg under detektionsgränser för både utgående vatten från reningsverket och från samtliga pilotlinjer. Vad gäller PFAS-11 gav GAK, följt av PAK, den bästa avskiljningen, medan avskiljningen vid ozonering var lägre. Inte vid något tillfälle kunde östrogen effekt detekteras i utgående vatten från pilotlinjerna, medan det hittades i de två av tre utgående avloppsvattenprover där ingen läkemedelsrening fanns installerad.

Resultatet från fiskundersökningen visar att det konventionellt behandlade avloppsvattnet (mekanisk-biologisk-kemisk rening) påverkade fisken genom till exempel sämre allmäntillstånd, avvikelser i röda blodkroppar samt höga nivåer av diklofenak i lever. De fiskar som exponerades för läkemedelsrenat vatten uppvisade inte dessa symptom.

Efter pilotstudien gjordes en workshop där resultaten från piloten och fiskförsöken vägdes samman med andra faktorer som till exempel klimatavtryck och transporter. Utfallet från workshopen blev att ozon med sandfilter skulle vara den lämpligaste tekniken för Fors reningsverk. Ett principförslag togs fram för en tekniklösning med ozonering, kontaktbassäng med plugflöde och efterföljande sandfilter. Den reserverade platsen för reningen är tre bassänger som inte kommer vara i bruk när det nya reningsverket är klart med en total yta på 600 m².

2.8 NV-02961-20 Nolhaga avloppsreningsverk, Alingsås kommun (förstudie)

Nolhaga avloppsreningsverk släpper sitt vatten i Sävån, 500 m från utloppet till sjön Mjörn. De båda recipienterna är viktiga för lax- och öringsbestånd samt fåglar. Det finns dessutom en uppskattad badplats nära utsläppspunkten i sjön. En tidigare studie har visat läkemedelshalterna i recipienten riskerar att ligga över effektnivåerna under vissa förhållanden som låga vattenflöden eller lågt vattenstånd i sjön. Nolhaga reningsverk är i stort behov av renovering då belastningen förväntas fördubblas till 2070. Syftet med projektet var att få kunskap om vilka läkemedelsmängder och substanser som finns i inkommande avloppsvatten och hur de avskiljs i befintlig process samt hur dessa kan avskiljs med hjälp av avancerad rening. Det finns inga krav idag på läkemedelsrening men kommunen vill utreda förutsättningarna för sådan rening om det i framtiden

beslutas att byggas. Därför ska pilotförsöket ligga till grund för utformning och dimensionering av framtida fullskaleanläggning.

Vid provtagning på inkommande vatten och utgående vatten visade att 44 av 97 analyserade ämnen återfanns i vattnet. Den totala mängden läkemedel som släpps varje år uppskattas till ca 24 kg och reduktionen av reningsverket uppskattas till 64 % (paracetamol som reduceras i hög grad har exkluderats).

Alingsås kommun har tillsammans med Mellifig genomfört ett pilotprojekt på Nohaga avloppsreningsverk. Pilotprojektet har bestått av att utvärdera två olika tekniker i containerlösning. Den ena tekniken (linje 1) som utvärderades var sandfilter, ozon och GAK. Den andra tekniken (linje 2) bestod av ozon i låg koncentration och BAK. Pilotförsöket genomfördes sedan i tre faser – processutvärdering, processoptimering och långtidsutvärdering (3 månader). För linje 1 visade reningsgraden för de 97 analyserade läkemedelsparametrarna på >98 % reduktion. För linje 2 visade en reduktion på 30 % efter optimeringstillfället och 70 % efter långtidsutvärderingen. Vilket är förväntade resultat då det tar tid för mikrobiologin i BAK-filter att etablera sig.

Utifrån resultaten i pilotförsöken har ett förslag på dimensionering för en fullskaleanläggning tagits fram som rekommenderas innehålla en förfiltrering med sandfilter, oxidationssteg med ozon samt GAK-filtrering.

Alingsås kommun har förutom de läkemedelsanalyser som gjorts i samband med piloten även tagit ytterligare prover som analyserats med så kallad effektbaserad analysmetoder. Detta eftersom de normala analyserna för läkemedelsrester inte ger svar för andra föroreningar eller om det kan bildas omvandlingsprodukter i de olika reningsstegen. De vanliga analyserna ger inte heller tydliga svar på hur läkemedel eller andra föroreningar i avloppsvattnet totalt sett påverkar vattenlevande organismer eller människors hälsa. Effektbaserade analyser har gjorts som ett komplement. Alingsås har även tagit extra prov på PFAS. De effektbaserade analyserna indikerar att toxiciteten i vattnet är lägre efter rening i pilotanläggningarna, samt att reduktionen i aktivitet (s.k. BEQ-värde) är i samma storleksordning, som den reduktion som läkemedelsanalyserna visar på. Detta resultat bedöms dock som osäkert, särskilt eftersom de effektbaserade metoderna generellt indikerade en väldigt låg aktivitet jämfört med tidigare studier. Analyserna visar i övrigt inte heller på någon tydlig korrelation mellan uppmätt toxicitet och de totala läkemedelshalterna. Analyser av 11 olika PFAS-ämnen indikerar att reningsgraden för dessa generellt var ganska låg i pilotanläggningarna (9–26 %).

2.9 Skebäckverket, Örebro kommun (förstudie)

Örebro kommun har utfört en förstudie för att få en nulägesbeskrivning på läkemedelsrester för Skebäckverket och dess påverkan på recipienten (Svartån och Hjälmarens). Syftet har varit att projektets resultat ska kunna visa vilken miljönytta en fullskalig läkemedelsrening skulle ge i recipienten och eventuella förbättringar i recipienten. Det finns en tidigare förstudie som utförts med förslag på två olika processlösningar för läkemedelsrening. I den förstudien rekommenderades det att göra pilottester och göra undersökningar i recipienten. Kommunen valde att gå vidare med undersökningar i recipienten.

Provtagningsanalys har gjorts på tre punkter (inkommande, utgående samt blandslam innan beskickning till röt-kammare) i Skebäckverket för att kartlägga hur och i vilka reningssteg som läkemedelsrester reduceras. Även i recipienten har provtagning och analys gjorts på tre punkter (Svartån före reningsverkets utlopp, Svartån efter reningsverkets utlopp samt Åssundet, Hemfjärdens utlopp till Mellanfjärden (Hjälmarens)). Årstidsvariationerna i Skebäckverkets process samt i recipienten har undersökts.

För reningsverket visar resultaten att endast en liten del av läkemedelsresterna hamnar i slammet och anses därmed inte intressant att titta vidare på. För många parametrar

visar högre halter i utgående vatten än i inkommande vatten, vilket är ett känt fenomen. Inga årstidsvariationer kunde ses. Inte heller i Svartån kunde några årstidsvariationer ses. Däremot varierade halterna i ån med flödet.

I provpunkten Ässundet i Hjälmarens kan man ana årstidsvariation för några parametrar, med högre halter vinterhalvåret. Detta kan betyda att nedbrytningen ökar i Hjälmarens under sommarhalvåret då temperaturen och därmed den biologiska aktiviteten är högre.

För bedömning av recipientens status har Havs- och vattenmyndighetens föreskrift Klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvatten (HVMFS 2019:25) använts. Av de parametrar som analyserats i förstudien återfinns två i föreskriften – Ciprofloxacin och diklofenak, varav endast den sistnämnda har detekterats i recipienten. Nivån för god status har för diklofenak i föreskriften angivits till <100 ng/l som årsmedelvärde. Detta underskrids som årsmedelvärde i Svartån uppströms Skebäcksvärens utlopp (15,8 ng/l), i Svartån nedströms Skebäcksvärens utlopp (82,2 ng/l) och i Ässundet i Hjälmarens (23,0 ng/l).

Baserat på bedömningen av recipientens status (diklofenak) samt det låga kunskapsläget om hur övriga parametrar påverkar recipienten gör att det är långt ifrån självklart att gå vidare med en fullskalig läkemedelsrening för Skebäcksväret. Ett ytterligare avancerat reningssteg kostar såväl energi och andra resurser som VA-abonnenternas pengar, och det är därför av yttersta vikt att nogsamt utreda om detta kommer att ge en reell miljönytta. Ytterligare litteraturstudier och kunskapsinhämtning kommer därför att fortsätta och ligga till grund för ett beslut om införande av läkemedelsrening.

2.10 Getteröverket, VIVAB (Vatten och Miljö i Väst AB) (förstudie)

VIVAB har tillsammans med IVL Svenska miljöinstitutet undersökt förutsättningarna för en fullskaleinstallation för rening av läkemedelsrester men även andra mikroföroreningar. Utredningen av förutsättningarna har inneburit en kartering av mikroföroreningar över reningsverket, potentiella uppströms punktkällor samt mottagande ytvatten. En påverkansbedömning av recipienter och behovsanalys för en avancerad rening utfördes. Samtidigt genomfördes pilottester med teknikkombinationen ultrafiltrering och aktivt kol (UF-GAK) vid Getteröverket.

Getteröverket har idag en belastning på 56 700 pe och har inget läkemedelskrav däremot finns det utredningskrav på diklofenak, 17-alfa-etinylestradiol, 17-beta-östradiol och PFOS i utgående vatten. Utloppet från reningsverket sker i ett dike, Monarkbäcken, med låg vattenströmning. Bäckens flöde består främst av dräneringsvatten från järnvägsbangård samt dagvatten från centrala delar av Varberg. Monarkbäcken mynnar ut i den inre delen av Farehammarsviken. Precis före utflödet till viken ansluter till Monarkbäcken även dagvatten från ytterligare bostads- och industriområde samt dräneringsvatten från järnvägsområdet och Lassabackadeponin via Lassabackadiket. I Monarkbäcken har de senaste sju åren minst fem händelser av fiskdöd rapporterats. Mynningen i Inre Farehammarsviken och stora delar av viken utgör fågelreservat. Området är klassat som skyddsvärd vårmård och är rikt på fågelliv med ett flertal rödlistade djur.

För karteringen skedde provtagning vid 12 punkter, en punkt på ledningsnätet vid sjukhuset, fyra punkter på reningsverket, en punkt i bäcken innan reningsverkets utlopp, en punkt för vattnet som kommer från deponin och industriområdet, en punkt i bäcken efter reningsverkets utlopp samt fyra punkter i recipienten. Reningsverket uppvisade en väldigt bra reningseffektivitet i avseende på hormoner för övrigt analyserade läkemedel varierar reduktionen kraftigt. Bortsett från ibuprofen, Naproxen och paracetamol som har en reduktion över 80 % samt fyra andra ämnen tex Losartan som reduceras över 40 % låg övriga läkemedel under 40 % reduktion och för flera substanser kunde en

negativ reduktion konstateras. För fenoler och PFAS blev resultaten att nonylfenol hade en negativ reduktion samt negativ eller liten reduktion för de flesta PFAS samt PFAS11.

Monarkdiket – innan och efter reningsverket, Lassebackadiket samt när Monarkdiket mynnar i Inre Farehammarsviken låg hormonhalterna under detektions- eller kvantifieringsgränsen förutom för Lassabackadiket som i två provomgångar hade kraftigt förhöjda halter. I övrigt kunde provtagningen visa att Getteröverket leder till en avsevärd ökning av flera läkemedelshalter i recipienten som också kunde ses i utflödet till Inre Farehammarsviken.

För provtagningen vid Varbergs sjukhus stack vissa läkemedel utan som högre än inkommande vatten till reningsverket – antibiotika Ciprofloxacin, Clarithromycin, Sulfamethoxazole och Trimethoprim m.m. Andra läkemedel förekommer i lägre halter än i inkommande avloppsvatten. Detta förklaras med vilka läkemedel som används på sjukhuset samt utspädning.

Utifrån gränsvärden för statusklassning (HVMFS 2019:25) kan efter provtagningen konstateras att diklofenak och PFOS ligger över gränsvärden. Bisfenol A överskrider medelvärdet i provpunkten uppströms Getteröverket. Vid analys av recipientpåverkan utifrån toxikologiska studier och riskkvoter. För sex läkemedel (t.ex. ibuprofen) bedöms det inte föreligga någon negativ påverkan på recipienten. För ytterligare sju läkemedel fanns en måttlig risk. Halter för Citalopram, Clarithromycin, Diklofenac, Erythromycin, Furosemide, Oxazepam, Sertraline och Sulfamethoxazole ger en hög risk för miljöpåverkan i nästan samtliga provtagningspunkter. För närrecipienterna ligger effekthalterna för Citalopram på akuttoxiska halter. Omfattningen av påverkan tyder på att även om en avancerad rening tog bort 99,9 % av de prioriterade läkemedlen skulle risken för miljöpåverkan i mottagande recipienter inte kunna tas bort helt.

Valet att använda sig av UF-GAK-pilot berodde på flera anledningar, t.ex. bromidhalter på ca 0,11 mg/l i utgående vatten, VIVAB hade redan erfarenhet av ozon-pilot sen förstudien vid Ullared samt att de äger en UF-pilot som kunde modifieras och användas. UF möjliggör även i framtiden för cirkulär användning av vatten. Innan UF-piloten installerades man en ett mikrofilter och efter UF placerades GAK-piloten som bestod av olika typer av kol. Pilottesterna visade en kraftig reduktion av läkemedelsrester och andra föroreningar i utgående avloppsvatten samt att en stabil drift bör kunna åstadkommas med motsvarande teknik i fullskala. Det är framför allt GAK i piloten som stod för reduktionen av läkemedelsrester. För uppföljning av PFAS gav Filtrasorb bäst resultat. Där sjunker reduktionsgraden under 80 % först efter 10 000 BV. För läkemedelsrester visade GPP-20 och Filtrasorb en effektiv rening. För de läkemedel med hög riskkvot kunde ingen av de prioriterade substanserna observeras efter GAK-linjerna med GPP 20 och Filtrasorb 400, förutom för Oxazepam vid den sista provtagningen efter GPP-20 filtret (som då hade något fler BV än Filtrasorb).

Projektet har kommit fram till att en utökad kartering av mikroföroreningar bör göras för att få en bättre bild av den faktiska föroreningssituationen samt en mer grundlig påverkansanalys i recipienterna för att identifiera eventuella föroreningskällor. I förstudien har endast en teknikkombination kunnat utredas. Eftersom förstudien tydligt visat att det finns behov av en mycket kraftig reduktion av läkemedelsrester i utgående avloppsvatten vid Getteröverket kan dock även andra kompletterande reningstekniker komma i fråga. Även en potentiell koppling till en mer cirkulär vattenhantering, där en långtgående avancerad rening vid Getteröverket kan utgöra en viktig del, kan vara motiverad att utreda vidare för en resurseffektiv och hållbar helhetslösning för Varberg och den enormt viktiga och skyddsvärda våtmarksmiljön i Inre Farehammarsviken.

3 Sammanfattande tabell

Nedanstående tabell sammanfattar alla sammanfattade rapporter. De rapporter som är sammanfattade i år är längst ned i tabellen.

VA-verksamhet samt storlek på RV	Undersökta tekniker	Prioriterade läkemedelssubstanser efter riskvärdering	Läkemedelssubstanser som ligger nära eller överskrider SFÅ enligt HVMFS 2019:25	Investeringskostnad och driftkostnad
NV-06652-18 Borlänge Energi AB. 60 000 pe	Skiv- eller sandfilter + MAK (magnetisk aktiverat kol)	-	-	Investering: 49 MSEK Drift: 0,7–0,9 SEK/m ³ Inkluderar även avskrivning från investeringskostnad
NRV-06669-18 Borås Energi och Miljö. 150 000 pe	Opacarb FL	Ej genomförd prioritering i detta projekt	Ej genomförd prioritering i detta projekt	Investering: 176 MSEK Drift: 0,47–0,92 SEK/m ³
Falu Energi och Vatten	Mikrofiltrering + GAK	Citalopram, Oxazepam, Ranitidine	Ingen av de fyra prioriterade läkemedelssubstanserna överskrider gränsvärdena	Investering: Annuitetskostnad 3 MSEK/år Drift: 1,25 SEK/m ³ Inkluderar även avskrivning från investeringskostnad
GRYAAB	Ozonering, PAK och GAK	Citalopram, Diklofenak, Oxazepam, Ranitidin, Östradiol och Östron	Diklofenak och Östradiol	Investering: Ozonering: 520 MSEK PAK: 160 MSEK GAK: 730 MSEK Drift: Ozonering: 0,28 SEK/m ³ PAK: 0,80 SEK/m ³ GAK: 0,59 SEK/m ³ Inkluderar även avskrivning från investeringskostnad
NV-03495-19 Karlstad kommun	Ozonering eller GAK	Oxazepam och ciprofloxacin	Ciprofloxacin	-
Kristianstad – Degeberga RV	Sandfilter + GAK	-	Diklofenak	Investering: 10,7 MSEK
NV-03724-19 Kungsbacka Kullaviks RV	eXeno™, PAK (Actiflo® carb)	-	-	Investering .16 MSEK (Actiflo® carb) Drift: 0,72 kr/m ³
Mittsverige Vatten och Avfall AB	Ozon och GAK	Etinylöstradiol, östron, oxazepam och diklofenak	Etinylöstradiol, östron och diklofenak	Investering: 70 MSEK (Ozonering vid Fillan och Essvik RV och GAK på Tivoliverket Drift: 0,8 SEK/m ³ (vid installation av läkemedelsrening vid de tre reningsverken), 0,4 SEK/m ³ vid installation av läkemedelsrening för ett centraliserat reningsverk) Inkluderar även avskrivning från investeringskostnad

VA-verksamhet samt storlek på RV	Undersökta tekniker	Prioriterade läkemedelssubstanser efter riskvärdering	Läkemedelssubstanser som ligger nära eller överskrider SFÅ enligt HVMFS 2019:25	Investeringskostnad och driftkostnad
NSVA (Öresundsverket)	Ozon + MBBR	Ingen riskvärdering genomförd inom projektet		Investering: 110 MSEK Drift: 0,22 kr/m ³
NSVA (Lundåkraverket)	Ozon + MBBR	Ingen riskvärdering genomförd inom projektet		Investering: 45 MSEK Drift: 0,22 kr/m ³
Syvaab (Himmerfjärdsverket)	MBR-teknik + GAK	Citalopram, Oxazepam, Ranitidine och Diklofenak	Diklofenak	Investering: 433 MSEK Drift: 1–1,5 SEK/m ³ Inkluderar även avskrivning från investeringskostnad
Tierps energi och Miljö AB	Sandfilter + Ozon + GAK	-	-	Investering: 13,5 MSEK
Uppsala Vatten och Avfall AB	Skivfilter + GAK ozon + fällning + sandfilter + anjonbytare	Citalopram, diklofenak, flukonazol, ibuprofen, metoprolol, propranolol, PFOS (PerFluorOktansulfonSyra) och 4-nonylfenol	-	Investering: 240 MSEK (Skivfilter +GAK), 205 MSEK (ozon + fällning + sandfilter + anjonbytare) Drift: 10–27 MSEK/år (Skivfilter +GAK) 13–19 MSEK/år (ozon + fällning + sandfilter + anjonbytare)
VA-syd Sjölunda	GAK	Citalopram, diklofenak, oxazepam och sertraline	Diklofenak	-
VIVAB (Vatten & Miljö i Väst AB)	Ozon + mikrofiltrering	Citalopram och Oxazepam		
Växjö kommun	Ozon + UV/H ₂ O ₂	Oxazepam, östron, diklofenak, propanolol, amlodipine, fluoxetine, carbamazepine och erythromycin	Diklofenak	Total investering och driftskostnad: 1,05–2,62 SEK/m ³ (20 g H ₂ O ₂ /m ³) 0,82–1,98 SEK/m ³ (40 g H ₂ O ₂ /m ³)
Åre kommun	BAF (Järpens RV), Ozon (Vikverket)	-	-	Total investering: Järpens RV – 32 MSEK, Vikverket – 55 MSEK
Örebro kommun (Skebäcksverket)	Ozon +GAK Actiflo® Carb med integrerad tillsats av ozon	Ej genomförd prioritering i detta projekt men följande finns i utgående vatten: Ciprofloxacin, Claritromycin, Diklofenak, Karbamazepin, Metoprolol, Oxazepam och Trimetoprim		
Alingsås kommun Nollhaga reningsverk 30 000 pe	Sandfilter + ozon + GAK och BAK	Ej utfört men högriskläkemedel som oxazepam, metoprolol och trimetoprim återfinns samt PFAS	-	-
Haninge kommun Fors reningsverk 13 000 pe	GAK, ozon + sandfilter och PAK Utv. med fiskar	Citalopram, diklofenak, furosemid, oxazepam, ranitidin, sertraline, venlafaxin	Diklofenak	Uppskattad driftkostnad för ozonsandfilter: 1,5 kr/m ³

VA-verksamhet samt storlek på RV	Undersökta tekniker	Prioriterade läkemedelssubstanser efter riskvärdering	Läkemedelssubstanser som ligger nära eller överskrider SFÅ enligt HVMFS 2019:25	Investeringskostnad och driftkostnad
NSVA Recolab	Nanofilter + ozonering	-	-	Inv: 6,74 MSEK
Region Gotland Visby reningsverk 40 000 pe	UF + RO Rening på retentat: GAK, ozon och H ₂ O ₂ /UV	-	-	Uppskattade kostn: Investeringar: UF: 70 MSEK, RO: 31 MSEK, UV/H ₂ O ₂ : 3 MSEK, O3: 12 MSEK, GAK: 13 MSEK Specifik kostnad/m ³ : UV/H ₂ O ₂ : >0,7–2,1 kr, O3: 0,9–3,5 kr, GAK: 0,63–2,1 kr
Ronneby Miljö och teknik AB Bräkne-Hoby ARV 3 500 pe	Sandfilter + ozonering + GAK	-	-	Inv: 11 MSEK
VAKIN Öns och Flurkmars ARV 100 000 pers (Öns ARV)	<ul style="list-style-type: none"> Ozon och GAK Sandfilter + 1 linje BAK och 1 linje avancerad ox-proccs + GAK 	-	-	Investering (Flurkmars ARV): 7,6 MSEK
VIVAB Getteröverket 56 700 pe	UF + GAK	Citalopram, Clarithromycin, Diklofenac, Erythromycin, Furosemide, Oxazepam, Sertraline och Sulfamethoxazole	Diklofenak och PFOS	Uppskattade kostn.: UF: 0,5–0,65 kr/m ³ , GAK: 0,5–1 kr/m ³
Örebro kommun Skebäcksverket	-	Diklofenak i utgående spillvatten från Skebäcksverket	Diklofenak underskrider gränsvärdet	-
Österlen VA AB Kiviks nya ARV	MBR + 2 GAK			77 MSEK (inkl. projektering, intern tid m.m)
Österlen VA AB St Olofs ARV	Sandfilter + GAK	-	-	8 MSEK

Bilaga 2
Konsultrapport
En kunskapssammanställning
om mikroplastutsläpp från kommunalt
avloppsvatten i Sverige

Sammanfattning

Hur stora är de totala utsläppen av mikroplast från kommunalt avloppsvatten i Sverige? Sammanställningen föreslår att slam är den enskilt största spridningsvägen av mikroplast från avloppsreningsverk till naturen och att bräddvatten kan orsaka lika stora utsläpp av mikroplast som utgående renat avloppsvatten. I förhållande till de potentiella utsläppen från mikroplastkällorna däck och konstgräs är utsläppen från avloppsvatten små. Resultaten är behäftade med stora osäkerheter bland annat till följd av bristen på standardiserade analysmetoder och det begränsade antalet analyser.

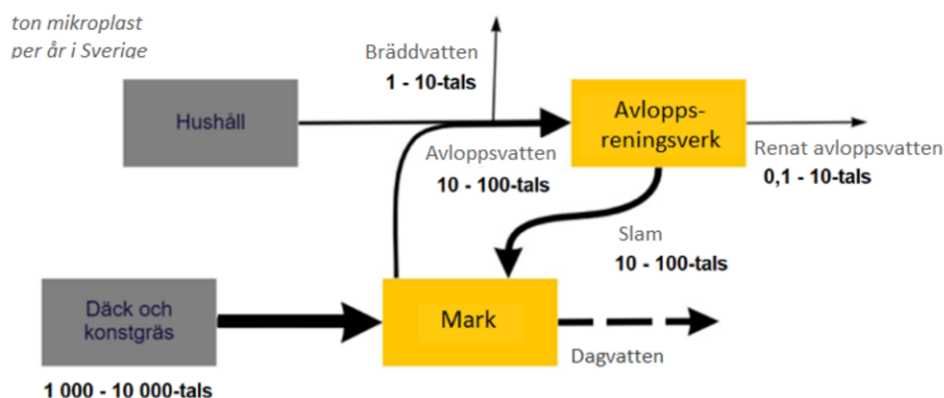
Naturvårdsverket har i uppdrag att fram till årsslutet 2023 fördela bidrag till åtgärder som förbättrar vattenmiljön och har därför via Svenskt Vatten drivit en beställargrupp för minskade utsläpp av läkemedelsrester, mikroplaster och andra föroreningar via avloppsreningsverk. Denna rapport är en del av beställargruppens arbete under år 2022.

Projektet syftar till att sammanställa och diskutera kända utsläpp av mikroplast via kommunalt avloppsvatten till vattenförekomster och mark med fokus på utsläpp från renat avloppsvatten, bräddvatten och slam. Målet är att ge en samlad bild av de totala mikroplastutsläppen från kommunalt avloppsvatten i Sverige och föra en diskussion kring osäkerheten kopplad till befintliga data.

Projektet består av en litteraturstudie samt en kvantitativ analys. Den kvantitativa analysen är baserad på resultat från åtta svenska avloppsreningsverk som analyserat antal mikroplastpartiklar i inkommande och utgående renat avloppsvatten samt två till fyra svenska studier som analyserat eller skattat vikt av mikroplastpartiklar i inkommande och utgående renat avloppsvatten, bräddvatten och slam. Jämförelser har gjorts med danska och norska studier.

Föreliggande sammanställning visar att uppskattningsvis 1 000-tals miljarder mikroplastpartiklar kan släppas ut med det renade vattnet från svenska avloppsreningsverk årligen, eller uppskattningsvis mellan 0,1 och 10-tals ton per år, se figur nedan. Generellt har de undersökta svenska avloppsreningsverken en hög reduktionsgrad av antal mikroplastpartiklar på ca 99 %. Reduktionsgraden kan dock variera med reningsteknik.

De största transportvägarna av mikroplastpartiklar från avloppsvatten till vattenrecipient är bräddvatten och utgående renat avloppsvatten. Slam är den största transportvägen av mikroplastpartiklar från avloppsreningsverk till naturen. Viktmässigt uppskattas transporten som sker via bräddvatten och utgående renat avloppsvatten utgöra enstaka procent av utsläppen som sker via slam, som vidare utgör enstaka procent av de uppskattade utsläppen från mikroplastkällorna däck och konstgräs, se figur nedan.



Massflödesdiagram med storleksordningar på mikroplastströmmar i ton per år i Sverige. Grå boxar är källor till mikroplastutsläpp, orange boxar och svarta pilar är transportvägar respektive flöden. Bräddvatten, Renat avloppsvatten och Dagvatten går till recipient. Siffrorna baseras på skattningar av Magnusson m.fl. (2016) samt analyser på partikelstorlek 10–500 µm respektive 42–5 000 µm av Andersson & Bäckbom (2022), Tumlin & Bertholds (2020) och Jordnära miljökonsult AB (2020).

Variation i analyserade storleksintervall och analysmetoder såväl som det begränsade antalet analyser medför stor osäkerhet i analysresultaten som presenteras i förekommande rapport. I enighet med de flesta studier inom området belyser förekommande sammanställning behovet av standardiserade analysmetoder, fler viktbaserade analyser, större analysintervall med avseende på partikelstorlek, bättre metoder för analys av slam samt fler studier där ett större antal prov per studie analyseras för att kvantifiera mängden mikroplast från renat avloppsvatten, slam och bräddvatten.

Innehåll

Sammanfattning	39
1 Inledning	42
1.1 Syfte och mål	42
1.2 Avgränsningar.....	42
1.3 Mikroplast: definition, källor och transportvägar.....	42
2 Metod	44
2.1 Litteraturstudie	44
2.2 Kvantitativ analys	44
2.3 Partikelvikt.....	45
2.4 Felkällor.....	46
3 Resultat och diskussion	47
3.1 Mikroplast vid kommunal avloppsvattenrening	47
3.2 Analysmetoder.....	49
3.3 Antal mikroplastpartiklar	51
3.4 Viktanalys.....	53
3.5 Avloppsreningsverk som transportväg av mikroplast	54
4 Slutsatser	56
Referenser	57

1 Inledning

Mikroplast återfinns i havs-, sötvatten- och markekosystem men påträffas även i livsmedel och dricksvatten (ECHA, n.d.). Det uppskattas att det idag finns mer än 150 miljoner ton plast i världens hav, som varje år antas öka med mellan 5 och 13 miljoner ton (Naturvårdsverket, 2022). Plast som hamnar i naturen fragmenteras långsamt till mikroplaster. När beståndsdelarna blivit så små finns inga rimliga metoder för att avlägsna dessa från miljön och lösningen blir därför att i stället förhindra och/eller minska tillförseln av plaster till miljön. För att uppnå detta behövs ökad kunskap och förståelse för mikroplasternas källor och transportvägar, och många aktörer måste samarbeta för att förhindra uppkomst och spridning av mikroplaster (Naturvårdsverket, 2022).

Vattenmiljön är mycket känsligare mot föroreningar än markmiljön. Till stor del beror detta på att jord har en högre biodiversitet, vilket ger en större motståndskraft mot föroreningar. Vidare är vatten även en mycket effektivare spridningsväg av mikroplastpartiklar än mark. Det är därför extra viktigt att samla och utveckla kunskap om spridning och tillförsel av mikroplaster till våra vattendrag, sjöar och hav.

Naturvårdsverket har i uppdrag att fram till slutet av 2023 fördela bidrag till åtgärder som förbättrar vattenmiljön. Inom detta uppdrag har Naturvårdsverket via Svenskt Vatten sedan år 2018 drivit en beställargrupp för minskade utsläpp av läkemedelsrester, mikroplaster och andra föroreningar via avloppsreningsverk. Denna rapport är en del av beställargruppens arbete under år 2022.

1.1 Syfte och mål

Projektet syftar till att sammanställa och diskutera kända utsläpp av mikroplast via kommunalt avloppsvatten till vatten och mark. Tre fokusområden har valts ut: utsläpp från (1) renat avloppsvatten, (2) bräddvatten samt (3) slam. Målet är att ge en samlad bild av de totala mikroplastutsläppen från kommunalt avloppsvatten i Sverige och föra en diskussion kring osäkerheten kopplad till befintliga data. Projektet består av två delar: en litteraturstudie samt en kvantitativ analys.

1.2 Avgränsningar

Huvudfokus är Sverige men för jämförelse har även studier från Danmark och Norge inkluderats. Projektet avgränsas därför till nordiska studier och avloppsreningsverk. Denna studie omfattar en sammanfattning av befintliga studier och inga nya analyser har utförts. Bedömning av mikroplasters skada för miljön vid utsläpp i naturen har inte inkluderats.

1.3 Mikroplast: definition, källor och transportvägar

Europeiska kemikaliemyndigheten (ECHA) definierar mikroplaster som ett samlingsnamn för fasta partiklar av plast och gummi upp till 5 mm (ECHA, n.d.). Den undre gränsen av storleksintervallet kan variera. Naturvårdsverket har satt en undre gräns till 1 nm och inkluderar även bionedbrytbara plaster i sin definition (Naturvårdsverket, 2019). Flera av de studier som beaktas i denna sammanställning har angivit 1–2 µm som en undre gräns men poängterar samtidigt att de minsta partiklarna oftast inte inkluderas i analyserna (Magnusson m.fl., 2016; Tumlin & Bertholds, 2020). Några studier

har använt benämningen mikroskräp, vilket är ett bredare begrepp (Baresel m.fl., 2021; Magnusson, 2014; Närhi m.fl., 2021). Mikroplast omfattar endast syntetiskt antropogent mikroskräp och exkluderar därmed exempelvis textilfibrer. Vissa studier har inte givit någon specifik definition förutom att det är mikroplastpartiklar som studeras.

Mikroplaster kan förekomma i flera olika former såsom korn, flagor och fibrer. Dessa kan vara avsiktligt tillverkade för att tillsättas som en funktionell beståndsdel till produkter och kallas då primära mikroplaster men kan också bildas oavsiktligt från större plastprodukter via slitage och fragmentering och kallas då sekundära mikroplaster (ECHA, n.d.; Naturvårdsverket, 2019).

I miljön kan mikroplaster fragmenteras till allt mindre delar som finns kvar i århundraden (ECHA, n.d.), och de är dessutom olösliga i vatten. Idag finns stora kunskapsluckor om hur människors hälsa och miljön påverkas av mikroplast och huruvida olika storleksfraktioner av mikroplaster påverkar i olika grad. Indikationerna är i dagsläget att större partiklar har färre negativa effekter än mindre partiklar (Naturvårdsverket, 2019).

För att hantera mikroplaster i miljön på ett effektivt sätt är det viktigt att göra skillnad på källor och transportvägar. Källorna är där mikroplasterna har sitt ursprung, medan transportvägarna är hur mikroplasterna sprids i naturen. Naturvårdsverket (2017) har identifierat viktiga källor till utsläpp av mikroplaster:

- Industriell produktion och hantering av primärplaster
- Slitage av däck från vägar
- Konstgräsplaner
- Textiltvätt
- Båtbottenfärg
- Nedskräpning

Naturvårdsverket har även identifierat de huvudsakliga transportvägarna för spridning av mikroplaster (2019):

- Dagvatten
- Luft
- Avloppsvatten och slam

2 Metod

2.1 Litteraturstudie

Litteraturstudien ämnar ge en bakgrund till mikroplaster i kommunalt avloppsvatten samt komplettera den kvantitativa analysen i syfte att kunna besvara frågor kring osäkerhet, relevans och orsakssamband. Litteraturstudien såväl som den kvantitativa analysen har sin bas i referenser som är inhämtade från projektets referensgrupp. Referensgruppen består av representanter från Gryaab, Käppalaförbundet och Uppsala Vatten. Referensgruppen har tillhandahållit studier de själva varit involverade i men även studier från andra VA-aktörer och forskare. Projektet har även stöd av experter från IVL Svenska Miljöinstitutet (Christian Baresel och Mikael Olshammar) och Sweco (Gisela Holm och Sofia Andersson). Litteraturstudien inkluderar också material hämtat från olika vetenskapliga databaser såsom Scopus, där de primära sökorden varit: mikroplast, avloppsreningsverk, transportvägar och källor. Utöver detta har information inhämtats från myndigheter och organisationer såsom Naturvårdsverket, Svenskt Vatten och Europeiska Kemikaliemyndigheten (ECHA).

2.2 Kvantitativ analys

Den kvantitativa analysen baseras på resultat från (i) åtta svenska avloppsreningsverk som har analyserat antal mikroplastpartiklar i inkommande och utgående renat avloppsvatten, (ii) fyra svenska studier som undersökt vikt mikroplast i inkommande och utgående renat avloppsvatten, (iii) tre svenska studier som undersökt vikt mikroplast i slam samt (iv) två svenska studier som undersökt vikt mikroplast i bräddvatten, se Tabell 2.1. För jämförelse används även två nordiska studier inkluderande flera avloppsreningsverk. Den lägre rapporteringsgränsen för mikroplaster varierar mellan 10 µm och 50 µm. Antal provtagningsstillfällen i varje studie är få, endast 1–3, vilket medför stor osäkerhet i analysresultaten. Provtagningsmetoderna varierar mellan och inom studierna, där stick-, dygns-, vecko- och blandprov förekommer. Ytterligare aspekter som försvårar jämförelse av resultat är att proverna är tagna under olika år och olika årstider. Icke-syntetiska fibrer har inte inkluderats i sammanställningen.

Värt att notera är att flera av referenserna (Baresel m.fl., 2020, 2021; Habagil m.fl., 2019; Närhi m.fl., 2021) anger antal partiklar som återfinns inom storleksintervallen >50 µm, >100 µm samt >300 µm. Vad som egentligen avses i just dessa studier är storleksintervallen 50–100 µm, 100–300 µm respektive 300–5 000 µm. I t.ex. studien från Magnusson (2014) gäller dock att partiklarna >300 µm ingår som en del av gruppen partiklar >20 µm. För att undvika förvirring har förekommande studie genomgående angivit intervall inkluderande lägsta och högsta detektionsgräns.

Mikroplastutsläpp från däck och konstgräs uppskattas i Naturvårdsverkets nationella skattning (Magnusson m.fl., 2016). Mängden mikroplast i bräddvatten från avloppsledningsnätet uppskattas nationellt i Naturvårdsverkets studie samt lokalt i studien vid Ryaverket i Göteborg (Magnusson m.fl., 2016; Tumlin & Bertholds, 2020). I Naturvårdsverkets nationella skattning ingår även bräddning vid avloppsreningsverk med efterföljande partiell rening.

Resultaten från den kvantitativa analysen presenteras i två enheter: antal (partiklar per liter) eller vikt (ton per år) i inkommande och utgående renat avloppsvatten samt i bräddvatten och slam. I förekommande studie har vikt i mikrogram per liter omräknats till totala utsläpp i Sverige i ton per år genom antagandet att 1,5 miljarder m³ avloppsvatten renas per år i Sverige (Svenskt Vatten AB, 2022).

Studier/ avloppsreningsverk	n	Plats	d (µm)	Metod	p.e.	Vikt/ antal	Huvudsaklig reningsprocess	Medium	Provtagning
Ryaverket (Tumlin & Bertholds, 2020)	1	Göteborg	10–500	FTIR	971 000	V+A	AS+MBBR+ skivfilter	AV + slam + brädd	Dygns-/bland-/ stickprov
Käppalaverket (Andreasson & Bäckbom, 2022)	1	Lidingö	10–500	FTIR	557 000	V+A	AS+sandfilter	AV + slam	Vecko-/bland-/ stickprov
Sjölundaverket* (Tumlin & Bertholds, 2020)	1	Malmö	10–500	FTIR	354 000	V+A	AS+flotation	AV + slam	Dygns-/bland-/ årsprov
Getteröverket (Baresel m.fl., 2021)	2	Varberg	50–5 000	SM	56 700	A	AS+flockning	AV	Veckoprov
Ullared ARV (Habagil m.fl., 2019)	3	Falkenberg	50–5 000	SM	7 400	A	AS+damm/ +trumfilter+ozon	AV	Veckoprov
Henriksdal ARV (Närhi m.fl., 2021)	1	Stockholm	50–5 000	SM	850 000	A	AS+sandfilter	AV	Veckoprov
MBR-pilot Henriksdal (Närhi m.fl., 2021)	1	Stockholm	50–5 000	SM	Pilot	A	AS+MBR	AV	Veckoprov
Himmerfjärdsverket (Baresel m.fl., 2020)	1	Botkyrka	50–5 000	SM	245 000	A	AS+sandfilter	AV	Blandprov
Lidköpings ARV (Jordnära miljökon- sult AB 2020)	1	Lidköping	42–5 000	Py- GCMS	45 000	V	AS+flotation	AV	Dygnsprov
Naturvårdsverket nationell skattning Sverige (Magnusson m.fl., 2016)	-	-	-	Härlett från källor**	10 miljoner	V	Ej applicerbart	AV + slam + brädd	-
Danmark 10 ARV (Simon m.fl., 2018)	-	-	10–500	FTIR	-	V+A	AS/+sandfilter	AV	Dygnsprov
Norge 3 ARV (Magnusson, 2014)	-	-	20-5 000	SM	970 000	A	AS/enbart kemisk rening	AV	Bland-/ dygnsprov

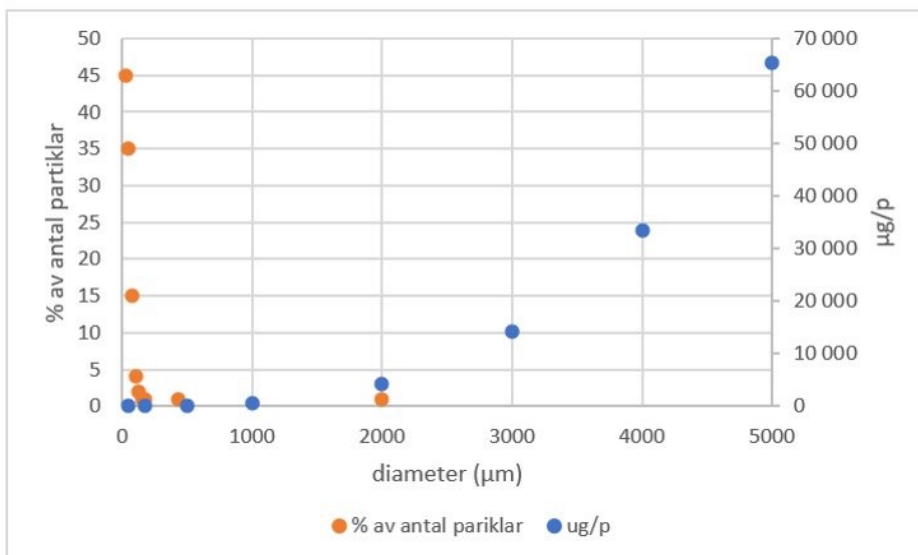
*inkommande vatten analyserades efter 3 mm galler **hygienartiklar, hushållsdamm och tvätt

2.3 Partikelvikt

De flesta plastpolymerer har en densitet på mellan 0,8 och 1,5 g/cm³ (Lange m.fl., 2021). För mikroplastpartiklar i storleksordningen 10–500 µm (diameter) uppskattas genomsnittstorleken vara 40–50 µm, motsvarande 0,02–0,04 µg/partikel (DEPA, 2017). För intervallet 20–5 000 µm använde Baresel & Olshammar (2019) 6,6 µg som partikelvikt. Figur 2.1 visar hur vikten av en sfärisk mikroplastpartikel med densitet 1 g/cm³ påverkas av dess diameter samt hur storleksfördelningen (partikelstorlek 25–5 000 µm) kan se ut för inkommande vatten till ett avloppsreningsverk (Williams m.fl., 2020). Figuren illustrerar hur förekomst av enstaka större partiklar kan ha stor inverkan på den totala vikten. Eftersom viktfordelningen framför allt i det högre intervallet är förknippad med stora osäkerheter har förekommande studie inte konverterat antal partiklar till viktdata. Däremot har några av de inkluderade studierna använt analysmetoden FTIR för en mer noggrann beräkning av massan.

Tabell 2.1.

Urval av mikroplaststudier. ARV=avloppsreningsverk, AV=avloppsvatten (in-
kommande till och utgå-
ende från ARV), AS=ak-
tivslamprocess, V=vikt,
A=antal, n=antal provtag-
ningstillfällen, p.e.=perso-
nekvivalenter, d=partikeldi-
ameter. SM=
stereomikroskopi, FTIR=
µFourier transform infraröd
spektroskopi, Py-GCMS=-
masspektrometri med fö-
regående pyrolys, MBBR=-
moving bed biofilm reactor,
MBR=membrane bio-
reactor. Blandprov avser
blandning av delprov där
tidsperiod inte angivits som
dygn eller vecka.



Figur 2.1
Beräknad partikelvikt (µg/p) baserad på diametern hos en mikroplastpartikel vid antagen sfärisk form och densitet på 1 g/cm³ samt procentuell andel mikroplastpartiklar i inkommande avloppsvatten till ett avloppsreningsverk baserat på analyser av Williams m. fl. (2020).

2.4 Felkällor

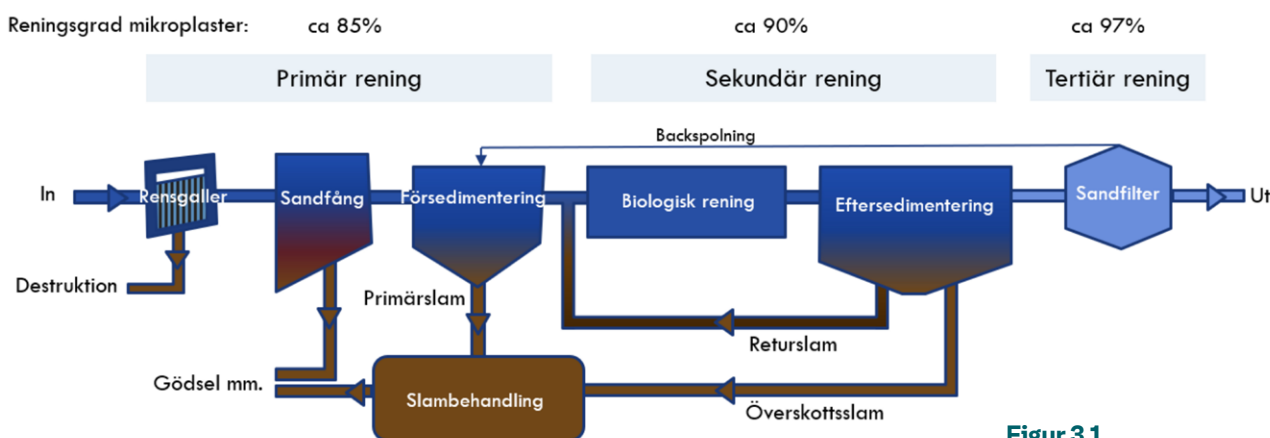
Eftersom relativt få studier är utförda på mikroplastutsläpp från svenskt avloppsvatten samt att de få studier som finns oftast redovisar enstaka provtagningar med olika provtagningsmetoder kan felaktiga resultat få stort utslag i förekommande studie. Mängd mikroplast som detekteras varierar med uppberetningsmetod, analysmetod, partikelstorlek som analyserats, provvolym, tid, flöde och plats. Att få ett representativt värde på mängden mikroplast från avloppsvatten samt att uppskatta motsvarande värden för hela Sverige är därmed betingat med stora osäkerheter.

3 Resultat och diskussion

3.1 Mikroplast vid kommunal avloppsvattenrening

Fungerande avloppssystem är en förutsättning för god hälsa och miljö. Avloppssystemens uppgift är att leda bort och rena avloppsvatten på ett effektivt sätt. Systemen består av spillvattenförande ledningsnät, avloppsreningsverk och slamhantering. I Sverige finns totalt 1 200–1 300 avloppsreningsverk och ca 101 000 km avloppsrör (Svenskt Vatten AB, 2022). Kommunala avloppsreningsverk tar emot spillvatten men ibland även dagvatten och dräneringsvatten (tillskottsvatten) när det inte finns separata system för dessa. Tillförsel av mikroplast till avloppsreningsverk kan ske via båda dessa transportvägar, där dagvatten bedöms kunna innehålla mer mikroplast än spillvatten (Baresel & Olshammar, 2019). Hur stor andel av den totala tillförseln av orenat vatten till avloppsreningsverk som kommer från tillskottsvatten varierar, enligt Clementson m.fl. (2020) med mellan 20–70 %.

Vid rening av kommunalt avloppsvatten kan primär, sekundär och tertiär rening tillämpas baserat på mekaniska, kemiska och biologiska reningssteg (Figur 3.1). På senare år har även så kallad avancerad rening av avloppsvatten blivit aktuellt, exempelvis i form av granulerat aktivt kol eller ozonering för reduktion av mikroförureningar. Reduktionen av mikroplaster i olika reningssteg styrs främst av mikroplastpartiklarnas storlek, densitet, textur och laddning (Baresel m.fl., 2017). Reningsverk har i regel god avskiljning av mikroplast (Baresel & Olshammar, 2019). I reningsverkets olika steg kan mikroplast avskiljas till rens och destrueras, men det kan även avskiljas till slam varifrån det kan spridas i miljön. Alternativt kan mikroplasterna fragmenteras till mindre partiklar som inte kan detekteras i utgående renat avloppsvatten men som fortfarande kan utgöra en risk för miljö och hälsa.



Figur 3.1

Exempelkonfiguration av ett avloppsreningsverk. Den potentiella reningsgraden av mikroplast är ca 85 % över primär rening, ca 90 % över sekundär rening och ca 97 % över tertiär rening beträffande avloppsreningsverk i Östersjöområdet (Baresel & Olshammar, 2019).

Den primära reningen (grovrening och försedimentering) är oftast av mekanisk karaktär och utgörs av rensgaller, sandfång och försedimentering. Renset från gallren går vanligtvis till förbränning vilket innebär att mikroplaster som avskiljs i detta reningssteg destrueras och inte längre kan spridas till miljön. Gallrens effektivitet är bland annat beroende av styrningen av gallren då rensattan är viktig för avskiljningen av mikroplast. Rensgaller kan följas av ett sandfång samt försedimentering alternativt filtrering för att avlägsna sand, grus och andra större partiklar. Hur effektiva dessa steg är på att avskilja mikroplast beror på mikroplastpartiklarnas egenskaper men är även bland annat kopplat till genomsläppligheten hos filter samt ytbelastning vid sedimentering. Efter primär rening kan ca 85 % av mikroplastpartiklarna ha avlägsnats från vattenfasen, se Figur 3.1.

Sekundär rening kan avlägsna ytterligare ca 90 % av mikroplastpartiklarna beträffande avloppsreningsverk i Östersjöregionen (Baresel & Olshammar, 2019). Den sekundära reningen innefattar oftast biologisk rening som avlägsnar främst organiskt material genom mikrobiologisk aktivitet från bakterier och protozoer. Majoriteten av det svenska avloppsvattnet genomgår biologisk rening (SCB, 2018). Det biologiska reningssteget kan vara utformat på flera olika sätt. Det vanligaste är aktivslam där slamflockar med de verksamma mikroorganismerna hålls suspenderade i avloppsvattnet genom mekanisk omrörning eller luftning. Aktivslamprocesser kan utformas på olika sätt, där internflöden av nitrat och slam ser olika ut och kan påverka hur mikroplaster flödar och recirkuleras genom avloppsreningsverket. Mikroplast avskiljs i dessa processer genom att fastläggas i slammet, som delvis recirkuleras i reningssteget men även tas ut som överskottslam för vidare, separat, hantering. Det aktiva slammet avskiljs vanligen via eftersedimentering. En annan möjlig metod är membranteknik, vilket t.ex. inkluderar separata ultrafilter (UF) och filter integrerade i en membranbioreaktor (MBR). När MBR används går inga partiklar större än porstorleken, som vanligtvis är 0,1–0,04 µm (Andersson m.fl., 2021), igenom. Detta är minst 100 gånger mindre än den lägsta detektionsgränsen för mikroplastpartiklar (10 µm) i förekommande studie. Tekniken avskiljer därmed alla mikroplastpartiklar över 10 µm. Membranen är dock tillverkade av plast och kan därför teoretiskt tillföra mikroplast till avloppsströmmen (Gan m.fl., 2021).

En annan typ av biologisk rening är biofilmsystem, där de verksamma mikroorganismerna i stället växer som en biofilm på en yta. Ytan kan utgöras av exempelvis bärare eller bäddar. Bärare i en så kallad MBBR-process (moving bed biofilm reactor) består ofta av plast och utsätts för slitage när de rörs runt i bassängen, vilket kan medföra att mikroplastpartiklar bildas. Även denna typ av process fastlägger mikroplaster i slammet.

Tertiär rening avlägsnade ytterligare ca 97 % av mikroplasterna från avloppsvattnet i Östersjöregionen, se Figur 3.1. Sandfilter är en vanlig metod för tertiär behandling. Metoden är en blandning av mekanisk och biologisk rening och kan därför avskilja mikroplaster på flera sätt. Filtret kan mekaniskt sila bort partiklarna från huvudströmmen, men partiklarna kan också fastläggas i biohuden som bildas. Precis som membran behöver sandfilter backspolas, vilket återför mikroplasterna till avloppsvattnet i ett tidigare steg i processen. Slutligen hamnar mikroplastpartiklarna i slammet.

Slam bildas som en restprodukt från den primära och sekundära reningen. Slam har en god förmåga att avlägsna mikroplaster från vattenfasen genom att binda partiklarna. Slamhanteringen har därmed stor inverkan på vad som händer med mikroplasterna och utgör den största transportvägen av mikroplast från avloppsvatten till miljön. Slam sprids i naturen framför allt via användandet av slam som gödselmedel på åkermark, som anläggningsjord eller som deponitäckning. Hur mikroplast sprids eller sönderdelas i jorden är ännu inte helt klarlagt (Ljung m.fl., 2018) men studier pågår. Idag finns inga effektiva metoder för att avskilja mikroplast från slam. Termisk behandling av slammet kan däremot förstöra mikroplasterna samtidigt som slammet omvandlas till aska eller kol (Bhasin m.fl., 2020). Till skillnad från vissa andra europeiska länder är termisk behandling av slam ovanligt i Sverige.

Bräddning innebär att obehandlat avloppsvatten släpps ut till följd av höga vattenflöden, underhåll eller driftstörningar. Bräddning kan ske på ledningsnät eller vid avloppsreningsverk vilket i det senare fallet ibland inkluderar partiell rening såsom primär rening eller höglödesrening, se Figur 3.2. Enstaka procent av det avloppsvatten som inkommer till avloppsreningsverk i Sverige bräddas (Wennberg m.fl., 2017). Majoriteten (>80 %) uppskattas bräddas vid höglöde, varav ca 20 % bedöms genomgå partiell rening på avloppsreningsverk (Baresel & Olshammar, 2019). Tillförseln av dagvatten i samband med höglöde bedöms vidare höja mikroplastkoncentrationen i vattenströmmen, t.ex. på grund av extra avrinning från fasta ytor i urban miljö (Baresel & Olshammar, 2019). Avloppsreningsverk är nästan alltid dimensionerade så att primärreningen ska kunna hantera fyra gånger högre flöden än det dimensionerade flödet och den biologiska

reningen ofta två gånger högre flöden. Detta medför att förbiledning ofta sker efter primärreningen (innan biologin) och avloppsvattnet har då genomgått grövre filtrering och/eller sedimentering, vilket kan avlägsna en stor del av mikroplasterna. När bräddning däremot sker vid inloppet eller i ledningsnätet är det bräddade avloppsvattnet helt orenat från mikroplaster.

Vissa avloppsreningsverk har högflödesrening som kopplas in när belastningen till avloppsreningsverket är för hög, för att undvika att brädda orenat avloppsvatten. Då leds ofta en delström av det inkommande vattnet till ett reningssteg utanför huvudströmmen för att avlasta en del av reningsprocessen. En högflödesrening kan exempelvis vara en våtmark, mekaniska filter, kemfällning med sedimentering eller flotationsteknik, vilket kan avskilja en stor del av mikroplasterna. På avloppsreningsverk går bräddat avloppsvatten oftast till utloppsledningen. Bräddat avloppsvatten på ledningsnät rinner oftast ut i närmaste recipient men kan också läcka ut i marken.



Figur 3.2

Bräddning utgörs av (1) bräddning på ledningsnät vid högflöde, (2) bräddning på ledningsnät vid underhåll eller driftstörning samt (3) bräddning vid avloppsreningsverk vid högflöde, vilket ibland inkluderar partiell rening (förbiledning med primär rening eller högflödesrening). Efter Baresel & Olshammar (2020).

3.2 Analysmetoder

Tabell 3.1 nedan sammanfattar egenskaper för olika existerande analysmetoder. Det finns ännu inga standardiserade metoder för analys av mikroplaster. Metoderna är fortfarande under utveckling. Med anledning av detta är analyserna dyra att utföra och medför ofta stora osäkerheter, vilket leder till att data ibland är knapphändig och svårtolkad.

Samtliga metoder i Tabell 3.1 fungerar även vid slamanalyser men på grund av den höga halten organiskt material blir upparbetning av provet svårare. I en studie av von Friesen m.fl. (2019) har den upparbetning som fungerat bäst varit en kombination av enzymatisk metod och kaliumhydroxid. För slam är det särskilt svårt att få ett representativt analysresultat eftersom slam är en komplex och heterogen matris samt att lika stora mängder prov inte kan bearbetas som vid analys av vatten.

	Mikroskopiska metoder	Mikrospektroskopiska metoder			Gaskromatografiska metoder och masspektroskopi (GC/MS)	
	Ljuskopiering (t.ex. SM) ^a	SEM-EDX ^b	μ-FTIR ^c	Raman	Pyrolys-GC/MS	TED-GC/MS ^d
Tid för analys inkl. provberedning	Timmar – dagar	Timmar	Dagar – veckor	Timmar – dagar	Dagar – veckor	Timmar
Detektionsgräns	20–100 μg	10 μg	20 μg	1–10 μg	<1 μg ^e	0,5–2,5 μg
Provberedning	Filter	Filter	Specialfilter	Filter	Isolerade partiklar (vial)	Filtrat eller material i deglar
Polymertyp	Nej	Nej	Ja (svårt)	Ja (svårt)	Ja	Ja
Utseende på partikelyta	Ja	Ja	Nej	Ja	Nej	Nej
Nedbrytningsgrad	Nej	Nej	Nej	Yt-oxidering	Oxidering	Nej
Partikelantal, storlek, form, morfologi	Ja, genom okulär bedömning	Ja, antal	Ja	Ja	Nej	Nej
Massbalans (ej uppskattad eller beräknad)	Nej	Nej	Nej	Nej	Ja	Ja

^a Stereomikroskop

^b Svepelektron-mikroskopi med röntgen-detektor

^c μFourier transform infraröd spektroskopi

^d Termisk extraktions- och desorptions-GC/MS

^e Utveckling pågår som kan sänka detektionsgränsen

Tabell 3.1

Översikt av analysmetoder för mikroplast (Andersson-Sköld m.fl., 2020).

3.2.1 Stereomikroskop (SM)

Stereomikroskop (SM) är en av de vanligaste metoderna för analys av mikroplaster i avloppsvatten i Norden. Analysmetoden innebär att provet först filtreras genom ett eller flera filter. I en studie av Närhi m.fl. (2021) utfördes filtreringen i tre steg, först med ett filter med maskstorlek 300 μm, sedan 100 μm och sist 50 μm. Materialet som fastnat på respektive filter analyseras sedan med ett stereomikroskop (i detta fall med 7,5–135 gånger förstoring). Mikroplastpartiklarna räknas och delas in i grupper beroende på deras form: plastfragment eller plastfibrer. Proverna kan också behandlas med kaliumhydroxid (KOH) innan analys för att minska mängden organiskt material (Närhi m.fl., 2021). Denna metod kan också behöva kombineras med enzymatisk nedbrytning (von Friesen m.fl., 2019).

3.2.2 Fourier transform infraröd spektroskopi (FTIR)

En annan vanlig analysmetod är Fourier transform infraröd spektroskopi (FTIR). Denna metod finns i olika varianter (såsom Attenuated Total Reflected (ATR)-FTIR och μFTIR-spektroskopi) som med fördel kan användas på olika storleksintervall av partiklar. ATR-FTIR fungerar exempelvis bättre för intervallet 500–5 000 μm och μFTIR-spektroskopi fungerar bättre för den mindre fraktionen (10–500 μm).

Följande exempel gäller μFTIR-imaging som använts i bland annat studien av Tumlin & Bertholds (2020). Innan analys måste provet förbehandlas, vilket kan ske på olika sätt beroende på vilken matris som ska analyseras. Förbehandling används för att ta bort sådant material som inte är relevant för analysen och för att koncentrera det som ska analyseras. När provet förbehandlats placeras det på bärarmaterialet och belyses med IR-ljus. IR-ljuset som transmitteras eller reflekteras analyseras sedan och ger upphov till ett antal spektra som är karaktäristiska för en viss partikels kemiska sammansättning. Metoden beskrivs i mer ingående detalj i Ljung m.fl. (2018).

Metoden ger i första hand resultat i antal partiklar men kan även ge en beräknad massa som är noggrannare än om massan skulle beräknas med SM. Partiklarnas form och egenskaper fångas upp av μFTIR-imaging och kan därför ge ett bättre resultat.

3.2.3 Gaskromatografi/masspektroskopi (GC/MS)

Till skillnad från tidigare nämnda analysmetoder ger gaskromatografi/masspektroskopi (GC/MS) resultat i vikt (utan beräkningar eller uppskattningar) och kan därför ses som en lämplig metod att använda i avloppssammanhang då den kan användas för att utvärdera avskiljning i reningssteg genom massbalans. Termisk extraktions- och desorptions- (TED) GC/MS kan dessutom hantera större provvolymmer och analysförloppet är snabbt. I nuläget erbjuder inga kommersiella aktörer i Sverige denna analys men Eurofins erbjuder pyrolys GC/MS för avloppsvatten via sin norska verksamhet i Bergen (Eurofins, 2022).

Båda metoderna går ut på att specifika nedbrytningsprodukter identifieras som markörer för olika polymerer som sedan kvantifieras. Skillnaden är att pyrolys GC/MS snabbt upphettar provet till en temperatur där provet bryts ner till enskilda molekyler som sedan separeras med gaskromatografi, medan TED GC/MS upphettar provet stegvis i en separat enhet och bildar ångor med nedbrytningsprodukter som koncentreras på en sorbent och injiceras i det gaskromatografiska systemet genom termisk desorption. Skillnaden i metoderna medför att pyrolys GC/MS inte kan analysera lika stora provmängder och kräver mer noggrann provberedning (Andersson-Sköld m.fl., 2020).

Både TED GC/MS och pyrolys GC/MS är dock förstörande metoder. Är det även önskvärt att veta vilken typ av partiklar (t.ex. fibrer) eller antal partiklar som förekommer i avloppsvattnet krävs optiska metoder såsom SEM, μ FTIR eller stereomikroskopering som beskrivits ovan. Valet av analysmetod beror därför i hög utsträckning på vilken frågeställning som ska besvaras. De undersökta studierna som sammanställs i denna rapport är utförda med FTIR, SM eller GC/MS och därmed presenteras inte övriga analysmetoder i Tabell 3.1 närmare här.

3.3 Antal mikroplastpartiklar

Kvantitativa resultat från de undersökta studierna påvisar stor variation i mikroplastinnehåll i inkommande avloppsvatten till svenska avloppsreningsverk. En uppdelning på analysintervall (Figur 3.3) visar att i medeltal ca sex gånger fler mikroplastpartiklar detekteras i inkommande avloppsvatten vid lägre analysintervall (10–500 μ m) än inom det högre analysintervallet (50–5 000 μ m).

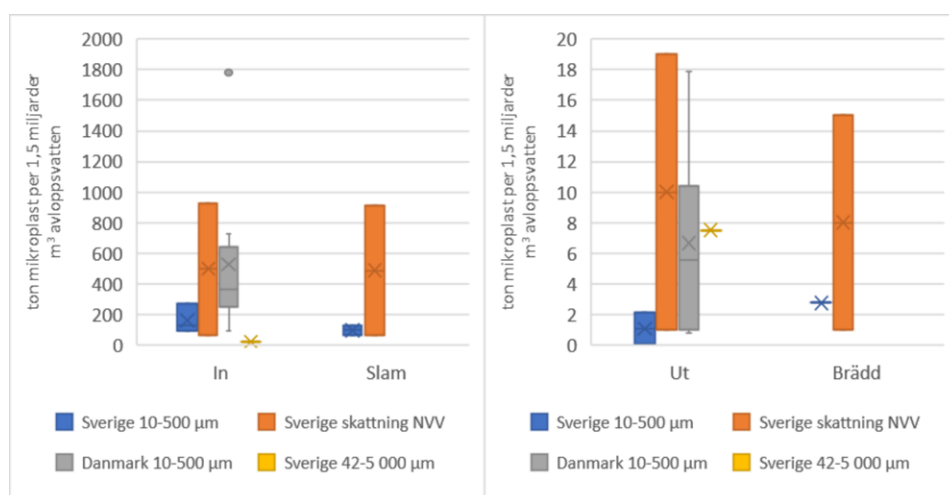
Inom det högre analysintervallet (50–5 000 μ m) avviker Himmerfjärdsverket från övriga resultat med höga antal inkommande och utgående mikroplastpartiklar. Om det höga antalet inkommande mikroplastpartiklar är plats- eller tidsberoende går inte att avgöra från befintligt dataunderlag. De höga utgående halterna av mikroplastpartiklar från Himmerfjärdsverket är delvis ett resultat av lägre retention genom avloppsreningsverket (93 %) jämfört med övriga undersökta avloppsreningsverk.

Övriga undersökta svenska avloppsreningsverk har en retention på mellan 98 % och 100 %, där bland annat membranteknik uppvisar så gott som 100 % retention av mikroplastpartiklar. Utgående vatten från de undersökta avloppsreningsverken innehåller mellan ca noll och drygt 20 partiklar per liter. Det motsvarar i medeltal 1 000-tals miljarder partiklar per år från svenska avloppsreningsverk.

3.4 Viktanalys

Uppskattad totalvikt av mikroplastpartiklar in och ut ur avloppsreningsverk per 1,5 miljarder m³ avloppsvatten (motsvarande mängden renat avloppsvatten i Sverige per år) presenteras i Figur 3.5. Magnusson m.fl. (2016) har uppskattat att den totala vikten av mikroplast i medeltal är ca 500 ton per år i inkommande avloppsvatten och ca 10 ton per år i utgående renat avloppsvatten från svenska avloppsreningsverk. Mätningar från tre svenska avloppsreningsverk (10–500 µm, analyserat med FTIR) visar på motsvarande ca 160 ton (per 1,5 miljarder m³ avloppsvatten) i inkommande avloppsvatten och ca 1 ton i utgående avloppsvatten. Mätningar från tio danska avloppsreningsverk (10–500 µm, analyserat med FTIR) visar på motsvarande ca 500 ton i inkommande avloppsvatten och 7 ton i utgående avloppsvatten. Retentionen genom dessa avloppsreningsverk är därmed 98–99 %.

I en studie från Lidköpings avloppsreningsverk (42–5 000 µm, analyserat med Py-GCMS, n=1) uppvisas lägre mikroplastleter i inkommande avloppsvatten som skulle motsvara 21 ton per 1,5 miljarder m³ avloppsvatten samt en utgående mängd mikroplast på motsvarande ca 8 ton (Jordnära miljökonsult AB 2020). Den låga retentionen genom avloppsreningsverket beror på att mikroplast introducerats från en okänd intern källa, medan de låga inkommande halterna delvis kan bero på det högre analysintervallet. Eftersom denna studie visar kraftigt avvikande resultat utan att en tydlig förklaring kan ges, bör resultaten dock tolkas försiktigt.



Figur 3.5

Analyserad och uppskattad vikt mikroplastpartiklar i ton per 1,5 miljarder m³ avloppsvatten (motsvarande mängden renat avloppsvatten per år i Sverige). Analyser från Sverige (Ryaverket, Sjölundaverket och Käppalaverket) inom intervallet 10–500 µm (n=3; n=1 för bräddning), från Naturvårdsverkets (NVV) nationella skattning, från danska avloppsreningsverk inom intervallet 10–500 µm (n=10) samt från Sverige (Lidköpings avloppsreningsverk) 42–5 000 µm (n=1). Parametern Sverige skattning NVV Brädd inkluderar även bräddning med efterföljande partiell rening på avloppsreningsverk.

Inkommande avloppsvatten till de tio danska avloppsreningsverken hade i medeltal åtta gånger fler mikroplastpartiklar än avloppsvatten in till de tre svenska avloppsreningsverken med detektionsgräns 10 µm, vilket visades i föregående avsnitt. Ändå påvisas bara tre gånger större vikt av mikroplast i de danska jämfört med de svenska avloppsreningsverken (Figur 3.5). Skillnaden kan påvisa variationer i partikelstorlek eller partikeldensitet mellan avloppsreningsverken, men det kan även vara ett resultat av den stora osäkerheten som är förknippad med massanalyser av mikroplaster, såsom densitetsskattning.

Vid Käppalaverket analyserades även vikten av mikroplastpartiklar inom storleksintervallet 500–5 000 µm i inkommande avloppsvatten efter 3 mm rensgaller. Analyserna visade att halten i µg/L var drygt dubbel så stor inom intervallet 500–5 000 µm som inom intervallet 10–500 µm, trots att de större partiklarna till antalet var mycket färre (Andreasson & Bäckbom, 2022). Denna vikt är inte inkluderad i Figur 3.5.

Magnusson m.fl. (2016) har i sin nationella skattning antagit att de mikroplastpartiklar som inte följer med utgående renat avloppsvatten, i förekommande fall 98 % av

mikroplasterna, hamnar i slammet. Tumlin & Bertholds (2020) samt Andersson & Bäckbom (2022) står bakom två studier som har analyserat mikroplastpartiklar i slam och rens. I Ryaverket och Sjölundaverket saknades 10-tals procent av mikroplasterna i slammet inom intervallet 10–500 µm efter utförd massbalans. Tumlin & Bertholds (2020) har i sin studie vidare skattat att ca 30 % av mikroplasterna fastnade i 2 mm rens-galler.

Magnusson m.fl. (2016) uppskattade mängden mikroplast från bräddning på ledningsnätet och bräddning med efterföljande partiell rening på avloppsreningsverk medan Tumlin & Bertholds (2020) endast uppskattade mängden mikroplast från bräddning på ledningsnätet. Båda studierna uppskattar att den mängd mikroplast som når recipienten via bräddning och partiell rening är i samma storleksordning som mängden mikroplast i utgående renat avloppsvatten (Figur 3.5). På samma sätt föreslår tidigare studier av Baresel & Olshammar (2019) att framför allt bräddning av ledningsnät kan stå för en betydande del av mängden mikroplastpartiklar som når vattenrecipienter via avloppsreningsverk.

3.5 Avloppsreningsverk som transportväg av mikroplast

Förekommande resultatsammanställning visar att de undersökta svenska avloppsreningsverken effektivt avskiljer mikroplastpartiklar från inkommande avloppsvatten med en retention på i medeltal 99 % (mellan 93 och 100 %, baserat på antal partiklar). Samtliga undersökta avloppsreningsverk har biologisk rening i form av aktivslamprocess. Som tidigare nämnts kan potentiellt en signifikant andel av mikroplastpartiklarna avskiljas med finrensgaller (2 mm) och grovningen konstateras viktig för att kunna uppnå en hög total reduktion (Tumlin & Bertholds, 2020). Sun m.fl. (2019) utförde en sammanställande studie som indikerar att upp till 60 % av de inkommande mikroplasterna kan avlägsnas med grovgaller efterföljt av fingaller. En studie av Baresel & Olshammar (2020) tyder på att rens-gallrens spaltvidd har stor inverkan på avskiljningen. Vid spaltvidderna 6 mm, 2 mm och 1 mm visade studien att 16 %, 55 % respektive 89 % av mikroplasterna avlägsnades. Då rensat från grovningen ofta förbränns innebär det att mikroplasterna som hamnar här ofta förstörs och avlägsnas från miljön. En ökad avskiljning i detta reningssteg skulle innebära att en mindre mängd mikroplaster hamnar i slammet eller i utgående vatten och i stället förbränns och förstörs. Vidare studier skulle behövas för att optimera avskiljning av plast i primärreningen.

För att uppnå 100 % avskiljning av mikroplaster krävs i regel membranteknik. Membran är tillverkade av plast, vilket kan vara en intern källa till mikroplaster i avloppsreningsverk som främst uppstår när membranen är äldre och regelbundet har rengjorts med kemikalier (Gan m.fl., 2021). Dock skulle dessa mängder vara mycket små och för att kunna dra definitiva slutsatser behövs fler studier inom området.

Flera studier har funnit mindre mängd mikroplast i slammet än vad som teoretiskt borde uppmätas sett till att det som kommer in till avloppsreningsverket också borde komma ut (Chand m.fl., 2021; Ljung m.fl., 2018; Tumlin & Bertholds, 2020). Studien av Ljung m.fl. (2018) menar att den saknade mängden kan bero på osäkra analyser, nedbrytning eller att mikroplasterna fragmenteras till mindre partiklar som inte ingår i analysintervallet. Studien av Tumlin & Bertholds (2020) där slam från Ryaverket analyserats, visade att 40 % av mikroplasterna ”försvann” vid mesofil (36 °C) rötning. Detta förklarar författarna med nedbrytning, fragmentering eller metodfel. Båda studierna nämner nedbrytning som en möjlig anledning till reduktionen av mikroplastpartiklar, något som den korta uppehållstiden i ett avloppsreningsverk skulle kunna tala emot. Det återstår att bevisa om fragmentering kan orsaka bortfallet av mikroplastpartiklar trots att fragmentering samtidigt borde generera fler mikroplastpartiklar inom de intervall som analyseras. För att kunna besvara dessa frågor behövs förbättrade analysmetoder och lägre detektionsgränser.

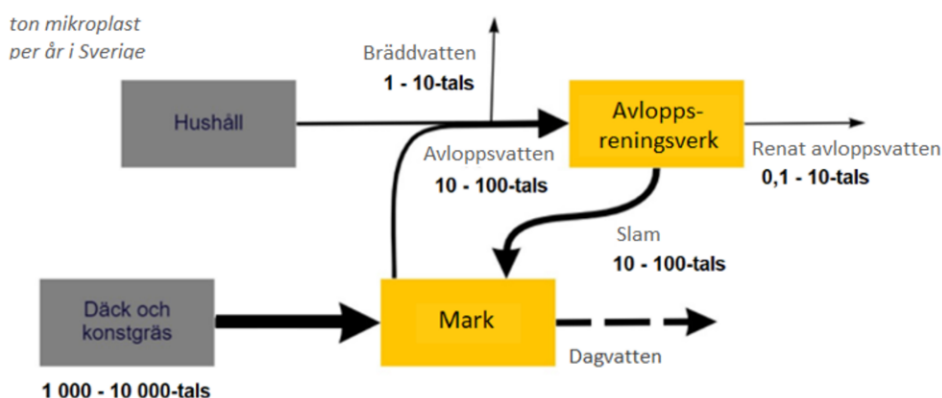
Även om det finns dåligt med underlag på analyser av mikroplast i slam indikerar flera studier att stora delar av inkommande mängd mikroplast hamnar i slammet (Sun m.fl., 2019). Därför blir slamhanteringen avgörande för mikroplasternas spridning i miljön. Figur 3.6. Som tidigare nämnt är termisk behandling av slam ovanligt i Sverige och därmed är det troligt att mikroplastpartiklar som bundits till slammet hamnar i naturen, via exempelvis slamspridning på åkrar. I en studie av Ljung m.fl. (2018) motsvarade den uppmätta mikroplastkoncentrationen inte den teoretiska i den gödslade marken vid normal slamspridning. Möjliga förklaringar till den uppmätta skillnaden är, enligt rapporten, nedbrytning eller fragmentering till storlekar mindre än detektionsgränsen på 10 µm eller transport av mikroplaster till djupare marklager. Detta möjliggörs bland annat av mikroorganismer, vilka finns i större mängd i markmiljön än i vatten.

Uppströmsåtgärder som förhindrar plast att hamna i avloppsvattnet är den bästa metoden för att minska belastningen på avloppsreningsverken och spridning till miljön via denna transportväg. Annan hantering av slam skulle kunna minska mängden mikroplast som når mark via slamspridning. En slutlig rekommendation på hur mikroplaster i slam ska hanteras är dock svårt att ge utan en bredare diskussion om slamspridningens olika för- och nackdelar samt vidare studier på effekterna i naturen som slammet sprids i, vilket det finns pågående studier om i Sverige idag.

Svenska och internationella studier har påvisat att bräddning utgör en betydande transportväg av mikroplastpartiklar i förhållande till utgående renat avloppsvatten (Baresel & Olshammar, 2019; Tumlin & Bertholds, 2020). Figur 3.6. För att minska bräddning av ledningsnätet i samband med höga dagvattenflöden bör tillförseln av dagvatten till ledningsnätet minskas. Detta möjliggörs framför allt genom separata ledningssystem för dagvatten med efterföljande reningssteg såsom exempelvis dammar (Svenskt Vatten AB, 2016; Lange m.fl. 2021). Gröna ytor kan även användas för att bromsa tillflödet till ledningsnäten, liksom reservoarer som kan förvara bräddvatten tills trycket på ledningsnätet minskat igen (Baresel & Olshammar, 2020). Vid avloppsreningsverken är effektiv partiell rening i form av primär rening och högflödesrening av betydelse.

Figur 3.6 visar årlig beräknad viktstorleksordning av mikroplastpartiklar till och från avloppsreningsverk (baserat på de svenska studierna i föregående kapitel) i relation till potentiell vikt av mikroplast från källorna konstgräs och däck. Magnusson m.fl. (2016) har påvisat att upp till ca 10 000 ton mikroplastpartiklar potentiellt avges från konstgräsplaner och däckslitage årligen. Viktmässigt uppskattas transporten som sker via utgående renat avloppsvatten och bräddvatten utgöra enstaka procent av utsläppen som sker via slamfasen, som vidare utgör enstaka procent av utsläppen från däck och konstgräs.

Även om studier (Ljung m.fl., 2018) har indikerat att mikroplast möjligtvis kan lagras, fragmenteras och brytas ned i jorden är utsträckningen som detta kan ske i fortfarande oklar. Enstaka studier (Jordnära miljökonsult AB, 2020; Tumlin & Bertholds, 2020) har analyserat halten mikroplast i dagvatten i Sverige, men för att kunna avgöra den nationella mängden skulle fler studier behövas.



Figur 3.6

Massflödesdiagram med storleksordningar på mikroplastströmmar i ton per år i Sverige. Grå boxar är källor till mikroplastutsläpp, orange boxar och svarta pilar är transportvägar respektive flöden. Bräddvatten, Renat avloppsvatten och Dagvatten går till recipient. Siffrorna baseras på skattningar av Magnusson m.fl. (2016) samt analyser på partikelstorlek 10–500 µm respektive 42–5 000 µm av Andersson & Bäckbom (2022), Tumlin & Bertholds (2020) och Jordnära miljökonsult AB (2020).

4 Slutsatser

En genomgång av åtta svenska avloppsreningsverk visar en reduktionsgrad av antalet mikroplastpartiklar genom avloppsreningsverken på i medeltal 99 % (93–100 %). Trots hög reduktionsgrad kan 1 000-tals miljarder mikroplastpartiklar årligen släppas ut med det renade avloppsvattnet från samtliga svenska avloppsreningsverk. Det råder stor variation i inkommande antal mikroplastpartiklar till de svenska avloppsreningsverken. Variationen accentueras vid jämförelse med studier från Norge och Danmark.

Antalet studier från Sverige som undersöker vikt av mikroplastpartiklar i renat avloppsvatten, bräddvatten och slam är få, där endast fyra studier ligger till grund för skattningarna i förekommande studie. Resultaten från förekommande studie påvisar att motsvarande 0,1–10-tals ton mikroplast kan släppas ut med det renade avloppsvattnet från samtliga svenska avloppsreningsverk årligen. Bräddvatten kan släppa ut motsvarande 1–10-tals ton mikroplast årligen, vilket är i paritet med utsläppen från renat avloppsvatten. Slam är vidare den enskilt största transportvägen av mikroplast från avloppsreningsverk till naturen genom möjliga utsläpp av motsvarande 10–100-tals ton mikroplast årligen. Det kan jämföras med att utsläpp från mikroplastkällorna däck och konstgräs i en tidigare studie har uppskattats generera 1 000–10 000-tals ton mikroplast per år.

Exempel på insatser som skulle kunna minska utsläppen av mikroplast från svenskt avloppsvatten är bland annat minskning av mängden bräddvatten som orenat når recipient samt minskning av mängden mikroplast i slam. En utredning av orsaken till variationerna i inkommande antal mikroplastpartiklar till avloppsreningsverken skulle vidare kunna underlätta uppströmsarbete.

Variation i analyserade storleksintervall och analysmetoder såväl som det begränsade antalet analyser medför stor osäkerhet i analysresultaten som presenteras i förekommande rapport. Att metodiken vid analys av mikroplast inte är standardiserad leder till svårigheter att jämföra resultat. För att få mer representativa resultat behövs bredare analysintervall med avseende på partikelstorlek. Trots att fler partiklar detekteras i de lägre analyserade storleksintervallen kan de större mikroplastpartiklarna ha stor relevans för den sammanlagda vikten. Vad gäller analys av slam krävs vidare metodutveckling för att säkerställa representativa resultat. Generellt efterfrågas fler studier på mikroplast i svenskt avloppsvatten och fler provtagningar per studie.

Referenser

- Andersson, S. L., Westling, K., Andersson, S., Karlsson, J., Narongin, M., Munoz, A. C., & Persson, G. (2021). Long term trials with membrane bioreactor for enhanced wastewater treatment coupled with compact sludge treatment. *IVL*, 96.
- Andersson-Sköld, Y., Johannesson, M., Gustafsson, M., Järleskog, I., Lithner, D., Polukarova, M., & Strömvall, A.-M. (2020). *Mikroplast från däck- och vägslitage: En kunskapsammanställning* (VTI rapport Nr 1028; s. 138). VTI. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1393275/FULLTEXT04.pdf>
- Andreasson, A., & Bäckbom, F. (2022). Massbalans av mikroplaster på Käppalaverket. *Rapport Nr 2022-1, SVU*, 41.
- Baresel, C., Habagil, M., Malovanyy, A., Karlsson, L., Keucken, A., & Bornold, N. (2021). *Förstudie – Läkemedelsrening vid Getteröverket i Varberg*. *IVL*, 91.
- Baresel, C., Magnér, J., Magnusson, K., & Olshammar, M. (2017). *Tekniska lösningar för avancerad rening av avloppsvatten* (Nr C235; s. 118). *IVL Svenska Miljöinstitutet*.
- Baresel, C., Malovanyy, A., Bornold, N., Andersson, S., Yang, J., & Lindblom, E. (2020). Resultat från FoU-samarbete Syvab-IVL. *Nr B 2382*, 40.
- Baresel, C., & Olshammar, M. (2019). On the Importance of Sanitary Sewer Overflow on the Total Discharge of Microplastics from Sewage Water. *Journal of Environmental Protection*, 10(09), 1105–1118. <https://doi.org/10.4236/jep.2019.109065>
- Baresel, C., & Olshammar, M. (2020). *Suggestions for technological solutions and management strategies for WWTP to minimize MP load on the Baltic Sea. Deliverable 4.5, BONUS MICROPOLL - Multilevel assessment of microplastics and associated pollutants in the Baltic Sea.*
- Bhasin, A., Almemark, M., Arnberg, R., Ekengren, Ö., Johansson, K., & Tjus, K. (2020). Framtida slamhantering – Förbränning kombinerat med fosforåtervinning ur askan. *IVL*, 82.
- Chand, R., Abraham Rasmussen, L., Tumlin, S., & Vollertsen, J. (2021). The occurrence and fate of microplastics in a mesophilic anaerobic digester receiving sewage sludge, grease, and fatty slurries. *Science of the Total Environment*, 798.
- Clementson, I., Alenius, E., & Gustafsson, L.-G. (2020). *Tillskottsvatten i avloppssystem—Nya tankar om nyckeltal* (Svenskt Vatten Utveckling Nr 2020–13; s. 66). Svenskt Vatten.
- DEPA. (2017). *Microplastic in Danish wastewater sources, occurrences and fate*. Danish Environmental Protection Agency.
- ECHA. (n.d.). *Microplastics*. ECHA. <https://echa.europa.eu/sv/hot-topics/microplastics>
- Eurofins. (2022, februari 24). *Analys av mikroplast i ”orena” vatten – Oxidation av naturligt organiskt material (NOM)*. Eurofins. <https://www.eurofins.se/tjaenster/miljoe-och-vatten/nyheter-miljo/analys-av-mikroplast-i-orena-vatten-oxidation-av-naturligt-organiskt-material-nom/>
- Gan, X., Lin, T., Jiang, F., & Zhang, X. (2021). Impacts on characteristics and effluent safety of PVDF ultrafiltration membranes aged by different chemical cleaning types. *Journal of Membrane Science*, 640, 119770. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2021.119770>

-
- Habagil, M., Petersén, A., Gunnarsson, A., Svedberg, S., Keucken, A., Baresel, C., & Malovanyy, A. (2019). *Förstudie Läkemedelsrening vid Ullared reningsverk. Utredning om behov och möjligheter för utökad rening av avloppsvatten från mikro-föroreningar*. IVL.
- Jordnära miljökonsult AB. (2020). *Mindre mängd mikroplast till Kinnevikens Kartläggning av flöden av mikroplast i vatten från Lidköpings tätort*.
- Lange, K., Blecken, G.-T., Magnusson, K., Kullberg, A. M., & Viklander, M. (2021). *Rening av mikroplast i dagvatten från motor väg*. 2021–22, 30.
- Ljung, E., Olesen, K. B., Andersson, P.-G., Fältström, E., Vollertsen, J., Wittgren, H. B., & Hagman, M. (2018). *Mikroplaster i kretsloppet* (Nr 2018–13; s. 48). Svensk Vatten Utveckling.
- Magnusson, K. (2014). *Mikroskräp i avloppsvatten från tre norska avloppsreningsverk* (C 71; s. 21). IVL Svenska Miljöinstitutet.
- Magnusson, K., Eliasson, K., Fråne, A., Haikonen, K., Hultén, J., Olshammar, M., Stadmark, J., & Voisin, A. (2016). *Swedish sources and pathways for microplastics to the marine environment*. 89.
- Naturvårdsverket. (2017). *Mikroplaster: Redovisning av regeringsuppdrag om källor till mikroplaster och förslag på åtgärder för minskade utsläpp i Sverige (s. 158)*. Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket. (2019). *Mikroplaster i miljön år 2019* (s. 110). Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket. (2022). *Mikroplast*. Naturvårdsverket. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/plast/om-plast/mikroplast>
- Närhi, K., Westling, K., Andersson, S., Baresel, C., & Wahlberg, C. (2021). *Mikroföroreningar i avloppsreningsverk med membranteknik*. 95. SVU.
- SCB. (2018). *Utsläpp till vatten och slamproduktion 2018—Kommunala avloppsreningsverk, massa- och pappersindustri samt viss övrig industri*.
- Simon, M., van Alst, N., & Vollertsen, J. (2018). *Quantification of microplastic mass and removal rates at wastewater treatment plants applying Focal Plane Array (FPA)-based Fourier Transform Infrared (FT-IR) imaging*. *Water Research*, 142, 10.1016/j.watres.2018.05.019.
- Svenskt Vatten AB. (2022). *Avloppsfakta*. Svenskt Vatten. <https://www.svensktvatten.se/fakta-om-vatten/avloppsfakta/>
- Tumlin, S., & Bertholds, C. (2020). *Kartläggning av mikroplaster – till, inom och från avloppsreningsverk* (Nr 2020–8; s. 70). Svensk Vatten Utveckling.
- von Friesen, L. W., Granberg, M. E., Hassellöv, M., Gabrielsen, G. W., & Magnusson, K. (2019). *An efficient and gentle enzymatic digestion protocol for the extraction of microplastics from bivalve tissue*. *Marine Pollution Bulletin*, 142, 129–134. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.016>
- Wennberg, C., Nordlander, H., & Hernebring, C. (2017). *Omfattning av bräddning i svenska kommuner*. Svenskt Vatten Utveckling.
- Williams, M., Pham, K., Mulder, R., Pring, N., Hickey, M., & Mardel, J. (2020). *Microplastic quantification in wastewater*. *CSIRO, Australia*, 131.
-

Bilaga 3

Beviljade statliga bidrag för läkemedelsrening 2019–2022

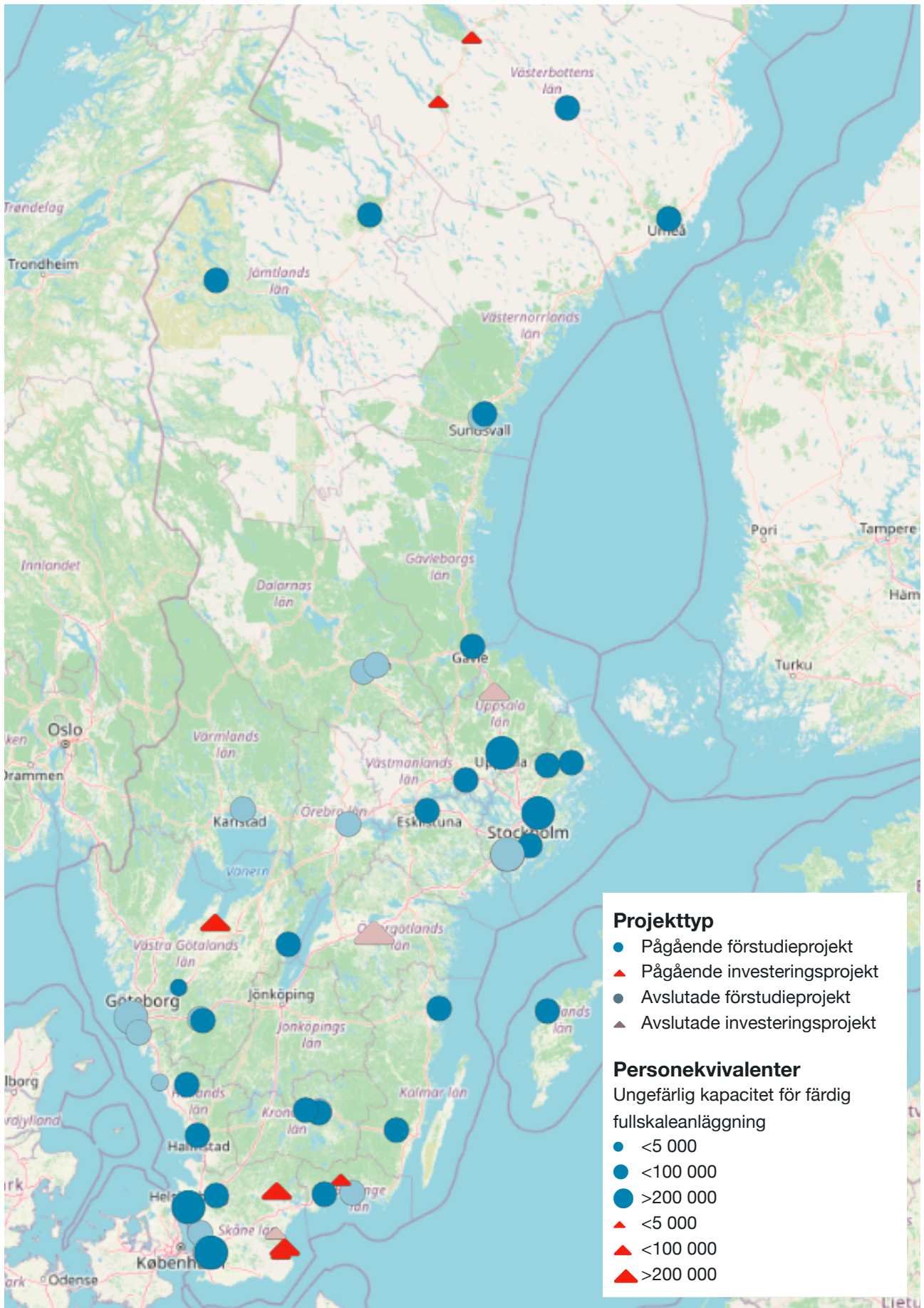
I nedanstående tabell listas de kommuner, kommunala bolag eller kommunförbund som har fått bidrag. De som har fått bidrag 2022 är kursiverade.

Namn	Projekttyp	Slutrapporterar
Alingsås kommun	Förstudieprojekt	2020
Alvesta kommun	Förstudieprojekt	2022
Borlänge	Förstudieprojekt	2018
Borås	Förstudieprojekt	2018
Borås Energi & Miljö AB	Förstudieprojekt	2022
Enköpings kommun	Förstudieprojekt	2022
Eskilstuna Energi & Miljö AB	Förstudieprojekt	2022
Falu energi och Miljö AB	Förstudieprojekt	2018
Gotland	Förstudieprojekt	2019
Gryaab	Förstudieprojekt	2019
Gävle Vatten AB	Förstudieprojekt	2022
Haninge	Förstudieprojekt	2019
Hjo kommun	Förstudieprojekt	2022
Karlshamn Energi Vatten AB	Förstudieprojekt	2022
Karlstad	Förstudieprojekt	2019
Kristianstad	Investeringsprojekt	2018
Kungsbacka	Förstudieprojekt	2023
<i>Kungsbacka</i>	<i>Förstudieprojekt</i>	<i>2019</i>
Käppalaförbundet	Förstudieprojekt	2023
<i>Käppalaförbundet</i>	<i>Förstudieprojekt</i>	<i>2022</i>
Laholmsbuktens VA AB	Förstudieprojekt	2022
Lidköping	Investeringsprojekt	2018
Luleå kommun	Förstudieprojekt	2022
Lycksele Avfall och Vatten AB	Förstudieprojekt	2022
<i>Mariestadskommun</i>	<i>Förstudieprojekt</i>	<i>2023</i>
<i>Mittskåne Vatten</i>	<i>Förstudieprojekt</i>	<i>2023</i>
Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp AB	Förstudieprojekt	2022
Norrtälje Vatten och Avfall AB	Förstudieprojekt	2022
Norrtälje Vatten och Avfall AB	Förstudieprojekt	2022
NSVA (H+)	Investeringsprojekt	2018
NSVA (Lundåkra)	Förstudieprojekt	2018
NSVA (Öresund)	Förstudieprojekt	2018
Nybro Elnät AB	Förstudieprojekt	2022
<i>Nässjö Affärsverk AB</i>	<i>Förstudieprojekt</i>	<i>2023</i>
Ronneby (Bräkne-Hoby)	Investeringsprojekt	2019
Ronneby (Rustorp)	Förstudieprojekt	2019
<i>Roslagsvatten AB</i>	<i>Förstudieprojekt</i>	<i>2023</i>
Simrishamn (Kivik)	Investeringsprojekt	2018
Simrishamn (St Olof)	Investeringsprojekt	2019
Sorsele kommun	Investeringsprojekt	2020
Storumans kommun	Investeringsprojekt	2023
Strömsunds kommun	Förstudieprojekt	2022

Namn	Projekttyp	Slutrapporterar
Sundsvall	Förstudieprojekt	2019
Sundsvall Vatten AB	Förstudieprojekt	2022
Syvab	Förstudieprojekt	2018
Syvab	Förstudieprojekt	2019
Syvab	Förstudieprojekt	2020
Tekniska Förvaltningen, Klippans Kommun	Förstudieprojekt	2022
Tierp	Investeringsprojekt	2018
<i>Uddevallå Vatten AB</i>	<i>Förstudieprojekt</i>	<i>2023</i>
<i>Ulricehamns Energi AB</i>	<i>Förstudieprojekt</i>	<i>2023</i>
Uppsala Vatten och Avfall AB	Förstudieprojekt	2020
VA SYD	<i>Förstudieprojekt</i>	<i>2023</i>
VA SYD	Förstudieprojekt	2022
VA Syd (Sjölunda)	Förstudieprojekt	2018
VA Syd (Sjölunda)	Förstudieprojekt	2020
VAKIM (Umeå)	Förstudieprojekt	2019
<i>Vatten & Avfall Malung-Sälen</i>	<i>Förstudieprojekt</i>	<i>2023</i>
Vatten & Miljö i Väst AB (VIVAB)	Förstudieprojekt	2020
Vilhelmina kommun	Investeringsprojekt	2023
Vivab	Förstudieprojekt	2018
<i>Vivab (Vatten & Miljö i Väst AB)</i>	<i>Förstudieprojekt</i>	<i>2023</i>
Västervik Miljö- & Energi AB	Förstudieprojekt	2022
Växjö	Förstudieprojekt	2018
Växjö	Förstudieprojekt	2019
Åre	Förstudieprojekt	2019
Örebro kommun	Förstudieprojekt	2020
<i>Österlen VA AB</i>	<i>Förstudieprojekt</i>	<i>2023</i>
Östra Göinge	Investeringsprojekt	2018

Bilaga 4

Beviljade statliga bidrag för läkemedelsrening 2019–2021



Svenskt Vatten

Svenskt Vatten AB

POSTADRESS BOX 14057, 167 14 Bromma

BESÖKSADRESS Gustavslundsvägen 12, 167 51 Bromma

TELEFON 08-506 002 00

E-MAIL svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se