



Nr C 565  
Februari 2021



## Förstudie läkemedelsrening Sundsvall

Recipientpåverkan, behov av avancerad rening  
och integrering i Sundsvalls framtida  
avloppsvattenhantering

På uppdrag av Sundsvall Vatten AB (SVAB)

Christian Baresel och Andriy Malovanyy, IVL

Malin Tuveesson, Jessica Schröder och Maria Roos, MittSverige Vatten & Avfall

Per Holmlund, WSP



I samarbete med:



**Författare:** Christian Baresel, Andriy Malovanyy, Malin Tuveesson, Jessica Schröder, Maria Roos, Per Holmlund

**På uppdrag av:** Sundsvall Vatten AB

**Fotograf:** Jessica Schröder

**Rapportnummer** C 565

**ISBN** 978-91-7883-243-9

**Upplaga** Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© **IVL Svenska Miljöinstitutet 2021**

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // [www.ivl.se](http://www.ivl.se)

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

# Förord

I juni 2019 beviljades Sundsvall Vatten AB 2 679 000 kr i bidrag från Naturvårdsverket (NV-03670-19) inom anslag 1:11, ap. 1 (utgiftsområde 20) för en förstudie med huvudsakligt syfte att utreda förutsättningar för en fullskaleinstallation av teknik för rening av avloppsvatten från läkemedelsrester.

Projektet genomfördes som en förstudie med huvudsakligt syfte att undersöka påverkan av läkemedelsrester i recipienterna från de tre största reningsverken i Sundsvall och därigenom utreda behovet av läkemedelsrening vid dessa tre reningsverk samt vid ett eventuellt nytt centraliserat reningsverk. Förstudien skulle även utreda förutsättningar för att bygga ut för avancerad rening vid antingen tre reningsverk eller vid ett stort och ta fram beslutsunderlag där investering vid tre verk ställs mot investering vid ett centraliserat verk i fråga om miljöpåverkan, ekonomi etc.

MittSverige Vatten & Avfall ansvarade för koordinationen av projektet som genomfördes i tätt samarbete med WSP Environmental och IVL Svenska Miljöinstitutet. Projekttiden varade från september 2019 till 31 januari 2021 efter att en ansökan om förlängning med två månader p.g.a. Corona-pandemin under 2020 godkändes.

Föreliggande rapport både sammanfattar projektet och redovisar resultaten från nulägesanalysen för reduktion av läkemedel vid dagens reningsverk samt förslag och bedömning av tekniker för avancerad rening vid reningsverken i Sundsvall. *"Delrapport 1 - Läkemedelsprovtagning och utvärdering i ytvattenrecipient"* som fokuserar på bedömning av recipientpåverkan redovisas i en separat rapport (Bilaga 9.1) och endast en sammanfattning av resultaten återges i denna rapport.

# Innehållsförteckning

Förord.....	3
Sammanfattning.....	6
Summary .....	8
<b>1 Inledning .....</b>	<b>10</b>
1.1 Bakgrund .....	10
1.2 Syfte.....	11
1.3 Avgränsningar och antaganden.....	11
1.4 Sundsvalls framtida avloppsvattenhantering.....	12
1.4.1 Scenario 1: Centraliserad avloppsvattenrening vid nytt ARV .....	12
1.4.2 Scenario 2 och 3: Centraliserad slambehandling vid Fillan ARV och Befintlig struktur .....	13
<b>2 Nulägesanalys vid reningsverk och uppströms .....</b>	<b>16</b>
2.1 Läkemedelsrester vid Tivoli ARV .....	16
2.2 Läkemedelsrester vid Fillan ARV .....	18
2.3 Läkemedelsrester vid Essvik ARV .....	20
2.4 Punktkällor och älvarnas bidrag .....	22
<b>3 Bedömning av påverkan på recipienten.....</b>	<b>24</b>
3.1 Prioriterade substanser för vidare utredning.....	24
3.2 Omfattning av påverkan från respektive ARV .....	25
3.3 Reningsgrader av läkemedel vid införande av kväverening.....	26
3.4 Tillåtlighet, icke-försämringskravet och äventyrandet av en Miljökvalitetsnorm.....	26
<b>4 Relevanta reningstekniker .....</b>	<b>30</b>
4.1 MBBR - Framtidens huvudreningsprocess .....	30
4.2 Kompletterande reningsprocesser.....	31
4.2.1 Ozonering.....	32
4.2.2 Aktivt kol (PAK och GAK).....	34
<b>5 Reningsystem för aktuella reningsverk i Sundsvall.....</b>	<b>39</b>
5.1 Kriterier för val av system .....	39
5.1.1 Reningsmål för läkemedelsrester i utgående avloppsvatten.....	39
5.1.2 Anläggningsspecifika kriterier .....	39
5.1.3 Tekniskspecifika kriterier.....	41
5.2 Lämpliga system för de olika scenarierna .....	41
5.2.1 Scenario 1: Centraliserad avloppsvattenrening vid nytt ARV .....	41
5.2.2 Scenario 2: Centraliserad slambehandling vid Fillan ARV .....	42
5.2.3 Scenario 3: Befintlig struktur .....	43
5.3 Dimensionering och kostnadsuppskattning .....	44
5.3.1 Dimensionerande flöde .....	44
5.3.2 Beräknad reningseffekt.....	45
5.3.3 Kolfilter (GAK) .....	46

5.3.4	Ozonering O <sub>3</sub> .....	51
5.3.5	Jämförande kostnader .....	56
6	Diskussion .....	58
6.1	Nulägesanalys.....	58
6.2	Recipientpåverkan.....	58
6.3	Införande av kväverening.....	59
6.4	Definition av reningsmål .....	60
6.4.1	Reduktion för att uppnå god ekologisk status eller PNEC i recipient .....	60
6.4.2	Reduktion med fast reduktionsgrad .....	61
6.4.3	Reduktion av vattnets sammanlagda skadliga miljöeffekter .....	61
6.5	Behov av avancerad rening utifrån recipient .....	62
6.6	Rekommenderade avancerade reningslösningar.....	62
6.7	Kostnader för avancerade reningslösningar.....	63
6.8	Hållbarhetsaspekter .....	65
7	Slutsatser .....	67
8	Referenser.....	68
9	Bilagor .....	72
9.1	Delrapport 1 - Läkemedelsprovtagning och utvärdering i ytvattenrecipient.....	72
9.2	Administrativ slutrapport.....	72

# Sammanfattning

Under 2019 - 2020 genomförde MittSverige Vatten & Avfall i samarbete med WSP Environmental och IVL Svenska Miljöinstitutet en förstudie med syfte att utreda behovet av läkemedelsrening vid de tre största reningsverken i Sundsvall samt vid ett nytt centraliserat reningsverk och om behovet fanns utreda förutsättningar för att bygga ut för avancerad rening vid antingen tre reningsverk eller vid ett stort. Projektet genomfördes med finansiellt stöd av Naturvårdsverket.

Inom projektet genomfördes en påverkansanalys för ytvatten vid utsläpp av läkemedelsrester från avloppsreningsverken (ARV). Omfattningen av påverkan från de tre befintliga reningsverken ställdes mot påverkan av beräknade utsläpp från ett nytt centraliserat reningsverk (Kubikenborg ARV). För detta genomfördes en kartering av läkemedel vid de tre existerande avloppsreningsverken Tivoli, Fillan och Essvik ARV samt ett antal punkter i Sundsvallsfjärden och uppströms ytvatten. Recipientpåverkan beräknades och en riskbedömning för att identifiera de läkemedel som en potentiell avancerad rening behöver ta bort genomfördes. Förutsättningar, dimensionering och kostnader för att bygga ut för avancerad rening vid antingen tre reningsverk eller vid ett nytt stort reningsverk togs fram som beslutsunderlag för framtida beslut.

Karteringen av läkemedelsrester i inkommande och utgående avloppsvatten till Tivoli, Fillan och Essvik ARV visade att reningsgraden är på samma nivå som vid andra svenska reningsverk för de flesta läkemedelssubstanser. Vissa läkemedel renas bort nästan fullständigt och andra mer persistenta substanser tas inte bort eller tas endast bort i väldigt begränsad omfattning. Som kan förväntas av reningsverk som inte har kväverening ligger några hormonhalter i utgående vatten på en högre nivå än för anläggningar med kväverening. Uppströmsprovtagningen visade på signifikant högre halter i sjukhusets avloppsvatten för några läkemedel än vid tillhörande reningsverk. Mängden läkemedel i sjukhusets avloppsvatten är dock lägre än inkommande till reningsverket. Prover indikerade också att älvar kan bidra med läkemedelssubstanser som transporteras från uppströms källor till Sundsvallsbukten.

Den fördjupade recipientutredningen visade att de flesta läkemedelsrester förekommer i så låga halter i utgående avloppsvatten från de befintliga reningsverken att de inte har någon större påverkan på recipienten även vid låga utspädningsgrader. Utifrån tidigare genomförda riskbedömningar baserat på både effektkoncentration som inte bör överskridas i recipienten (PNEC) samt bedömningsgrunder som är definierade som en del av klassningen av ekologisk status i vattenförekomster (HVMFS 2019:25) identifierades dock fyra läkemedel som en eventuell avancerad rening bör prioritera; etinylöstradiol, östron, oxazepam och diklofenak.

Utifrån den fördjupade recipientutredningen och befintliga miljökrav bedöms omfattningen av utsläpp av läkemedelssubstanser från Fillan, Essvik ARV eller ett framtida centraliserat reningsverk vid Kubikenborg inte leda till en försämring av miljöstatus i recipienterna, varför läkemedelsrening utifrån recipientpåverkan inte bedöms som nödvändig. Resultaten från påverkansanalysen visade att Tivoli ARV står för det största utsläppet av behandlat avloppsvatten i den, av de fyra undersökta, minst tåliga recipienten. Det medför att Sundsvallsfjärden är den vattenförekomst som har mest att vinna på införande av läkemedelsrening eller centralisering till ett nytt ARV. Modellberäkningar av spridning och utspädning av uppmätta utsläppshalter av hormonet etinylöstradiol visade att halter ligger över bedömningsgrunden (HVMFS 2019:25) i stora delar av Sundsvallsfjärden och att det således kan föreligga en risk för negativa biologiska effekter vid dagens utsläpp från Tivoli ARV. För reduktion av etinylöstradiol räcker kväverening långt, men de största vinsterna avseende volymmässig recipientpåverkan för substansen etinylöstradiol beräknades finnas med ett nytt, centraliserat ARV jämfört med att installera

kväve- eller kväve- och läkemedelsrening på Tivoli ARV. Oxazepam är inte upptagen i HVMFS 2019:25 men är inom projektet utvald utifrån sitt identifierade PNEC-värde. Modellering visade att vid nuvarande drift riskerar PNEC att överskridas i 8 - 14 % av vattenvolymen i Sundsvallsfjärden. Med läkemedelsrening och en reduktion av oxazepam med 80 % i utgående vatten så minskar denna volym till under 0,05 %.

Målet för implementering av en avancerad rening för reduktion av läkemedelsrester som beskrivs i rapporten har definierats av projektets styrgrupp och är baserad på en genomsnittlig minskning av de uppmätta läkemedlen i utgående avloppsvatten från de befintliga reningsverken med 80 % för 80 % av årsflödet (exkl. bräddningar). Eftersom det antas att kväverening kommer att implementeras (och därmed erhålls en reduktion av hormonerna etinylöstradiol och östron) har oxazepam och diklofenak använts som indikatorsubstanser vid den föreslagna dimensioneringen.

För Fillan, Essvik och Kubikenborg ARV rekommenderas antingen kolfilter (GAK) som avslutande reningssteg eller ozonering som näst sista reningssteg som kompletterande avancerad rening för reduktion av läkemedelsrester och svårnedbrytbara föroreningar. På grund av platsspecifika kriterier rekommenderas inte ozonering vid Tivoli ARV, utan endast en behandling med avslutande GAK-filter anses var relevant vid anläggningen om en läkemedelsrening ska implementeras.

Kostnadsuppskattningar för de olika alternativen visar tydligt att en implementering av läkemedelsrening kan åstadkommas till väsentligt lägre investering om den görs vid ett nytt centraliserat reningsverk. Vid installation av läkemedelsrening vid samtliga avloppsreningsverk blir det mest kostnadseffektiva att installera läkemedelsrening med ozon vid Fillan och Essvik ARV och GAK-filter vid Tivoli ARV (vid befintlig struktur) alternativt ozonering vid Kubikenborg ARV (vid centralisering av avloppsvattenreningen). Investeringskostnaden uppskattas till ca 70 Mkr för installation av ozonering vid Fillan och Essvik ARV samt GAK-filter vid Tivoli ARV och till >25 Mkr för ozonering vid Kubikenborg ARV. Här utgör framförallt kolfiltret vid Tivoli ARV en signifikant kostnadspost (>40 Mkr). Även driftkostnaderna per år beräknas vara högre för de tre befintliga verken (>5,5 Mkr/år) än för Kubikenborg ARV (>2,8 Mkr/år) på grund av kolfiltret vid Tivoli ARV (ca 3,9 Mkr/år). Den stora besparingen vid implementering av ozonering vid Kubikenborg ARV kommer således både från en lägre investeringskostnad men också från en lägre driftkostnad.

De specifika kostnaderna för en avancerad rening som inkluderar både investerings- och driftkostnader vid de tre befintliga reningsverken respektive ett centraliserat verk beräknas till 0,8 kr/m<sup>3</sup> respektive 0,4 kr/m<sup>3</sup>. Jämfört med kostnader för huvudreningen (konventionell rening) så utgör investeringen för en avancerad rening <2 % av totalinvesteringen för Kubikenborg ARV och 9 - 13 % av nyinvesteringen vid de tre befintliga reningsverken, samtidigt som driftkostnaden beräknas öka med 9 - 27 % vid de olika anläggningarna.

## Summary

During 2019 - 2020, MittSverige Vatten & Avfall conducted, in collaboration with WSP Environmental and IVL Swedish Environmental Research Institute, a feasibility study with the aim of investigating the need for advanced treatment for the removal of pharmaceutical residues at the three largest municipal wastewater treatment plants (WWTPs) in Sundsvall alternatively at a new centralized treatment plant (Kubikenborg WWTP). Furthermore, the project aimed to investigate conditions for advanced treatment either at the three existing WWTPs or at a new centralized WWTP. The project was carried out with financial support from the Swedish Environmental Protection Agency.

Within the project, an impact analysis of discharges of pharmaceuticals from the WWTPs to the receiving surface waters was conducted. The extent of the impact from the three existing treatment plants was compared to the impact of estimated emissions from a new centralized treatment plant. For this, a mapping of pharmaceuticals was carried out at the three existing facilities Tivoli, Fillan and Essvik WWTP as well as several sample locations in the Sundsvall bay area (Sundsvallsfjärden) and upstream surface waters. Recipient impacts were calculated and an assessment to identify the pharmaceuticals that a potential advanced treatment needs to remove was performed. Conditions, dimensioning and costs for expanding the treatment process with advanced treatment for removal of pharmaceuticals at either three treatment plants or at a new central treatment plant were assessed as a basis for future decisions.

The mapping of pharmaceutical residues in incoming and outgoing wastewater to Tivoli, Fillan and Essvik WWTPs showed that removal efficiencies are at the same level as at other Swedish WWTPs for most substances. Some pharmaceuticals are removed almost completely, and other more persistent substances are not removed or are only removed to a very limited extent. As can be expected from treatment plants that do not have nitrogen removal, some hormone concentrations in effluent waters are at higher levels than for WWTPs with nitrogen removal. The upstream sampling showed significantly higher levels in the hospital's wastewater for some pharmaceuticals compared to concentrations in the inflow to the associated WWTP. However, the mass flow of pharmaceuticals originating from the hospital's wastewater is lower than total mass flows to the treatment plant. Samples also indicated that rivers can contribute with significant amounts of pharmaceuticals transported from upstream sources to within the Sundsvall bay area.

The more in-depth recipient investigation showed that most pharmaceuticals are present in such low levels in WWTP-effluents that they have no major impact on the recipient even at low dilution rates. However, assessments which are based on both the predicted no effect concentration (PNEC) and the environmental quality standard (EQS) that is a part of the classification of ecological status in water bodies (HVMFS 2019:25), revealed four pharmaceuticals; ethinyl estradiol, estrone, oxazepam and diclofenac as substances for evaluation of advanced treatment.

Based on the in depth recipient investigation and existing environmental requirements, the extent of discharges of pharmaceuticals from Fillan, Essvik WWTP or a new centralized treatment plant at Kubikenborg is not considered to negatively affect the environmental status of the recipients, why advanced treatment at these plants is not considered necessary. Results from the impact analysis showed that, of the four water bodies, Tivoli WWTP accounts for the largest discharge of treated wastewater in the least resistant recipient. This means that Sundsvall bay is the water body that has the most to gain from an implementation of pharmaceutical treatment or centralization of wastewater treatment to a new WWTP. Model calculations of the dispersal and dilution of the hormone ethinyl estradiol from WWTP-effluent showed concentrations in Sundsvall bay above the



EQS, thus exposing a risk for negative biological effects from current emissions from Tivoli WWTP. For a reduction of the impact of ethinyl estradiol, the implementation of nitrogen removal at the WWTP would be sufficient. The largest gains in terms of impacted volume of bay water were, however, calculated for a new, centralized WWTP with nitrogen removal compared with implementing nitrogen removal or nitrogen and pharmaceutical removal at Tivoli WWTP. For the substance oxazepam, modelling showed that the PNEC value risked being exceeded in a water volume of 8 - 14 % of the Sundsvall bay. The implementation of pharmaceutical removal at Tivoli WWTP reduced this affected water volume to 0.05 %.

The treatment goal for the implementation of an advanced treatment for the removal of pharmaceutical residues described in the report has been defined by the project committee and is based on an average reduction of the measured pharmaceuticals in WWTP-effluents by 80 % for 80 % of the annual flow (excl. overflows). With the assumption of implementation of nitrogen removal, oxazepam and diclofenac were used as indicator substances in the proposed dimensioning.

For Fillan, Essvik and Kubikensborg WWTP, using either carbon filters (GAC) or ozonation as advanced treatment is recommended for the removal of pharmaceutical residues and other persistent organic contaminants. Due to site-specific criteria, ozonation is not an alternative at Tivoli WWTP, which implies that only a treatment with a final GAC-filter is considered relevant at the facility in the case of treatment implementation.

Cost calculations for the various alternatives clearly show that an implementation of advanced treatment can be achieved at a significantly lower investment if it is done at a new centralized treatment plant. In case of installation of advanced treatment at all WWTP, the most cost-effective alternative would be to implement pharmaceutical removal by ozonation at Fillan and Essvik WWTP and GAC-filters at Tivoli WWTP (with the consideration of existing infrastructure) or ozonation at Kubikensborg WWTP (new infrastructure for centralization of wastewater treatment). The investment costs are estimated at approx. 70 MSEK for installation of ozonation at Fillan and Essvik WWTP and GAC-filters at Tivoli WWTP and >25 MSEK for ozonation at Kubikensborg WWTP. Here, the GAC-filter at Tivoli WWTP in particular is a significant cost (>40 MSEK). Annual operating costs are estimated to be higher for the three existing plants (>5.5 MSEK/year) due to the carbon filter at Tivoli WWTP than the costs for Kubikensborg WWTP (>2.8 MSEK/year). The large savings in the implementation of ozonation at Kubikensborg WWTP thus come from a lower investment but also due to a lower operating cost.

The specific costs for an advanced treatment that include both investment and operating costs at the three existing treatment plants and a centralized plant, respectively, are calculated to 0.8 SEK/m<sup>3</sup> and 0.4 SEK/m<sup>3</sup>. Compared with costs for conventional treatment, the investment costs for an advanced treatment constitutes <2 % of the total investment for Kubikensborg WWTP and 9-13 % of the new investments at the three existing treatment plants. The operating costs is estimated to increase by 9 - 27 %.

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

MittSverige Vatten & Avfall AB (MSVA) verkar i de tre kommunerna Sundsvall, Timrå och Nordanstig och ägs av respektive kommunala VA-bolag: Sundsvall vatten AB (SVAB), Timrå Vatten AB (TVAB) och Nordanstig Vatten AB (NVAB).

Avloppsvattnet från Sundsvall (inkl. Alnön och Njurunda) renas i dag vid tre avloppsreningsverk (ARV): Tivoli, Fillan och Essvik ARV. Tillsammans behandlar de avloppsvatten från strax under 80 000 personer plus viss industribelastning, men i framtiden beräknas belastningen öka till strax under 100 000 personer. Reningen vid dagens tre reningsverk sker genom mekanisk rening i silar eller galler, följt av förfällning med järn eller aluminium och slutligen ett aktivslamsteg för biologisk rening. Den biologiska processen är dimensionerad för endast reduktion av organiskt material (ingen nitrifikation eller kvävereduktion). Ingen efterpolering sker efter biosedimenteringen, utan det renade vattnet släpps därefter ut i respektive recipient. Fillan ARV tar emot spillvatten från Sundsvalls sjukhus.

Stadsutvecklingen i Sundsvall med nya bostadsområden, nya exploaterings- och omvandlingsområden och behov av verksamhetsområden i stadsnära lägen har belyst ett utredningsbehov för att hitta den bästa lokaliseringen och struktur av Sundsvalls framtida avloppsrening.

Under 2018 startade fördjupade utredningar kring utformningen av Sundsvalls framtida avloppsvattenhantering utifrån treolika scenarier:

- 1) Centraliserad avloppsvattenrening, dvs Tivoli, Fillan och Essvik ARV ersätts av ett nytt avloppsreningsverk på en ny plats. Även slam från yttre mindre reningsverk behandlas på det nya verket. Det nya reningsverket byggs för att kunna möta framtida reningskrav och dimensioneras för ca 100 000 personekvivalenter (pe).
- 2) Centraliserad slambehandling vid Fillan ARV, dvs avloppsvattenreningen sker vid Tivoli, Fillan respektive Essvik ARV, men behandlingen av slammet (rötning, slamavvattning, etc) sker centraliserat vid Fillan ARV. Investeringar för att möta framtida reningskrav på vattenreningen behöver göras vid tre reningsverk, men investeringar för slamhanteringen sker endast vid en anläggning. Även i detta alternativ tillkommer slam från yttre verk.
- 3) Befintlig struktur, dvs avloppsvattenrening inklusive slambehandling sker fortsatt vid Tivoli, Fillan och Essvik ARV som idag och investeringar för att möta framtida reningskrav behöver göras vid de tre reningsverken.

De fördjupade utredningarna för de tre scenarierna färdigställs i början på 2021 och resultaten från dem ska behandlas i en finansieringsutredning (klar 2021) vilken ska ta fram beslutsunderlag för framtida investeringsbeslut. Ramboll och Sweco genomför de fördjupade utredningarna och Ramboll ansvarar för utredningarna kring de framtida reningsprocesserna. Utredningarna syftar till att få tillräckligt underlag för att jämföra de tre scenarierna, varför justeringar i valda reningstekniker etc. kan komma att göras vid framtida projekteringar.

I de fördjupade utredningarna gjordes en avgränsning att teknik för läkemedelsrening inte skulle ingå i utredningarna, utan endast utrymme för framtida rening skulle säkras. Sundsvall Vatten ansökte därför om bidrag från Naturvårdsverket för att kunna utreda behovet av läkemedelsrening

i de tre scenarierna och inkludera kostnader för avancerad rening i beslutsunderlaget för ett framtida investeringsbeslut.

## 1.2 Syfte

Syftet med projektet är att utreda behovet av läkemedelsrening vid de tre största reningsverken i Sundsvall samt vid ett eventuellt nytt centraliserat reningsverk och om behovet finns utreda förutsättningar för att bygga ut för avancerad rening vid antingen tre reningsverk eller vid ett stort.

Målet är att ta fram beslutsunderlag där investering vid tre verk ställs mot investering vid ett centraliserat verk i fråga om miljöpåverkan, ekonomi etc.

Projektet delades i upp i två delprojekt, Delprojekt 1 – Läkemedelsprovtagning och utvärdering i ytvattenrecipient och Delprojekt 2 – Nulägesanalys och utvärdering av reningsteknik. Syftet med Delprojekt 2 är att utifrån resultatet i Delprojekt 1 genomföra en nulägesanalys avseende reningen i befintliga avloppsreningsverk samt utreda vilka tekniker för reduktion av läkemedel som skulle kunna vara aktuella vid de tre befintliga reningsverken. Även behoven av och tekniker för avancerad rening vid ett eventuellt framtida nytt reningsverk utreds. Delprojekt 2 ska resultera i förslag på utformning av kompletterande steg för läkemedelsrening samt översiktlig beräkning av investeringskostnad och driftkostnad för de tre scenarierna för att fungera som en del i beslutsunderlaget i de fördjupade utredningarna. Miljönytta av den mer avancerade avloppsvattenreningen ska diskuteras.

## 1.3 Avgränsningar och antaganden

Platsspecifika förutsättningar som underlag för processutformning och dimensionering lades till grund för respektive reningsverk. För det framtida reningsverket erhöles underlag från Ramboll som genomförde de fördjupade utredningarna som pågick parallellt kring utformningen av Sundsvalls framtida avloppsvattenhantering.

Tekniker för läkemedelsrening som diskuteras i rapporten baseras till stor del på det preliminära underlaget om framtida reningsprocesser som har varit tillgängligt i förstudien. Det diskuteras även aspekter för olika reningstekniker som kan påverka val av reningsteknik vid reningsverken om en mer resurseffektiv rening på en övergripande nivå skulle kunna uppnås eller andra relevanta aspekter motiverar detta.

De kalkyler för investerings- och driftkostnader som tagits fram för olika alternativ bör endast användas som indikativa kalkyler. Även den presenterade utvärderingen av miljönyttan för att göra en investering vid tre mindre kontra ett stort reningsverk bör endast anses som preliminär baserat på tillgänglig information om platsspecifika förutsättningar.

MittSverige Vatten & Avfall har sedan tidigt 2000-tal löst avsättningen av avloppsslam genom tillverkning av anläggningsjord. 2018 togs en slamstrategi fram som formulerar en målbild som innebär att arbeta för flera avsättningsalternativ och att höja ambitionsnivån vad gäller utnyttjande av slammets resurser som energiinnehåll, växtnäring och mullbildande material. Detta innebär att den teknik för rening av läkemedelsrester som väljs inte ska påverka slamkvaliteten negativt.

## 1.4 Sundsvalls framtida avloppsvattenhantering

Här presenteras grundläggande förutsättningar och dimensioneringen som erhållits från de fördjupade utredningarna av Sundsvalls framtida avloppsvattenrening som pågått parallellt med denna utredning.

### 1.4.1 Scenario 1: Centraliserad avloppsvattenrening vid nytt ARV

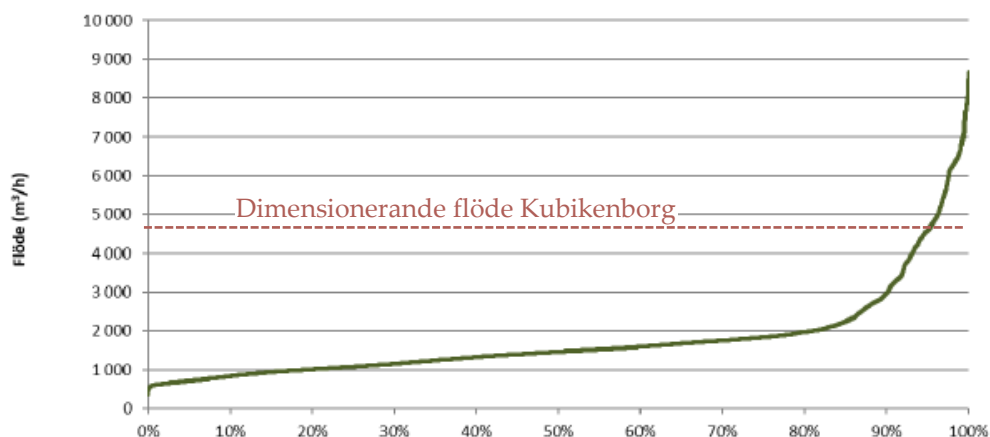
Inom de fördjupade utredningarna för Sundsvalls framtida avloppsvattenrening har en lokaliseringsutredning genomförts och en placering vid Kubikensborg, ca 3 km sydöst om centrala Sundsvall, har valts som bästa placering för det nya centrala reningsverket. Det nya reningsverket har som arbetsnamn fått Kubikensborg ARV.

Till Kubikensborg ARV kommer ett flöde motsvarande det som idag renas fullständigt, dvs 2Q<sub>dim</sub>, att överledas från respektive verk: Tivoli, Fillan och Essvik ARV. Vid respektive huvudpumpstation kommer överstigande flöde att bräddas. Detta då det är orimligt att bygga överföringsledning som kan hantera hela flödet från de befintliga ledningsnäten på grund av stora tillskottsvattenflöden. Vissa områden (Skönsmon, Bredsand) kommer att ledas direkt till Kubikensborg ARV via nya lokala ledningar.

Tabell 1-1. Dimensionerande flöde för Kubikensborg ARV

Parameter	Enhet	Värde
Maxflöde	m <sup>3</sup> /h	4 560
Medelflöde	m <sup>3</sup> /h	1 739
	m <sup>3</sup> /d	41 728
Specifikt avloppsflöde	l/p, d	459
Anslutna fysiska personer	antal	91 000

Varaktighetsdiagram för Kubikensborg ARV för år 2018 har beräknats genom summering av respektive flöde vid Tivoli, Essvik och Fillan ARV (Figur 1-1). Det totala avloppsvattenflödet till Kubikensborg ARV antas inte öka mellan åren 2018 och 2050 trots ytterligare anslutningar. Detta till följd av åtgärder på ledningsnätet vilket antas minska andelen ovidkommande vatten i motsvarande grad. Detta innebär att flödesvariation borde minska. Det finns dock inget prognosticerat varaktighetsdiagram för framtida flödesvariation så i denna utredning har varaktighetsdiagram för år 2018 använts.



Figur 1-1. Varaktighetsdiagram för inkommande flöde till Kubikensborg ARV år 2018 (summerat timflöde från Tivoli ARV, Essvik ARV och Fillan ARV inkl. bräddflöde).

Framtida anslutning till Kubikenborg ARVs verksamhetsområde uppskattas till 91 000 personer år 2050 plus viss industribelastning. För Kubikenborg ARV förutsätts i processutredningen följande utsläppsvillkor gälla, som årsmedelvärde:

- BOD<sub>7</sub>: 8 mg/l
- Tot-P: 0,2 mg/l
- Tot-N: 10 mg/l

I de fördjupade utredningarna består föreslagen processutformning av försedimentering med förfällning, biologisk rening med för- och efterdenitrifikation i MBBR-process, avskiljning av bioslam genom flotation och efterfällning över sandfilter. Denna processutformning ska kompletteras med bäst passande steg för läkemedelsrening som tas fram inom denna delutredning.

Det biologiska reningssteget är dimensionerat för att kunna klara de förväntade utsläppskraven på årsbasis vid den vattentemperaturvariation som råder idag (lägsta månadsmedel 5,1 °C; högsta månadsmedel 12,5 °C, årsmedeltemperatur 8,7 °C). Vattentemperaturen är dock väldigt låg och viss osäkerhet finns kring vilken reningsgrad av kväve som kan uppnås under de perioder när vattnet är som kallast. Kvävereningen är dimensionerad för 7 °C och kommer att vara mer långtgående under sommar och höst än under vinter och vår när inkommande vatten är som kallast. För läkemedelsutredningen är det inte bara utgående halter från reningsverket som är viktiga. Beroende på teknik för läkemedelsrening kan kompletterande steg behöva integreras mellan steg för konventionell avloppsvattenrening. Utifrån befintlig processdesign har Ramboll uppskattat halter av föroreningar efter biosteget och i utgående vatten (utan läkemedelsrening) för den kalla och den varma delen av året (Tabell 1-2). Detta ligger till grund för föreliggande läkemedelsutredning.

**Tabell 1-2. Förväntade halter av föroreningar efter biosteget och i utgående vatten.**

	Efter flotation				Utgående vatten						
	Susp	BOD	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	Susp	BOD	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Tot-N	Tot-P
juni-nov	15	8	1	0,2	2-10	5	1	0,2	6	8	0,05
dec-maj	(max 30)		2	0,2			2	0,2	8	11	0,15

## 1.4.2 Scenario 2 och 3: Centraliserad slambehandling vid Fillan ARV och Befintlig struktur

I scenario 2 sker avloppsvattenreningen vid Tivoli, Fillan respektive Essvik ARV, men behandlingen av slammet (rötning, slamavvattning, etc) sker centraliserat vid Fillan ARV. Detta innebär att slam från Essvik ARV samt yttre anläggningar avvattnas på respektive reningsverk och transporteras med lastbil till Fillan ARV, medans slam från Tivoli ARV pumpas via en överföringsledning utan avvattning (uppskattat TS-halt på 0,5 %). Allt slam rötas sedan på Fillan ARV och avvattnas, rejektvattnet leds via rejektvattenrening till inkommande på Fillan ARV.

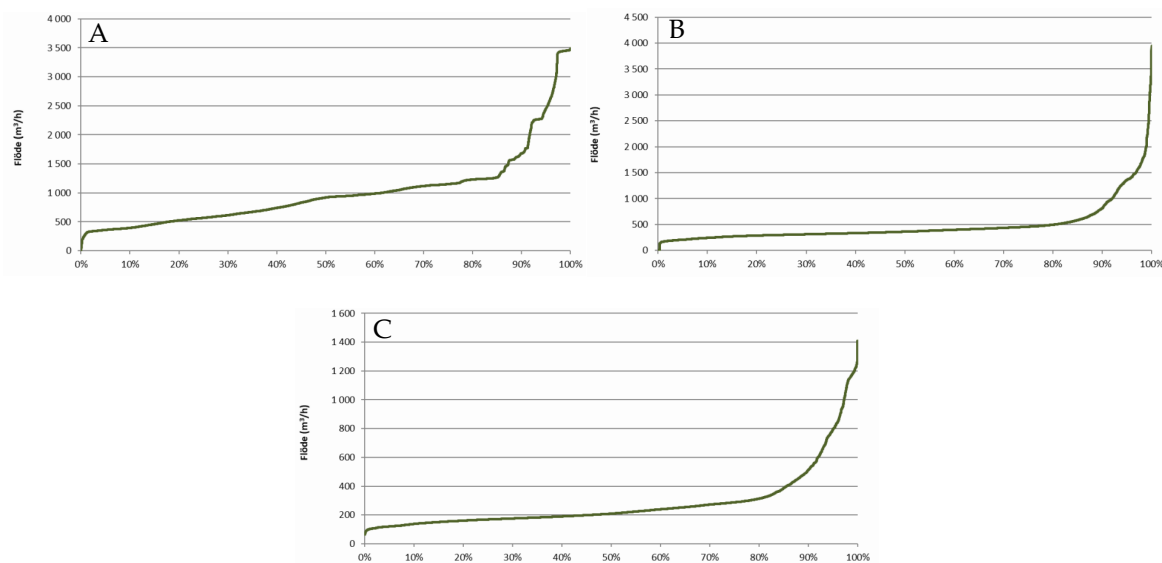
I scenario 3 sker avloppsvattenreningen inklusive slambehandlingen vid respektive avloppsreningsverk. Detta gör att scenario 2, utifrån läkemedelsreningsperspektivet, är väldigt likt scenario 3 och föreslagen processlösning redovisas därför här för både scenario 2 och 3.

Dimensionerande flöden för Tivoli, Fillan och Essvik ARV redovisas i Tabell 1-3.

Tabell 1-3. Dimensionerande flöden för Tivoli, Fillan och Essvik ARV.

Parameter	Enhet	Tivoli ARV	Fillan ARV	Essvik ARV
Maxflöde	m <sup>3</sup> /h	3 491	3 946	1 408
Medelflöde	m <sup>3</sup> /h	994	468	277
	m <sup>3</sup> /d	23 854	11 233	6 641
Specifikt avloppsflöde	l/p, d	415	591	458
Anslutna fysiska personer	antal	57 500	19 000	14 500

Det totala avloppsvattenflödet in till Essvik, Tivoli och Fillan ARV antas inte öka mellan åren 2018 och 2050 trots ytterligare anslutningar. Detta till följd av åtgärder på ledningsnätet vilket antas minska andelen ovidkommande vatten i motsvarande grad. Detta innebär att flödesvariationer borde minska. Det finns dock inga prognostiserat varaktighetsdiagram för framtida flödesvariationer och i denna utredning utgår vi därför från varaktighetsdiagram för år 2018 (Figur 1-2).



Figur 1-2. Utgående timflöden inklusive bräddflöde från för år 2018: A – Tivoli ARV; B – Fillan ARV; C – Essvik ARV.

I de fördjupade utredningarna antas samma utsläppsvillkor för de befintliga anläggningarna i scenario 2 och 3 som för Kubikenborg ARV i scenario 1 (se kapitel 1.4.1), för att underlätta jämförelse mellan kostnad och miljönytta mellan de tre scenarierna. Dessa reningsmål innebär att biostegen på de befintliga reningsverken behöver byggas om för kväverening och processen måste kompletteras med polerande steg för fosforavskiljning.

Föreslagen reningsprocess för de tre reningsverken är liknande den som är föreslagen för Kubikenborg ARV i scenario 1, men med några skillnader. I samtliga fall är det försedimentering följt av biologisk rening med för- och efterdenitrifikation i MBBR-process. Avskiljning av bioslam sker i scenario 2 med flotation vid Essvik ARV, lamelledimentering vid Tivoli ARV samt biosedimentering vid Fillan ARV. I scenario 3 sker avskiljningen med flotation vid Essvik och Tivoli ARV och biosedimentering vid Fillan ARV. Anledningen till det är att befintliga sedimenteringsbassänger på Fillan ARV är tillräckligt stora för att fungera som sedimenteringsbassänger även för den framtida belastningen. Sedimentationsbassängerna på Tivoli och Essvik ARV är inte tillräckligt stora för att garantera bra slamavskiljning men dessa kan byggas om till flotationsbassänger som är mindre plats- och volymkrävande. I scenario 2 är



## Rapport C 565 – Förstudie läkemedelsrening Sundsvall – Recipientpåverkan, behov av avancerad rening och integrering i Sundsvalls framtida avloppsvattenhantering

lamelledimentering den föreslagna lösningen för avskiljning av bioslam på Tivoli ARV för att få ett slam som bättre lämpar sig för pumpning. På Fillan och Tivoli ARV föreslås att skivfilter används som polerande reningssteg medans vid Essvik ARV kommer sandfilter att användas.

Vattentemperaturen på Essvik och Fillan ARV är 2-3 °C lägre än på Tivoli ARV, vilket togs hänsyn till vid dimensionering av biosteget. Förväntade halter efter det biologiska steget samt utsläppshalter i renat vatten förväntas vara samma som på Kubikenborg ARV (se Tabell 1-2).

## 2 Nulägesanalys vid reningsverk och uppströms

Nulägesanalysen för inkommande och utgående halter samt bedömning av reningen med avseende för läkemedelsrester vid de tre befintliga reningsverk Tivoli, Fillan och Essvik ARV baseras på tre genomförda provtillfällen under 2019 och 2020. Belastningar och processförhållanden vid reningsverken bedömdes som normala och representativa under provtagningsveckorna och analysresultaten kan således ge en bra indikation om reningseffektiviteten även för läkemedelsrester. Provtagningsresultat visar att halter och mängder av olika läkemedel varierar mellan provtagningsomgångarna. Normaliserade årsmedel bör därför tolkas med ett visst mått av försiktighet då de enbart speglar förutsättningarna under de aktuella provtagningsveckorna. Detta bör också beaktas för presenterade halter och mängder av läkemedel i älvarna som endast baseras på stickprov taget vid ett tillfälle. För samtliga analysresultat, se Delrapport 1 - Läkemedelsprovtagning och utvärdering i ytvattenrecipient (Bilaga 9.1).

### 2.1 Läkemedelsrester vid Tivoli ARV

Tabell 2-1 visar halter för läkemedlen och östrogen effekt (YES - Yeast Estrogen Screen som anges som östradiol-ekvivalenter) på Tivoli ARV under tre respektive två provtagningsstillfällen samt reningseffektiviteten. Som resultaten visar minskar reningprocessen den östrogena påverkan något (YES) som observeras i inkommande vatten. För de analyserade hormonerna ses dock generellt en varierande reduktion med en delvis kraftig negativ reduktion (som innebär en ökning av halten mellan inkommande och utgående avloppsvatten). Den negativa reduktionen över reningen kan förklaras bl.a. med att analysmetoden bara kan analysera modersubstansen medan olika metaboliter inte kan mätas. I kroppen ombildas flera substanser till metaboliter som i reningprocessen tillbakabildas och därför upptäcks i utgående men inte inkommande avloppsvatten.

För de antibiotika som kan detekteras i inkommande avloppsvatten är reduktionen i reningprocessen generellt låg förutom för ciprofloxacin, doxycycline och tetracycline där reduktionen är något större vid enstaka provtillfällen. Övriga läkemedelssubstanser uppvisar reduktionsgrader i samma varierande uträkning som vid andra svenska ARV med t.ex. ibuprofen som nästan renas bort fullständigt. Andra mer persistenta substanser som diklofenak eller oxazepam tas bort endast i väldigt begränsad omfattning eller uppvisar en negativ reduktion.



**Tabell 2-1. Halter för analyserade läkemedelsrester i inkommande och utgående avloppsvatten vid Tivoli ARV under de tre provtillfällena.**

Substans	Tivoli ARV IN			Tivoli ARV UT			Renings- effektivitet %
	Aug 2019 ng/l	Nov 2019 ng/l	Mar 2020 ng/l	Aug 2019 ng/l	Nov 2019 ng/l	Mar 2020 ng/l	
<i>Hormoner och hormonstörande effekter</i>							
YES	-	12	19	-	7,2	6,3	40 - 67
Östron (E1)	2	18	19	4,6	7,6	6,0	-130 - 68
Östradiol (E2)	2	1	7	3	1	1	-
Etinylöstradiol (EE2)	2	1	2	5,6	6,4	1	-540 - 0
<i>Antibiotika</i>							
Amoxicillin	---	21	---	---	21	---	-
Ampicillin	17	8,5	6,9	17	8,5	6,9	-
Benzylpenicillin	20	---	2,1	20	---	2,1	-
Ciprofloxacin	10	1,5	13,5	1	1,5	8	>90
Clarithromycin	73	74	56	67	68	53	5 - 8
Clindamycin	1	1	13,5	1,5	1	13,5	-
Doxycycline	6	48	355	6	12	355	>75
Erythromycin	43	56	41,5	43	39	41,5	0 - 30
Fusidic acid	8	9	12	8	9	12	-
Linezolid	19	6	20	19	6	20	0
Metronidazole	57	130	49	31	94	53	-8 - 46
Moxifloxacin	5	3	16	5	3	16	-
Norfloxacin	10	6	27	10	6	27	-
Rifampicin	63	---	38,5	73	---	38,5	-16
Sulfamethoxazole	150	130	110	99	77	63	34 - 43
Tetracycline	3500	500	20	230	390	20	22 - 93
Trimetoprim	4	1,5	68	4	1	76	-12 - 33
<i>Övriga läkemedel</i>							
Amlodipine	41	130	---	41	220	---	-69
Atenolol	830	720	700	780	800	560	-11 - 20
Bisoprolol	190	200	240	210	220	240	-11 - 0
Carbamazepine	360	290	270	340	290	250	0 - 7
Citalopram	140	230	240	190	270	210	-36 - 13
Diclofenac	810	630	670	710	610	550	3 - 18
Fluoxetine	12	9	2	31	38	2	-300 - 0
Furosemide	2200	2300	1200	2500	1900	1500	-25 - 17
Hydrochlorothiazide	1000	890	1000	900	940	890	-6 - 11
Ibuprofen	7400	6500	7400	15	920	79	86 - 100
Ketoprofen	270	150	220	250	220	290	-47 - 7
Metoprolol	1300	1300	1400	1200	1300	1100	0 - 21
Naproxen	8800	7600	7100	1000	4900	4700	34 - 89
Oxazepam	2100	1700	1900	2000	2100	2000	-24 - 5
Paracetamol	30,5	29	3	30,5	29	3	-
Propranolol	32	91	95	68	110	100	-113 - 5
Ramipril	9	10	4,5	12	10	3	-33 - 33
Ranitidine	41	18	17	77	18	21	-88 - 0
Risperidone	5,5	2	1	3	2	1	-
Sertraline	60	210	110	46	170	100	9 - 23
Simvastatin	1000	---	---	120	---	---	>88
Terbutaline	3,5	4	15	3,5	6	15	-
Warfarin	23	17	8,3	15	11	6,4	23 - 35

XX - under detektionsgräns LOD (Level of Detection)

XX - under kvantifieringsgräns LOQ (Level of Quantification) men över LOD, värdet därför satt till LOQ/2

"---" Ämnet kan inte utvärderas pga. dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt.

Från Tabell 2-1 kan det konstateras att halterna in till reningsverket ligger på ungefär samma nivå vid de tre provtagningstillfällena trots att dessa genomfördes vid olika årstider. Tabellen visar också att reningseffekten vid Tivoli ARV med avseende för läkemedelsrester är generellt väldigt begränsat. Mellan 100 - 140 kg av de analyserade läkemedelssubstanserna tillförs Sundsvallsfjärden årligen baserat på data i tabellen och medelflödet för Tivoli ARV (Tabell 1-3). Av dessa utgör t.ex. diklofenak <6 kg/ år (motsvarande 60 000 DDD - Definierad Daglig Dygnsdos) och oxazepam <18 kg/år (motsvarande 360 000 DDD - Definierad Daglig Dygnsdos).

## 2.2 Läkemedelsrester vid Fillan ARV

Tabell 2-2 visar halter för läkemedlen och YES på Fillan ARV under tre respektive två provtagningstillfällen samt reningseffektiviteten. Anmärkningsvärt är att halter för östron ligger på avsevärt högre halter i utgående vatten jämfört med inkommande obehandlat avloppsvatten och den östrogena påverkan (YES) ökar kraftigt. Även för etinylöstradiol kan en liknande tendens anas vid provtagningen i november 2019. Även om en halt på 105 ng/l (östradiol-ekvivalenter) för YES generellt är möjligt så bedöms en så kraftig ökning (7,3 ng/l i inkommande till 105 ng/l i utgående) som orealistiskt. Proverna har körts om två gånger för att säkerställa resultaten och en provförväxling kan uteslutas. Det sistnämnda bekräftas också från analysresultaten för läkemedlen som baseras på samma prov. Den observerade ökningen av hormonhalter och den östrogena effekten kan därför inte förklaras. I juni 2020 togs ytterligare ett prov över Fillan ARV för att mäta endast YES och hormonhalter och resultaten visade på mycket lägre halter i utgående avloppsvatten (9 ng/l för YES och hormonhalter under detektionsgränser).

För de antibiotika som kan detekteras i inkommande avloppsvatten är reduktionen i reningsprocessen generellt låg förutom för ciprofloxacin, där reduktionen är >88 %. Övriga läkemedelssubstanser uppvisar reduktionsgrader i samma område som vid andra svenska ARV med t.ex. ibuprofen som nästan redans bort fullständig. Andra mer persistenta substanser som diklofenak eller oxazepam tas endast bort i väldigt begränsad omfattning eller uppvisar en negativ reduktion.

**Tabell 2-2. Halter för analyserade läkemedelsrester i inkommande och utgående avloppsvatten vid Fillan ARV under de tre provtillfällena.**

Substans	Fillan ARV IN			Fillan ARV UT			Renings- effektivitet %
	Aug 2019 ng/l	Nov 2019 ng/l	Mar 2020 ng/l	Aug 2019 ng/l	Nov 2019 ng/l	Mar 2020 ng/l	
<i>Hormoner och hormonstörande effekter</i>							
YES	-	8,1	7,3	-	23	105	< -180
Östron (E1)	-	17	16	1	38	129	< -120
Östradiol (E2)	1	1	6	1	1	1	-
Etinylöstradiol (EE2)	1	1	2	1	45	1	-
<i>Antibiotika</i>							
Amoxicillin	---	21	---	---	21	---	-
Ampicillin	17	8,5	6,9	17	8,5	6,9	-
Benzylpenicillin	20	---	2,1	20	---	2,1	-
Ciprofloxacin	1	12	13,5	1	1,5	8	>88
Clarithromycin	1	120	60	1	170	69	-15 - -42
Clindamycin	1	1	4	1	1,5	36	-
Doxycycline	6	18	355	6	12	210	-
Erythromycin	1	270	25	1	99	41,5	63
Fusidic acid	8	9	12	13,5	9	12	-
Linezolid	1	6	20	1,5	6	20	-
Metronidazole	1,5	110	53	1,5	72	54	-2 - 35
Moxifloxacin	5	3	16	5	3	16	-
Norfloxacin	10	6	27	10	6	27	-
Rifampicin	10	---	38,5	10	---	38,5	-
Sulfamethoxazole	4	330	180	4	120	110	39 - 64
Tetracycline	19	210	20	19	290	20	-38
Trimetoprim	1	1,5	25,5	1	1,5	60	-
<i>Övriga läkemedel</i>							
Amlodipine	150	240	---	140	160	---	7 - 33
Atenolol	1100	850	570	950	780	670	-18 - 14
Bisoprolol	280	190	170	310	200	210	-24 - -5
Carbamazepine	380	170	120	380	210	160	-33 - 0
Citalopram	110	200	150	250	270	130	-127 - 13
Diclofenac	1100	550	450	1000	530	500	-11 - 9
Fluoxetine	10	9	2	34	57	17	<-240
Furosemide	3400	2200	1300	2600	1500	1200	8 - 32
Hydrochlorothiazide	1400	810	720	1400	880	800	-11 - 0
Ibuprofen	14000	6500	5000	130	35	3600	28 - 99
Ketoprofen	330	240	190	310	180	250	-32 - 25
Metoprolol	2100	1400	1100	1800	1200	1000	9 - 14
Naproxen	12000	8900	5800	640	720	3700	36 - 95
Oxazepam	3000	1400	1200	3500	2000	1500	-43 - -17
Paracetamol	30,5	29	6,8	30,5	29	3	-
Propranolol	33	70	68	120	150	72	-264 - -6
Ramipril	29	10	3	10	10	3	66
Ranitidine	57	48	19	99	18	36	-89 - >63
Risperidone	5,5	2	1	3	2	1	-
Sertraline	69	84	90	74	170	62	-102 - 31
Simvastatin	1100	---	---	120	---	---	>89
Terbutaline	9	6	15	3,5	6	15	>61
Warfarin	31	16	7,9	18	9	5,2	34 - 44

XX - under detektionsgräns LOD (Level of Detection)

XX - under kvantifieringsgräns LOQ (Level of Quantification) men över LOD, värdet därför satt till LOQ/2

"---" Ämnet kan inte utvärderas pga. dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt.



Till skillnad från Tivoli ARV (Tabell 2-1) där halterna i inkommande var liknande för alla tre provomgångar kan det för Fillan ARV observeras en trend med fallande halter för flera läkemedelssubstanser från första till sista provtagning (Tabell 2-2). Tabellen visar att reningseffekten vid Fillan ARV med avseende för läkemedelsrester är generellt väldigt begränsat. Mellan 40 - 60 kg av de analyserade läkemedelssubstanserna tillförs Sundsvallsfjärden årligen baserat på data i tabellen och medelflödet för Fillan ARV (Tabell 1-3). Av dessa utgör t.ex. diklofenak <4 kg/ år och oxazepam <14 kg/år.

## 2.3 Läkemedelsrester vid Essvik ARV

Tabell 2-3 visar halter för läkemedlen och YES på Essvik ARV under de tre respektive två provtagningstillfällen samt reningseffektiviteten. Som resultaten visar minskar reningsprocessen den östrogena påverkan (YES) som observeras i inkommande vatten något. Även för hormonen östron som kunde detekteras konstateras en bra reduktion.

För de antibiotika som kan detekteras i inkommande avloppsvatten är reduktionen i reningsprocessen generellt låg förutom för ciprofloxacin, som reduceras med 68-86 %. Övriga läkemedelssubstanser uppvisar reduktionsgrader i samma område som vid andra svenska ARV med t.ex. ibuprofen som nästan redans bort fullständig. Andra mer persistenta substanser som diklofenak eller oxazepam tas endast bort i väldigt begränsad omfattning eller uppvisar en negativ reduktion.

**Tabell 2-3. Halter för analyserade läkemedelsrester i inkommande och utgående avloppsvatten vid Essvik ARV under de tre provtillfällena.**

Substans	Essvik ARV IN			Essvik ARV UT			Renings- effektivitet %
	Aug 2019 ng/l	Nov 2019 ng/l	Mar 2020 ng/l	Aug 2019 ng/l	Nov 2019 ng/l	Mar 2020 ng/l	
<i>Hormoner och hormonstörande effekter</i>							
YES	-	8,7	12	-	2	5,7	53 - 77
Östron (E1)	2	12	13	1	4	5	>62
Östradiol (E2)	2	1	2	3	1	1	-
Etinylöstradiol (EE2)	2	4	2	1	11	1	-
<i>Antibiotika</i>							
Amoxicillin	---	21	---	---	21	---	-
Ampicillin	17	8,5	6,9	17	8,5	6,9	-
Benzylpenicillin	20	---	2,1	20	---	2,1	-
Ciprofloxacin	7	9,3	8	1	3	8	68 - 86
Clarithromycin	49	1,5	10	42	1,5	10	14
Clindamycin	1	1	8	1,5	1	13,5	-
Doxycycline	6	18	210	6	12	210	-
Erythromycin	290	7	25	360	7	25	-24
Fusidic acid	8	9	12	13,5	9	12	-
Linezolid	1,5	6	20	1	6	20	-
Metronidazole	28	81	16,5	12	38	16,5	53-57
Moxifloxacin	5	3	16	5	3	16	-
Norfloxacin	10	6	27	10	6	27	0
Rifampicin	200	---	23	75	---	23	63
Sulfamethoxazole	190	58	87	68	60	100	-15 - 64
Tetracycline	32,5	130	20	32,5	140	20	-8
Trimetoprim	3	1,5	67	4	1	120	-79 - -33
<i>Övriga läkemedel</i>							
Amlodipine	200	140	---	100	150	---	-7 - 50
Atenolol	1000	480	450	930	670	470	-40 - 7
Bisoprolol	300	180	170	310	210	160	-17 - 6
Carbamazepine	500	230	160	560	250	150	-12 - 6
Citalopram	350	260	190	310	260	150	0 - 21
Diclofenac	1100	320	340	980	500	380	-56 - 11
Fluoxetine	23	21	2	21	28	2	-33 - 9
Furosemide	2500	920	740	2300	1100	840	-20 - 8
Hydrochlorothiazide	1000	450	450	1000	620	470	-38 - 0
Ibuprofen	7700	3800	3200	140	370	98	90 - 98
Ketoprofen	190	100	120	190	120	94	-20 - 20
Metoprolol	1600	970	860	1400	1100	750	-13 - 13
Naproxen	10 000	4400	4100	440	1700	1800	56 - 91
Oxazepam	2900	1500	1500	3200	1900	1100	-27 - 27
Paracetamol	30,5	29	2	30,5	29	3	-
Propranolol	74	36	41	72	48	34	-33 - 17
Ramipril	3,5	10	3	18	10	3	-
Ranitidine	93	18	11	61	18	22	-100 - 34
Risperidone	5,5	2	1	3	2	1,5	-
Sertraline	120	130	80	77	92	38	29 - 53
Simvastatin	890	---	---	120	---	---	>87
Terbutaline	3,5	4	15	3	4	15	-
Warfarin	24	7	4	20	7	3,7	0 - 17

XX - under detektionsgräns LOD (Level of Detection)

XX - under kvantifieringsgräns LOQ (Level of Quantification) men över LOD, värdet därför satt till LOQ/2

"---" Ämnet kan inte utvärderas pga. dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt.

På samma sätt som vid Fillan ARV (Tabell 2-2) kan det även vid Essvik ARV observeras en trend med fallande halter för flera läkemedelssubstanser från första till sista provtagning (Tabell 2-3). Tabellen visar också att reningseffekten vid Essvik ARV med avseende för läkemedelsrester är generellt väldigt begränsat. Mellan 18 - 30 kg av de analyserade läkemedelssubstanserna tillförs Sundsvallsfjärden årligen baserat på data i tabellen och medelflödet för Fillan ARV (Tabell 1-3). Av dessa utgör t.ex. diklofenak <2 kg/ år och oxazepam <8 kg/år.

## 2.4 Punktkällor och älvarnas bidrag

Inom projektet har provtagningen även inkluderat avloppsflödet från Sundsvalls sjukhus (PP9) och en pumpstation (PP10) som pumpar Alnös samlade avloppsvatten (7860 personer, blandad bebyggelse med skola, äldreboende, vårdcentral m.m.) till reningsverket. Båda provtagningspunkterna är lokaliserade i upptagningsområdet som tillhör Fillan ARV. Avloppsvatten från sjukhuset utgör endast ca 3 % av flödet in till Fillan ARV. Avloppsvattnet från Alnö står för ca 20 - 25 % av inkommande flöde till Fillan ARV. Tabell 2-4 visar uppmätta medelhalter i de två provtagningspunkterna för några läkemedel som kunde mätas i kvantifierbara halter. Det kan observeras att vissa halter i sjukhusets avloppsvatten ligger signifikant högre än i inkommande avloppsvatten till Fillan ARV. För ciprofloxacin är halten t.ex. 55 gånger högre i sjukhusavloppsvatten än i vattnet in till Fillan ARV. Mängden ciprofloxacin som tillförs ledningsnätet från sjukhuset beräknas till 0,087 kg per år baserat på antagna medelhalter och flöden som visas i tabellen. Motsvarande mängd som kan beräknas med medelhalten och medelflöde för inkommande vatten till Fillan ARV är 0,05 kg per år, dvs lägre än den beräknade belastningen från sjukhuset. Provtagningen vid reningsverket är dock baserat på flödesproportionella veckoprover medans analyser vid sjukhuset baseras på dygnsprover som är tagna tidsproportionellt. Även flödet baseras på ett mycket bättre dataunderlag vid reningsverket än vid sjukhuset.

Även flera av de andra läkemedlen i Tabell 2-4 visar signifikant högre halter i avloppsvattnet från sjukhuset jämfört med Fillan ARV. Massflödet vid sjukhuset är dock signifikant lägre än inkommande till Fillan ARV med en statistisk massflödesberäkning. För oxazepam står sjukhuset t.ex. för <20 % av mängden till Fillan ARV, trots att halten är ca 5 ggr högre. Ett undantag är diklofenak där halterna är lägre från sjukhuset än från Alnön och in till Fillan ARV. Halterna från Alnön är väsentligt högre än in till Fillan ARV.

**Tabell 2-4. Uppströms provtagningspunkter och analysresultat vid Fillan ARV. Medelvärde från genomförda provtagningar i augusti och november 2019 samt mars 2020.**

Medelhalter	Alnön (PP10)	Sjukhus (PP9)	Inkommande Fillan ARV (PP5)
Flöde (m <sup>3</sup> /h)	105	15	468
Östron (E1) (ng/l)	22	34,7	16,5*
Ciprofloxacin (ng/l)	5*	660	12*
Citalopram (ng/l)	270	417	153
Diklofenak (ng/l)	1257	423	700
Ibuprofen (ng/l)	8300	15 333	8500
Metronidazole (ng/l)	186*	1840	82*
Oxazepam (ng/l)	1210	10 170	1870
Sulfamethoxazole (ng/l)	354	3367	225*
Tetracycline (ng/l)	310	2050	210*
Trimethoprim (ng/l)	7*	424	<1*

\* minst ett mätvärde lägre än LOD/LOQ

Det togs även stickprov vid ett tillfälle (maj 2020) i de två älvar och en å som mynnar i Sundsvallsbukten. Prover från Indalsälven, Ljungan och Selångersån visade inga detekterbara halter för hormoner och antibiotika. För övriga läkemedelssubstanser kunde endast paracetamol kvantifieras med halter mellan 17 – 40 ng/l i samtliga tre provpunkter. I provet från Indalsälven kunde dessutom ibuprofen (41 ng/l) och naproxen (26 ng/l) detekteras. Även om dessa halter kan anses som väldigt låga jämfört med halter i avloppsvatten så innebär vattenföringen i dessa älvar en betydande transport av läkemedelssubstanser. Med ett medelflöde på >400 m<sup>3</sup>/s i Indalsälven (VISS) skulle den årliga mängden ibuprofen som transporteras till Sundsvallsbukten uppgå till >520 kg. Även för paracetamol, som inte kunde detekteras i de tre undersökta reningsverken, skulle >500 kg årligen tillföras till kustområdet via Indalsälven. Endast dessa två läkemedel skulle således bidra med >1 ton aktiva substanser till Sundsvallsbukten. Detta kan jämföras med omkring 200 kg aktiv substans/år som idag tillförs via renat avloppsvatten från Tivoli, Fillan och Essvik ARV tillsammans och ifall samtliga 29 kvantifierbara läkemedel (medelvärde) tas med (Tabell 2-1 - Tabell 2-3). Att paracetamol förekommer i ytvatten kan tyda på emissioner från enskilda avlopp som i en tidigare studie har identifierats som utsläppskällor just för paracetamol (Eihed et al., 2012).

## 3 Bedömning av påverkan på recipienten

I första delen av projektet genomfördes en påverkansanalys för ytvatten vid utsläpp av läkemedelssubstanser från avloppsreningsverken (Holmlund et al., 2020; Bilaga 9.1). Omfattningen av påverkan från de tre befintliga ARV ställdes mot påverkan av beräknade utsläpp från ett möjligt framtida centraliserat ARV. Underlaget till analysen utgjordes av vattenprovtagning av läkemedelssubstanser i kombination med en beräkningsmodell där spridning och spädning av renat avloppsvatten i det berörda kustområdet kunde simuleras.

Resultaten från ytvattenundersökningarna visade att det generellt inte återfanns några halter av hormoner och antibiotika över analysmetodens detektionsgräns (LOD) i Sundsvallsbukten. För övriga läkemedel fanns det ett flertal ämnen som återfanns i halter över kvantifieringsgränsen (LOQ) och som även uppmättes i högre halter i kontrollpunkterna jämfört med referenserna, främst inom utsläppsområdena för Tivoli och Fillan ARV.

Metoden att kombinera detaljerade beräkningar av samspelet mellan verksamhet och recipient tillsammans med provtagning vid avloppsreningsverk har möjliggjort en beskrivning av miljörisker avseende läkemedelssubstanser i delar av Sundsvalls kommuns kustvatten. Utredningen har visat vikten av kunskap om lokal spridning och utspädning av behandlat avloppsvatten i recipienten för att möjliggöra en kvalitativ bedömning. I dagsläget omfattas svensk VA-verksamhet inte av teknikkraV avseende rening av läkemedelssubstanser. Däremot återfinns i Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter om klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvatten (HVMFS 2019:25) kvalitetskrav för kust- och inlandsvatten för två läkemedelssubstanser (ciprofloxacin och diklofenak) och två hormoner (östradiol och etinylöstradiol). Identifierade läkemedelssubstanser med en potentiell risk för negativ miljöpåverkan var dock fler än de substanser som idag är upptagna i HVMFS 2019:25. Därför genomfördes av projektgruppen ett urval av ytterligare substanser som också fick ingå i påverkansanalysen.

### 3.1 Prioriterade substanser för vidare utredning

Med undantag för substanser upptagna i HVMFS 2019:25 värderades utsläpphalter utifrån identifierade PNEC-värden (predicted no effect concentration) från tidigare utförda riskbedömningar (Sehlén et al., 2015; Syvab, 2019; Ågerstrand, 2019). De olika substanserna indelades i tre kategorier av utspädning (omedelbar, liten och hög) som krävs för att understiga HVMFS 2019:25 kvalitetskrav eller PNEC-värdet för respektive substans i projektets berörda vattenförekomster. Resultatet visade att de flesta identifierade substanserna i utsläppt vatten förekommer i en koncentration som tillsammans med initial omblandning i recipienten med största sannolikhet inte innebär en miljörisk (se även Tabell 2-1 - Tabell 2-3). I ovannämnda riskbedömningar har substanser med bristfälliga toxikologiska underlag en hög säkerhetsfaktor (t.ex. citalopram som har säkerhetsfaktor 2000) för beräknade PNEC-värden. Substansen citalopram där bristande kunskap finns har därför exkluderats för vidare utvärdering. Exkludering ses i sammanhanget som rimlig eftersom dimensionering av reningsanläggningar i praktiken inte kan genomföras på så omfattande osäkerheter avseende reella miljörisker eller nyttan av investerade kostnader för reducerade utsläpp. Utifrån riskbedömningen valdes diklofenak, etinylöstradiol, oxazepam och östron som målsubstanser för vidare utredning.

Förutom läkemedelsrester finns andra mikroföroreningar i renat avloppsvatten som också bör tas hänsyn till och som delvis omfattas av kvalitetskrav i HVMFS 2019:25. Sundsvall Vatten har



tidigare analyserat ett antal ämnen i utgående vatten från Tivoli ARV och Fillan ARV. Analysresultaten visar att t.ex. flamskyddsmedel och PFOS återfinns i halter som också kan innebära en miljörisk. Den utspädning som krävs för att klara kvalitetskraven för ytvatten för dessa ämnen ligger dock långt under utspädningstalen som de fyra målsubstanserna kräver. Därför har utsläppsparametrar som t.ex. flamskyddsmedel och PFOS endast ingått i utredningen när de skulle kunna påverka val av reningsteknik.

## 3.2 Omfattning av påverkan från respektive ARV

Modellberäkningar av vattenvolymer i recipienten som innefattas av haltnivåer över bedömningsgrund/PNEC för de utvalda substanserna i kustvattnet har genomförts i de fyra olika vattenförekomsterna (Bilaga 9.1). För ett eventuellt framtida reningsverk vid Kubikenborg antogs i modelleringen att föroreningsmängden kommer vara samma och det är bara själva utsläppspunkten som kommer att flyttas. Resultaten presenteras i Tabell 3-1 som volym vatten med högre halter än respektive PNEC/bedömningsgrund för sommar och vinter. En mer utförlig resultatrapportering görs i rapporten från det första delprojektet (Bilaga 9.1).

**Tabell 3-1. Beräknade volymer och andel i % av berörd vattenförekomst som innefattas av haltnivåer över bedömningsgrund/PNEC med dagens utsläppshalter och reningstekniker.**

Påverkat volym	Reningsverk	Etinylöstradiol			
		Diklofenak	(EE2)	Oxazepam	Östron (E1)
Sommar	Tivoli ARV	216 000 m <sup>3</sup> 0,61 %	37 211 000 m <sup>3</sup> 105,1 %	3 061 000 m <sup>3</sup> 8,65 %	346 000 m <sup>3</sup> 1 %
	Fillan ARV	6 000 m <sup>3</sup> 0,01 %	118 000 m <sup>3</sup> 0,06 %	189 000 m <sup>3</sup> 0,09 %	909 000 m <sup>3</sup> 0,4%
	Essvik ARV	<300 m <sup>3</sup> <0,01 %	<300 m <sup>3</sup> <0,01 %	<300 m <sup>3</sup> <0,01 %	<300 m <sup>3</sup> <0,01 %
	Kubikenborg ARV	115 000 m <sup>3</sup> 0,3 %	799 000 m <sup>3</sup> 0,18 %	1 097 000 m <sup>3</sup> 0,24 %	3 000 m <sup>3</sup> <0,01 %
	(med kväverening)				
Vinter	Tivoli ARV	23 000 m <sup>3</sup> 0,06 %	35 746 000 m <sup>3</sup> 101 %	5 035 000 m <sup>3</sup> 14,22 %	71 000 m <sup>3</sup> 0,2 %
	Fillan ARV	35 000 m <sup>3</sup> 0,02 %	158 000 m <sup>3</sup> 0,07 %	235 000 m <sup>3</sup> 0,11 %	2 265 000 m <sup>3</sup> 1,1 %
	Essvik ARV	<300 m <sup>3</sup> <0,01 %	<300 m <sup>3</sup> <0,01 %	<300 m <sup>3</sup> <0,01 %	<300 m <sup>3</sup> <0,01 %
	Kubikenborg (med	134 000 m <sup>3</sup> 0,03 %	1 055 000 m <sup>3</sup> 0,23 %	1 454 000 m <sup>3</sup> 0,32 %	<3 00 m <sup>3</sup> <0,01 %
	kväverening)				

Resultaten visar att bland de tre befintliga verken är det Tivoli ARVs utsläpp som orsakar störst vattenvolym med haltnivåer över bedömningsgrund/PNEC för de två olika recipientscenerierna. Bara att flytta utsläppet från de tre utsläppspunkterna till "Draget" vid Kubikenborg skulle enligt modellberäkningarna ge en mindre påverkad vattenvolym. Störst är påverkan från utsläpp av hormonet etinylöstradiol vid Tivoli ARV där i princip hela Sundsvallsfjärden beräknas omfattas av halter som skapar negativa förutsättningar för växter och djur både sommartid och vintertid.

### 3.3 Reningsgrader av läkemedel vid införande av kväverening

Oxazepam och diklofenak utgör läkemedelsrester som endast marginellt renas med befintlig reningsteknik vid Tivoli, Fillan och Essvik ARV. De två andra målsubstanserna för utredning om avancerad rening är hormoner. En genomgång av studier där reduktion av hormoner i konventionella reningsverk och avancerade reningsprocesser studerats (Koh et al., 2008) visar att hormoner vanligtvis reduceras effektivt i reningsverk som bygger på användning av aktivslamprocesser med eller utan kväverening, så länge det tillämpas lång uppehållstid och/eller hög slamålder. Dessa slutsatser stämmer också bra överens med IVL:s erfarenhet från andra projekt. Reningsverk som använder en aktivslamprocess uppvisar vanligtvis mycket högre reduktionsgrad för hormoner om reningsprocessen är designad för både nitrifikation och denitrifikation, jämfört med reningsverk konstruerade för avskiljning av endast BOD. Clara et al. (2005) visade att kritisk slamålder för bra reduktion av hormoner är mellan 5 och 10 dygn vid temperatur 10 °C, vilket också är den aeroba slamålder som behövs för en väl fungerande nitrifikationsprocess. I en annan studie (Saino et al., 2004) har den minsta slamåldern som behövs för bra reduktion av hormoner fastställts till 10–12,5 dygn.

I detta projekt har det därför antagits att halter av etinylöstradiol och östron kommer renas till under detektionsgräns (1 ng/l) efter införande av kväverening på de befintliga eller det nya verket, vilket innebär en reduktion med upp till 90 % för etinylöstradiol och upp till 99 % för östron. Beräknade utspäningseffekter i recipienten visade att om hormonerna reduceras till 1 ng/l kommer endast en liten andel (<0,3 %) av berörda vattenförekomster omfattas av halter som är högre än respektive bedömningsgrunder för alla avloppsreningsverk förutom Tivoli ARV. För Tivoli ARV kommer en reduktion av hormonhalter till 1 ng/l innebära att 4 – 7 % av Sundsvallsfjärden riskerar att påverkas. Nämnvärt är att införande av kväverening kan ge en reduktion av halter till under 1 ng/l och därmed ge mindre påverkan än vad som antagits i denna utredning. Men vid icke-optimala förhållanden, t.ex. under vinterhalvåret, kan dock halter i utgående vatten också vara signifikant högre än 1 ng/l och leda till en större recipientpåverkan än ovanstående resonemang. För att fastställa vilken reduktion och halter i utgående vatten som kan uppnås skulle faktiska långtidstester med den planerade processen behöva utföras.

### 3.4 Tillåtlighet, icke-försämringskravet och äventyrandet av en Miljökvalitetsnorm

När miljöfarlig verksamhet har utsläpp till ytvatten är det inte nödvändigt att klara alla kvalitetskrav redan i avloppsröret för att recipientens miljökrav skall kunna upprätthållas (NV 2010:3). Frågan om hur stor andel av en vattenförekomst som en enskild belastningskälla får ta i anspråk (bidra med förhöjda halter utifrån bedömningsgrund), utan att icke-försämringskravet träder ikraft, är inom svensk vattenförvaltning hänvisad till statusen i en för ytvattenförekomsten representativ övervakningsstation. Var i en vattenförekomst som dessa stationer är förlagda i relation till ett utsläpp får betydelse när en verksamhet miljöprövas. Enligt HVMFS 2019:25 definieras en representativ övervakningsstation som ”... ett geografiskt läge som är representativt för en ytvattenförekomst. Information från en övervakningsstation kan bestå av data från en enskild provtagningsplats eller flera provtagningsplatser”.

I det berörda projektområdet representerar provpunkt 320 i Sundsvallsfjärden (1,5 km från utsläppspunkt till Tivoli ARV), 135 och 175 i Alnösundet (4,1 respektive 2 km från utsläppspunkt

till Fillan ARV), 575 i Draget (4 km från tilltänt utsläppspunkt till Kubikensborg ARV) och provpunkt 630 i Svartviksfjärden (3,1 km från utsläppspunkt till Essvik ARV) berörda vattenförekomsternas representativa övervakningsstationer. Omfattning av utsläpp av läkemedelssubstanser från Essvik och Fillan ARV bidrar inte till försämring av status för någon målsubstans varken från beräknade eller uppmätta resultat för något scenario. Detektions- och kvantifieringsgränser för läkemedelshalter i ytvatten ligger dock på en högre nivå än effekthalter och uppmätta halter kan därmed användas endast i begränsad omfattning som kontroll. Avseende utsläpp av läkemedelssubstanser från Tivoli ARV så beräknas halter av etinylöstradiol, vid nuvarande drift, sänka statusen till måttlig i provpunkt 320 i Sundsvallsfjärden (Bilaga 9.1). Utifrån de lagändringar som gjordes till följd av Weserdomen och praxisutveckling om tolkning av ramdirektivet som trädde i kraft den 1 januari 2019, skulle resultaten kunna tolkas som att utsläppet från Tivoli ARV, vid en miljöprovning, motsvarar otillätlig omfattning. Resultat från Fillan, Essvik och ett framtida nytt ARV tolkas däremot som acceptabla för samtliga undersökta scenarier.

Ovan resonemang omfattar det s.k. icke-försämringskravet avseende miljöstatus men inte det andra centrala begreppet som är äventyrande av möjligheterna att uppnå rätt kvalitet på vattenmiljön. I förarbetsuttalande om 5 kap. 4 § miljöbalken (Prop 2017/18:243) beskrivs hur ett äventyrande av en miljökvalitetsnorm ska tolkas:

*Uttrycket "äventyra" markerar att det handlar om att se till att verksamheten eller åtgärden inte innebär ett allvarligt hot mot möjligheterna att uppnå rätt kvalitet på vattenmiljön. Med "äventyra" avses att det ska vara fråga om ett risktagande av en sådan dignitet att Sveriges möjlighet att uppfylla ramdirektivets krav hotas så allvarligt att risken måste betraktas som oacceptabel. Med "äventyra" avses inte vilket försvarande som helst. Hanterliga risker – dvs. risker som bedöms kunna hanteras på ett sätt som gör att det inom ramen för vattenförvaltningen eller genom andra åtgärder fortfarande är möjligt och sannolikt att rätt kvalitet på vattenmiljön kan uppnås – bör alltså kunna accepteras och inte betraktas som ett äventyrande. I äventyra ligger ett moment av hasard, högt spel, vågspel eller chanstagande, dvs. att man medvetet tar en så stor risk att den inte kan betraktas som acceptabel när det gäller möjligheten att uppnå rätt vattenkvalitet eller tillåter att möjligheten att uppnå rätt vattenkvalitet lämnas åt slumpen. Här finns således ett ganska stort utrymme för att tillåta verksamheter eller åtgärder som i och för sig innebär påfrestningar för arbetet att förbättra vattenmiljön eller gör det svårare att uppnå rätt kvalitet. Det avgörande måste vara att det även om verksamheten eller åtgärden tillåts – med de villkor om försiktighetsmått som kan behövas och med hänsyn till utrymmet för att genom andra åtgärder kompensera för det försvarande som tillåtandet medför – fortfarande bedöms vara möjligt att uppnå rätt kvalitet på vattenmiljön.*

Avseende Fillan, Essvik ARV och ett framtida nytt ARV bedömer denna projektgrupp, utifrån Prop 2017/18:243, att den påverkan som redovisas i vattenförekomsterna i Tabell 3-1 som utgör mindre än 1 % av berörda vattenförekomster, inte rimligen kan tolkas som ett "allvarligt hot", "risktagande" eller "moment av hasard". En strängare tolkning av 5 kap. 4 § i miljöbalken avseende äventyrandet eller ett ifrågasättande av dagens representativa övervakningsstationer skulle kunna motivera en annan bedömning. För Tivoli ARV däremot så är det svårt att göra en annan tolkning än att påverkan från etinylöstradiol kan anses utgöra ett äventyrande av möjligheterna att uppnå rätt vattenkvalitet med dagens utsläppshalter. Efter införande av kväverening kommer påverkad volym vara betydligt mindre (4 - 7 % av den berörda vattenförekomsten). Avseende oxazepam så är ämnet inte upptaget i HVFMS 2019:25 och ligger därför inte till grund för ett äventyrande av fastslagen miljökvalitetsnorm i Sundsvallsfjärden.

Recipientpåverkan i detta projekt har utgått ifrån en metod som möjliggör en kvalitativ utvärdering av påverkan för att utgöra ett relevant underlag för värdering mot det s.k. icke-försämringskravet. Även om beräkningsmodellen gör förenklingar som t.ex. att anta att ingen

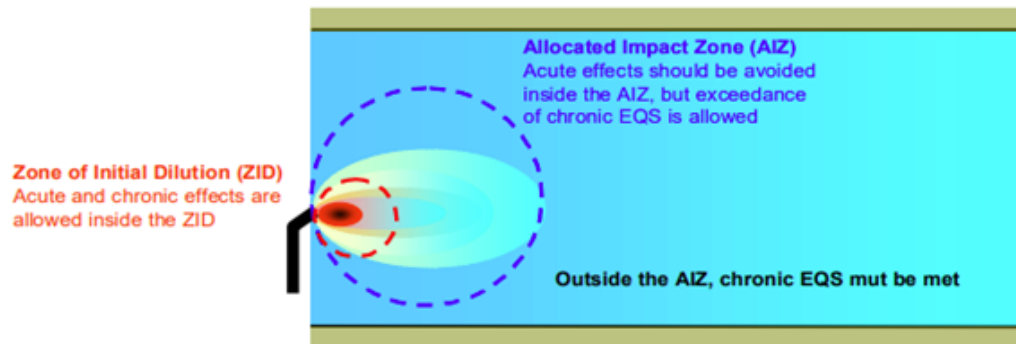
nedbrytning av läkemedelsrester sker i recipienten, så ger metoden ett tydligt underlag av omfattningen av påverkan. Perspektiv till hur tillåtlighetsfrågan hanteras i Sverige kan erhållas genom att värdera projektresultat utifrån artikel fyra i direktivet om miljökvalitetsnormer (2008/105/EG), även om Sverige inte ratificerat möjligheten att åberopa blandningszoner. Enligt artikel fyra får medlemsstaterna ange blandningszoner nära utsläppspunkter där föroreningshalter får överskrida gällande miljökvalitetsnormer om detta inte hindrar att dessa normer uppfylls i övriga delar av ytvattenförekomsten. Nedan följer en enklare värdering av tillåtlighet av projektresultatet utifrån beskrivna principer i artikel 4 med tillhörande vägledning (CIS WFD 2010). Där beskrivs en ansats för kustområden som tillämpas i Nederländerna och som ger en blandningszon placerad mellan en punkt L/2 meter nedströms och en punkt L/2 meter uppströms utloppspunkten. Längden på blandningszonen (L) bedöms från fall till fall och i Nederländerna används ett maximalt avstånd på 1000 meter för L för en stor vattenförekomst med en bredd på >100 meter.

$$V_{\text{Blandningszon}} = \pi/2 \times (L^2) \times djup$$

Ekv. 1

För berörda recipienter ger detta en blandningszon definierad som en halvcirkel med en radie på 500 m. För det genomsnittliga djupet vid kusten antas som standard ett värde på 5 meter vilket skulle ge en blandningszon på <7,8 Mm<sup>3</sup>. Från Tabell 3-1 kan det ses att endast Tivoli ARV påverkar recipientvolymen >7,8 Mm<sup>3</sup> för etinylöstradiol (>37 Mm<sup>3</sup>). Vid etablering av ett nytt reningsverk orsakar ingen av de undersökta substanserna en blandningszon större än 1,5 Mm<sup>3</sup>. Utifrån denna enkla identifiering av blandningszoner kan utsläppen enligt Tabell 3-1 anses vara tillåtliga utifrån artikel 4 i direktivet om miljökvalitetsnormer med undantag för utsläpp av etinylöstradiol från Tivoli ARV.

En annan definition av blandningszoner visar US-EPA som förutom en blandningszon även definierar en mindre zon inom blandningszonen som kallas för zonen för initial utspädning. I denna zon som direkt omger utloppet får föroreningshalter överskrida gällande gränsvärden även för akuta effekter (Figur 3-1). För de utvalda substanserna inom kvalitetsfaktorn särskilda förorenade ämnen (förutom ciprofloxacin) anses bedömningsgrunden på årsnivå utgöra skydd mot kortvariga föroreningsstoppar vid kontinuerliga utsläpp eftersom de är avsevärt lägre än de värden som härletts utifrån akut toxicitet (HVMFS 2019:25). Utifrån effektstudier för oxazepam har den lägsta *observerade* effekthalten (LOEC - lowest observed effect concentration) definierats till 1 µg/L. Baserat på LOEC beräknas den *predikterade* halt som inte ger någon negativ effekt (PNEC) till 0,01 µg/L genom att man räknar med en osäkerhetsfaktor på 100 (2×50 eftersom kroniska studier för alger och Daphnia ger en låg osäkerhetsfaktor på 50 och faktor 2 eftersom LOEC istället för NOEC (no observed effect concentration) används för PNEC-beräkningen). I föreliggande fall kan alltså 1 µg/L sättas för maxhalten i zonen för initial utspädning (ZID) och 0,01 µg/L i blandningszonen (AIZ). Oxazepamhalterna på ≥2µg/l i utgående avloppsvatten från Tivoli ARV (Tabell 2-1) skulle då överskrida maxhalten i ZID. Samtidigt blir storleken av de två zonerna föremål för bedömning i varje enskilt fall vilket inte ger klarhet avseende frågan om tillåtlighet.



Figur 3-1. US-EPA definition av blandningszonen och zon för initial utspädning (CIS-WFD 2010).

Föreliggande projekt exemplifierar den relativt höga nivån av kunskap avseende påverkan från en enskild belastningskälla som krävs för att bemöta det kunskapskrav som åligger verksamhetsutövaren genom 5 kap. 4 § i miljöbalken. Ett visst mått av oklarhet avseende var i recipienten kvalitetskraven ska uppnås i relation till en belastningskälla kommer att bestå tills ett vägledande domslut kommer eller att myndigheterna tar fram en vägledning.

## 4 Relevanta reningstekniker

Det finns flera olika reningstekniker och teknikkombinationer som antingen kan åstadkomma en rening av olika mikroföroreningar eller åtminstone en rening till viss del. Baserat på bl.a. IVLs tidigare projekt SystemLäk (Baresel et al., 2017a, b) beskrivs kortfattat de reningstekniker som bedöms relevant för Sundsvalls framtida avloppsvattenrening i följande avsnitt.

### 4.1 MBBR - Framtidens huvudreningsprocess

De flesta organiska ämnen kan eventuellt brytas ned biologiskt, även svårnedbrytbara läkemedel. I kap 1.4 beskrivs kortfattat val av process för Sundsvalls framtida avloppsvattenrening. I alla tre scenarierna så har MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) valts som reningsteknik i den biologiska reningen. Denna reningsteknik kan även ha en effekt på några av de relevanta mikroföroreningar som beaktas här.

En ökad nedbrytning av några svårnedbrytbara organiska substanser kan i vissa fall åstadkommas genom en bärarprocess i stället för aktivslamprocess. Falås et al. (2012, 2013) visade att några läkemedel kan brytas ned mer effektivt i en Moving Bed Biofilm Reaktor (MBBR) vid långa uppehållstider. Studien indikerade en bättre nedbrytning (per enhet biomassa) bl.a. för diklofenak med hjälp av bärare. Å andra sidan undersökte Wahlberg et al. (2010) en MBBR och ett traditionellt aktivslamsystem i pilotskala vid Hammarby Sjöstadsvärk och såg bara en marginell skillnad i reningseffektiviteten mellan dessa system. Casas et al. (2015) visade att flera MBBR-reaktorer i serie kunde i vissa fall åstadkomma en reduktion av några läkemedelssubstanser i avloppsvatten från sjukhus och flera studier har visat hur MBBR-processen kan användas som slutpolering av utgående avloppsvatten för efterdenitrifikation (Svendsen et al., 2020; Tang et al., 2017) samt efter ett ozoneringssteg (Edefell 2021; Tang et al., 2020) för att avlägsna nedbrytningsprodukter. Ingen av de undersökta MBBR-systemen som rapporterar en viss reningseffektivitet för läkemedel representerar dock en MBBR som tillämpas i huvudreningen som är tanken i Sundsvalls framtida avloppsvattenrening.

Pilottester vid Främby ARV (Hedén et al., 2020) som genomfördes under 2019 inkluderade även en kompletterande MBBR för kväverening inför en möjligt framtida avancerad rening. Kontinuerliga försök under 30 veckor visade varierande reningseffektivitet för diklofenak och oxazepam över MBBRen. För diklofenak kunde en viss reningseffekt på 3 %, 8 % respektive 24 % observeras vid 3 av sex provtagningar. Vid de andra provtagningar uppvisades dock en negativ reduktion av substansen på upp till -13 % över MBBRen. För oxazepam kunde endast en marginellt positiv effekt (<12 %) observeras vid två provtillfällen. I de andra fallen konstaterades en negativ reduktion <-26 %. Halter för hormonerna etinylöstradiol och östron låg redan före MBBRen under detektionsgränsen och en reningseffekt av MBBRen kunde således inte bedömas i det projektet.

Sammanlagt tyder de varierande resultaten på att en ökad reningseffektivitet avseende diklofenak och oxazepam inte bör förväntas vid övergång till en klassisk MBBR-process.

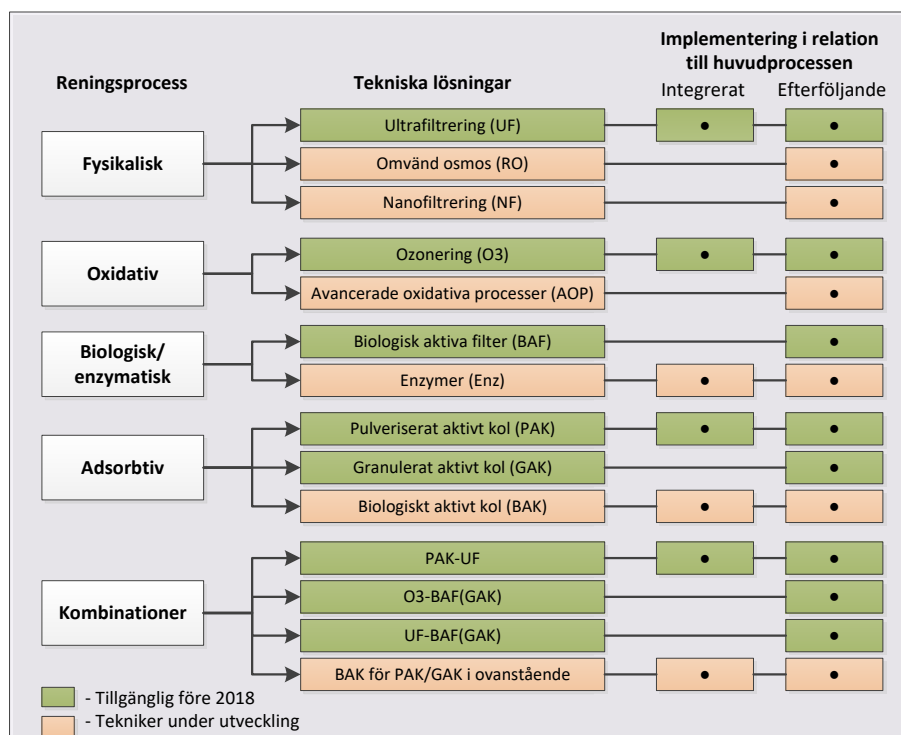
Veolia utvecklar en annan process som bygger på användning av MBBR men som har en helt annan mekanism för reduktion av läkemedelsrester (eXeno). Vissa typer av bakterier kan i princip bryta ner svårnedbrytbara ämnen men det krävs mer energi för bakterien för nedbrytning av de komplexa molekylerna än vad bakterien får från nedbrytningsprocessen. Därför kan inte bakterierna växa bara på nedbrytning av svårnedbrytbara ämnen. I processen har man flera MBBR-reaktorer som körs intermitterant i en cykel bestående av 2-3 perioder. I första perioden belastas reaktorn med försedimenterat vatten (så kallad "feast" perioden). Under den perioden

växer bakterier och sparar energi för nästa steg i cykeln. Sedan belastas reaktorn med biologiskt behandlat vatten med låga BOD halter (så kallad "famine" perioden). Då finns det inte något organiskt material för bakterier att använda och bakterierna börjar bryta ner svårnedbrytbara ämnen, inklusive läkemedelsrester. Metoden har visats åstadkomma bättre reduktion av några läkemedelsrester jämfört med vanlig biologisk rening (Rasmussen et al., 2020). Nackdelen är dock att medeluppehållstiden i reaktorn är mycket längre än för ett traditionellt dimensionerat reningssystem, vilket ger extremt stora volymer, speciellt om reningssystemet ska dimensioneras för låga temperatur. Dessutom, bryts BOD ner i inkommande vatten i feast-delen av cykeln aerobiskt, vilket gör att fördenitrifikation inte kan tillämpas.

Pilottester vid Främby ARV indikerade att MBBR-processen har potential att bidra till en väsentlig rening av t.ex. PFOS (<53 %) även om det skulle behövas kompletterande tester för att bekräfta resultaten. Mekanismen av den reningen är inte fastställd och beror troligtvis på sorption till slam. Dessutom användes MBBRen som kompletterande rening efter aktivslamprocessen, vilket skiljer sig från den tekniklösningen som är aktuell för de fyra reningsverken.

## 4.2 Kompletterande reningsprocesser

För att nå tillräcklig reduktion av läkemedelsrester vid ett avloppsreningsverk behöver dagens reningsprocesser kompletteras med ytterligare reningssteg. Det finns idag flera olika tekniker och teknikkombinationer som kan åstadkomma en rening av läkemedelsrester. På uppdrag av Naturvårdverket sammanställde IVL 2017 tillgängliga tekniska lösningar som finns för rening av avloppsvatten från oönskade ämnen som läkemedelsrester, mikroplaster, PFAS, andra organiska miljöföroreningar, tungmetaller, samt antibiotikaresistenta och andra skadliga mikroorganismer (Baresel et al., 2017b). Figur 4-1 återger en sammanställning av reningsprocesser och tekniker som presenterades och som bedömdes vara realistiska att implementera.

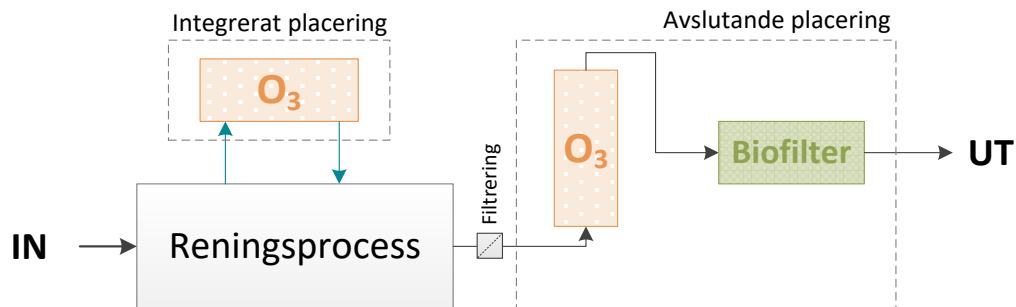


Figur 4-1. Olika kompletterande reningstekniker för reduktion av läkemedelsrester vid avloppsreningsverk (Baresel et al., 2017b).

Då aktuellt projekt är en jämförande studie där en investering av läkemedelsrening vid tre befintliga reningsverk ska jämföras mot investeringen vid ett nytt centralt reningsverk anses ozonering samt aktivt kol (PAK och GAK) vara de tekniker som är relevanta att jämföra, och de beskrivs mer detaljerat i efterföljande avsnitt. Det finns idag fler varianter på avancerade reningstekniker som använder aktivt kol, tex DynaSand carbon men de tas inte med i denna jämförelsestudie.

### 4.2.1 Ozonering

Ozonoxidation är en av de mest refererade teknikerna för rening av svårnedbrytbara substanser och andra prioriterade föroreningar. Ozonbehandling använder den direkta kemiska reaktionen av ozonmolekylen samt indirekta reaktioner med hydroxylradikaler för att bryta specifika kemiska bindningar inom läkemedelssubstanserna. Denna oxidation av läkemedlen kan leda till bildning av toxiska nedbrytningsprodukter, och oxidation av andra ämnen som finns i det behandlade avloppsvattnet kan bilda toxiska biprodukter som t.ex. bromat vid förekomst av bromid. För att minska risken för toxicitet och för att ta hand om nedbrytningsprodukter rekommenderas därför ett biologiskt polerande reningssteg efter ozonering. Vanligtvis används sandfilter (biofilter) som polerande steg men även MBBR kan användas.



Figur 4-2. Implementeringsmöjligheter av en ozonering.

En ozonering kan användas både som slutpolering, vilket är vanligast, eller som mellanliggande reningssteg mellan två biologiska steg, alternativt i ett recirkuleringsflöde, se Figur 4-2. En integrerad ozonering mellan befintliga reningssteg eller i sidoström kräver hänsynstagandet till flera aspekter som t.ex. högre ozonförbrukning, restozon och ökade syrehalter som kan påverka efterföljande processteg, en något svårare ozoninblandning p.g.a. ett smutsigt vatten, etc. Vid ozonering som sista reningssteg krävs inga särskilda aspekter förutom att hänsyn tas till möjliga nedbrytnings- och biprodukter.

För reningsverk med hårda reningskrav räcker det oftast inte med sedimentering/flotation och de måste kompletteras med polerande filtreringssteg. Ozonering kan då placeras mellan biosteget och filtreringssteget. Vid användning av sandfilter kommer det fungera även som biofilter för biologisk polering av ozonerat vatten. Om skivfilter väljs behöver systemet kompletteras även med biologisk polering av ozonerat vatten på annat sätt, exempelvis i en MBBR. Det finns lite information i litteraturen om hur lång uppehållstid som behövs i MBBR för biologisk polering av ozonbehandlat vatten. I det stora forskningsprojektet Mermis som finansierats av dansk Naturvårdsverket (Tang et al., 2020) användes en MBBR med uppehållstid på 14 min. Kontakttiden i sandfilter brukar också vara ca 15 min eller lägre.

En annan fördel vid användning av ozonering är att off-gas från ozonering kan användas för syresättning av biosteget. Ozongeneratoren omvandlar endast ca 10 % av inkommande syre till



ozon. Resten av syret löses in i vattnet under ozonbehandling eller lämnar kontaktreaktorn med off-gas. Denna gasström kan blandas med inkommande luft till blåsmaskiner och på det viset öka syrehalten i luften som används för luftning av biosteget.

Det finns flera olika utformningar av ozoneringsanläggningar. Ozon kan produceras antingen från luft eller från syrgas. Syrgasen kan antingen produceras på plats från luften med PSA-teknik (pressure swing adsorption) eller levereras av gasleverantörer i flytande form. Vid leverans av gas brukar gasleverantörer hyra ut även tank och förgasningsanläggning. På mindre anläggningar brukar produktion av syrgas på plats vara mer kostnadseffektiv medan på större anläggningar är det mer fördelaktigt att transportera syre till reningsverket i flytande form. Ozon produceras i en ozongenerator och blandas antingen in i en delström av avloppsvatten med ejektor eller blandas in med diffusorer som är placerade på botten av kontakttanken (som i luftade bassänger). Det är ytterst viktigt att ozon blandas in snabbt och effektivt i vattnet eftersom ozon byts ner snabbt till syrgas om den inte hinner reagera med organiska ämnen. Nedbrytning av ozon är långsammare vid låga temperaturer, vilket är gynnsamt utifrån Sundsvalls förutsättningar där avloppsvatten är kallt. Ozongeneratoren måste kylas ner och man använder vanligtvis renat avloppsvatten för kylning. Den låga vattentemperaturen är fördelaktig även från den aspekten.

Volymen av kontakttanken i ozoneringsanläggningar varierar men uppehållstiden brukar vara ca 10 min vid maxflöde.

### Renings effektivitet

Ozonerings är en bra och flexibel teknik som ger en effektiv rening för många men inte alla föroreningar. Erfarenheter från ozonerings vid olika reningsverk (t.ex. Himmerfjärdsverket, Sundets ARV, Visby ARV, Ullared ARV, Henriksdal ARV, Stengården ARV) visar att reningen av oxazepam kräver de högsta ozondoserna jämfört med andra läkemedelsrester. Medan ozondoser på 0,3 - 0,5 mg O<sub>3</sub>/mg DOC räcker i genomsnitt för att uppnå en reduktion på 80 % av de flesta läkemedelsrester, krävs doser på 0,6 - 1,2 mg O<sub>3</sub>/mg DOC för att nå samma reduktion för oxazepam. Diklofenak har i tidigare försök oftast renats bort redan vid de lägsta ozondoserna som applicerats. Även hormonerna har rapporterats att renas bort effektivt med ozonerings.

Ozonerings kan även ge en viss reningseffekt för PFOS men inga andra PFAS. Även en desinfektion av vatten kan i många fall åstadkommas dock beror effektiviteten på ozondos och vattenmatrisen.

Erforderlig dos ozon beror förutom på önskad reduktionsgrad för läkemedelssubstanser som avses att renas bort (t.ex. oxazepam) dessutom på DOC-halt i vattnet samt förekomst av andra ozonförbrukande ämnen som nitrit och järn. Pilotförsöken vid Främby ARV visade t.ex. att eftersom DOC-halten i kväveretat vatten var 12 % lägre än i dagens utgående vatten från Främby, skulle ozondoser behöva vara högre ifall en kväverening inte införs.

### Kostnadsbild

Ozonerings är jämfört med andra kompletterande reningstekniker ett av de billigaste alternativen, speciellt sett utifrån investeringskostnaden. Detta kan delvis bero på antalet installationer som gör ozonerings till en standardteknik med många aktörer på marknaden som erbjuder lösningar. En bidragande faktor till relativt låg investeringskostnad är att de flesta anläggningar med ozonerings hade ett befintligt steg för biologisk polering som kunde användas, om så inte är fallet ökar investeringskostnaden avsevärt. En viktig aspekt vid implementering av ozonerings är den signifikant högre elförbrukning vid reningsverket som ozonerings innebär. Detta kan kräva en uppgradering av elförsörjningen vilket var fallet vid Nykvarnsverket i Linköping (Sehlén 2020).

I de fall ozoneringen implementeras som ett avslutande reningssteg behöver dock investerings- och driftkostnader för ytterligare en biologisk polering av ozonerat vatten tas hänsyn till. Denna polering kan bestå av en MBBR, GAK-filter, biologiskt aktiva sandfilter eller andra biofilter. En polerande MBBR och ett polerande biologiskt filter i form av ett sandfilter kan innebära samma reaktorvolym och liknande investeringskostnad att bygga.

### Miljöpåverkan

En av de största nackdelarna med tekniken att det är svårt att identifiera nedbrytningsprodukter som skapas vid ozonering av vatten som har en blandning av olika organiska ämnen och värdering av risker från dessa nedbrytningsprodukter. Som regel ökar den akuta toxiciteten av avloppsvatten efter ozonering. Risken för uppkomst av skadliga nedbrytningsprodukter behöver därför vägas in och en ozonering bör inte implementeras utan efterföljande biologisk polering.

Det är viktigt att ta hänsyn till bromidhalter när man överväger införande av ozonering eftersom ozonering oxiderar bromid till bromat och det kan leda till utsläpp av toxiska halter av bromat till recipient. Om bromidhalten är <100 µg/l brukar bromatbildning inte vara ett problem. Vid bromidhalt >400 µg/l rekommenderas inte att använda ozonering för rening från mikroföroreningar (Wunderlin, 2017).

Förutom risker med bildning av farliga biprodukter är det framför allt den höga energianvändningen vid ozonering och i samband med tillverkningen av flytande syre som dominerar miljöpåverkan. Totalt sett är dock energibehovet på samma nivå som för rening med t.ex. aktivt kol om tillverkning och regenerering av kolet räknas med. I motsats till tillverkning och regenerering av aktivt kol som sker utomlands så kommer dock energiförbrukningen vid ozonering leda till en mindre miljöpåverkan per kWh på grund av den mer miljövänliga elmixen i Sverige.

### Arbetsmiljö

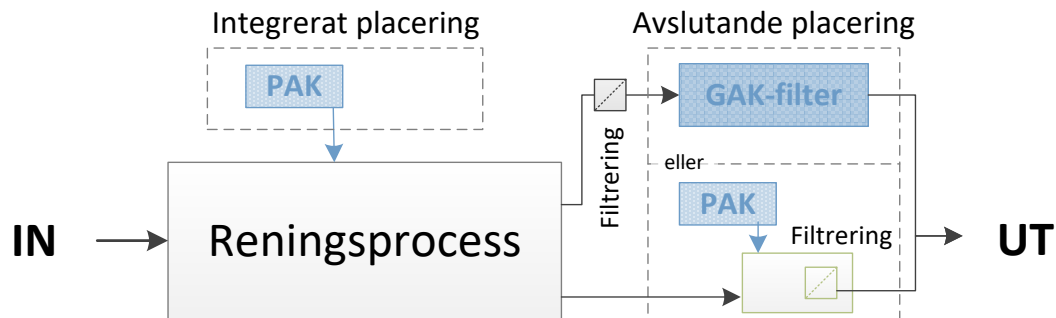
Eftersom ozon är ett kraftfullt oxidationsmedel är det viktigt att tänka på arbetsmiljörisker när ozon används som reningsmetod. Ozon är en instabil gas som vid förhöjda temperaturer kan intensifiera och även orsaka brand. Ozonet kan orsaka ögon-, hud och luftvägsirritation, misstänks kunna orsaka genetiska defekter och kan orsaka organskador genom lång eller upprepad exponering. Ozon har dock använts i många reningsverk och är således ingen okänd teknik. Ozoninstallationer är utrustade med flera säkerhetssystem som läckvarnare, gaslarm och ozondestruktör. Det krävs bra ventilation i alla utrymmen där ozon kan läcka och ozonsensorer med larm och automatisk nedstängning av ozongeneratoren vid läckage. Off-gas från kontaktreaktorn leds alltid genom ozondestruktion för att bryta ner den resterande ozonmängden i gasen. Även ozonhalten efter destruktorn är lämpligt att övervaka, speciellt om arbetsmiljörisken vid de lokala förutsättningarna bedöms som särskilt hög.

Om driftpersonal utrustas med gaslarm bör säkerhetsrisker kunna hanteras. Den kraftiga lukten av ozon redan vid låga, ofarliga halter gör att ozonemissioner är lätta att upptäcka. En annan arbetsmiljöaspekt som man behöver ta hänsyn till är hanteringen av flytande syre, framförallt med tanke på brand- och explosionsrisk.

## 4.2.2 Aktivt kol (PAK och GAK)

Aktivt kol är en vanlig teknik för att avlägsna olika substanser från förorenat vatten och har använts i t.ex. dricksvattenproduktion under många decennier. Den grundläggande effekten är adsorptionen av föroreningar på den aktiva kolytan som därför behöver ersättas med nytt kol när tillräckligt många platser är upptagna och reningseffektiviteten minskat till ett visst gränsvärde.

Behandling med aktivt kol kan göras med granulerat aktivt kol (GAK) som placeras i filterbäddar i ett separat steg eller med hjälp av pulveriserat aktivt kol (PAK) som antingen tillsätts till det biologiska steget eller i en separat process (Figur 4-3).



Figur 4-3. Implementeringsmöjligheter av rening med hjälp av aktivt kol.

Ett GAK-filter renar bort föroreningar inte bara med hjälp av adsorption utan även genom filterfunktionen (avskiljning av partikelbundna föroreningar) och en eventuell biologisk nedbrytning i filtret. De viktigaste aspekterna när det gäller teknisk installation av GAK-filter är att hantera de hydrauliska kapacitetsproblem som framför allt orsakas av mikrobiell tillväxt och höga partikelkoncentrationer som påverkar filterverkan i systemet. En låg halt suspenderade partiklar, organiskt material och närsalter är därför fördelaktigt och minskar behovet av backspolning av filtret. GAK-filter dimensioneras framförallt med tanke på den hydrauliska belastningen och kontakttiden (den så kallade EBCT - Empty Bed Contact Time) som bestämmer reaktorvolymen och hur frekvent kolet behöver bytas och ersättas med nytt eller regenererat kol.

Vid användning av PAK behövs en effektiv separering av PAK från vattenfasen och ett ultrafilter rekommenderas. Vid tillsats av PAK i huvudreningen bör det beaktas att PAK avskiljs med överskottsslammet vilket kan påverka möjligheterna till användning av slammet. PAK kan dessutom inte regenereras vilket innebär att ny PAK behöver tillsättas kontinuerligt och förbrukat PAK tas ut och destrueras, exempelvis genom förbränning av borttagen PAK. Vid användning av PAK i ett separat reningssteg finns viss möjlighet att undvika dessa problem. Vid dosering i befintliga aktivslamprocessen påverkas också slamegenskaper och extra reaktorvolym tas i anspråk. Vanligast är dosering av PAK till aktivslamprocessen men det har även demonstrerats att läkemedelsrening kan åstadkommas genom dosering av PAK till MBBR-processen (Cimbritz et al., 2019).

### Renings effektivitet

Erfarenheter med GAK-filtersystem i Sverige från bl.a. Hammarby Sjöstadsvverk och andra reningsverk visar på en över lag god reningsgrad. Föreningar med hög molekylvikt och låg löslighet i vatten adsorberas bättre än mycket vattenlösliga föroreningar. Avskiljningseffektiviteten i ett GAK-filter kommer att minska successivt fram tills kolet ersätts med nytt kol. För aktivt kol beror kapaciteten eller mängden kol per behandlad mängd avloppsvatten på det vatten som ska behandlas. Generellt är det fördelaktigt med ett så väl renat vatten som möjligt för att utnyttja kolets kapacitet för de föroreningar som avses renas. Dessutom har den totala halten av biologiskt stabila föreningar i vattnet (uttryckt som DOC) en negativ inverkan på reningen då dessa konkurrerar om plats på kolet.

Pilottester vid Främby ARV (Hedén et al., 2020) visar att en reningsgrad på minst 80 %, och i många fall upp mot 100 % uppnåddes för de flesta läkemedelssubstanserna. En tydlig minskning av reningseffekten för bl.a. diklofenak och oxazepam kunde dock observeras efter 10 000

bäddvolym. De olika kontakttider i GAK-filtren som undersöktes (7,5-30 min) visade att reningseffektiviteten för de flesta läkemedelsrester (bl.a. diklofenak och oxazepam) var alltid lite högre för kolonner med längre uppehållstid vid behandling av samma vattenvolym. Kontakttiden är dock direkt kopplat till bassängvolym och investeringskostnaden. En liten ökning av livslängden på kol ansågs inte vara motiverat jämfört med de extra investeringskostnaderna som den längre kontakttiden krävde. Däremot, diskuterades att användning av två kolfilter i serie uppskattades ge 50 % minskning av kolförbrukning för rening av 1 m<sup>3</sup> av vatten. Detta gäller dock bara om målet är att reducera halten av de läkemedelsrester som ger högst miljörisk med 90 % som medel. Vid lägre satta mål kommer kolbesparing vara lägre.

Även flera PFAS-ämnen reducerades konsekvent med GAK och reduktionen försämrades med tiden (Hedén et al., 2020). Generellt fanns inte någon tydlig skillnad mellan rening av nitrifierat och icke- nitrifierat avloppsvatten. För PFOS uppnåddes dock en högre reduktion (<90 %) i GAK-filtret efter den kompletterande MBBRen jämfört med GAK-filtret som kördes utan förbehandling (<60 %). Räknas reningseffekten av MBBRen in också (50 %) kan en signifikant PFOS reduktion åstadkommas med teknikkombinationen.

På grund av kolonnverkan, alltså att kolet som möter avloppsvattnet får en kapacitet som motsvarar en relativt hög halt av föroreningarna, bör kapaciteten av ett konventionellt GAK-filter vara signifikant högre än den för PAK i ett totalomblandat system i jämvikt vid en låg koncentration av lösta föreningar. Detta kan dock vägas upp av att PAK vanligtvis har en mindre partikelstorlek (5–50 µm) än GAK (100–2400 µm) och därmed större specifik adsorptionsyta. I litteraturen anges oftast också att PAK har en högre kapacitet än GAK vilket kan förklaras med just den specifika adsorptionsytan. I tillämpningen spelar dock andra effekter som processutformning, kontakttider, placering av reningssteget etc. en minst lika viktig roll.

Även vid användning av PAK så påverkar vattenkvaliteten och sammansättningen vilken mängd kol som behövs för att åstadkomma ett visst reningsmål. Utöver det är det kontakttiden som har en inverkan på reningseffektiviteten. Att använda PAK på redan biologiskt renat vatten ökar kolets förmåga att adsorbera de föroreningar som är avsedda att reduceras. Används PAK i huvudreningen kan däremot kontakttiden öka samtidigt som flera föroreningar konkurrerar om lediga adsorptionsplatser på kolet och kolets effekt på borttagningen av avsedda föroreningar minskar. Fleråriga tester av PAK-dosering i en delström i fullskala vid ARV Baden-Württemberg och ARV Mannheim, Tyskland (Alt och Mauritz, 2010), tyder på att omkring 10 mg PAK/l krävs för att avlägsna 80 % av de flesta av de undersökta ämnena vid genomsnittliga kontakttider på cirka en timme. Också tester med PAK-dosering i aktivslamprocessen vid ARV Düsseldorf-Süd (Tyskland) visade en signifikant bättre eliminering av karbamazepin, diklofenak och metoprolol med en uppehållstid på ca 30 timmar än utan PAK-doseringen. För andra substanser, såsom bensotriazol och sulfametoxazol, å andra sidan, kunde ingen signifikant förbättring av avlägsnande effektivitet observeras. Inte heller en ökning av PAK-doseringen till 20 mg/l gav en bättre reningseffekt (HydroIngenieure, 2012).

Försök med dosering av PAK till MBBR-processen visade relativt låg avskiljningsgrad av flera läkemedelsrester (bl.a. diklofenak) vid doser 5-10 mg PAK/l (Cimbritz et al., 2009). Avskiljning av diklofenak kunde förbättras från ca 25 % vid dos 10 mg/l till 60 % vid ökning av dosen till 20 mg PAK/l (≈1 mg PAK/mg DOC).

### Kostnadsbild

Kolförbrukningen dominerar kostnaderna för GAK-filter. En sammanställning av schweiziska och tyska installationer (Mulder et al., 2015) uppskattar kostnaderna till omkring 2,5 - 2,8 kr/m<sup>3</sup> för anläggningar på 20 000 - 300 000 pe. De höga kostnaderna beror framförallt på antagandet om en

begränsad kapacitet hos kolet med endast 8 000 EBV (Empty Bed Volumes, alltså hur många m<sup>3</sup> av vatten kan 1 m<sup>3</sup> av kol rena, vilket beräknas från GAK-kapaciteten) innan GAK behöver bytas ut. Detta är en väldigt låg kapacitet som ligger långt under kapaciteten som andra tester har visat (t.ex. Baresel et al., 2014). Den låga kapaciteten beror dock troligtvis på beräkningar för en ren adsorptionsprocess utan de andra reningseffekter som skulle uppstå under realistiska förhållanden med biologisk aktivitet.

Uppskattade kostnader i Främby projektet (Hedén et al., 2020) som gjordes av IVL baserat på pilottesterna tyder på en specifik kostnad på ca 1,25 kr/m<sup>3</sup> vid ett pris för aktivt kol på 32 000 kr/ton och inklusive investerings- och driftkostnader. Som även SystemLäk-projektet (Baresel et al., 2017c) visade så påverkar kostnaden för kolbyte den specifika kostnaden mest.

Även vid användning av PAK är kolbehovet den dominerande faktorn. I princip behövs som minst endast lagrings- och doseringsutrustning om PAK ska doseras till biosteget. Om biologiskt behandlat vatten renas med PAK krävs en separat kontaktreaktor och ett separationssteg, vilket ökar investerings- och övriga driftkostnader förutom kolanvändning avsevärt. Ett polerande reningssteg med PAK kan dock vara billigare från livscykelperspektivet än när PAK doseras till biosteget eftersom kolförbrukning är lägre då. Enligt Cimbritz et al. (2016) som sammanställer schweiziska och tyska installationer ligger kostnaderna på omkring 1,7 - 2,5 kr/m<sup>3</sup> för anläggningar på 20 000 - 300 000 pe. Eventuella extra kostnader för behandling av kontaminerat slam har inte tagits med i bedömningen. Beaktas endast PAK-delarna så står själva PAK-doseringen med både doseringsutrustning och förbrukning som största kostnadspost och ger en kostnad på 0,9- 1,9 kr/m<sup>3</sup>.

### Miljöpåverkan

En stor fördel med aktivt kol jämfört med t.ex. ozonering är att det inte skapas biprodukter och att substanserna är borttagna från vattnet och inte transformerade till andra substanser med okänd verkan. I samband med regenereringen av kolet bryts de organiska föreningarna ner. Om kolet används bara en gång och ersätts av nytt kol (vilket är ganska vanligt då regenerering av kolet kostar ca 80 % av vad nytt kol kostar) kan det förbrukade kolet förbrännas på en avfallsförbränningsanläggning. Som regel räcker det med förbränning i vanliga avfallspannor för destruktion av läkemedelsrester. Om avloppsvatten innehåller höga halter av väldigt stabila organiska föreningar (som PFAS) finns en risk att nedbrytning av dessa föreningar inte är fullständig och att det skapas farliga restprodukter. Högtemperaturförbränning är dock väldigt dyrt och kan kosta mer än vad själva kolet kostar och är sällan aktuellt för kvittblivning av kol från kommunala reningsverk.

Den största miljöpåverkan är tillverkningen och regenereringen av aktivt kol då stora resurser behövs i form av både utgångsmaterial (t.ex. stenkol eller kokosnötskal) och energi. Då tillverkning och även regenerering sker utanför Sverige används fossila bränslen i större uträkning för energiproduktion vilket resulterar i större miljöpåverkan än om t.ex. en svensk energimix skulle användas. Energiförbrukningen leder också till annan miljöpåverkan än klimatpåverkan som exempelvis eutrofiering och försurning. Att tillverkning och regenereringen sker utanför Sverige innebär också att transport av ny och förbrukad kol behöver ske vilket ger ytterligare en miljöpåverkan. En möjlig framtida industriell tillverkning eller regenerering av aktivt kol i Sverige skulle minska påverkan av både tillverkning, regenerering och transporter. Jämfört med den övriga miljöpåverkan står dock transporterna för endast en försvinnande del av den totala miljöpåverkan.

Tillsatsen av PAK i den existerande reningsprocessen innebär att PAK inklusive föroreningarna som adsorberats kommer att hamna i slammet och påverka möjligheten att använda slam på



jordbruksmark negativt. En regenerering av kolet blir vid dessa alternativ omöjlig på grund av separationssvårigheter från slammet. Vid användning av mindre effektiva separationstekniker som en vanlig flockning följt av eftersedimentering och/eller ett sandfilter finns det risk att en del av PAK med sorberade föroreningar kan nå recipienten.

### **Arbetsmiljö**

Möjliga arbetsmiljöproblem vid användning av framför allt PAK kan vara bildning av damm. Därför rekommenderas en hantering i slutna system. PAK-silo m.m. kan dessutom behöva utrustas med inert gas för att minska brand- och explosionsrisken. Vid användning av PAK, oavsett vilket doseringsalternativ som väljs, krävs att hänsyn tas vid val av material och utrustning då dessa utsätts för en mer korrosiv och abrasiv miljö. Rostfritt stål eller plast samt teknikutrustning som klarar PAK/vatten-blandningen krävs.

PAK doseras vanligtvis processen som en slurry med vatten, mest för att minska dammspridning men även för att blöta kolet så att sorptionsplatserna ska vara mer tillgängliga för föroreningar direkt efter dosering. Även GAK behöver blötas under 1 - 2 dygn innan kolfilter kan tas i drift. Blött kol förbrukar syre från luften och det finns risk att syrenivåer sjunker till farligt låga nivåer vid blötläggning av kol, vilket måste beaktas genom tillräcklig ventilation och syremätning i luften vid behov av inspektion av tankar med kol.

## 5 Reningsystem för aktuella reningsverk i Sundsvall

I följande avsnitt beskrivs först de kriterier som finns för val av reningsystem för avancerad rening vid de aktuella reningsverken. Valda reningsystem beskrivs och dimensioneringen inklusive kostnadsuppskattning presenteras.

### 5.1 Kriterier för val av system

De olika scenarierna för implementering som ligger till grund baseras på de tre huvudscenarier enligt beskrivningen i avsnitt 1.4.

#### 5.1.1 Reningsmål för läkemedelsrester i utgående avloppsvatten

Efter diskussion inom projektgruppen och internt beslut i projektets styrgrupp har följande reningsmål formulerats som utgångspunkt för utredningen:

1. Den avancerade reningen ska vara flexibel och anpassningsbar mot framtida behov;
2. Den avancerade reningen ska behandla 80 % av årsflödet, exklusive bräddningar;
3. Den avancerade reningen ska uppnå en effektiv rening av flera läkemedelsrester men i genomsnitt 80 %;
4. Den avancerade reningen ska ge en effektiv rening så att läkemedel som ingår i SFÅ ligger under gränsvärden/bedömningsgrunder i recipienten;
5. Den avancerade reningen ska ge en effektiv rening så att läkemedel som enligt recipientbedömning kan ha negativa miljöeffekter reduceras till halter under effekthalter i recipienten.

Det är viktigt att notera att dessa mål är endast satta för att kunna dimensionera och kostnadsuppskatta det tillkommande steget för läkemedelsreningen inom denna utredning och inte beslutade som ett generellt krav för framtida arbete med det valda alternativet av avloppsvattenhantering. Det bör också noteras att fokus för bedömningen här ligger på vattenfasen, och inte på exempelvis slamfasen. Olika reningsprocesser garanterar inte att föroreningar bryts ner till ofarliga beståndsdelar utan föroreningen kan också övergå från t.ex. vattenfas till slamfas eller brytas ned till metaboliter som i sig kan vara definierade som föroreningar. Det finns ett generellt problem i att endast de substanser som analysen avser blir synliga och rapporteras, vilket i vissa fall kan ge intryck av en effektiv reningsprocess men där resultaten i verkligheten endast avser just den analyserade substansen samtidigt som bildningen av farliga nedbrytningsprodukter förblir okänd.

#### 5.1.2 Anläggningsspecifika kriterier

Anläggningsspecifika kriterier som inkluderar bland annat förslaget processval, utformning och slamhantering har tagits hänsyn till i den mån information varit tillgänglig. Det råder t.ex. osäkerhet kring hur effektivt kvävereningen kommer att fungera under olika årstider på grund av det periodvis kalla avloppsvattnet. Denna aspekt har därför tagits med i bedömning av olika lösningar.

Även anläggningsspecifika aspekter som platstillgång, befintliga volymer som kan användas, arbetsmiljörisker vid specifika anläggningar (som lämpligheten att använda ozon på reningsverk insprängt i berg), logistik och tillgänglig eleffekt tas med i bedömningen.

Inom projektet har det vid ett provtillfälle gjorts analys av inkommande och utgående vatten för varje reningsverk avseende bromid och bromat. Bromidhalter varierade mellan 42 µg/l och 86 µg/l. Bromathalter låg <6 µg/l för alla prover. Resultatet indikerar att bromidhalterna är så låga att ozonering inte borde vara ett problem, dock är det endast ett prov vid ett tillfälle som analyserats.

Enligt Rambolls bedömning kommer susphalten efter flotation/biosedimentering vara ca 15 mg/l i medel med 30 mg/l som högsta halt.

De platsspecifika begränsningar som identifierats inom projektet beskrivs för varje reningsverk nedan.

#### **Tivoli ARV**

- Arbetsmiljörisker vid användning av ozon (se kapitel 4.2.1) har diskuterats inom MSVA som en kritisk aspekt. Om alla försiktighetsåtgärder vidtas bedömer IVL att det är säkert att installera en ozoneringsanläggning även i bergutrymme, som på Tivoli ARV. Syrgastank bör dock vara placerad utanför berget. Utifrån interna diskussioner i arbetsgruppen har det dock beslutats att inte utreda ozonering för Tivoli ARV utifrån de arbetsmiljörisker som identifierats av MSVA.
- Vid reningsverket finns ingen plats i befintliga bergutrymmen för tillkommande läkemedelsrening utan nya volymer behöver sprängas. Det finns dock reserverade områden i berget som tidigare var tänkta att användas för eventuell utbyggnad av reningsverket. Läkemedelsrening kunde byggas då i dessa reserverade områden.
- Ytterligare en annan aspekt är att man helst vill undvika onödiga transporter till reningsverket och i berget. Det bedöms dock att det inte går att undvika utökade transporter vid utbyggnad med läkemedelsrening. Transporter av GAK går inte att undvika men bedöms som hanterbara.

#### **Essvik ARV**

- På Essvik ARV finns det plats och inga andra begränsningar som skulle försvåra implementering av läkemedelsrening.

#### **Fillan ARV**

- På Fillan ARV finns det plats och inga andra begränsningar som skulle försvåra implementering av läkemedelsrening.
- Vid Fillan ARV har skivfilter valts som polerande reningssteg i de fördjupade utredningarna. Ifall ozonering väljs för läkemedelsrening är det lämpligt att byta skivfilter mot sandfilter för att åstadkomma polerande biologisk rening och avskiljning av partiklar samtidigt.

#### **Kubikborg ARV**

- Vid en framtida rening vid Kubikborg ARV finns det plats och inga andra begränsningar som skulle försvåra implementering av läkemedelsrening.
- I dagens layout av reningsverket har det reserverats plats för läkemedelsrening söder om reningsverket, utifrån ett antagande att läkemedelsrening kommer vara sista steget i reningsprocessen, efter sandfiltrering. I fall ozonering väljs för läkemedelsrening är det lämpligt att byta plats på sandfilter och läkemedelsrening så att sandfilter kan användas för polerande biologisk rening.



### 5.1.3 Tekniskspecifika kriterier

Samtliga förslag för implementering baseras på tillgänglig teknik med redovisad reningseffekt som möjliggör en direkt implementering. Ifall det finns utvecklingspotential i de valda systemlösningarna diskuteras dessa. Utvecklingspotential kan relateras t.ex. till material- eller teknikutveckling som medför minskade driftkostnader, lägre miljöpåverkan eller andra fördelar.

Samtliga föreslagna tekniklösningar för en avancerad rening innebär nya processer som kräver en ökad kunskap om dessa processer hos personalen. Eftersom samtliga föreslagna lösningar dock baseras på känd teknik bedöms kunskapsbrist inte som en utmaning vid val av system. Eventuella arbetsmiljöaspekter tas upp för respektive lösning.

De olika lösningsförslagen har också bedömts utifrån potentiella synergieffekter vid anläggningen. Dessa synergieffekter kan uppstå både uppströms eller nedströms den avancerade reningen.

## 5.2 Lämpliga system för de olika scenarierna

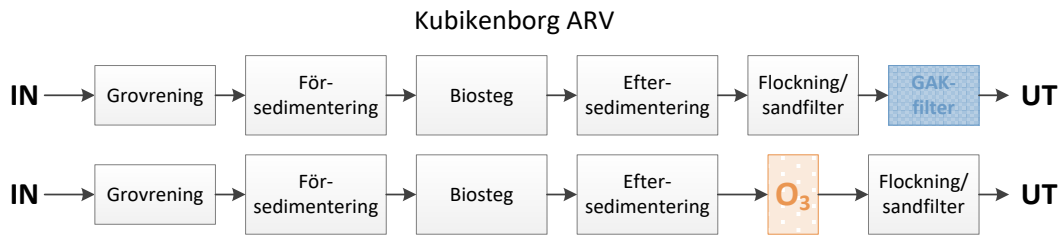
Kompletterande reningsprocessers driftstabilitet och resurseffektivitet ökar om en bra förfiltrering implementeras. Vid användning av aktivt kol kommer skiv- eller sandfilter som planeras att användas i Sundsvalls framtida avloppsvattenrening kunna stå för denna förfiltrering i samtliga scenarion. Vid implementering av ozoneringen har inte en extra förfiltrering tagits hänsyn till utan implementering sker efter slutsedimentering/flotation.

### 5.2.1 Scenario 1: Centraliserad avloppsvattenrening vid nytt ARV

Enligt detta scenario flyttas all avloppshantering till ett nytt centraliserat avloppsreningsverk vid Kubikenborg med utsläpp av renat avloppsvatten i Draget, se kapitel 1.4.1.

För scenario 1 antas samma halter av olika läkemedelssubstanser i inkommande avloppsvatten som vid de befintliga reningsverken (Tabell 2-1 - Tabell 2-3). Hormonerna etinylöstradiol och östron har hög nedbrytbarhet i biologisk rening med kväverening och bedöms inte förekomma i signifikanta halter i utgående avloppsvatten från nya verket. För diklofenak och oxazepam antas reningen vid det nya reningsverket ge en motsvarande reningseffekt som i dagens reningsverk vilket betyder halter i utgående vatten på 500 - 1000 ng/l för diklofenak och 2000 - 3500 ng/l för oxazepam.

Baserat på de beskrivna reningsteknikerna i avsnitt 4 och kriterier för val av reningssystem i avsnitt 5.1 har IVL tagit fram förslag på de mest relevanta tekniklösningarna för scenario 1. Urvalet grundar sig på en samlad bedömning av för- och nackdelar med varje teknik, kostnadsbild, flexibilitet, reningseffektivitet och anläggningsspecifika aspekter. Det rekommenderas antingen kolfilter (GAK) som avslutande reningssteg eller ozonering som näst sista reningssteg som kompletterande rening för borttagning av läkemedelsrester (Figur 5-1). I fall ozonering väljs som avancerat reningssteg rekommenderas en implementering före sandfilter för att kunna nyttja sandfiltret som polerande biologisk rening av ozonerat vatten. Det finns redan idag reserverade ytor för läkemedelsrening vid ett eventuellt framtida Kubikenborg ARV.



Figur 5-1. Lämpliga implementeringsalternativ av en avancerad rening för scenario 1.

## 5.2.2 Scenario 2: Centraliserad slambehandling vid Fillan ARV

Enligt detta scenario flyttas slambehandling (rötning och avvattning) från Tivoli ARV, Essvik ARV och yttre verk till Fillan ARV. Slam från Essvik ARV och yttre verk avvattnas på respektive reningsverk och transporteras torrt med TS halt på ca 25 %. Slam från Tivoli ARV överförs genom en överföringsledning utan avvattning (uppskattat TS-halt på 0,5 %). Allt slam rötas sedan på Fillan ARV och avvattnas. Rejektvatten från avvattning av slam leds till inkommande på Fillan ARV.

En av viktigaste mekanismerna av läkemedelsrening på ett traditionellt reningsverk är sorption till slam. Sorptionskapaciteten för samma ämne är olika för primärslam, bioslam och rötslam. Dessutom bryts en stor del av partiklarna ner i den anaeroba behandlingen vilket gör att sorberade läkemedelsrester släpper från de partiklarna. Rejektvatten från avvattning av rötslam har därför ofta mycket högre halter av läkemedelsrester än i inkommande vatten. Centraliserad slambehandling kommer därför innebära att en viss del av läkemedelsresterna som sorberats på slam på Tivoli ARV, Essvik ARV och yttre verk frigörs på Fillan ARV och belastar reningsprocessen via rejecktvattnet. Det har därför gjorts ett försök att kvantifiera hur centraliserad slambehandling på Fillan ARV kommer påverka utsläpp av de ämnen som innebär högst risk (se avsnitt 2).

Etinylöstradiol och östron har hög nedbrytbarhet i biologisk rening med kväverening. Därför borde inte halter i slam från Tivoli och Essvik ARV vara särskilt höga efter att kväverening införs på dessa verk. Även om visst släpp av etinylöstradiol och östron från slam skulle ske vid anaerob rötning på Fillan ARV bedöms hormonerna reduceras biologiskt bra i vattenreningslinjen. Därför har bara utsläpp av diklofenak och oxazepam från rejecktvattnet bedömts i fortsatt analys.

En teoretisk massbalans över flöden av diklofenak och oxazepam i reningsprocessen på Tivoli ARV och i slamhantering på Fillan ARV har gjorts genom att använda koefficienter som beskriver jämvikten mellan fast och löst ämne ( $K_d$ , solid-water partitioning coefficient) som finns beskrivna för diklofenak och oxazepam i litteraturen för olika typer av slam. Nedbrytning i rötammaren bedöms vara 30 % för båda ämnen.

Analysen för behandling av slam från Tivoli ARV visar att halten av diklofenak i rejecktatten från en fiktiv separat rötning av slammet skulle vara dubbelt så hög som halten i utgående vatten från Fillan ARV men att halten oxazepam skulle vara lägre. Beräkningar visar att rejecktatten från avvattning av slam från Tivoli ARV kommer öka medelflödet på Fillan ARV med ca 5 %. Utifrån beräknade halter i rejecktvattnet uppskattas att utsläpp av diklofenak vid Fillan ARV skulle öka med 9 % och utsläpp av oxazepam med 3 % på grund av rejecktatten från Tivoli ARVs slam. Rejektvatten från en fiktiv separat rötning av slam från Essvik ARV skulle ha ca 20 ggr högre halter av diklofenak och oxazepam jämfört med dagens utgående halter från Fillan ARV eftersom rötning av slam med höga inkommande TS-halter ger högre halter i rejecktatten. Men eftersom slam från Essvik ARV skulle levereras redan avvattnat är det bara små volymer rejecktatten som skulle

tillkomma med dessa halter, så mängder av diklofenak och oxazepam som kommer med rejektvattnet från slam från Essvik ARV är försumbara.

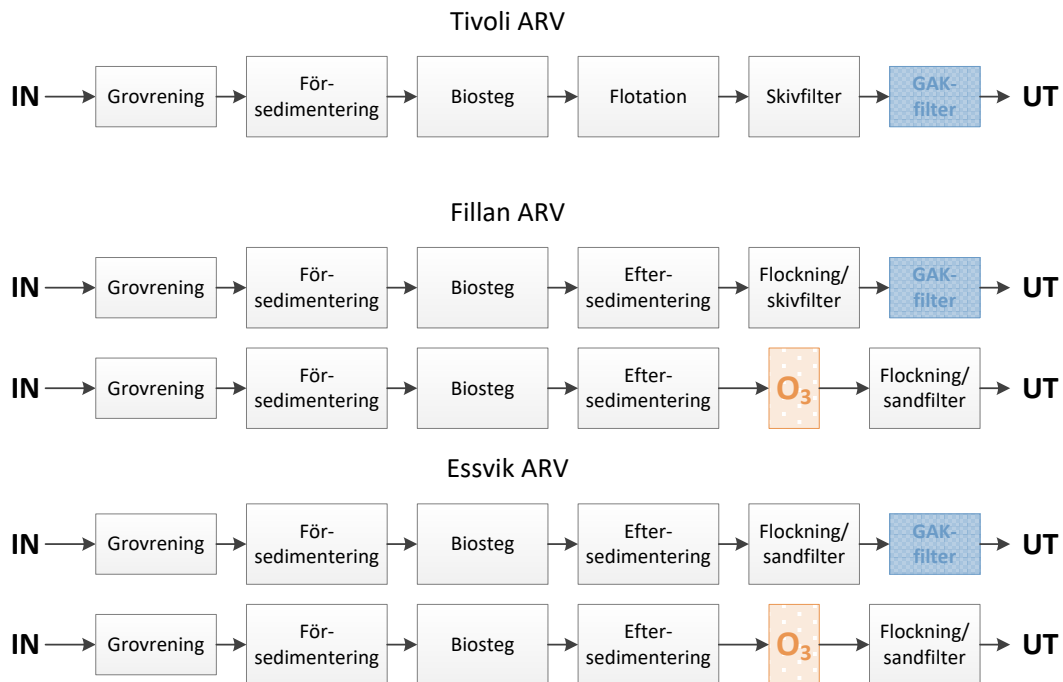
Sammanfattningsvis kan konstateras att en centraliserad slamhantering på Fillan ARV inte skulle innebära någon markant ökning av utsläppsmängder av diklofenak och oxazepam enligt vår bedömning. En eventuell haltökning på 9 % är försumbar i jämförelsen med de observerade variationerna av uppmätta halter i utgående vatten från Fillan ARV. Med likvärdiga förutsättningar för scenario 2 och 3 rekommenderas samma utformning av eventuella reningssystem för borttagning av läkemedelsrester. Dessa beskrivs samlat för scenario 2 och 3 i nästa avsnitt.

### 5.2.3 Scenario 3: Befintlig struktur

För scenario 3 innebär en utbyggnad av de befintliga reningsverken Essvik, Tivoli och Fillan ARV, se kapitel 1.4.2. Samma utformning av reningssystem rekommenderas för scenario 2 och 3 och beskrivs nedan.

Baserat på de beskrivna reningsteknikerna i avsnitt 4 och kriterier för val av reningssystem i avsnitt 5.1 har IVL tagit fram förslag på de mest relevanta tekniklösningarna för scenario 2 och 3. Urvalet grundar sig på en samlad bedömning av för- och nackdelar med varje teknik, kostnadsbild, flexibilitet, reningseffektivitet och anläggningsspecifika aspekter.

För Fillan och Essvik ARV rekommenderas antingen kolfilter (GAK) som avslutande reningssteg eller ozonering som näst sista reningssteg som kompletterande rening för borttagning av läkemedelsrester. På grund av platsspecifika kriterier (se kapitel 5.1.2) rekommenderas ingen ozonering vid Tivoli ARV, utan endast en behandling med avslutande GAK-filter anses vara relevant vid anläggningen om läkemedelsrening ska implementeras. Vid utbyggnad av Fillan ARV med en eventuell ozonering rekommenderas att planerade skivfilter ersätts med sandfilter för att kunna åstadkomma polerande biologisk rening och avskiljning av partiklar samtidigt. Vid Essvik ARV är det den föreslagna utbyggnaden med sandfilter som rekommenderas att användas som avslutande polersteg för ozonerat avloppsvatten för att ta bort eventuella bi- och nedbrytningsprodukter (se Figur 5-2).



Figur 5-2. Lämpliga implementeringsalternativ av en avancerad rening för scenario 2 och 3.

## 5.3 Dimensionering och kostnadsuppskattning

Investeringskostnaden för läkemedelsrening med GAK och ozonering har tagits fram utifrån sammanställning av investeringskostnader som beräknats i andra projekt. På det viset kan investerings- och driftkostnaden jämföras grovt mellan olika alternativ och tekniker utan att behöva ta mycket tid och resurser för framtagande. Osäkerheten är dock högre än vad som kunde ha nåtts genom att anläggningarna förprojekteras och prisuppgifter för komponenter och anläggningsdelar hämtas från leverantörer. Den valda metoden anses dock vara tillräckligt säker för att belysa vilken kostnadsnivå man kan förvänta sig och visa skillnader på kostnader för läkemedelsrening med aktivt kol jämfört med ozonering.

### 5.3.1 Dimensionerande flöde

Dimensionerande flöde är en av de viktigaste parametrarna som påverkar hur kostnadseffektiv läkemedelsreningen är. Vid val av dimensionerande flöde för läkemedelsreningssteget kan man utgå från status i recipienten och bedöma hur mycket av utsläppet som måste reduceras för att nå acceptabel risk i recipienten. Utifrån den totala nödvändiga reduktionsmängden kan man sedan överväga att antingen bygga en anläggning som klarar ett högre flöde men med lite lägre reduktionsgrad eller dimensionera en anläggning som har högre reduktionsgrad men behandlar en mindre andel av flödet.

Dimensionering av flera läkemedelsreningsanläggningar i Sverige och utomlands visar att dimensionerande flöden i förhållandet till medelflöde varierar kraftigt.

Utifrån erfarenheter från andra anläggningar och den genomförda recipientsbedömningen har MSVA valt att sätta ett mål att minst 80 % av allt avloppsvatten som behandlas på reningsverket (exkl. bräddning) ska genomgå läkemedelsreningssteget (se 5.1.1). Framtida anslutning till reningsverket förväntas öka något samtidigt som åtgärder på ledningsnätet förväntas resultera i minskat inläckage. I de fördjupade utredningarna om framtida avloppsvattenhantering i Sundsvall

har det därför antagits att framtida flöden kommer att vara lika som idag. Utifrån timflöden under 2018 på Tivoli, Essvik och Fillan ARV har ett dimensionerande maxflöde beräknats som ger rening av 80 % av inkommande vatten exkl. bräddning. Detta flöde har valts till maxflöde för läkemedelsreningssteget (Tabell 5-1).

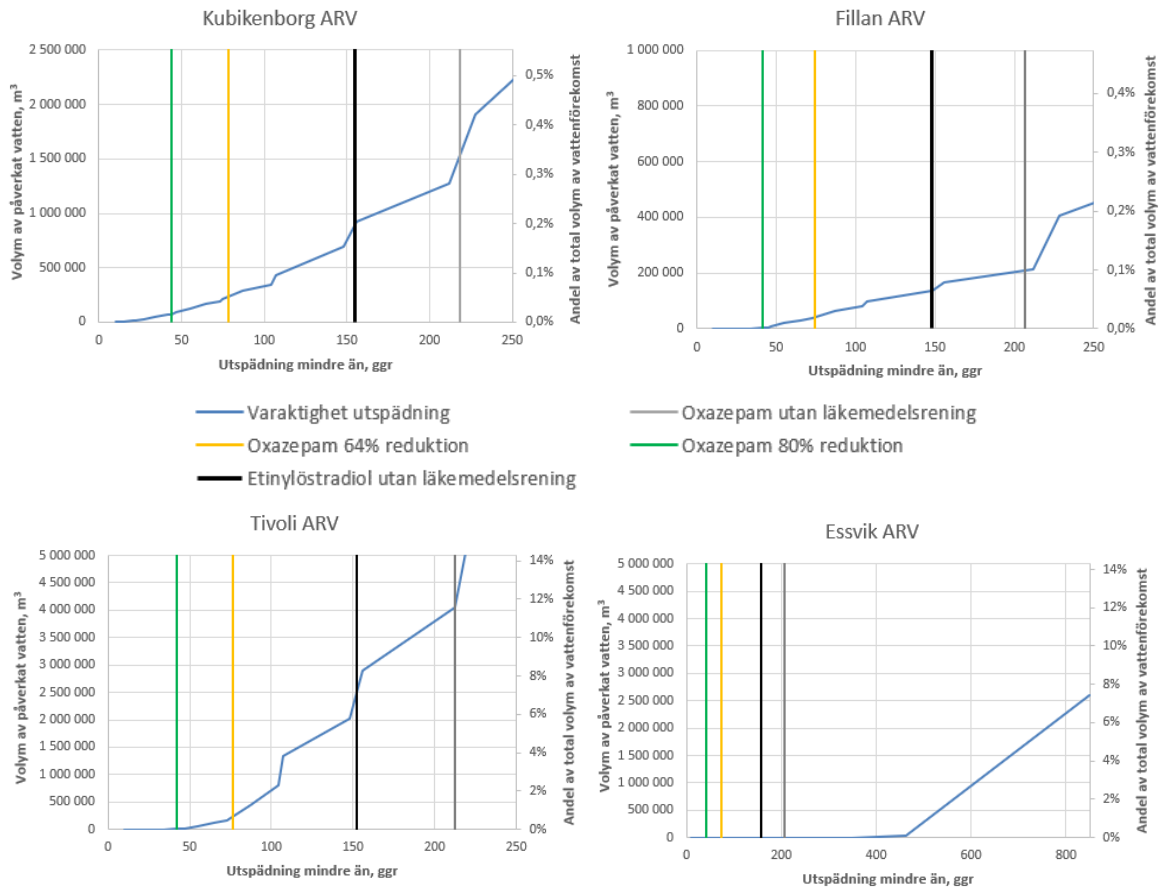
**Tabell 5-1. Dimensionerande flöde för avancerad rening (observera att framtida  $Q_{dim}$  vid Fillan och Essvik ARV är lägre än dagens  $Q_{dim}$ ).**

	$Q_{max\_läkemedelsrening}$ ( $m^3/h$ )	$Q_{medel}$ ( $m^3/h$ )	$Q_{dim}$ ( $m^3/h$ )
<b>Scenario 1</b>			
Kubikborg ARV	1860	1740	2360
<b>Scenario 2 och 3</b>			
Essvik ARV	330	277	300
Fillan ARV	530	468	500
Tivoli ARV	1000	994	1080

### 5.3.2 Beräknad reningseffekt

Implementering av en avancerad rening för borttagning av läkemedelsrester som beskrivs är baserad på en genomsnittning minskning av de uppmätta läkemedlen i utgående avloppsvatten från de befintliga reningsverken med 80 % för 80 % av årsflödet (exkl. bräddningar). Eftersom det antas att kväverening kommer att implementeras vid de tre befintliga anläggningarna samt vid ett eventuellt nytt centraliserat verk så kommer de två hormonerna som identifierades som risker för recipienten redan renas bort med mer än 80 % och utgående halter beräknas ligga under detektionsgränsen. Vid implementering av en avancerad rening oavsett teknik kommer dessa halter reduceras ytterligare även om det inte har inkluderats i modelleringen i projektet. De två andra läkemedelssubstanserna som identifierats med en viss risk att påverka recipienten negativt (oxazepam och diklofenak) kommer reduceras i varierande grad. Vid den föreslagna dimensioneringen för ozoneringen kommer diklofenak att kunna reduceras nästan helt medan oxazepam troligtvis endast kommer kunna reduceras med <80 % (se Figur 5-9). Vid implementering av kolfilter förväntas reningseffektiviteten för dessa två substanser bli motsatt. Diklofenak skulle renas bort mindre effektivt än oxazepam och båda med en genomsnittligt lägre effektivitet än genomsnittet för alla läkemedel som dimensioneringen syftar att avskilja (60 respektive 70 %) (se Figur 5-6).

I delprojekt 1 genomfördes en recipientbedömning för dagens utsläpp av läkemedel, utsläpp efter införande av kväverening samt utsläpp efter eventuell införande av läkemedelsrening med antagande att utsläppet av alla aktuella läkemedelsrester reduceras med 80 % (Bilaga 9.1). Reningsmål för dimensionering av läkemedelsrening har av projektens styrgrupp definierats som att den avancerade reningen ska behandla 80 % av flödet och att reduktionen i detta flöde ska vara i genomsnitt 80 %. Därmed bli den resulterande genomsnittliga reningseffekten 64 %. Figur 5-3 illustrerar hur val av reningsmål ändrar påverkad vattenvolym i recipienten. De blå linjerna i graferna visar sambandet mellan utspädning och påverkad vattenvolym. Med kväverening är oxazepam det ämne som kräver högst utspädning för att uppnå halter under respektive PNEC/bedömningsgrund enligt recipientbedömningen (Bilaga 9.1). I figuren visas därför vilken utspädningsgrad som krävs om läkemedelsrening inte införs (grå linje), om utgående mängd reduceras med 64 % enligt projektets definierade reningsmål (gul linje) och om den reduceras med 80 % enligt recipientbedömning (Bilaga 9.1) (grön linje). Även utspädningsgrad för etinylöstradiol utan läkemedelsreningssteget men med kväverening visas i figuren (svart linje). Skärningspunkter mellan kurvan som visar varaktigheten och linjerna med utspädningsgrad för olika reningsgrader visar vilken vattenvolym som påverkas vid respektive reningsgrad.



Figur 5-3. Påverkansvolym vid olika reningsgrad.

Även andra mikroföroreningar som t.ex. flamskyddsmedel och PFOS kommer kunna reduceras vid införande av en avancerad rening. En implementering av kolfilter kommer troligtvis ge bättre reningseffekt för dessa än vad ozonering skulle kunna åstadkomma. För samtliga föroreningar gäller dock att den faktiska reningseffekten som kan åstadkommas behöver undersökas med hjälp av pilottester med den aktuella vattenmatrisen, vilket innebär efter införandet av kvävereningen.

### 5.3.3 Kolfilter (GAK)

Kostnader för installation och drift av ett GAK-filter bestäms i stor utsträckning av priset för GAK och utbytesintervallet. För rening av avloppsvatten från läkemedelsrester är kostnad för byte av kol den dominerande delen av kalkylen. För att minska driftkostnader kan kolfilteranläggning för läkemedelsrening dimensioneras för att ha två filter i serie vilket ger en högre investeringskostnad men en lägre driftkostnad. Dessutom kan man välja att ha olika långa kontakttider i kolfilter (vanligtvis 10 - 30 min) vilket i stor utsträckning påverkar investeringskostnaden. Kolfilteranläggning har dimensionerats utifrån de mål för rening av läkemedelsrester som MSVA har formulerat, dvs att reduktion av läkemedelsrester från det vatten som genomgår läkemedelsreningssteget ska i medel vara minst 80 % och att de ämnen som enligt recipientbedömningen kan ha negativa miljöeffekter eller som har fastställt gränsvärde/bedömningsgrund ska reduceras till under respektive effekthalt/gränsvärde. Utifrån detta mål anses det inte vara ekonomiskt motiverat att installera kolfilter i två steg eftersom den besparingen i driftkostnaden inte är tillräckligt hög för att uppväga den högre investeringskostnaden. Tvåstegsfilter är motiverat endast om reningskravet/reningsmålet är mycket hårt. De viktigaste dimensioneringsparametrarna sammanställs i Tabell 5-2.

Tabell 5-2. Dimensionering av kolfilter.

		Scenario 2 & 3			
		Scenario 1 Kubikensborg	Essvik	Fillan	Tivoli
Vald ytbelastning kolfilter	m/h	10	10	10	10
Tillgänglig filteryta	m <sup>2</sup>	186	33	53	100
Filteryta ett filter	m <sup>2</sup>	40	12	20	20
Antal aktiva filter	st	5	3	3	5
Antal filter reserv/backspolning/kolbyte	st	1	1	1	1
Bredd	m	8	4	5	5
Längd	m	5	3	4	4
Kolbädd	m	1,5	1,5	1,5	1,5
Kolvolum ett filter	m <sup>3</sup>	60	18	30	30
Kolvolum aktiva filter	m <sup>3</sup>	300	54	90	150
Kolvolum alla filter	m <sup>3</sup>	360	72	120	180
EBCT om alla filter i drift vid Q <sub>max</sub>	min	11,6	13,1	13,6	10,8
EBCT om alla filter i drift vid Q <sub>medel</sub>	min	16,8	20,7	20,7	14,8
EBCT om aktiva filter i drift vid Q <sub>max</sub>	min	9,7	9,8	10,2	9,0
EBCT om aktiva filter i drift vid Q <sub>medel</sub>	min	14,0	15,5	15,5	12,3

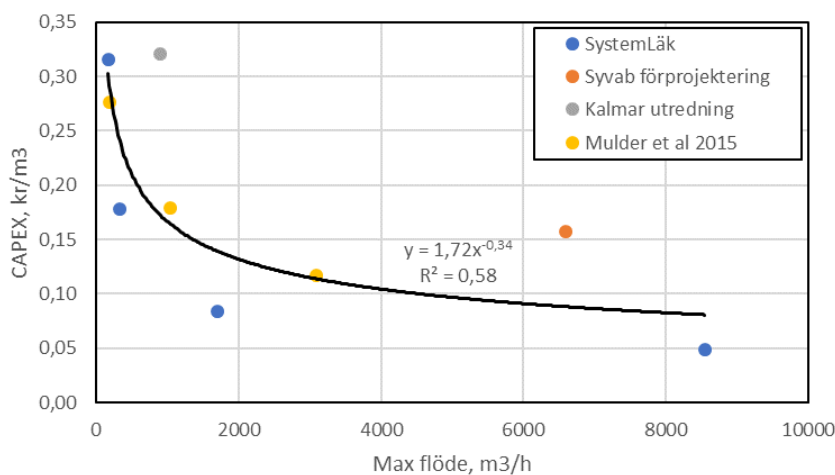
### Investeringskostnader för GAK från referensprojekt

Svårigheten med att använda prisuppgifter från andra kalkyler är att olika anläggningar är dimensionerade för olika kontakttider och ytbelastningar. Vissa anläggningar är dimensionerade som 1-stegsfilter och vissa som 2-stegsfilter. Vissa investeringskostnader redovisas som budgetkalkyl från entreprenörer och vissa inkluderar alla påslag för oförutsedda kostnader, byggherrekostnader, försäkringar, uppstart och även moms. Det går således inte att jämföra flera kostnader för läkemedelsrening utan att veta hur anläggningen är dimensionerad och vad som ingår i kalkylen.

- Kostnadsberäkningar inom projektet SystemLäk (Baresel et al., 2017c) som tagits fram för svenska förhållanden tillsammans med både svenska och utländska teknikleverantörer gav en uppskattad investeringskostnad (CAPEX) för en kolfilteranläggning på mellan 0,32 kr/m<sup>3</sup> och 0,05 kr/m<sup>3</sup> för anläggningsstorlekar på 10 000 pe respektive 500 000 pe och maxflödet på 171 - 8 540 m<sup>3</sup>/h. Anläggningen har dimensionerats för ett filter i serie och kontakttid på 9 min vid normal drift. Kostnaden inkluderar bara direkta kostnader, dvs. inga påslag. I kalkylen antas även att kostnad för bygg och mark är ca 50 % av totala kostnaden, vilket är ganska lågt för en kolfilteranläggning. En stor del av kostnaden är just betongbassänger. Utifrån andra kalkyler har man sett att kostnader för bygg/mark utgör ca 2/3 av totala kostnaden. Kostnadsberäkningen har därför uppdaterats till den högre andelen av mark/bygg.
- En beräkning av investeringskostnader baserad på dimensioneringsregler för schweiziska och tyska installationer (Mulder et al., 2015) skattar specifika investeringskostnader till 0,4 - 0,6 kr/ m<sup>3</sup> för anläggningar på 20 000 - 300 000 pe, dvs mycket högre än beräknats i SystemLäk-projektet. De högre kostnaderna beror framför allt på mycket längre kontakttid (30 min) och att alla byggherrekostnader och även moms inkluderas som påslag med 65 % på de direkta kostnaderna. Om man räknar om kalkylen till samma förutsättningar och antaganden som användes i SystemLäk projektet hamnar investeringskostnaden på 0,12-0,28 kr/m<sup>3</sup>.
- Det har idag endast byggts en fullskaleanläggning för rening av avloppsvatten från läkemedelsrester med GAK i Sverige (Simrishamn). Den är dock byggd som ett resultat av finansiering från Vinnova som finansierade en del av utrustning och flera entreprenader som även inkluderade ozoneringsanläggning och andra installationer. Kostnad för bara kolfilteranläggning är därför svårt att separera från andra kostnader.

- I förstudie om införande av läkemedelsrening på Himmerfjärdsverket som har gjorts i samarbete mellan Syvab, IVL och Ramboll har Ramboll gjort en kostnads kalkyl för en kolfilteranläggning utformad som tvåstegsfilter med kontakttid på 12,5 min i varje filter (25 min totalt) och dimensionerat för ett flöde på 6 600 m<sup>3</sup>/h. Investeringskostnad inklusive alla påslag men exklusive moms har beräknats till 0,53 kr/m<sup>3</sup>. Om man räknar om kalkylen till samma förutsättningar och antaganden som användes i SystemLäk projektet hamnar investeringskostnaden på 0,16 kr/m<sup>3</sup>.
- Kalmar Vatten har gjort utredning och pilotförsök med rening av utgående avloppsvatten i GAK-filter och beräknat kostnaden för införande av läkemedelsrening i fullskala i samarbete med leverantörer (Edefell et al., 2019). Årskostnaden anges till ca 8 Mkr/år inkl. driftkostnad på 3,5 Mkr/år. Anläggningen är dimensionerad för ett flöde på 900 m<sup>3</sup>/h. Specifik CAPEX exkl. påslag omräknat till kortare kontakttid och högre ytbelastning hamnar på ca 0,32 kr/m<sup>3</sup>.

En sammanställning över kostnader från alla dessa källor visar på en stor spridning av investeringskostnader (Figur 5-4). Det är dock tydligt att specifik kostnad ökar markant vid dimensionerande flöden lägre än 2 000 m<sup>3</sup>/h.

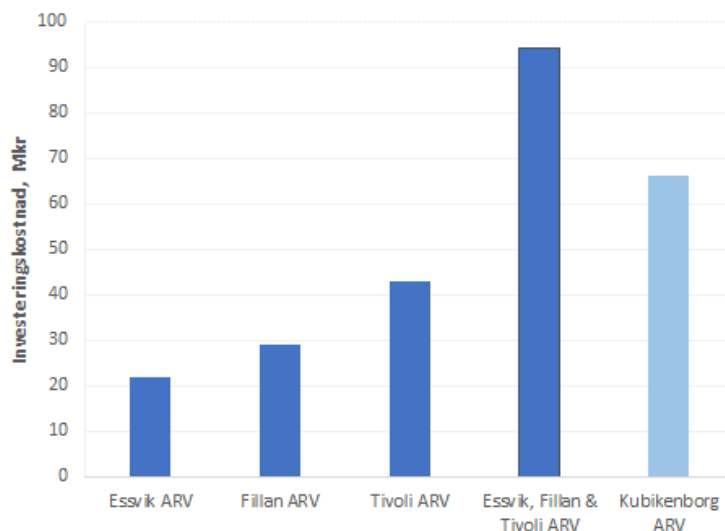


Figur 5-4. Specifik investeringskostnad som funktion av dimensionerande flöde från olika projekt (exkl. påslag).

### Bedömda investeringskostnader för GAK vid MSVA

Investeringskostnader för de fyra studerade reningsverken har tagits fram från referenskurvan i Figur 5-4. Det har vidare antagits 20 % påslag för oförutsedda kostnader och 20 % påslag för byggherrekostnader. Den beräknade investeringskostnaden (Figur 5-5, Tabell 5-3) uppgår till >90 Mkr sammanlagt för de tre befintliga reningsverken och till runt 66 Mkr för Kubikenborg ARV, vilket även inkluderar överbyggnaden. Eftersom det idag inte finns plats för ett läkemedelsreningssteg på Tivoli ARV behöver nya volymer sprängas i berg för placering av läkemedelsreningen. Enligt andra utredningar som MSVA gjort ligger kostnaden för sprängning på ca 2 000 kr/m<sup>3</sup>. Enligt en preliminär kostnadsbedömning som IVL gjort ligger kostnaden för sprängning på samma nivå som kostnaden för att bygga en överbyggnad (med antagande att kostnad för byggnad är 15 000 kr/m<sup>2</sup>). Det har därför inte gjorts någon justering för just sprängningen i kostnadsbedömningen.

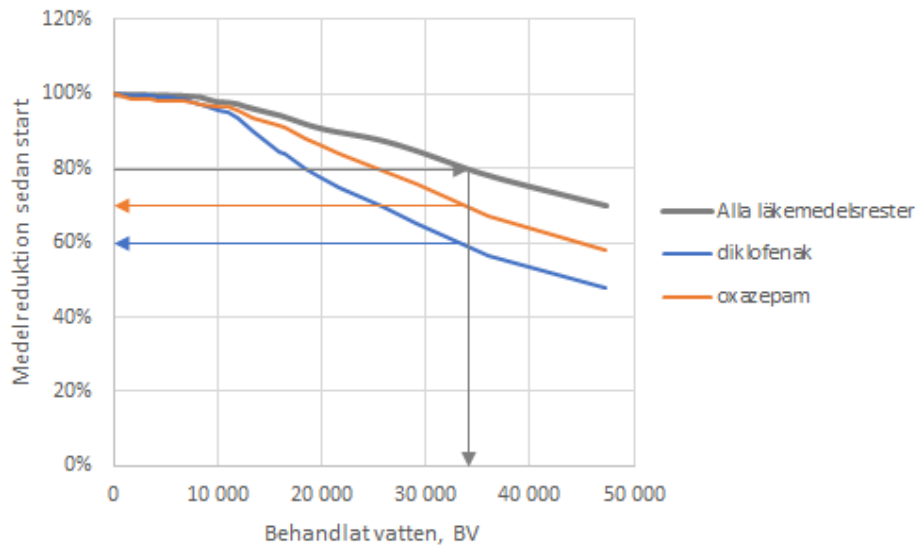




Figur 5-5. Beräknad investeringskostnad för läkemedelsrening med GAK-filter (inkl. påslag).

#### Bedömda driftskostnader för GAK vid MSVA

Den största kostnadsposten för drift av en kolfilteranläggning är kostnad för kolbyte. Den kostnaden beror på pris av GAK (vilket varierar i området 8-32 kr/kg) och på kolbytesintervall, vilket uttrycks i bäddvolym av renat vatten (BV). I olika källor anges kolbytesintervall mellan 8 000 BV (Mulder et al., 2015) till >60 000 BV (Baresel et al., 2017a). Utbytesintervall beror på typ av GAK, vattensammansättning, filterdesign och reningsmål. För bedömning av kolförbrukning i detta projekt användes aktuella resultat från pilotförsök genomförda av Falu Energi och Vatten och IVL vid Främby ARV (Hedén et al., 2020). Genombrottskurvor för diklofenak, oxazepam och alla analyserade läkemedelsrester (samma omfattning som i prover analyserade i detta projekt) räknats om till medelreduktion sedan start av försöken (Figur 5-6). Man kan se från figuren att efter behandling av ca 34 000 BV sjönk medelreduktionen av läkemedelsrester sedan start av försöken till 80 %. Det är värt att notera att medelreduktionsgraden för alla läkemedelsrester vid 34 000 BV är ca 50 % men eftersom reduktionsgraden är hög i början, när kolet har mycket av kapacitet kvar, blir medelreduktionen just 80 %. I en fullskalanläggning kan man planera kolbyten så att några filter har färskt kol och några äldre kol för att undvika ha varierande reduktionsgrad över tid. Det är dock lättare att göra i större anläggningar med fler filter.

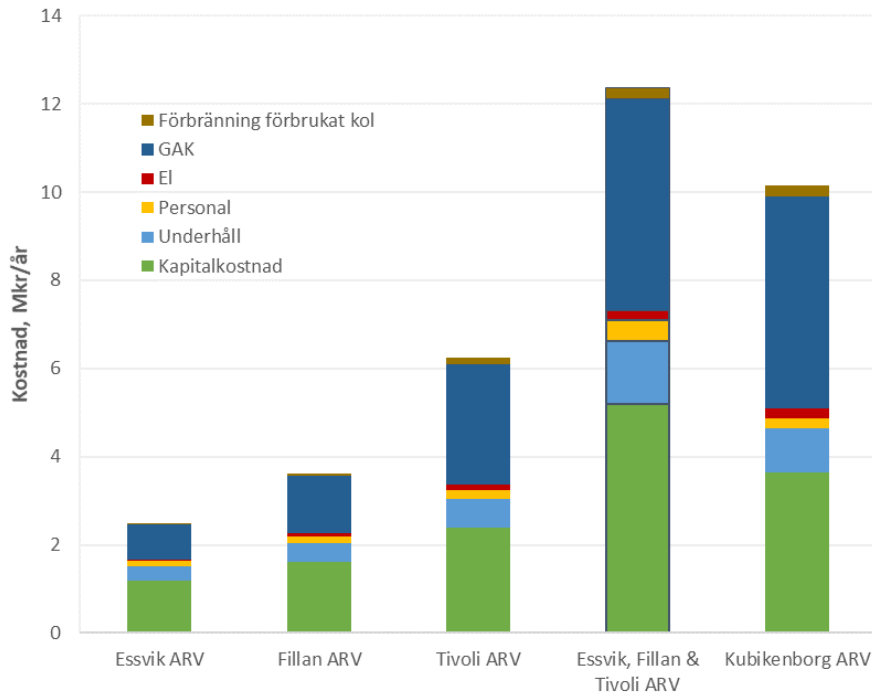


Figur 5-6. Reduktion av läkemedelsrester i försök vid Främby ARV (Hedén et al 2020).

Driftskostnaden för implementering av GAK vid MSVA har beräknats utifrån följande nyckeltal, antaganden och priser:

- **Underhåll:** 1,5 % av investeringskostnaden per år;
- **Personal:** Timpris 500 kr/h; antal timmar: 250 h/år för Essvik ARV, 300 h/år för Fillan ARV, 400 h/år för Tivoli ARV och 450 h/år för Kubikensborg ARV;
- **El:** Elförbrukning 0,015 kWh/m<sup>3</sup> (motsvarar pumphöjd på 2,5 m med pumpeffektivitet på 50 %); aktuellt elpris inkl. nätavgifter och elavgifter för 2019: Essvik ARV – 1,15 kr/kWh, Tivoli ARV – 1,35 kr/kWh, Fillan ARV – 1,30 kr/kWh, Kubikensborg ARV – antagen 1,35 kr/kWh.
- **GAK:** Pris 29 kr/kg inkl. leverans, vilket är pris för Filtrasorb 400 med uppskattat leveranspris till Sundsvall enligt uppgift från Chemviron (Herrlach, 2020);
- **Destruktion:** GAK – förbränning; pris 750 kr per ton av blött GAK (densitet ca 1 t/m<sup>3</sup>). Priset avser förbränning av icke-farligt avfall från tidigare projekt.
- **Avskrivning:** Kapitalkostnad är framtagen utifrån Figur 5-4. I de underliggande kalkylerna används kalkylränta på 4 % och avskrivningstid på 15 år för utrustning och 30 år för mark/bygg.

Driftkostnaderna per år beräknas ligga på 7,2 Mkr för de tre befintliga anläggningarna och 6,5 Mkr för Kubikensborg ARV. Detta ger en årskostnad för scenario 1 (Kubikensborg ARV) av 10,1 Mkr som är ca 2,2 Mkr lägre än utbyggnad av de befintliga verken i scenario 2 och 3 (Figur 5-7, Tabell 5-3). Specifik kostnad beräknas till 0,9 kr/m<sup>3</sup> för scenario 1 och 1,1 kr/m<sup>3</sup> för scenario 2 och 3.



Figur 5-7. Beräknad årskostnad vid läkemedelsrening med GAK-filter.

Tabell 5-3. Sammanställning av kostnader för införande av läkemedelsrening med GAK-filter.

	Essvik ARV	Fillan ARV	Tivoli ARV	Essvik, Fillan & Tivoli ARV	Kubikenborg ARV
Investeringskostnad, Mkr	22	29	43	94	66
Kapitalkostnad, Mkr/år	1,2	1,6	2,4	5,2	3,6
Driftkostnad, Mkr/år	1,3	2,0	3,9	7,2	6,5
Total årskostnad, Mkr/år	2,5	3,6	6,3	12,4	10,1
Specifik reningskostnad, kr/m <sup>3</sup>	1,4	1,2	1,0	1,1	0,9

De beräknade årskostnaderna visar att de två största komponenterna är kapitalkostnad och kostnad för byte av GAK. Kostnad för byte av GAK kan eventuellt minska genom att använda billigare sorter av kol eller skicka GAK för regenerering. Pris av regenererat kol (inklusive transport) och pris av billigare kolsorter ligger på 12 - 19 kr/kg. Det finns således potential för minskning av de totala reningskostnader med 15 - 25 % om reaktiverat GAK eller GAK av lägre kvalitet används.

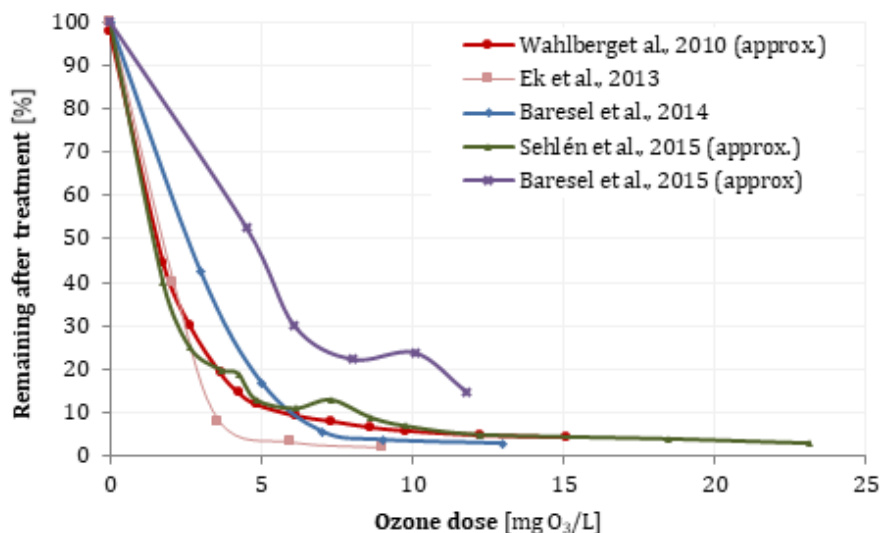
### 5.3.4 Ozonering O<sub>3</sub>

För kostnadsberäkning av ozoneringsanläggning vid Fillan, Essvik och Kubikenborg ARV har det antagits att vattenkvaliteten efter flotation/biosedimentering är tillräcklig för applikation av ozonering. Susphalten påverkar ozonering på flera olika sätt: (1) risk för igensättning vid inblandning med ejektor; (2) risk för igensättning om används för kylning; (3) eventuell lite sämre effektivitet av nedbrytning av mikroföroreningar p.g.a. reaktion med suspenderat material. Eftersom det endast är ca 10 % av flödet som leds genom ejektorn är det lämpligt att installera en separat ytterligare filtrering av den sidoströmmen för att undvika igensättning. Vid rätt val av värmeväxlare borde igensättning i värmeväxlare inte vara ett problem. Om det visar sig att

effektiviteten är lite sämre kan det kompenseras med en lite högre dos. Det bedöms att en något högre dos är mycket mer kostnadseffektivt än att förfiltrera hela vattenströmmen före ozoneringen.

Kostnaden för installation av en ozonanläggning beror på dimensionerande flöde, vilken dimensionerande ozonhalt som använts, om syrgasen produceras på plats eller levereras samt om det finns tillgång till en biologisk process som kan användas för polerande rening. Den sistnämnda parametern har betydande roll då kostnaden för läkemedelsrening kan dubblas om ozoneringsanläggningen behöver kompletteras med en biologisk barriär. Om det finns sandfilter eller annan biologisk barriär på befintligt reningsverk är det lämpligt att installera ozoneringen före det steget för att undvika att bygga ett till.

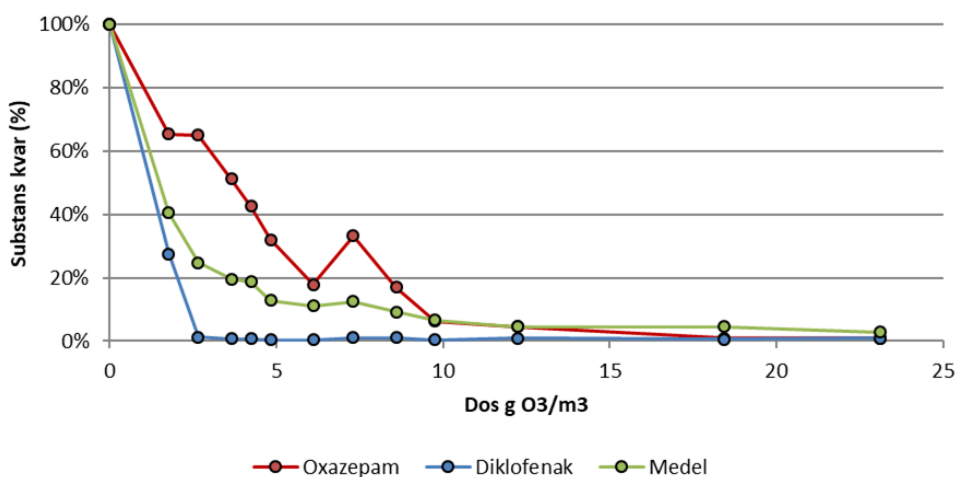
Ozoneringsanläggningar dimensioneras utifrån en ozondos som bestäms utifrån tidigare genomförda labb eller pilotförsök och önskad reningsgrad. Praktiska försök ingick inte i denna förstudie varför rimliga ozondoser som kan behövas för att nå målen har antagits utifrån tidigare genomförda försök i andra studier. I Baresel et al. (2015) finns t.ex. en sammanställning av flera ozoneringsförsök vid svenska ARV (Figur 5-8). Det är tydligt att i de flesta studierna når man i genomsnitt >80 % reduktion av läkemedelsrester vid en ozondos av 5 mg/l eller högre.



Figur 5-8. Dos-respons samband vid rening av avloppsvatten från läkemedelsrester i senaste studier (Baresel et al 2015).

Det är värt att notera att den erforderliga ozondosen beror på halten av DOC och/eller COD i utgående vatten. Halter av DOC var något olika mellan studierna som redovisas i Figur 5-8 men låg nära 10 mg/l. Det har antagits att COD- och DOC-halter i utgående vatten från de aktuella reningsverken kommer vara liknande som i dessa studier efter att mer långtgående biologisk rening har implementerats. Redan idag ligger COD-halten i renat vatten från Essvik och Fillan ARV på ca 35 mg/l som medel, vilket är ungefär samma som i de andra studierna. Om avloppsvatten innehåller höga nitrithalter kommer effektiviteten av ozonering vara lägre eftersom ozon reagerar med nitrit och 3,4 mg O<sub>3</sub> förbrukas för varje mg nitritkväve. Enligt Rambolls bedömning borde nitritkvävehalten vara 0,2 mg/l som medel både under varma och kalla perioden, vilket är en vanlig nitrithalt för väl fungerande biologiska reningssteg med kväverening. Utifrån de antagandena är en ozondos på 5 mg/l vald för dimensionering. Dos-respons samband från en av studierna (som dock har visats i flera andra studier också) visar att vid 5 mg/l kommer oxazepam reduceras med ca 70 % och reduktionen av diklofenak borde vara högre än 90 % (Figur

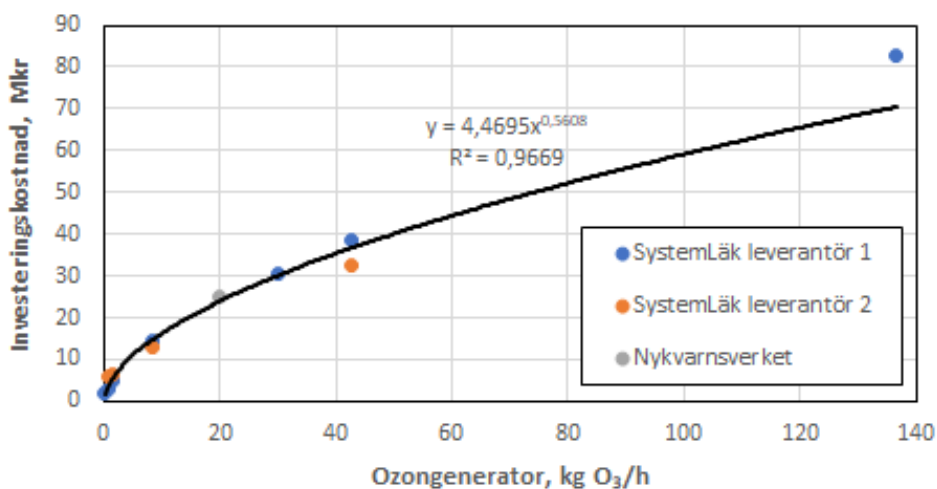
5-9). Nitrithalten kan vara högre under perioder när nitrifikationssteget är överbelastat (t.ex. vintertid med kallt vatten). Om det visade sig att nitrithalten i utgående vatten skulle vara 1,5 mg/l under den kallaste perioden skulle den valda ozondosen förbrukas helt bara för nitritreduktion. Om det visade sig i efterhand att nitrithalten är högre än antagits skulle kapaciteten av ozongeneratoren behöva utökas för att säkerställa tillräcklig reduktion av läkemedelsrester. Det är därför viktigt att ozoneringsanläggningen dimensioneras utifrån ett dos-respons samband framtaget genom försök med det aktuella vattnet och halter av DOC, susp och nitrit som kommer vara aktuella i verkligheten.



Figur 5-9. Dos-respons samband vid rening av avloppsvatten vid försök genomförda på Nykvarn ARV i Linköping (Sehlen et al., 2015).

#### Investeringskostnader för O<sub>3</sub> från referensprojekt

Investeringskostnad för ozoneringsanläggningar för Essvik, Fillan och Kubikenborg ARV gjordes utifrån sammanställning av kostnader från olika tidigare projekt/anläggningar. I olika projekt har kostnaderna redovisats för system med olika omfattning, bl. a. olika kontakttider och dimensionerande ozonhalt, olika påslag, med eller utan PSA. Det har valts att endast använda kostnader från två teknikleverantörer som togs fram i SystemLäk-projektet (Baresel et al., 2017c) och faktisk kostnad för komplettering av Nykvarnsverket med ett ozoneringssteg för bedömning av investeringskostnaden inom detta projekt (Figur 5-10).



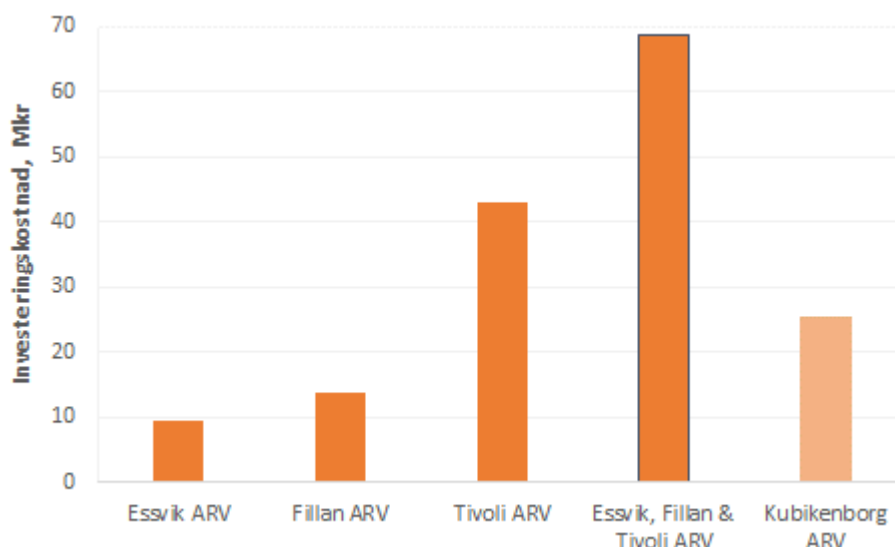
Figur 5-10. Investeringskostnad för ozoneringssteget utifrån resultat från SystemLäk-projektet exkl. påslag för oförutsett och byggherrekostnader samt faktisk kostnad från Nykvarnsverket.

En annan kalkyl som utvärderats är Swecos kalkyl för komplettering av Öresundsverket i Helsingborg med ett ozoneringssteg. Kostnaden för en anläggning med kapacitet hos ozongeneratoren på 34 kg/h har beräknats till ca 73 Mkr exkl. påslag för byggherrekostnader och oförutsett. Den kostnaden kan från första bedömningen tyckas vara hög i jämförelse med de andra källor som redovisade i Figur 5-10. Kalkylen inkluderar dock även ett biologiskt poleringssteg i form av en omrörd MBBR och kontakttanken är större (15 min kontakttid vid maxflöde; i andra kalkyler 10 min). Dessutom är markförutsättningar dåliga vilket kräver pålning och spänning som ökar investeringskostnaderna. Kompenserar man för de skillnaderna i omfattning och förutsättningar faller kalkylerad kostnad nära de andra källorna.

### Bedömda investeringskostnader för O<sub>3</sub> vid MSVA

I de fördjupade utredningarna planeras de befintliga sandfiltren på Essvik ARV att tas i drift som polerande reningssteg. Filtren kommer då både filtrera bort resterande mängder av slam men även fungera som biologiska filter och reducera vattnets toxicitet efter ozoneringssteget. För utbyggnad av Fillan ARV har skivfilter valts som polerande reningssteg. Årskostnad för skivfilter bedöms vara liknande som för sandfilter. Det har därför antagits att om ozonering implementeras på Fillan ARV kommer sandfilter väljas för polerande filtrering. Vid Kubikensborg ARV har sandfilter föreslagits som polerande reningssteg och ozonering för läkemedelsrening antas kunna placeras före dessa. De kostnader för implementering av ozonering som redovisas nedan inkluderar därför inte någon polerande biologisk rening.

Utifrån referenskurvan i Figur 5-10 har investeringskostnader för ozoneringsanläggningar vid Fillan, Essvik och Kubikensborg ARV tagits fram. Kostnaderna inkluderar en anläggning bestående av förfiltrering av en delström som används för inblandning av ozon i form av trum- eller skivfilter, ozongenerator (båda placeras inomhus i en ny byggnad), kontakttank i betong som placeras utomhus samt en betongplatta för syrgastanken. Investeringskostnad för ozonering vid Fillan ARV, Essvik ARV och Kubikensborg ARV uppgår till 9,5 Mkr, 14 Mkr respektive 26 Mkr (Tabell 5-4). I Figur 5-11 redovisas den totala investeringskostnaden tillsammans med investeringskostnaden för GAK vid Tivoli ARV, som uppgår till 69 Mkr.



Figur 5-11. Investeringskostnad för införande av ozonering vid Essvik, Fillan och Kubikensborg ARV. Även kostnad för GAK-filter vid Tivoli ARV redovisas för jämförelse och total kostnad för Essvik, Fillan och Tivoli ARV tillsammans.

### Bedömda driftskostnader för O<sub>3</sub> vid MSVA

Driftskostnaden har beräknats utifrån följande nyckeltal, antaganden och priser:

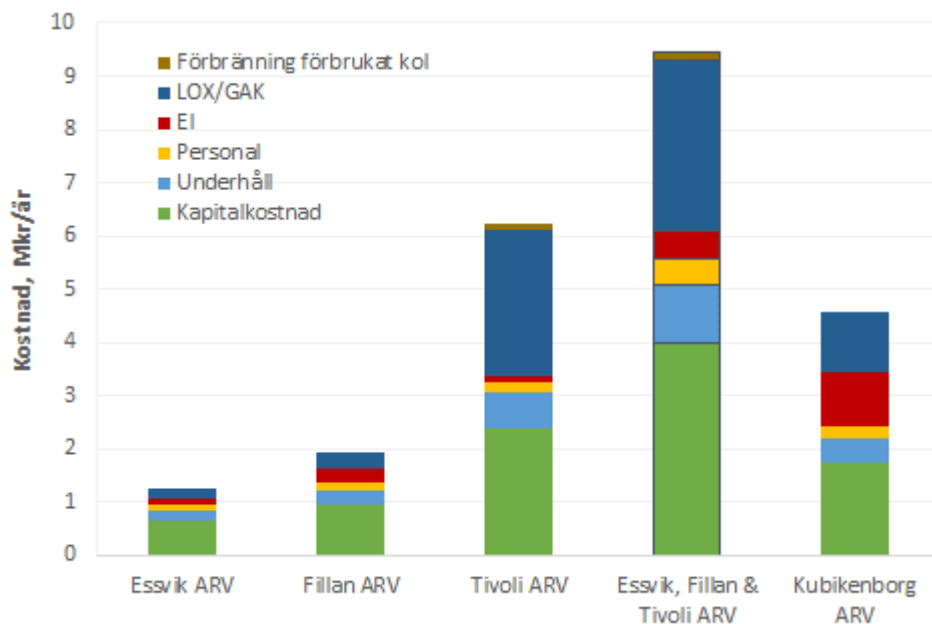
- **Underhåll:** 2 % av investeringskostnaden per år;
- **Personal:** Timpris 500 kr/h; antal timmar: 250 h/år för Essvik ARV, 300 h/år för Fillan ARV och 450 h/år för Kubikensborg ARV;
- **El:** Elförbrukning för ozongeneratoren 10 kWh/kg O<sub>3</sub>; annan elförbrukning 0,015 kWh/m<sup>3</sup> (motsvarar pumphöjd på 2,5 m med pumpeffektivitet på 50 %); aktuellt elpris inkl. nätavgifter och elavgifter för 2019: Essvik ARV – 1,15 kr/kWh, Fillan ARV – 1,30 kr/kWh, Kubikensborg ARV – antagen 1,35 kr/kWh.
- **Syrgas:** Flytande syrgas (LOX) med pris 2 kr/kg inkl. leverans och hyra av tank och förgasningsanläggning.
- **Avskrivning:** Kapitalkostnad - kalkylränta på 4 % och avskrivningstid på 15 år för utrustning och 30 år för mark/bygg.

Driftkostnaderna per år beräknas ligga på 1,6 Mkr för Fillan och Essvik ARV tillsammans och 5,5 Mkr när även driftkostnaden för GAK-filter vid Tivoli ARV tas med, vilken kan jämföras med 2,8 Mkr för Kubikensborg ARV (Tabell 5-4). Årskostnaden för scenario 1 (Kubikensborg ARV) är ca 4,6 Mkr, vilket är ca 4,9 Mkr lägre än utbyggnad vid de tre befintliga reningsverken i scenario 2 och 3, se Figur 5-12.

**Tabell 5-4. Sammanställning av kostnader för införande av läkemedelsrening med ozonering.**

	Essvik ARV	Fillan ARV	Kubikensborg ARV
Investeringskostnad, Mkr	9,5	13,9	25,5
Kapitalkostnad, Mkr/år	0,7	1,0	1,8
Driftkostnad, Mkr/år	0,6	1,0	2,8
Total årskostnad, Mkr/år	1,3	1,9	4,6
Specifik reningskostnad, kr/m <sup>3</sup>	0,7	0,6	0,4

Man ser tydligt från Figur 5-11 och Figur 5-12 att både investerings- och årskostnad är mycket lägre för scenario 1 (Kubikensborg ARV) än för scenario 2 och 3 (utbyggnad av befintliga verk), framför allt eftersom kostnad för rening med kol är väsentligt högre än för ozonering. Ozonering och kolfilter beskrivs ofta som jämförbara tekniker med liknande kostnad, vilket stämmer om kompletterande biologisk polering måste byggas till efter ozoneringen. Om polerande rening redan finns är ozonering väsentligt billigare.

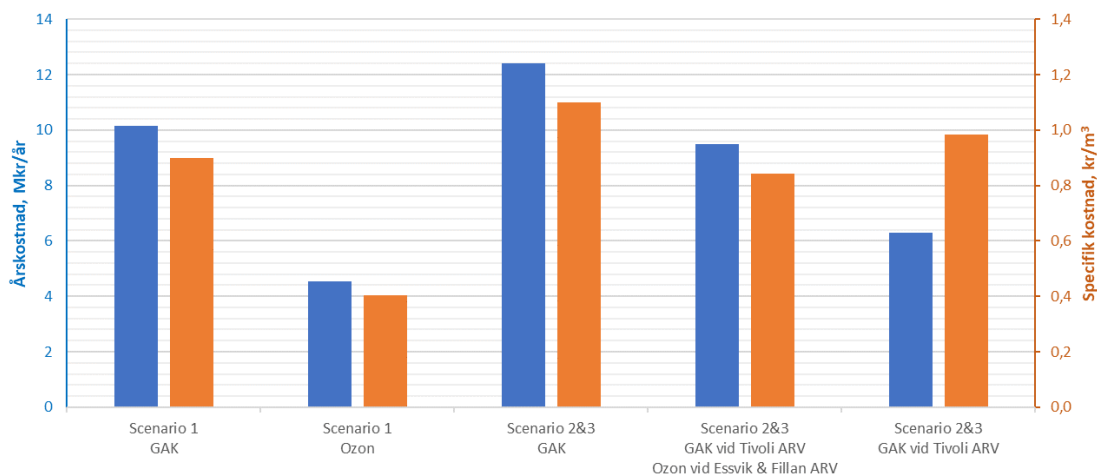


Figur 5-12. Årskostnad för införande av ozonering vid Essvik, Fillan och Kubikensborg ARV. Även kostnad för GAK-filter vid Tivoli ARV redovisas för jämförelse och total kostnad för Essvik, Fillan och Tivoli ARV.

### 5.3.5 Jämförande kostnader

De kostnader som beräknats för de två reningsteknikerna och olika scenarier av avloppsvattenhantering sammanställs i Figur 5-13. Figuren visar att ozonering vid Kubikensborg ARV är det mest ekonomiskt motiverade alternativet för rening av läkemedelsrester. Även om ozonering väljs för Fillan ARV och Essvik ARV i scenario 2 och 3 kommer kostnaden för införande av rening med kolfilter vid Tivoli ARV att öka den totala kostnaden till det dubbla jämfört med införande av ozonering vid Kubikensborg ARV i scenario 1.

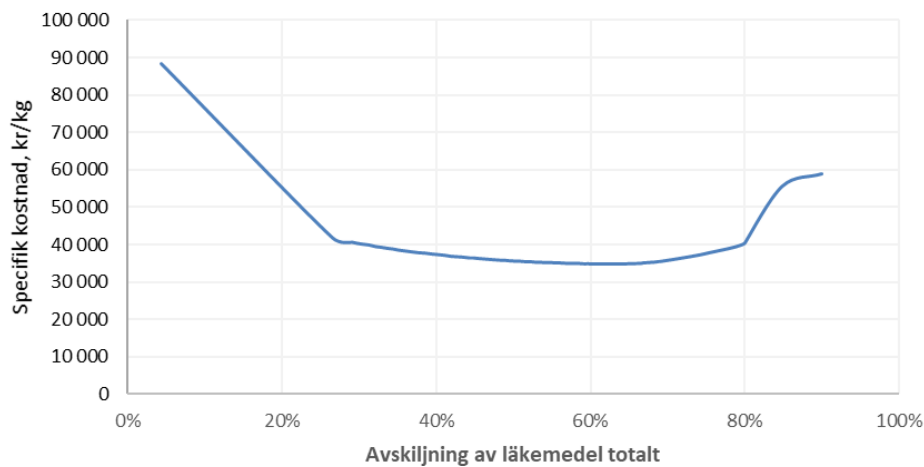
Om läkemedelsrening inte införs på Essvik och Fillan ARV (där behovet enligt projektets bedömning inte finns) i scenario 2 och 3 så kommer den totala kostnaden ändå vara mycket högre jämfört med läkemedelsrening med ozon vid Kubikensborg i scenario 1.



Figur 5-13. Sammanställning av årskostnader och specifika reningskostnader.



Kostnadsberäkningar som redovisade ovan är framtagna utifrån definierade reningsmål, dvs att 80 % av årsflödet renas med i medel 80 % reduktion av läkemedelsrester. Den måldefinitionen är framtagen endast för detta projekt. Vid införande av andra reningskrav kommer kostnaden för reningen också vara annorlunda. Det har därför gjorts en känslighetsanalys där kostnader för rening med ozonering tagits fram för olika dimensionerande maxflöden och ozondoser för rening vid Kubikborg ARV. De totala kostnaderna har sedan omräknats till en specifik kostnad för avskiljning av 1 kg av läkemedel (summan av alla subsanser som analyserats inom projektet) (Figur 5-14). Figuren visar att specifik kostnad för rening av 1 kg läkemedel är lägst vid avskiljning av 55 - 70 % av samtliga läkemedel. För att nå 80 % reduktion behöver hela inkommande flödet till reningsverket behandlas, vilket kräver väsentligt högre dimensionerande maxflöden. För att nå ännu högre reduktion behöver även ozondosen fördubblas, vilket minskar kostnadseffektiviteten ännu mer.



Figur 5-14. Specifik kostnad för rening med ozonering vid Kubikborg ARV som funktion av avskiljningsgrad.

## 6 Diskussion

I projektet har en nulägesanalys genomförts avseende rening av läkemedelsrester vid Sundsvalls tre största reningsverk. En kartering av läkemedelsrester vid de tre existerande avloppsreningsverken Tivoli, Fillan, Essvik ARV, tillhörande påverkanspunkter och referenspunkter i recipienterna samt utanför lokaliseringen för ett framtida nytt centraliserat reningsverk genomfördes. För att kunna jämföra miljöpåverkan från tre framtida scenarier för Sundsvalls framtida avloppsvattenrening har en fördjupad recipientanalys genomförts. Behov av och teknik för läkemedelsrening i de tre framtida scenarierna har utretts och investerings- och driftkostnad har tagits fram.

### 6.1 Nulägesanalys

Karteringen av läkemedelsrester i inkommande och utgående avloppsvatten till Tivoli, Fillan och Essvik ARV visar att reningsgraden är på samma nivå som för andra svenska reningsverk för de flesta läkemedelssubstanser. Vissa läkemedel som t.ex. ibuprofen renas bort nästan fullständigt och andra mer persistenta substanser som diklofenak eller oxazepam tas endast bort i väldigt begränsad omfattning. Som kan förväntas av reningsverk som inte har kväverening (och därmed kortare slamålder) ligger några hormonhalter i utgående vatten på en högre nivå än för anläggningar med kväverening. Den östrogena påverkan (YES) som observeras i inkommande vatten till samtliga reningsverk minskas något i reningsprocessen förutom för Fillan ARV där både YES och vissa hormonhalter uppvisar en kraftig och oförklarlig ökning över reningsprocessen.

Uppströmsprovtagningen visade signifikant högre halter i sjukhusets avloppsvatten för några läkemedel än vid tillhörande reningsverk. Mängden läkemedel i sjukhusets avloppsvatten är dock väsentligt lägre än inkommande till Fillan ARV.

Ett stickprov i Indalsälven, Ljungan och Selångersån visade generellt inga detekterbara halter för läkemedel. Endast paracetamol kvantifierades i samtliga provpunkter och i Indalsälven kunde även ibuprofen och naproxen detekteras. Trots väldig låga halter innebär den stora vattenföringen i dessa älvar ändå en inte oansenlig transport av läkemedelssubstanser från uppströms källor till Sundsvallsbukten. Endast för paracetamol och ibuprofen skulle mängden motsvara >1 ton per år aktiva substanser vilket kan jämföras med omkring 200 kg aktiv substans/år som idag tillförs via renat avloppsvatten från Tivoli, Fillan och Essvik ARV tillsammans för samtliga 29 kvantifierbara läkemedel.

### 6.2 Recipientpåverkan

Den genomförda riskbedömningen, baserad på både effektkoncentration som inte bör överskridas i recipienten (PNEC) och de bedömningsgrunder som är definierade som en del av klassningen av kemisk status i vattenförekomster (HVMFS 2019:25), visar att de flesta läkemedelsrester förekommer i så låga halter i utgående avloppsvatten från de befintliga reningsverken att de inte bör ha någon större påverkan på recipienten även vid låga utspädningsgrader. Utifrån tidigare genomförda riskbedömningar, baserade på både effektkoncentration som inte bör överskridas i recipienten (PNEC) samt bedömningsgrunder som är definierade som en del av klassningen av ekologisk status i vattenförekomster (HVMFS 2019:25), identifierades dock fyra läkemedel som en eventuell avancerad rening bör prioritera; etinylöstradiol, östron, oxazepam och diklofenak.

Modellberäkningar av spridning och utspädning av uppmätta utsläppshalter av hormonet etinylöstradiol visar att halter ligger över bedömningsgrunden (HVMFS 2019:25) i stora delar av Sundsvallsfjärden och att det således kan föreligga en risk för negativa biologiska effekter vid dagens utsläpp från Tivoli ARV. Även utsläpp av oxazepam från Tivoli ARV beräknas påverka så att halter ligger över PNEC i 8 - 14 % av Sundsvallsfjärden. Det finns idag en viss oklarhet avseende var i recipienten kvalitetskraven ska uppnås i relation till belastningskällan, eller hur stor volym i vattenförekomsten som får påverkas utan att möjligheterna att uppnå rätt kvalitet på vattenmiljön kan anses äventyras. Oxazepam är inte upptaget i HVMFS 2019:25 och ligger därför inte till grund för en bedömning av påverkan av ekologisk status i Sundsvallsfjärden.

För Fillan, Essvik ARV och ett framtida nytt ARV bedöms påverkan från de fyra identifierade ämnena i recipienten vara så liten (<1 %) att den inte kan motsvara otillätlig omfattning.

Tivoli ARV står alltså för det största utsläppet av behandlat avloppsvatten i den, av de fyra undersökta, minst tåliga recipienten. Det medför att Sundsvallsfjärden är den vattenförekomst som har mest att vinna på införande av läkemedelsrening vid befintliga ARV eller centralisering till ett nytt ARV. De största vinsterna avseende volymmässig påverkan av substansen etinylöstradiol beräknades finnas med ett nytt, centraliserat ARV jämfört med att installera kväve- eller kväve- och läkemedelsrening på befintliga ARV. För östron och diklofenak visade beräkningarna av påverkad vattenvolym att ett nytt ARV med kväve- och läkemedelsrening jämfört med befintliga ARV med kväve- och läkemedelsrening inte ge några tydliga skillnader. För substansen oxazepam var det en något mindre volym som beräknades påverkas om kväve- och läkemedelsrening installeras på befintliga ARV.

Eftersom bedömningsgrund och bedömda effekthalter för de aktuella ämnena ligger under detektionsgränsen för tillgängliga vattenkemiska analyser medför det att beräknad omfattning av vattenkemisk påverkan inte kunnat valideras med genomförda provtagningar.

## 6.3 Införande av kväverening

Vid införandet av kväverening vid de tre befintliga avloppsreningsverken eller ett nytt centraliserat reningsverk vid Kubikensborg antas hormoner kunna renas bort till halter under detektionsgränser (1 ng/l) i utgående avloppsvatten. Detta gör att påverkan från utgående avloppsvatten inte bedöms utgöra någon miljörisk för recipienten längre, med undantag för Tivoli ARVs utsläpp. Beräknade utspädningseffekter visar att för Tivoli ARV kommer en reduktion av hormonhalter till 1 ng/l innebära att 4 - 7 % av Sundsvallsfjärden riskerar att överskrida bedömningsgrunden.

Införande av kväverening kan mycket väl ge en ännu bättre reduktion av hormoner och därmed ännu mindre recipientpåverkan än vad som antagits i modelleringen. Även införande av läkemedelsrening kan ge ytterligare reduktion av hormonerna. Vid icke-optimala förhållanden för kvävereningen, t.ex. på grund av kallt vatten under vinterhalvåret, kan dock halter i utgående vatten också vara väsentligt högre än beräknat och leda till en större recipientpåverkan än vad som antagits här. Även om kvävereningen kan vara mindre effektivt under kalla vintermånader så är påverkan på recipienten under dessa perioder samtidigt lägre. Under perioden med störst recipientpåverkan kommer kvävereningen troligtvis vara som mest effektiv och därmed bör även hormoner renas bort mest effektivt. För att fastställa vilken reduktion och halter i utgående vatten som kan uppnås rekommenderas att faktiska långtidstester med den planerade processen utförs.

## 6.4 Definition av reningsmål

Idag finns det inga tekniska lagkrav på reduktion av läkemedelsrester vid avloppsreningsverk, men däremot omfattas ytvatten av kvalitetskrav genom HVMFS 2019:25. Ett av de viktigaste kriterierna för val av reningstekniker/-system är bedömningen om de identifierade substanserna kan reduceras till halter som medför ingen eller låg risk för recipientpåverkan. Formulering av reningsmål för läkemedelsreningen påverkar utformning och dimensionering av densamma. Nedan diskuteras olika synsätt som kan appliceras vid formulering av reningsmål. Genom att kombinera de olika alternativen kan förhoppningsvis reningsmål formuleras som kompenserar för respektive alternativs brister.

Projektets styrgrupp formulerade reningsmål för projektet (se kap 5.1.1) som är en kombination av de första två ansatserna.

### 6.4.1 Reduktion för att uppnå god ekologisk status eller PNEC i recipient

Enligt denna ansats bör läkemedelsrester reduceras till de nivåer som innebär att halter i recipienten ligger under beslutade bedömningsgrunder (HVMFS 2019:25), eller, för de läkemedelsrester som saknar bedömningsgrund, att halterna är lägre än respektive effekthalt (PNEC). Denna strategi innebär att läkemedelsrening på Tivoli, Fillan, Essvik och Kubikenborg ARV skulle dimensioneras för olika reningsgrader beroende på de olika förutsättningarna i respektive recipient. Denna strategi har dock flera brister:

- Dagens analysmetoder kan inte analysera läkemedelshalter i så låga nivåer som vissa effekthalter kräver, vilket gör att det inte går att omfatta verksamhetens egenkontroll med vattenkemisk recipientkontroll för uppföljning och utvärdering.
- Hänsyn tas inte till de långtidseffekter, cocktaileffekter, bioackumulerings- och biomagnifikationseffekter som kräver effektuppföljning i andra matriser än vattenkemiska parametrar.
- De flesta läkemedel som inte omfattas av en bedömningsgrund för ytvatten har ett bristande ekotoxikologiskt underlag vilket föranleder stora osäkerheter i beräkningar av PNEC. Dessa parametrar kan då av praktiska skäl behöva exkluderas eftersom dimensionering av reningsanläggningar i praktiken inte kan genomföras på så omfattande osäkerheter avseende reella miljörisker eller nyttan av investerade kostnader för reducerade utsläpp.
- Hur stor andel av en vattenförekomst som en enskild belastningskälla får ta i anspråk (bidra med förhöjda halter utifrån bedömningsgrund), utan att icke-försämringskravet träder ikraft, är inom svensk vattenförvaltning inte helt klarlagd.

Tillämpningen av denna ansats och antaganden att projektgruppens skattning av tillåtlighet skulle vara i enlighet med rättspraxis (se 3.4) skulle innebära att en rening av etinylöstradiol och eventuellt oxazepam skulle behövas vid Tivoli ARV. Någon läkemedelsrening skulle inte behövas vid något annat reningsverk avseende någon av de övriga målsubstanserna.

## 6.4.2 Reduktion med fast reduktionsgrad

Enligt denna ansats utgår man från att rening av vatten ska utformas enligt bästa tillgängliga teknik (BAT) och att en hög reduktionsgrad som ändå ger en rimlig kostnad bör eftersträvas. Detta kan definieras som reningskrav på en fast reduktion (tex 80 %) för enskilda eller flera substanser över hela reningsverket (som t.ex. tillämpas i andra länder) eller på halter i utgående avloppsvatten. Detta skulle innebära samma reningskrav på Tivoli, Fillan, Essvik och Kubikensborg ARV oavsett förutsättningar i recipienten. Men även denna strategi har flera brister:

- För de ämnen som i analyserna uppvisat en negativ reduktion i den befintliga reningsprocessen, krävs det en väldigt hög reningsgrad i den avancerade reningen, om reningsmålet definieras över hela reningsverket.
- Det tas ingen direkt hänsyn till recipientens individuella känslighet och eventuella specifika behov.
- Incitament för ett aktivt uppströmsarbete kan riskera att minskas, då det kan vara enklare att uppnå en definierad reduktion vid högre inkommande halter till reningsverk än vid lägre.
- Ingen hänsyn tas till skillnader mellan olika reningsverk och dess recipienter. Halter kan variera kraftigt mellan reningsverk vilket också medför att ett reningskrav på 80 % slår olika hårt mot olika reningsverk utan att hänsyn till deras uppströmsarbete, reningsprocess eller recipientens känslighet.
- Det finns svårigheter med analysmetoderna, som innebär större osäkerheter i analysresultaten för inkommande orenat än för utgående renat avloppsvatten. En måldefinition som baseras på inkommande och utgående halter blir därmed behäftad med osäkerhet.
- Vid reningsmål som definieras som genomsnitt över hela reningsverket och för flera substanser påverkar val av substanser som ingår hur mycket rening som behövs.

För att undvika ovanstående problematik kan undantag göras. T.ex. kan substanser med negativ reduktion samt substanser med osäker kvantifiering, framförallt i inkommande avloppsvatten, uteslutas från reningskravet. Det bör dock beaktas att med sådana undantag och förenklingar kan även själva reningskravet ifrågasättas, då eventuella egentliga "problemsubstanser" enkelt kan uteslutas i bedömningen.

I projektet definierades ett reningsmål på 80 % i genomsnitt för samtliga analyserade substanser. Detta medför att det är acceptabelt att vissa ämnen har en lägre reduktionsgrad, t.ex. oxazepam som endast renas bort till <70 % med de föreslagna teknikerna, samtidigt som andra substanser renas bort med mer än 80 %

## 6.4.3 Reduktion av vattnets sammanlagda skadliga miljöeffekter

En tredje ansats baseras på att reningen dimensioneras för att ta bort alla eventuella skadliga effekter som bl.a. läkemedelsrester i avloppsvatten kan åstadkomma i recipienten. Vid bedömning av cocktaileffekter kan "mixture substance assessments (MSA)" eller "whole effluent assessments (WEA)" användas. Dessa tester ger info om negativa effekter av hela provet och tester som Yeast Estrogen Screen (YES), Yeast Androgen Screen (YAS), Microtox, AMES eller test med olika trofinivåer som bakterier, alger och fisk kan nämnas som exempel. Brister med dessa tester är att de inte kan peka ut vilka substanser som bidrar mest till eventuella effekter, osäkerheter i testerna som ger varierande testresultat, samt höga kostnader för vissa tester.

I projektet ingick YES-tester som effekttest och dessa tester kan anses som relativt robusta. Även om föreliggande analyser t.ex. visar att effekten minskar i reningsverk (t.ex. för Tivoli ARV) eller ökar (t.ex. för Fillan ARV) och att det skulle behövas en bättre rening för att minska hormonstörande effekter, så finns ingen tydlig definition av vilken effektnivå som kan anses som acceptabel.

## 6.5 Behov av avancerad rening utifrån recipient

Utifrån den fördjupade recipientutredningen och befintliga miljökrav bedöms omfattningen av utsläpp av läkemedelssubstanser från Fillan, Essvik eller Kubikenborg ARV inte leda till en försämring i recipienten, varför läkemedelsrening utifrån recipientpåverkan inte bedöms som nödvändig. För Tivoli ARV så bedöms etinylöstradiol (HVMFS 2019:25) och eventuellt oxazepam (PNEC) riskera att påverka Sundsvallsfjärden negativt vid nuvarande drift, vilket skulle kunna motivera en kompletterande rening. Vid implementering av kväverening på Tivoli ARV bedöms dock påverkan av etinylöstradiol reduceras till nivåer som skulle kunna vara acceptabla, så länge en processutformning väljs som ger en bra kväverening även under perioder med kallt avloppsvatten. Enligt modelleringen så överskrids dock bedömningsgrunden i 4 - 7 % av vattenvolymen i Sundsvallsfjärden även vid kväverening och om de volymerna inte är acceptabla så krävs ytterligare åtgärder. Läkemedelsrening kan minska halterna av etinylöstradiol i utgående vatten ytterligare, men hur lågt är inte möjligt att kvantifiera eftersom berörda gränsvärden ligger under detektionsgränsen för aktuella analysmetoder. För att ytterligare reducera risken för recipientpåverkan i Sundsvallsfjärden krävs överledning till Kubikenborg ARV.

För reduktion av oxazepam räcker dock inte kväverening och en kompletterande rening för borttagning av läkemedelsrester kan behövas, beroende på hur stor vattenvolym i recipienten som är acceptabel att riskera att påverka. Vid nuvarande drift riskerar 8 - 14 % av vattenvolymen att överskrida PNEC. Med läkemedelsrening och en reduktion av oxazepam med 80 % i utgående vatten så minskar denna volym till <0,05 % av Sundsvallsfjärden. Oxazepam har en säkerhetsfaktor på 100 vid beräkning av PNEC, vilket visar att miljöpåverkan fortfarande är osäker.

Det kan också finnas andra skäl än den genomförda påverkansbedömningen att införa avancerad rening för att minska utsläpp av läkemedelsrester och andra mikroföroreningar. Utifrån försiktighetsprincipen och nuvarande kunskapsläge kring läkemedelsresters recipientpåverkan kan behovet av läkemedelsrening i framtiden förändras. Persistenta läkemedelssubstanser har lång uppehållstid och kan detekteras i ytvatten långt ut till havs i Östersjön. Filtrande organismer som t.ex. blåmusslor kan även ackumulera läkemedelssubstanser även i recipienter med stor vattenomsättning (Naturvårdsverket, 2017). Toxicitetsdata för vissa läkemedel är väldigt begränsad. För vissa läkemedel (som exempelvis citalopram) finns toxicitetsdata endast för organismer från en trofisk nivå varför man måste tillämpa en hög säkerhetsfaktor (2000 i fall av citalopram). Dessa ämnen, som har hög osäkerhet i dess påverkan på recipienten, har exkluderats från bedömningen i föreliggande studie eftersom det skulle krävas orimligt höga reduktionsgrader för att reducera dessa till "säker" nivå. Med mer toxicitetsstudier kan PNEC för dessa och andra ämnen omvärderas och högre/lägre reningeffekt erfordras än vad som kan motiveras med dagens kunskap.

## 6.6 Rekommenderade avancerade reningslösningar

Målet för implementering av en avancerad rening för borttagning av läkemedelsrester som beskrivs i rapporten (kap 5.1.1) har definierats av projektets styrgrupp och är baserad på en genomsnittlig minskning av de uppmätta läkemedlen i utgående avloppsvatten från de befintliga reningsverken med 80 % för 80 % av årsflödet (exkl. bräddningar). Eftersom det antas att

kväverening kommer att implementeras har oxazepam och diklofenak använts som indikatorsubstanser vid den föreslagna dimensioneringen.

För Fillan, Essvik och Kubikenborg ARV rekommenderas antingen kolfilter (GAK) som avslutande reningssteg eller ozonering som näst sista reningssteg som kompletterande avancerad rening för reduktion av läkemedelsrester och svårnedbrytbara föroreningar. På grund av platsspecifika kriterier rekommenderas inte ozonering vid Tivoli ARV, utan endast en behandling med avslutande GAK-filter anses var relevant vid anläggningen om en läkemedelsrening ska implementeras.

Pulveriserat aktivt kol (PAK) rekommenderas inte då det påverkar slammets kvalitet och möjligheten att hitta avsättningsalternativ för slammet och därmed försvårar utnyttjande av slammets resurser.

I fall ozonering väljs som avancerat reningssteg rekommenderas en implementering före sandfilter för att kunna nyttja sandfiltret för polerande biologisk rening av ozonerat vatten innan det släpps till recipienten. Detta för att ta bort eventuella bi- och nedbrytningsprodukter. Vid Essvik och Kubikenborg ARV är föreslagen processlösning med sandfilter. Vid utbyggnad av Fillan ARV rekommenderas att planerade skivfilter ersätts med sandfilter för att kunna åstadkomma polerande biologisk rening och avskiljning av partiklar samtidigt.

För ozoneringen kommer diklofenak att kunna reduceras nästan helt medan oxazepam endast kommer kunna avlägsnas med <80 %. Vid implementering av GAK-filter förväntas diklofenak kunna renas bort mindre effektivt än oxazepam och båda med en genomsnittlig lägre effektivitet än genomsnittet för alla läkemedlen som dimensioneringen prioriterar (60 respektive 70 %). Även andra mikroffuroreningar som t.ex. flamskyddsmedel och PFOS kommer kunna reduceras vid införande av en avancerad rening. En implementering av GAK-filter kommer troligtvis ge bättre reningseffekt för dessa än en ozonering skulle kunna åstadkomma. För samtliga föroreningar gäller dock att den faktiska reningseffekten som kan åstadkommas behöver undersökas med hjälp av pilottester med den aktuella vattenmatrisen, efter införande av kväverening.

## 6.7 Kostnader för avancerade reningslösningar

Investerings- och driftkostnader för de olika reningsteknikerna i detta projekt har beräknats utifrån kalkyler och faktiska kostnader i andra projekt. Det är många faktorer som påverkar investeringskostnaden, bl.a. lokala förutsättningar, marknadsläge, prisskillnaden i olika regioner, mognad av teknik, m.m. Kostnadsbedömningen bedöms dock som tillräcklig för att kunna jämföra olika tekniker och alternativ för kompletterande rening med varandra men behöver uppdateras efter att val av reningsteknik har gjorts.

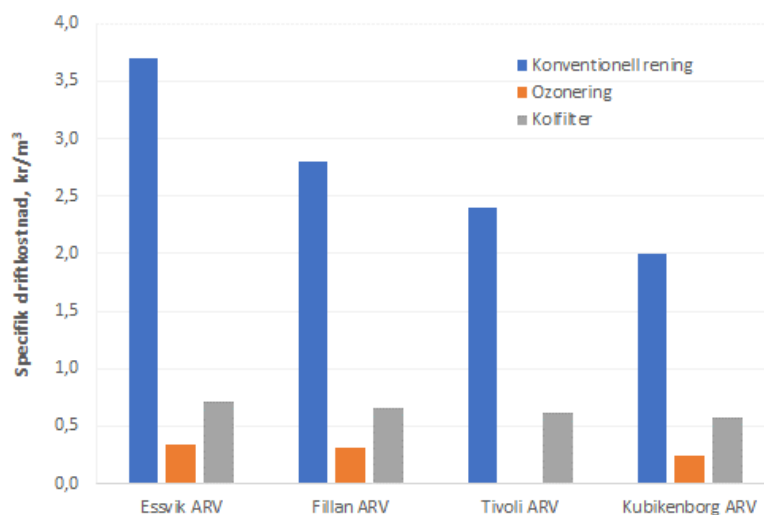
När det gäller driftkostnaderna så är det framförallt sammansättningen i det avloppsvatten som ska renas som påverkar kostnaderna. För ozon bygger kostnadsberäkningen på en förväntat hög reduktion av suspenderade ämnen i biosedimentering/flotation och konstant låg halt av nitrit i vattnet. Om susp-halten är för hög och allt vatten behöver förfiltreras innan ozonering kan totalkostnaden vara jämförbar med kolfilter. Om nitrithalten är hög under kalla perioder kommer ozongeneratoren behöva dimensioneras med högre kapacitet, vilket väsentligt kommer påverka driftkostnaderna. Den faktor som påverkar kostnaden för kolfiltrering mest är kostnaden för byte av aktivt kol. I kostnadsberäkningen har det aktuella priset för ett högkvalitativt dricksvattengodkänt kol använts. Det finns potential att minska reningskostnaden med 15 - 25 % om en billigare sort av kol används eller om kolet skickas på reaktivering. Pris på aktiverat kol varierar mycket från år till år vilket beror på variation i efterfrågan och skörd av råvara för

biobaserat aktivt kol. Det finns även potential för produktion av biokol från lokal biobaserad råvara, inte minst från avloppsslam, men kvaliteten på kolet och reningseffektiviteten måste säkerställas.

Kostnadsberäkningar för de olika scenarierna visar tydligt att en implementering av läkemedelsrening vid ett nytt centraliserat reningsverk blir billigare än investering vid de tre befintliga reningsverken. Det mest kostnadseffektiva blir att installera läkemedelsrening med ozon vid Fillan och Essvik ARV och GAK-filter vid Tivoli ARV (vid befintlig struktur) alternativt ozonering vid Kubikenborg ARV (vid centralisering av avloppsvattenreningen).

Investeringskostnaden uppskattas till ca 70 Mkr för installation av ozonering vid Fillan och Essvik ARV samt GAK-filter vid Tivoli ARV och >25 Mkr för ozonering vid Kubikenborg ARV. Här utgör framförallt kolfiltret vid Tivoli ARV en betydande kostnadspunkt (>40 Mkr). Även driftkostnaderna per år beräknas vara högre sammanslaget för de tre befintliga verken (>5,5 Mkr/år) än för Kubikenborg ARV (>2,8 Mkr/år) på grund av kolfiltret vid Tivoli ARV (3,9 Mkr/år). Den stora besparingen vid implementering av ozonering vid Kubikenborg ARV kommer således från en lägre investering men även p.g.a. en lägre driftkostnad. De specifika kostnaderna för en avancerad rening som inkluderar både investerings- och driftkostnader vid de tre befintliga reningsverken respektive ett centraliserat verk beräknas till 0,8 kr/m<sup>3</sup> och 0,4 kr/m<sup>3</sup>. Samma kostnadsbild gäller för både scenario 2 och 3, alltså implementering av avancerad rening vid de tre befintliga reningsverken oavsett centraliserad slamhantering vid Fillan ARV eller ej.

Kostnader för en avancerad rening av läkemedelsrester kan även jämföras med kostnaden för den konventionella avloppsvattenreningen för reduktion av BOD och närsalter. I de parallellt pågående fördjupade utredningarna om en framtida avloppsvattenhantering i Sundsvall har preliminära kostnader för nyinvestering samt driftkostnader tagits fram för de aktuella scenarierna 1 - 3. Om man jämför driftkostnader för konventionell rening med ozonering och rening med kolfilter kan man se att en avancerad rening för läkemedelsrester skulle öka driftkostnaden med 9 - 27 % (Figur 6-1).

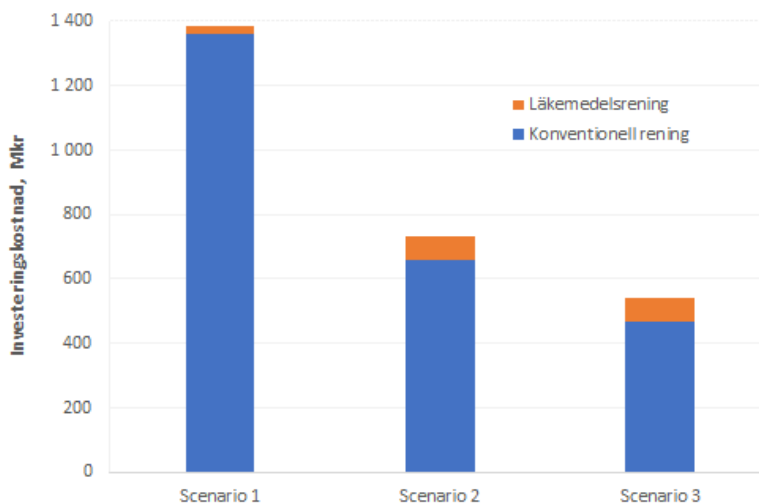


Figur 6-1. Jämförelse av driftkostnader för konventionell rening och avancerad rening.

Investeringskostnader för konventionell rening har beräknats endast för nyinvestering, vilket innebär att endast kostnaden för tillkommande delar beräknats för Essvik, Fillan och Tivoli ARV. För scenario 1 inkluderar investeringskostnaden även överföringsledningar och rivning av de



befintliga reningsverken. Det går därför inte i nuläget att jämföra en total årskostnad för konventionell avloppsvattenrening med en total årskostnad för den avancerade reningen. De totala investeringskostnaderna för de tre scenarierna jämförs dock i Figur 6-2 och baseras på ozonering vid alla reningsverk förutom för Tivoli ARV där kolfilter används. Det är tydligt från figuren att införande av läkemedelsrening endast utgör en liten del av investeringskostnaden i de tre scenarierna. För scenario 1 (Kubikborg ARV) skulle investeringen i avancerad rening endast utgöra <2 % av totalinvesteringen. Vid en implementering av avancerad rening vid de tre befintliga reningsverken (scenario 2 och 3) skulle andelen öka till 9 - 13 % vilket förklaras med att investeringen i huvudreningen endast utgörs av tillkommande delar vid en ombyggnad.



Figur 6-2. Investeringskostnad för konventionell avloppsvattenrening och läkemedelsrening i tre studerade scenarier.

## 6.8 Hållbarhetsaspekter

Implementering av avancerad rening för läkemedelsrester eller andra mikroföroreningar innebär att själva reningsprocessen kommer medföra en viss miljöpåverkan. Detta används ibland med full rätt som ett argument mot avancerad rening. Att väga olika källor till miljöpåverkan mot varandra är en utmaning som har funnits i miljöbedömningen länge och det finns inga enkla lösningar. Miljöpåverkan från en extra avancerad rening kan relativt enkelt kvantifieras med t.ex. klimatpåverkan som orsakas av en ökad energianvändning vid ozonering. Miljöpåverkan som orsakas av läkemedelsutsläpp till miljön kan dock inte kvantifieras på samma sätt. Fokus bör generellt ligga på vilken av de olika miljöaspekterna man aktivt kan påverka för att reducera den totala miljöpåverkan av både utsläpp och extra rening. Faktum är att de negativa miljöeffekterna av läkemedelsutsläpp är svåra att reducera utan en extra rening vid avloppsreningsverk. Miljöpåverkan av ett extra reningssteg kan däremot minskas, t.ex. genom smarta integrerade reningslösningar som ger synergieffekter och minskar behov av olika resurser vid byggnation och drift av reningssteget.

Om läkemedelsrening ska implementeras i Sundsvall ger de rekommenderade teknikerna upphov till olika miljöpåverkan. Miljöpåverkan uppkommer vid ozonering främst från den höga energiförbrukningen för ozonproduktion och från GAK från kolet p.g.a. de energimängder som förbrukas vid tillverkning/regenerering. Miljöpåverkan från energianvändningen vid ozonering skulle i princip kunna minimeras genom att uteslutande använda sig av fossilfri energi. Detta fungerar dock endast om den extra fossilfria energin finns tillgänglig och inte behöver ersättas med

energi från fossilt ursprung vid ett annat ställe i systemet för att kompensera för MSVAs ökade behov av grön energi. Miljöpåverkan från produktion av aktivt kol är svårare att påverka då det inte är elenergi som behövs vid produktion och aktivering av GAK. Resursförbrukningen kan dock reduceras genom att använda förnyelsebara råvaror och regenererat kol. Klimatpåverkan för regenererat GAK beräknas vara <25 % jämfört med klimatpåverkan från färsk GAK.

Ett annat sätt att minska miljöpåverkan från den avancerade reningen är att integrera reningen i befintlig struktur och nyttja synergier. Ett exempel är kvävereningen som i alla aktuella reningsverk har utformats som en MBBR-baserad process vilken vanligtvis använder sig av högre syrehalter än aktivslamprocessen. Vid högre syrehalter är luftförbrukning högre eftersom drivkraften för upplösning av syre är lägre, vilket är en av anledningarna att MBBR-processen kräver mer energi för jämförelse med aktivslamprocessen. Genom att blanda det syrerika off-gasflödet från ozoneringen med inkommande luft till blåsmaskinerna skulle luftbehovet kunna minskas med upp till 1/3 och energiförbrukningen reduceras med upp till 20 %.

Många olika resurser kommer behövas och därmed skapas en direkt och indirekt miljöpåverkan vid byggandet och drift av den avancerade reningen, oavsett var den implementeras. Implementeringen vid Kubikenborg ARV bör dock medföra mindre miljöpåverkan än en implementering vid de tre befintliga reningsverken. Detta p.g.a. skaleffekter samt att flödet vid ett centraliserat reningsverk skulle bli jämnare jämfört med vid separata reningsverk.

Ett viktigt sätt att minska miljöpåverkan från läkemedel är att jobba uppströms och påverka användningen av läkemedel i samhället. MSVA samverkar med Region Västernorrland, miljökontoret samt Apotek Hjärtat för att dela information kring läkemedel och deras påverkan på miljön. Detta är en bra grund för vidare arbete kring information till allmänheten och policyförslag som berör utskrivning av läkemedel och upphandling.

## 7 Slutsatser

Utifrån den fördjupade recipientutredningen och befintliga miljökrav bedöms omfattningen av utsläpp av läkemedelssubstanser från Fillan, Essvik ARV eller ett framtida centraliserat reningsverk vid Kubikenborg inte leda till en försämring av miljöstatusen i recipienterna, varför läkemedelsrening utifrån recipientpåverkan inte bedöms som nödvändigt. För Tivoli ARV så bedöms etinylöstradiol (HVMFS 2019:25) och eventuellt oxazepam (PNEC) riskera att påverka Sundsvallsfjärden negativt vid nuvarande drift, vilket skulle kunna motivera en kompletterande rening. Vid implementering av kväverening på Tivoli ARV bedöms dock påverkan av etinylöstradiol reduceras till nivåer som skulle kunna vara acceptabla, så länge en processutformning väljs som ger en bra kväverening även under perioder med kallt avloppsvatten. För reduktion av oxazepam räcker dock inte kväverening och en kompletterande rening för reduktion av läkemedelsrester kan behövas, beroende på hur stor vattenvolym i recipienten som är acceptabel att riskera att påverkas.

Om avancerad rening ändå ska implementeras vid samtliga reningsverk visar kostnadsberäkningarna för de olika scenarierna tydligt att en implementering av läkemedelsrening vid ett nytt centraliserat reningsverk blir billigare än investering vid de tre befintliga reningsverken. Det mest kostnadseffektiva blir att installera läkemedelsrening med ozon vid Fillan och Essvik ARV och GAK-filter vid Tivoli ARV (vid befintlig struktur) alternativt ozonering vid Kubikenborg ARV (vid centralisering av avloppsvattenreningen).

Investeringskostnaden uppskattas till ca 70 Mkr för installation av ozonering vid Fillan och Essvik ARV samt GAK-filter vid Tivoli ARV och till >25 Mkr för ozonering vid Kubikenborg ARV. Här utgör framförallt kolfiltret vid Tivoli ARV en signifikant kostnadspunkt (>40 Mkr). Även driftkostnaderna per år beräknas vara högre sammanslaget för de tre befintliga verken (>5,5 Mkr/år) än för Kubikenborg ARV (>2,8 Mkr/år) på grund av kolfiltret vid Tivoli ARV (3,9 Mkr/år). Specifika kostnader för en avancerad rening som inkluderar både investerings- och driftkostnader vid det tre befintliga reningsverken respektive ett centraliserat verk beräknas till 0,8 kr/m<sup>3</sup> respektive 0,4 kr/m<sup>3</sup>. Kostnadsberäkningen för ozon bygger på en förväntat hög reduktion av suspenderade ämnen i biosedimentering/flotation och konstant låg halt av nitrit i vattnet. Om så inte är fallet kan totalkostnaden för ozonering öka. Kostnaden för ozonering påverkas också av att planerade sandfilter kan användas som polerande biologisk rening efter ozoneringen. Jämfört med kostnader för huvudreningen (konventionell rening) skulle driftkostnaden öka med 9 - 27 % vid de olika anläggningarna. Investeringen i en avancerad rening skulle utgöra <2 % av totalinvesteringen för Kubikenborg ARV och 9 - 13 % av nyinvesteringen vid de tre befintliga reningsverken (scenario 2 och 3).

Även miljöpåverkan från läkemedelsreningen förväntas bli lägre vid implementering i ett stort nytt reningsverk kontra tre befintliga reningsverk. Möjligheten att integrera läkemedelsreningen i ordinarie reningsprocess och nyttja möjliga synergier är större i ett nytt reningsverk där hänsyn tas till läkemedelsreningen redan vid byggnation. Skalfördelar ger lägre energiförbrukning och mindre resursförbrukning vid en större anläggning kontra tre mindre.

En erfarenhet från det genomförda projektet är att det ur ett miljöjuridiskt perspektiv finns försvårande omständigheter att identifiera en relevant reningsnivå av läkemedelssubstanser utifrån ett recipientperspektiv. Oklarheter finns kring hur stor påverkan (försämring) av recipienten som är acceptabel eller innebär ett äventyrande av möjligheterna att uppnå rätt kvalitet på vattenmiljön. Därmed är det en oklarhet kring skäligheten att investera i en viss nivå av rening, utifrån ett recipientbehov, och den kommer att finnas tills dess att ett antal frågetecken utretts kring den svenska implementeringen av icke-försämringskravet inom svensk vattenförvaltning.

## 8 Referenser

Alt, K., Mauritz, A. 2010. Project on partial flow treatment with PAC in the Mannheim wastewater treatment plant. *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 2010 (57) No 2, pp 161-166.

Baresel, C., Palm Cousins, A., 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-SVU rapport B2226.

Baresel, C., Malovanyy, A., Walve, J., Kårelid, V. 2020a. Förstudie inför implementering av läkemedelsrening vid Himmerfjärdsverket - Provtagning, analys och bedömning av reningsbehov. IVL Svenska Miljöinstitutet, rapport U6194, På uppdrag av: Sydvästra stockholmsregionens VA-verksaktiebolag, Syvab.

Baresel, C., Thorsén, G. 2020. Rening av läkemedelsrester i avloppsvatten från vårdmiljöer. På uppdrag av Region Stockholm. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport U6228.

Baresel, C., Harding, M., Junestedt, C. 2019. Removal of pharmaceutical residues from municipal wastewater using UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport B2354.

Baresel, C., Ek, M., Harding, M., Magnér, J., Allard, A.-S., Karlsson, J. 2017a. Kompletterande tester för en resurseffektiv avancerad rening av avloppsvatten. Delrapport SystemLäk projekt. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport B2287.

Baresel, C., Magnér, J., Magnusson, K., Olshammar, M. 2017b. Tekniska lösningar för avancerad rening av avloppsvatten. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport C235.

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

Casas, M.E., 2015. Biodegradation of pharmaceuticals in hospital wastewater by a hybrid biofilm and activated sludge system (Hybas). *Science of the Total Environment* 10.

Chen F., Gong Z., Kelly B.C. 2017. Bioaccumulation behavior of pharmaceuticals and personal care products in adult zebrafish (*Danio rerio*): influence of physical-chemical properties and biotransformation. *Environ. Sci. Technol.* 2017, 51(19), 11085–11095.

Cimbritz, M., Edefell, E., Thörnqvist E., El-taliawy H., Ekenberg M., Burzio C., Modin O., Persson F., Wilén, B.M., Bester K., Falås P. 2009. PAC dosing to an MBBR – Effects on adsorption of micropollutants, nitrification and microbial community. *Science of the Total Environment* 677, 571-579.

Cimbritz, M., Tumlin, S., Hagman, M., Dimitrova, I., Hey, G., Mases, M., Åstrand, N., la Cour Jansen, J. 2016. Rening från läkemedelsrester och andra mikroforenringar - En kunskapssammanställning (No. SVU 2016-04).



Clara, M., Strenn, B., Gans, O., Martinez, E., Kreuzinger, N., Kroiss, H. 2005. Removal of selected pharmaceuticals, fragrances and endocrine disrupting compounds in a membrane bioreactor and conventional wastewater treatment plants. *Water Res.*, 39, 4797-4807.

CWPharma 2020. Pharmaceuticals in the Baltic Sea Region – emissions, consumption and environmental risks. County Administrative Board of Östergötland, Rapport 2020:28.

Edefell, E. 2021. MBBRs as post-treatment to ozonation: Degradation of transformation products and ozone-resistant micropollutants. *Science of the Total Environment* 9.

Edefell, E., Ullman, R., Bengtsson, E. 2019. Ultrafilter och granulerat aktivt kol för avskiljning av mikroföroreningar. SVU-rapport 2019-1.

Ejhed, H., Magnér, J., Olshammar, M., Remberger, M., Norström, K., Lilja, K., Bibi, M. 2012. Enskilda avlopp som källa till läkemedelsrester och andra kemikalier. IVL Svenska Miljöinstitutet, rapport B2070.

Falås, P., Baillon-Dhumez, A., Andersen, H.R., Ledin, A., la Cour Jansen, J., 2012. Suspended biofilm carrier and activated sludge removal of acidic pharmaceuticals. *Water Research* 46, 1167–1175. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.12.003>

Falås, P., Longrée, P., la Cour Jansen, J., Siegrist, H., Hollender, J., Joss, A., 2013. Micropollutant removal by attached and suspended growth in a hybrid biofilm-activated sludge process. *Water Research* 47, 4498–4506. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.05.010>

Hedén, M., Silfwerin, M., Baresel, C., Malovanyy, A. 2020. Förstudie av läkemedelsrening vid Främby reningsverk - Inklusive pilotförsök med filtrering av utgående avloppsvatten genom granulerat aktivt kol (GAK). Falu Energi & Vatten och IVL Svenska Miljöinstitutet.

Herrlach, J. (Chemviron). Personlig kommunikation 2020-11-30.

Holmlund, P., Muntlin, C., Johannesson, L, Edblom, N., Hedennäs, /Hälsningar Christian., Dyrestam, K., Baresel, C., Malovanyy, A. 2020. Förstudie läkemedelsrening Sundsvall - Delrapport 1 Läkemedelsprovtagning och utvärdering i ytvattenrecipient. WSP Sundsvall i samarbete med IVL Svenska Miljöinstitutet.

HydroIngenieure 2012. Machbarkeits Spurenstoffelimination Kläranlage Harsewinkel, Machbarkeitsstudie zur Erläuterungsbericht Düsseldorf, November 2012

Ivashechkin, P., Corvini, P.F.X. and Dohmann, M. 2004. Behaviour of endocrine disrupting chemicals during the treatment of municipal sewage sludge. *Water Sci. Technol.*, 50, (5), 133-140.

Koh, Y.K.K., Chiu, T.Y., Boobis, A., Cartmell, E., Scrimshaw, M.D., Lester, J.N. 2008. Treatment and removal strategies for estrogens from wastewater. *Environmental Technology* 29, 245–267. <https://doi.org/10.1080/09593330802099122>

Lindberg, J. 2020. Förstudie läkemedelsrening på Sundets reningsverk, Växjö. Växjö kommun.

Lipp, P., Kreißel, K., Meuler, S., Bischof, F., Tiehm, A. 2009. Influencing parameters for the operation of an MBR with respect to the removal of persistent organic pollutants. *Desalination and Water Treatment* 6, 102–107.



Mulder, M., Antakyali, D., Ante, S. 2015. Costs of removal of micropollutants from effluents of municipal wastewater treatment plants - general cost estimates for the Netherlands based on implemented full scale post treatments of effluents of wastewater treatment plants in Germany and Switzerland. STOWA and Waterboard the Dommel, The Netherlands.

Naturvårdsverket 2017. Avancerad rening av avloppsvatten för avskiljning av läkemedelsrester och andra oönskade ämnen Rapport 6766, ISBN 978-91-620-6766-3.

Radjenović, J., Petrović, M., Barceló, D. 2009. Fate and distribution of pharmaceuticals in wastewater and sewage sludge of the conventional activated sludge (CAS) and advanced membrane bioreactor (MBR) treatment. *Water Research* 43, 831–841.

Rasmussen, E. S., Kjeldsen, K. U., Rickers, C. K., Hansen, A., Tang, K., Andersen, H. R. 2020. Efficient biological removal of pharmaceuticals from wastewater effluent using eXeno technology. In 14th DWF Water Research Conference - Abstracts (pp. 44-44). University of Copenhagen.

Saino, H., Jamagata, H., Nakajima, H., Shigemura, H. and Suzuki, Y. 2004. Removal of endocrine disrupting chemicals in wastewater by SRT control. *J. Japan Soc. Water Environ.*, 27, 61-68.

Sehlén, R. 2020. Personlig kommunikation.

Sehlén, R., Malmborg, J., Baresel, C., Ek, M. Magnér, J., Allard, A-S., Yang, J. 2015. Pilotanläggning för ozonoxidation av läkemedelsrester i avloppsvatten. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport B2218.

Sipma, J., Osuna, B., Collado, N., Monclús, H., Ferrero, G., Comas, J., Rodriguez-Roda, I. 2010. Comparison of removal of pharmaceuticals in MBR and activated sludge systems. *Desalination* 250, 653–659.

Sundelin, A. 2015. Ecotoxicological effects on a food-web exposed to pharmaceuticals: uptake and effects of oxazepam, fexofenadine and a mixture of both in algae, zooplankton and sticklebacks. Umeå university master thesis, 26.

Svendsen, S.B., El-taliawy, H., Carvalho, P.N., Bester, K. 2020. Concentration dependent degradation of pharmaceuticals in WWTP effluent by biofilm reactors. *Water Research* 186, 116389. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116389>

Syvaab 2019. Förstudie läkemedelsrening Syvaab: huvudrapport. Syvaab rapport framtagen av Syvaab, Ramboll och IVL.

Tang, K., Ooi, G., Spiliotopoulou, A., Kaarsholm, K., Sundmark, K., Florian, B., Kragelund, C., Bester, K., Andersen, H. 2020. Removal of Pharmaceuticals, Toxicity and Natural Fluorescence by Ozonation in Biologically Pre-Treated Municipal Wastewater, in Comparison to Subsequent Polishing Biofilm Reactors. *Water* 12, 1059. <https://doi.org/10.3390/w12041059>

Tang, K., Ooi, G.T.H., Litty, K., Sundmark, K., Kaarsholm, K.M.S., Sund, C., Kragelund, C., Christensson, M., Bester, K., Andersen, H.R. 2017. Removal of pharmaceuticals in conventionally treated wastewater by a polishing moving bed biofilm reactor (MBBR) with intermittent feeding. *Bioresource Technology* 236, 77–86. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.03.159>

Thorsén, G., Baresel, C., Graae, L., Hansson, K. 2018. Förstudie samarbeten för läkemedel och miljö. På uppdrag av Västerås Stad, Region Västmanland, Mälarenergi AB. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport U5943.



Rapport C 565 – Förstudie läkemedelsrening Sundsvall – Recipientpåverkan, behov av avancerad rening och integrering i Sundsvalls framtida avloppsvattenhantering

Wahlberg, C., Björleinius, B., Paxéus, N., 2010. Läkemedelsrester i Stockholms vattenmiljö - Förekomst, förebyggande åtgärder och rening av avloppsvatten (No. ISBN 978-91-633-6642-0). Stockholm Vatten AB.

Wunderlin 2017. Abklärungen Verfahrenseignung ozonung. Empfehlung. VSA rapport, 26 s.

Öhrström, E., Forså, N., Kronvall, A., Karlsson, L., Johansson, F., Nilsson, J., Dahlberg, C. 2019. Läkemedelsrening Öresundsverket: Utredning och förprojektering läkemedelsrening. Sweco rapport 13008017.

Ågerstrand; M. 2019. Derivation of PNECs for 39 pharmaceutical substances. Department of Environmental Science and Analytical Chemistry (ACES), Stockholm University, ACES report 36.



## 9 Bilagor

- 9.1 Delrapport 1 - Läkemedelsprovtagning och utvärdering i ytvattenrecipient ([länk](#))
- 9.2 Administrativ slutrapport





wsp



IVL Svenska Miljöinstitutet AB // Box 210 60 // 100 31 Stockholm  
Tel 010-788 65 00 // [www.ivl.se](http://www.ivl.se)

# FÖRSTUDIE LÄKEMEDELSRENING SUNDSVALL

## DELRAPPORT 1 LÄKEMEDELSPROVTAGNING OCH UTVÄRDERING I YTVATTENRECIPIENT



I samarbete med:



# FÖRSTUDIE LÄKEMEDELSRENING SUNDSVALL

Delrapport 1 Läkemedelsprovtagning och utvärdering i ytvattenrecipient

## KUND

**Sundsvall Vatten AB**

## KONSULT

**WSP Environmental Sverige**

Box 758

WSP Sverige AB

851 22 Sundsvall

Besök: Sjögatan 13

Tel: +46 10 722 50 00

**wsp.com**

## KONTAKTPERSON

**Per Holmlund**

T +46 10-721 08 23

M +46 70-377 69 24

[per.holmlund@wsp.com](mailto:per.holmlund@wsp.com)

### UPPDRAGSNAMN

Läkemedelsprovtagning och utvärdering i  
vattenrecipient

### UPPDRAGSNUMMER

10291495

### FÖRFATTARE

WSP: Per Holmlund, Cecilia Muntlin, Linnea  
Johannesson, Nils Edblom, Helge Hedenäs och  
Karin Dyrestam.

IVL Svenska Miljöinstitutet: Christian Baresel och  
Andriy Malovanyy

### FÄLTUNDERSÖKNING

WSP: Per Holmlund

MSVA: Jessica Schröder

### DATUM

2020-09-11

### ÄNDRINGSDATUM

2020-10-28

Granskad av

Malin Tuveesson

Godkänd av

Maria Roos

## Sammanfattning

Undersökningar av halter av läkemedelssubstanser i Sundsvallsbuktens kustvatten har tidigare inte genomförts. WSP Environmental har genom Sundsvall Vatten AB fått uppdraget att utföra delprojekt 1 *Läkemedelsprovtagning och utvärdering i ytvattenrecipient* inom projektet *Förstudie läkemedelsrening Sundsvall*. Uppdraget har omfattat planering och utförande av en ytvattenundersökning med koppling till utsläpp av läkemedelssubstanser i behandlat avloppsvatten vid de tre största avloppsreningsverken (ARV) i Sundsvall (Tivoli, Fillan och Essvik), samt vid ett eventuellt nytt centraliserat avloppsreningsverk. I utredningen har det ingått att identifiera ett urval av substanser (i samarbete med IVL Svenska Miljöinstitutet) till en fördjupad recipientanalys. Syftet med den fördjupade recipientanalysen har varit att jämföra miljöpåverkan för flertalet framtida scenarier framtagna inom avloppsstrategin. I analysen användes en beräkningsmodell där utsläppen från avloppsreningsverken ingår.

Resultaten från ytvattenundersökningarna visade att det generellt inte återfanns några halter av hormoner och antibiotika över analysmetodens detektionsgräns (LOD) i Sundsvallsbukten. För övriga läkemedel fanns det ett flertal ämnen som återfanns i halter över kvantifieringsgränsen (LOQ) och som även uppmättes i högre halter i kontrollpunkterna jämfört med referenserna, främst inom utsläppsområdena för Tivoli och Fillan ARV. Av intresse i sammanhanget är att bedömningsgrund och bedömda effekthalter för flera av de aktuella ämnena ligger under detektionsgränsen för tillgängliga vattenkemiska analysmetoder. Det medför att en standardiserad vattenkemisk provtagning inte alltid kan klargöra om recipienten uppnår vattenförekomstens kvalitetskrav.

De fyra substanserna östron, etinylöstradiol, oxazepam och diklofenak identifierades till den fördjupade recipientanalysen. Modellberäkningar av spridning och utspädning av uppmätta utsläppshalter av hormonet etinylöstradiol (EE2) visar att halter ligger över bedömningsgrund i stora delar av Sundsvallsfjärden och att det således kan föreligga en risk för negativa biologiska effekter vid dagens utsläpp från Tivoli ARV. För östron (E1) och diklofenak visar modelleringen endast liten påverkan utan kväve- eller kväve- och läkemedelsrening vid Tivoli och Fillan ARV (<1 %). För oxazepam visar modellberäkningar en tydlig minskning av volymen vatten som innehar halter över PNEC om reningssteg med läkemedelsrening installeras vid Tivoli och Fillan ARV. För Essvik ARV visar modellberäkningarna ingen påverkan i något scenario för något av de utvalda ämnena, främst till följd av stor utspädning i recipienten. Eftersom bedömningsgrund och bedömda effekthalter för de aktuella ämnena ligger under detektionsgränsen för tillgängliga vattenkemiska analyser medför det att beräknad omfattning av vattenkemisk påverkan inte kunnat valideras med genomförda provtagningar.

Tivoli ARV står för det största utsläppet av behandlat avloppsvatten i den, av de fyra undersökta, minst tåliga recipienten. Det medför att Sundsvallsfjärden är den vattenförekomst som har mest att vinna på byggnation av ett nytt ARV. De största vinsterna avseende volymmässig påverkan för substansen etinylöstradiol beräknades finnas med ett nytt, centraliserat ARV jämfört med att installera kväve- eller kväve- och läkemedelsrening på befintliga ARV. För östron och diklofenak visade beräkningarna av påverkad vattenvolym att ett nytt ARV med kväve- och läkemedelsrening jämfört med befintliga ARV med kväve- och läkemedelsrening inte gav några tydliga skillnader. För substansen oxazepam var det en något mindre volym som beräknades påverkas om kväve- och läkemedelsrening installeras på befintliga ARV.

Metoden att kombinera detaljerade beräkningar av samspelet mellan verksamhet och recipient tillsammans med provtagning vid ARV har möjliggjort en beskrivning av förekomst och miljörisker avseende läkemedelssubstanser i delar av Sundsvalls kommuns kustvatten. Utredningen har visat vikten av kunskap om lokal spridning och utspädning av behandlat avloppsvatten för att möjliggöra en kvalitativ bedömning.

En erfarenhet från det genomförda projektet, som även berör andra VA-aktörer, är att det ur ett miljöjuridiskt perspektiv finns försvårande omständigheter att identifiera en relevant reningsnivå av läkemedelssubstanser utifrån recipientperspektivet. Oklarheter kring skäligheten att investera i en viss nivå av rening, utifrån ett recipientbehov, kommer att finnas tills dess att ett antal frågetecken retts ut kring den svenska implementeringen av *icke-försämringskravet* inom svensk vattenförvaltning.

# INNEHÅLL

<b>1 SYFTE OCH MEDVERKANDE</b>	<b>6</b>
<b>2 BAKGRUND OCH FÖRUTSÄTTNINGAR</b>	<b>6</b>
2.1 AVLOPPSRENING INOM SUNDSVALLS KOMMUN	6
2.2 ÖVERGRIPANDE PROJEKTMETODIK UTIFRÅN LAGSTADGADE MILJÖKRAV	7
2.3 VERKSAMHET OCH RECIPIENT	8
2.4 KUSTVATTNETS GENERELLA RÖRELSEMÖNSTER INOM PROJEKTOMRÅDET	9
2.5 HYDRODYNAMISK BERÄKNINGSMODELL	11
2.6 VAL AV MIKROFÖRORENINGAR FÖR GENOMFÖRANDE AV FÖRDJUPAD RECIPIENTANALYS	11
2.7 AVGRÄNSNINGAR	13
<b>3 METOD</b>	<b>13</b>
3.1 PROVTA GNING AV LEDNINGSNÄT, RENINGSVERK OCH YTVATTEN	13
3.2 ANALYS AV PROVTA GNINGSRESULTAT	14
3.3 FÖRDJUPAD ANALYS AV BERÄKNA DE RECIPIENTHALTER AV LÄKEMEDEL	15
<b>4 RESULTAT</b>	<b>16</b>
4.1 PROVTA GNING AV RECIPIENTVATTEN	16
4.2 FÖRDJUPAD RECIPIENTANALYS ENLIGT AVLOPPSSTRATEGIN	21
4.3 BERÄKNA DE OCH UPPMÄTTA RESULTAT FRÅN RECIPIENTEN	30
<b>5 SAMMANFATTADE RESULTAT OCH DISKUSSION</b>	<b>31</b>
5.1 VATTENKEMISKA ANALYSER FRÅN RECIPIENT	31
5.2 ESSVIK ARV	31
5.3 FILLAN ARV	31
5.4 TIVOLI ARV	32
5.5 NYTT ARV	32
5.6 METODIK OCH PROJEKTERFARENHETER	32
5.7 RENINGSTEKNIK OCH UTSLÄPPSVILLKOR FÖR LÄKEMEDELSSUBSTANSER UTIFRÅN ETT RECIPIENTPERSPEKTIV	33
<b>6 SLUTSATSER</b>	<b>33</b>
<b>7 REFERENSER</b>	<b>33</b>

Bilaga 1. Val av mikroföroreningar

Bilaga 2a-j. Sammanställning analysresultat från provtagning

Bilaga 3a. Resultat av fördjupad recipientanalys för etinylöstradiol (EE2)

Bilaga 3b. Resultat av fördjupad recipientanalys för östron (E1)

Bilaga 3c. Resultat av fördjupad recipientanalys för diklofenak

Bilaga 3d. Resultat av fördjupad recipientanalys för oxazepam

# 1 Syfte och medverkande

WSP Environmental har genom Sundsvall Vatten AB fått uppdraget att utföra delprojekt 1 *Läkemedelsprovtagning och utvärdering i ytvattenrecipient* i projektet *Förstudie läkemedelsrening Sundsvall*. Uppdraget omfattar planering och utförande av en undersökning med koppling till utsläpp av läkemedelssubstanser i behandlat avloppsvatten vid de tre största reningsverken i Sundsvall, samt vid ett eventuellt nytt centraliserat reningsverk vid Kubikenborg. Syftet är att utredningen ska fungera som ett underlag vid fortsatta utredningar för att bygga ut för avancerad rening vid antingen tre befintliga reningsverk eller vid ett nytt stort. Övergripande slutmål med förstudien för läkemedelsrening Sundsvall är att ta fram beslutsunderlag där investering vid tre verk ställs mot investering vid ett centraliserat verk i fråga om miljöpåverkan, ekonomi och andra relevanta aspekter.

Denna utredning ingår som en del i förstudien, vilken till största del har finansierats av Naturvårdsverket. Utöver arbetsgruppen på WSP Environmental i Sundsvall, som har varit delprojektledare, har även IVL Svenska Miljöinstitutet medverkat. IVL har framförallt varit delaktiga i urvalet av substanser både för vattenkemisk analys och prioriterade substanser i jämförelsen av recipientpåverkan där tre verk ställs mot ett nytt centraliserat verk. Resultat av vattenanalyser, beräkningar av recipientpåverkan och utformning av rapport har diskuterats inom projektgruppen där, förutom WSP och IVL, även Malin Tuveesson, Jessica Schröder och Maria Roos från MittSverige Vatten & Avfall AB ingått.

## 2 Bakgrund och förutsättningar

### 2.1 Avloppsrening inom Sundsvalls kommun

Avloppsvattnet från Sundsvalls stad (inklusive Alnön och Njurunda) renas i dagsläget vid tre avloppsreningsverk (ARV): Tivoli, Fillan och Essvik ARV. Tillsammans behandlar reningsverken avloppsvatten från strax under 80 000 personer och viss industribelastning, men i framtiden beräknas belastningen öka till omkring 100 000 personer. Reningen vid dagens tre reningsverk sker genom mekanisk rening i silar eller galler, följt av förfällning med järn eller aluminium och slutligen ett aktivslamsteg för biologisk rening (reduktion av BOD). Ingen kväverening och ingen efterpolering sker efter biosedimenteringen, utan det renade och behandlade vattnet släpps därefter ut i respektive recipient. Fillan ARV tar även emot spillvatten från Sundsvalls sjukhus.

Stadsutvecklingen i Sundsvall med nya bostadsområden, nya exploaterings- och omvandlingsområden och behov av verksamhetsområden i stadsnära lägen har lett fram till utredningsbehov för att belysa bästa lokalisering och struktur av Sundsvalls avloppsreningsverk inför framtiden.

Under år 2018 startade fördjupade utredningar kring utformningen av Sundsvalls framtida avloppsvattenhantering, och dessa har delats upp i tre olika scenarier:

- 1) Centraliserad avloppsvattenrening, dvs Tivoli, Fillan och Essvik ARV ersätts av ett nytt avloppsreningsverk på en ny plats. Det nya reningsverket byggs för att kunna möta framtida reningskrav och dimensioneras för strax över 100 000 pe.
- 2) Centraliserad slambehandling vid Fillan ARV, dvs avloppsvattenreningen sker vid Tivoli, Fillan respektive Essvik ARV, men behandlingen av slammet (rötning, slamavvattning, etc) sker centraliserat vid Fillan ARV. Investeringar för att möta framtida reningskrav gällande vattenreningen behöver göras vid tre reningsverk, men investeringar för slamhanteringen sker endast vid en anläggning.

3) Befintlig struktur, dvs avloppsvattenreningen sker fortsatt vid Tivoli, Fillan och Essvik ARV som idag, och investeringar för att möta framtida reningskrav behöver göras vid tre reningsverk.

## 2.2 Övergripande projektmetodik utifrån lagstadgade miljökrav

Läkemedel som används av människor och sedan kommer ut i miljön via reningsverk kan påverka akvatiska organismer, eftersom de ursprungligt är utformade för att påverka biokemiska och fysiologiska processer. Ett välkänt exempel är preventivmedel som via utsläpp från reningsverk kan ge störningar i fiskars fortplantningsförmåga (Naturvårdsverket, 2020). I dagsläget omfattas svensk VA-verksamhet inte av teknikkraV avseende rening av läkemedelssubstanser. Däremot återfinns i Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter om klassificering och miljökvalitetsnormer avseende ytvatten (HVMFS 2019:25) kvalitetskrav för kust- och inlandsvatten för fyra olika läkemedelssubstanser. En målsättning med svensk vattenförvaltning är att en beslutad miljökvalitetsnorm ska uppnås inom en viss tid för alla vattenförekomster. Miljökvalitetsnormen sätter ramarna för hur stor andel utsläppta ämnen en recipient kan belastas med utan att statusen försämras. Med anledning av den s.k. Weserdomen började svenska domstolar tillämpa icke-försämringskravet i samband med tillståndsprövningar. Sedan den 1 januari 2019 gäller att det s.k. icke-försämringskravet har implementerats i miljöbalken utöver den skrivning som redan finns i vattenförvaltningsförordningen. Enligt 5 kap. 4 § miljöbalken får:

*”En myndighet eller en kommun [...] inte tillåta att en verksamhet eller en åtgärd påbörjas eller ändras om detta, trots åtgärder för att minska föroreningar eller störningar från andra verksamheter, ger upphov till en sådan ökad förorening eller störning som innebär att vattenmiljön försämras på ett otillåtet sätt eller som har sådan betydelse att det äventyrar möjligheten att uppnå den status eller potential som vattnet ska ha enligt en miljökvalitetsnorm.*

*Vid prövning för ett nytt tillstånd och vid omprövning av tillstånd ska de bestämmelser och villkor beslutas som behövs för att verksamheten inte ska medföra en sådan försämring eller ett sådant äventyr.”*

Det vetenskapliga kriterium (bedömningsgrunden) som idag utgörs av föreskriften HVMFS 2019:25 blir därför nödvändiga att förhålla sig till vid utvärdering av tillåtlighet. I prövning av miljöfarlig verksamhet finns idag försvårande omständigheter. Svenska myndigheter har ingen entydig vägledning för omfattning av tillåtlig påverkan i relation till *icke-försämringskravet*. Det medför att det förekommer olika hänsyn till utspädningseffekter i varje enskild prövning, i samband med att utsläppsvillkor till vatten skall fastställas. Vederbörande omständighet kan rimligen delvis kopplas till avsaknaden av ett ramverk för var i relation till en belastningskälla som vattenförekomstens kvalitetskrav skall uppnås. När miljöfarlig verksamhet med utsläpp till en ytvattenförekomst bedrivs tar verksamhetsutövaren i praktiken alltid en viss volym vatten i anspråk där normgivna kvalitetskrav inte alltid kommer att kunna uppnås, såtillvida inte utgående vatten renas till samma eller renare kvalitet än rådande förhållanden i recipienten. Detta innebär att sambandet mellan en belastningskällas storlek och graden av påverkan av miljöstatus inte är linjär. Omfattning av miljöpåverkan från de olika avloppsreningsverken inom detta projekt styrs, utöver utsläppets storlek, av den berörda vattenförekomstens storlek, vattenomsättning och bakgrundshalter av berörda substanser.

Omfattning av betydelse för de enskilda ovannämnda faktorerna har inom detta projekt beaktas genom en beräkningsmodell där förhållandet mellan utsläppsvatten från de olika avloppsreningsverken tillsammans med lokala recipientförhållanden beräknats. Som komplement till beräkningarna har en riktad undersökning med kontroll- och referensprovpunkter inom varje enskild vattenförekomst genomförts. Utöver att vara ett underlag till utformningen av Sundsvalls framtida avloppsvattenhantering bidrar projektet till ny kunskap för vattenförvaltningen i Bottenhavets vattendistrikt.



## 2.3 Verksamhet och recipient

Avloppsvattnet från de tre största avloppsreningsverken leds, efter behandling, till respektive recipient vilka alla är kustvattenförekomster (Figur 1). Utloppet från Fillan ARV mynnar i Alnöundet (WA38927215), utloppet från Tivoli ARV mynnar i Sundsvallsfjärden (WA28544560) och utloppet från Essvik ARV mynnar i Svartviksfjärden (WA67738940). Eventuellt nytt, centraliserat reningsverk är placerat vid Kubikenborg med utloppet i Draget (WA69571596). Tekniska och dimensionerande data för respektive ARV presenteras i Ramböll (2020).

Undersökningar av halter av läkemedel i Sundsvallsbukten har inte tidigare genomförts. I VISS (2020) har inga av de läkemedelssubstanser som är utpekade som särskilda förorenande ämnen (SFÄ) statusklassats. Kunskapen om olika läkemedelssubstansers effekter på vattenmiljön är överlag begränsad och det är endast för ett fåtal ämnen som det finns en bedömningsgrund enligt Havs- och Vattenmyndighetens föreskrift om miljö kvalitetsnormer (HVMFS 2019:25). Av de ämnen som har undersökts inom detta projekt faller diklofenak, 17-alfa-etinylöstradiol (EE2), 17-beta-östradiol (E2, östradiol) och ciprofloxacin under särskilda förorenande ämnen. För samtliga ämnen, förutom ciprofloxacin, gäller att bedömningsgrunden avser årsmedelkoncentration. För ciprofloxacin avser bedömningsgrunden maximal tillåten koncentration.



Figur 1. Översiktskarta över befintliga tre reningsverk (Fillan, Tivoli, Essvik), föreslaget nytt reningsverk Kubikensborg (A1) samt berörda vattenförekomster.

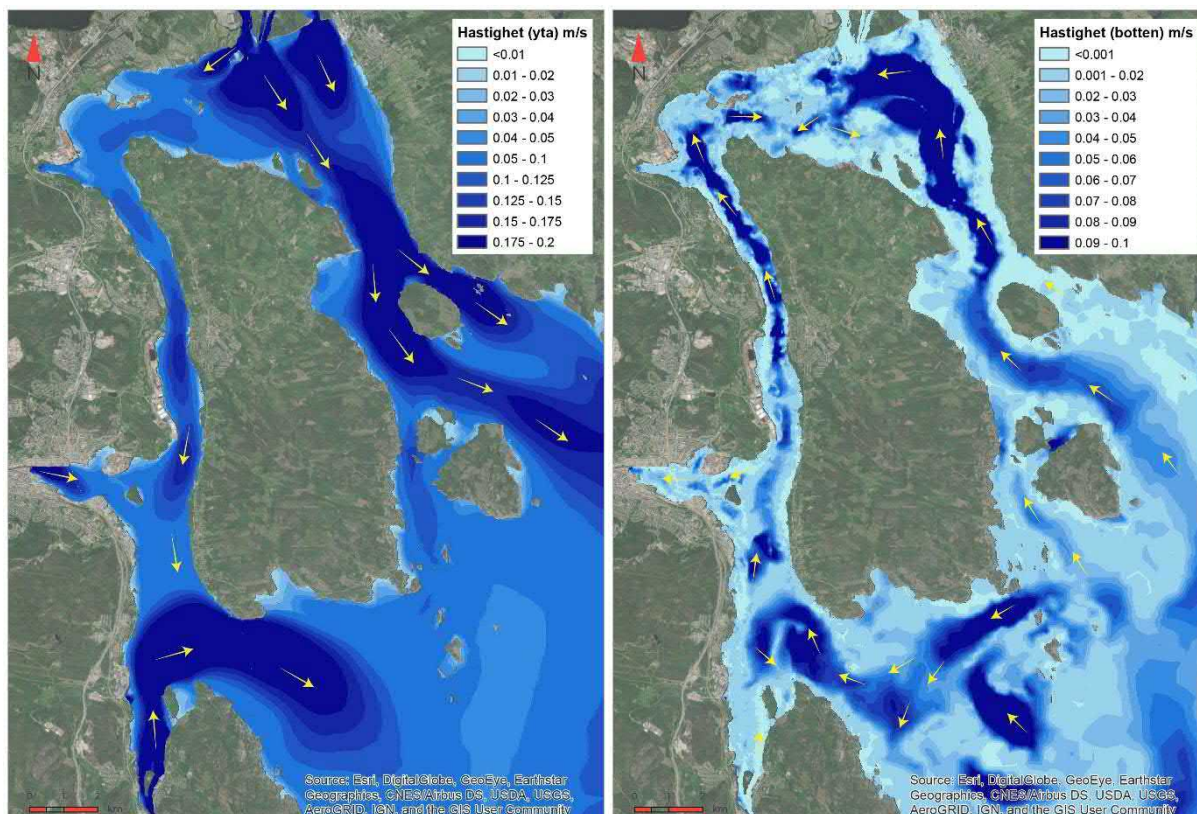
## 2.4 Kustvattnets generella rörelsemönster inom projektområdet

Inom den norra delen av projektområdet skapar Indalsälvens utlopp en sydgående ytström genom Alnöundet där Fillan ARV är lokaliserat. I Sundsvallsfjärden bidrar Selångersåns mynning till en ostlig ytström som passerar utloppet för Tivoli ARV. I Svartviksfjärden mynnar Ljungan vars vattenflöde genererar en nordgående ytström där Essvik ARV är lokaliserat. Vattenrörelserna inom projektområdets med omkringliggande vattenmassor karakteriseras av en s.k. estuarie-cirkulation. Vattnets rörelser drivs främst av en ytlig genomströmning av sötvatten som balanseras av en

motgående bottenström av saltare havsvatten (Figur 2). Cirkulationen ger upphov till en skiktning (språngskikt) där temperatur och salinitet i älv- och kustvatten är styrande. Omfattning och varaktighet av språngskikten styrs av älvarnas flöde men även av vindens inverkan på vattenytan. Storskaliga havsströmmar har en mindre påverkan på vattnets rörelser vid de olika avloppsreningsverken utlopp (Göransson, 1990; Sweco, 2016 och WSP, 2020a).

Av de fyra berörda vattenförekomsterna så innehar Sundsvallsfjärden minst volym och grundast medeldjup. Till Sundsvallsfjärden är vattentransport (in- och utflöden) med andra vattenförekomster av underordnad omfattning i jämförelse med Alnösundet, Svartviksfjärden och Draget (SMHI, 2020). Generellt medför det att möjligheten att motta förhöjda halter av föroreningar är mindre i Sundsvallsfjärden i jämförelse med övriga vattenförekomster. Låga vattenhastigheter i kombination med mindre vattenvolym kan snabbare leda till oönskade halter av miljöstörande ämnen.

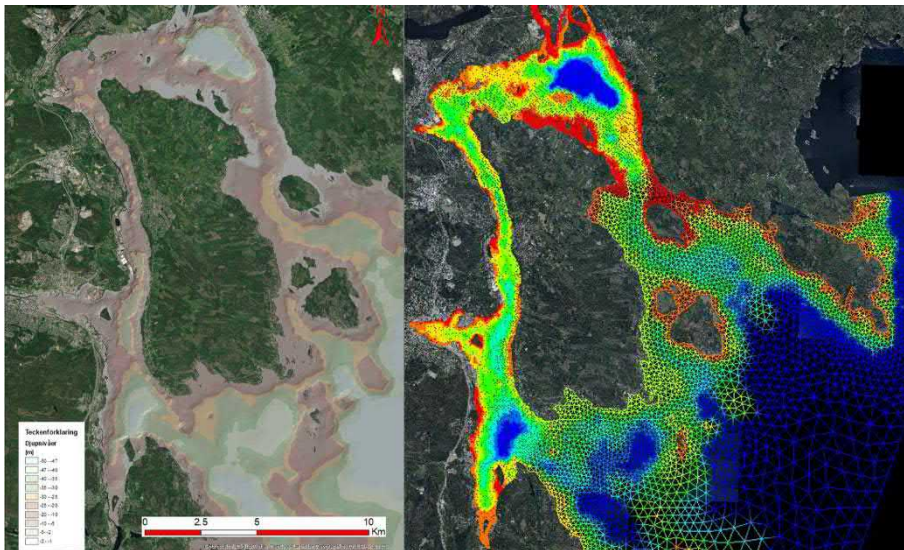
När ett utsläpp av behandlat avloppsvatten sker i en vattenmassa sker först en initial utspädning nära utloppet. Denna första spädning styrs av utsläppets initiala hastighet samt skillnader i densitet. Därefter styrs utspädningen av vilken typ av recipient som utsläppet sker till och dess förutsättningar. Viktiga parametrar är vattenhastighet och hur turbulent vattnet är (turbulent diffusion). I kustvatten är ofta den turbulenta spridningen snabbare i horisontell led än i vertikal led när turbulensen bromsas av skiktningar i vattenmassan. Hur snabbt en förorening späds ut beror alltså på advektion (att föroreningen följer med rådande strömmar), turbulent diffusion, termiska förhållanden och gradienter i salinitet. Dessa faktorer förändras i tid på grund av vädret och årstiden och i rum på grund av botten-topografi, omblandning och det är därför svårt att fastställa ett värde för en förorenings spädning. För att kunna ta hänsyn till alla faktorer som påverkar hur utsläpp späds ut har detta uppdrag upprättat en hydrodynamisk beräkningsmodell.



Figur 2. Generellt mönster av strömningsriktning och vattenhastighet (m/s) i Sundsvallsbukten ytvatten (vänster) och bottenvatten (höger) (WSP, 2020a).

## 2.5 Hydrodynamisk beräkningsmodell

För beräkningar av spridning och spädnings av utsläppt vatten har programvaran TELEMAC MASCARET använts (TELEMAC-MASCARET, 2019). Mjukvaran TELEMAC är en så kallad open-source-mjukvara för att modellera ytvatten i två och tre dimensioner. Modellens upplösning horisontellt utgörs av ett så kallat beräkningsnät där det sker beräkningar i varje nod. Nätet består av trianglar som kan variera i storlek (Figur 3). I djupled är modellen indelad i över 10 djuplager där mer än 300 000 noder återfinns i varje lager. Det medför till exempel att flera miljarder beräkningar utförs för att simulera ett dygns strömmar för varje parameter som till exempel strömhastighet, koncentration av behandlat avloppsvatten och temperatur. I viss mån har liknande modellförutsättningar, såsom vind- och sötvattentillflöden, som verksamhetsutövaren använt i tidigare projekt inom Sundsvallsbuktens vattenvårdsförening även ansatts i denna modell (WSP, 2020a; Sweco, 2016).



Figur 3. Figuren visar djupkarta (vänster) och beräkningsnät (höger) inom modellområdet.

## 2.6 Val av mikroföroreningar för genomförande av fördjupad recipientanalys

Urvalet av analysparametrar, utöver de substanser som är upptagna i HVMFS 2019:25, är baserat på tidigare genomförda studier av identifierade substanser av Sehlén m.fl. (2015) som uppdaterades under år 2019 inom förstudieprojektet vid Himmerfjärdsverket (Syvab, 2019; Ågerstrand, 2019). I bilaga 1 presenteras analyserade ämnen och substanser tillsammans med beräkningar av utspädning av utgående halter från de tre berörda avloppsreningsverken. Beräkningarna visar andel utspädning som krävs för att utsläpp av mikroföroreningar skall uppnå acceptabla halter enligt HVMFS 2019:25 eller PNEC (predicted no effect concentration). PNEC för varje substans är den koncentrationen som enligt tillgänglig litteratur inte har toxiska effekter på organismer i ytvatten. Utifrån sammanställningen av utspädning i bilaga 1 identifierades ett antal substanser där det fanns en risk för recipienten (behov av utspädning för att klara bedömningsgrund eller PNEC) (Tabell 1).

Tabell 1. Sammanställning av provtagna substanser som kräver högst utspädning. SF = säkerhetsfaktor. Grön = omedelbar utspädning (0–10 ggr), gul = låg utspädning krävs (10–100 ggr), röd = hög utspädning krävs (>100 ggr).

Substans	Utspädning krävs (ggr)			Osäkerhet i PNEC
	Tivoli ARV	Fillan ARV	Essvik ARV	
Citalopram	2500-3600	1700-3600	2000-4100	Hög (SF=2000)
Etinylöstradiol (EE2)	<143-914	<143-6430	<143-1570	-
Östron (E1)	58–95	<13-1600	<13–31	Medel (SF=100)
Oxazepam	200-210	150-350	110-320	Medel (SF=100)
Diklofenak	55–71	50-100	38–98	-
Ranitidine	9-39	9–50	9–30	Hög (SF=1000)
Amlodipine	<4,1–22	14–16	10–15	Hög (SF=1000)
Furosemide	10-16	8–17	5–15	Hög (SF=1000)
Erythromycin	2	<2–13	0,4–18	Hög (SF=1000)

Enligt riskbedömningsregler i REACH-förordningen (ECHA, 2020) ska en säkerhetsfaktor appliceras för att beräkna PNEC. Storleken på säkerhetsfaktorn ökar med minskad ekotoxikologisk kunskap. Saknas kroniska tester rekommenderas en säkerhetsfaktor 1000, vid två akuta toxicitetstester samt ett kroniskt test vid tre olika trofinivåer är faktorn 100, vid ett akut test samt två kroniska tester vid tre olika trofinivåer är faktorn 50 och vid tre kroniska test vid tre olika trofinivåer är faktorn 10.

Eftersom beräknad utspädningsgrad som krävs för att komma ner till PNEC är låg för substanserna ranitidine, amlodipine, furosemide och erythromycin, tillsammans med att säkerhetsfaktorn också är hög, bedöms dessa substanser inte utgöra en risk för berörda recipienter. Enligt beräkningsmetoden krävs det väldigt hög utspädning av vatten (eller långtgående läkemedelsrening) för att reducera citalopram till under PNEC. Toxicitetsdata för citalopram är dock väldigt bristfälligt och substansen har därför högst osäkerhetsfaktor (2000) bland alla analyserade substanser. Underlaget har bedömts för osäkert för att använda i förstudien och därför har citalopram exkluderats från recipientutredningen. När det kommer nya studier som belyser toxiska effekter av citalopram kan underlaget komma att omvärderas.

Substanser för fördjupad recipientanalys selekterades av projektgruppen med följande motivering:

- Diklofenak – bedömningsgrund i HVMFS 2019:25 finns och det krävs en 38–100 gångers utspädning för att uppnå god miljöstatus i recipient. Diklofenak är en aktiv substans som ingår i vissa mildare smärtstillande läkemedel. Halten diklofenak kommer inte minska betydande med införande av kväverening. Diklofenak kan därför vara styrande för om läkemedelsrening krävs eller inte.
- Etinylöstradiol (EE2) – bedömningsgrund i HVMFS 2019:25 finns och det krävs en hög beräknad utspädning för att uppnå god miljöstatus i recipient. Etinylöstradiol är ett halvsyntetiskt östrogen som ingår i flera östrogenläkemedel. Avskiljning av hormoner förbättras med införande av kväverening och det är därför viktigt att visa effekten av kväverening avseende recipientens miljöstatus.
- Oxazepam – Det krävs en relativt hög utspädning för att komma ner till PNEC och osäkerheten i PNEC är medel. Oxazepam är en aktiv substans i flertalet ångestdämpande och lugnande läkemedel.

- Östron (E1) – Det krävs en relativt hög utspädning vid Fillan ARV för att komma ner till PNEC och osäkerheten i PNEC är medel. Östron är ett naturligt östrogen som ingår i flera östrogenläkemedel. Avskiljning av hormoner förbättras med införande av kväverening och det är därför viktigt att visa effekten av kväverening avseende recipientens miljöstatus.

## 2.7 Avgränsningar

Följande avgränsningar och antaganden gäller för förstudien:

- I Scenario 1, centraliserad avloppsvattenrening, kommer inte allt avloppsvatten att överföras från Tivoli, Fillan respektive Essvik ARV, utan flöden som överstiger dagens  $2 Q_{dim}$  kommer att bräddas vid de befintliga reningsverken. Flöden över  $2 Q_{dim}$  sker vid till exempel snösmältning eller långvariga kraftiga regn, varför det bräddade vattnet är väldigt utspäddt. Ingen hänsyn har tagits till dessa bräddade mängder vid modellering av Scenario 1 i förstudien.
- Scenario 2, centraliserad slambehandling vid Fillan ARV, har exkluderats från recipientutredningen då det utsläppsmässigt inte innebär någon skillnad mot Scenario 3. Scenario 2 innebär att rötning och avvattning av slam från alla befintliga reningsverk i Sundsvall sker vid Fillan ARV. Det innebär i sin tur en ökad belastning av rejektvatten på Fillan ARV. Även om rejektvatten har väsentligt högre halter av läkemedelsrester än inkommande vatten så visar en beräkning att rejektvattenvolymererna är så små att den tillkommande belastningen är försumbar, i förhållande till övriga osäkerheter som finns.
- Ett antagande har gjorts i alla beräkningar att vid införande av kväverening så sker en reduktion av hormoner till under detektionsgräns ( $<1$  ng/l). Detta baseras på resultat från tidigare studier på flertalet reningsverk som har endast BOD-reduktion respektive både BOD- och kvävereduktion. Det finns dock osäkerhet i vilken reduktionsgrad det kommer bli på just de aktuella reningsverken, till exempel kan låg vattentemperatur påverka reduktionsgraden av hormoner. Ingen ytterligare rening av hormoner har räknats med vid införande av läkemedelsrening, även om studier har visat att det vid höga inkommande halter sker en ytterligare reduktion över läkemedelsreningssteget.
- Vid införande av läkemedelsrening har det antagits en fast reduktionsgrad av läkemedelsrester på 80 %.
- Koffein har analyserats men inte tagits med i utvärderingen i förstudien. Koffein ingår i läkemedelsanalyspaketet då det tidigare använts som indikator på omfattningen av mänsklig påverkan på ett visst vattensystem. Den förekommer även tillsammans med läkemedelssubstanser i vissa produkter. Eftersom den största källan till koffein inte är läkemedelspreparat tas inte koffein med i utvärderingen.

## 3 Metod

### 3.1 Provtagning av ledningsnät, reningsverk och ytvatten

Provtagning av ytvatten har genomförts genom riktade undersökningar och i samordning med Sundsvallsbuktens vattenvårdsförening (SBVV). Provtagning har skett på tre vattendjup (yta (0,5 m), språngskikt ( $\leq 10$  m) och botten (0,5 m ovan botten)) i referenspunkter i varje vattenförekomst och i kontrollpunkter (verksamhetsnära) i utsläppsområdet för respektive avloppsreningsverk samt vid det nya reningsverket (Figur 4). Utförandemetodik för insamling av ytvatten presenteras i SBVV:s årsrapport (WSP, 2020b).

Provtagning av ytvatten har utförts vid tre tillfällen (augusti och november 2019 samt februari 2020). I samband med detta har även provtagning skett på ett antal utvalda punkter på ledningsnätet och på

in- och utgående vatten från varje reningsverk. Även recipienthalter i de tre största tillflödena till Sundsvallsbukten (Indalsälven, Selångersån och Ljungan) har provtagits vid ett tillfälle (maj 2020). Samtliga prover har skickats till IVL Svenska Miljöinstitutet för analys av läkemedelsrester. Proverna har analyserats för innehåll av ett flertal substanser inom grupperingarna antibiotika, hormoner och övriga läkemedel. Alla analyserade substanser finns listade i bilaga 2.



Figur 4. Karta över provtagningspunkter för läkemedel i Sundsvallsbukten och de tre största tillrinnande vattendragen (Indalsälven, Selångersån och Ljungan).

### 3.2 Analys av provtagningsresultat

Analysresultaten från genomförda provtagningar av ytvatten har statistiskt analyserats med syfte att kunna påvisa eventuella skillnader mellan verksamhetsnära områden (nära utloppen för avloppsreningsverken) och referensområden vid nuvarande drift. Ursprungligt mål med analysen av recipientdata var att genom statistiska tester klargöra eventuella skillnader mellan referens- och kontrollprovpunkter i varje vattenförekomst. Möjligheten till statistisk analys och databearbetning kom

dock att karaktäriseras av att majoriteten av resultaten ligger omkring detektions- eller kvantifieringsgränsen för undersökta substanser.

Detektionsgränsen (limit of detection (LOD<sup>1</sup>)) representerar den lägsta koncentrationen av ett ämne som ger en mätbar signal och kvantifieringsgränsen (limit of quantification (LOQ<sup>2</sup>)) representerar den lägsta koncentration som ger upphov till ett bestämt mätvärde. LOD och LOQ bestäms genom analys av blankprover och ett specifikt LOD/LOQ bestäms för varje analysomgång. Då värdet anges som en koncentration påverkas värdet även av hur mycket prov som upparbetats vid en given analys. Att LOD och LOQ tas fram för varje analysomgång kan medföra att LOD för en provpunkt kan vara högre än LOQ i samma provpunkt men vid ett annat provtillfälle. Även om detta ger en mer komplex data så möjliggör detta ett bättre dataunderlag för utvärderingen.

För att kunna klargöra statistiska skillnader i halter mellan kontrollpunkter och referenspunkter behöver LOQ ha varit högre än den högsta LOD. Därför diskuteras skillnader i resultatet utifrån medel- och maxvärden kopplat till LOD och LOQ i de olika vattenförekomsterna. Vid medelvärdesbildning har detektionsgränsen (LOD) använts som halt för analys svar <LOD. Provtagning av inkommande sötvattenstillflöden till Sundsvallsbukten (Indalsälven, Selångersån och Ljungan) provtogs endast vid ett tillfälle i slutskedet av projektet. Resultatet från denna stickprovsundersökning presenteras, men ingen vidare analys görs av analys svaren. Resultatet har inte heller inkluderats i den fördjupade analysen.

### 3.3 Fördjupad analys av beräknade recipienthalter av läkemedel

Utifrån urvalet av mikroföreningar (avsnitt 2.6) har en fördjupad analys gjorts för de fyra ämnen som har valts ut. Syftet med den fördjupade analysen är att kunna beskriva omfattningen av påverkan på recipienten från de olika anläggningarna i respektive vattenförekomst samt möjliggöra en jämförelse mellan utsläpp med olika reningsteknik. Genom att beräkna den andelen (volym vatten) av vattenförekomsten som inte uppnår uppsatta kvalitetskrav (bedömningsgrund eller PNEC) kan både den totala påverkansvolymen i olika vattenförekomster och andelen av påverkad vattenförekomst jämföras mellan olika scenarier. Följande scenarier omfattas av utredningen:

- **Scenario 1a:** Nytt ARV med kväverening
- **Scenario 1b:** Nytt ARV med både kväverening och läkemedelsrening
- **Scenario 3a:** Befintliga ARV utan kväverening
- **Scenario 3b:** Befintliga ARV med kväverening
- **Scenario 3c:** Befintliga ARV med både kväverening och läkemedelsrening

För varje scenario har utgående halter av läkemedelsrester från respektive avloppsreningsverk ansatts, beroende av vad som uppmätts under provtagningen och vad tillgänglig litteratur anser att olika reningstekniker ger för avskiljning. Utgående halter har sammanställts av IVL och presenteras i Tabell 2. När det gäller hormoner (EE2 och E1) antas införande av läkemedelsrening kunna ge halter <1 ng/l, men i beräkningarna har halten 1 ng/l ansatts. Beräkningar har gjorts för vilken spädning som krävs för att klara bedömningsgrund eller PNEC för respektive ämne och reningsverk. Med hjälp av dessa brytgränser är det möjligt med den hydrodynamiska beräkningsmodellen att beräkna volymen som innehar en viss koncentration samt att visualisera resultatet på en tvådimensionell karta.

---

<sup>1</sup> LOD = den lägsta gräns där ett ämne är möjligt att detektera

<sup>2</sup> LOQ = den lägsta gräns där ett ämne är möjligt att kvantifiera i en halt



Tabell 2. Utgående halter som ansatts för den fördjupade analysen av beräknade recipienthalter för respektive reningsverk och ämne.

Utgående halter (ng/l) (median och maxhalt)				
Scenario	Diklofenac	Etinylöstradiol (EE2)	Oxazepam	Öströn (E1)
<b>Scenario 1a</b>	500–1000	<1	2000–3500	<1
<b>Scenario 1b</b>	100–200	<1	400–700	<1
<b>Scenario 3a</b>	Tivoli: 610–710 Fillan: 530–1000 Essvik: 500–980	Tivoli: 5,6–6,4 Fillan: 1–45 Essvik: 1–11	Tivoli: 2000–2100 Fillan: 2000–3500 Essvik: 1900–3200	Tivoli: 6–7,6 Fillan: 38–129 Essvik: 2–2,5
<b>Scenario 3b</b>	Tivoli: 610–710 Fillan: 530–1000 Essvik: 500–980	Tivoli: <1 Fillan: <1 Essvik: <1	Tivoli: 2000–2100 Fillan: 2000–3500 Essvik: 1900–3200	Tivoli: <1 Fillan: <1 Essvik: <1
<b>Scenario 3c</b>	Tivoli: 120–140 Fillan: 100–200 Essvik: 100–200	Tivoli: <1 Fillan: <1 Essvik: <1	Tivoli: 400–420 Fillan: 400–700 Essvik: 380–640	Tivoli: <1 Fillan: <1 Essvik: <1

## 4 Resultat

### 4.1 Provtagning av recipientvatten

Samtliga analysresultat för samtliga provtagningar presenteras i bilaga 2. Genomgående i resultatet redovisas halter av läkemedelssubstanser i ng/l.

#### 4.1.1 Antibiotika

Analysresultatet visar att det för antibiotika inte finns några värden över LOQ, alltså att inga halter av antibiotika går att kvantifiera. Dock har ett antal ämnen detekterats, alltså att halter ligger över detektionsgränsen (Tabell 3). För att kunna analysera skillnaden i halter mellan kontrollpunkter och referenspunkter behöver LOQ ha varit högre än den högsta LOD, vilket för antibiotika endast gäller för två ämnen.

Tabell 3. Analyserade substanser av antibiotika och vilka av dessa som inte har kunnat detekterats (<LOD), som har detekterats men inte kvantifierats (<LOQ, >LOD) och som har kvantifierats (>LOQ).

Antibiotika	<LOD	<LOQ, >LOD	>LOQ
Amoxicillin	x		
Ampicillin	x		
Benzylpenicillin	x		
Clindamycin	x		
Moxifloxacin	x		
Rifampicin	x		
Sulfamethoxazole	x		
Tetracycline	x		
Trimethoprim	x		
Ciprofloxacin		x	
Clarithromycin		x	
Doxycycline		x	

Antibiotika	<LOD	<LOQ, >LOD	>LOQ
Erythromycin		x	
Fusidic acid		x	
Linezolid		x	
Metronidazole		x	
Norfloxacin		x	

Som exempel kan nämnas fusidic acid som överskrider halter för LOD i Alnösundets ena referensstation 175, men inte i den andra referenspunkten 135 eller i Fillan ARV kontrollpunkt. Vid de två tillfällena som halten överskred LOD låg halten på mellan 8 och 27 ng/l jämfört med max 12 ng/l vid övriga tillfällena och punkter. Det går alltså inte med säkerhet säga att halten är högre i referens 175 än vid övriga punkter i Alnösundet eftersom intervallet av uppmätta halter överlappas av detektionsgränsen. Detsamma gäller för Sundsvallsfjärdens två provtagningspositioner (referens 320 och Tivoli ARV kontrollpunkt). I tillrinnande sötvattentillflöden har inga halter kunnat detekteras (<LOD).

Sammanfattningsvis går det inte att påvisa några skillnader mellan kontrollpunkter och referenspunkter för någon av de provtagna substanserna inom gruppen antibiotika.

#### 4.1.2 *Hormoner*

För hormoner visar resultatet att inga halter överskrider LOQ, alltså inga halter har kunnat kvantifieras. I tillrinnande sötvattentillflöden har inga halter kunnat detekteras (<LOD). Halter av östron (E1) och östradiol (E2) överskrider dock LOD i vissa provpunkter (Tabell 4).

Tabell 4. Analyserade substanser av hormoner och vilka av dessa som inte har kunnat detekteras (<LOD), som har detekterats men inte kvantifierats (<LOQ, >LOD) och som har kvantifierats (>LOQ).

Hormoner	<LOD	<LOQ, >LOD	>LOQ
EE2 (etinylöstradiol)	x		
E1 (östron)		x	
E2 (östradiol)		x	

När skillnader av uppmätta halter mellan kontroll- och referenspunkter jämförs så förefaller halten av östron vid Essvik ARV referenspunkt vara högre än vid kontrollpunkten. Dock överskrids bara LOD i ett av fem prover. För Fillan ARV är halten av östradiol högre än LOD i ett referensprov (175). I den andra referenspunkten (135) samt i kontrollpunkten är dock alla halter under LOD. Vid Tivoli ARV överskrider halten av östron och östradiol LOD i referenspunkten vid vissa provtagningsstillfällen, dock överlappas intervallet för kvantifiering av LOD vid vissa tillfällen. Vid nytt ARV överskrids LOD för östron i referenspunkten, dock överlappas intervallet för kvantifiering av LOD vid vissa tillfällen.

Sammanfattningsvis visar analysen att det inte finns någon direkt skillnad mellan nivåerna av hormoner mellan utsläppsområden och referenspunkter. Om det finns en skillnad så är den liten och tyder i så fall på att halterna är högre i vattenförekomsternas referenspunkter än avloppsreningsverkens utsläppsområde.

#### 4.1.3 *Övriga läkemedel*

För övriga läkemedel har ett flertal ämnen både kunnat detekteras och kvantifieras (Tabell 5). För de ämnen där LOD överskrids gäller att LOQ måste vara högre än och inte överlappas av gränsen för LOD för att det ska vara möjligt att påvisa skillnader mellan olika områden i en vattenförekomst.

Tabell 5. Analyserade substanser av övriga läkemedel och vilka av dessa som inte har kunnat detekteras (<LOD), som har detekterats men inte kvantifierats (<LOQ, >LOD) och som har kvantifierats (>LOQ).

Läkemedel	<LOD	<LOQ, >LOD	>LOQ
Amlodipine	x		
Carbamazepine	x		
Fluoxetine	x		
Paracetamol	x		
Propranolol	x		
Ramipril	x		
Risperidone	x		
Sertralin	x		
Simvastatin	x		
Terbutaline	x		
Warfarin	x		
Citalopram		x	
Furosemide		x	
Ketoprofen		x	
Oxazepam		x	
Atenolol			x
Bisoprolol			x
Diklofenak			x
Hydrochlorothiazide			x
Ibuprofen			x
Metoprolol			x
Naproxen			x
Ranitidine			x

### Ämnen som detekterats men inte kvantifierats

I Fillan ARV kontrollpunkt är LOQ för citalopram, diklofenak, furosemide, oxazepam och naproxen högre än LOD för alla tillfällen. För citalopram, diklofenak och oxazepam överlappas dock intervallet för LOQ av LOD. För furosemide är LOD som högst vid det tillfälle då LOQ överskrids, vilket indikerar att halten skulle kunna vara högre vid kontrollpunkten än vid referenspunkterna, dock är medianen lägre (16 mot 25 ng/l) för kontrollpunkten även om medelhalten är högre (27 mot 21 ng/l). Även halten naproxen verkar påvisa en skillnad mellan kontrollpunkten och referenspunkterna, då medelhalten är beräknad till 19 ng/l vid kontrollpunkten och 5 ng/l vid båda referenspunkterna. Även medianen är långt högre (19 ng/l mot 4 ng/l).

I Tivoli ARV kontrollpunkt är det citalopram och furosemide som har ett LOQ som är högre än övriga LOD vid kontrollpunkten, dock överlappas även här intervallet för LOQ av LOD.

Vid nya avloppsreningsverkets kontrollpunkt överskrider LOQ för diklofenak och hydrochlorothiazide alla LOD vid denna punkt samt referenspunkten. Dock överlappar intervallet för LOQ den högsta LOD för hydrochlorothiazide, och för diklofenak överskrids LOD även i referenspunkten.

I Essvik ARV kontrollpunkt överskrider LOQ för diklofenak och naproxen LOD. För diklofenak överlappas intervallet för kvantifiering av detektionsgränsen och det verkar inte vara någon skillnad i medelhalt jämfört med referenspunkten. För naproxen överskrids LOD även vid referenspunkten.

Sammanfattningsvis för de ämnen som överskrider LOD men ej LOQ, så är det tveksamt om det går att se några skillnader mellan kontrollpunkter och referenspunkter. Eventuellt är medelhalten av furosemide lite högre i kontrollpunkten än i referenspunkterna vid Fillan ARV, men det är svårt att säga eftersom kvantifieringsnivån har så stort spann jämfört med detektionsgränsen. Halten av naproxen vid Fillan ARV verkar dock vara högre i kontrollpunkten än vid referenspunkterna.

### Ämnen som detekterats och kvantifierats

Vid Fillan ARV är de övriga läkemedel som både har detekterats och kvantifierats atenolol, bisoprolol, hydrochlorothiazide samt metoprolol. I Tabell 6 presenteras medel- och maxhalter för dessa ämnen i kontroll- och referenspunkterna. Samtliga ämnen mäts i högre halter vid kontrollpunkten än vid referenspunkterna.

Tabell 6. Medel- och maxhalter för övriga läkemedel som har detekterats och kvantifierats vid Fillan kontroll- och referenspunkter. Detektionsgränsen (LOD) har använts som halt vid medelvärdesbildning.

Läkemedel	Fillan ARV kontroll				Fillan ARV ref 135				Fillan ARV ref 175			
	Medel	Max	Antal värden	Antal värden >LOQ	Medel	Max	Antal värden	Antal värden >LOQ	Medel	Max	Antal värden	Antal värden >LOQ
Atenolol	8	29	9	3	4	5	5	0	4	5	5	0
Bisoprolol	2,3	7	9	3	2,2	3	5	0	2,2	3	5	0
Hydrochlorothiazide	7	26	9	1	2	5	5	0	2	5	5	0
Metoprolol	11	43	9	3	9	12	5	0	9	12	5	0

Vid Tivoli ARV har ett flertal övriga läkemedel både detekterats och kvantifierats (Tabell 7). Halten av atenolol, bisoprolol, diklofenak, hydrochlorothiazide, ibuprofen, metoprolol, naproxen samt ranitidine är högre vid kontrollpunkten än vid referenspunkten.

Tabell 7. Medel- och maxhalter för övriga läkemedel som har detekterats och kvantifierats vid Tivoli ARV kontroll- och referenspunkter. Detektionsgränsen (LOD) har använts som halt vid medelvärdesbildning.

Läkemedel	Tivoli ARV kontroll				Tivoli ARV ref 320			
	Medel	Max	Antal värden	Antal värden >LOQ	Medel	Max	Antal värden	Antal värden >LOQ
Atenolol	7	12	9	5	4	6	9	0
Bisoprolol	3	5	9	4	2	3	9	0
Diklofenak	10	20	9	2	5	13	9	0
Hydrochlorothiazide	13	32	9	4	5	10	9	0
Ibuprofen	13	21	9	2	12	35	9	0
Metoprolol	13	21	9	4	8	12	9	0
Naproxen	54	110	9	7	19	36	9	3
Ranitidine	5	12	9	1	3	12	9	0

Vid Essvik ARV har inga övriga läkemedel kvantifierats. Vid utsläppsposition för nya reningsverket är det endast naproxen som har detekterats och kvantifierats, och medelhalten i Draget är högre i det förmodade utsläppsområdet än vid referenspunkten 575 (Tabell 8). I tillrinnande vattendrag till

Sundsvallsbukten är det endast ämnena ibuprofen, naproxen och paracetamol som har detekterats och kvantifierats (Tabell 9).

Tabell 8. Medel- och maxhalter för övriga läkemedel som har detekterats och kvantifierats vid nytt ARV kontroll- och referenspunkter. Detektionsgränsen (LOD) har använts som halt vid medelvärdesbildning.

Läkemedel	Nytt ARV kontroll				Nytt ARV ref 575			
	Medel	Max	Antal värden	Antal värden >LOQ	Medel	Max	Antal värden	Antal värden >LOQ
Naproxen	15	39	9	1	5	10	9	0

Tabell 9. Halter för övriga läkemedel som har detekterats och kvantifierats i tillrinnande sötvattentillflöden. Provtagning av tillrinnande vattendrag har endast utförts vid ett tillfälle, därför redovisas enbart uppmätt halt.

Läkemedel	Indalsälven	Selångersån	Ljungan
	Halt	Halt	Halt
Ibuprofen	41	<LOD	<LOD
Naproxen	26	<LOD	<LOD
Paracetamol	40	17	18

Sammanfattningsvis för de ämnen som har kvantifierats så finns det ett flertal ämnen som uppmäts i högre halter i kontrollpunkterna jämfört med referenserna. Vid Fillan ARV är det läkemedlen atenolol, bisoprolol, hydrochlorothiazide samt metoprolol som återfinns i högre halter nära utloppen. Vid Tivoli ARV är halterna av atenolol, bisoprolol, diklofenak, hydrochlorothiazide, ibuprofen, metoprolol, naproxen samt ranitidine högre vid kontrollpunkten än vid referenspunkten. Vid nytt ARV är det endast naproxen som kunnat kvantifieras och där återfinns något högre halter i kontrollpunkterna.

#### 4.1.4 Värdering av data utifrån HVMFS 2019:25 och PNEC

För de ämnen där det finns en bedömningsgrund i HVMFS 2019:25 visas en sammanställning av uppmätta max- och medelvärden i Tabell 10 och Tabell 11. För diklofenak överskrids bedömningsgrunden vid Tivoli ARV kontrollpunkt, men i övriga punkter är halterna under både bedömningsgrunden och PNEC. För oxazepam, östron, etinylöstradiol och östradiol gäller att både LOD och LOQ är högre jämfört med bedömningsgrunden, vilket gör att det inte går att bedöma om uppmätta resultat är över eller under bedömningsgrunden eller PNEC. För merparten av dessa ämnen och i merparten av punkterna har inga halter över LOD kunnat mätas. För ciprofloxacina är uppmätta halter under både bedömningsgrunden och PNEC.

Tabell 10. Sammanställning av max- och medelvärden (inom parentes) för uppmätta halter vid nytt ARV och Tivoli ARV för ämnen där det finns en bedömningsgrund i HVMFS 2019:25. Detektionsgränsen (LOD) har använts som halt vid medelvärdesbildning.

Ämne (ng/l)	HVMFS 2019:25	PNEC (IVL)	Nytt ARV		Tivoli ARV	
			Kontroll	Ref 575	Kontroll	Ref 320
Diklofenak	10	50	13 (4)	5 (<3)	20 (10)	13 (5)
Oxazepam	-	10	65 (<44)	65 (<44)	38 (<33)	65 (<49)
Östron (E1)	-	0,08	2,0 (<1,2)	4,0 (1,5)	1,0 (<0,8)	3,0 (1,7)
Etinylöstradiol (EE2)	0,007	0,04	2,0 (<1,2)	2,0 (<1,2)	1,0 (<0,8)	2,0 (<1,2)
Östradiol (E2)	0,08	0,04	2,0 (<1,2)	2,0 (<1,2)	1,0 (<0,8)	3,0 (1,7)
Ciprofloxacina	100	64	10 (<5)	10 (<5)	8 (<4)	10 (<5)

Alla värden <LOD

Alla värden <LOQ, men värden >LOD finns

Finns värden >LOQ

Tabell 11. Sammanställning av max- och medelvärden (inom parentes) för uppmätta halter vid Fillan och Essvik ARV för ämnen där det finns en bedömningsgrund i HVMFS 2019:25. Detektionsgränsen (LOD) har använts som halt vid medelvärdesbildning.

Ämne (ng/l)	HVMFS 2019:25	PNEC (IVL)	Fillan ARV			Essvik ARV	
			Kontroll	Ref 135	Ref 175	Kontroll	Ref 630
Diklofenak	10	50	13 (6)	5 (<4)	5 (<4)	8 (<4)	5 (<4)
Oxazepam	-	10	130 (39)	53 (<47)	53 (<47)	38 (<29)	53 (<47)
Östron (E1)	-	0,08	1,0 (<1,0)	1,0 (<0,8)	1,0 (<1,0)	1,0 (<0,8)	3,0 (1,4)
Etinylöstradiol (EE2)	0,007	0,04	1,0 (<1,0)	1,0 (<0,8)	1,0 (<1,0)	1,0 (<0,8)	1,0 (<1,0)
Östradiol (E2)	0,08	0,04	1,0 (<0,8)	1,0 (<1,0)	3,0 (1,4)	1,0 (<0,8)	1,0 (<1,0)
Ciprofloxacin	100	64	8 (<4)	8 (3)	8 (<3)	8 (<4)	8 (<3)
Alla värden <LOD							
Alla värden <LOQ, men värden >LOD finns							
Finns värden >LOQ							

## 4.2 Fördjupad recipientanalys enligt avloppsstrategin

I kommande avsnitt presenteras den fördjupade recipientanalysen för de fyra ämnen som har valts ut (enligt avsnitt 2.6): etinylöstradiol (EE2), östron (E1), diklofenak och oxazepam. Resultatet presenteras genom en volymeräkning av vatten som överskrider tillgängliga bedömningsgrunder eller PNEC som sedan visualiseras på en karta. På så sätt kan olika scenarier (enligt avsnitt 3.3) jämföras. I avsnittet presenteras kartor som visualiserar utbredning av bottenvatten från beräkningsmodellen under ett scenario som kan motsvara ett typiskt spridningsmönster under isfria förhållanden (vår, sommar och höst). Eftersom en analys även genomförts med isläggning (ingen vind), vinter-flöden och -temperatur benämns de två scenarierna hädanefter som sommar och vinter. Vinterscenario yta och botten och sommar yta visualiseras för samtliga scenarier i bilaga 3a-3d och där anges även hur stora volymer som innehar normöverskridande halter för de olika scenarierna.

För ett antal av scenarierna uppges i resultatet att ingen volym vatten innehar en halt som överskrider bedömningsgrund eller PNEC, men i verkligheten finns det alltid en volym vatten i anslutning till respektive utlopp där halten är förhöjd (utsläppshalter är högre än recipientens bakgrundshalt). Beräkningsmodellen som använts har en upplösning på 10 meter mellan varje beräkningsnod. Det innebär att där volymen 0 m<sup>3</sup> anges så uppnås kvalitetskraven mindre än 10 meter från utsläppspunkten.

### 4.2.1 Etinylöstradiol (EE2)

För etinylöstradiol (EE2) finns en bedömningsgrund i HVMFS 2019:25, och den är 0,007 ng/l. I Tabell 12 visas de spädningsstal som krävs för att komma under bedömningsgrunden. Resultatet visar att det för Tivoli ARV med befintlig rening (3a) krävs ca 850 gångers spädning för att klara bedömningsgrunden, vilket innebär att allt bottenvatten i Sundsvallsfjärden och delar av Draget (Figur 5) kommer att inneha halter över bedömningsgrund. Vid det nya reningsverket samt vid Fillan och Essvik ARV krävs ca 150 gångers spädning, vilket inträffar inom närområdet för respektive utloppspunkt. Resultatet visar alltså att med reningssteg för kväve (3b) alternativt reningssteg för kväve- och läkemedelsrester (3c) påverkas en avsevärt mycket mindre volym vatten vid Tivoli ARV och Sundsvallsfjärden, medan det vid övriga verk inte blir någon större skillnad i påverkad volym vatten.

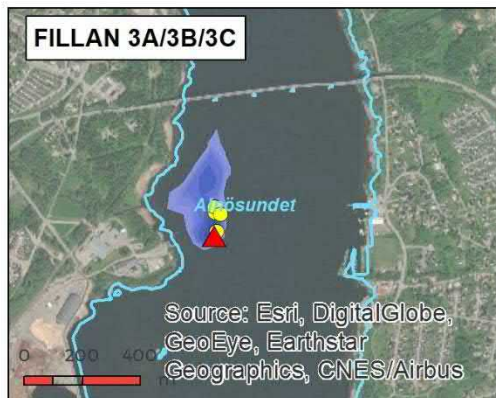
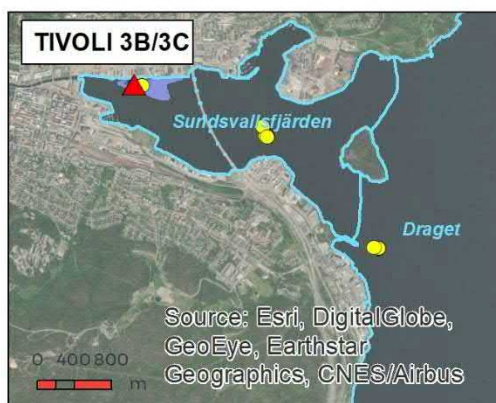
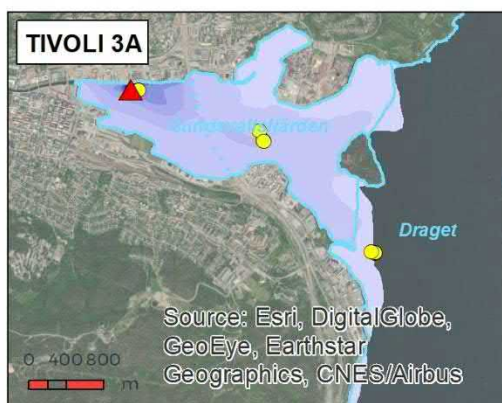
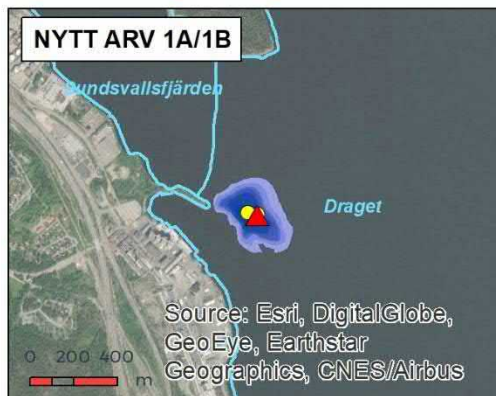
När det gäller övriga scenarier (vilket visualiseras i bilaga 3a) så blir det en avsevärd minskning av volym om befintliga ARV utan kväverening (3a) jämfört med ett nytt ARV med kväve- eller kväve- och läkemedelsrening. Även om läkemedelsrening installeras vid samtliga befintliga ARV (3b/3c) så

minskar volymen vatten som påverkas av förhöjda halter av etinylöstradiol vid ett nytt, centraliserat ARV (1a/1c) med ca 1/3 under vintern och ca 1/2 under sommaren jämfört med befintliga ARV med kväve- eller kväve- och läkemedelsrening (3b/3c).

Tabell 12. Spädningstal för att uppnå gräns (HVMFS 2019:25) för etinylöstradiol (EE2) för respektive scenario och reningsverk, samt den volym vatten (m<sup>3</sup>) som innehar halter över gräns och procentuell andel av respektive vattenförekomst.

Scenario	Spädningstal för att uppnå gräns (HVMFS 2019:25)				Volym sommar (m <sup>3</sup> )				Volym vinter (m <sup>3</sup> )			
	<i>Utifrån medianhalter och medelflöden</i>				Nytt ARV	Tivoli	Fillan	Essvik	Nytt ARV	Tivoli	Fillan	Essvik
	Nytt ARV	Tivoli	Fillan	Essvik								
1a/1b	155	-	-	-	799 000 (0,18 %)	-	-	-	1 055 000 (0,23 %)	-	-	-
3a	-	850	148	156	-	37 211 000 (105,12 %)	118 000 (0,06 %)	0	-	35 746 000 (100,98 %)	158 000 (0,07 %)	0
3b/3c	-	152	148	156	-	1 497 000 (4,23 %)	118 000 (0,06 %)	0	-	2 542 000 (7,18 %)	158 000 (0,07 %)	0

## ETINYLÖSTRADIOL (EE2) - Sommar botten - HVMFS 2019:25 (0,007 ng/l)



Figur 5. Kartorna visar utbredning av vattenvolymer i bottenvattnet (sommar) som innehåller halter av etinylöstadiol (EE2) över bedömningsgrunden för nytt ARV, Tivoli, Fillan och Essvik ARV (se Tabell 12 för spädningsstal som krävs för att uppnå gräns för bedömningsgrund eller PNEC för respektive ARV och scenario).



## 4.2.2 Östron (E1)

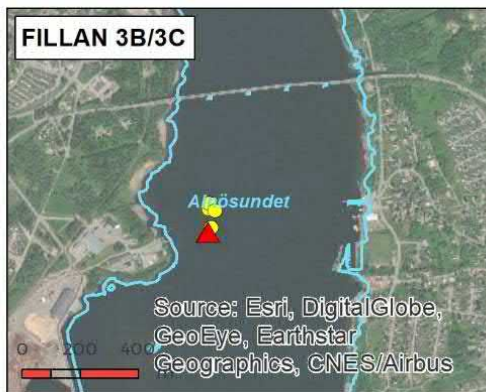
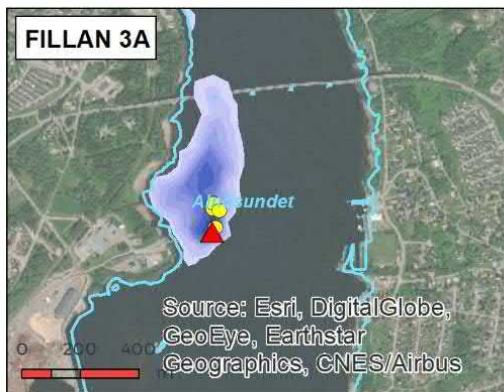
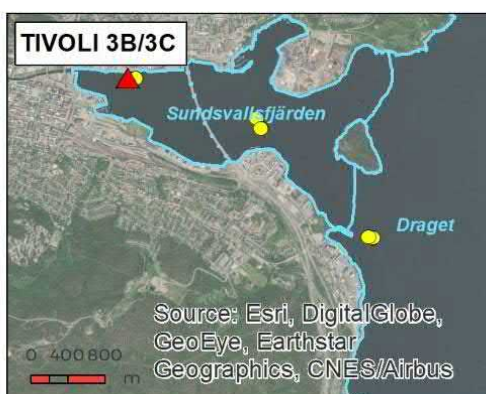
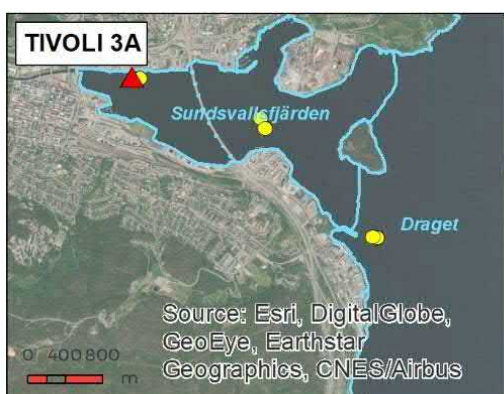
För östron (E1) har det använts ett PNEC-värde som är 0,08 ng/l. När det gäller östron krävs det för merparten av scenarierna och reningsverken en spädning mindre än 100 gånger för att komma ner i halter under PNEC, vilket inträffar inom närområdet för utloppen (Tabell 13 och Figur 6). Det är enbart vid det befintliga verket Fillan ARV (3a) som det krävs en större spädning, ca 500 gånger, för att komma ner i halter under PNEC. Resultatet visar att det är vid Fillan och Tivoli ARV som en mindre volym vatten kommer att påverkas om reningssteg för kväve (3b) alternativt reningssteg för kväve- och läkemedelsrester (3c) installeras.

När det gäller övriga scenarier (vilket visualiseras i bilaga 3b) så beräknas det bli en avsevärd minskning av volym vatten som påverkas av förhöjda halter av östron när befintliga ARV utan kväverening (3a) jämfört med ett nytt ARV med kväve- eller kväve- och läkemedelsrening (1a/1b), framförallt under sommaren. Om kväve- eller kväve- och läkemedelsrening installeras på befintliga ARV så beräknas ingen volym inneha överskridande halter, medan ca 3000 m<sup>3</sup> vid det nya reningsverket under sommaren beräknas överskrida PNEC. Detta innebär att det är en marginellt mindre volym vatten som påverkas om kväve- och läkemedelsrening installeras på befintliga ARV jämfört med ett nytt ARV, men dock mindre än 0,01 % av vattenförekomstens totala volym. Bedömningen är därför att alternativen ger en likartad påverkan på recipienterna avseende östron.

Tabell 13. Spädningstal för att uppnå gräns (PNEC) för östron (E1) för respektive scenario och reningsverk, samt den volym vatten (m<sup>3</sup>) som innehar halter över gräns och procentuell andel av respektive vattenförekomst.

Scenario	Spädningstal för att uppnå gräns (PNEC)				Volym sommar (m <sup>3</sup> )				Volym vinter (m <sup>3</sup> )			
	<i>Utifrån medianhalter och medelflöden</i>				Nytt ARV	Tivoli	Fillan	Essvik	Nytt ARV	Tivoli	Fillan	Essvik
	Nytt ARV	Tivoli	Fillan	Essvik								
1a/ 1b	14	-	-	-	3 000 (0 %)	-	-	-	0	-	-	-
3a	-	80	492	27	-	346 000 (0,98 %)	909 000 (0,43 %)	0	-	71 000 (0,20 %)	2 265 000 (1,07 %)	0
3b/ 3c	-	13	13	14	-	0	0	0	-	0	0	0

ÖSTRON (E1) - Sommar botten - PNEC (IVL) (0,08 ng/l)



Figur 6. Kartorna visar utbredning av vattenvolymer i bottenvattnet (sommar) som innehåller halter av östron (E1) över PNEC för nytt ARV, Tivoli, Fillan och Essvik ARV (se Tabell 13 för spädningsantal som krävs för att uppnå gräns för bedömningsgrund eller PNEC för respektive ARV och scenario).

### 4.2.3 Diklofenak

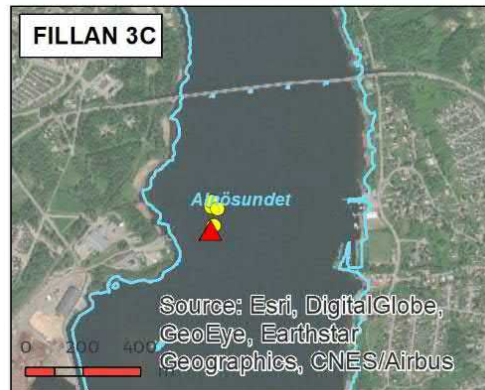
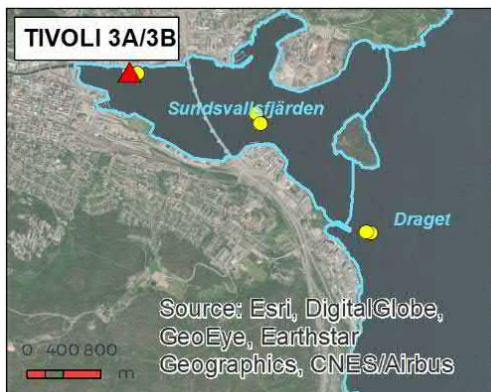
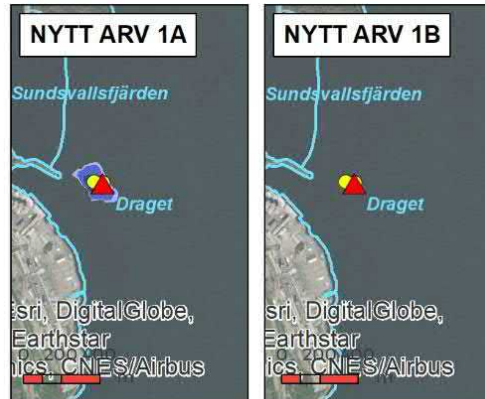
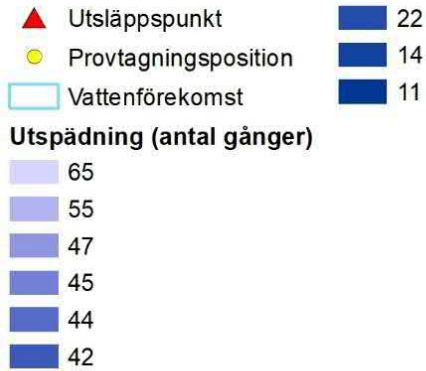
För diklofenak finns en bedömningsgrund i HVMFS 2019:25, och den är 10 ng/l. Resultaten visar att för diklofenak krävs det ca 55–65 gångers spädning när utgående vatten släpps från befintliga verk både med (1a och 3b) och utan (3a) reningssteg för kväve (Tabell 14). För att volymen vatten med halter som överskrider bedömningsgrunden ska minska krävs att reningssteg för kväve- och läkemedelsrester (1b och 3c) installeras. Alla scenarier påverkar dock en mycket liten del närmast utloppen (Figur 7). Utbredningen av det påverkade området är störst vid Tivoli ARV och nytt ARV, detta till stor del på grund av att utsläppen är större vid Tivoli ARV och nytt ARV samt att vattenhastigheten vid dessa utsläppspunkter är lägre jämfört med vid Fillan och Essvik ARV.

När det gäller övriga scenarier (vilket visualiseras i bilaga 3c) och befintliga ARV (3a/3b) som jämförs med ett nytt ARV med kväverening (1a) så är volymen som påverkas under sommaren ungefär hälften så stor med ett nytt ARV, men under vintern så är volymen som påverkas ungefär hälften så stor vid befintliga ARV. Det handlar dock om mindre än 0,05 % av respektive vattenförekomst vid samtliga alternativ. Det är liknande tendenser för samtliga scenarier som har jämförts, att den påverkade volymen är mycket liten (<1 % av vattenförekomsten) och att det inte går att dra några tydliga slutsatser kring vilket alternativ som är mest fördelaktigt för respektive vattenförekomst.

Tabell 14. Spädningstal för att uppnå gräns (HVMFS 2019:25) för diklofenak för respektive scenario och reningsverk, samt den volym vatten (m<sup>3</sup>) som innehar halter över gräns och procentuell andel av respektive vattenförekomst.

Scenario	Spädningstal för att uppnå gräns (HVMFS 2019:25)				Volym sommar (m <sup>3</sup> )				Volym vinter (m <sup>3</sup> )			
	<i>Utifrån medianhalter och medelflöden</i>				Nytt ARV	Tivoli	Fillan	Essvik	Nytt ARV	Tivoli	Fillan	Essvik
	Nytt ARV	Tivoli	Fillan	Essvik								
1a	54	-	-	-	115 000 (0,03 %)	-	-	-	134 000 (0,03 %)	-	-	-
1b	11	-	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-
3a/3b	-	65	55	55	-	216 000 (0,61 %)	6 000 (0,00 %)	0	-	23 000 (0,06 %)	35 000 (0,02 %)	0
3c	-	13	10	11	-	0	0	0	-	0	0	0

Diklofenak - Sommar botten - HVMFS 2019:25 (10 ng/l)



Figur 7. Kartorna visar utbredning av vattenvolymer i bottenvattnet (sommar) som innehåller diklofenak över bedömningsgrunden för nytt ARV, Tivoli, Fillan och Essvik ARV (se Tabell 14 för spädningsstal som krävs för att uppnå gräns för bedömningsgrund eller PNEC för respektive ARV och scenario).

#### 4.2.4 Oxazepam

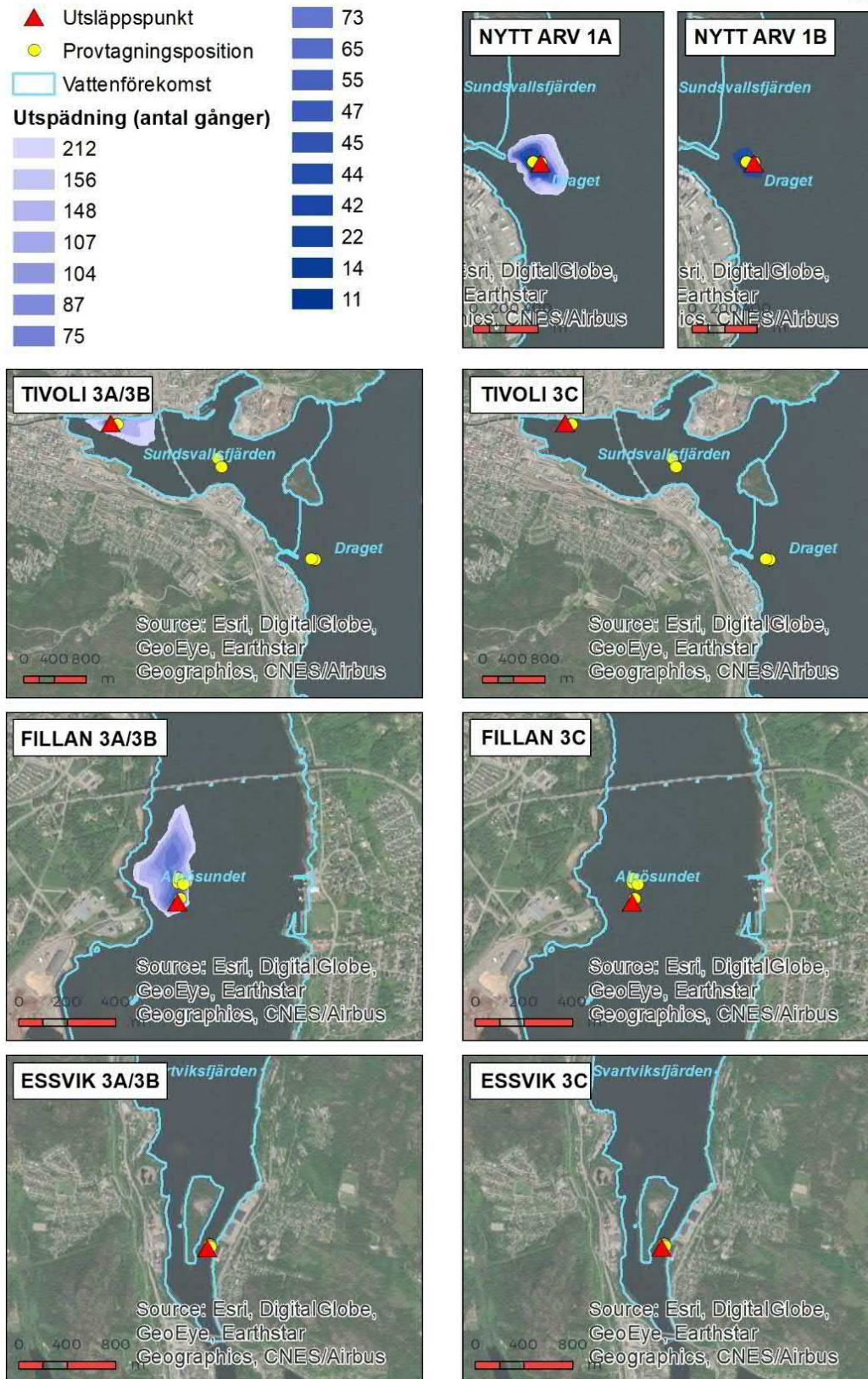
För oxazepam har det använts ett PNEC-värde som är 10 ng/l. Resultaten visar att för oxazepam så sker en tydlig minskning av volymen vatten som innehåller halter över PNEC om reningssteg med läkemedelsrening installeras (Tabell 15 och Figur 8). Resultaten visar att minskningen av spädningstal är likvärdig för samtliga reningsverk och även för det nya reningsverket. Volymen vatten som är påverkad av överskridande halter blir dock mindre vid de tre befintliga verken jämfört med det nya reningsverket om reningssteg med läkemedelsrening installeras.

När det gäller övriga scenarier (vilket visualiseras i bilaga 3d) och befintliga ARV (3a/3b) jämförs med ett nytt ARV med kväverening (1a) så är den påverkade volymen vatten ca 1/3 av volymen vid det nya ARV under sommaren och ca 1/4 av volymen under vintern. Jämförs befintliga ARV (3a/3b) med ett nytt ARV med kväve- och läkemedelsrening (1b) är det en avsevärd minskning av påverkad volym vatten vid ett nytt ARV. Om kväve- och läkemedelsrening installeras på befintliga ARV (3c) och jämförs med ett nytt ARV med kväve- och läkemedelsrening (1b) så beräknas påverkan på recipienterna bli något mindre om kväve- och läkemedelsrening installeras på befintliga ARV, men volymen vatten som innehåller förhöjda halter är mindre än 0,05 % för samtliga vattenförekomster och alternativ.

Tabell 15. Spädningstal för att uppnå gräns (PNEC) för oxazepam för respektive scenario och reningsverk, samt den volym vatten (m<sup>3</sup>) som innehåller halter över gräns och procentuell andel av respektive vattenförekomst.

Scenario	Spädningstal för att uppnå gräns (PNEC)				Volym sommar (m <sup>3</sup> )				Volym vinter (m <sup>3</sup> )			
	<i>Utifrån medianhalter och medelflöden</i>				Nytt ARV	Tivoli	Fillan	Essvik	Nytt ARV	Tivoli	Fillan	Essvik
	Nytt ARV	Tivoli	Fillan	Essvik								
1a	218	-	-	-	1 097 000 (0,24 %)	-	-	-	1 454 000 (0,32 %)	-	-	-
1b	44	-	-	-	78 000 (0,02 %)	-	-	-	74 000 (0,02 %)	-	-	-
3a/3b	-	212	207	207	-	3 061 000 (8,65 %)	189 000 (0,09 %)	0	-	5 035 000 (14,22 %)	235 000 (0,11 %)	0
3c	-	42	41	41	-	18 000 (0,05 %)	2 000 (0,00 %)	0	-	2 000 (0,01 %)	4 000 (0,00 %)	0

**OXAZEPAM - Sommar botten - PNEC (IVL) (10 ng/l)**

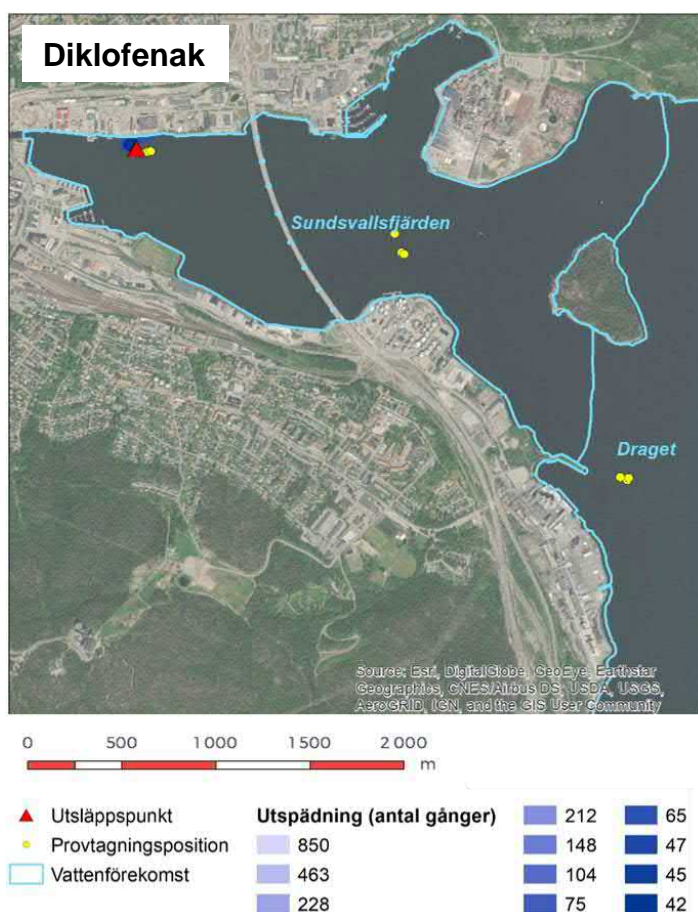


Figur 8. Kartorna visar utbredning av vattenvolymer i bottenvattnet (sommar) som innehåller halter av oxazepam över PNEC för nytt ARV, Tivoli, Fillan och Essvik ARV (se Tabell 15 för spädningstal som krävs för att uppnå gräns för bedömningsgrund eller PNEC för respektive ARV och scenario).

### 4.3 Beräknade och uppmätta resultat från recipienten

I urvalet av substanser för den fördjupade recipientanalysen är det endast diklofenak som återfinns i provtagningsdata från recipienterna med halter över LOQ. Mätvärden över LOQ återfinns i bottenvattnet vid Tivoli ARV kontrollpunkt (utsläppsområde) vid en enskild provtagning. Eftersom Tivoli ARV har de största utsläppen avseende både halter och flöden samt att utsläppstuben ligger på botten av Sundsvallsfjärden är resultatet avseende plats och djup inte överraskande. Den uppmätta halten var 20 nanogram/l. Motsvarande beräknade halter från modellen (utsläppshalt 610–710 ng/l) återfinns i det mörkblå området i anslutning till utsläppet men med lite nordligare utbredning än positionen för själva provtagningen (Figur 9).

Riktning och utbredning av den beräknade plymen av utsläppsvärden som överstiger bedömningsgrunden för diklofenak bygger på en medelvärdesbildning av en längre tidsserie som modellerats. Den representerar inte exakta förhållanden som återfanns vid en enskild provtagning. Modellberäkningarna är inte heller en exakt beskrivning av verkligheten men en detaljerad beskrivning utifrån angivna förutsättningar. Inom beräkningsmodellens tidsserie förekommer variation av plymens riktning och utbredning. Resultatet (halter) från recipienten och beräknad utbredning och spridning av diklofenak förefaller överensstämma med utgångspunkt i att plymen kan innefatta provtagningspositionen (Figur 9). Värdet av kombinationen beräkningar och provtagning ger en utökad kunskap och förståelse av samspelet mellan recipient och verksamhet som inte kunnat återskapas med bara en enskild vattenkemisk provtagning.



Figur 9. Sundsvallsfjärden med Tivoli ARV, befintligt ARV utan kväverening (3A). Figuren visar spridning och spädning av utsläppsvatten som innefattas av halter som överstiger bedömningsgrund för diklofenak för sommarscenariot.

## 5 Sammanfattade resultat och diskussion

### 5.1 Vattenkemiska analyser från recipient

Resultaten från ytvattenundersökningen i Sundsvallsbukten visar att det inte finns kvantifierbara halter av antibiotika och hormoner i någon av vattenförekomsterna. Det går därför inte heller att finna några skillnader mellan utsläppsområdena för respektive ARV jämfört med vattenförekomsternas referenspositioner. För kategorin övriga läkemedel finns det ett flertal substanser med halter över LOQ (kvantifieringsgränsen) och som även uppmäts i högre halter i kontrollpunkterna jämfört med referenserna, främst inom utsläppsområdena för Tivoli och Fillan ARV. För att statistiskt klargöra om skillnader finns mellan kontrollpunkter och referenspunkter behöver LOQ ha varit högre än den högsta LOD, vilket i föreliggande undersökning inte är fallet. Att halter av en substans inte går att kvantifiera i recipienten betyder inte att det ej finns risk för negativa effekter på akvatiska organismer. För substanserna oxazepam, etinylöstradiol, östron och östradiol går det inte att avgöra miljöstatus i recipienterna med vattenkemisk provtagning, eftersom bedömningsgrund eller PNEC är lägre än möjlig detektions- och kvantifieringsgräns. För substansen diklofenak ligger bedömningsgrunden över detektions- och kvantifieringsgränsen vid alla tillfällen, utom vid ett tillfälle på ett djup i kontrollpunkten för Tivoli ARV. För ciprofloxacin är uppmätta halter under både bedömningsgrund och PNEC.

### 5.2 Essvik ARV

I Svartviksfjärden, och i synnerhet vid utloppet för Essvik ARV, drivs vattnets rörelser framför allt av genomströmningen av älvvatten, från Ljungan, men längre nedströms utloppet även av vindens inverkan på vattenytan. Med undantag för perioder med höga vattenstånd återfinns alltid en nordlig strömriktning som medför en relativt snabb omblandning, vilket verifieras av både beräknade och uppmätta resultat. Den fördjupade recipientanalysen visar att det vid Essvik ARV inte beräknas finnas några volymer kustvatten som innehar halter över PNEC eller bedömningsgrund för de utvalda substanserna. Till följd av den snabba omblandningen och att utsläppet är relativt litet framgår av utredningen inget behov av läkemedelsrening. Det beräknas därför inte heller ske någon förbättring om kväve- eller kväve- och läkemedelsrening installeras vid Essvik ARV.

### 5.3 Fillan ARV

I Alnösundet återfinns ofta en skiktad vattenmassa med en sydlig ytström (genererad av Indalsälvens flöde) med lägre salinitet än den nordgående bottenströmmen. När utsläppet har en lägre densitet än kustvattnet stiger det mot ytan samtidigt som det initialt rör sig i nordlig riktning med bottenvattnet. Sammantaget sker en spridning i Alnösundet i sydlig riktning även om det i närområdet finns en spridning norrut. Djupnivån på vattenmassans skiktning varierar med vind, sötvattenstillflöden och vattenstånd och därför är spridningen av utsläppt vatten mer komplicerad vid Fillan ARV jämfört med till exempel Essvik ARV. Sötvattentillrinningen via Indalsälven främjar vattenrörelser och vattenutbyte i hela vattenförekomsten, vilket medför goda förutsättningar för omblandning. Den fördjupade recipientanalysen visar att utsläppet ombländas snabbt och att små andelar (<1 %) av Alnösundet beräknas innefattas av halter över PNEC eller bedömningsgrund för de utvalda substanserna. Fillan ARV gör alltså anspråk på mindre än 1 % av vattenförekomstens kvalitetskrav avseende läkemedelssubstanser. Om kväve- eller kväve- och läkemedelsrening installeras på Fillan ARV beräknas visserligen en förbättring ske för vattenförekomsten Alnösundet, men detta från redan små påverkade volymer vatten.



## 5.4 Tivoli ARV

Inne i Sundsvallsfjärden beror strömningsmönstret till stor del på utflödet från Selångersån. Detta ger en utåtgående (östlig) ström i ytvattnet som balanseras av en inåtgående bottenström. Utanför Selångersåns mynning har även vinden lokalt en effekt på vattnets rörelser. Vid Tivoli ARV sprider sig utsläppet i ytan vanligtvis ut mot mitten av fjärden, men utsläppet kan även vid sydliga till västliga vindar tryckas in längs Norra kajen. Selångersån har ett avsevärt mycket mindre flöde än Ljungan och Indalsälven. Det lägre sötvattensinflödet, vattenförekomstens relativt skyddade läge samt att Tivoli ARV har det största utsläppet, medför ogynnsamma omblandningsförhållanden jämfört med övriga recipienter. Risk finns för kortvarigt förhöjda koncentrationer av avloppsvatten i delar av vattenförekomsten. Detta är förhållanden som inte återfinns i övriga berörda vattenförekomster.

Beräknade recipienthalter visar att det för hormonet etinylöstradiol finns risk för negativa biologiska effekter i hela Sundsvallsfjärden vid dagens utsläpp från Tivoli ARV. Även med införande av avancerad läkemedelsrening beräknas mellan 4–7 % av fjärden att inneha normöverskridande halter av etinylöstradiol. Det medför att Sundsvallsfjärden är den vattenförekomst som har mest att vinna på ett eventuellt nytt, centraliserat ARV. Denna utredning visar att utsläppet från Tivoli ARV medför att kvalitetskravet god ekologisk status inte uppnås avseende parametern etinylöstradiol. Resultatet för övriga ämnen i den fördjupade utredningen visar att det enbart är för oxazepam som det beräknas finnas en förbättring för recipienten med att införa både kväve- och läkemedelsrening jämfört med kväverening vid Tivoli ARV. För östron och diklofenak är förbättringen marginell med kväve- och läkemedelsrening jämfört med enbart kväverening.

## 5.5 Nytt ARV

I Draget vid föreslagen utsläppsposition för nytt ARV drivs i huvudsak vattnets riktning och hastighet av strömmar av flöden i Indalsälven och Selångersån. Södra delen av Draget påverkas även av utflödet från Ljungan. Vattenförekomsten är mera exponerad mot Bottenhavet i jämförelse med övriga vattenförekomster, vilket bidrar till en ökad vinddriven vertikal omblandning som medför en mindre skarp skiktning av vattenmassan. Lokalt runt utsläppsområdet kan spridning ske i olika riktning men den totala ytliga transporten sker längs den västra stranden för att sedan vika av mot Bottenhavet med den av Ljungan bildade ytliga strömmen. Det mot havet exponerade läget gör att utsläpp har goda förutsättningar för omblandning. Resultatet visar att små andelar (<0,3 %) av Draget beräknas innefattas av halter över PNEC eller bedömningsgrund för de utvalda ämnena. Om kväve- och läkemedelsrening installeras vid ett nytt ARV beräknas visserligen en marginell förbättring ske jämfört med enbart kväverening, men detta från redan små volymer.

## 5.6 Metodik och projekterfarenheter

Den fördjupade recipientanalysen visar att det för hormonet etinylöstradiol finns risk för negativa biologiska effekter vid dagens utsläpp från Tivoli ARV i Sundsvallsfjärden, detta trots att provtagningen av hormoner visade låga (<LOD) uppmätta halter. Ämnesgruppen kan utgöra en miljörisk även under detektionsgräns med vedertagna analysmetoder. Fördelen med projektets valda metodik med att kombinera vattenkemiska provtagningar med en beräkningsmodell är att det möjliggör en noggrann beskrivning av samspelet mellan verksamhet och recipient. Beräkningsmodellen kan ta hänsyn till både verksamhetens och recipientens variation. Variationen beskrivs över tid till följd av varierande flöden men även mellan olika delar av vattenförekomsten som berörs av avloppsreningsverkens utsläpp på olika sätt. Den informationen kan inte återges med en massbalansberäkning eller en traditionell spridningsberäkning där enbart spridning i en riktning beräknas. Enbart mätningar på enstaka punkter och vid få tillfällen kan inte heller återge all den information som modellberäknade resultat ger. Mätningar är emellertid viktiga för att kalibrera och verifiera beräkningsmodellens resultat.

Projektets metodik medför att det går att kvantifiera och tydliggöra hur bolaget förhåller sig till det lagrum som finns för att nyttja vattenförekomsten som recipient.

## 5.7 Reningsteknik och utsläppsvillkor för läkemedelssubstanser utifrån ett recipientperspektiv

Förändringar i lagstiftningen de senaste åren, främst avseende följder av införandet av vattendirektivets kvalitetskrav för ytvatten, har höjt kunskapskraven avseende underlag som behöver tas fram inom ramen för tillstånd och prövning av miljöfarlig verksamhet. Berörda prövningsmyndigheter - med förbehåll att undantag kan beviljas - är skyldiga att inte lämna tillstånd till projekt när projektet kan orsaka en försämring av en ytvattenförekomsts miljöstatus eller när projektet äventyrar uppnåendet av god ekologisk eller kemisk status. Möjligheten att kvantitativt fastställa erforderliga utsläppshalter för att uppnå en vattenförekomsts kvalitetskrav går dock inte idag att fastställa tills dess att en av myndigheterna framtagna vägledning eller ett kriterium finns. Detta så till vida inte kvalitetskraven redan uppnås i utsläppsröret. Riktlinjer för hur stor andel av en vattenförekomst som en enskild belastningskälla får göra anspråk på utan att *icke-försämringskravet* träder i kraft är centralt om det ska gå att klargöra vilken typ av reningsteknik som krävs för en specifik vattenförekomst.

## 6 Slutsatser

Sammanfattningsvis kan det konstateras att metoden att kombinera detaljerade beräkningar av samspelet mellan verksamhet och recipient tillsammans med provtagning av utgående halter från ARV har möjliggjort en noggrann beskrivning av förekomst och miljörisker avseende läkemedelssubstanser i delar av Sundvalls kommuns kustvatten. Utredningen har visat vikten av kunskap om lokal spridning och utspädning av behandlat avloppsvatten. Vald metod är en förutsättning för en jämförelse av påverkan från olika avloppsreningsverk. Beräkningar av spridning och utspädning är viktiga för att noggrannheten av vattenkemiska analysmetoder idag är för låg för att enskilt fungera som ett verktyg för uppföljning av påverkan i recipientvatten.

Recipienterna ger inte någon tydlig vägledning för framtida avloppsstrategi avseende substanserna östron, diklofenak och oxazepam. För hormonet etinylöstradiol påverkar utsläppen från ett nytt ARV avsevärt mycket mindre kustvatten i jämförelse med dagens utsläpp. Ett nytt ARV skulle kunna förbättra miljöstatus i Sundsvallsfjärden.

En erfarenhet från det genomförda projektet, som även berör andra VA-aktörer, är att det ur ett miljöjuridiskt perspektiv finns försvårande omständigheter att identifiera en relevant reningsnivå av läkemedelssubstanser utifrån recipientperspektivet. Oklarheter kring skäligheten att investera i en viss nivå av rening, utifrån ett recipientbehov, kommer att finnas tills dess att ett antal frågetecken retts ut kring den svenska implementeringen av *icke-försämringskravet* inom svensk vattenförvaltning.

## 7 Referenser

ECHA (European Chemicals Guidance). 2020. Guidance on Information Requirements and Chemical Safety Assessment. <https://echa.europa.eu>.

Göransson, C.-G. 1990. Ortvikens pappersbruk, recipientundersökning med spårämne. Rapport, VBB.

Havs- och vattenmyndigheten. 2019. Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter om klassificering och miljökvalitetsnormer avseende ytvatten. Föreskrift 2019:25.

- IVL Svenska Miljöinstitutet. 2019. Förstudie inför implementering av läkemedelsrening vid Himmerfjärdsverket. Provtagning, analys och bedömning av reningsbehov.
- Naturvårdsverket. 2020. Läkemedel i miljön. <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Manniska/Miljogifter/Organiska-miljogifter/Lakemedel/>. [2020-09-09].
- Sehlén, R., Malmberg, J., Baresel, C., Ek, M., Magnér, J., Allard, A-S., Yang, J. 2015. Pilotanläggning för ozonoxidation av läkemedelsrester i avloppsvatten. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet. Rapport nr B 2218.
- SMHI. 2020. Vattenwebb. <https://www.smhi.se/data/hydrologi/vattenwebb>. [2020-09-08].
- Sweco Environment. 2016. PM Spridningsmodellering Sundsvallsbuktens vattenvårdsförening. Uppdragsnummer 1654021000.
- Syvaab 2019. Förstudie läkemedelsrening Syvaab. Huvudrapport, Syvaab i samarbete med Ramböll, IVL Svenska Miljöinstitutet och Stockholms universitet.
- TELEMAC-MASCARET. 2019. Open TELEMAC-MASCARET. <http://www.opentelemac.org/>. [2020-09-08].
- Ramböll. 2020. Förstudie ny avloppsrening Sundsvall. PM Dimensionerande data. Uppdragsnummer 1320038179.
- VISS. 2020. <https://viss.lansstyrelsen.se>. [2020-09-07].
- WSP. 2020a. Flytt av utsläppsposition vid landutfyllnad i Tunadal. Uppdragsnummer 10295760.
- WSP. 2020b. Årsrapport för recipientkontroll 2019. Sundsvallsbuktens vattenvårdsförening. Uppdragsnummer 10280763.
- Ågerstrand, M. 2019. Derivation of PNECs for 39 pharmaceutical substances. Department of Environmental Science and Analytical Chemistry (ACES), Stockholm University, ACES report 36.

## VI ÄR WSP

WSP är ett av världens ledande analys- och teknikkonsultföretag. Vi verkar på våra lokala marknader med stöd av global expertis. Som tekniska experter och strategiska rådgivare har vi tillgång till ingenjörer, tekniker, naturvetare, planerare, utredare och miljöspecialister liksom professionella projektörer, konstruktörer och projektledare. Vi erbjuder hållbara lösningar inom Hus & Industri, Transport & Infrastruktur och Miljö & Energi. Med drygt 39 000 medarbetare på 500 kontor i 40 länder medverkar vi till en hållbar samhällsutveckling. I Sverige har vi omkring 4 000 medarbetare. [wsp.com](http://wsp.com)

**WSP Sverige AB**  
Box 758  
851 22 Sundsvall  
Besök: Stuvarvägen 3

T: +46 10 722 50 00  
Org nr: 556057-4880  
Styrelsens säte: Stockholm  
[wsp.com](http://wsp.com)



Tabell 1. Urval av mikroföroreningar för Tivoli ARV, urval genomfört i samarbete med IVL Svenska Miljöinstitutet.

Substans	PP2 ARV UT			Riskbedömning utifrån PNEC		Riskbedömning utifrån HVMFS 2019:25	
	Aug 2019 (ng/L)	Nov 2019 (ng/L)	Mars 2020 (ng/L)	PNEC (ng/l)	Minst utspädning (ggr)	Bedömnings- grund/ gränsvärde ng/l	Minst utspädning (ggr)
YES		7,2	6,3	-	-	-	-
Östron (E1)	4,6	7,6	6,0	0,08	58-95	-	-
Östradiol (E2)	1,5	1,0	1,0	0,04	< 25,0	0,08	< 13
Etinylöstradiol (EE2)	5,6	6,4	1,0	0,016	< 62,5 - 400	0,007	< 143-914
Amlodipine	41	220	---	10	<4,1-22	-	-
Atenolol	780	800	560	32000	0,0	-	-
Bisoprolol	210	220	240	35600	0,0	-	-
Carbamazepine	340	290	250	2500	0,1-0,2	-	-
Citalopram	190	270	210	0,075	2500-3600	-	-
Diclofenac	710	610	550	50	11-14	10	55-71
Fluoxetine	31	38	2	1160	0,0-0,03	-	-
Furosemide	2500	1900	1500	156	10-16	-	-
Hydrochlorothiazide	900	940	890	1000000	0,0	-	-
Ibuprofen	15	920	79	102000	0,0-0,01	-	-
Ketoprofen	250	220	290	2000	0,1	-	-
Metoprolol	1200	1300	1100	2590	0,4	-	-
Naproxen	1000	4900	4700	15000	0,1-0,3	-	-
Oxazepam	2000	2100	2000	10	200-210	-	-
Paracetamol	31	29	3	46000	0,0	-	-
Propranolol	68	110	100	228	0,3-0,4	-	-
Ramipril	12	10	3	100000	0,0	-	-
Ranitidine	77	18	21	2	9-39	-	-
Risperidone	3	2	1	5800	0,0	-	-
Sertraline	46	170	100	9,4	5-18	-	-
Simvastatin	120	--	---	200	<0,6	-	-
Terbutaline	4	6	15	240000	0,0	-	-
Warfarin	15	11	6,4	11000	0,0	-	-
Benzylpenicillin	20	---	2	6	<0,3-<3,3	-	-
Ciprofloxacin	1	2	8	64	<0,1	100	<0,1
Claritromycin	67	68	53	40	1	-	-
Clindamycin	2	1	14	14	<1	-	-
Doxycycline	6	12	355	36,9	<0,2-10	-	-
Erythromycin	43	39	42	20	2	-	-
Fusidic acid	8	9	12	500	0,0	-	-
Linezolid	19	6	20	8000	0,0	-	-
Metronidazole	31	94	53	-	-	-	-
Moxifloxacin	5	3	16	125	0,1	-	-
Norfloxacin	10	6	27	22	<1	-	-
Rifampicin	73	---	39	64	1	-	-
Sulfamethoxazole	99	77	63	118	1	-	-
Tetracycline	230	390	20	482	0,0-1	-	-
Trimetoprim	4	1	76	62000	0,0	-	-

XX - < LOQ/2 (Level of Quantification, i.e. smallest amount of analyte can be measured with reasonable accuracy)

XX - < LOD (Level of Detection, i.e. minimum detectable concentration)

"---" Ämnet kan inte utvärderas pga dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analys.

- Omedelbar utspädning (0-10 ggr)
- Låg utspädning krävs (10-100 ggr)
- Hög utspädning krävs (>100 ggr)

Tabell 2. Urval av mikroföroreningar för Fillan ARV, urval genomfört i samarbete med IVL Svenska Miljöinstitutet.

Substans	PP6 ARV UT			Riskbedömning utifrån PNEC		Riskbedömning utifrån HVMFS 2019:25	
	Aug 2019 (ng/L)	Nov 2019 (ng/L)	Mars 2020 (ng/L)	PNEC (ng/l)	Minst utspädning (ggr)	Bedömnings- grund/ gränsvärde ng/l	Minst utspädning (ggr)
YES		23,0	105	-	-	-	-
Östron (E1)	1,0	38,0	129	0,08	<13-1600	-	-
Östradiol (E2)	1,0	1,0	1,0	0,04	<25	0,08	< 13
Etinylöstradiol (EE2)	1,0	45,0	1,0	0,016	<63-2800	0,007	< 143-6430
Amlodipine	140	160	---	10	14-16	-	-
Atenolol	950	780	670	32000	0,0	-	-
Bisoprolol	310	200	210	35600	0,0	-	-
Carbamazepine	380	210	160	2500	0,1	-	-
Citalopram	250	270	130	0,075	1700-3600	-	-
Diclofenac	1000	530	500	50	10-20	10	50-100
Fluoxetine	34	57	17	1160	0,0-0,1	-	-
Furosemide	2600	1500	1200	156	8-17	-	-
Hydrochlorothiazide	1400	880	800	1000000	0,0	-	-
Ibuprofen	130	35	3600	102000	0,0	-	-
Ketoprofen	310	180	250	2000	0,1-0,2	-	-
Metoprolol	1800	1200	1000	2590	0,4-0,7	-	-
Naproxen	640	720	3700	15000	0,0-0,3	-	-
Oxazepam	3500	2000	1500	10	150-350	-	-
Paracetamol	31	29	3	46000	0,0	-	-
Propranolol	120	150	72	228	0,3-0,7	-	-
Ramipril	10	10	3	100000	0,0	-	-
Ranitidine	99	18	36	2	9-50	-	-
Risperidone	3	2	1	5800	0,0	-	-
Sertraline	74	170	62	9,4	7-18	-	-
Simvastatin	120	--	---	200	<0,6	-	-
Terbutaline	4	6	15	240000	0,0	-	-
Warfarin	18	9	5	11000	0,0	-	-
Benzylpenicillin	20	---	2	6	<0,3 - <3	-	-
Ciprofloxacin	1	2	8	64	<0,1	100	<0,1
Claritromycin	160	170	69	40	2-4	-	-
Clindamycin	4,4	1,5	36	14	0,1-2,6	-	-
Doxycycline	6	12	210	36,9	<0,2 - <6	-	-
Erythromycin	260	99	42	20	<2-13	-	-
Fusidic acid	8	9	12	500	0,0	-	-
Linezolid	1	6	20	8000	0,0	-	-
Metronidazole	63	72	54	-	-	-	-
Moxifloxacin	5	3	16	125	0,0	-	-
Norfloxacin	100	6	27	22	<0,4-5	-	-
Rifampicin	43	---	39	64	0,7	-	-
Sulfamethoxazole	410	120	110	118	1-3	-	-
Tetracycline	250	290	20	482	0,0-0,5	-	-
Trimetoprim	13	1,5	60	62000	0,0	-	-

XX - < LOQ/2 (Level of Quantification, i.e. smallest amount of analyte can be measured with reasonable accuracy)

XX - < LOD (Level of Detection, i.e. minimum detectable concentration)

"---" Ämnet kan inte utvärderas pga dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analys.

- Omedelbar utspädning (0-10 ggr)
- Låg utspädning krävs (10-100 ggr)
- Hög utspädning krävs (>100 ggr)

Tabell 3. Urval av mikroföroreningar för Essvik ARV, urval genomfört i samarbete med IVL Svenska Miljöinstitutet.

substans	PP12 ARV UT			Riskbedömning utifrån PNEC		Riskbedömning utifrån HVMFS 2019:25	
	Aug 2019 (ng/L)	Nov 2019 (ng/L)	Mars 2020 (ng/L)	PNEC (ng/l)	Minst utspädning (ggr)	Bedömnings- grund/ gränsvärde ng/l	Minst utspädning (ggr)
YES		2,0	6	-	-	-	-
Östron (E1)	1,0	2,0	2,5	0,08	<13-31	-	-
Östradiol (E2)	1,5	1,0	1,0	0,04	<25-37	0,08	< 13-19
Etinylöstradiol (EE2)	1,0	11,0	1,0	0,016	<62-690	0,007	< 143-1570
Amlodipine	100	150	---	10	10-15	-	-
Atenolol	930	670	470	32000	0,0	-	-
Bisoprolol	310	210	160	35600	0,0	-	-
Carbamazepine	560	250	150	2500	0,0-0,2	-	-
Citalopram	310	260	150	0,075	2000-4100	-	-
Diclofenac	980	500	380	50	8-20	10	38-98
Fluoxetine	21	28	2	1160	0,0	-	-
Furosemide	2300	1100	840	156	5-15	-	-
Hydrochlorothiazide	1000	620	470	1000000	0,0	-	-
Ibuprofen	140	370	98	102000	0,0	-	-
Ketoprofen	190	120	94	2000	0,0-0,1	-	-
Metoprolol	1400	1100	750	2590	0,3-0,5	-	-
Naproxen	440	1700	1800	15000	0,0-0,1	-	-
Oxazepam	3200	1900	1100	10	110-320	-	-
Paracetamol	31	29	3	46000	0,0	-	-
Propranolol	72	48	34	228	0,1-0,3	-	-
Ramipril	18	10	3	100000	0,0	-	-
Ranitidine	61	18	22	2	9-30	-	-
Risperidone	3	2	2	5800	0,0	-	-
Sertraline	77	92	38	9,4	4-10	-	-
Simvastatin	120	--	---	200	<0,6	-	-
Terbutaline	3	4	15	240000	0,0	-	-
Warfarin	20	7	4	11000	0,0	-	-
Benzylpenicillin	20	---	2	6	<0,3-3	-	-
Ciprofloxacin	1	3,0	8	64	<0,1	100	<0,1
Claritromycin	42	1,5	10	40	0,0-1	-	-
Clindamycin	1,5	1	14	14	0,1-1	-	-
Doxycycline	6	12	210	36,9	<0,2 - <6	-	-
Erythromycin	360	7	25	20	0,4-18	-	-
Fusidic acid	13,5	9	12	500	0,0	-	-
Linezolid	1	6	20	8000	0,0	-	-
Metronidazole	12	2	17	-	-	-	-
Moxifloxacin	5	3	16	125	0,0-0,1	-	-
Norfloxacin	10	6	27	22	<0,3-<1,2	-	-
Rifampicin	75	---	23	64	<0,4-1,2	-	-
Sulfamethoxazole	68	5	100	118	<0,0-0,9	-	-
Tetracycline	32,5	24	20	482	0,0-0,1	-	-
Trimetoprim	4	1	120	62000	0,0	-	-

XX - < LOQ/2 (Level of Quantification, i.e. smallest amount of analyte can be measured with reasonable accuracy)

XX - < LOD (Level of Detection, i.e. minimum detectable concentration)

"---" Ämnet kan inte utvärderas pga dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analys.

- Omedelbar utspädning (0-10 ggr)
- Låg utspädning krävs (10-100 ggr)
- Hög utspädning krävs (>100 ggr)

Bilaga 2a. Sammanställning analysresultat från provtagning

Ämne där alla halter är under detektionsgränsen

Ämne med detekterade halter mellan LOD och LOQ

Ämne med detekterade halter över LOQ

Provpunkt	Samtliga halter i ng/l	Amoxicillin	Ampicillin	Benzylopenicillin	Ciprofloxacin	Clarithromycin
Essvik kontroll	Min	21	7	2	1	1
	Median	21	7	2	2	1
	Medel	21	7	2	4	4
	Max	21	9	2	8	10
	Antal värden	2	6	4	6	6
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0
Essvik ref 630	Min	21	7	2	1	1
	Median	21	17	20	1	1
	Medel	21	13	16	3	3
	Max	21	17	20	8	10
	Antal värden	1	5	4	5	5
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0
Fillan kontroll	Min	21	7	2	1	1
	Median	21	7	2	2	3
	Medel	21	7	2	4	4
	Max	21	9	2	8	10
	Antal värden	3	9	6	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	2
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0
Fillan ref 135	Min	21	7	2	1	1
	Median	21	17	20	2	1
	Medel	21	13	16	3	3
	Max	21	17	20	8	10
	Antal värden	1	5	4	5	5
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	1	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0



Bilaga 2a. Sammanställning analysresultat från provtagning

Ämne där alla halter är under detektionsgränsen

Ämne med detekterade halter mellan LOD och LOQ

Ämne med detekterade halter över LOQ

Provpunkt	Samtliga halter i ng/l	Amoxicillin	Ampicillin	Benzylpenicillin	Ciprofloxacin	Clarithromycin
Fillan ref 175	Min	21	7	2	1	1
	Median	21	17	20	1	1
	Medel	21	13	16	3	3
	Max	21	17	20	8	10
	Antal värden	1	5	4	5	5
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0
Nytt ARV kontroll	Min	21	7	2	1	1
	Median	21	7	2	8	1
	Medel	21	10	8	5	4
	Max	21	17	20	10	10
	Antal värden	1	7	6	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0
Nytt ARV ref 575	Min	21	7	2	1	1
	Median	21	7	2	8	1
	Medel	21	10	8	5	4
	Max	21	17	20	10	10
	Antal värden	1	7	6	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0
Tivoli kontroll	Min	21	7	2	1	1
	Median	21	7	2	2	1
	Medel	21	7	2	4	4
	Max	21	9	2	8	10
	Antal värden	3	9	6	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0
Tivoli ref 320	Min	21	7	2	1	1
	Median	21	9	11	8	1
	Medel	21	11	11	5	4
	Max	21	17	20	10	10
	Antal värden	1	7	6	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0

Bilaga 2a. Sammanställning analysresultat från provtagning

Ämne där alla halter är under detektionsgränsen

Ämne med detekterade halter mellan LOD och LOQ

Ämne med detekterade halter över LOQ

Provpunkt	Samtliga halter i ng/l	Amoxicillin	Ampicillin	Benzympenicillin	Ciprofloxacin	Clarithromycin
Indalsälven	Halt*	--	--	--	3	1
	Antal värden	1	1	1	1	1
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0
Selångersån	Halt*	--	--	--	3	1
	Antal värden	1	1	1	1	1
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0
Ljungan	Halt*	--	--	--	3	1
	Antal värden	1	1	1	1	1
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0

\*Provtagning av tillrinnande vattendrag har endast utförts vid ett tillfälle, därför redovisas enbart halt

-- Ämnet kan inte utvärderas pga dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt

Bilaga 2a. Sammanställning analysresultat från provtagning

Ämne där alla halter är under detektionsgränsen

Ämne med detekterade halter mellan LOD och LOQ

Ämne med detekterade halter över LOQ

Provpunkt	Samtliga halter i ng/l	Clindamycin	Doxycycline	Erythromycin	Fusidic acid	Linezolid	Metronidazole
Essvik kontroll	Min	1	10	1	4	6	1
	Median	1	12	7	9	8	2
	Medel	3	77	11	8	11	4
	Max	8	210	25	12	20	10
	Antal värden	6	6	6	6	6	6
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0
Essvik ref 630	Min	1	6	1	8	1	1
	Median	1	6	3	8	1	1
	Medel	2	48	7	9	6	3
	Max	8	210	25	12	20	10
	Antal värden	5	5	5	5	5	5
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	2	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0
Fillan kontroll	Min	1	10	1	4	6	1
	Median	1	12	7	9	8	2
	Medel	3	77	11	8	11	4
	Max	8	210	25	12	20	10
	Antal värden	9	9	9	9	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0
Fillan ref 135	Min	1	6	1	8	1	1
	Median	1	6	1	8	1	3
	Medel	2	48	7	9	6	4
	Max	8	210	25	12	20	10
	Antal värden	5	5	5	5	5	5
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	2
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0

Bilaga 2a. Sammanställning analysresultat från provtagning

Ämne där alla halter är under detektionsgränsen

Ämne med detekterade halter mellan LOD och LOQ

Ämne med detekterade halter över LOQ

Provpunkt	Samtliga halter i ng/l	Clindamycin	Doxycycline	Erythromycin	Fusidic acid	Linezolid	Metronidazole
Fillan ref 175	Min	1	6	1	8	1	1
	Median	1	6	1	12	3	3
	Medel	2	48	7	17	6	4
	Max	8	210	25	27	20	10
	Antal värden	5	5	5	5	5	5
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	2	1	2
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0
Nytt ARV kontroll	Min	1	6	1	2	1	1
	Median	1	24	1	8	9	6
	Medel	3	81	10	8	10	5
	Max	8	210	25	12	20	10
	Antal värden	9	9	9	9	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	1	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0
Nytt ARV ref 575	Min	1	10	1	2	1	1
	Median	1	24	1	8	9	6
	Medel	3	82	10	8	10	5
	Max	8	210	25	12	20	10
	Antal värden	9	9	9	9	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	2	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0
Tivoli kontroll	Min	1	10	1	4	6	1
	Median	1	12	7	9	8	2
	Medel	3	77	11	8	11	4
	Max	8	210	25	12	20	10
	Antal värden	9	9	9	9	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0
Tivoli ref 320	Min	1	6	1	2	1	1
	Median	1	24	1	9	9	6
	Medel	3	79	10	10	10	6
	Max	8	210	25	27	20	10
	Antal värden	9	9	9	9	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	1	1	2
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0

Bilaga 2a. Sammanställning analysresultat från provtagning

Ämne där alla halter är under detektionsgränsen

Ämne med detekterade halter mellan LOD och LOQ

Ämne med detekterade halter över LOQ

Provpunkt	Samtliga halter i ng/l	Clindamycin	Doxycycline	Erythromycin	Fusidic acid	Linezolid	Metronidazole
Indalsälven	Halt*	3	84	7	7	1	5
	Antal värden	1	1	1	1	1	1
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0
Selångersån	Halt*	3	84	7	7	1	5
	Antal värden	1	1	1	1	1	1
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0
Ljungan	Halt*	3	84	7	7	1	5
	Antal värden	1	1	1	1	1	1
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0

\*Provtagning av tillrinnande vattendrag har endast utförts vid ett tillfälle, därför redovisas enbart halt

-- Ämnet kan inte utvärderas pga dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt

Bilaga 2a. Sammanställning analysresultat från provtagning

Ämne där alla halter är under detektionsgränsen

Ämne med detekterade halter mellan LOD och LOQ

Ämne med detekterade halter över LOQ

Provpunkt	Samtliga halter i ng/l	Moxifloxacin	Norfloxacin	Rifampicin	Sulfamethoxazole	Tetracycline
Essvik kontroll	Min	1	2	23	5	20
	Median	3	6	27	5	24
	Medel	7	12	27	6	23
	Max	16	27	30	8	25
	Antal värden	6	6	4	6	6
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0
Essvik ref 630	Min	3	6	10	4	19
	Median	5	10	10	4	19
	Medel	7	13	13	4	20
	Max	16	27	23	5	24
	Antal värden	5	5	4	5	5
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0
Fillan kontroll	Min	1	2	23	5	20
	Median	3	6	27	5	24
	Medel	7	12	27	6	23
	Max	16	27	30	8	25
	Antal värden	9	9	6	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0
Fillan ref 135	Min	3	6	10	4	19
	Median	5	10	10	4	19
	Medel	7	17	13	4	20
	Max	16	30	23	5	24
	Antal värden	5	5	4	5	5
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	1	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0

Bilaga 2a. Sammanställning analysresultat från provtagning

Ämne där alla halter är under detektionsgränsen

Ämne med detekterade halter mellan LOD och LOQ

Ämne med detekterade halter över LOQ

Provpunkt	Samtliga halter i ng/l	Moxifloxacin	Norfloxacin	Rifampicin	Sulfamethoxazole	Tetracycline
Fillan ref 175	Min	3	6	10	4	19
	Median	5	10	10	4	19
	Medel	7	13	13	4	20
	Max	16	27	23	5	24
	Antal värden	5	5	4	5	5
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0
Nytt ARV kontroll	Min	1	2	10	4	19
	Median	15	16	22	5	20
	Medel	10	16	20	5	21
	Max	16	27	30	8	25
	Antal värden	9	9	8	9	7
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0
Nytt ARV ref 575	Min	1	2	10	4	19
	Median	15	16	22	5	20
	Medel	10	16	20	5	21
	Max	16	27	30	8	25
	Antal värden	9	9	8	9	7
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0
Tivoli kontroll	Min	1	2	23	5	20
	Median	3	6	27	5	24
	Medel	7	12	27	6	23
	Max	16	27	30	8	25
	Antal värden	9	9	6	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0
Tivoli ref 320	Min	3	6	10	4	19
	Median	15	16	21	5	20
	Medel	11	17	18	5	20
	Max	16	27	23	6	24
	Antal värden	9	9	8	9	7
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0

Bilaga 2a. Sammanställning analysresultat från provtagning

Ämne där alla halter är under detektionsgränsen

Ämne med detekterade halter mellan LOD och LOQ

Ämne med detekterade halter över LOQ

Provpunkt	Samtliga halter i ng/l	Moxifloxacin	Norfloxacin	Rifampicin	Sulfamethoxazole	Tetracycline
Indalsälven	Halt*	6	7	3	10	83
	Antal värden	1	1	1	1	1
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0
Selångersån	Halt*	6	7	3	10	83
	Antal värden	1	1	1	1	1
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0
Ljungan	Halt*	6	7	3	10	83
	Antal värden	1	1	1	1	1
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0

\*Provtagning av tillrinnande vattendrag har endast utförts vid ett tillfälle, därför redovisas enbart halt

-- Ämnet kan inte utvärderas pga dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt



Bilaga 2a. Sammanställning analysresultat från provtagning

Ämne där alla halter är under detektionsgränsen

Ämne med detekterade halter mellan LOD och LOQ

Ämne med detekterade halter över LOQ

Provpunkt	Samtliga halter i ng/l	Trimethoprim	Amlodipine	Atenolol	Bisoprolol	Caffeine	Carbamazepine
Essvik kontroll	Min	1	8	1	1	12	5
	Median	1	16	2	1	41	15
	Medel	6	16	2	1	46	15
	Max	15	23	3	1	100	25
	Antal värden	6	4	6	6	6	6
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	1	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	2	0
Essvik ref 630	Min	1	23	1	1	31	15
	Median	1	25	5	3	39	25
	Medel	4	25	4	2	38	23
	Max	15	25	5	3	41	25
	Antal värden	5	4	5	5	5	5
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0
Fillan kontroll	Min	1	8	1	1	12	5
	Median	1	16	3	1	40	15
	Medel	6	16	8	2	42	15
	Max	15	23	29	7	100	25
	Antal värden	9	6	9	9	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	3	0
	Antal värden >LOQ	0	0	3	3	0	0
Fillan ref 135	Min	1	23	1	1	31	15
	Median	1	25	5	3	130	25
	Medel	4	25	4	2	94	23
	Max	15	25	5	3	140	25
	Antal värden	5	4	5	5	5	5
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	2	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	1	0

Bilaga 2a. Sammanställning analysresultat från provtagning

Ämne där alla halter är under detektionsgränsen

Ämne med detekterade halter mellan LOD och LOQ

Ämne med detekterade halter över LOQ

Provpunkt	Samtliga halter i ng/l	Trimethoprim	Amlodipine	Atenolol	Bisoprolol	Caffeine	Carbamazepine
Fillan ref 175	Min	1	23	1	1	31	15
	Median	1	25	5	3	41	25
	Medel	4	25	4	2	74	23
	Max	15	25	5	3	130	25
	Antal värden	5	4	5	5	5	5
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	2	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0
Nytt ARV kontroll	Min	1	8	1	1	39	5
	Median	2	24	3	1	52	25
	Medel	6	20	3	2	63	21
	Max	15	25	6	3	100	32
	Antal värden	9	4	9	9	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	1	2	4	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0
Nytt ARV ref 575	Min	1	8	1	1	12	5
	Median	2	24	3	1	41	25
	Medel	6	20	3	1	52	21
	Max	15	25	5	3	100	32
	Antal värden	9	4	9	9	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	2	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0
Tivoli kontroll	Min	1	8	3	1	31	5
	Median	1	16	6	3	40	15
	Medel	6	16	7	3	79	15
	Max	15	23	12	5	190	25
	Antal värden	9	6	9	9	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	3	3	4	0
	Antal värden >LOQ	0	0	5	4	2	0
Tivoli ref 320	Min	1	23	1	1	31	15
	Median	2	25	3	3	52	25
	Medel	6	25	4	2	66	23
	Max	15	25	6	3	140	32
	Antal värden	9	4	9	9	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	3	2	3	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0

Bilaga 2a. Sammanställning analysresultat från provtagning

Ämne där alla halter är under detektionsgränsen

Ämne med detekterade halter mellan LOD och LOQ

Ämne med detekterade halter över LOQ

Provpunkt	Samtliga halter i ng/l	Trimethoprim	Amlodipine	Atenolol	Bisoprolol	Caffeine	Carbamazepine
Indalsälven	Halt*	3	25	5	7	36	24
	Antal värden	1	1	1	1	1	1
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	1	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0
Selångersån	Halt*	3	25	5	7	36	24
	Antal värden	1	1	1	1	1	1
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0
Ljungan	Halt*	3	25	5	7	36	24
	Antal värden	1	1	1	1	1	1
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0

\*Provtagning av tillrinnande vattendrag har endast utförts vid ett tillfälle, därför redovisas enbart halt

-- Ämnet kan inte utvärderas pga dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt

Bilaga 2a. Sammanställning analysresultat från provtagning

Ämne där alla halter är under detektionsgränsen

Ämne med detekterade halter mellan LOD och LOQ

Ämne med detekterade halter över LOQ

Provpunkt	Samtliga halter i ng/l	Citalopram	Diclofenac	Fluoxetine	Furosemide	Hydrochlorothiazide	Ibuprofen
Essvik kontroll	Min	2	2	1	3	1	2
	Median	2	3	2	10	2	10
	Medel	3	4	3	14	3	11
	Max	3	8	6	28	5	21
	Antal värden	6	6	6	6	6	6
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	1	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0
Essvik ref 630	Min	2	2	2	3	2	6
	Median	5	5	3	25	2	6
	Medel	4	4	3	21	2	10
	Max	5	5	6	28	5	21
	Antal värden	5	5	5	5	5	5
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0
Fillan kontroll	Min	2	2	1	3	1	2
	Median	2	2	2	10	2	10
	Medel	3	6	3	21	7	11
	Max	11	13	6	95	26	21
	Antal värden	9	9	9	9	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	1	3	0	1	2	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	1	0
Fillan ref 135	Min	2	2	2	3	2	6
	Median	5	5	3	25	2	6
	Medel	4	4	3	21	2	10
	Max	5	5	6	28	5	21
	Antal värden	5	5	5	5	5	5
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0

Bilaga 2a. Sammanställning analysresultat från provtagning

Ämne där alla halter är under detektionsgränsen

Ämne med detekterade halter mellan LOD och LOQ

Ämne med detekterade halter över LOQ

Provpunkt	Samtliga halter i ng/l	Citalopram	Diclofenac	Fluoxetine	Furosemide	Hydrochlorothiazide	Ibuprofen
Fillan ref 175	Min	2	2	2	3	2	6
	Median	5	5	3	25	2	6
	Medel	4	4	3	21	2	10
	Max	5	5	6	28	5	21
	Antal värden	5	5	5	5	5	5
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0
Nytt ARV kontroll	Min	2	2	1	3	1	2
	Median	3	4	3	6	2	9
	Medel	3	4	3	12	3	9
	Max	5	13	6	28	10	21
	Antal värden	9	9	9	9	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	1	0	0	2	1
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0
Nytt ARV ref 575	Min	2	2	1	3	1	2
	Median	3	4	3	6	2	6
	Medel	3	3	3	12	2	8
	Max	5	5	6	28	5	21
	Antal värden	9	9	9	9	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0
Tivoli kontroll	Min	2	2	1	3	1	2
	Median	2	13	2	28	15	11
	Medel	4	10	3	18	13	13
	Max	11	20	6	30	32	21
	Antal värden	9	9	9	9	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	2	5	0	2	3	0
	Antal värden >LOQ	0	2	0	0	4	2
Tivoli ref 320	Min	2	2	2	3	2	3
	Median	3	5	3	6	5	9
	Medel	3	5	3	14	5	12
	Max	5	13	6	28	10	35
	Antal värden	9	9	9	9	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	2	0	0	6	2
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0

Bilaga 2a. Sammanställning analysresultat från provtagning

Ämne där alla halter är under detektionsgränsen

Ämne med detekterade halter mellan LOD och LOQ

Ämne med detekterade halter över LOQ

Provpunkt	Samtliga halter i ng/l	Citalopram	Diclofenac	Fluoxetine	Furosemide	Hydrochlorothiazide	Ibuprofen
Indalsälven	Halt*	5	5	3	13	3	41
	Antal värden	1	1	1	1	1	1
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	1
Selångersån	Halt*	5	5	3	13	3	11
	Antal värden	1	1	1	1	1	1
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0
Ljungan	Halt*	5	5	3	13	3	11
	Antal värden	1	1	1	1	1	1
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0

\*Provtagning av tillrinnande vattendrag har endast utförts vid ett tillfälle, därför redovisas enbart halt

-- Ämnet kan inte utvärderas pga dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt

Bilaga 2a. Sammanställning analysresultat från provtagning

Ämne där alla halter är under detektionsgränsen

Ämne med detekterade halter mellan LOD och LOQ

Ämne med detekterade halter över LOQ

Provpunkt	Samtliga halter i ng/l	Ketoprofen	Metoprolol	Naproxen	Oxazepam	Paracetamol	Propranolol
Essvik kontroll	Min	2	1	2	10	1	1
	Median	3	3	10	38	2	1
	Medel	3	3	10	29	7	1
	Max	4	4	19	38	17	2
	Antal värden	6	6	6	6	6	6
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	2	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0
Essvik ref 630	Min	2	3	4	38	2	1
	Median	30	12	10	53	18	3
	Medel	19	9	10	47	15	2
	Max	30	12	19	53	18	3
	Antal värden	5	5	5	5	5	5
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	2	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0
Fillan kontroll	Min	2	1	2	10	1	1
	Median	4	4	10	38	2	1
	Medel	5	11	13	39	7	1
	Max	10	43	30	130	17	2
	Antal värden	9	9	9	9	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	3	0	4	1	0	0
	Antal värden >LOQ	0	3	0	0	0	0
Fillan ref 135	Min	2	3	4	38	2	1
	Median	30	12	4	53	18	3
	Medel	19	9	5	47	15	2
	Max	30	12	10	53	18	3
	Antal värden	5	5	5	5	5	5
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0

Bilaga 2a. Sammanställning analysresultat från provtagning

Ämne där alla halter är under detektionsgränsen

Ämne med detekterade halter mellan LOD och LOQ

Ämne med detekterade halter över LOQ

Provpunkt	Samtliga halter i ng/l	Ketoprofen	Metoprolol	Naproxen	Oxazepam	Paracetamol	Propranolol
Fillan ref 175	Min	2	3	4	38	2	1
	Median	30	12	4	53	18	3
	Medel	19	9	5	47	15	2
	Max	30	12	10	53	18	3
	Antal värden	5	5	5	5	5	5
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0
Nytt ARV kontroll	Min	2	1	2	10	1	1
	Median	2	7	13	38	17	1
	Medel	8	7	15	44	10	2
	Max	30	12	39	65	18	3
	Antal värden	9	9	9	9	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	1	4	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	1	0	0	0
Nytt ARV ref 575	Min	2	1	2	10	1	1
	Median	2	4	4	38	17	1
	Medel	8	6	5	44	10	2
	Max	30	12	10	65	18	3
	Antal värden	9	9	9	9	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0
Tivoli kontroll	Min	2	1	2	10	1	1
	Median	4	14	56	38	2	1
	Medel	5	13	54	33	7	1
	Max	10	21	110	38	17	2
	Antal värden	9	9	9	9	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	3	3	1	2	0	0
	Antal värden >LOQ	0	4	7	0	0	0
Tivoli ref 320	Min	2	4	4	38	2	1
	Median	2	7	19	53	17	1
	Medel	11	8	19	49	12	2
	Max	30	12	36	65	18	3
	Antal värden	9	9	9	9	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	1	4	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	3	0	0	0



Bilaga 2a. Sammanställning analysresultat från provtagning

Ämne där alla halter är under detektionsgränsen

Ämne med detekterade halter mellan LOD och LOQ

Ämne med detekterade halter över LOQ

Provpunkt	Samtliga halter i ng/l	Ketoprofen	Metoprolol	Naproxen	Oxazepam	Paracetamol	Propranolol
Indalsälven	Halt*	5	4	26	4	40	2
	Antal värden	1	1	1	1	1	1
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	1	0	1	0
Selångersån	Halt*	5	4	6	4	17	2
	Antal värden	1	1	1	1	1	1
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	1	0
Ljungan	Halt*	5	4	6	4	18	2
	Antal värden	1	1	1	1	1	1
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	1	0

\*Provtagning av tillrinnande vattendrag har endast utförts vid ett tillfälle, därför redovisas enbart halt

-- Ämnet kan inte utvärderas pga dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt

Bilaga 2a. Sammanställning analysresultat från provtagning

Ämne där alla halter är under detektionsgränsen

Ämne med detekterade halter mellan LOD och LOQ

Ämne med detekterade halter över LOQ

Provpunkt	Samtliga halter i ng/l	Ramipril	Ranitidine	Risperidone	Sertralin	Simvastatin	Terbutaline	Warfarin
Essvik kontroll	Min	3	1	1	1	4	1	1
	Median	4	1	1	1	4	4	1
	Medel	6	5	1	9	4	7	1
	Max	10	12	2	25	4	15	1
	Antal värden	6	6	6	6	2	6	6
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0	0
Essvik ref 630	Min	2	1	1	1	120	3	1
	Median	2	1	3	5	120	3	1
	Medel	4	3	3	8	120	6	1
	Max	10	12	3	25	120	15	1
	Antal värden	5	5	5	5	3	5	5
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0	0
Fillan kontroll	Min	3	1	1	1	4	1	1
	Median	4	1	1	1	4	4	1
	Medel	6	5	1	9	4	7	1
	Max	10	12	2	25	4	15	1
	Antal värden	9	9	9	9	3	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0	0
Fillan ref 135	Min	2	1	1	1	120	3	1
	Median	2	1	3	5	120	3	1
	Medel	4	3	3	8	120	6	1
	Max	10	12	3	25	120	15	1
	Antal värden	5	5	5	5	3	5	5
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0	0

Bilaga 2a. Sammanställning analysresultat från provtagning

Ämne där alla halter är under detektionsgränsen

Ämne med detekterade halter mellan LOD och LOQ

Ämne med detekterade halter över LOQ

Provpunkt	Samtliga halter i ng/l	Ramipril	Ranitidine	Risperidone	Sertralin	Simvastatin	Terbutaline	Warfarin
Fillan ref 175	Min	2	1	1	1	120	3	1
	Median	2	1	3	5	120	3	1
	Medel	4	3	3	8	120	6	1
	Max	10	12	3	25	120	15	1
	Antal värden	5	5	5	5	3	5	5
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0	0
Nytt ARV kontroll	Min	2	1	1	1	4	1	1
	Median	3	1	2	5	120	3	1
	Medel	6	2	3	6	81	6	1
	Max	14	12	7	25	120	15	1
	Antal värden	9	9	9	9	3	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0	0
Nytt ARV ref 575	Min	2	1	1	1	4	1	1
	Median	3	1	2	5	120	3	1
	Medel	6	2	3	6	81	6	1
	Max	14	12	7	25	120	15	1
	Antal värden	9	9	9	9	3	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0	0
Tivoli kontroll	Min	3	1	1	1	4	1	1
	Median	4	3	1	1	4	4	1
	Medel	6	5	1	9	4	7	1
	Max	10	12	2	25	4	15	1
	Antal värden	9	9	9	9	3	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	1	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	1	0	0	0	0	0
Tivoli ref 320	Min	2	1	1	1	120	1	1
	Median	3	1	3	5	120	3	1
	Medel	6	3	3	7	120	7	1
	Max	14	12	7	25	120	15	1
	Antal värden	9	9	9	9	3	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	1	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0	0

Bilaga 2a. Sammanställning analysresultat från provtagning

Ämne där alla halter är under detektionsgränsen

Ämne med detekterade halter mellan LOD och LOQ

Ämne med detekterade halter över LOQ

Provpunkt	Samtliga halter i ng/l	Ramipril	Ranitidine	Risperidone	Sertralin	Simvastatin	Terbutaline	Warfarin
Indalsälven	Halt*	9	5	2	1	13	4	1
	Antal värden	1	1	1	1	1	1	1
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0	0
Selångersån	Halt*	9	5	2	1	13	4	1
	Antal värden	1	1	1	1	1	1	1
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0	0
Ljungan	Halt*	9	5	2	1	13	4	1
	Antal värden	1	1	1	1	1	1	1
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0	0	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0	0	0	0	0

\*Provtagning av tillrinnande vattendrag har endast utförts vid ett tillfälle, därför redovisas enbart halt

-- Ämnet kan inte utvärderas pga dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt

Bilaga 2a. Sammanställning analysresultat från provtagning

Ämne där alla halter är under detektionsgränsen

Ämne med detekterade halter mellan LOD och LOQ

Ämne med detekterade halter över LOQ

Provpunkt	Samtliga halter i ng/l	E1	E2	EE2
Essvik kontroll	Min	0	0	0
	Median	1	1	1
	Medel	1	1	1
	Max	1	1	1
	Antal värden	6	6	6
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0
Essvik ref 630	Min	1	1	1
	Median	1	1	1
	Medel	1	1	1
	Max	3	1	1
	Antal värden	5	5	5
	Antal värden <LOQ, >LOD	1	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0
Fillan kontroll	Min	0	0	0
	Median	1	1	1
	Medel	1	1	1
	Max	1	1	1
	Antal värden	9	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0
Fillan ref 135	Min	1	1	1
	Median	1	1	1
	Medel	1	1	1
	Max	1	1	1
	Antal värden	5	5	5
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0

Bilaga 2a. Sammanställning analysresultat från provtagning

Ämne där alla halter är under detektionsgränsen

Ämne med detekterade halter mellan LOD och LOQ

Ämne med detekterade halter över LOQ

Provpunkt	Samtliga halter i ng/l	E1	E2	EE2
Fillan ref 175	Min	1	1	1
	Median	1	1	1
	Medel	1	1	1
	Max	1	3	1
	Antal värden	5	5	5
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	1	0
Nytt ARV kontroll	Min	0	0	0
	Median	1	1	1
	Medel	1	1	1
	Max	2	2	2
	Antal värden	9	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0
Nytt ARV ref 575	Min	0	0	0
	Median	1	1	1
	Medel	1	1	1
	Max	4	2	2
	Antal värden	9	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	1	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0
Tivoli kontroll	Min	0	0	0
	Median	1	1	1
	Medel	1	1	1
	Max	1	1	1
	Antal värden	9	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0
Tivoli ref 320	Min	1	1	1
	Median	1	1	1
	Medel	2	2	1
	Max	3	3	2
	Antal värden	9	9	9
	Antal värden <LOQ, >LOD	2	2	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0

Bilaga 2a. Sammanställning analysresultat från provtagning

Ämne där alla halter är under detektionsgränsen

Ämne med detekterade halter mellan LOD och LOQ

Ämne med detekterade halter över LOQ

Provpunkt	Samtliga halter i ng/l	E1	E2	EE2
Indalsälven	Halt*	2	2	2
	Antal värden	1	1	1
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0
Selångersån	Halt*	3	3	3
	Antal värden	1	1	1
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0
Ljungan	Halt*	2	2	2
	Antal värden	1	1	1
	Antal värden <LOQ, >LOD	0	0	0
	Antal värden >LOQ	0	0	0

\*Provtagning av tillrinnande vattendrag har endast utförts vid ett tillfälle, därför redovisas enbart halt

-- Ämnet kan inte utvärderas pga dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt

Bilaga 2b. Läkemedel - reningsverk och ledningsnät

Substans	Mode of action	Provtagnings- tillfälle	IVL-provnr: MR_9720 MR_9721 MR_9730 MR_9731 MR_9725 MR_9726							
			Provnamn:		PP1	PP2	PP9	PP10	PP5	PP6
			LOD	LOQ	Tivoli ink	Tivoli utg	Brunn Sjukhuset	APS Grov- reningen	Fillan ink	Fillan utg
			[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]
Amlodipine	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	25	82	**	**	**	400	150	140
		<i>nov</i>	23	75	130	220	160	200	240	160
		<i>feb</i>	---	---	---	---	---	---	---	---
Atenolol	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	5	17	830	780	860	1500	1100	950
		<i>nov</i>	2	6	720	800	560	970	850	780
		<i>feb</i>	1	3	700	560	400	490	570	670
Bisoprolol	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	3	10	190	210	830	430	280	310
		<i>nov</i>	1	3	200	220	460	210	190	200
		<i>feb</i>	1	3	240	240	460	150	170	210
Caffeine	<i>Stimulant</i>	<i>aug/sep</i>	39	130	43000	840	110000	43000	64000	**
		<i>maj</i>	41	140	25000	4700	38000	27000	27000	**
		<i>aug</i>	31	100	39000	290	78000	32000	33000	12000
Carbamazepine	<i>Sedative</i>	<i>aug/sep</i>	25	84	360	340	*	410	380	380
		<i>maj</i>	25	84	290	290	140	170	170	210
		<i>aug</i>	15	51	270	250	310	**	120	160
Citalopram	<i>Antidepressant</i>	<i>aug/sep</i>	5	17	140	190	310	370	110	250
		<i>maj</i>	3	11	230	270	340	260	200	270
		<i>aug</i>	2	8	240	210	600	180	150	130
Diclofenac	<i>Anti-inflammatory</i>	<i>aug/sep</i>	5	18	810	710	870	2400	1100	1000
		<i>nov</i>			630	610	130	940	550	530
		<i>feb</i>	2	7	670	550	270	430	450	500
Fluoxetine	<i>Antidepressant</i>	<i>aug/sep</i>	3	9	12	31	**	31	10	34
		<i>nov</i>	6	18	**	38	**	21	**	57
		<i>feb</i>	2	7	*	*	*	*	*	17
Furosemide	<i>Diuretic</i>	<i>aug/sep</i>	25	82	2200	2500	11000	2500	3400	2600
		<i>nov</i>	28	95	2300	1900	5900	2600	2200	1500
		<i>feb</i>	3	43	1200	1500	9300	850	1300	1200
Hydrochlorothiazide	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	2	5	1000	900	1500	1700	1400	1400
		<i>maj</i>	5	15	890	940	1100	950	810	880
		<i>aug</i>	2	5	1000	890	1900	690	720	800



Bilaga 2b. Läkemedel - reningsverk och ledningsnät

Substans	Mode of action	Provtagnings- tillfälle	IVL-provnr: MR_9720 MR_9721 MR_9730 MR_9731 MR_9725 MR_9726							
			Provnamn:		PP1	PP2	PP9	PP10	PP5	PP6
			LOD	LOQ	Tivoli ink	Tivoli utg	Brunn Sjukhuset	APS Grov- reningen	Fillan ink	Fillan utg
			[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]
Ibuprofen	Anti-inflammatory	aug/sep	6	30	7400	**	14000	13000	14000	130
		maj	21	70	6500	920	10000	7400	6500	**
		aug	10	35	7400	79	22000	4500	5000	3600
Ketoprofen	Anti-inflammatory	aug/sep	30	100	270	250	380	500	330	310
		maj	3	10	150	220	95	170	240	180
		aug	2	6	220	290	230	90	190	250
Metoprolol	Antihypertensive	aug/sep	12	40	1300	1200	2700	2400	2100	1800
		nov	3	11	1300	1300	2500	1400	1400	1200
		feb	4	14	1400	1100	3200	960	1100	1000
Naproxen	Anti-inflammatory	aug/sep	4	13	8800	1000	22000	13000	12000	640
		nov	10	30	7600	4900	22000	6000	8900	720
		feb	6	19	7100	4700	26000	3400	5800	3700
Oxazepam	Sedative	aug/sep	53	180	2100	2000	23000	2000	3000	3500
		nov	38	130	1700	2100	3700	1200	1400	2000
		feb	38	130	1900	2000	3800	430	1200	1500
Paracetamol	Analgesic	aug/sep	18	61	**	**	**	70	**	**
		maj	17	58	**	**	**	**	**	**
		aug	2	6	**	**	*	5,9	6,8	**
Propranolol	Antihypertensive	aug/sep	3	9	32	68	140	97	33	120
		maj	2	6	91	110	280	110	70	150
		aug	1	3	95	100	250	100	68	72
Ramipril	Antihypertensive	aug/sep	2	7	9	12	9	26	29	10
		maj	10	30	*	*	*	*	*	*
		aug	3	9	**	*	*	*	*	*
Ranitidine	Antiulcer	aug/sep	1	4	41	77	130	290	57	99
		nov	12	36	**	**	180	82	48	**
		feb	1	4	17	21	230	19	19	36
Risperidone	Antipsychotic	aug/sep	3	11	**	*	**	**	**	*
		nov	2	6	*	*	*	*	*	*
		feb	1	3	*	*	*	*	*	*

Bilaga 2b. Läkemedel - reningsverk och ledningsnät

Substans	Mode of action	Provtagnings- tillfälle	IVL-provnr: MR_9720 MR_9721 MR_9730 MR_9731 MR_9725 MR_9726							
			Provnamn:		PP1	PP2	PP9	PP10	PP5	PP6
			LOD	LOQ	Tivoli ink	Tivoli utg	Brunn Sjukhuset	APS Grov- reningen	Fillan ink	Fillan utg
			[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]
Sertralin	Antidepressant	aug/sep	5	18	60	46	51	100	69	74
		nov	25	75	210	170	**	79	84	170
		feb	1	4	110	100	130	120	90	62
Simvastatin	Lipid-regulating	aug/sep	120	400	1000	*	1800	1500	1100	*
		maj	--	--	--	--	--	--	--	--
		aug	---	---	---	---	---	---	---	---
Terbutaline	Asthma medication	aug/sep	3	7	**	**	*	8	9	**
		maj	4	12	*	**	**	**	**	**
		aug	15	45	*	*	*	*	*	*
Warfarin	Anticoagulant	aug/sep	3	1	23	15	71	42	31	18
		maj	1	3	17	11	36	20	16	9
		aug	1,0	3,0	8,3	6,4	42	5,9	7,9	5,2

\* ämnet kan ej detekteras, halten är under detektionsgränsen (LOD S/N=3).

\*\* ämnet kan detekteras men ej kvantifieras, halten är mellan detektionsgränsen (LOD) och kvantifieringsgränsen (LOQ S/N=10).

"---" Ämnet kan inte utvärderas pga dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt.

Bilaga 2b. Läkemedel - reningsverk och ledningsnät

Substans	Mode of action	Provtagnings- tillfälle	IVL-provnr: MR_9732 MR_9733			
			Provnamn: PP11 PP12		Essvik ink	Essvik utg
			LOD [ng/L]	LOQ [ng/L]	[ng/L]	[ng/L]
Amlodipine	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	25	82	200	100
		<i>nov</i>	23	75	140	150
		<i>feb</i>	---	---	---	---
Atenolol	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	5	17	1000	930
		<i>nov</i>	2	6	480	670
		<i>feb</i>	1	3	450	470
Bisoprolol	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	3	10	300	310
		<i>nov</i>	1	3	180	210
		<i>feb</i>	1	3	170	160
Caffeine	<i>Stimulant</i>	<i>aug/sep</i>	39	130	37000	400
		<i>maj</i>	41	140	11000	1100
		<i>aug</i>	31	100	13000	850
Carbamazepine	<i>Sedative</i>	<i>aug/sep</i>	25	84	500	560
		<i>maj</i>	25	84	230	250
		<i>aug</i>	15	51	160	150
Citalopram	<i>Antidepressant</i>	<i>aug/sep</i>	5	17	350	310
		<i>maj</i>	3	11	260	260
		<i>aug</i>	2	8	190	150
Diclofenac	<i>Anti-inflammatory</i>	<i>aug/sep</i>	5	18	1100	980
		<i>nov</i>			320	500
		<i>feb</i>	2	7	340	380
Fluoxetine	<i>Antidepressant</i>	<i>aug/sep</i>	3	9	23	21
		<i>nov</i>	6	18	21	28
		<i>feb</i>	2	7	*	*
Furosemide	<i>Diuretic</i>	<i>aug/sep</i>	25	82	2500	2300
		<i>nov</i>	28	95	920	1100
		<i>feb</i>	3	43	740	840
Hydrochlorothiazide	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	2	5	1000	1000
		<i>maj</i>	5	15	450	620
		<i>aug</i>	2	5	450	470

Bilaga 2b. Läkemedel - reningsverk och ledningsnät

Substans	Mode of action	Provtagnings- tillfälle	IVL-provnr: MR_9732 MR_9733			
			Provnamn: PP11 PP12		Essvik ink	Essvik utg
			LOD [ng/L]	LOQ [ng/L]	[ng/L]	[ng/L]
Ibuprofen	Anti-inflammatory	aug/sep	6	30	7700	140
		maj	21	70	3800	370
		aug	10	35	3200	98
Ketoprofen	Anti-inflammatory	aug/sep	30	100	190	190
		maj	3	10	100	120
		aug	2	6	120	94
Metoprolol	Antihypertensive	aug/sep	12	40	1600	1400
		nov	3	11	970	1100
		feb	4	14	860	750
Naproxen	Anti-inflammatory	aug/sep	4	13	10000	440
		nov	10	30	4400	1700
		feb	6	19	4100	1800
Oxazepam	Sedative	aug/sep	53	180	2900	3200
		nov	38	130	1500	1900
		feb	38	130	1500	1100
Paracetamol	Analgesic	aug/sep	18	61	**	**
		maj	17	58	**	**
		aug	2	6	*	**
Propranolol	Antihypertensive	aug/sep	3	9	74	72
		maj	2	6	36	48
		aug	1	3	41	34
Ramipril	Antihypertensive	aug/sep	2	7	**	18
		maj	10	30	*	*
		aug	3	9	*	*
Ranitidine	Antiulcer	aug/sep	1	4	93	61
		nov	12	36	**	**
		feb	1	4	11	22
Risperidone	Antipsychotic	aug/sep	3	11	**	*
		nov	2	6	*	*
		feb	1	3	*	**

Bilaga 2b. Läkemedel - reningsverk och ledningsnät

Substans	Mode of action	Provtagnings- tillfälle	IVL-provnr: MR_9732    MR_9733			
			Provnamn: PP11    PP12		Essvik ink	Essvik utg
			LOD [ng/L]	LOQ [ng/L]	[ng/L]	[ng/L]
Sertralin	Antidepressant	aug/sep	5	18	120	77
		nov	25	75	130	92
		feb	1	4	80	38
Simvastatin	Lipid-regulating	aug/sep	120	400	890	*
		maj	--	--	--	--
		aug	---	---	---	---
Terbutaline	Asthma medication	aug/sep	3	7	**	*
		maj	4	12	*	*
		aug	15	45	*	*
Warfarin	Anticoagulant	aug/sep	3	1	24	20
		maj	1	3	7	7
		aug	1,0	3,0	4,0	3,7

\* ämnet kan ej detekteras, halten är under detektionsgränsen (LOD S/N=3).

\*\* ämnet kan detekteras men ej kvantifieras, halten är mellan detektionsgränsen (LOD) och kvantifieringsgränsen (LOQ S/N=10).

"---" Ämnet kan inte utvärderas pga dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt.

Bilaga 2c. Läkemedel - recipient

Substans	Mode of action	Provtagnings- tillfälle	LOD		LOQ		IVL-provnr: MR_9497		MR_9498	MR_9499	MR_9722	MR_9723	MR_9724
			Provnamn:		Provnamn:		PP3a	PP3b	PP3c	PP4a	PP4b	PP4c	
			[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	Tivoli kontroll yta	Tivoli kontroll 10 m	Tivoli kontroll botten	Tivoli ref 320 yta	Tivoli ref 320 10m	Tivoli ref 320 botten	
Amlodipine	<i>Antihypertensive</i>	aug/sep	25	82	8	27	*	*	*	*	*	*	*
		nov	23	75	---	---	*	*	*	*	---	---	
		feb	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
Atenolol	<i>Antihypertensive</i>	aug/sep	5	17	3	10	*	**	12	*	*	*	
		nov	2	6	3	8	**	11	12	**	*	*	
		feb	1	3			5,5	4,5	**	**	**	*	
Bisoprolol	<i>Antihypertensive</i>	aug/sep	3	10	1	3	*	3,3	4,5	*	*	*	
		nov	1	3	1	3	**	3	4	**	**	*	
		feb	1	3			**	**	*	*	*	*	
Caffeine	<i>Stimulant</i>	aug/sep	39	130	12	40	**	**	**	*	*	*	
		maj	41	140	52	170	**	190	170	**	*	*	
		aug	31	100			*	*	*	**	**	*	
Carbamazepine	<i>Sedative</i>	aug/sep	25	84	5	17	*	*	*	*	*	*	
		maj	25	84	32	110	*	*	*	*	*	*	
		aug	15	51			*	*	*	*	*	*	
Citalopram	<i>Antidepressant</i>	aug/sep	5	17	2	6	*	*	**	*	*	*	
		maj	3	11	2,5	8,5	*	*	**	*	*	*	
		aug	2	8			*	*	*	*	*	*	
Diclofenac	<i>Anti-inflammatory</i>	aug/sep	5	18	2	8	*	13	20	*	*	*	
		nov					**	**	**	**	*	*	
		feb	2	7			**	**	*	*	**	*	
Fluoxetine	<i>Antidepressant</i>	aug/sep	3	9	1	3	*	*	*	*	*	*	
		nov	6	18	4	13	*	*	*	*	*	*	
		feb	2	7			*	*	*	*	*	*	
Furosemide	<i>Diuretic</i>	aug/sep	25	82	10	30	*	**	**	*	*	*	
		nov	28	95	6	19	*	*	*	*	*	*	
		feb	3	43			*	*	*	*	*	*	
Hydrochloro- thiazide	<i>Antihypertensive</i>	aug/sep	2	5	1	3	*	23	32	**	**	**	
		maj	5	15			**	**	**	*	**	*	
		aug	2	5			7,1	5,3	*	**	**	*	

Bilaga 2c. Läkemedel - recipient

Substans	Mode of action	Provtagnings- tillfälle	LOD		LOQ		IVL-provnr:	MR_9497	MR_9498	MR_9499	MR_9722	MR_9723	MR_9724
			[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	Provnamn:	PP3a	PP3b	PP3c	PP4a	PP4b	PP4c
								Tivoli kontroll yta	Tivoli kontroll 10 m	Tivoli kontroll botten	Tivoli ref 320 yta	Tivoli ref 320 10m	Tivoli ref 320 botten
Ibuprofen	Anti-inflammatory	aug/sep	6	30	2	7	*	11	12	*	*	*	
		maj	21	70	3	9	*	*	*	*	**	*	
		aug	10	35			*	*	*	*	**	*	
Ketoprofen	Anti-inflammatory	aug/sep	30	100	4	14	*	*	*	*	*	*	
		maj	3	10	2	5	*	*	**	*	*	*	
		aug	2	6			**	**	*	*	*	*	
Metoprolol	Antihypertensive	aug/sep	12	40	1	3	*	16	21	*	*	*	
		nov	3	11	7	24	**	17	20	**	*	*	
		feb	4	14			**	**	*	*	*	*	
Naproxen	Anti-inflammatory	aug/sep	4	13	2	7	*	37	47	*	**	*	
		nov	10	30	3	10	56	89	110	**	31	**	
		feb	6	19			68	56	**	21	36	**	
Oxazepam	Sedative	aug/sep	53	180	10	30	*	**	**	*	*	*	
		nov	38	130	65	220	*	*	*	*	*	*	
		feb	38	130			*	*	*	*	*	*	
Paracetamol	Analgesic	aug/sep	18	61	1	3	*	*	*	*	*	*	
		maj	17	58	17	57	*	*	*	*	*	*	
		aug	2	6			*	*	*	*	*	*	
Propranolol	Antihypertensive	aug/sep	3	9	1	3	*	*	*	*	*	*	
		maj	2	6	1	4	*	*	*	*	*	*	
		aug	1	3				*	*	*	*	*	
Ramipril	Antihypertensive	aug/sep	2	7	4	12	*	*	*	*	*	*	
		maj	10	30	14	47	*	*	*	*	*	*	
		aug	3	9			*	*	*	*	*	*	
Ranitidine	Antiulcer	aug/sep	1	4	1	3	*	**	4	**	*	*	
		nov	12	36	2	6	*	*	*	*	*	*	
		feb	1	4			*	*	*	*	*	*	
Risperidone	Antipsychotic	aug/sep	3	11	1	3	*	*	*	*	*	*	
		nov	2	6	7	23	*	*	*	*	*	*	
		feb	1	3			*	*	*	*	*	*	

Bilaga 2c. Läkemedel - recipient

Substans	Mode of action	Provtagnings- tillfälle	IVL-provnr: MR_9497 MR_9498 MR_9499 MR_9722 MR_9723 MR_9724															
			LOD		LOQ		Provnamn: PP3a		PP3b		PP3c		PP4a		PP4b		PP4c	
			[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	Tivoli kontroll yta	Tivoli kontroll 10 m	Tivoli kontroll botten	Tivoli ref 320 yta	Tivoli ref 320 10m	Tivoli ref 320 botten	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]		
Sertralin	Antidepressant	aug/sep	5	18	1	3	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
		nov	25	75	9	29	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
		feb	1	4			*	*	*	*	*	*	*	*	*			
Simvastatin	Lipid-regulating	aug/sep	120	400	4	14	*	*	*	*	*	*	*	*				
		maj	--	--	---	---	--	--	--	--	--	---	---	---				
		aug	---	---			---	---	---	---	---	---	---	---				
Terbutaline	Asthma medication	aug/sep	3	7	1	3	*	*	*	*	*	*	*	*				
		maj	4	12	1	3	*	*	*	*	*	*	*	*				
		aug	15	45			*	*	*	*	*	*	*	*				
Warfarin	Anticoagulant	aug/sep	3	1	3		*	*	*	*	*	*	*	*				
		maj	1	3	1	3	*	*	*	*	*	*	*	*				
		aug	1	3			*	*	*	*	*	*	*	*				

\* ämnet kan ej detekteras, halten är under detektionsgränsen (LOD S/N=3).

\*\* ämnet kan detekteras men ej kvantifieras, halten är mellan detektionsgränsen (LOD) och kvantifieringsgränsen (LOQ S/N=10).

"---" Ämnet kan inte utvärderas pga dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt.



Bilaga 2c. Läkemedel - recipient

Substans	Mode of action	Provtagnings- tillfälle	IVL-provnr: Provnamn:				MR_9500	MR_9501	MR_9502	MR_9727	MR_9728
			LOD	LOQ	LOD	LOQ	PP7a	PP7b	PP7c	PP8a	PP8b
			[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	Fillan kontroll yta	Fillan kontroll 10 m	Fillan kontroll botten	Fillan ref 175 yta	Fillan ref 175 10 m
Amlodipine	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	25	82	8	27	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	23	75	---	---	*	*	*	*	*
		<i>feb</i>	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Atenolol	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	5	17	3	10	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	2	6	3	8	29	13	16	*	*
		<i>feb</i>	1	3	*	*	*	*	*	*	*
Bisoprolol	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	3	10	1	3	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	1	3	1	3	7	4	4	*	*
		<i>feb</i>	1	3	*	*	*	*	*	*	*
Caffeine	<i>Stimulant</i>	<i>aug/sep</i>	39	130	12	40	**	**	*	**	*
		<i>maj</i>	41	140	52	170	*	*	*	*	*
		<i>aug</i>	31	100	*	*	*	**	*	*	*
Carbamazepine	<i>Sedative</i>	<i>aug/sep</i>	25	84	5	17	*	*	*	*	*
		<i>maj</i>	25	84	32	110	*	*	*	*	*
		<i>aug</i>	15	51	*	*	*	*	*	*	*
Citalopram	<i>Antidepressant</i>	<i>aug/sep</i>	5	17	2	6	*	*	*	*	*
		<i>maj</i>	3	11	2,5	8,5	**	*	*	*	*
		<i>aug</i>	2	8	*	*	*	*	*	*	*
Diclofenac	<i>Anti-inflammatory</i>	<i>aug/sep</i>	5	18	2	8	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>					**	**	**	*	*
		<i>feb</i>	2	7	*	*	*	*	*	*	*
Fluoxetine	<i>Antidepressant</i>	<i>aug/sep</i>	3	9	1	3	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	6	18	4	13	*	*	*	*	*
		<i>feb</i>	2	7	*	*	*	*	*	*	*
Furosemide	<i>Diuretic</i>	<i>aug/sep</i>	25	82	10	30	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	28	95	6	19	**	*	*	*	*
		<i>feb</i>	3	43	*	*	*	*	*	*	*
Hydrochloro- thiazide	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	2	5	1	3	*	*	*	*	*
		<i>maj</i>	5	15			26	**	**	*	*
		<i>aug</i>	2	5	*	*	*	*	*	*	*

Bilaga 2c. Läkemedel - recipient

Substans	Mode of action	Provtagnings- tillfälle	IVL-provnr: Provnamn:				MR_9500	MR_9501	MR_9502	MR_9727	MR_9728
			LOD	LOQ	LOD	LOQ	PP7a	PP7b	PP7c	PP8a	PP8b
			[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	Fillan kontroll yta	Fillan kontroll 10 m	Fillan kontroll botten	Fillan ref 175 yta	Fillan ref 175 10 m
Ibuprofen	<i>Anti-inflammatory</i>	<i>aug/sep</i>	6	30	2	7	*	*	*	*	*
		<i>maj</i>	21	70	3	9	*	*	*	*	*
		<i>aug</i>	10	35			*	*	*	*	*
Ketoprofen	<i>Anti-inflammatory</i>	<i>aug/sep</i>	30	100	4	14	*	*	*	*	*
		<i>maj</i>	3	10	2	5	**	**	**	*	*
		<i>aug</i>	2	6			*	*	*	*	*
Metoprolol	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	12	40	1	3	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	3	11	7	24	43	19	22	*	*
		<i>feb</i>	4	14			*	*	*	*	*
Naproxen	<i>Anti-inflammatory</i>	<i>aug/sep</i>	4	13	2	7	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	10	30	3	10	**	**	*	*	*
		<i>feb</i>	6	19			*	**	**	*	*
Oxazepam	<i>Sedative</i>	<i>aug/sep</i>	53	180	10	30	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	38	130	65	220	**	*	*	*	*
		<i>feb</i>	38	130			*	*	*	*	*
Paracetamol	<i>Analgesic</i>	<i>aug/sep</i>	18	61	1	3	*	*	*	*	*
		<i>maj</i>	17	58	17	57	*	*	*	*	*
		<i>aug</i>	2	6			*	*	*	*	*
Propranolol	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	3	9	1	3	*	*	*	*	*
		<i>maj</i>	2	6	1	4	*	*	*	*	*
		<i>aug</i>	1	3				*	*	*	*
Ramipril	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	2	7	4	12	*	*	*	*	*
		<i>maj</i>	10	30	14	47	*	*	*	*	*
		<i>aug</i>	3	9				*	*	*	*
Ranitidine	<i>Antiulcer</i>	<i>aug/sep</i>	1	4	1	3	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	12	36	2	6	*	*	*	*	*
		<i>feb</i>	1	4			*	*	*	*	*
Risperidone	<i>Antipsychotic</i>	<i>aug/sep</i>	3	11	1	3	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	2	6	7	23	*	*	*	*	*
		<i>feb</i>	1	3			*	*	*	*	*

Bilaga 2c. Läkemedel - recipient

Substans	Mode of action	Provtagnings- tillfälle	IVL-provnr: Provnamn:				MR_9500	MR_9501	MR_9502	MR_9727	MR_9728
			LOD	LOQ	LOD	LOQ	PP7a	PP7b	PP7c	PP8a	PP8b
			[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	Fillan kontroll yta	Fillan kontroll 10 m	Fillan kontroll botten	Fillan ref 175 yta	Fillan ref 175 10 m
Sertralin	Antidepressant	aug/sep	5	18	1	3	*	*	*	*	*
		nov	25	75	9	29	*	*	*	*	*
		feb	1	4			*	*	*	*	*
Simvastatin	Lipid-regulating	aug/sep	120	400	4	14	*	*	*	*	*
		maj	--	--	---	---	--	--	--	--	
		aug	---	---			---	---	---	---	
Terbutaline	Asthma medication	aug/sep	3	7	1	3	*	*	*	*	*
		maj	4	12	1	3	*	*	*	*	
		aug	15	45			*	*	*	*	
Warfarin	Anticoagulant	aug/sep	3	1	3		*	*	*	*	*
		maj	1	3	1	3	*	*	*	*	
		aug	1	3			*	*	*	*	

\* ämnet kan ej detekteras, halten är under detektionsgränsen (LOD S/N=3).

\*\* ämnet kan detekteras men ej kvantifieras, halten är mellan detektionsgränsen (LOD) och kvantifieringsgränsen (LOQ S/N=10).

"---" Ämnet kan inte utvärderas pga dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt.

Bilaga 2c. Läkemedel - recipient

Substans	Mode of action	Provtagnings- tillfälle	LOD		LOQ		IVL-provnr:	MR_9729	MR_9741	MR_9742	MR_9743	MR_9503
							Provnamn:	PP8c	PP17a	PP17b	PP17c	PP13a
			[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]		Fillan ref 175 botten	Fillan ref 135 yta	Fillan ref 135 10 m	Fillan ref 135 botten	Essvik kontroll yta
Amlodipine	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	25	82	8	27	*	*	*	*	*	
		<i>nov</i>	23	75	---	---	*	*			*	
		<i>feb</i>	---	---				---			---	
Atenolol	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	5	17	3	10	*	*	*	*	*	
		<i>nov</i>	2	6	3	8		*			*	
		<i>feb</i>	1	3				*			*	
Bisoprolol	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	3	10	1	3	*	*	*	*	*	
		<i>nov</i>	1	3	1	3		*			*	
		<i>feb</i>	1	3				*			*	
Caffeine	<i>Stimulant</i>	<i>aug/sep</i>	39	130	12	40	**	140	**	**	51	
		<i>maj</i>	41	140	52	170		*			*	
		<i>aug</i>	31	100				*			*	
Carbamazepine	<i>Sedative</i>	<i>aug/sep</i>	25	84	5	17	*	*	*	*	*	
		<i>maj</i>	25	84	32	110		*			*	
		<i>aug</i>	15	51				*			*	
Citalopram	<i>Antidepressant</i>	<i>aug/sep</i>	5	17	2	6	*	*	*	*	*	
		<i>maj</i>	3	11	2,5	8,5		*			*	
		<i>aug</i>	2	8				*			*	
Diclofenac	<i>Anti-inflammatory</i>	<i>aug/sep</i>	5	18	2	8	*	*	*	*	*	
		<i>nov</i>						*			*	
		<i>feb</i>	2	7				*			*	
Fluoxetine	<i>Antidepressant</i>	<i>aug/sep</i>	3	9	1	3	*	*	*	*	*	
		<i>nov</i>	6	18	4	13		*			*	
		<i>feb</i>	2	7				*			*	
Furosemide	<i>Diuretic</i>	<i>aug/sep</i>	25	82	10	30	*	*	*	*	*	
		<i>nov</i>	28	95	6	19		*			*	
		<i>feb</i>	3	43				*			*	
Hydrochloro- thiazide	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	2	5	1	3	*	*	*	*	*	
		<i>maj</i>	5	15				*			*	
		<i>aug</i>	2	5				*			*	

Bilaga 2c. Läkemedel - recipient

Substans	Mode of action	Provtagnings- tillfälle	IVL-provnr: Provnamn:				MR_9729	MR_9741	MR_9742	MR_9743	MR_9503
			LOD	LOQ	LOD	LOQ	PP8c	PP17a	PP17b	PP17c	PP13a
			[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	Fillan ref 175 botten	Fillan ref 135 yta	Fillan ref 135 10 m	Fillan ref 135 botten	Essvik kontroll yta
Ibuprofen	<i>Anti-inflammatory</i>	<i>aug/sep</i>	6	30	2	7	*	*	*	*	*
		<i>maj</i>	21	70	3	9		*			*
		<i>aug</i>	10	35				*			*
Ketoprofen	<i>Anti-inflammatory</i>	<i>aug/sep</i>	30	100	4	14	*	*	*	*	*
		<i>maj</i>	3	10	2	5		*			*
		<i>aug</i>	2	6				*			*
Metoprolol	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	12	40	1	3	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	3	11	7	24		*			*
		<i>feb</i>	4	14				*			*
Naproxen	<i>Anti-inflammatory</i>	<i>aug/sep</i>	4	13	2	7	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	10	30	3	10		*			*
		<i>feb</i>	6	19				*			**
Oxazepam	<i>Sedative</i>	<i>aug/sep</i>	53	180	10	30	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	38	130	65	220		*			*
		<i>feb</i>	38	130				*			*
Paracetamol	<i>Analgesic</i>	<i>aug/sep</i>	18	61	1	3	*	*	*	*	*
		<i>maj</i>	17	58	17	57		*			*
		<i>aug</i>	2	6				*			*
Propranolol	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	3	9	1	3	*	*	*	*	*
		<i>maj</i>	2	6	1	4		*			*
		<i>aug</i>	1	3				*			*
Ramipril	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	2	7	4	12	*	*	*	*	*
		<i>maj</i>	10	30	14	47		*			*
		<i>aug</i>	3	9				*			*
Ranitidine	<i>Antiulcer</i>	<i>aug/sep</i>	1	4	1	3	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	12	36	2	6		*			*
		<i>feb</i>	1	4				*			*
Risperidone	<i>Antipsychotic</i>	<i>aug/sep</i>	3	11	1	3	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	2	6	7	23		*			*
		<i>feb</i>	1	3				*			*

Bilaga 2c. Läkemedel - recipient

Substans	Mode of action	Provtagnings- tillfälle	IVL-provnr: Provnamn:				MR_9729	MR_9741	MR_9742	MR_9743	MR_9503
			LOD	LOQ	LOD	LOQ	PP8c	PP17a	PP17b	PP17c	PP13a
			[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	Fillan ref 175 botten	Fillan ref 135 yta	Fillan ref 135 10 m	Fillan ref 135 botten	Essvik kontroll yta
Sertralin	Antidepressant	aug/sep	5	18	1	3	*	*	*	*	*
		nov	25	75	9	29		*			*
		feb	1	4				*			*
Simvastatin	Lipid-regulating	aug/sep	120	400	4	14	*	*	*	*	*
		maj	--	--	---	---		--			--
		aug	---	---				---			---
Terbutaline	Asthma medication	aug/sep	3	7	1	3	*	*	*	*	*
		maj	4	12	1	3		*			*
		aug	15	45				*			*
Warfarin	Anticoagulant	aug/sep	3	1	3		*	*	*	*	*
		maj	1	3	1	3		*			*
		aug	1	3				*			*

\* ämnet kan ej detekteras, halten är under detektionsgränsen (LOD S/N=3).

\*\* ämnet kan detekteras men ej kvantifieras, halten är mellan detektionsgränsen (LOD) och kvantifieringsgränsen (LOQ S/N=10).

"---" Ämnet kan inte utvärderas pga dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt.

Bilaga 2c. Läkemedel - recipient

Substans	Mode of action	Provtagnings- tillfälle	IVL-provnr: Provnamn:				MR_9504	MR_9734	MR_9735	MR_9736	MR_9505
			LOD	LOQ	LOD	LOQ	PP13c	PP14a	PP14b	PP14c	PP15a
			[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	Essvik kontroll botten	Essvik ref 630 yta	Essvik ref 630 10 m	Essvik ref 630 botten	Nytt ARV kontroll yta
Amlodipine	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	25	82	8	27	0	*	*	*	*
		<i>nov</i>	23	75	---	---	*	*			*
		<i>feb</i>	---	---			---	---			---
Atenolol	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	5	17	3	10	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	2	6	3	8	*	*			**
		<i>feb</i>	1	3			*	*			*
Bisoprolol	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	3	10	1	3	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	1	3	1	3	*	*			**
		<i>feb</i>	1	3			*	*			*
Caffeine	<i>Stimulant</i>	<i>aug/sep</i>	39	130	12	40	*	*	*	*	**
		<i>maj</i>	41	140	52	170	*	*			*
		<i>aug</i>	31	100			**	*			**
Carbamazepine	<i>Sedative</i>	<i>aug/sep</i>	25	84	5	17	*	*	*	*	*
		<i>maj</i>	25	84	32	110	*	*			*
		<i>aug</i>	15	51			*	*			*
Citalopram	<i>Antidepressant</i>	<i>aug/sep</i>	5	17	2	6	*	*	*	*	*
		<i>maj</i>	3	11	2,5	8,5	*	*			*
		<i>aug</i>	2	8			*	*			*
Diclofenac	<i>Anti-inflammatory</i>	<i>aug/sep</i>	5	18	2	8	**	*	*	*	*
		<i>nov</i>					*	*			**
		<i>feb</i>	2	7			*	*			*
Fluoxetine	<i>Antidepressant</i>	<i>aug/sep</i>	3	9	1	3	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	6	18	4	13	*	*			*
		<i>feb</i>	2	7			*	*			*
Furosemide	<i>Diuretic</i>	<i>aug/sep</i>	25	82	10	30	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	28	95	6	19	*	*			*
		<i>feb</i>	3	43			*	*			*
Hydrochloro- thiazide	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	2	5	1	3	*	*	*	*	*
		<i>maj</i>	5	15			*	*			*
		<i>aug</i>	2	5			*	*			*

Bilaga 2c. Läkemedel - recipient

Substans	Mode of action	Provtagnings- tillfälle	IVL-provnr: Provnamn:				MR_9504	MR_9734	MR_9735	MR_9736	MR_9505
			LOD	LOQ	LOD	LOQ	PP13c	PP14a	PP14b	PP14c	PP15a
			[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	Essvik kontroll botten	Essvik ref 630 yta	Essvik ref 630 10 m	Essvik ref 630 botten	Nytt ARV kontroll yta
Ibuprofen	<i>Anti-inflammatory</i>	<i>aug/sep</i>	6	30	2	7	*	*	*	*	*
		<i>maj</i>	21	70	3	9	*	*			*
		<i>aug</i>	10	35			*	*			*
Ketoprofen	<i>Anti-inflammatory</i>	<i>aug/sep</i>	30	100	4	14	*	*	*	*	*
		<i>maj</i>	3	10	2	5	*	*			*
		<i>aug</i>	2	6			*	*			*
Metoprolol	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	12	40	1	3	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	3	11	7	24	*	*			**
		<i>feb</i>	4	14			*	*			*
Naproxen	<i>Anti-inflammatory</i>	<i>aug/sep</i>	4	13	2	7	*	**	*	*	*
		<i>nov</i>	10	30	3	10	*	*			**
		<i>feb</i>	6	19			**	**			**
Oxazepam	<i>Sedative</i>	<i>aug/sep</i>	53	180	10	30	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	38	130	65	220	*	*			*
		<i>feb</i>	38	130			*	*			*
Paracetamol	<i>Analgesic</i>	<i>aug/sep</i>	18	61	1	3	*	*	*	*	*
		<i>maj</i>	17	58	17	57	*	*			*
		<i>aug</i>	2	6			*	*			*
Propranolol	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	3	9	1	3	*	*	*	*	*
		<i>maj</i>	2	6	1	4	*	*			*
		<i>aug</i>	1	3				*	*		*
Ramipril	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	2	7	4	12	*	*	*	*	*
		<i>maj</i>	10	30	14	47	*	*			*
		<i>aug</i>	3	9			*	*			*
Ranitidine	<i>Antiulcer</i>	<i>aug/sep</i>	1	4	1	3	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	12	36	2	6	*	*			*
		<i>feb</i>	1	4			*	*			*
Risperidone	<i>Antipsychotic</i>	<i>aug/sep</i>	3	11	1	3	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	2	6	7	23	*	*			*
		<i>feb</i>	1	3			*	*			*



Bilaga 2c. Läkemedel - recipient

Substans	Mode of action	Provtagnings- tillfälle	LOD		LOQ		IVL-provnr: Provnamn:	MR_9504 PP13c Essvik kontroll botten	MR_9734 PP14a Essvik ref 630 yta	MR_9735 PP14b Essvik ref 630 10 m	MR_9736 PP14c Essvik ref 630 botten	MR_9505 PP15a Nytt ARV kontroll yta
			[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]
Sertralin	Antidepressant	aug/sep	5	18	1	3	*	*	*	*	*	
		nov	25	75	9	29	*	*			*	
		feb	1	4			*	*			*	
Simvastatin	Lipid-regulating	aug/sep	120	400	4	14	*	*	*	*	*	
		maj	--	--	---	---	--	--			--	
		aug	---	---			---	---			---	
Terbutaline	Asthma medication	aug/sep	3	7	1	3	*	*	*	*	*	
		maj	4	12	1	3	*	*			*	
		aug	15	45			*	*			*	
Warfarin	Anticoagulant	aug/sep	3	1	3		*	*	*	*	*	
		maj	1	3	1	3	*	*			*	
		aug	1	3			*	*			*	

\* ämnet kan ej detekteras, halten är under detektionsgränsen (LOD S/N=3).

\*\* ämnet kan detekteras men ej kvantifieras, halten är mellan detektionsgränsen (LOD) och kvantifieringsgränsen (LOQ S/N=10).

"---" Ämnet kan inte utvärderas pga dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt.

Bilaga 2c. Läkemedel - recipient

Substans	Mode of action	Provtagnings- tillfälle	IVL-provnr: Provnamn:				MR_9737	MR_9738	MR_9506	MR_9739	MR_9740
			LOD	LOQ	LOD	LOQ	PP15b	PP15c	PP16a	PP16b	PP16c
			[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	Nytt ARV kontroll 10 m	Nytt ARV kontroll botten	Nytt ARV ref 575 yta	Nytt ARV ref 575 10 m	Nytt ARV ref 575 botten
Amlodipine	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	25	82	8	27	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	23	75	---	---	---	---	*	---	---
		<i>feb</i>	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Atenolol	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	5	17	3	10	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	2	6	3	8	*	*	*	*	*
		<i>feb</i>	1	3			*	*	*	*	*
Bisoprolol	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	3	10	1	3	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	1	3	1	3	**	*	*	*	*
		<i>feb</i>	1	3			*	*	*	*	*
Caffeine	<i>Stimulant</i>	<i>aug/sep</i>	39	130	12	40	*	*	*	*	*
		<i>maj</i>	41	140	52	170	*	*	*	*	*
		<i>aug</i>	31	100			**	**	**	**	*
Carbamazepine	<i>Sedative</i>	<i>aug/sep</i>	25	84	5	17	*	*	*	*	*
		<i>maj</i>	25	84	32	110	*	*	*	*	*
		<i>aug</i>	15	51			*	*	*	*	*
Citalopram	<i>Antidepressant</i>	<i>aug/sep</i>	5	17	2	6	*	*	*	*	*
		<i>maj</i>	3	11	2,5	8,5	*	*	*	*	*
		<i>aug</i>	2	8			*	*	*	*	*
Diclofenac	<i>Anti-inflammatory</i>	<i>aug/sep</i>	5	18	2	8	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>					*	*	*	*	*
		<i>feb</i>	2	7			*	*	*	*	*
Fluoxetine	<i>Antidepressant</i>	<i>aug/sep</i>	3	9	1	3	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	6	18	4	13	*	*	*	*	*
		<i>feb</i>	2	7			*	*	*	*	*
Furosemide	<i>Diuretic</i>	<i>aug/sep</i>	25	82	10	30	*	*	*	*	*
		<i>nov</i>	28	95	6	19	*	*	*	*	*
		<i>feb</i>	3	43			*	*	*	*	*
Hydrochloro- thiazide	<i>Antihypertensive</i>	<i>aug/sep</i>	2	5	1	3	**	*	*	*	*
		<i>maj</i>	5	15			**	*	*	*	*
		<i>aug</i>	2	5			*	*	*	*	*

Bilaga 2c. Läkemedel - recipient

Substans	Mode of action	Provtagnings- tillfälle	LOD		LOQ		MR_9737	MR_9738	MR_9506	MR_9739	MR_9740
			[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	PP15b	PP15c	PP16a	PP16b	PP16c
							Nytt ARV kontroll 10 m	Nytt ARV kontroll botten	Nytt ARV ref 575 yta	Nytt ARV ref 575 10 m	Nytt ARV ref 575 botten
Ibuprofen	Anti-inflammatory	aug/sep	6	30	2	7	*	*	*	*	*
		maj	21	70	3	9	**	*	*	*	*
		aug	10	35			*	*	*	*	*
Ketoprofen	Anti-inflammatory	aug/sep	30	100	4	14	*	*	*	*	*
		maj	3	10	2	5	*	*	*	*	*
		aug	2	6			*	*	*	*	*
Metoprolol	Antihypertensive	aug/sep	12	40	1	3	*	*	*	*	*
		nov	3	11	7	24	*	*	*	*	*
		feb	4	14			*	*	*	*	*
Naproxen	Anti-inflammatory	aug/sep	4	13	2	7	**	*	*	*	*
		nov	10	30	3	10	39	*	*	*	*
		feb	6	19			**	*	*	*	*
Oxazepam	Sedative	aug/sep	53	180	10	30	*	*	*	*	*
		nov	38	130	65	220	*	*	*	*	*
		feb	38	130			*	*	*	*	*
Paracetamol	Analgesic	aug/sep	18	61	1	3	*	*	*	*	*
		maj	17	58	17	57	*	*	*	*	*
		aug	2	6			*	*	*	*	*
Propranolol	Antihypertensive	aug/sep	3	9	1	3	*	*	*	*	*
		maj	2	6	1	4	*	*	*	*	*
		aug	1	3				*	*	*	*
Ramipril	Antihypertensive	aug/sep	2	7	4	12	*	*	*	*	*
		maj	10	30	14	47	*	*	*	*	*
		aug	3	9			*	*	*	*	*
Ranitidine	Antiulcer	aug/sep	1	4	1	3	*	*	*	*	*
		nov	12	36	2	6	*	*	*	*	*
		feb	1	4			*	*	*	*	*
Risperidone	Antipsychotic	aug/sep	3	11	1	3	*	*	*	*	*
		nov	2	6	7	23	*	*	*	*	*
		feb	1	3			*	*	*	*	*

Bilaga 2c. Läkemedel - recipient

Substans	Mode of action	Provtagnings- tillfälle	LOD		LOQ		IVL-provnr: Provnamn:	MR_9737 PP15b	MR_9738 PP15c	MR_9506 PP16a	MR_9739 PP16b	MR_9740 PP16c
			[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	Nytt ARV kontroll 10 m	Nytt ARV kontroll botten	Nytt ARV ref 575 yta	Nytt ARV ref 575 10 m	Nytt ARV ref 575 botten	
Sertralin	Antidepressant	aug/sep	5	18	1	3	*	*	*	*	*	
		nov	25	75	9	29	*	*	*	*	*	
		feb	1	4			*	*	*	*	*	
Simvastatin	Lipid-regulating	aug/sep	120	400	4	14	*	*	*	*	*	
		maj	--	--	---	---	---	---	--	---	---	
		aug	---	---			---	---	---	---	---	
Terbutaline	Asthma medication	aug/sep	3	7	1	3	*	*	*	*	*	
		maj	4	12	1	3	*	*	*	*	*	
		aug	15	45			*	*	*	*	*	
Warfarin	Anticoagulant	aug/sep	3	1	3	3	*	*	*	*	*	
		maj	1	3	1	3	*	*	*	*	*	
		aug	1	3			*	*	*	*	*	

1

\* ämnet kan ej detekteras, halten är under detektionsgränsen (LOD S/N=3).

\*\* ämnet kan detekteras men ej kvantifieras, halten är mellan detektionsgränsen (LOD) och kvantifieringsgränsen (LOQ S/N=10).

"---" Ämnet kan inte utvärderas pga dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt.

Bilaga 2d. Läkemedel - älvar

Substans	Mode of action	LOD [ng/L]	LOQ [ng/L]	IVL-provnr:	182483	182484	182485
				Provnamn:	PP19	PP20	PP21
				Indalsälven	Selångersån	Ljungan	
				[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]
Amlodipine	Antihypertensive	25	70	*	*	*	
Atenolol	Antihypertensive	5	17	*	*	*	
Bisoprolol	Antihypertensive	7	24	*	*	*	
Caffeine	Stimulant	36	120	**	*	*	
Carbamazepine	Sedative	24	79	*	*	*	
Citalopram	Antidepressant	5	15	*	*	*	
Diclofenac	Anti-inflammatory	5	16	*	*	*	
Fluoxetine	Antidepressant	3	12	*	*	*	
Furosemide	Diuretic	13	44	*	*	*	
Hydrochloro-thiazide	Antihypertensive	3	10	*	*	*	
Ibuprofen	Anti-inflammatory	11	37	41	*	*	
Ketoprofen	Anti-inflammatory	5	18	*	*	*	
Metoprolol	Antihypertensive	4	13	*	*	*	
Naproxen	Anti-inflammatory	6	21	26	*	*	
Oxazepam	Sedative	4	15	*	*	*	
Paracetamol	Analgesic	4	12	40	17	18	
Propranolol	Antihypertensive	2	7	*	*	*	
Ramipril	Antihypertensive	9	30	*	*	*	
Ranitidine	Antiulcer	5	36	*	*	*	
Risperidone	Antipsychotic	2	6	*	*	*	
Sertralin	Antidepressant	1	5	*	*	*	
Simvastatin	Lipid-regulating	13	45	*	*	*	
Terbutaline	Asthma medication	4	12	*	*	*	
Warfarin	Anticoagulant	1	3	*	*	*	

\* ämnet kan ej detekteras, halt är under detektionsgränsen (LOD S/N=3).

\*\* ämnet kan detekteras men ej kvantifieras, halten är mellan detektionsgränsen (LOD) och kvantifieringsgränsen (LOQ S/N=10).

Bilaga 2e. Antibiotika - reningsverk och ledningsnät

Substans	Provtagnings- tillfälle	Provnamn:		PP1	PP2	PP9	PP10	PP5	PP6	PP11	PP12
		LOD	LOQ	Tivoli ink	Tivoli utg	Brunn Sjukhuset	APS Grov- reningen	Fillan ink	Fillan utg	Essvik ink	Essvik utg
		[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]
Amoxicillin	aug/sep	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	nov	21	69	*	*	*	*	*	*	*	*
	feb	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ampicillin	aug/sep	17	55	*	*	*	*	*	*	*	*
	maj	9	28	*	*	*	*	*	*	*	*
	aug	7	23	*	*	*	*	*	*	*	*
Benzylpenicillin	aug/sep	20	60	*	*	**	*	*	*	*	*
	nov	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	feb	2	7	*	*	*	*	*	*	*	*
Ciprofloxacin	aug/sep	1	3	10	*	930	5	*	*	7	*
	maj	2	6	*	*	180	**	12	*	9,3	**
	aug	8	27	**	*	870	**	**	*	*	*
Clarithromycin	aug/sep	1	3	73	67	21	830	*	*	49	42
	nov	1	3	74	68	1100	440	120	170	**	**
	feb	10	33	56	53	110	**	60	69	*	*
Clindamycin	aug/sep	1	3	*	**	12	**	*	*	*	**
	maj	1	3	*	*	21	*	*	**	*	*
	aug	8	27	**	**	180	47	**	36	*	**
Doxycycline	aug/sep	6	19	*	*	26	*	*	*	*	*
	nov	12	36	48	*	**	*	**	*	**	*
	feb	210	710	**	**	2700	**	**	*	*	*
Erythromycin	aug/sep	1	3	43	43	1000	70	*	*	290	360
	maj	7	21	56	39	270	**	270	99	*	*
	aug	25	83	**	**	**	*	*	**	*	*
Fusidic acid	aug/sep	8	27	*	*	*	*	*	**	*	**
	nov	9	27	*	*	*	**	*	*	*	*
	feb	12	40	*	*	*	*	*	*	*	*
Linezolid	aug/sep	1	3	19	19	*	**	*	**	**	*
	maj	6	20	*	*	**	*	*	*	*	*
	aug	20	67	*	*	**	*	*	*	*	*

Bilaga 2e. Antibiotika - reningsverk och ledningsnät

Substans	Provtagnings- tillfälle	Provnamn:															
		PP1		PP2		PP9		PP10		PP5		PP6		PP11		PP12	
		LOD	LOQ	Tivoli ink	Tivoli utg	Brunn Sjukhuset	APS Grov- reningen	Fillan ink	Fillan utg	Essvik ink	Essvik utg						
	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	
Metronidazole	aug/sep	1	3	57	31	340	41	**	**	28	12						
	nov	2	6	130	94	4500	330	110	72	81	38						
	feb	10	33	49	53	680	**	53	54	**	**						
Moxifloxacin	aug/sep	5	15	*	*	77	*	*	*	*	*						
	maj	3,4	11	*	*	*	*	*	*	*	*						
	aug	16	52	*	*	160	*	*	*	*	*						
Norfloxacin	aug/sep	10	30	*	*	**	*	*	*	*	*						
	nov	6	19	*	*	*	*	*	*	*	*						
	feb	27	89	*	*	*	*	*	*	*	*						
Rifampicin	aug/sep	10	34	63	73	**	*	*	*	200	75						
	maj	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---						
	aug	23	77	**	**	2800	*	**	**	*	*						
Sulfamethoxazole	aug/sep	4	15	150	99	5300	780	*	*	190	68						
	nov	5	16	130	77	2900	220	330	120	58	60						
	feb	5	17	110	63	1900	63	180	110	87	100						
Tetracycline	aug/sep	19	65	3500	230	3300	420	*	*	**	**						
	maj	24	81	500	390	800	200	210	290	130	140						
	aug	20	67	*	*	*	*	*	*	*	*						
Trimethoprim	aug/sep	1	3	4	4	320	7	*	*	3	4						
	nov	1	3	**	*	53	*	**	**	**	*						
	feb	15	51	68	76	900	**	**	60	67	120						

\* ämnet kan ej detekteras, halt är under detektionsgränsen (LOD S/N=3).

\*\* ämnet kan detekteras men ej kvantifieras, halten är mellan detektionsgränsen (LOD) och kvantifieringsgränsen (LOQ S/N=10).

"---" Ämnet kan inte utvärderas pga dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt.

"~" Ämnet kan inte utvärderas pga störning i analysen, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt.

## 2f. Antibiotika - recipient

Substans	Provtagningstillfälle	Provnamn:				PP3a	PP3b	PP3c	PP4a	PP4b	PP4c
		LOD	LOQ	LOD	LOQ	Tivoli kontroll yta	Tivoli kontroll 10 m	Tivoli kontroll botten	Tivoli ref 320 yta	Tivoli ref 320 10m	Tivoli ref 320 botten
		[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]
Amoxicillin	aug/sep	---	---	--	--	---	---	---	---	---	
	nov	21	69	---	---	*	*	*	*	---	
	feb	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
Ampicillin	aug/sep	17	55	7	23	*	*	*	*	*	
	maj	9	28	---	---	*	*	*	*	---	
	aug	7	23	---	---	*	*	*	*	*	
Benzylpenicillin	aug/sep	20	60	2	7	*	*	*	*	*	
	nov	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
	feb	2,1	7,1	---	---	*	*	*	*	*	
Ciprofloxacin	aug/sep	1	3	1	3	*	*	*	*	*	
	maj	1,5	6	10	32	*	*	*	*	*	
	aug	8	27	---	---	*	*	*	*	*	
Clarithromycin	aug/sep	1	3	1	3	*	*	*	*	*	
	nov	1	3	1	4	*	*	*	*	*	
	feb	10	33	---	---	*	*	*	*	*	
Clindamycin	aug/sep	1	3	1	3	*	*	*	*	*	
	maj	1	3	1	3	*	*	*	*	*	
	aug	8	27	---	---	*	*	*	*	*	
Doxycycline	aug/sep	6	19	10	33	*	*	*	*	*	
	nov	12	36	24	80	*	*	*	*	*	
	feb	210	710	---	---	*	*	*	*	*	
Erythromycin	aug/sep	1	3	1	3	*	*	*	*	*	
	maj	7	21	1	4	*	*	*	*	*	
	aug	25	83	---	---	*	*	*	*	*	
Fusidic acid	aug/sep	8	27	4	13	*	*	*	*	**	
	nov	9	27	2	6	*	*	*	*	*	
	feb	12	40	---	---	*	*	*	*	*	
Linezolid	aug/sep	1	3	8	26	*	*	*	*	**	
	maj	6	20	9	29	*	*	*	*	*	
	aug	20	67	---	---	*	*	*	*	*	
Metronidazole	aug/sep	1	3	1	3	*	*	*	**	**	
	nov	2	6	6	21	*	*	*	*	*	
	feb	10	33	---	---	*	*	*	*	*	



## 2f. Antibiotika - recipient

Substans	Provtagningstillfälle	LOD		LOQ		Provnamn:		PP3a	PP3b	PP3c	PP4a	PP4b	PP4c
		[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	Tivoli kontroll yta	Tivoli kontroll 10 m	Tivoli kontroll botten	Tivoli ref 320 yta	Tivoli ref 320 10m	Tivoli ref 320 botten		
						[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]
Moxifloxacin	aug/sep	5	15	1	3	*	*	*	*	*	*	*	
	maj	3	11	15	50	*	*	*	*	*	*	*	
	aug	16	52			*	*	*	*	*	*	*	
Norfloxacin	aug/sep	10	30	2	7	*	*	*	*	*	*	*	
	nov	6	19	16	54	*	*	*	*	*	*	*	
	feb	27	89			*	*	*	*	*	*	*	
Rifampicin	aug/sep	10	34	30	100	*	*	*	*	*	*	*	
	maj	---	---	21	71	---	---	---	---	*	*	*	
	aug	23	77			*	*	*	*	*	*	*	
Sulfamethoxazole	aug/sep	4	15	8	25	*	*	*	*	*	*	*	
	nov	5	16	6	19	*	*	*	*	*	*	*	
	feb	5	17			*	*	*	*	*	*	*	
Tetracycline	aug/sep	19	65	25	83	*	*	*	*	*	*	*	
	maj	24	81	~	~	*	*	*	*	~	~	~	
	aug	20	67			*	*	*	*	*	*	*	
Trimethoprim	aug/sep	1	3	1	3	*	*	*	*	*	*	*	
	nov	1	3	2	6	*	*	*	*	*	*	*	
	feb	15	51			*	*	*	*	*	*	*	

\* ämnet kan ej detekteras, halt är under detektionsgränsen (LOD S/N=3).

\*\* ämnet kan detekteras men ej kvantifieras, halten är mellan detektionsgränsen (LOD) och kvantifieringsgränsen (LOQ S/N=10).

"---" Ämnet kan inte utvärderas pga dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt.

"~" Ämnet kan inte utvärderas pga störning i analysen, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt.

## 2f. Antibiotika - recipient

Substans	Provtagningstillfälle	Provnamn:				PP7a	PP7b	PP7c	PP8a	PP8b	PP8c
		LOD	LOQ	LOD	LOQ	Fillan kontroll yta	Fillan kontroll 10 m	Fillan kontroll botten	Fillan ref 175 yta	Fillan ref 175 10 m	Fillan ref 175 botten
		[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]
Amoxicillin	aug/sep	---	---	--	--	---	--	--	---	---	---
	nov	21	69	---	---	*	*	*	*		
	feb	---	---			---	---	---	---		
Ampicillin	aug/sep	17	55	7	23	*	*	*	*	*	*
	maj	9	28	---	---	*	*	*	*		
	aug	7	23			*	*	*	*		
Benzylpenicillin	aug/sep	20	60	2	7	*	*	*	*	*	*
	nov	---	---	---	---	---	---	---	---		
	feb	2,1	7,1			*	*	*	*		
Ciprofloxacin	aug/sep	1	3	1	3	*	*	*	*	*	*
	maj	1,5	6	10	32	*	*	*	*		
	aug	8	27			*	*	*	*		
Clarithromycin	aug/sep	1	3	1	3	*	*	*	*	*	*
	nov	1	3	1	4	**	*	**	*		
	feb	10	33			*	*	*	*		
Clindamycin	aug/sep	1	3	1	3	*	*	*	*	*	*
	maj	1	3	1	3	*	*	*	*		
	aug	8	27			*	*	*	*		
Doxycycline	aug/sep	6	19	10	33	*	*	*	*	*	*
	nov	12	36	24	80	*	*	*	*		
	feb	210	710			*	*	*	*		
Erythromycin	aug/sep	1	3	1	3	*	*	*	*	*	*
	maj	7	21	1	4	*	*	*	*		
	aug	25	83			*	*	*	*		
Fusidic acid	aug/sep	8	27	4	13	*	*	*	**	**	*
	nov	9	27	2	6	*	*	*	*		
	feb	12	40			*	*	*	*		
Linezolid	aug/sep	1	3	8	26	*	*	*	*	*	**
	maj	6	20	9	29	*	*	*	*		
	aug	20	67			*	*	*	*		
Metronidazole	aug/sep	1	3	1	3	*	*	*	**	**	*
	nov	2	6	6	21	*	*	*	*		
	feb	10	33			*	*	*	*		

## 2f. Antibiotika - recipient

Substans	Provtagningstillfälle	LOD		LOQ		PP7a		PP7b		PP7c		PP8a		PP8b		PP8c	
		[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	Fillan kontroll yta	Fillan kontroll 10 m	Fillan kontroll botten	Fillan ref 175 yta	Fillan ref 175 10 m	Fillan ref 175 botten	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]
Moxifloxacin	aug/sep	5	15	1	3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	maj	3	11	15	50	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	aug	16	52			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Norfloxacin	aug/sep	10	30	2	7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	nov	6	19	16	54	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	feb	27	89			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Rifampicin	aug/sep	10	34	30	100	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	maj	---	---	21	71	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	aug	23	77			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Sulfamethoxazole	aug/sep	4	15	8	25	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	nov	5	16	6	19	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	feb	5	17			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Tetracycline	aug/sep	19	65	25	83	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	maj	24	81	~	~	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	aug	20	67			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Trimethoprim	aug/sep	1	3	1	3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	nov	1	3	2	6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	feb	15	51			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

\* ämnet kan ej detekteras, halt är under detektionsgränsen (LOD S/N=3).

\*\* ämnet kan detekteras men ej kvantifieras, halten är mellan detektionsgränsen (LOD) och kvantifieringsgränsen (LOQ S/N=10).

"---" Ämnet kan inte utvärderas pga dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt.

"~" Ämnet kan inte utvärderas pga störning i analysen, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt.

## 2f. Antibiotika - recipient

Substans	Provtagningstillfälle	Provnamn:				PP17a	PP17b	PP17c	PP13a	PP13c	PP14a	PP14b
		LOD	LOQ	LOD	LOQ	Fillan ref 135 yta	Fillan ref 135 10 m	Fillan ref 135 botten	Essvik kontroll yta	Essvik kontroll botten	Essvik ref 630 yta	Essvik ref 630 10 m
		[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]
Amoxicillin	aug/sep	---	---	--	--	---	---	---	--	--	---	---
	nov	21	69	---	---	*	---	---	*	*	*	---
	feb	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ampicillin	aug/sep	17	55	7	23	*	*	*	*	*	*	*
	maj	9	28	---	---	*	---	---	*	*	*	---
	aug	7	23	---	---	*	---	---	*	*	*	---
Benzylpenicillin	aug/sep	20	60	2	7	*	*	*	*	*	*	*
	nov	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	feb	2,1	7,1	---	---	*	---	---	*	*	*	---
Ciprofloxacin	aug/sep	1	3	1	3	*	*	**	*	*	*	*
	maj	1,5	6	10	32	*	---	---	*	*	*	---
	aug	8	27	---	---	*	---	---	*	*	*	---
Clarithromycin	aug/sep	1	3	1	3	*	*	*	*	*	*	*
	nov	1	3	1	4	*	---	---	*	*	*	---
	feb	10	33	---	---	*	---	---	*	*	*	---
Clindamycin	aug/sep	1	3	1	3	*	*	*	*	*	*	*
	maj	1	3	1	3	*	---	---	*	*	*	---
	aug	8	27	---	---	*	---	---	*	*	*	---
Doxycycline	aug/sep	6	19	10	33	*	*	*	*	*	*	*
	nov	12	36	24	80	*	---	---	*	*	*	---
	feb	210	710	---	---	*	---	---	*	*	*	---
Erythromycin	aug/sep	1	3	1	3	*	*	*	*	*	**	*
	maj	7	21	1	4	*	---	---	*	*	*	---
	aug	25	83	---	---	*	---	---	*	*	*	---
Fusidic acid	aug/sep	8	27	4	13	*	*	*	*	*	*	*
	nov	9	27	2	6	*	---	---	*	*	*	---
	feb	12	40	---	---	*	---	---	*	*	*	---
Linezolid	aug/sep	1	3	8	26	*	*	*	*	*	*	*
	maj	6	20	9	29	*	---	---	*	*	*	---
	aug	20	67	---	---	*	---	---	*	*	*	---
Metronidazole	aug/sep	1	3	1	3	**	**	*	*	*	*	*
	nov	2	6	6	21	*	---	---	*	*	*	---
	feb	10	33	---	---	*	---	---	*	*	*	---

## 2f. Antibiotika - recipient

Substans	Provtagningstillfälle	LOD		LOQ		PP17a		PP17b		PP17c		PP13a		PP13c		PP14a		PP14b	
		[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	Fillan ref 135 yta	Fillan ref 135 10 m	Fillan ref 135 botten	Essvik kontroll yta	Essvik kontroll botten	Essvik ref 630 yta	Essvik ref 630 10 m	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	
Moxifloxacin	aug/sep	5	15	1	3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	maj	3	11	15	50	*			*	*		*	*	*	*	*	*	*	
	aug	16	52			*			*	*		*	*	*	*	*	*	*	
Norfloxacin	aug/sep	10	30	2	7	*	*	**	*	*		*	*	*	*	*	*	*	
	nov	6	19	16	54	*			*	*		*	*	*	*	*	*	*	
	feb	27	89			*			*	*		*	*	*	*	*	*	*	
Rifampicin	aug/sep	10	34	30	100	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	
	maj	---	---	21	71	---			---	---		---	---	---	---	---	---	---	
	aug	23	77			*			*	*		*	*	*	*	*	*	*	
Sulfamethoxazole	aug/sep	4	15	8	25	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	
	nov	5	16	6	19	*			*	*		*	*	*	*	*	*	*	
	feb	5	17			*			*	*		*	*	*	*	*	*	*	
Tetracycline	aug/sep	19	65	25	83	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	
	maj	24	81	~	~	*			*	*		*	*	*	*	*	*	*	
	aug	20	67			*			*	*		*	*	*	*	*	*	*	
Trimethoprim	aug/sep	1	3	1	3	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	
	nov	1	3	2	6	*			*	*		*	*	*	*	*	*	*	
	feb	15	51			*			*	*		*	*	*	*	*	*	*	

\* ämnet kan ej detekteras, halt är under detektionsgränsen (LOD S/N=3).

\*\* ämnet kan detekteras men ej kvantifieras, halten är mellan detektionsgränsen (LOD) och kvantifieringsgränsen (LOQ S/N=10).

"---" Ämnet kan inte utvärderas pga dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt.

"~" Ämnet kan inte utvärderas pga störning i analysen, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt.

## 2f. Antibiotika - recipient

Substans	Provtagnings- tillfälle	Provnamn:				PP14c	PP15a	PP15b	PP15c	PP16a	PP16b
		LOD	LOQ	LOD	LOQ	Essvik ref 630 botten	Nytt ARV kontroll yta	Nytt ARV kontroll 10 m	Nytt ARV kontroll botten	Nytt ARV ref 575 yta	Nytt ARV ref 575 10 m
		[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]
Amoxicillin	aug/sep	---	---	--	--	---	--	---	---	--	---
	nov	21	69	---	---		*	---	---	*	---
	feb	---	---				---	---	---	---	---
Ampicillin	aug/sep	17	55	7	23	*	*	*	*	*	*
	maj	9	28	---	---		*	---	---	*	---
	aug	7	23				*	*	*	*	*
Benzylpenicillin	aug/sep	20	60	2	7	*	*	*	*	*	*
	nov	---	---	---	---		---	---	---	---	---
	feb	2,1	7,1				*	*	*	*	*
Ciprofloxacin	aug/sep	1	3	1	3	*	*	*	*	*	*
	maj	1,5	6	10	32		*	*	*	*	*
	aug	8	27				*	*	*	*	*
Clarithromycin	aug/sep	1	3	1	3	*	*	*	*	*	*
	nov	1	3	1	4		*	*	*	*	*
	feb	10	33				*	*	*	*	*
Clindamycin	aug/sep	1	3	1	3	*	*	*	*	*	*
	maj	1	3	1	3		*	*	*	*	*
	aug	8	27				*	*	*	*	*
Doxycycline	aug/sep	6	19	10	33	*	*	**	*	*	**
	nov	12	36	24	80		*	*	*	*	*
	feb	210	710				*	*	*	*	*
Erythromycin	aug/sep	1	3	1	3	*	*	*	*	*	*
	maj	7	21	1	4		*	*	*	*	*
	aug	25	83				*	*	*	*	*
Fusidic acid	aug/sep	8	27	4	13	*	*	*	*	*	*
	nov	9	27	2	6		*	*	*	*	*
	feb	12	40				*	*	*	*	*
Linezolid	aug/sep	1	3	8	26	*	*	*	*	*	*
	maj	6	20	9	29		*	*	*	*	*
	aug	20	67				*	*	*	*	*
Metronidazole	aug/sep	1	3	1	3	*	*	*	*	*	*
	nov	2	6	6	21		*	*	*	*	*
	feb	10	33				*	*	*	*	*

## 2f. Antibiotika - recipient

Substans	Provtagningstillfälle	LOD		LOQ		Provnamn:		PP14c	PP15a	PP15b	PP15c	PP16a	PP16b
		[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	Essvik ref 630 botten	Nytt ARV kontroll yta	Nytt ARV kontroll 10 m	Nytt ARV kontroll botten	Nytt ARV ref 575 yta	Nytt ARV ref 575 10 m		
Moxifloxacin	aug/sep	5	15	1	3	*	*	*	*	*	*	*	
	maj	3	11	15	50		*	*	*	*	*	*	
	aug	16	52				*	*	*	*	*	*	
Norfloxacin	aug/sep	10	30	2	7	*	*	*	*	*	*	*	
	nov	6	19	16	54		*	*	*	*	*	*	
	feb	27	89				*	*	*	*	*	*	
Rifampicin	aug/sep	10	34	30	100	*	*	*	*	*	*	*	
	maj	---	---	21	71		---	*	*	*	---	*	
	aug	23	77				*	*	*	*	*	*	
Sulfamethoxazole	aug/sep	4	15	8	25	*	*	*	*	*	*	*	
	nov	5	16	6	19		*	*	*	*	*	*	
	feb	5	17				*	*	*	*	*	*	
Tetracycline	aug/sep	19	65	25	83	*	*	*	*	*	*	*	
	maj	24	81	~	~		*	~	~	*	~	*	
	aug	20	67				*	*	*	*	*	*	
Trimethoprim	aug/sep	1	3	1	3	*	*	*	*	*	*	*	
	nov	1	3	2	6		*	*	*	*	*	*	
	feb	15	51				*	*	*	*	*	*	

\* ämnet kan ej detekteras, halt är under detektionsgränsen (LOD S/N=3).

\*\* ämnet kan detekteras men ej kvantifieras, halten är mellan detektionsgränsen (LOD) och kvantifieringsgränsen (LOQ S/N=10).

"---" Ämnet kan inte utvärderas pga dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt.

"~" Ämnet kan inte utvärderas pga störning i analysen, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt.

## 2f. Antibiotika - recipient

Substans	Provtagnings- tillfälle	Provnamn:				Nytt ARV ref 575 botten [ng/L]
		LOD [ng/L]	LOQ [ng/L]	LOD [ng/L]	LOQ [ng/L]	
Amoxicillin	aug/sep	---	---	--	--	---
	nov	21	69	---	---	---
	feb	---	---			---
Ampicillin	aug/sep	17	55	7	23	*
	maj	9	28	---	---	---
	aug	7	23			*
Benzylpenicillin	aug/sep	20	60	2	7	*
	nov	---	---	---	---	---
	feb	2,1	7,1			*
Ciprofloxacin	aug/sep	1	3	1	3	*
	maj	1,5	6	10	32	*
	aug	8	27			*
Clarithromycin	aug/sep	1	3	1	3	*
	nov	1	3	1	4	*
	feb	10	33			*
Clindamycin	aug/sep	1	3	1	3	*
	maj	1	3	1	3	*
	aug	8	27			*
Doxycycline	aug/sep	6	19	10	33	**
	nov	12	36	24	80	*
	feb	210	710			*
Erythromycin	aug/sep	1	3	1	3	*
	maj	7	21	1	4	*
	aug	25	83			*
Fusidic acid	aug/sep	8	27	4	13	*
	nov	9	27	2	6	*
	feb	12	40			*
Linezolid	aug/sep	1	3	8	26	*
	maj	6	20	9	29	*
	aug	20	67			*
Metronidazole	aug/sep	1	3	1	3	*
	nov	2	6	6	21	*
	feb	10	33			*



## 2f. Antibiotika - recipient

Substans	Provtagnings- tillfälle	Provnamn:				PP16c
		LOD [ng/L]	LOQ [ng/L]	LOD [ng/L]	LOQ [ng/L]	Nytt ARV ref 575 botten [ng/L]
Moxifloxacin	aug/sep	5	15	1	3	*
	maj	3	11	15	50	*
	aug	16	52			*
Norfloxacin	aug/sep	10	30	2	7	*
	nov	6	19	16	54	*
	feb	27	89			*
Rifampicin	aug/sep	10	34	30	100	*
	maj	---	---	21	71	*
	aug	23	77			*
Sulfamethoxazole	aug/sep	4	15	8	25	*
	nov	5	16	6	19	*
	feb	5	17			*
Tetracycline	aug/sep	19	65	25	83	*
	maj	24	81	~	~	~
	aug	20	67			*
Trimethoprim	aug/sep	1	3	1	3	*
	nov	1	3	2	6	*
	feb	15	51			*

\* ämnet kan ej detekteras, halt är under detektionsgränsen (LOD S/N=3).

\*\* ämnet kan detekteras men ej kvantifieras, halten är mellan detektionsgränsen (LOD) och kvantifieringsgränsen (LOQ S/N=10).

"---" Ämnet kan inte utvärderas pga dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt.

"~" Ämnet kan inte utvärderas pga störning i analysen, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt.

## 2g. Antibiotika - älvar

Substans	IVL-provnr: 182483 182484 182485				
	LOD [ng/L]	Provnamn: LOQ [ng/L]	PP19 Indalsälven [ng/L]	PP20 Selångersån [ng/L]	PP21 Ljungan [ng/L]
Amoxicillin	--	--	--	--	--
Ampicillin	--	--	--	--	--
Benzylpenicillin	--	--	--	--	--
Ciprofloxacin	3	10	*	*	*
Clarithromycin	1	3	*	*	*
Clindamycin	3	10	*	*	*
Doxycycline	84	280	*	*	*
Erythromycin	7	24	*	*	*
Fusidic acid	7	22	*	*	*
Linezolid	1	5	*	*	*
Metronidazole	5	17	*	*	*
Moxifloxacin	6	18	*	*	*
Norfloxacin	7	24	*	*	*
Rifampicin	3	85	*	*	*
Sulfamethoxazole	10	32	*	*	*
Tetracycline	83	280	*	*	*
Trimethoprim	3	10	*	*	*

\* ämnet kan ej detekteras, halt är under detektionsgränsen (LOD S/N=3).

\*\* ämnet kan detekteras men ej kvantifieras, halten är mellan detektionsgränsen (LOD) och kvantifieringsgränsen (LOQ S/N=10).

"---" Ämnet kan inte utvärderas pga dålig återvinning, det går alltså inte att påvisa eller utesluta förekomst av denna analyt.

## 2h. Hormoner - reningsverk och ledningsnät

Substans	Provtagnings- tillfälle	Provnamn:		PP1	PP2	PP9	PP10	PP5	PP6	PP11	PP12
		Tivoli ink	Tivoli utg	Brunn Sjukhuset	APS Grov- reningen	Fillan ink	Fillan utg	Essvik ink	Essvik utg		
		[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]
Estrone	augusti	<2*	4,6	34	33	<1*	<1*	<2*	<1*		
	november	18	7,6	29	25	17	38	12	<4**		
	februari	19	6	41	8	16	129	13	<5**		
	juni					12	9				
Estradiol	augusti	<2*	<3**	2,3	3	<1*	<1*	<2*	<3**		
	november	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*		
	februari	<7**	<1*	<2*	<2*	<6**	<1*	<2*	<1*		
	juni					<3*	<2*				
Etinylestradiol	augusti	<2*	5,6	<1*	<1*	<1*	<1*	<2*	<1*		
	november	<1*	6,4	<1*	<1*	<1*	45	<4**	11		
	februari	<2*	<1*	<2*	<2*	<2*	<1*	<2*	<1*		
	juni					<3*	<2*				

\* ämnet kan ej detekteras, halt är under detektionsgränsen (LOD S/N=3).

\*\* ämnet kan detekteras men ej kvantifieras, halten är mellan detektionsgränsen (LOD) och kvantifieringsgränsen (LOQ S/N=10).

## 2i. Hormoner - recipient

Substans	Provnamn:	PP3a	PP3b	PP3c	PP4a	PP4b	PP4c	PP7a	PP7b	PP7c	PP8a
	Provtagnings- tillfälle	Tivoli kontroll yta [ng/L]	Tivoli kontroll 10 m [ng/L]	Tivoli kontroll botten [ng/L]	Tivoli ref 320 yta [ng/L]	Tivoli ref 320 10m [ng/L]	Tivoli ref 320 botten [ng/L]	Fillan kontroll yta [ng/L]	Fillan kontroll 10 m [ng/L]	Fillan kontroll botten [ng/L]	Fillan ref 175 yta [ng/L]
Estrone	augusti				<3**	<3**	<1*				<1*
	november		<1*	<1*	<1*	<2*	<2*	<1*	<1*	<1*	<1*
	februari	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*
	juni										
Estradiol	augusti				<3**	<1*	<3**				<3**
	november	<1*	<1*	<1*	<1*	<2*	<2*	<1*	<1*	<1*	<1*
	februari	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*
	juni										
Etinylestradiol	augusti				<1*	<1*	<1*				<1*
	november	<1*	<1*	<1*	<1*	<2*	<2*	<1*	<1*	<1*	<1*
	februari	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*
	juni										

\* ämnet kan ej detekteras, halt är under detektionsgränsen (LOD S/N=3).

\*\* ämnet kan detekteras men ej kvantifieras, halten är mellan detektionsgränsen (LOD) och kvantifieringsgränsen (LOQ S/N=10).

## 2i. Hormoner - recipient

Substans	Provtagnings- tillfälle	Provnamn:	PP8b	PP8c	PP17a	PP17b	PP17c	PP13a	PP13c	PP14a	PP14b	PP14c
		Fillan ref 175 10 m	Fillan ref 175 botten	Fillan ref 135 yta	Fillan ref 135 10 m	Fillan ref 135 botten	Essvik kontroll yta	Essvik kontroll botten	Essvik ref 630 yta	Essvik ref 630 10 m	Essvik ref 630 botten	
		[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]	[ng/L]
Estrone	augusti	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*			<3**	<1*	<1*	
	november			<1*	<1*		<1*	<1*	<1*			
	februari			<1*			<1*	<1*	<1*			
	juni											
Estradiol	augusti	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*					<1*	<1*
	november			<1*	<1*		<1*	<1*	<1*			
	februari			<1*			<1*	<1*	<1*			
	juni											
Etinylestradiol	augusti	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*					<1*	<1*
	november			<1*	<1*		<1*	<1*	<1*			
	februari			<1*			<1*	<1*	<1*			
	juni											

\* ämnet kan ej detekteras, halt är under detektionsgränsen (LOD S/N=3).

\*\* ämnet kan detekteras men ej kvantifieras, halten är mellan detektionsgränsen (LOD) och kvantifieringsgränsen (LOQ S/N=10).

2i. Hormoner - recipient

Substans	Provnamn:  <i>Provtagningstillfälle</i>	PP15a	PP15b	PP15c	PP16a	PP16b	PP16c
		Nytt ARV kontroll yta [ng/L]	Nytt ARV kontroll 10 m [ng/L]	Nytt ARV kontroll botten [ng/L]	Nytt ARV ref 575 yta [ng/L]	Nytt ARV ref 575 10 m [ng/L]	Nytt ARV ref 575 botten [ng/L]
Estrone	<i>augusti</i>		<1*	<1*		<1*	<1*
	<i>november</i>	<1*	<2*	<2*		<2*	
	<i>februari</i>	<1*	<1*	<1*	<4**		<1*
	<i>juni</i>						
Estradiol	<i>augusti</i>		<1*	<1*		<1*	<1*
	<i>november</i>	<1*	<2*	<2*		<2*	
	<i>februari</i>	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*
	<i>juni</i>						
Etinylestradiol	<i>augusti</i>		<1*	<1*		<1*	<1*
	<i>november</i>	<1*	<2*	<2*		<2*	
	<i>februari</i>	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*	<1*
	<i>juni</i>						

\* ämnet kan ej detekteras, halt är under detektionsgränsen (LOD S/N=3).

\*\* ämnet kan detekteras men ej kvantifieras, halten är mellan detektionsgränsen (LOD) och kvantifieringsgränsen (LOQ S/N=10).

## 2j. Hormoner - älvar

Provnamn:	PP19	PP20	PP21
Substans	Indalsälven [ng/L]	Selångersån [ng/L]	Ljungan [ng/L]
Estrone	<2*	<3*	<2*
Estradiol	<2*	<3*	<2*
Etinylestradiol	<2*	<3*	<2*

\* ämnet kan ej detekteras, halt är under detektionsgränsen (LOD S/N=3).

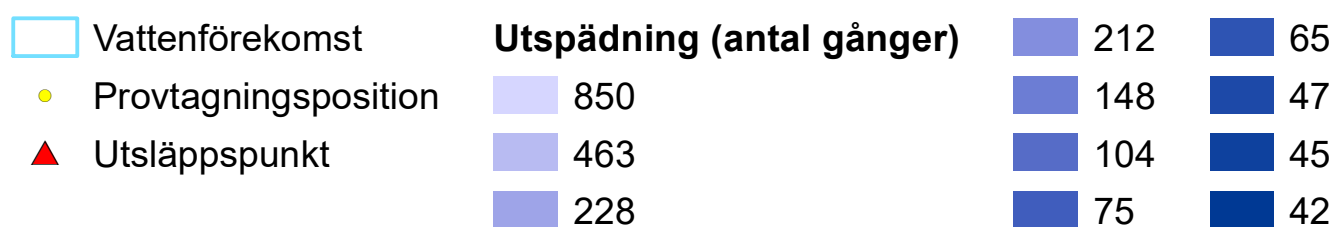
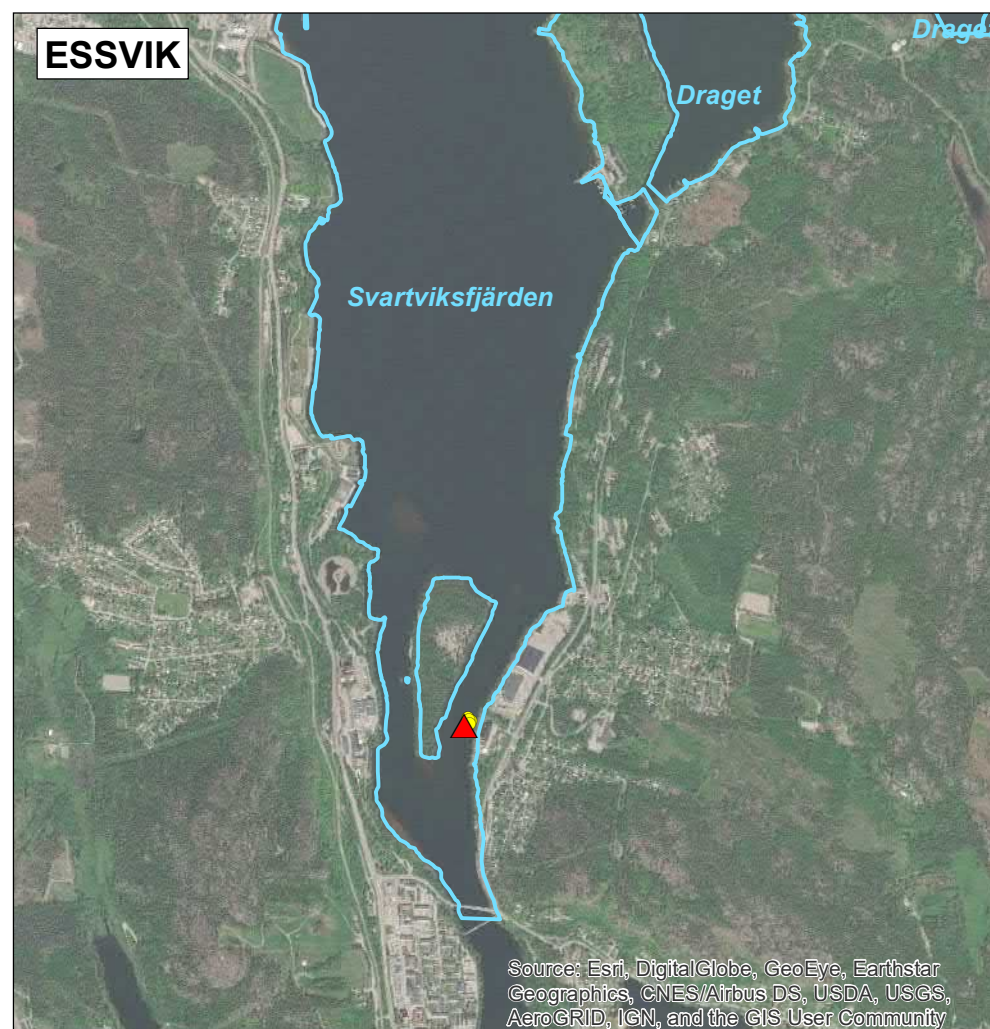
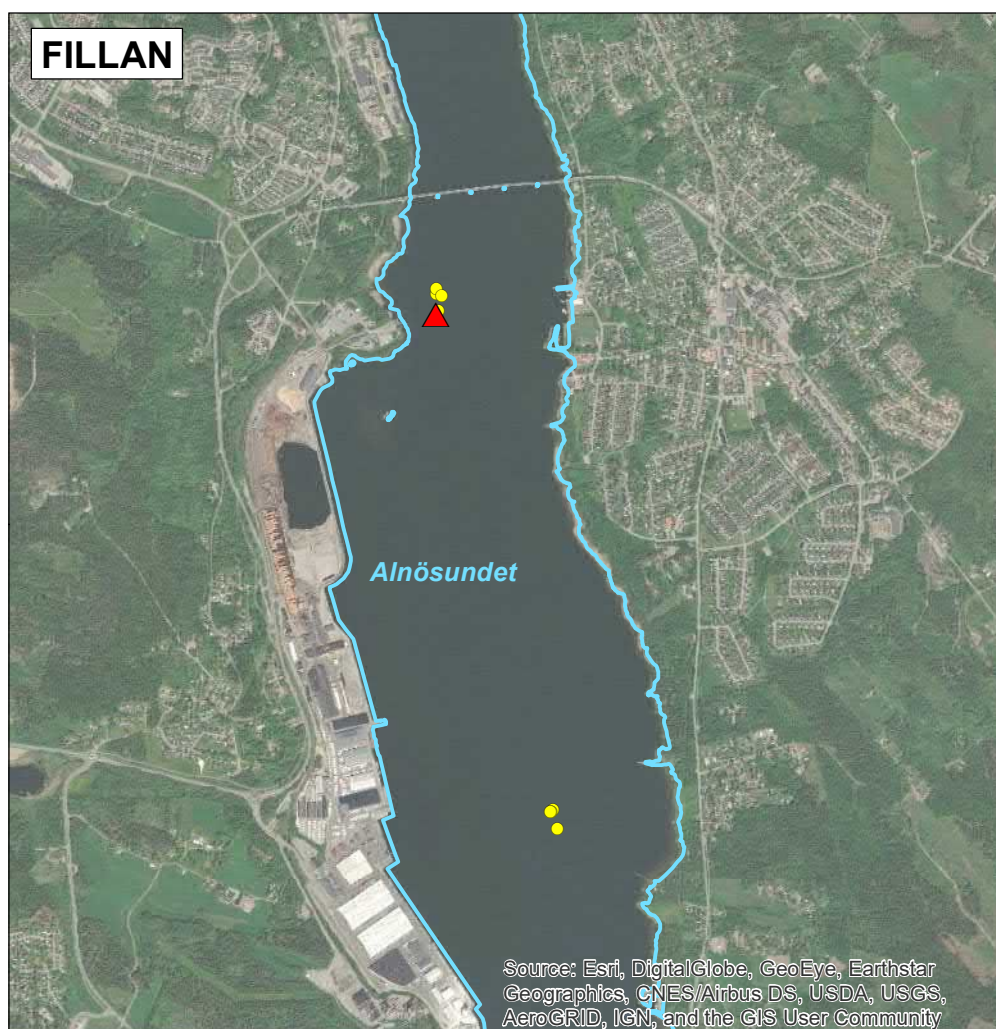
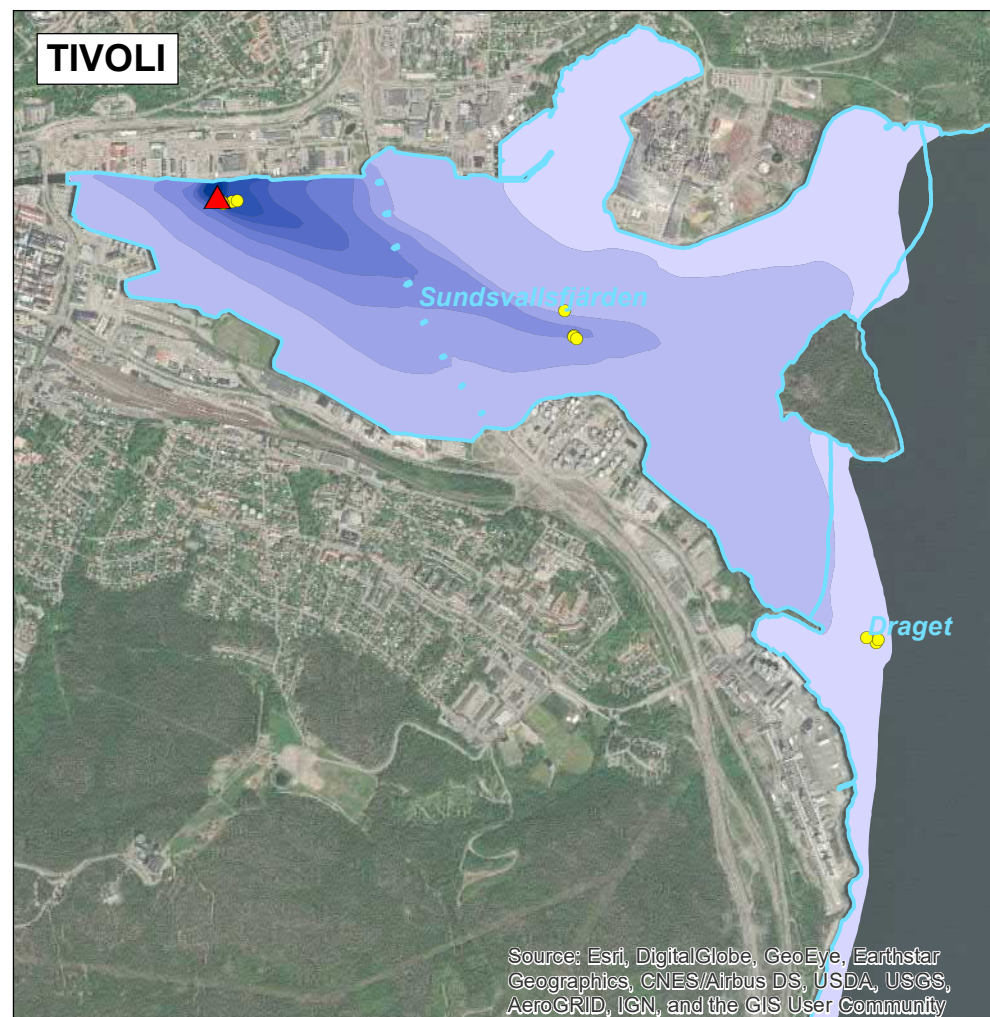
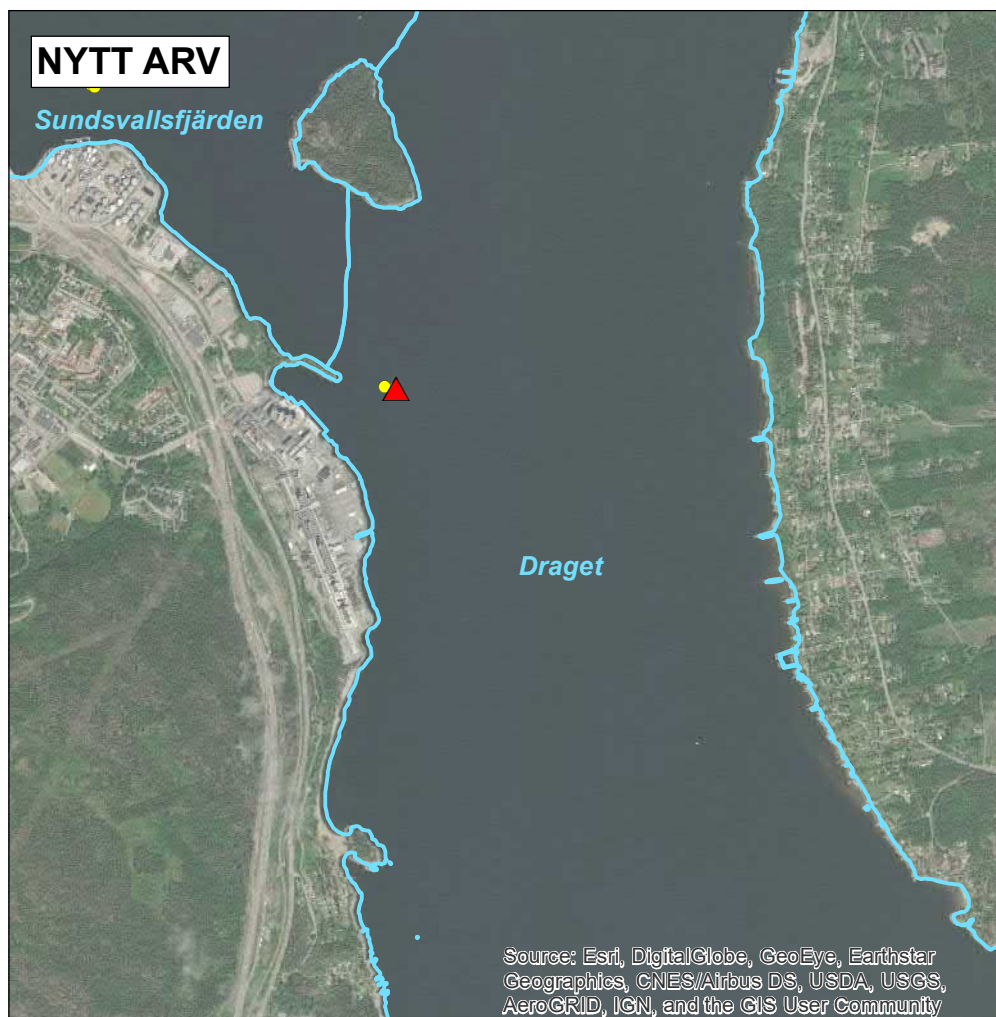
\*\* ämnet kan detekteras men ej kvantifieras, halten är mellan detektionsgränsen (LOD) och kvantifieringsgränsen (LOQ S/N=10).

**BEFINTLIGA ARV UTAN KVÄVERENING (3A) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A) SAMT MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Etinylöstradiol (EE2) - vattenvolymer med beräknade halter över HVMFS 2019:25 (0,007 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	799000	37211000	118000	0	37329000
Andel av berörd vattenförekomst	0.18%	105.12%	0.06%	0.00%	-

**Visualisering - Sommar, Yta**



Datum: 2020-06-26



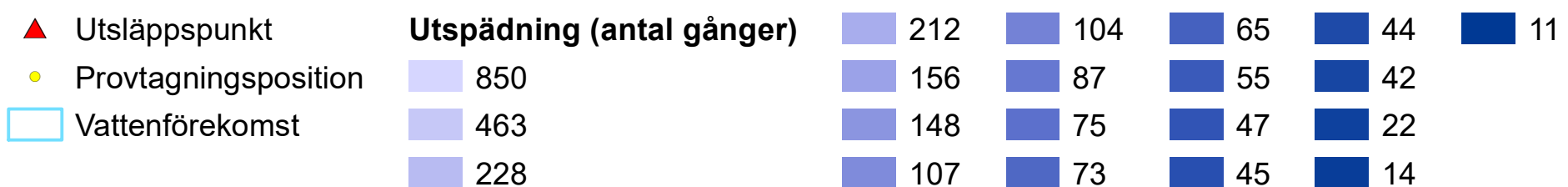
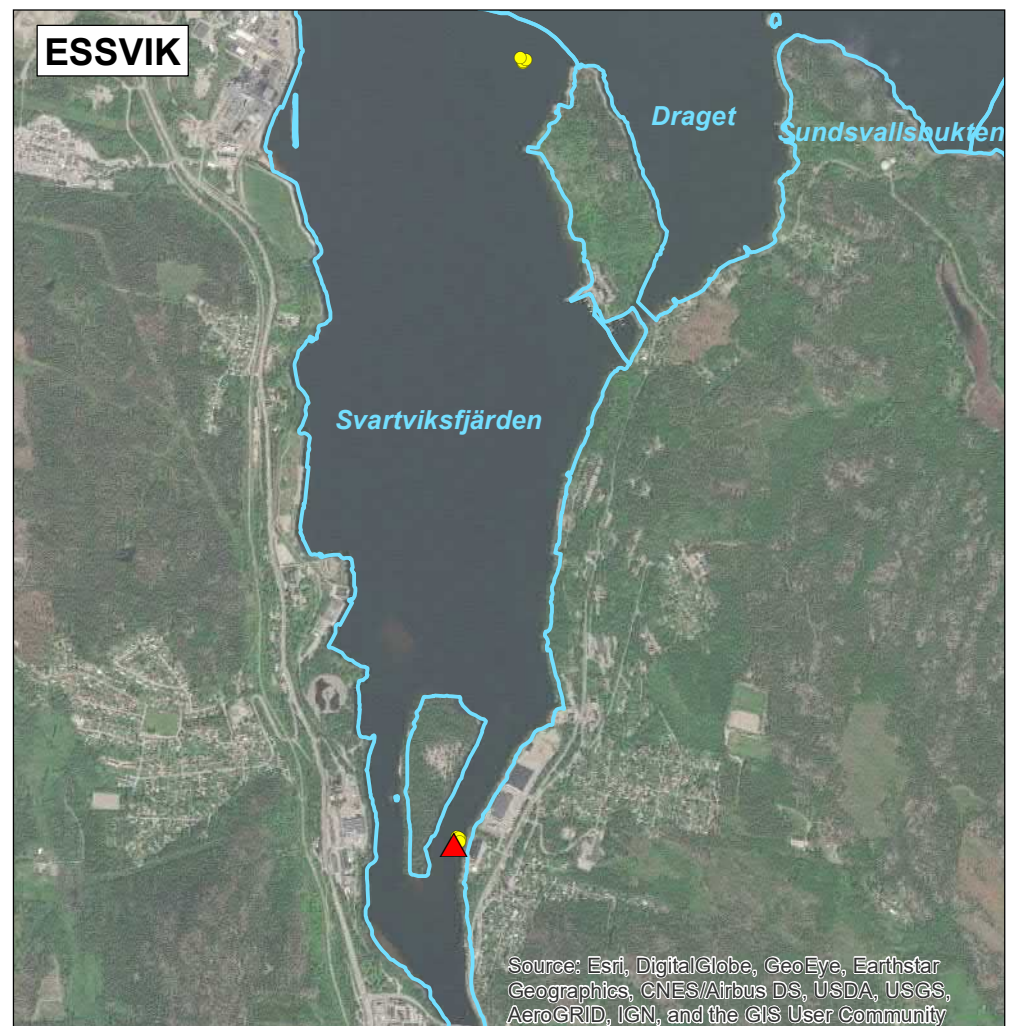
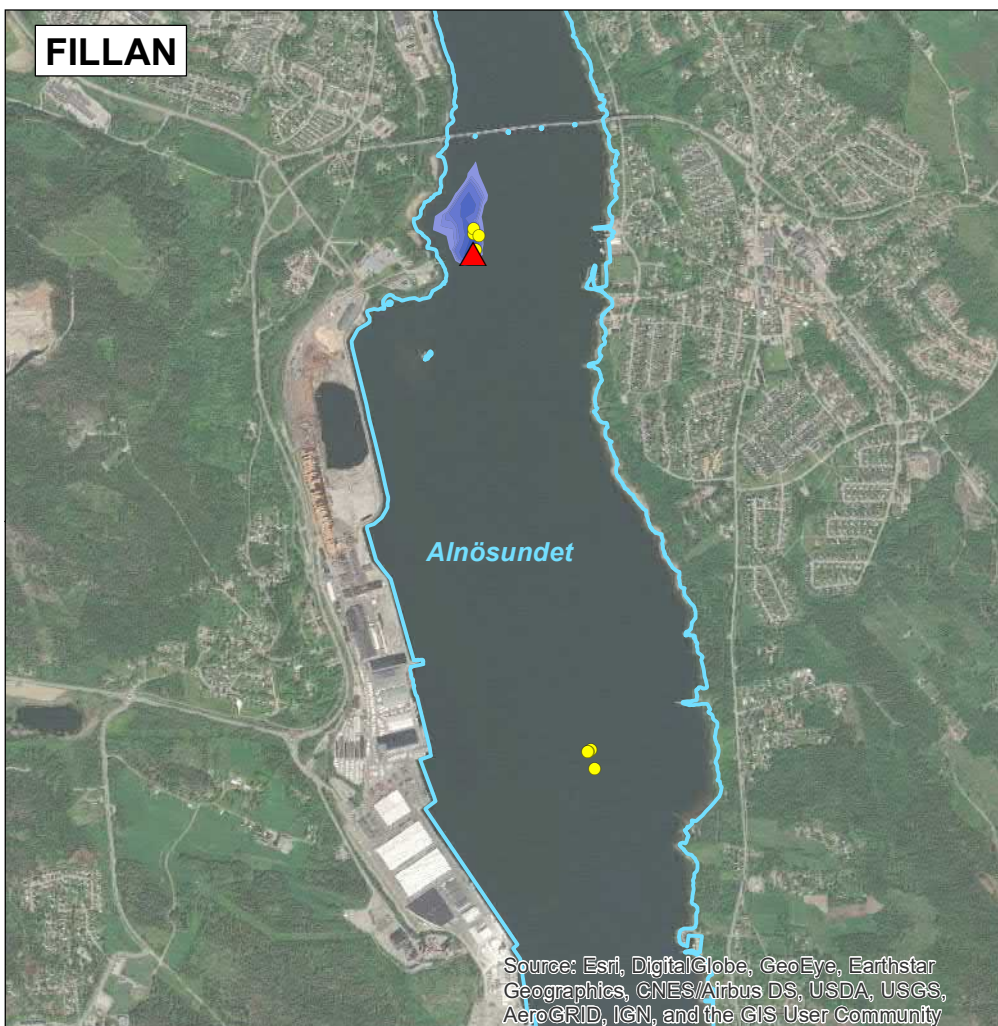
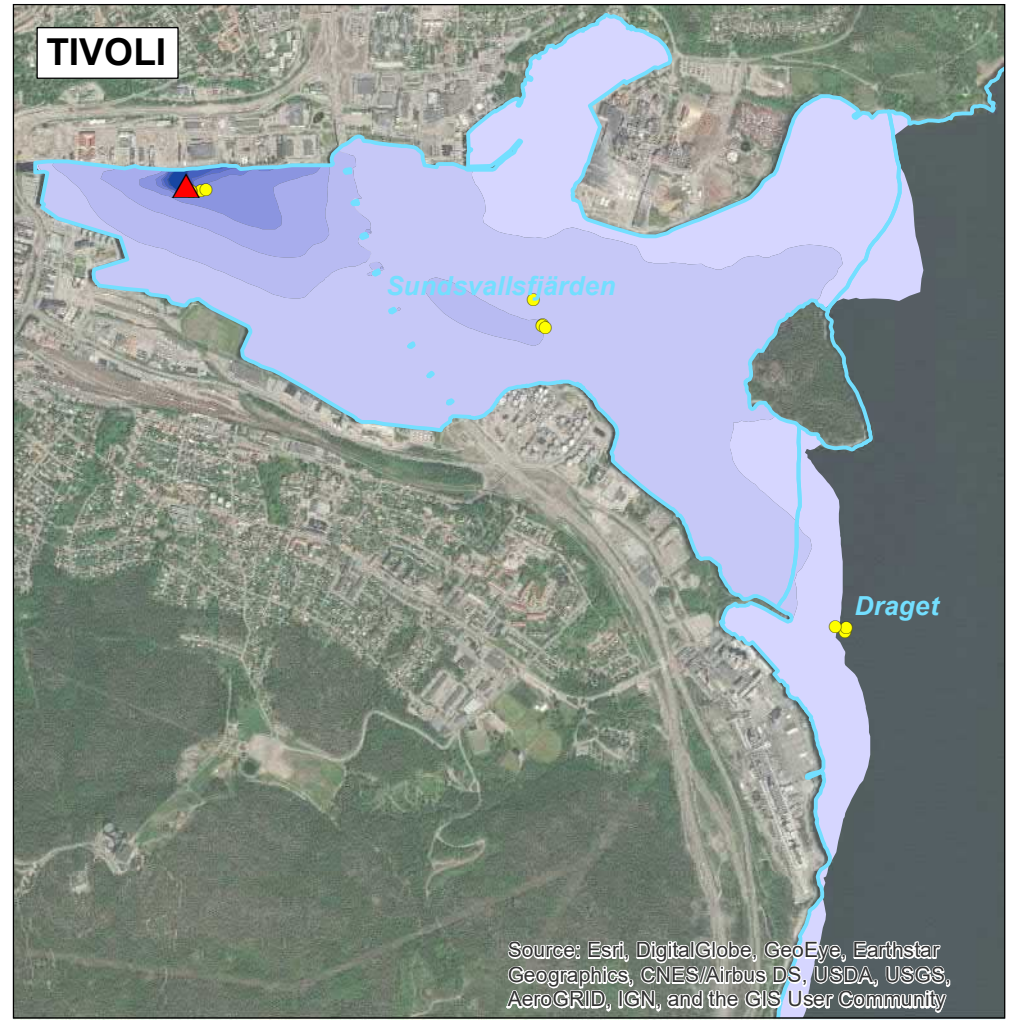
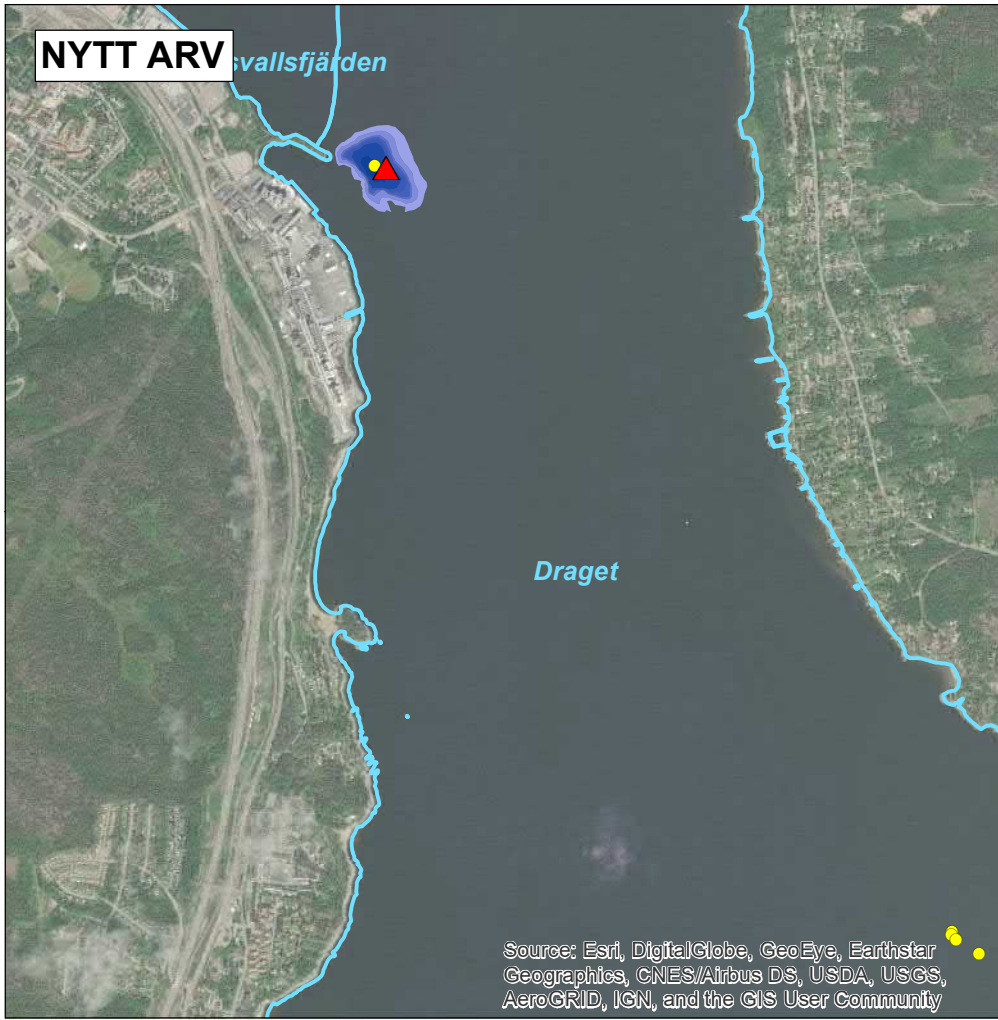


**BEFINTLIGA ARV UTAN KVÄVERENING (3A) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A) SAMT MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Etinylöstradiol (EE2) - vattenvolymer med beräknade halter över HVMFS 2019:25 (0,007 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	799000	37211000	118000	0	37329000
Andel av berörd vattenförekomst	0.18%	105.12%	0.06%	0.00%	-

**Visualisering - Sommar, Botten**



Datum: 2020-06-26



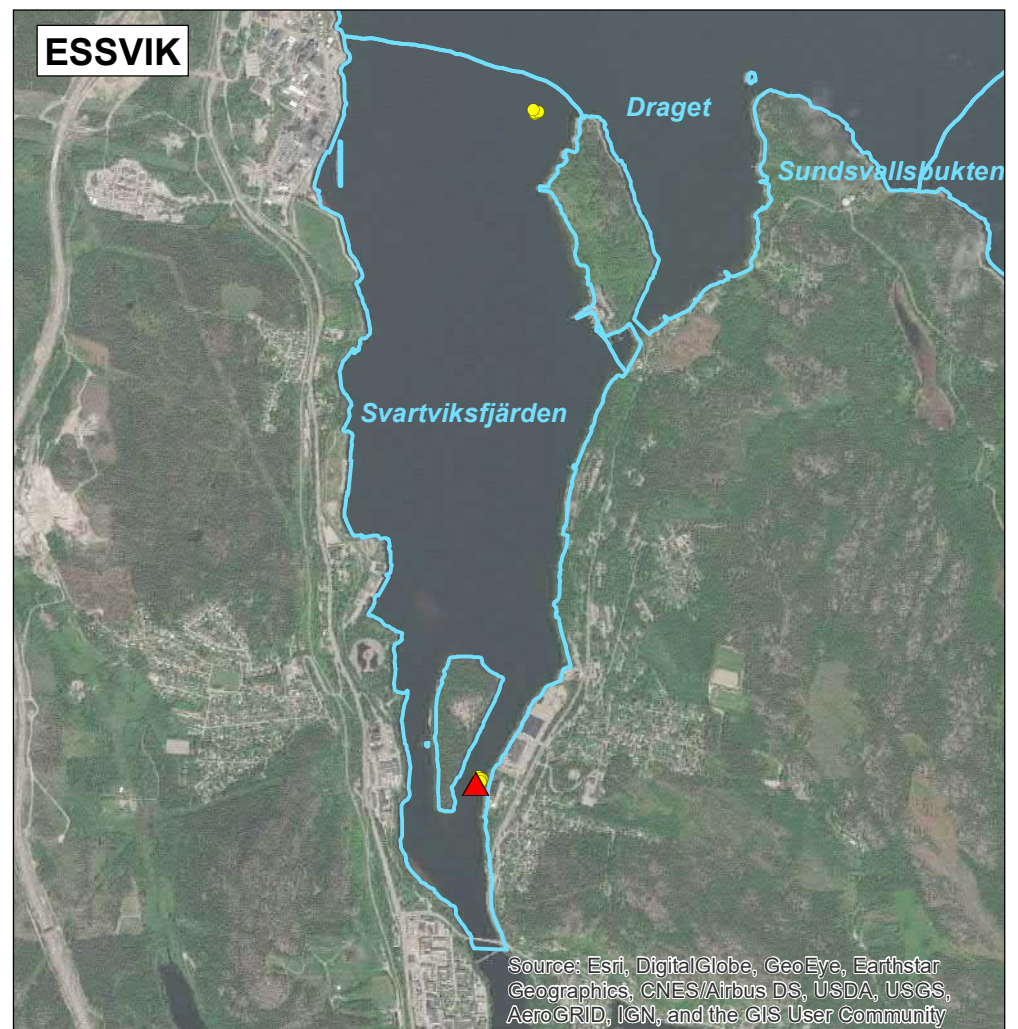
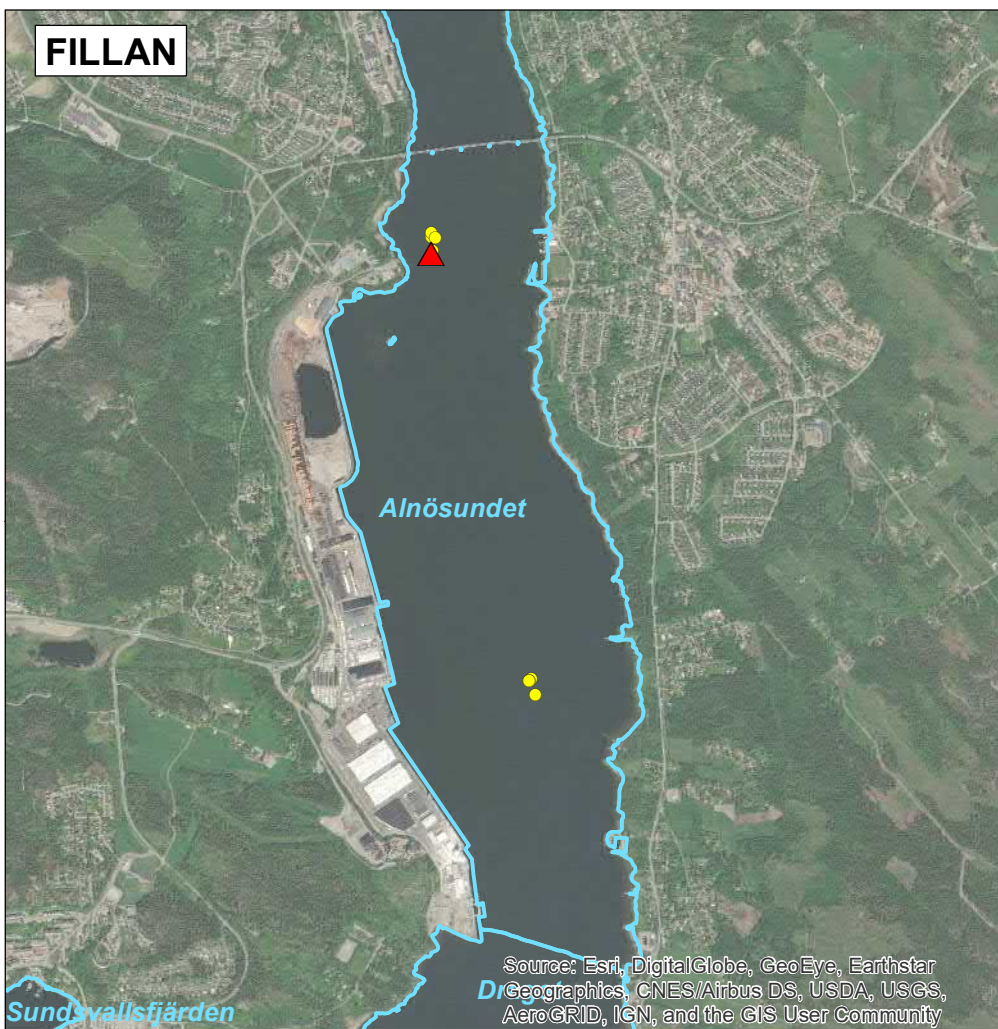
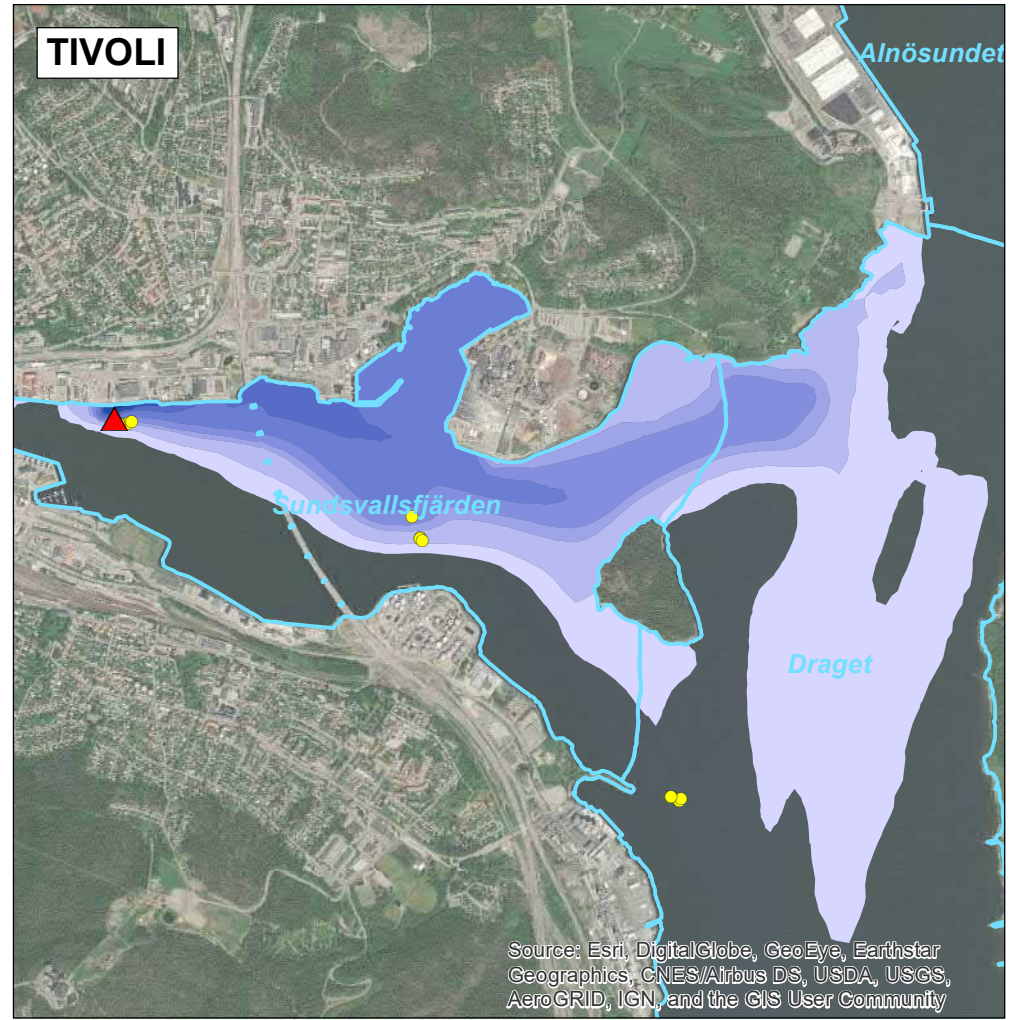
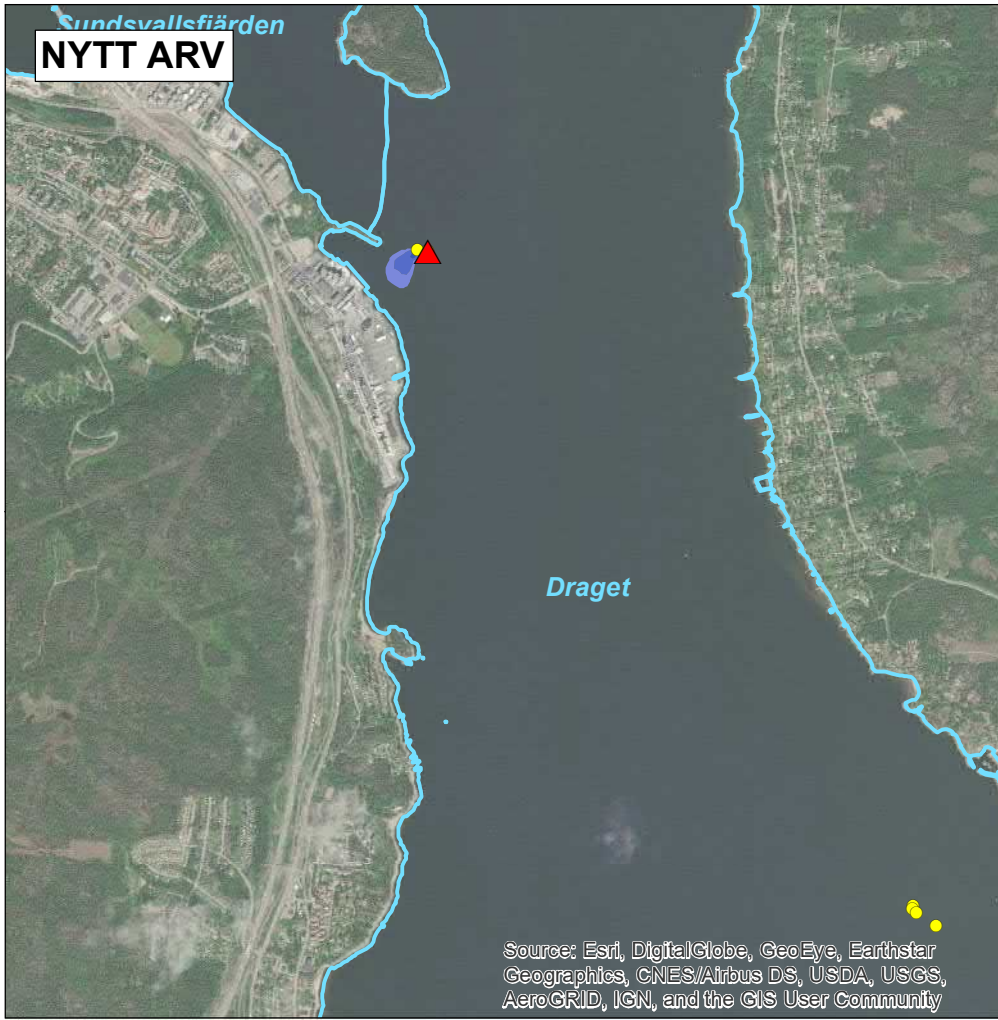
**BEFINTLIGA ARV UTAN KVÄVERENING (3A) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A) SAMT MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Etinylöstradiol (EE2) - vattenvolymer med beräknade halter över HVMFS 2019:25 (0,007 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	1055000	35746000	158000	0	35904000
Andel av berörd vattenförekomst	0.23%	100.98%*	0.07%	0.00%	-

\*Procentuell andel av vattenförekomsten har beräknats från den totala påverkade vattenvolymen. I detta fall omfattas delar av två vattenförekomster, vilket medför att resultatet inte stämmer med utbredningen av plymen.

**Visualisering - Vinter, Yta**



Datum: 2020-06-26



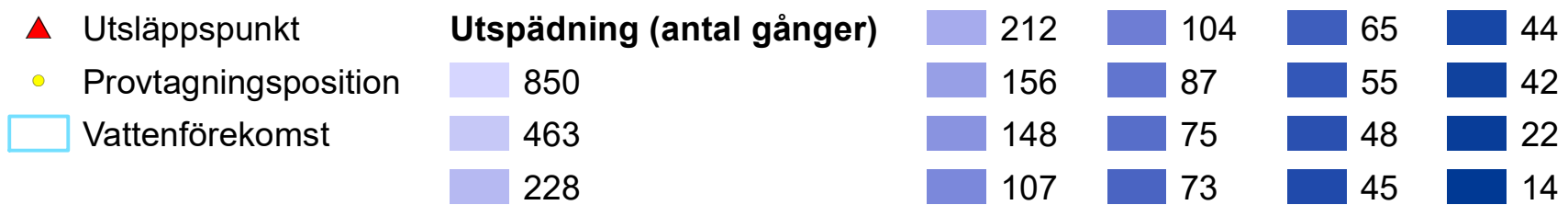
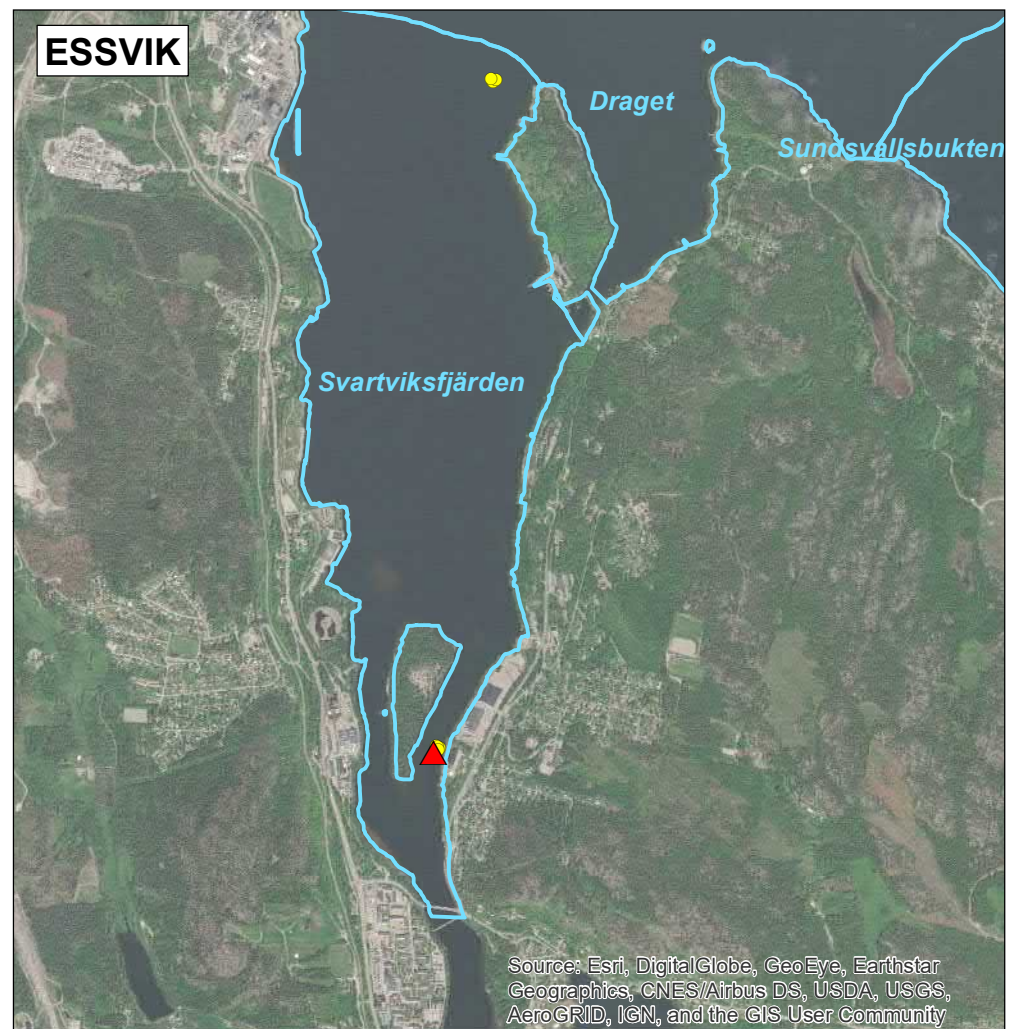
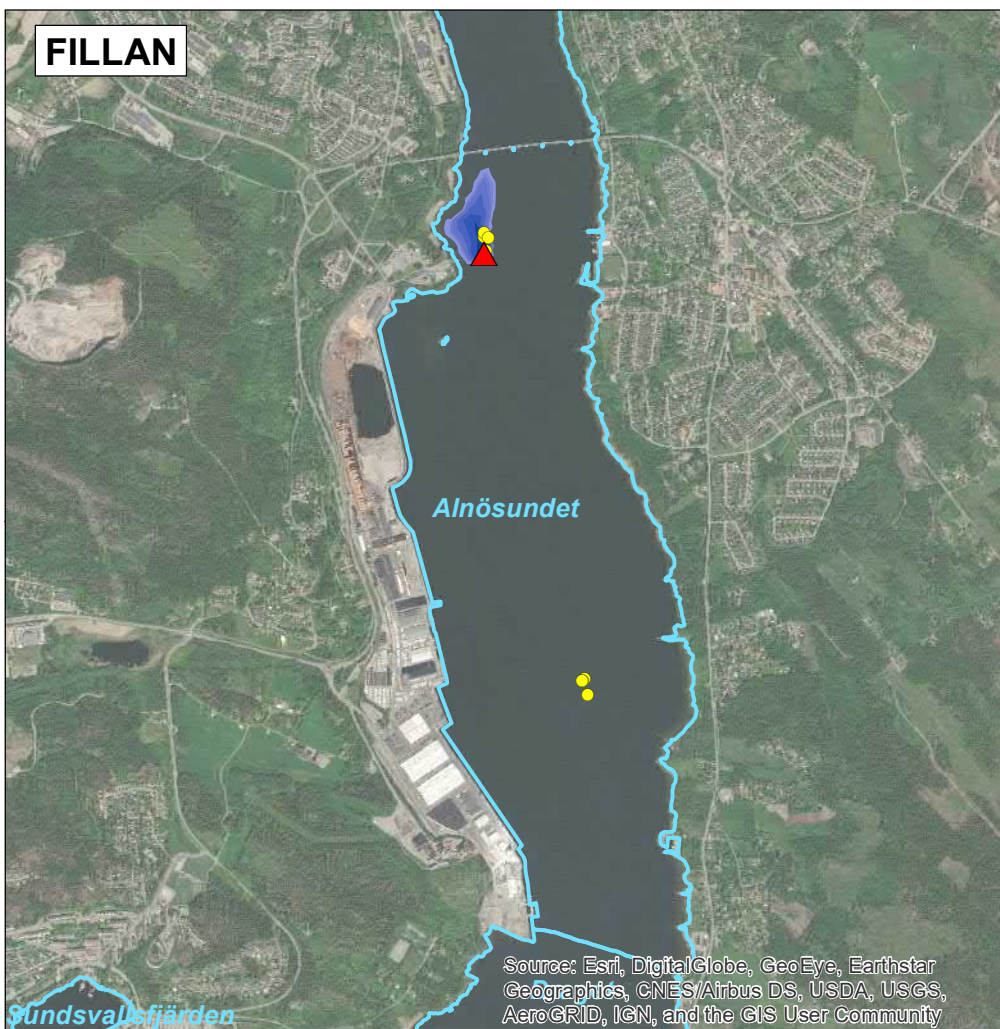
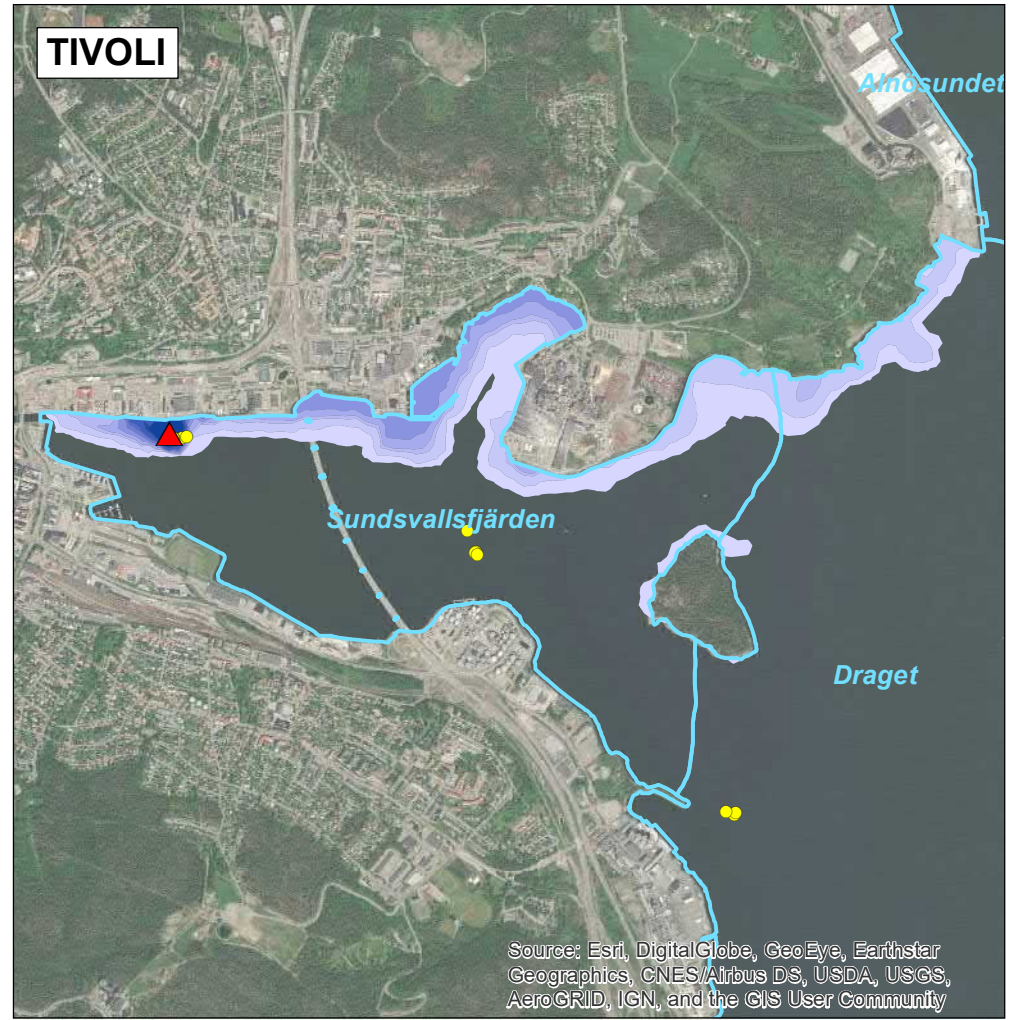
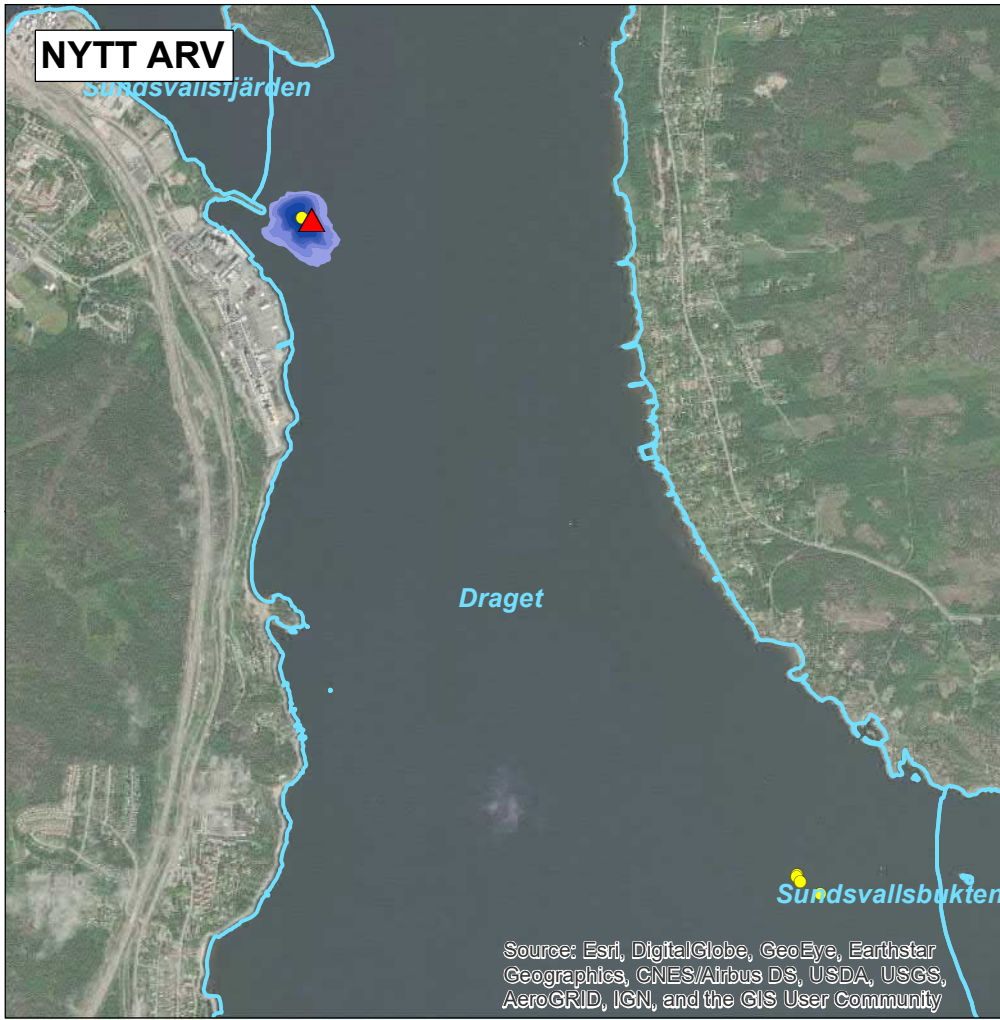
**BEFINTLIGA ARV UTAN KVÄVERENING (3A) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A) SAMT MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Etinylöstradiol (EE2) - vattenvolymer med beräknade halter över HVMFS 2019:25 (0,007 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	1055000	35746000	158000	0	35904000
Andel av berörd vattenförekomst	0.23%	100.98%*	0.07%	0.00%	-

\*Procentuell andel av vattenförekomsten har beräknats från den totala påverkade vattenvolymen. I detta fall omfattas delar av två vattenförekomster, vilket medför att resultatet inte stämmer med utbredningen av pplymen.

**Visualisering - Vinter, Botten**



Datum: 2020-06-26

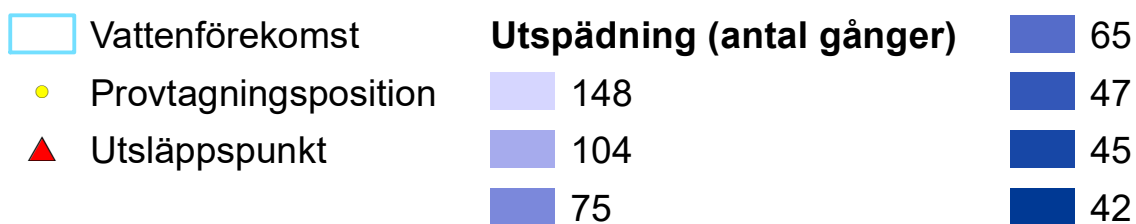
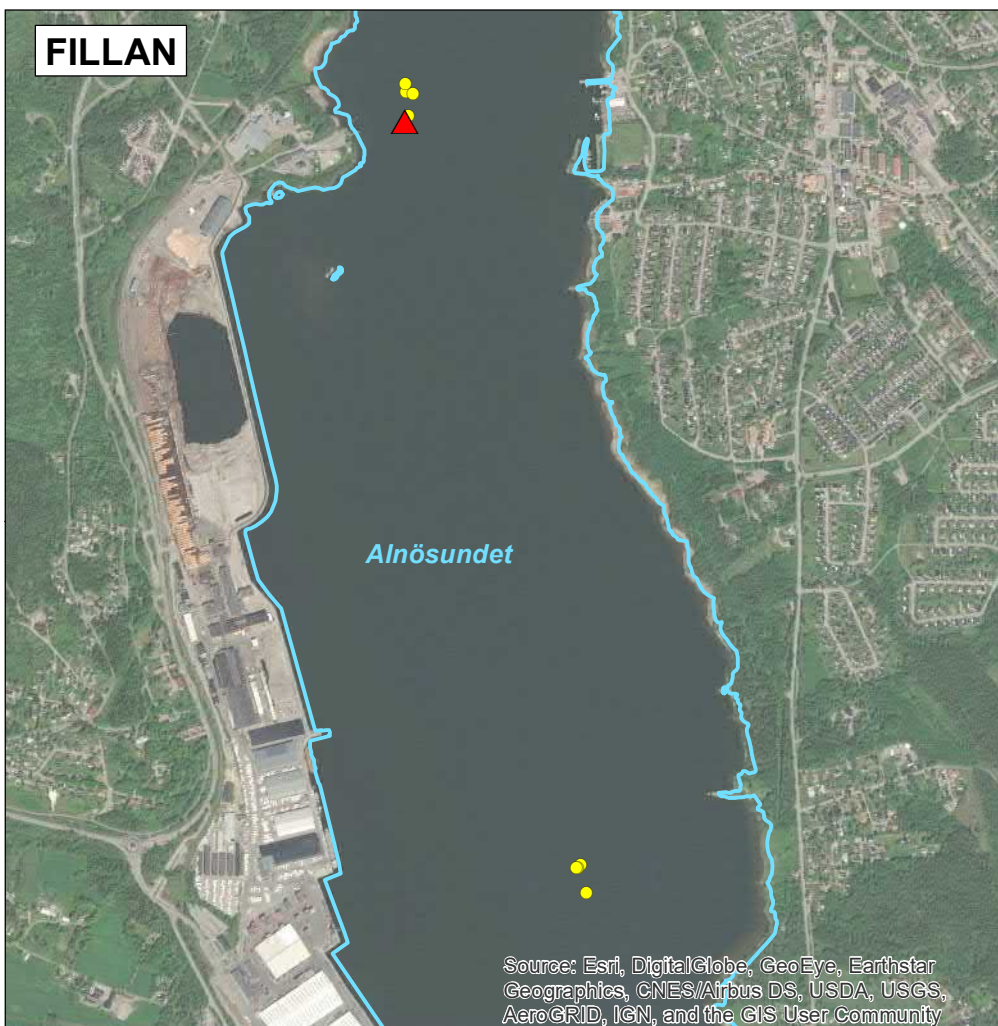
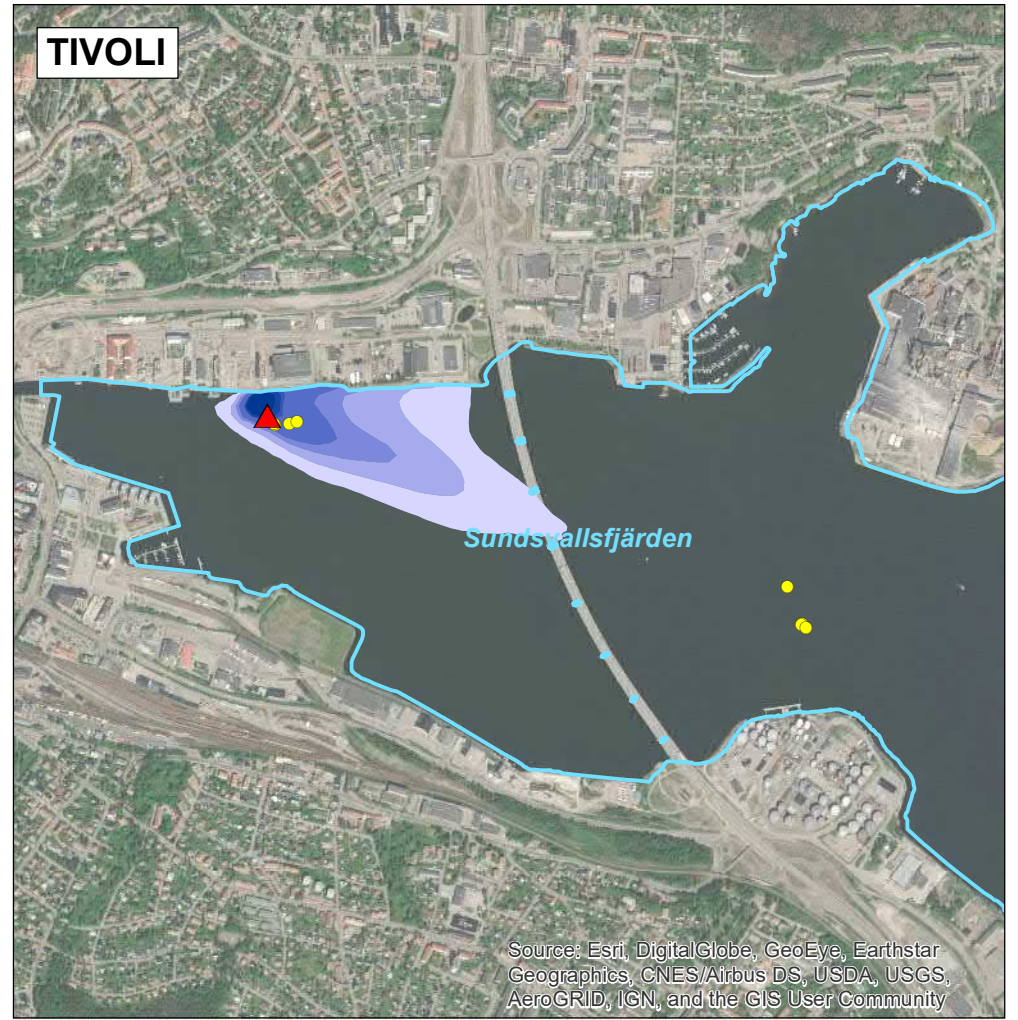
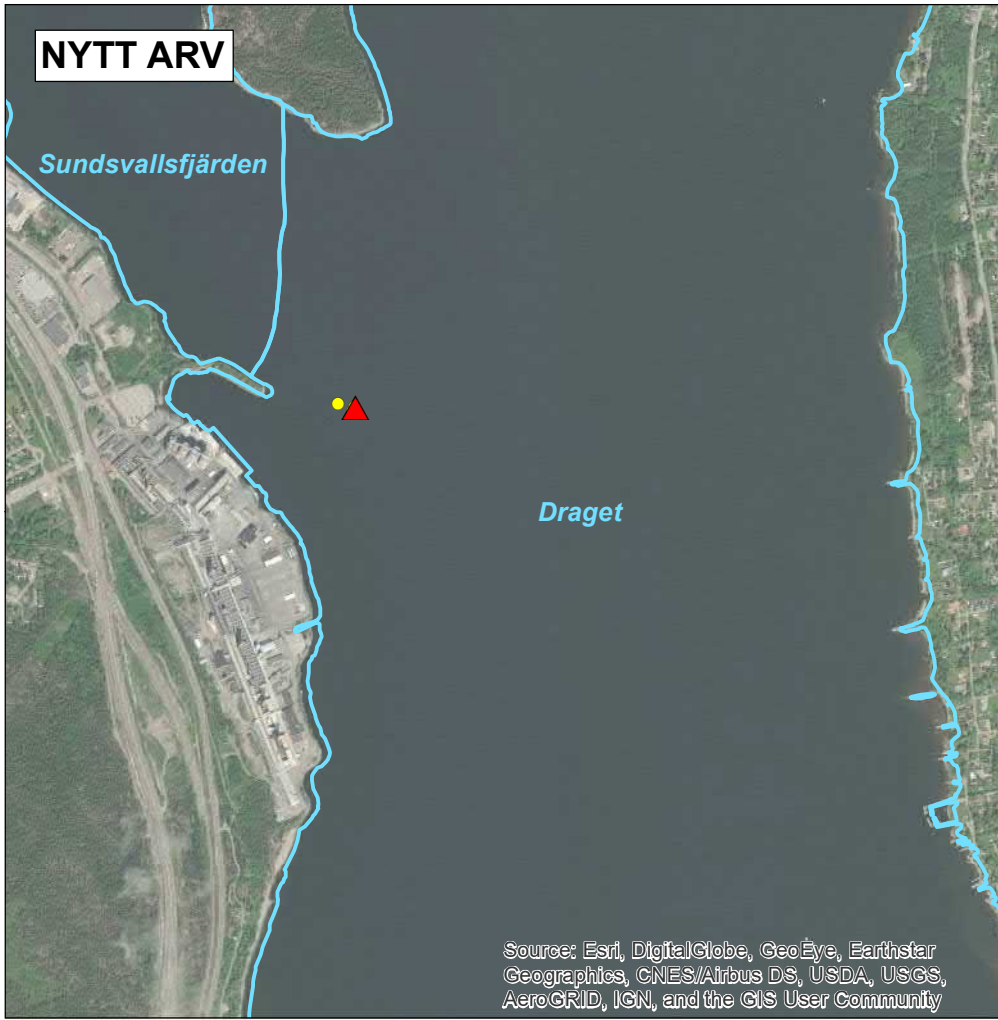


**BEFINTLIGA ARV MED KVÄVERENING (3B) SAMT MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (3B) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A) SAMT MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

*Etinylöstradiol (EE2) - vattenvolymer med beräknade halter över HVMFS 2019:25 (0,007 ng/l)*

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	799000	1497000	118000	0	1615000
Andel av berörd vattenförekomst	0.18%	4.23%	0.06%	0.00%	-

**Visualisering - Sommar, Yta**



Datum: 2020-06-26

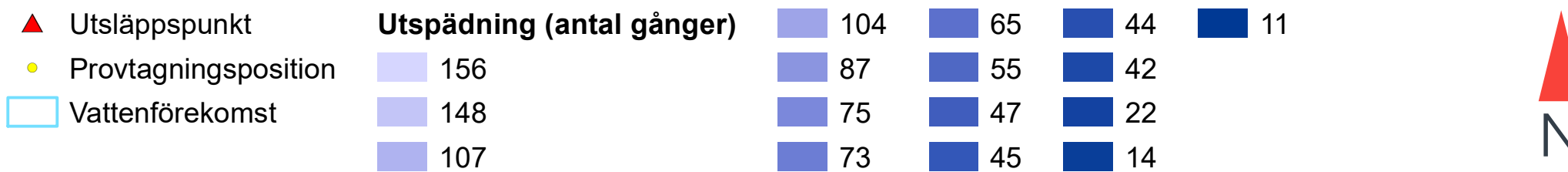
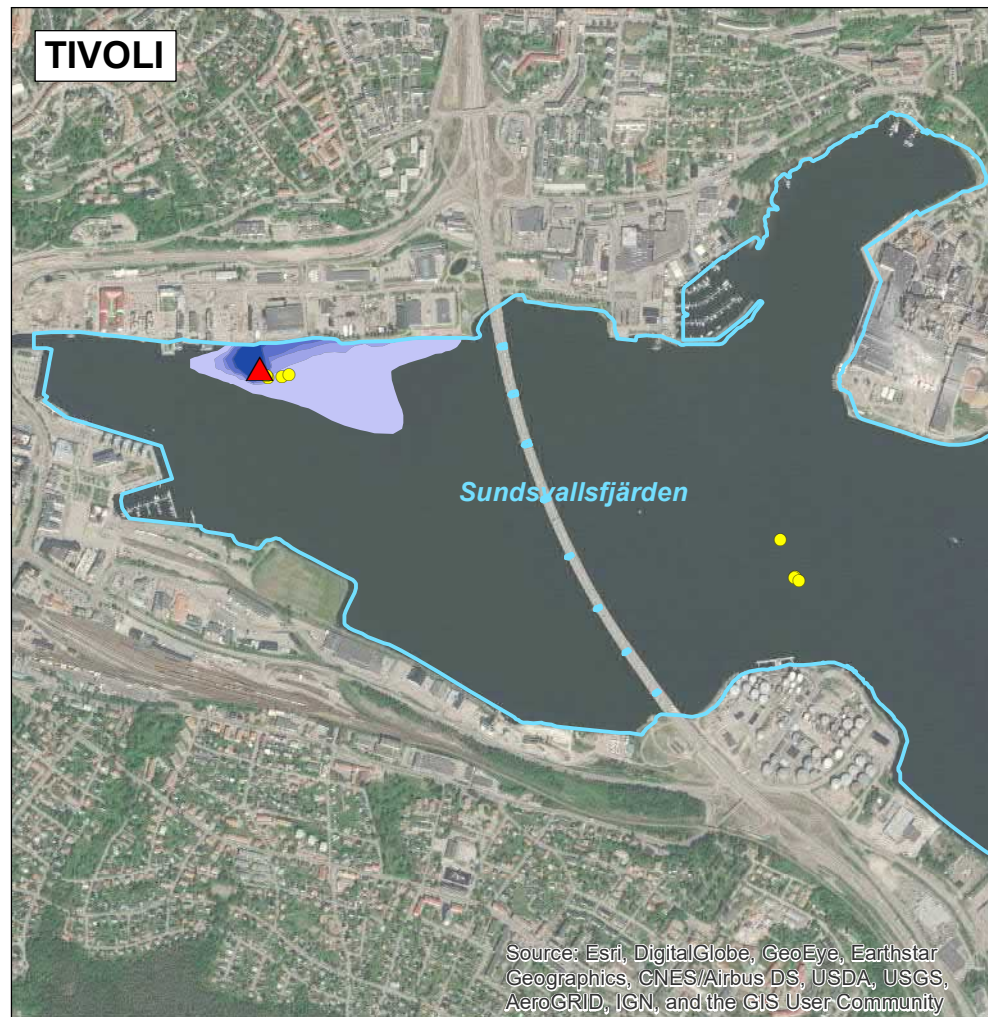
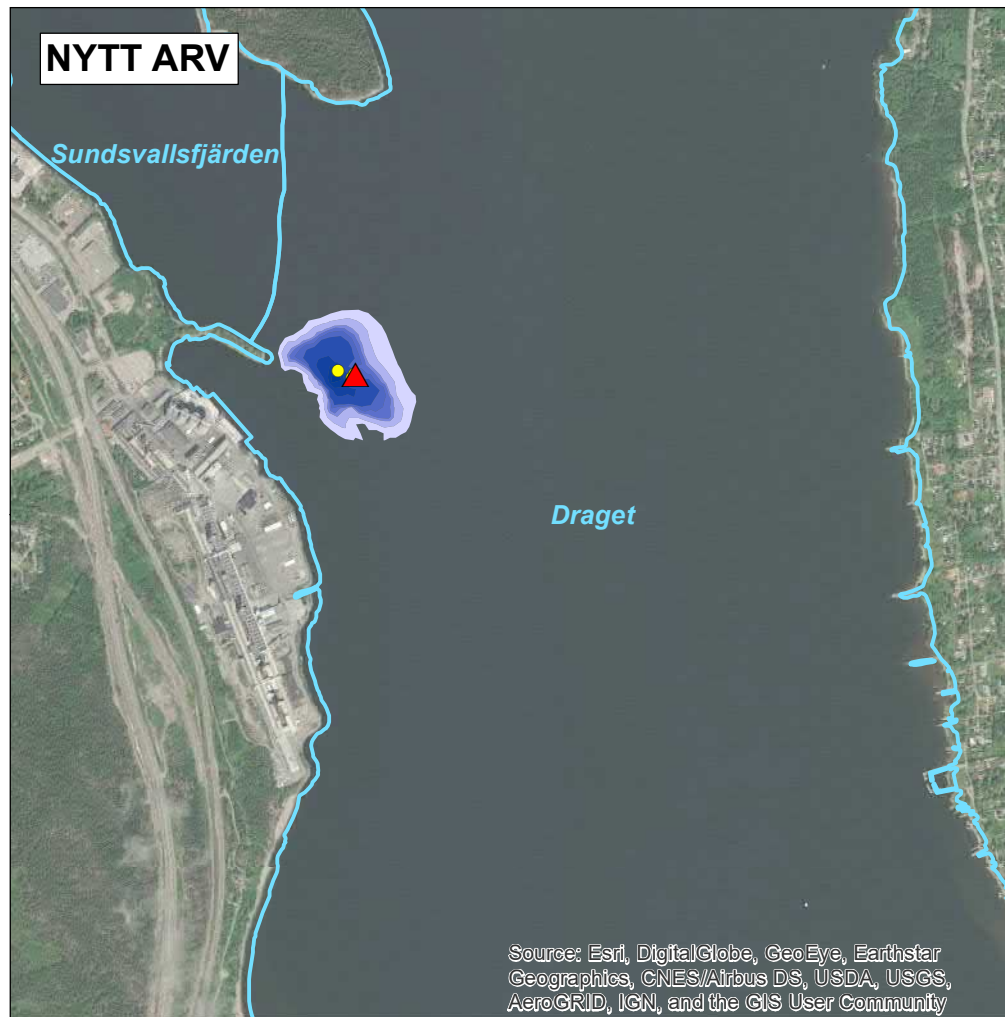


**BEFINTLIGA ARV MED KVÄVERENING (3B) SAMT MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (3B) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A) SAMT MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

*Etinylöstradiol (EE2) - vattenvolymer med beräknade halter över HVMFS 2019:25 (0,007 ng/l)*

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	799000	1497000	118000	0	1615000
Andel av berörd vattenförekomst	0.18%	4.23%	0.06%	0.00%	-

**Visualisering - Sommar, Botten**



Datum: 2020-06-26

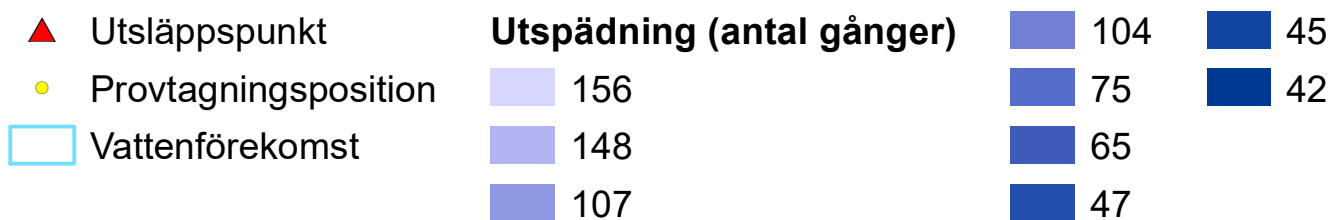
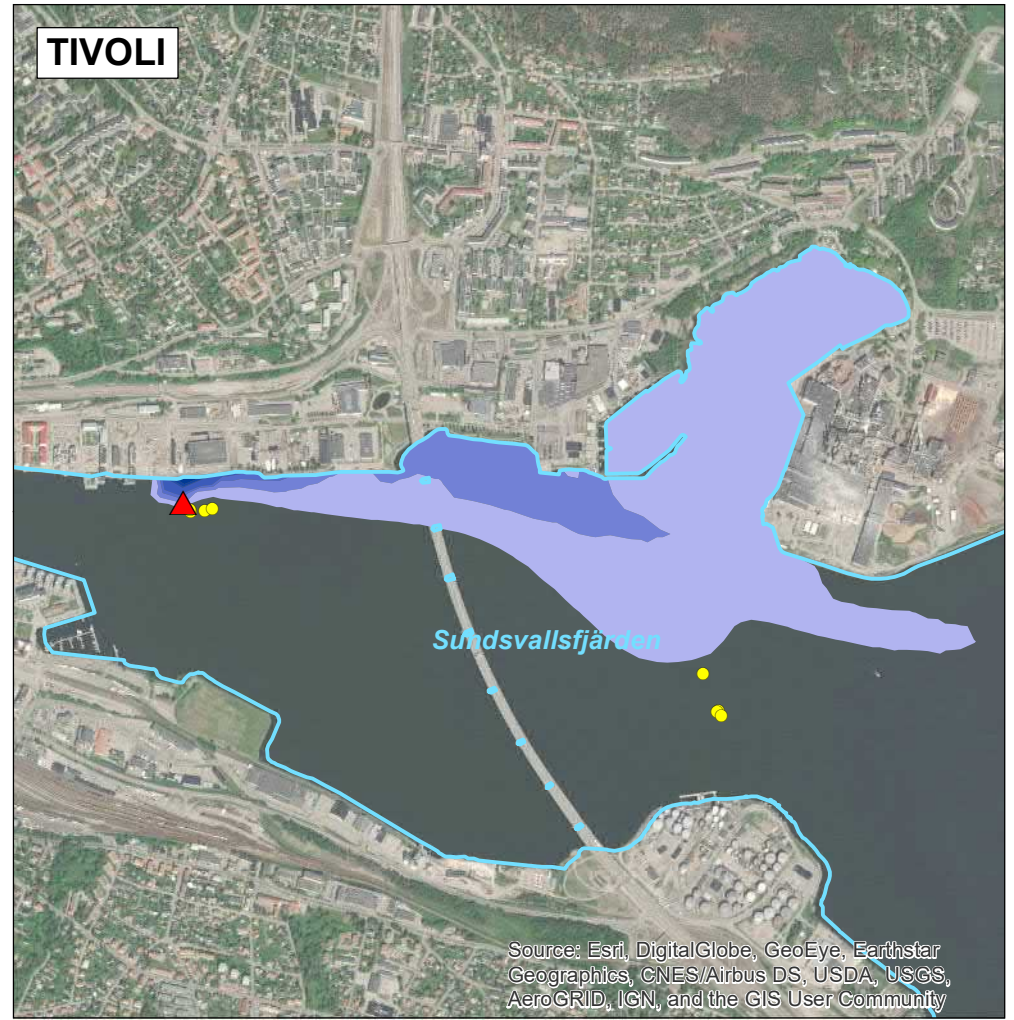
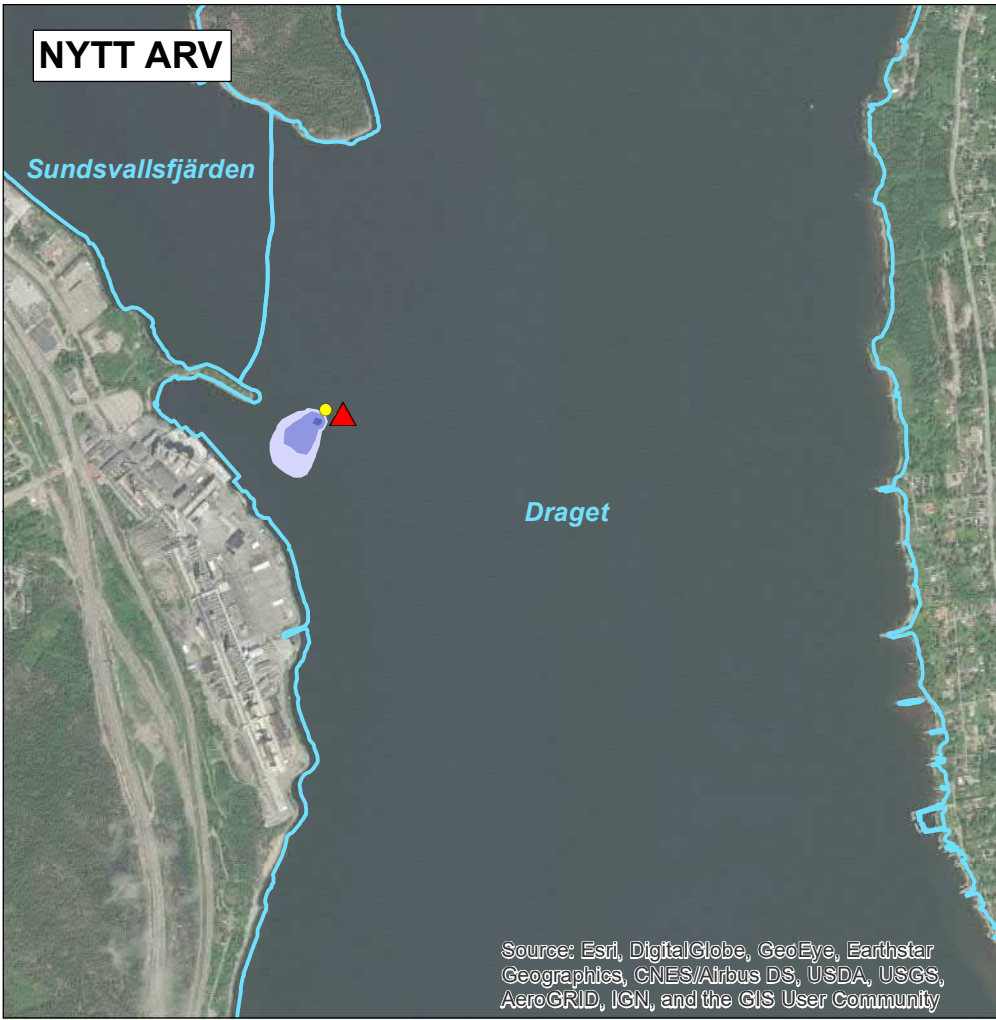


**BEFINTLIGA ARV MED KVÄVERENING (3B) SAMT MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (3B) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A) SAMT MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Etinylöstradiol (EE2) - vattenvolymer med beräknade halter över HVMFS 2019:25 (0,007 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	1055000	2542000	158000	0	2700000
Andel av berörd vattenförekomst	0.23%	7.18%	0.07%	0.00%	-

**Visualisering - Vinter, Yta**



Datum: 2020-06-26

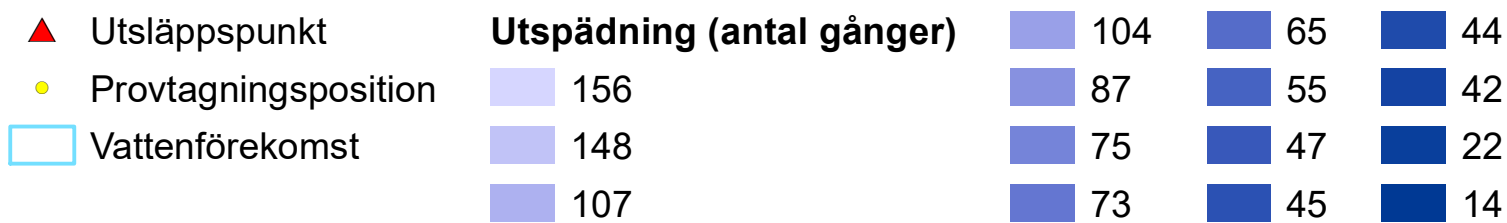
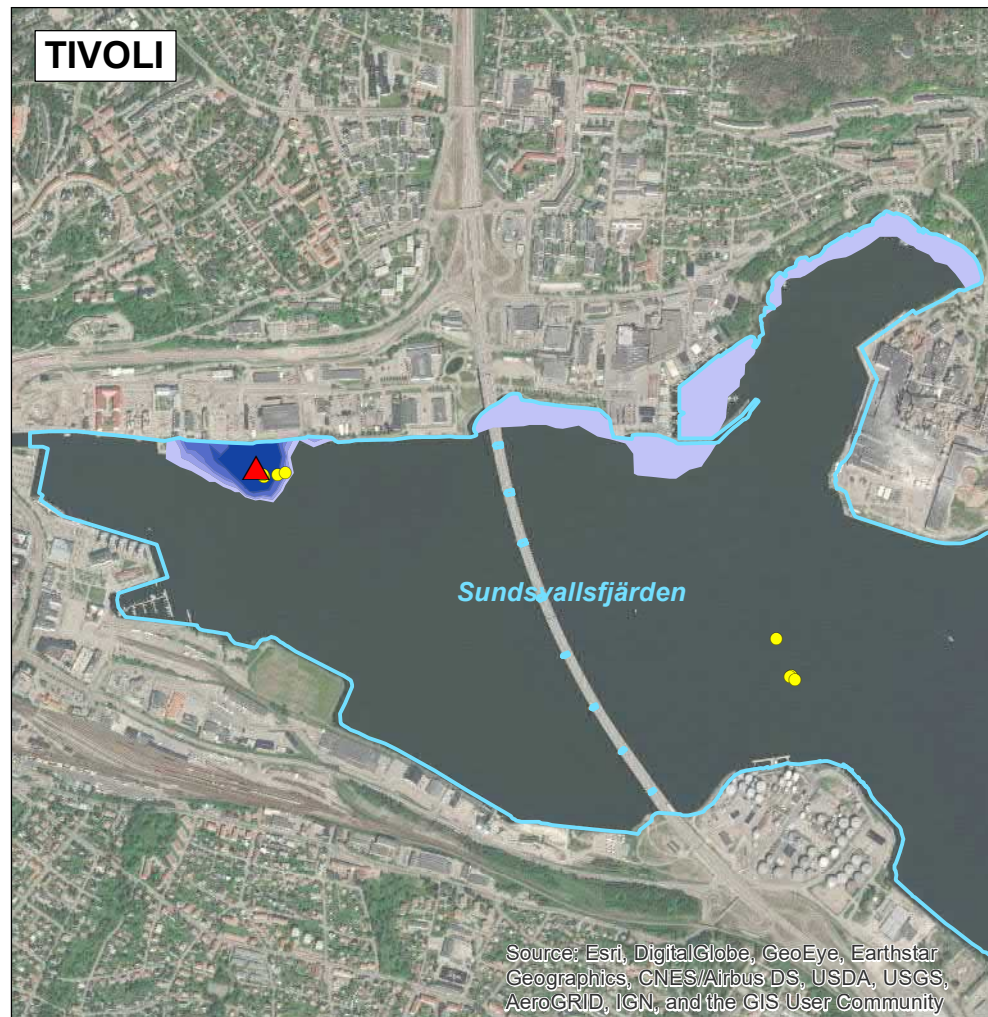
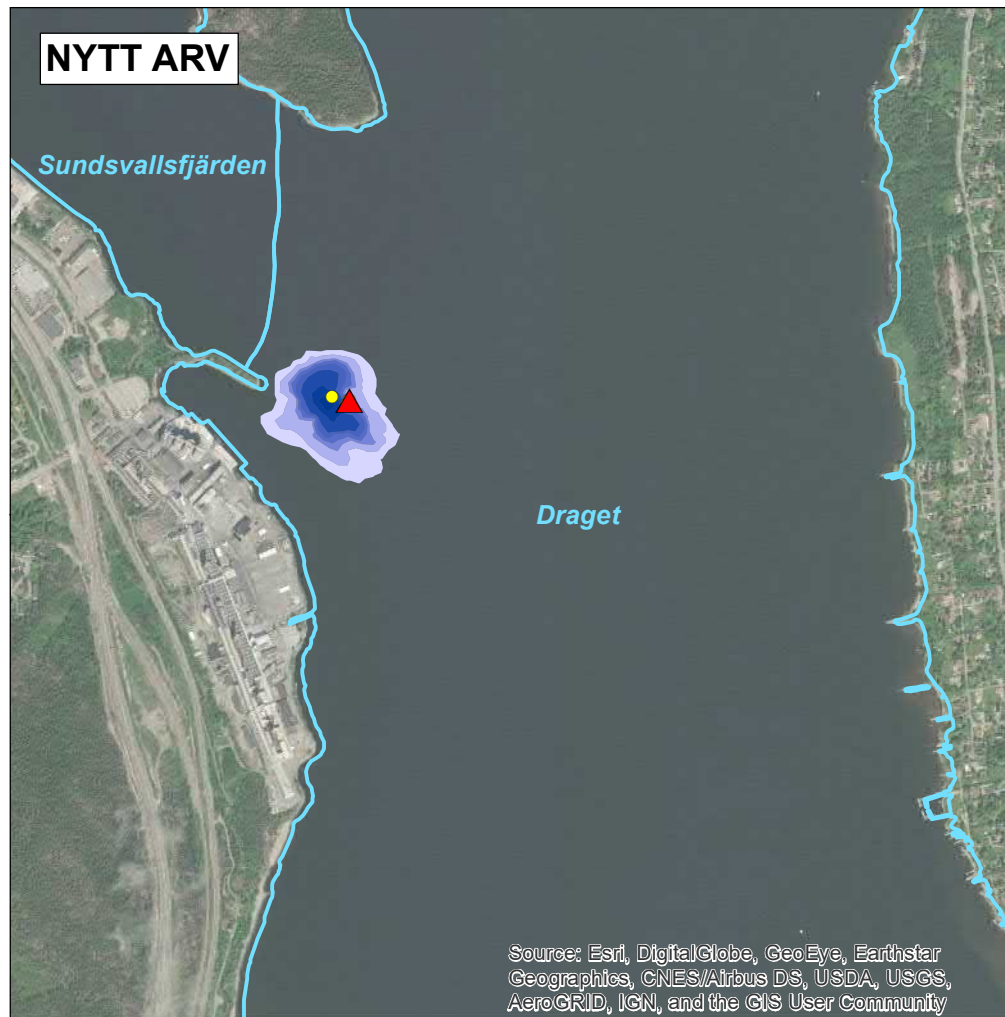


**BEFINTLIGA ARV MED KVÄVERENING (3B) SAMT MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (3B) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A) SAMT MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Etinylöstradiol (EE2) - vattenvolymer med beräknade halter över HVMFS 2019:25 (0,007 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	1055000	2542000	158000	0	2700000
Andel av berörd vattenförekomst	0.23%	7.18%	0.07%	0.00%	-

**Visualisering - Vinter, Botten**



Datum: 2020-06-26

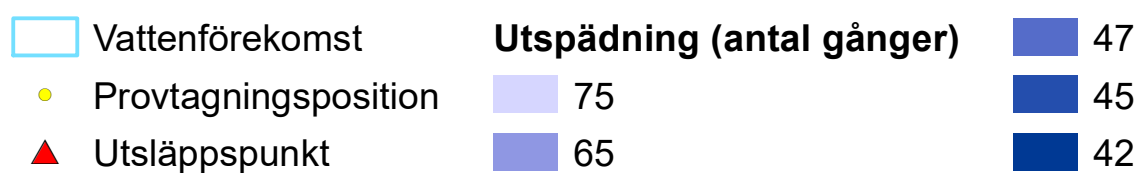
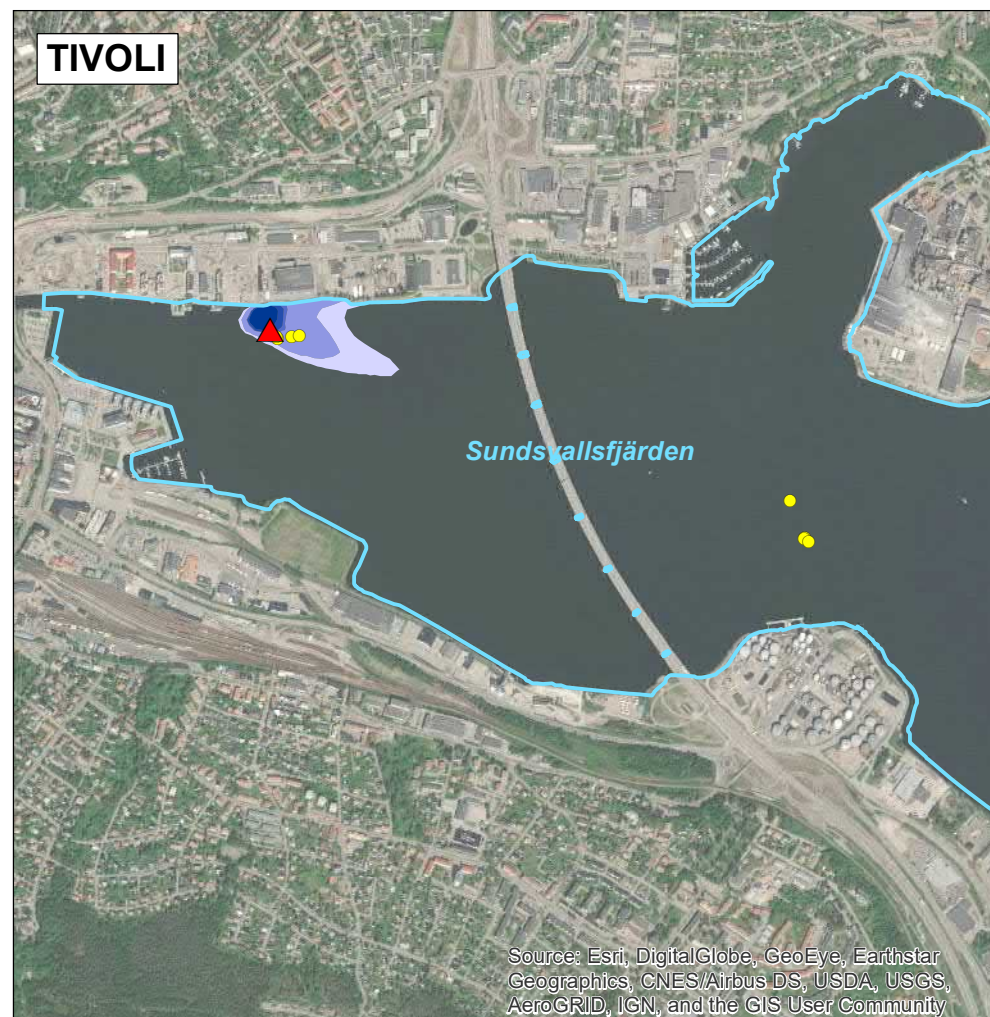
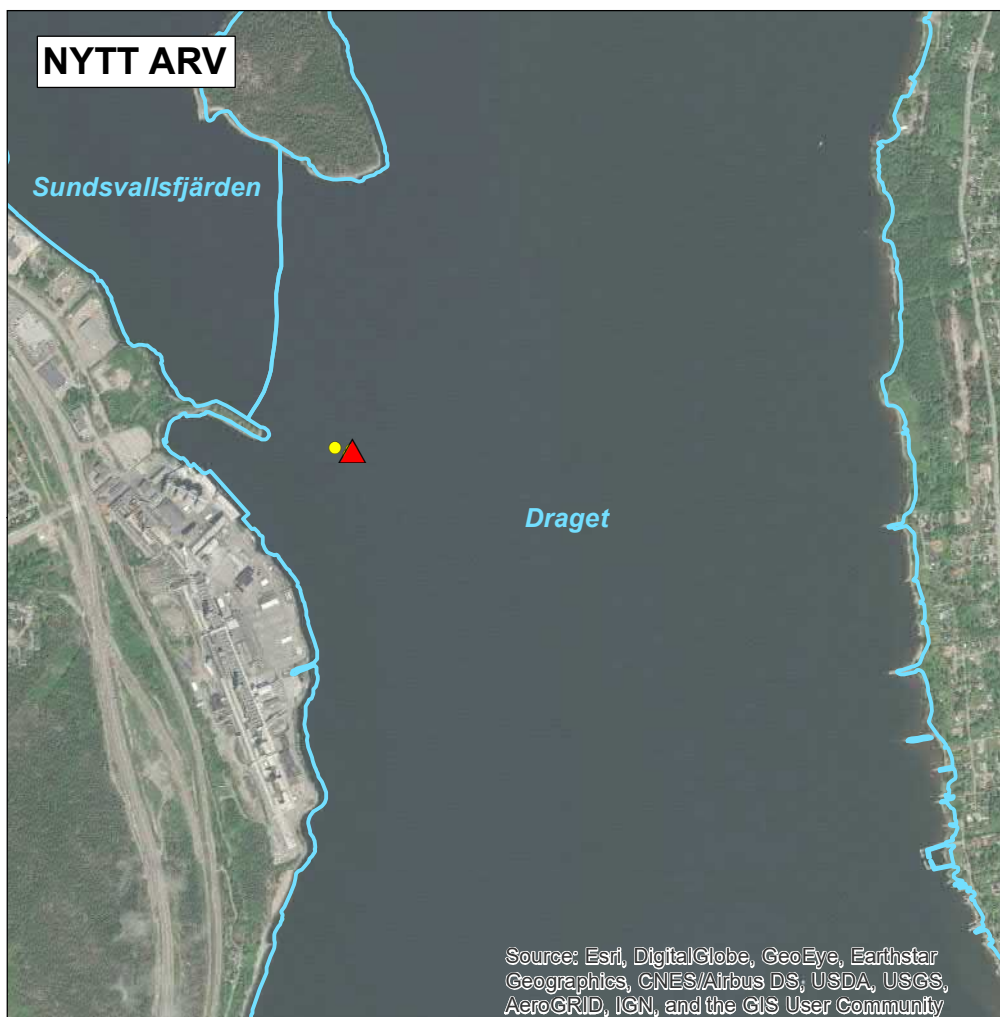


# BEFINTLIGA ARV UTAN KVÄVERENING (3A) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A) SAMT MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)

## Östron (E1) - vattenvolymer med beräknade halter över PNEC (IVL) (0,08 ng/l)

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	3000	346000	909000	0	1255000
Andel av berörd vattenförekomst	0.00%	0.98%	0.43%	0.00%	-

### Visualisering - Sommar, Yta



Datum: 2020-06-26



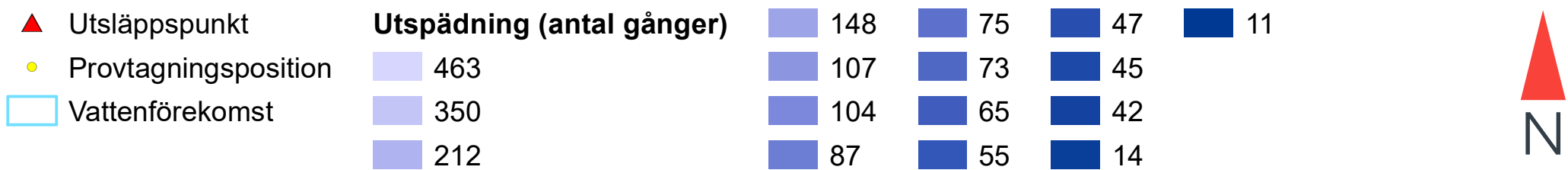
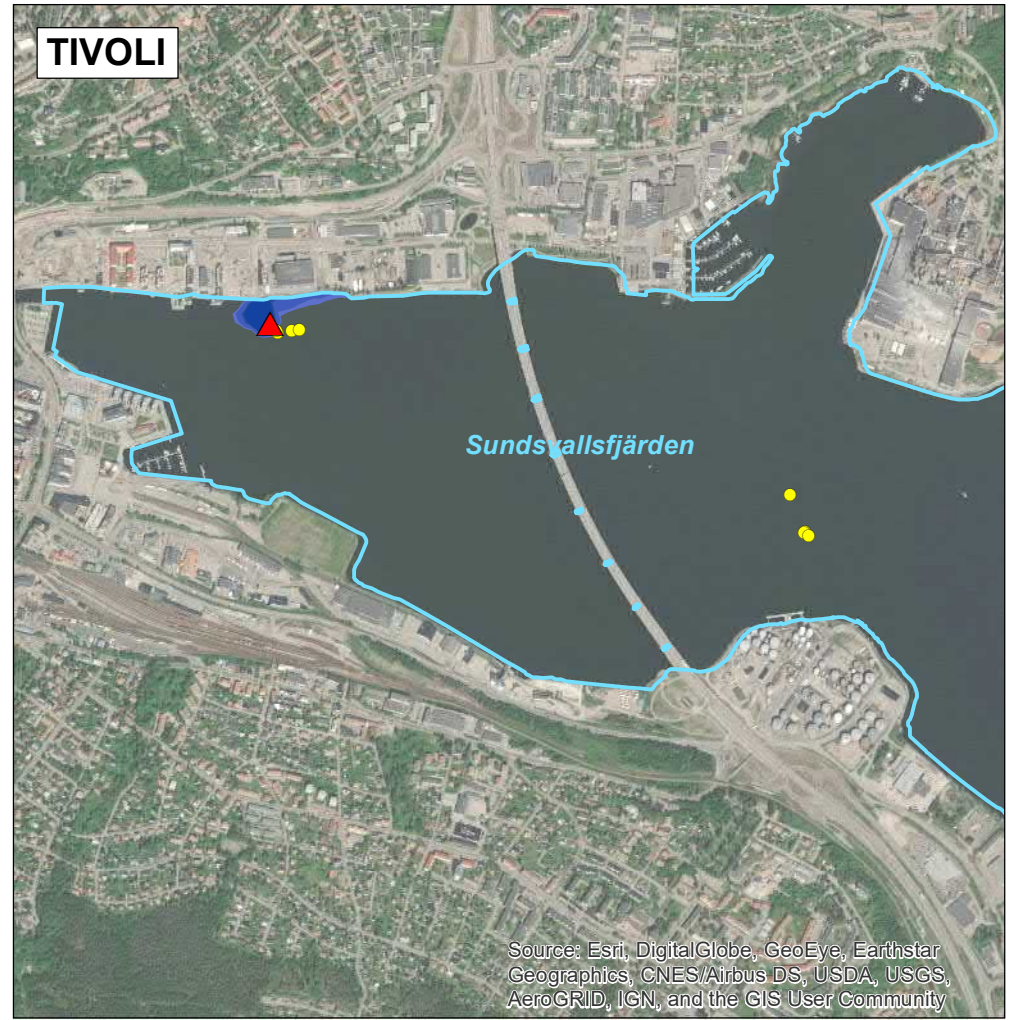
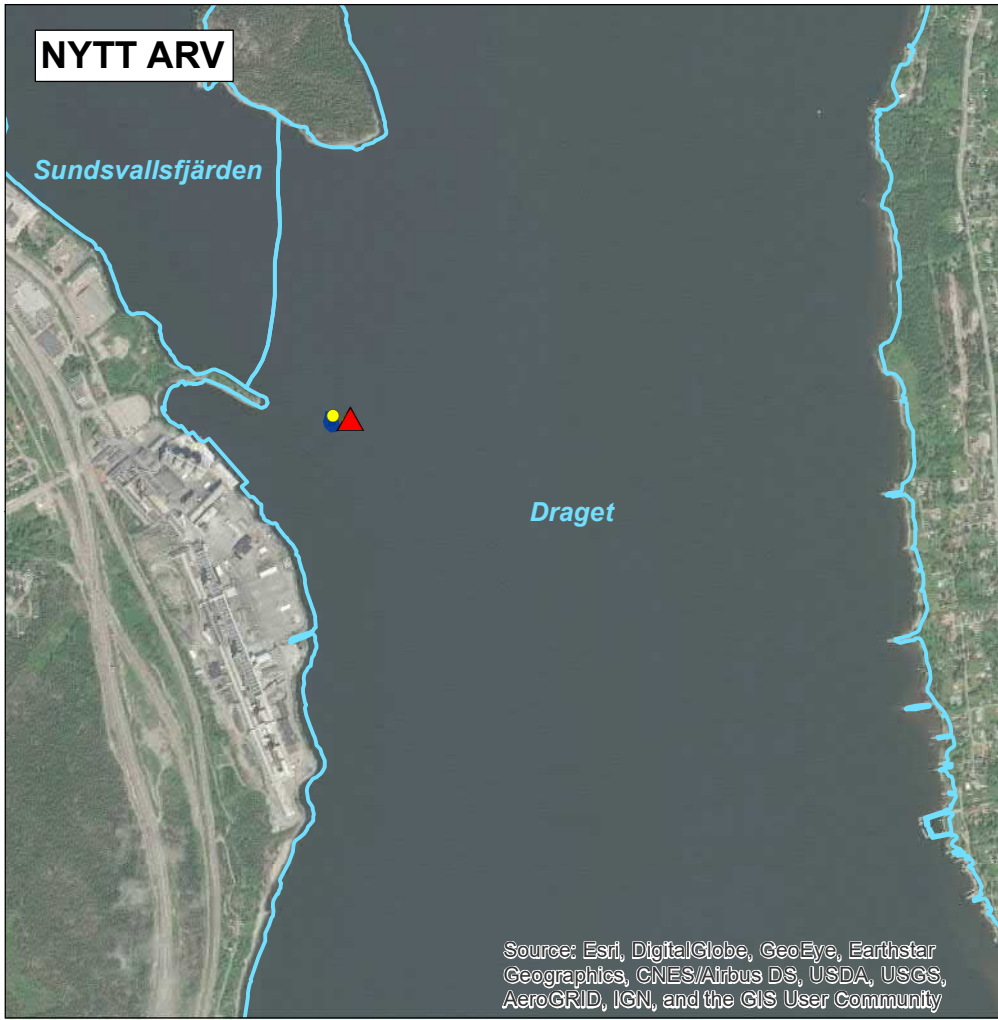


**BEFINTLIGA ARV UTAN KVÄVERENING (3A) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A) SAMT MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Östron (E1) - vattenvolymer med beräknade halter över PNEC (IVL) (0,08 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	3000	346000	909000	0	1255000
Andel av berörd vattenförekomst	0.00%	0.98%	0.43%	0.00%	-

**Visualisering - Sommar, Botten**



Datum: 2020-06-26

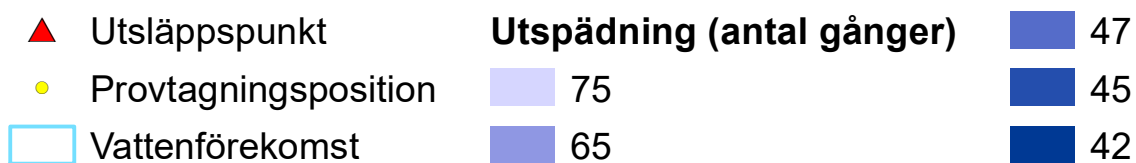
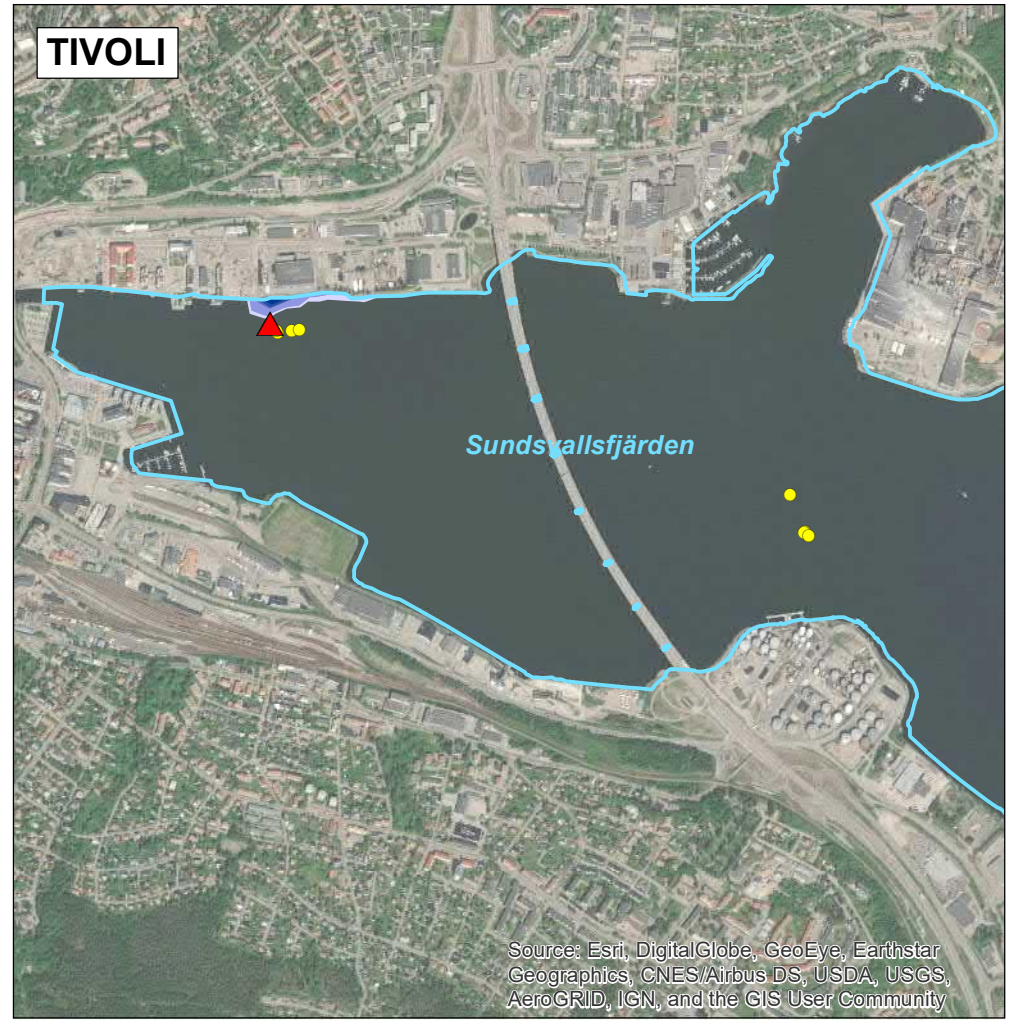
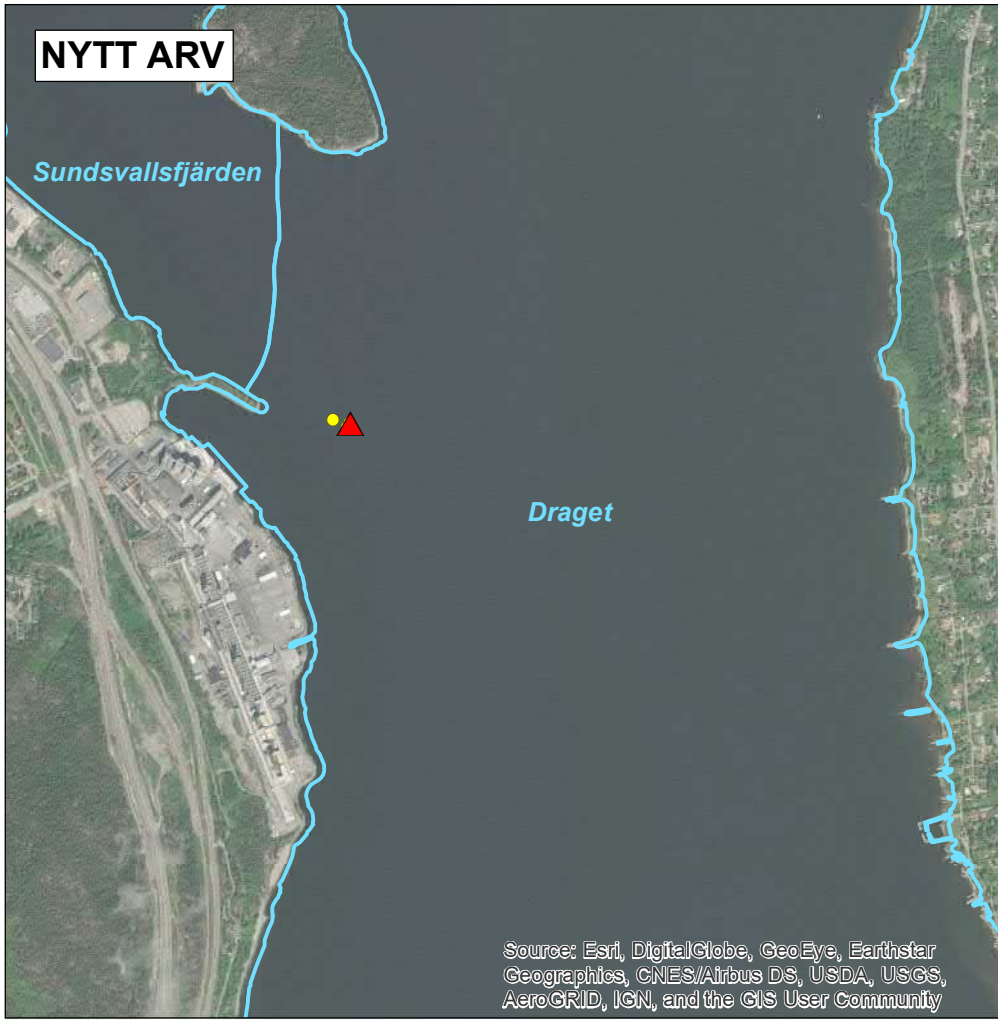


**BEFINTLIGA ARV UTAN KVÄVERENING (3A) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A) SAMT MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Östron (E1) - vattenvolymer med beräknade halter över PNEC (IVL) (0,08 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	0	71000	2265000	0	2336000
Andel av berörd vattenförekomst	0.00%	0.20%	1.07%	0.00%	-

**Visualisering - Vinter, Yta**



Datum: 2020-06-26

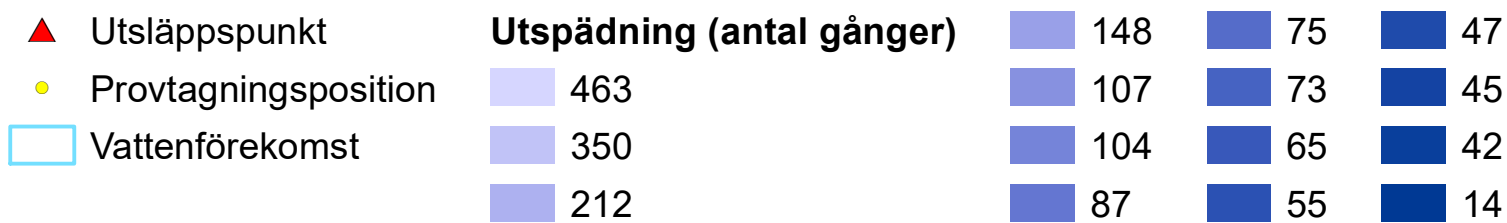
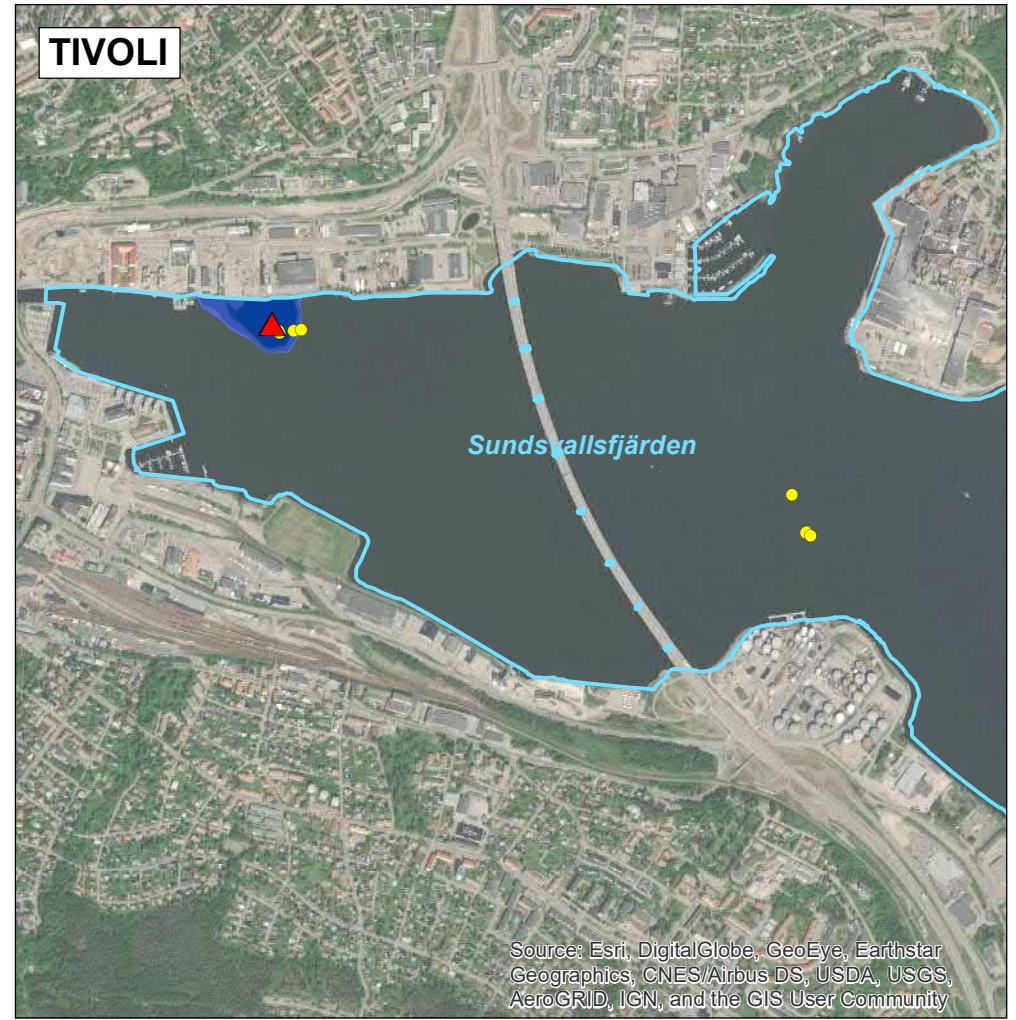
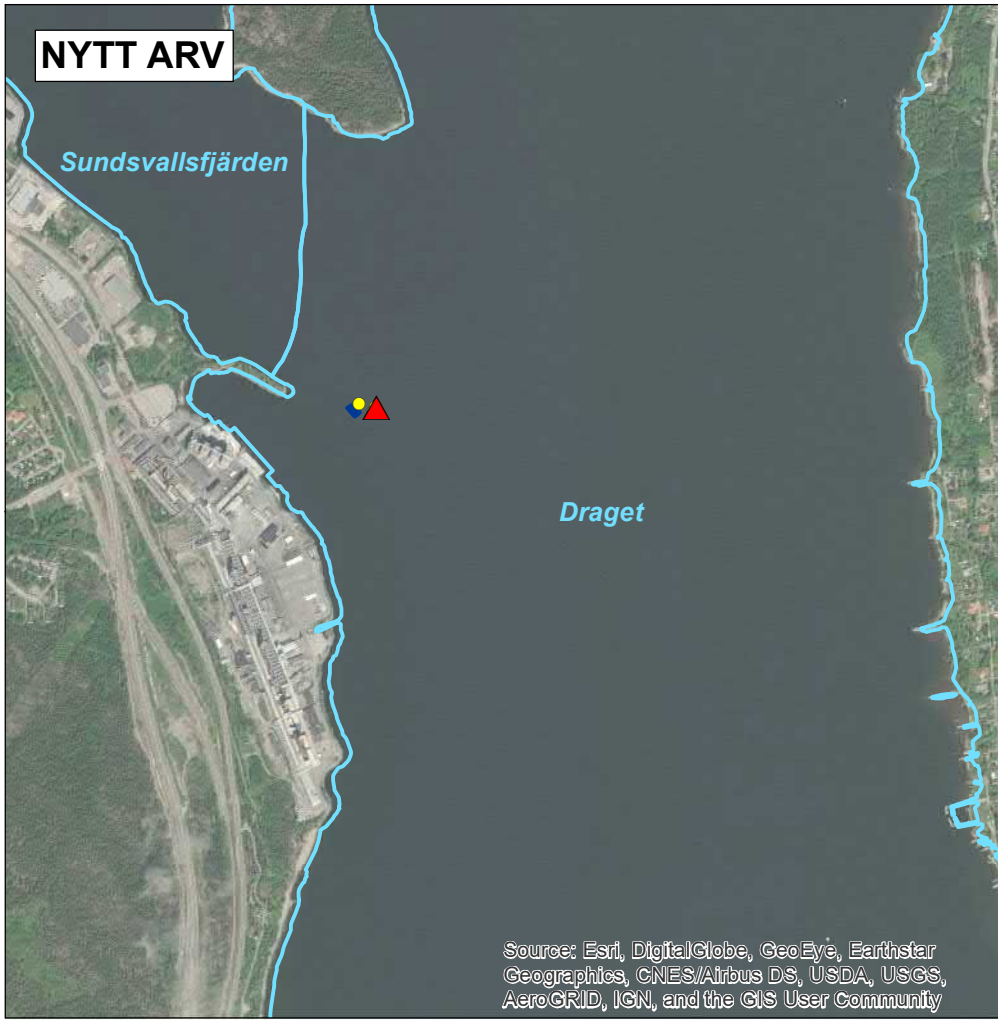


**BEFINTLIGA ARV UTAN KVÄVERENING (3A) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A) SAMT MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Östron (E1) - vattenvolymer med beräknade halter över PNEC (IVL) (0,08 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	0	71000	2265000	0	2336000
Andel av berörd vattenförekomst	0.00%	0.20%	1.07%	0.00%	-

**Visualisering - Vinter, Botten**



Datum: 2020-06-26

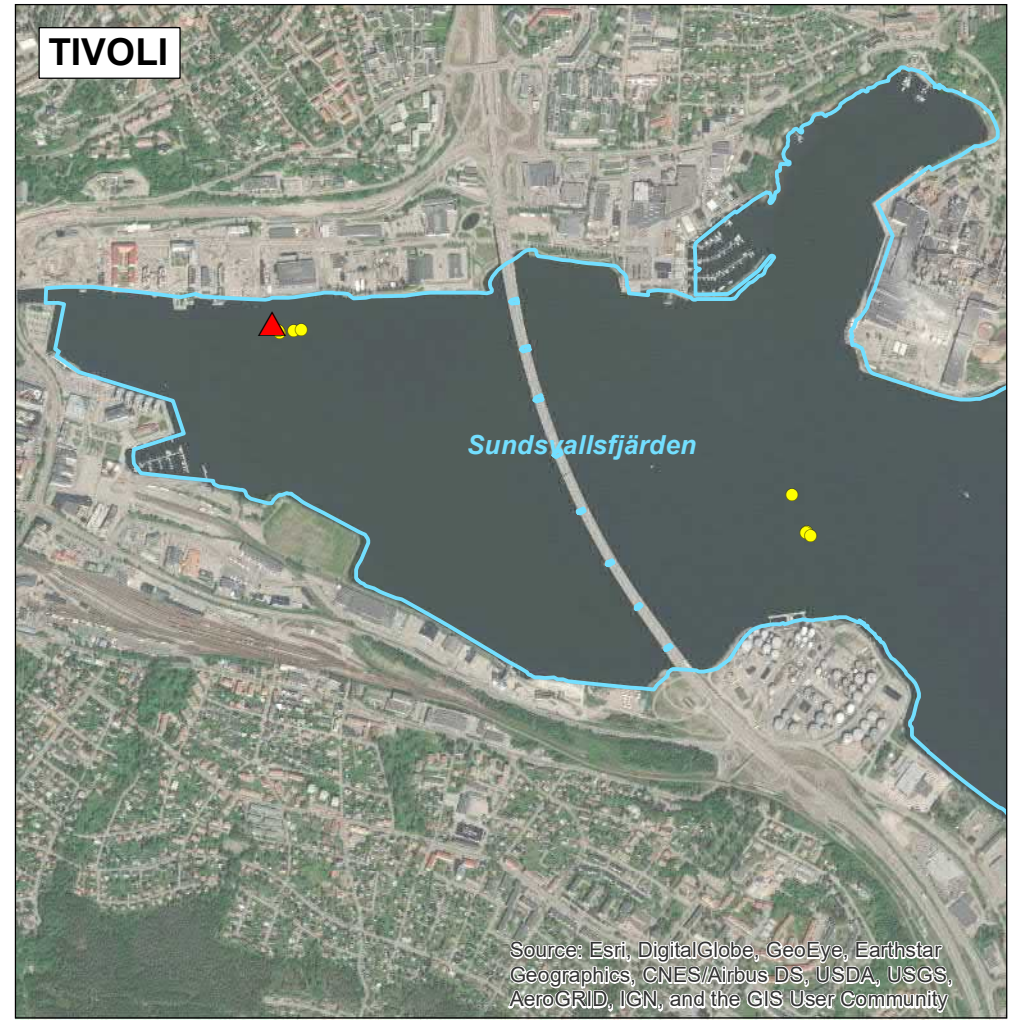
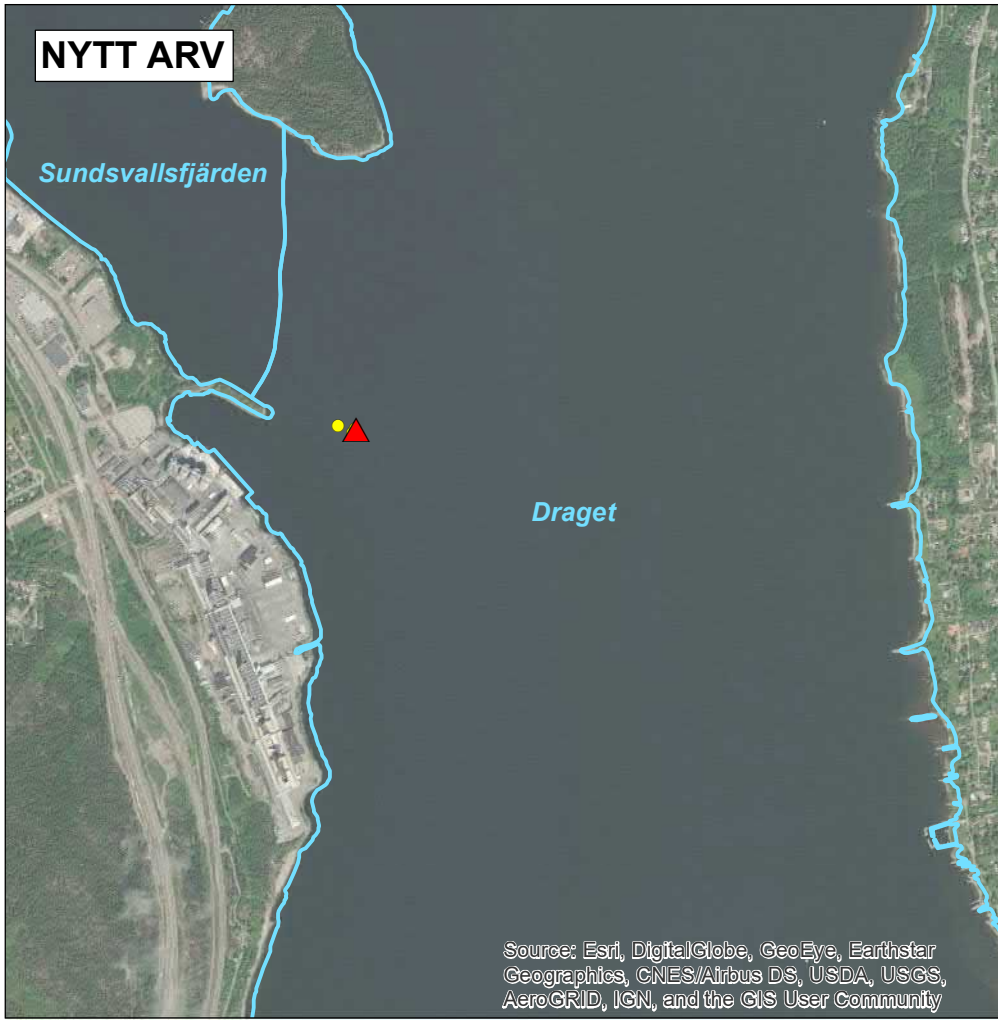


**BEFINTLIGA ARV MED KVÄVERENING (3B) SAMT MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (3C) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A) SAMT MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Östron (E1) - vattenvolymer med beräknade halter över PNEC (IVL) (0,08 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	3000	0	0	0	0
Andel av berörd vattenförekomst	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-

**Visualisering - Sommar, Yta**



- ▲ Utsläppspunkt
- Provtagningsposition
- Vattenförekomst



Datum: 2020-06-26

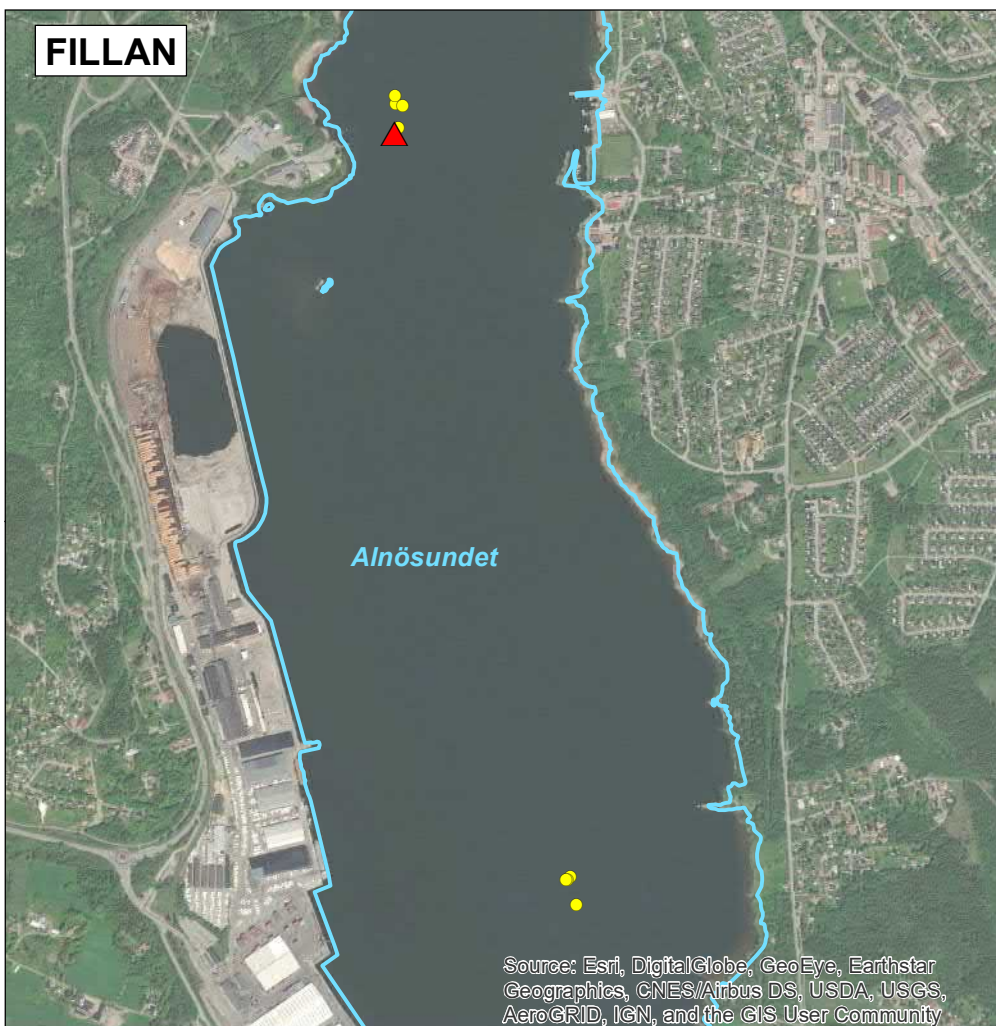
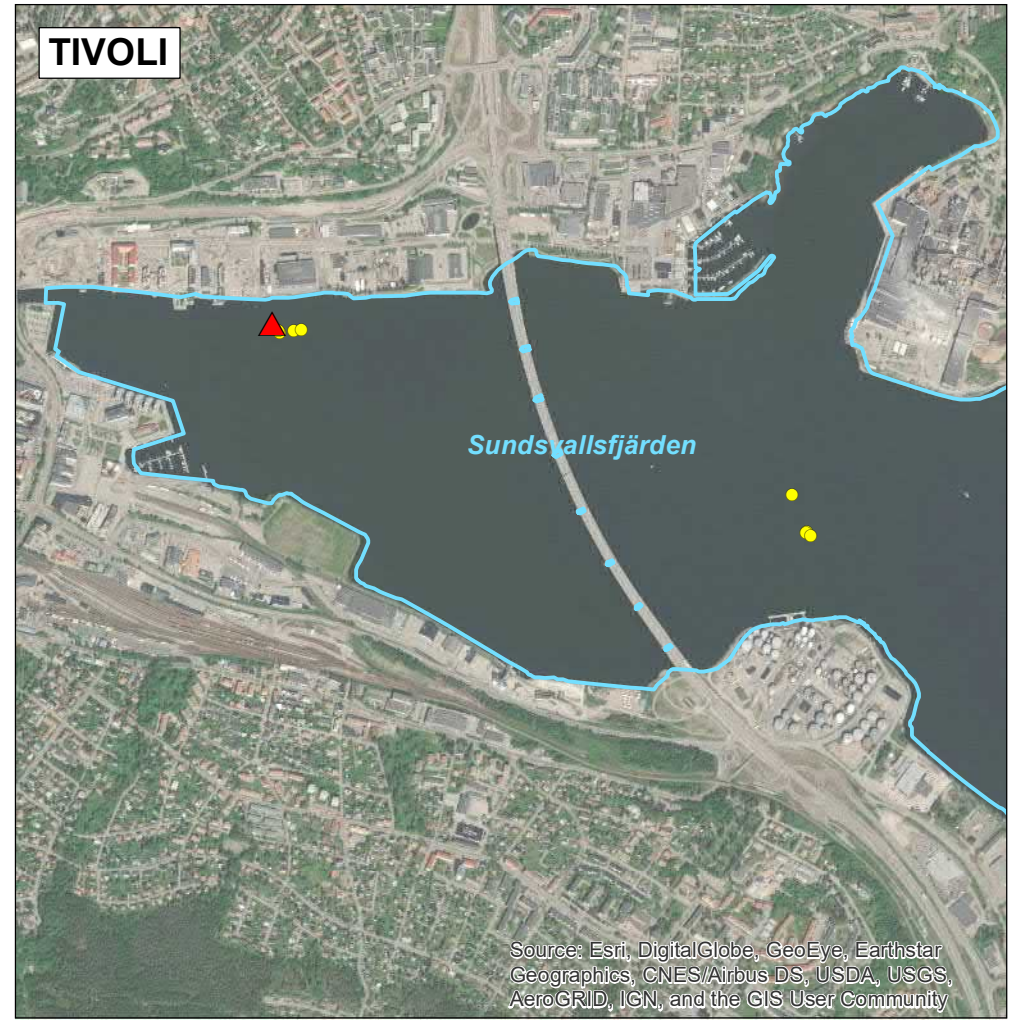
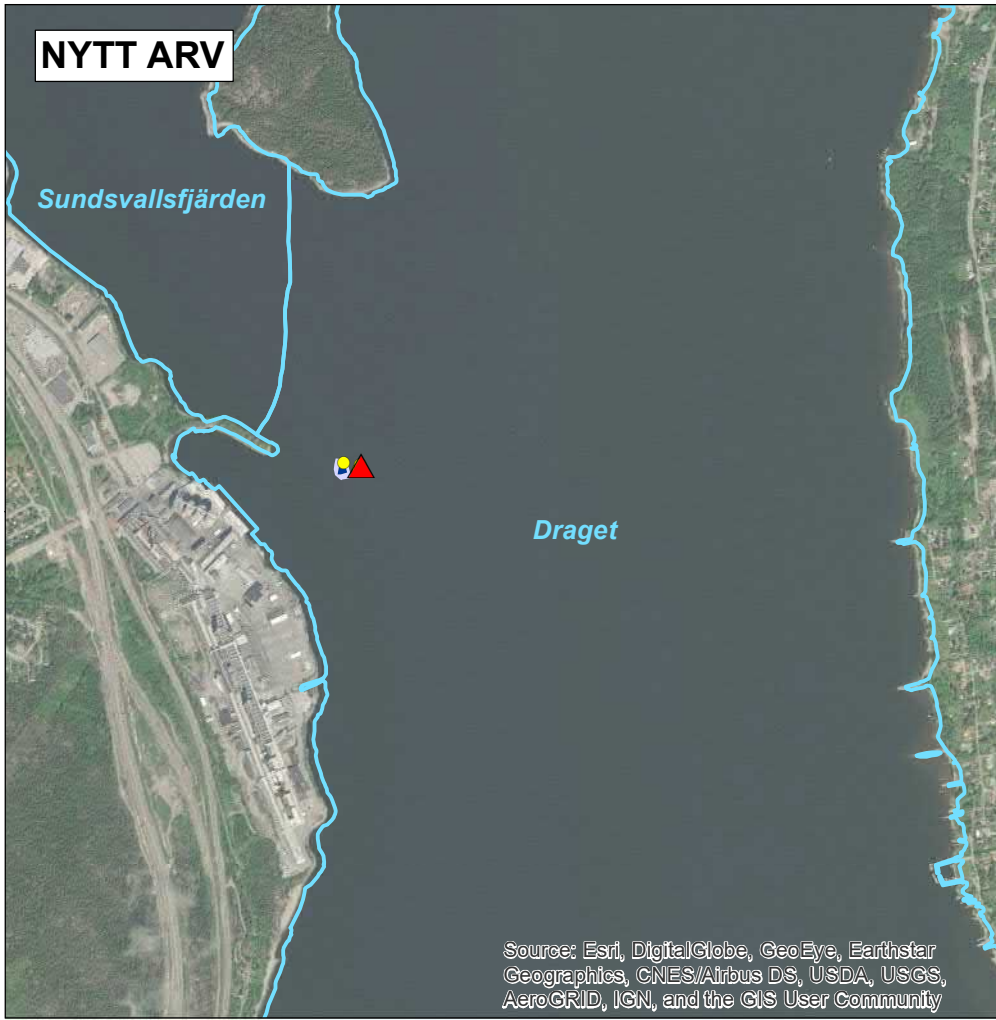


**BEFINTLIGA ARV MED KVÄVERENING (3B) SAMT MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (3C) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A) SAMT MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Östron (E1) - vattenvolymer med beräknade halter över PNEC (IVL) (0,08 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	3000	0	0	0	0
Andel av berörd vattenförekomst	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-

**Visualisering - Sommar, Botten**



- ▲ Utsläppspunkt
- Provtagningsposition
- Vattenförekomst
- Utspädning (antal gånger)**
- 14
- 11



Datum: 2020-06-26

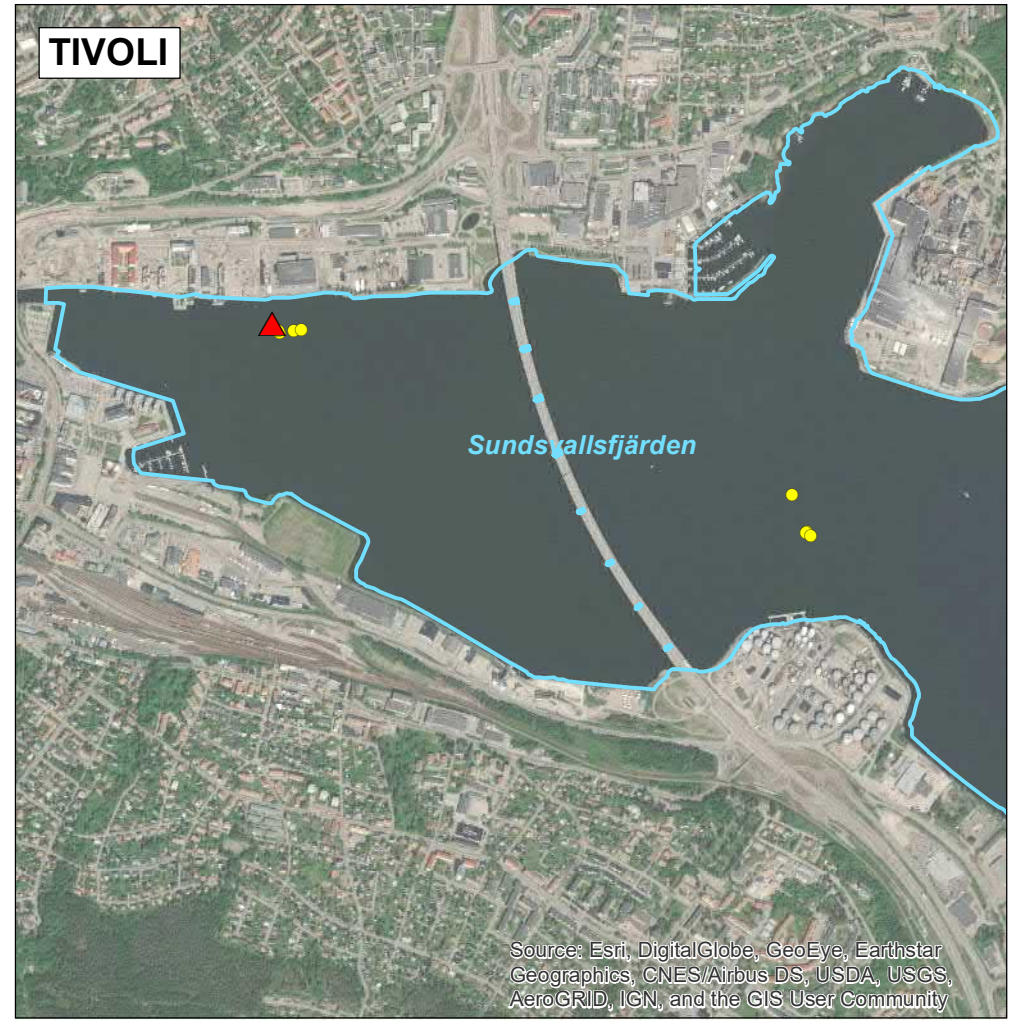
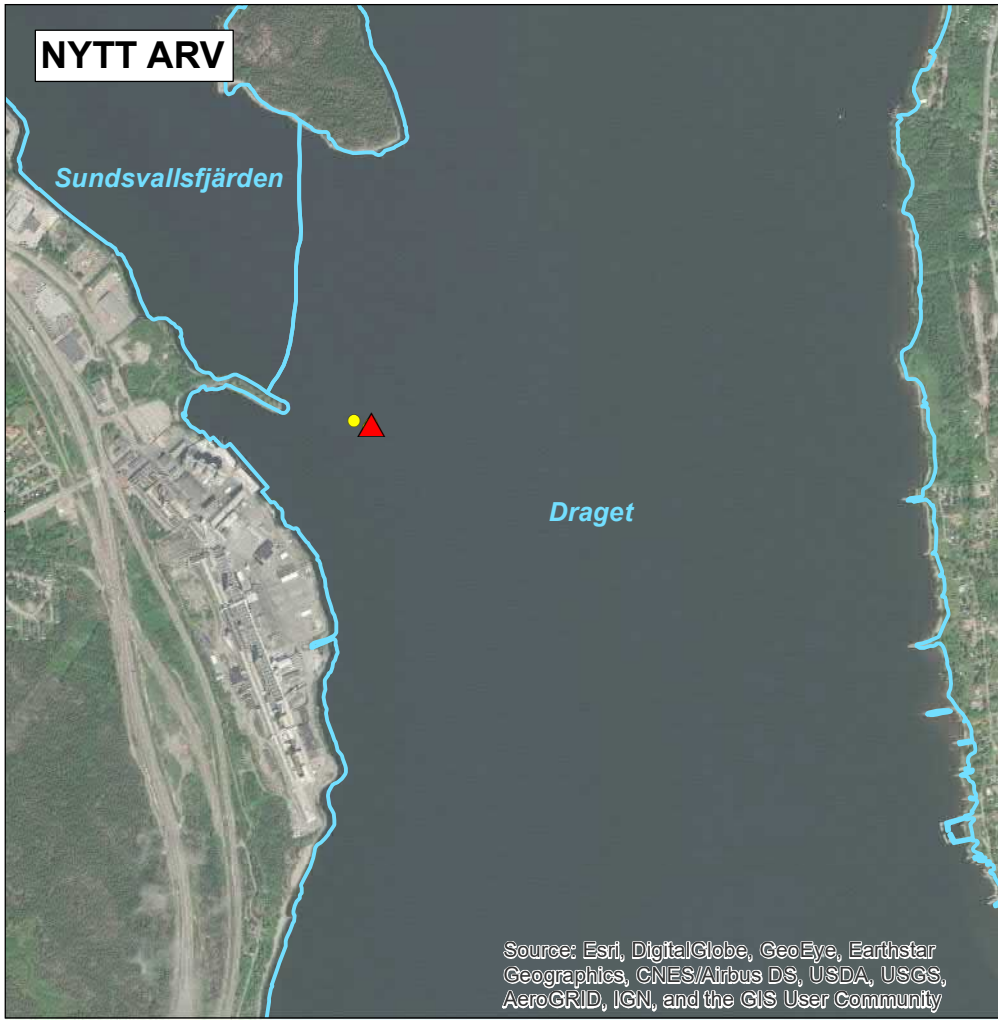


**BEFINTLIGA ARV MED KVÄVERENING (3B) SAMT MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (3C) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A) SAMT MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Östron (E1) - vattenvolymer med beräknade halter över PNEC (IVL) (0,08 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	0	0	0	0	0
Andel av berörd vattenförekomst	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-

**Visualisering - Vinter, Yta**



- ▲ Utsläppspunkt
- Provtagningsposition
- Vattenförekomst



Datum: 2020-06-26

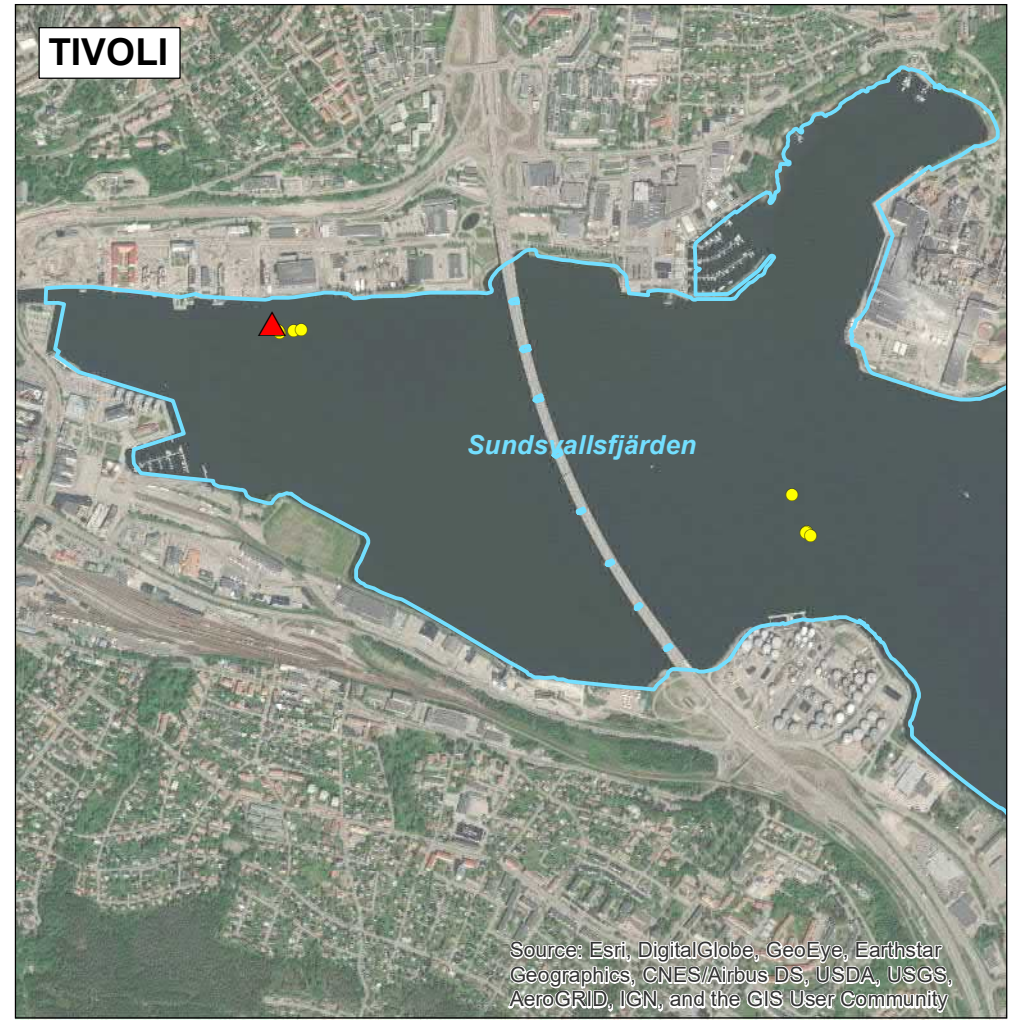
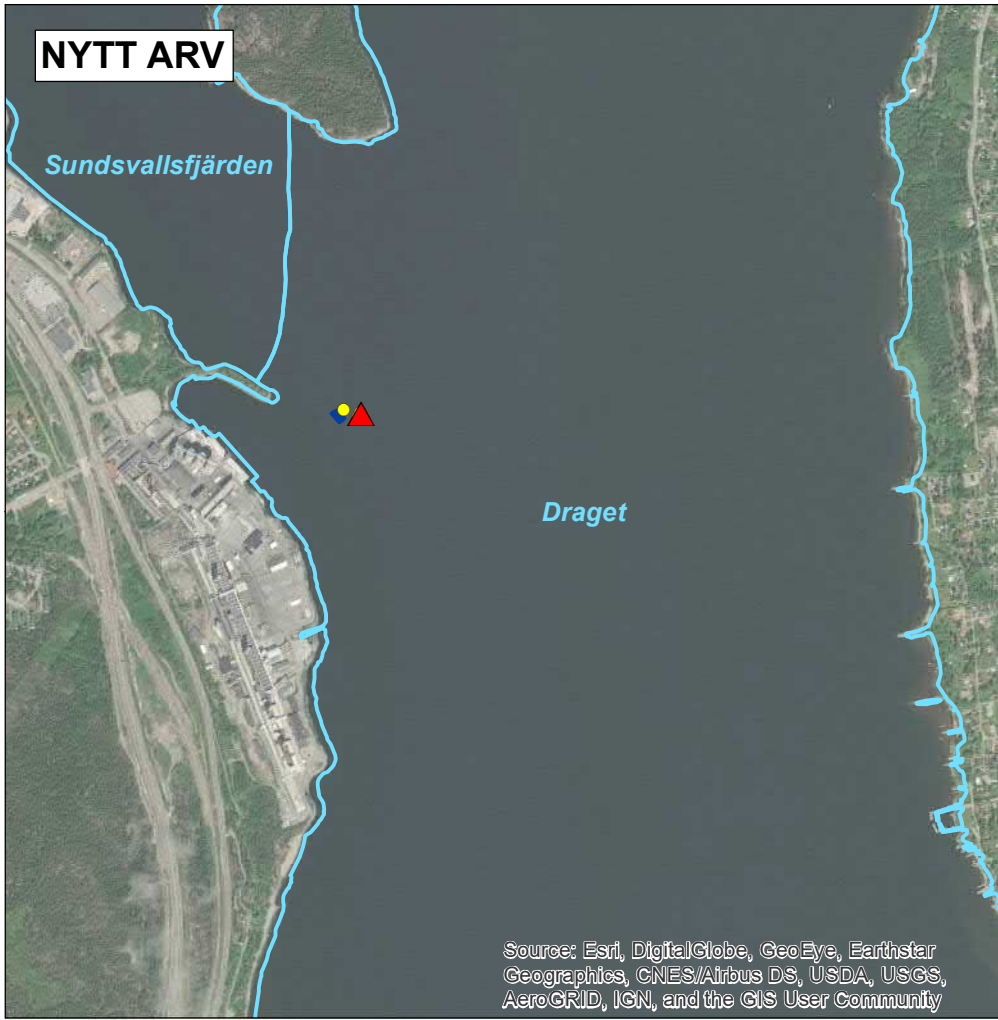


**BEFINTLIGA ARV MED KVÄVERENING (3B) SAMT MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (3C) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A) SAMT MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Östron (E1) - vattenvolymer med beräknade halter över PNEC (IVL) (0,08 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	0	0	0	0	0
Andel av berörd vattenförekomst	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-

**Visualisering - Vinter, Botten**



- ▲ Utsläppspunkt
- Provtagningsposition
- Vattenförekomst
- Utspädning (antal gånger)**
- 14



Datum: 2020-06-26

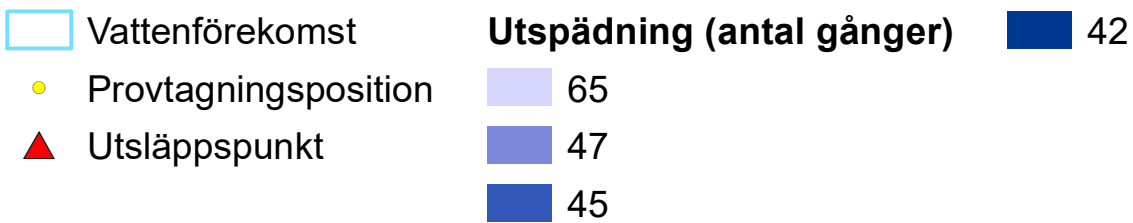
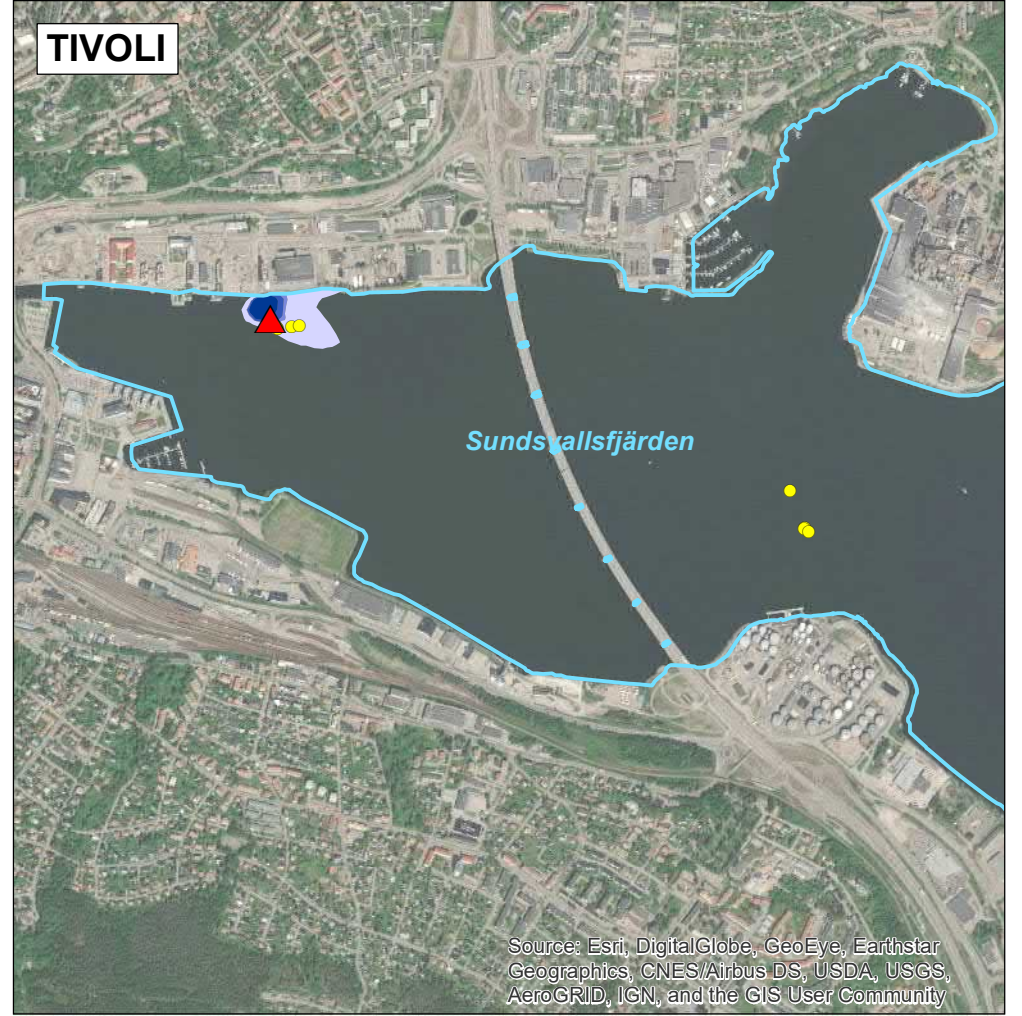
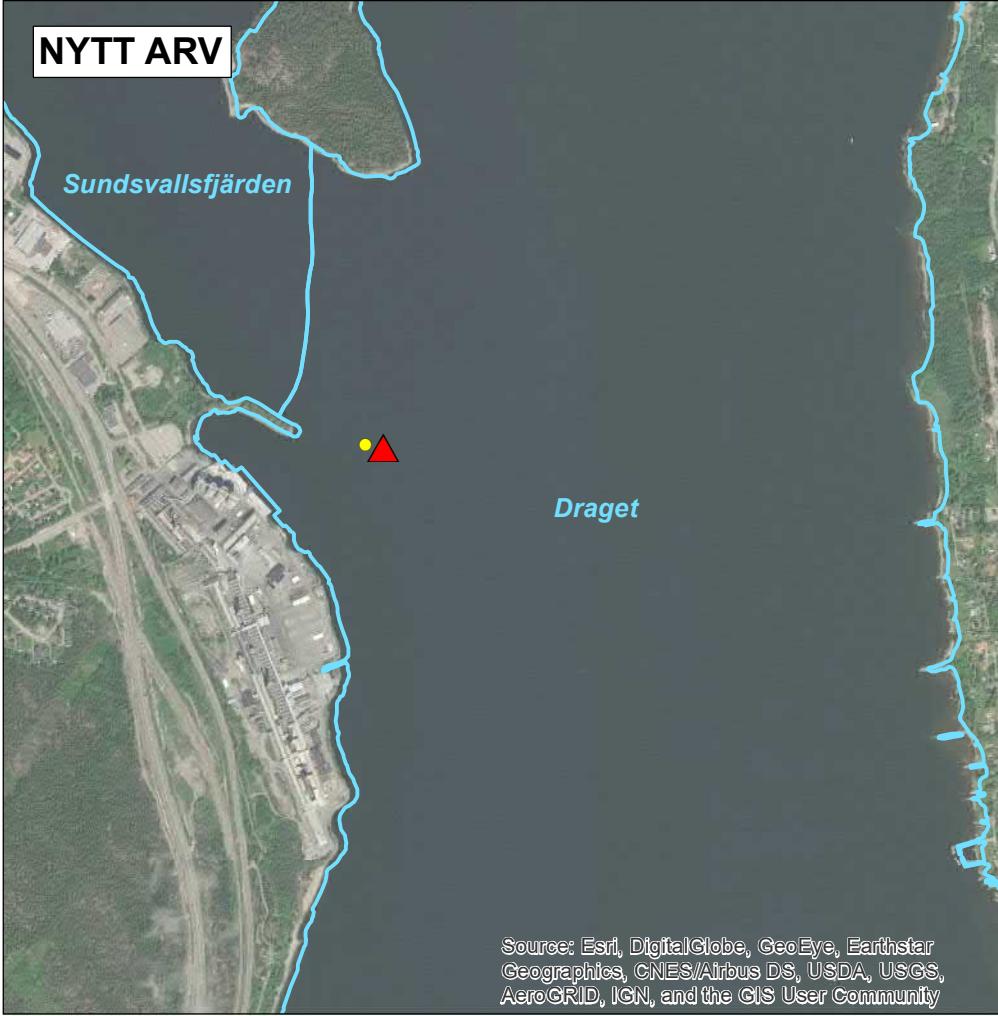


**BEFINTLIGA ARV UTAN KVÄVERENING (3A) OCH MED KVÄVERENING (3B) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A)**

**Diclofenac - vattenvolymer med beräknade halter över HVMFS 2019:25 (10ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	115000	216000	6000	0	222000
Andel av berörd vattenförekomst	0.03%	0.61%	0.00%	0.00%	-

**Visualisering - Sommar, Yta**



Datum: 2020-06-23



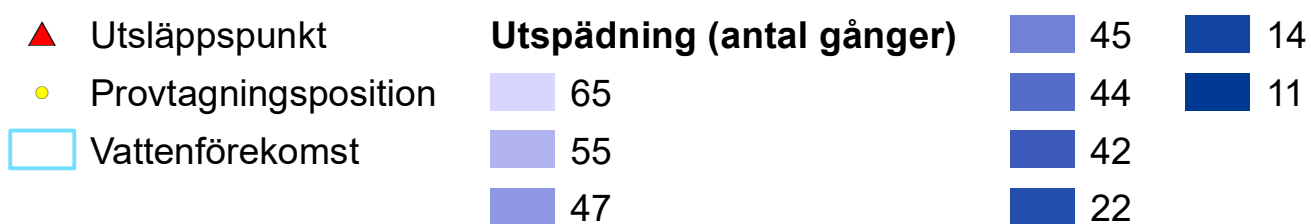
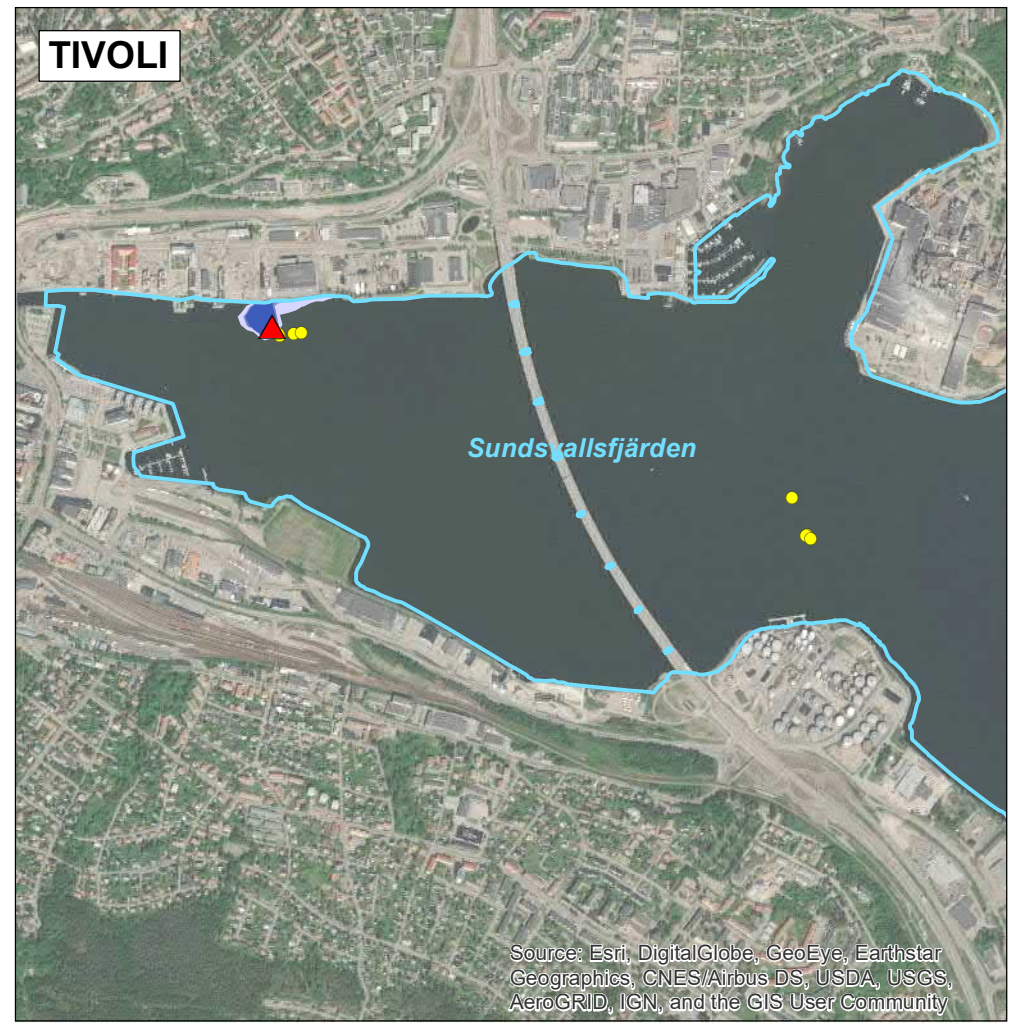


**BEFINTLIGA ARV UTAN KVÄVERENING (3A) OCH MED KVÄVERENING (3B) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A)**

**Diclofenac - vattenvolymer med beräknade halter över HVMFS 2019:25 (10ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	115000	216000	6000	0	222000
Andel av berörd vattenförekomst	0.03%	0.61%	0.00%	0.00%	-

**Visualisering - Sommar, Botten**



Datum: 2020-06-23

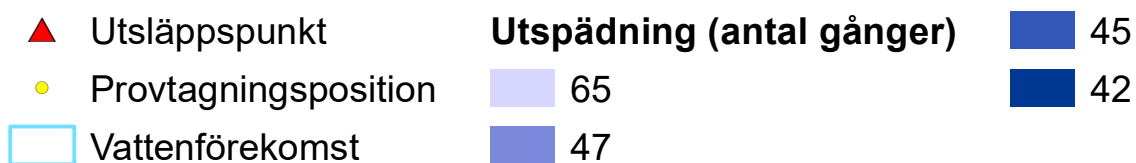
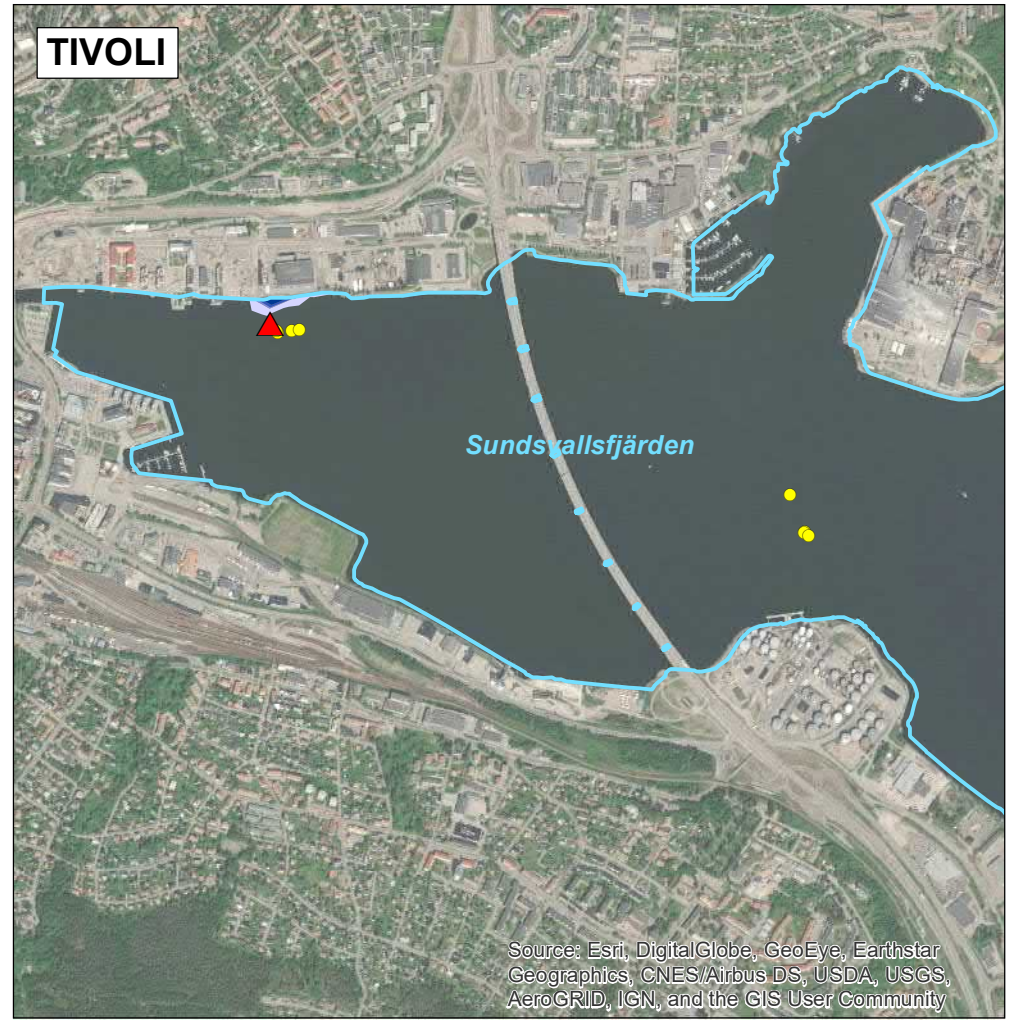
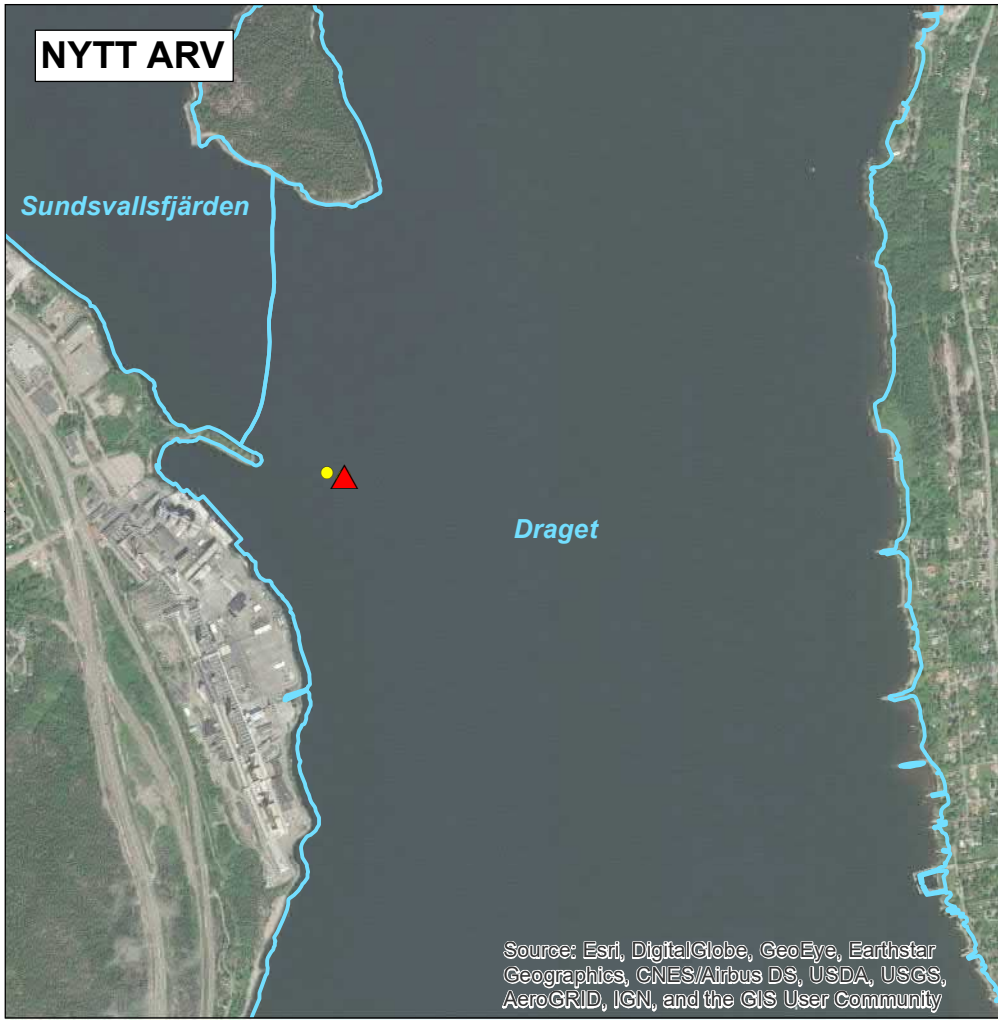


**BEFINTLIGA ARV UTAN KVÄVERENING (3A) OCH MED KVÄVERENING (3B) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A)**

**Diclofenac - vattenvolymer med beräknade halter över HVMFS 2019:25 (10ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	134000	23000	35000	0	58000
Andel av berörd vattenförekomst	0.03%	0.06%	0.02%	0.00%	-

**Visualisering - Vinter, Yta**



Datum: 2020-06-23

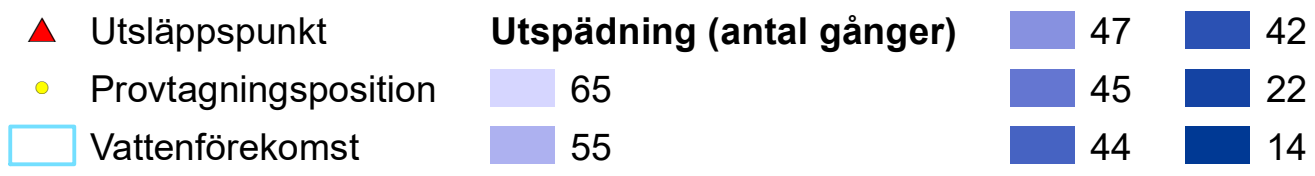
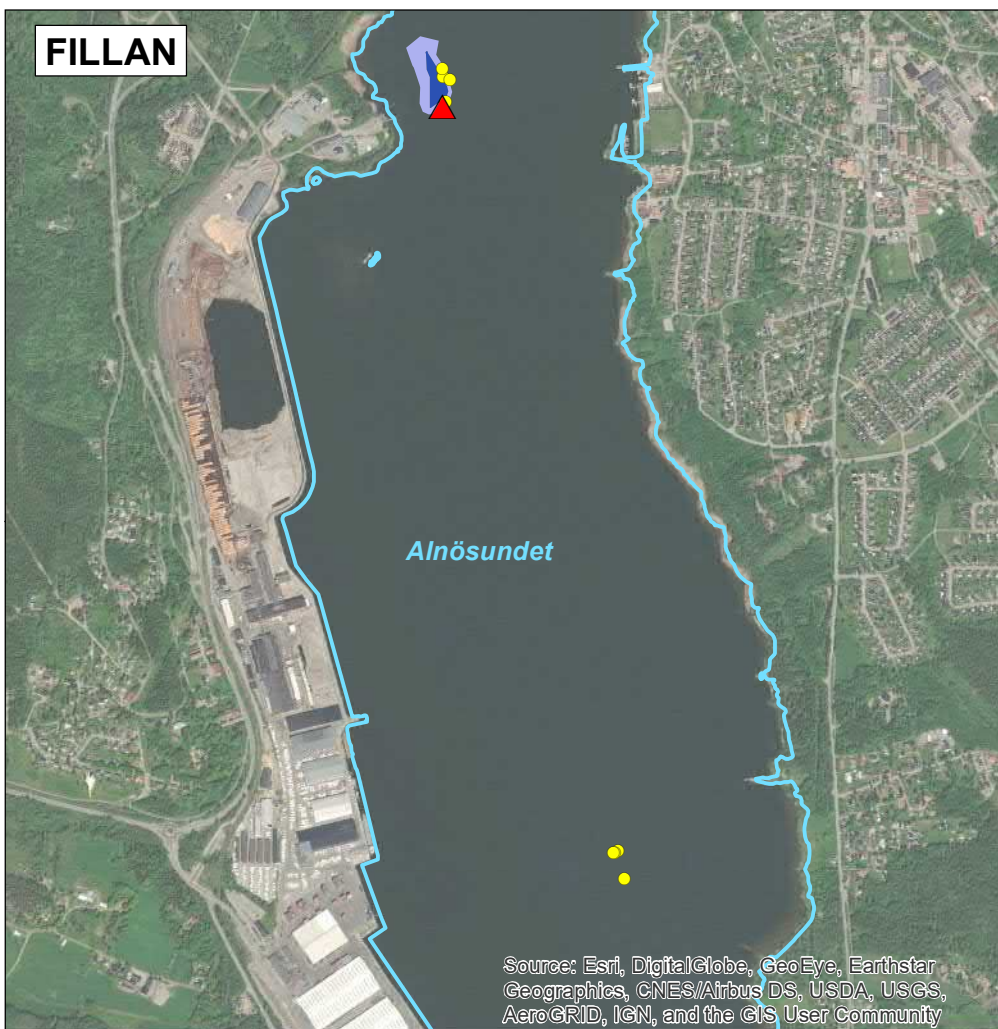
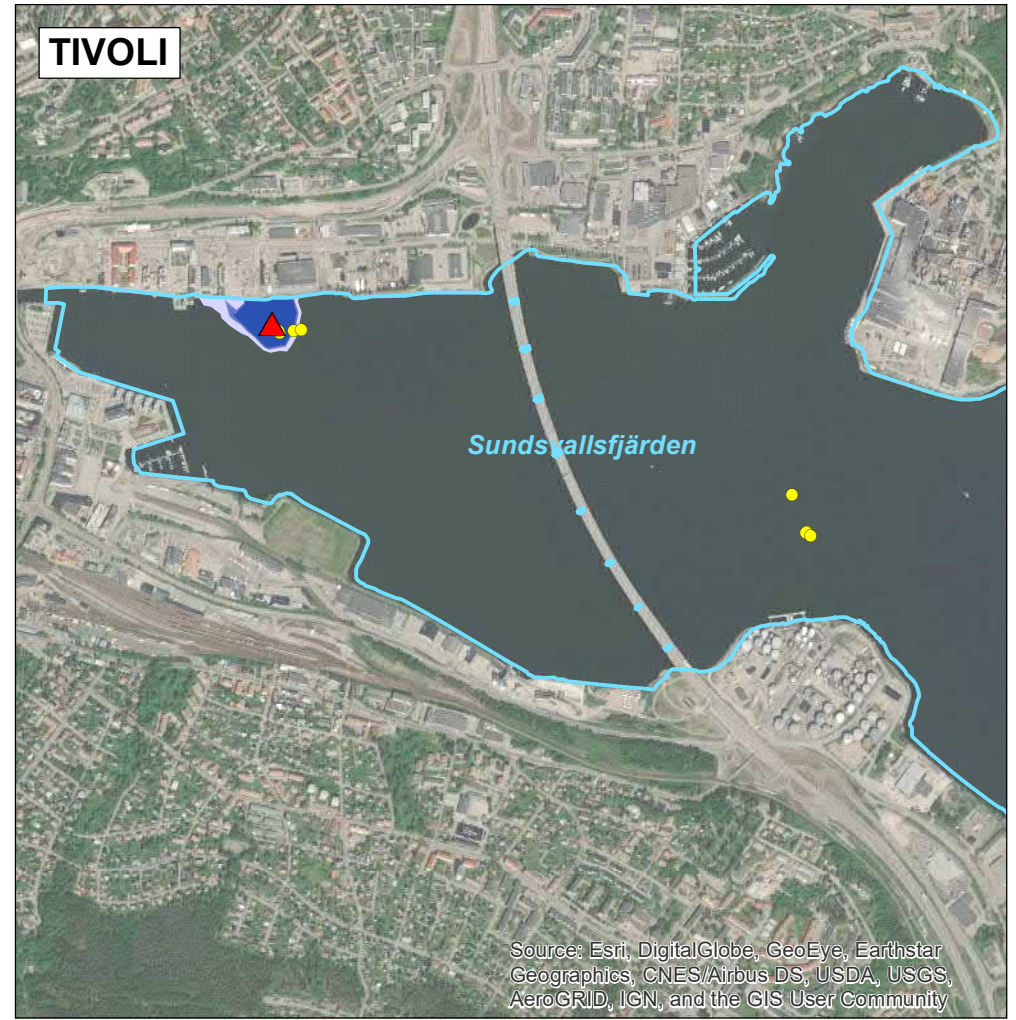
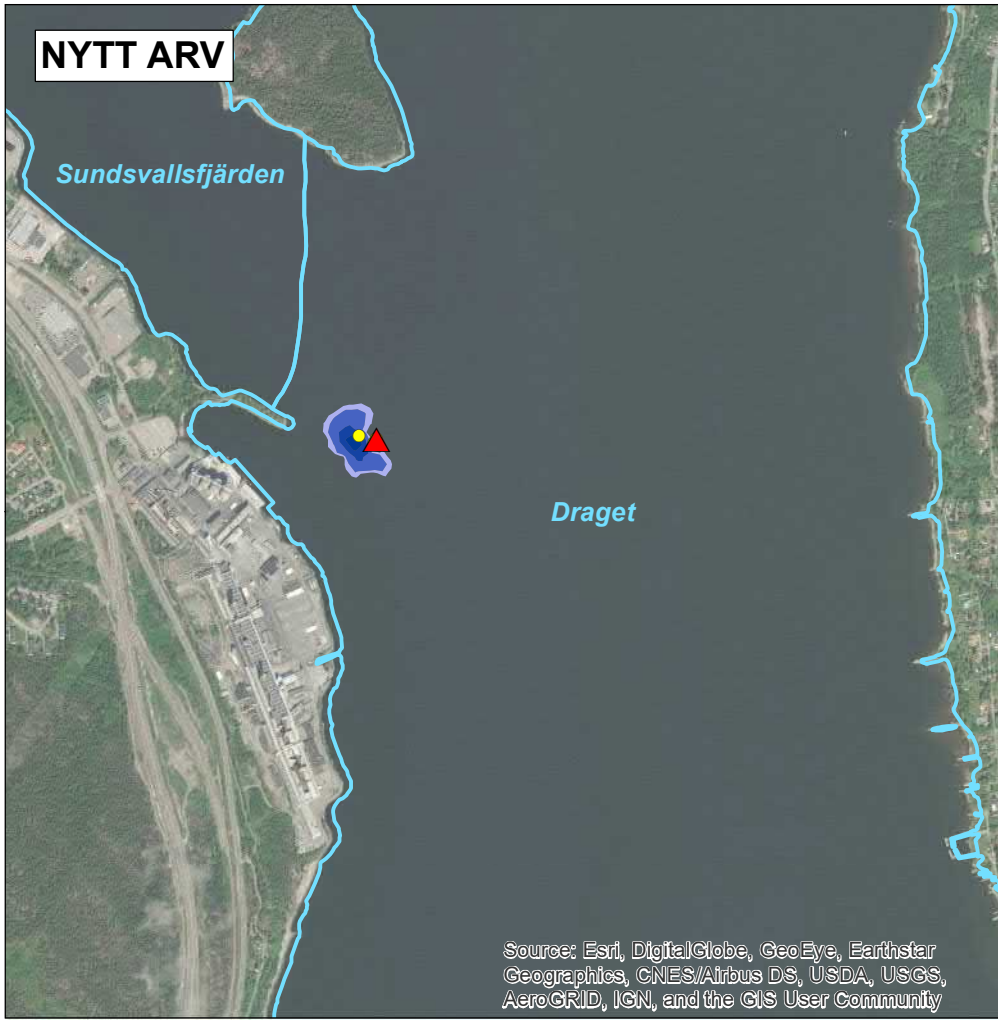


**BEFINTLIGA ARV UTAN KVÄVERENING (3A) OCH MED KVÄVERENING (3B) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A)**

**Diclofenac - vattenvolymer med beräknade halter över HVMFS 2019:25 (10ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	134000	23000	35000	0	58000
Andel av berörd vattenförekomst	0.03%	0.06%	0.02%	0.00%	-

**Visualisering - Vinter, Botten**



Datum: 2020-06-23

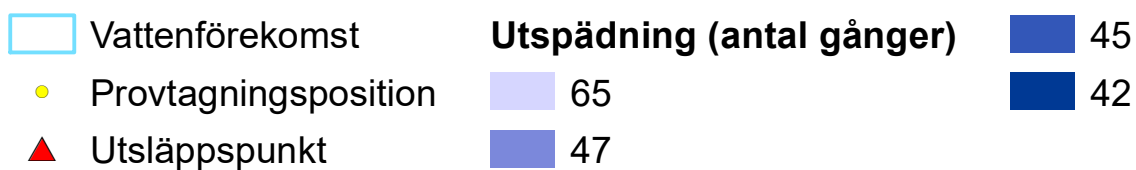
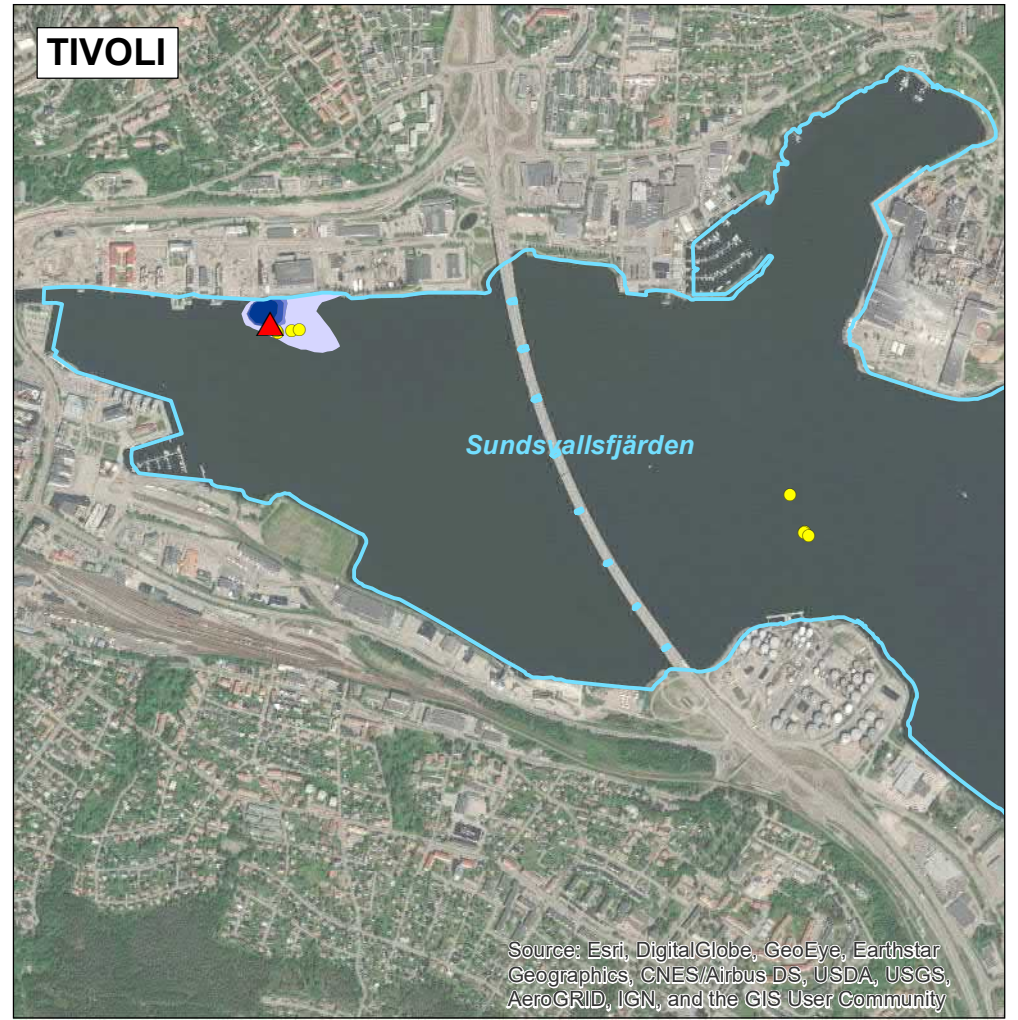
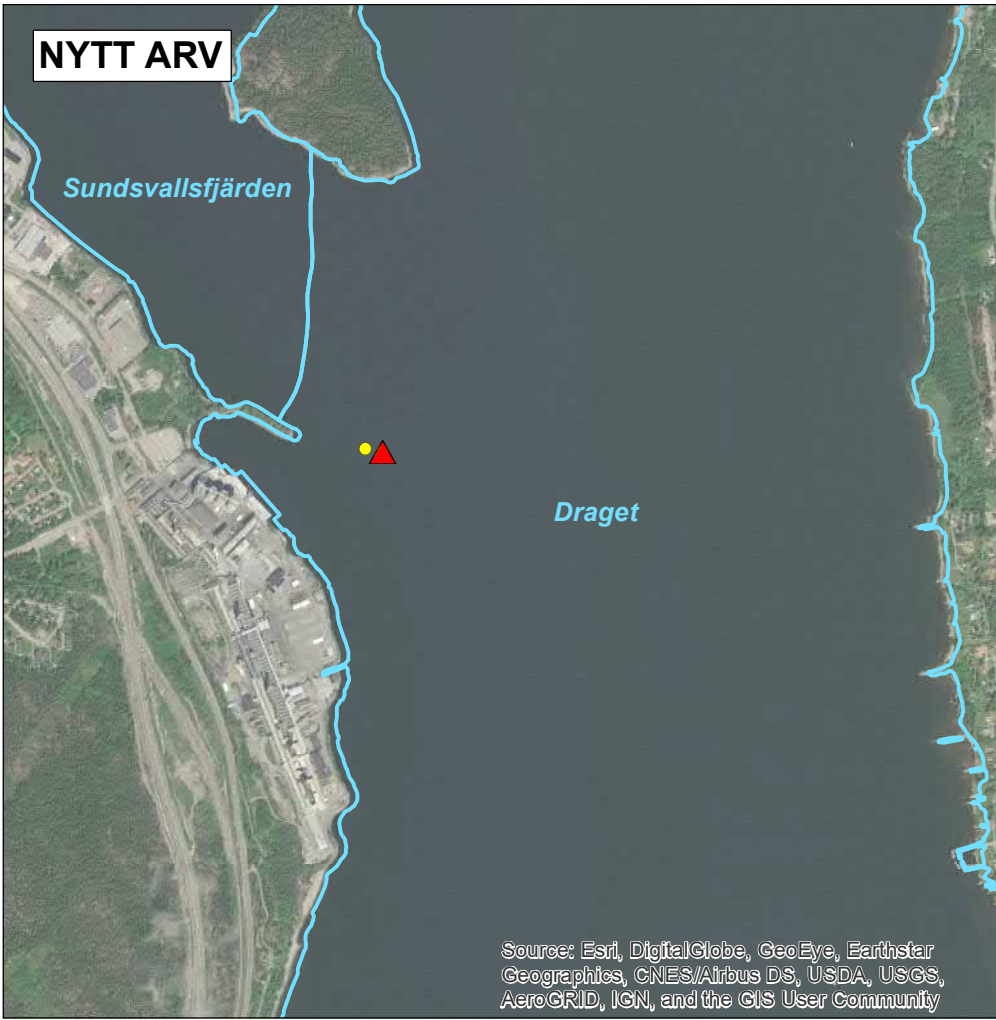


**BEFINTLIGA ARV UTAN KVÄVERENING (3A) OCH MED KVÄVERENING (3B) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Diclofenac - vattenvolymer med beräknade halter över HVMFS 2019:25 (10ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	0	216000	6000	0	222000
Andel av berörd vattenförekomst	0.00%	0.61%	0.00%	0.00%	-

**Visualisering - Sommar, Yta**



Datum: 2020-06-26

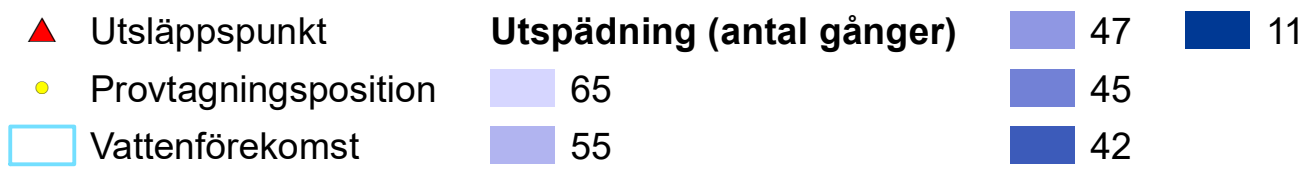
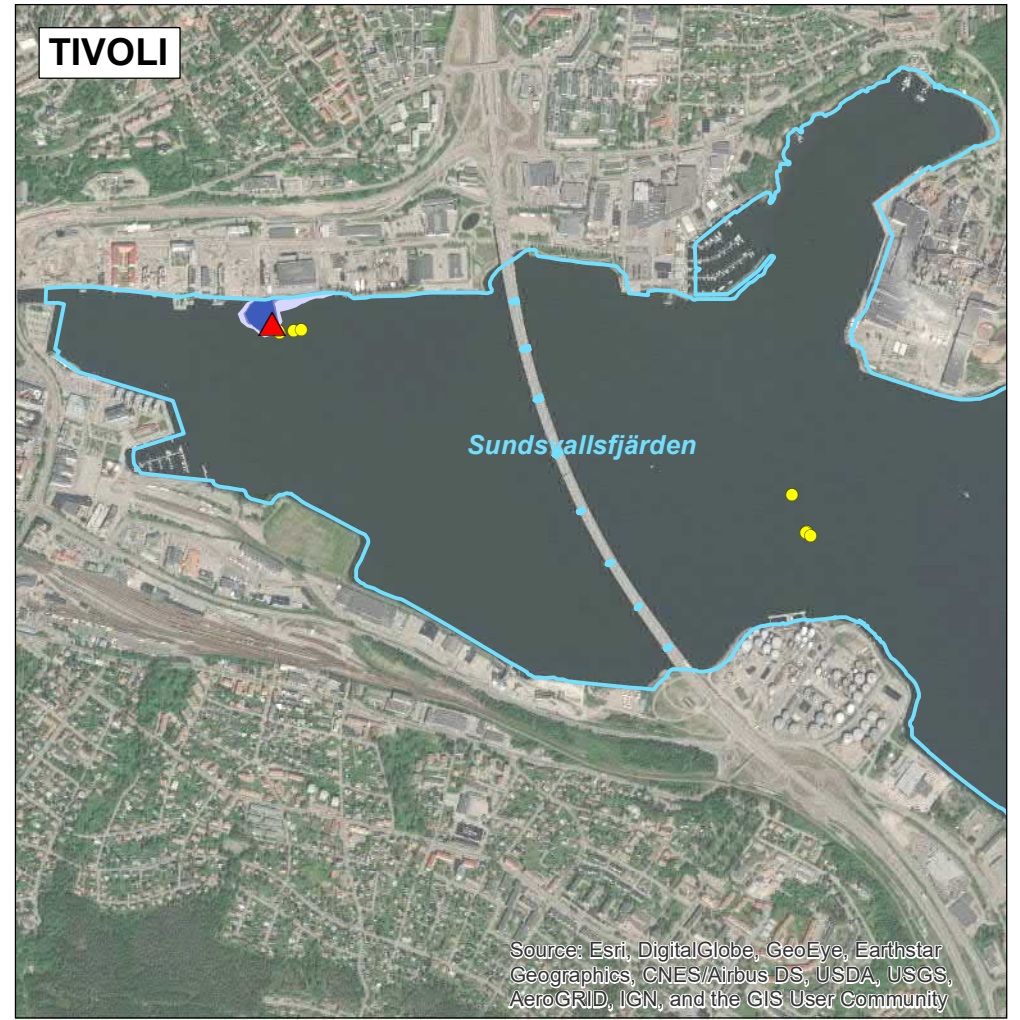
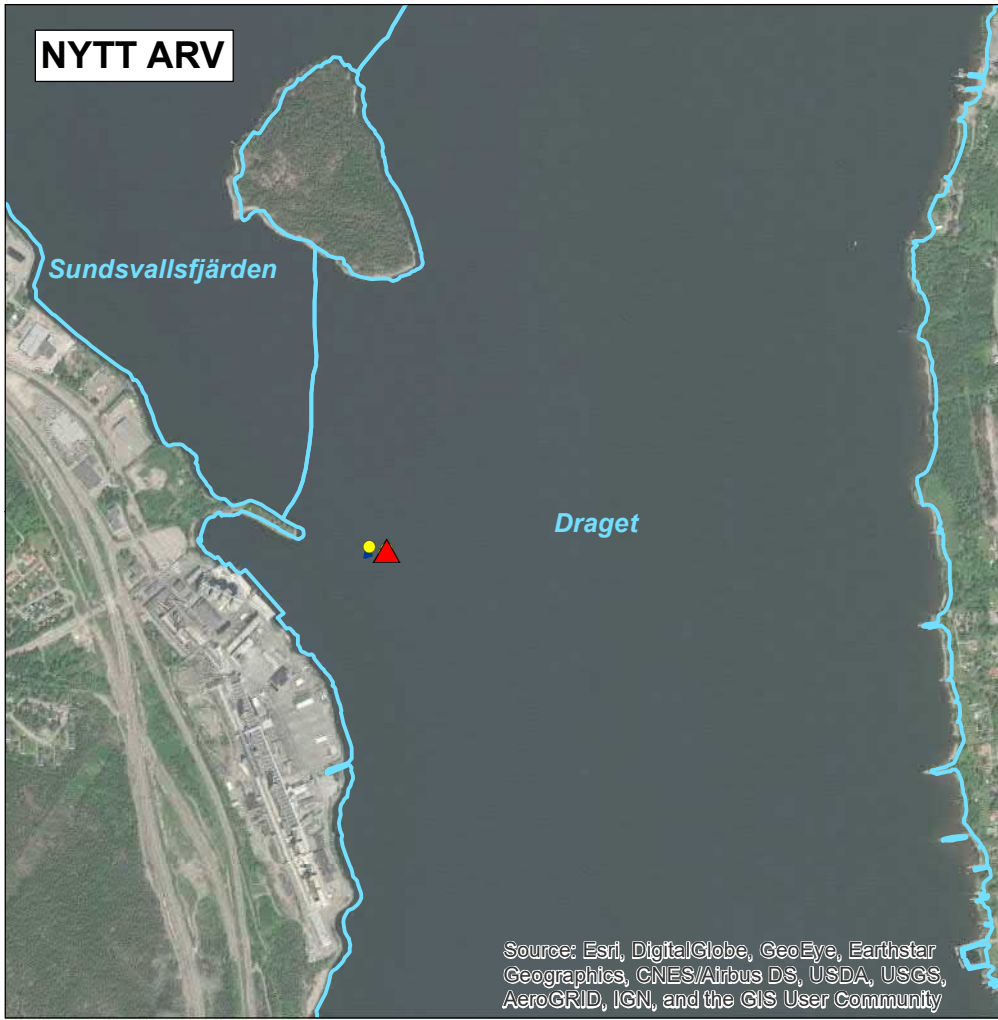


**BEFINTLIGA ARV UTAN KVÄVERENING (3A) OCH MED KVÄVERENING (3B) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Diclofenac - vattenvolymer med beräknade halter över HVMFS 2019:25 (10ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	0	216000	6000	0	222000
Andel av berörd vattenförekomst	0.00%	0.61%	0.00%	0.00%	-

**Visualisering - Sommar, Botten**



Datum: 2020-06-26

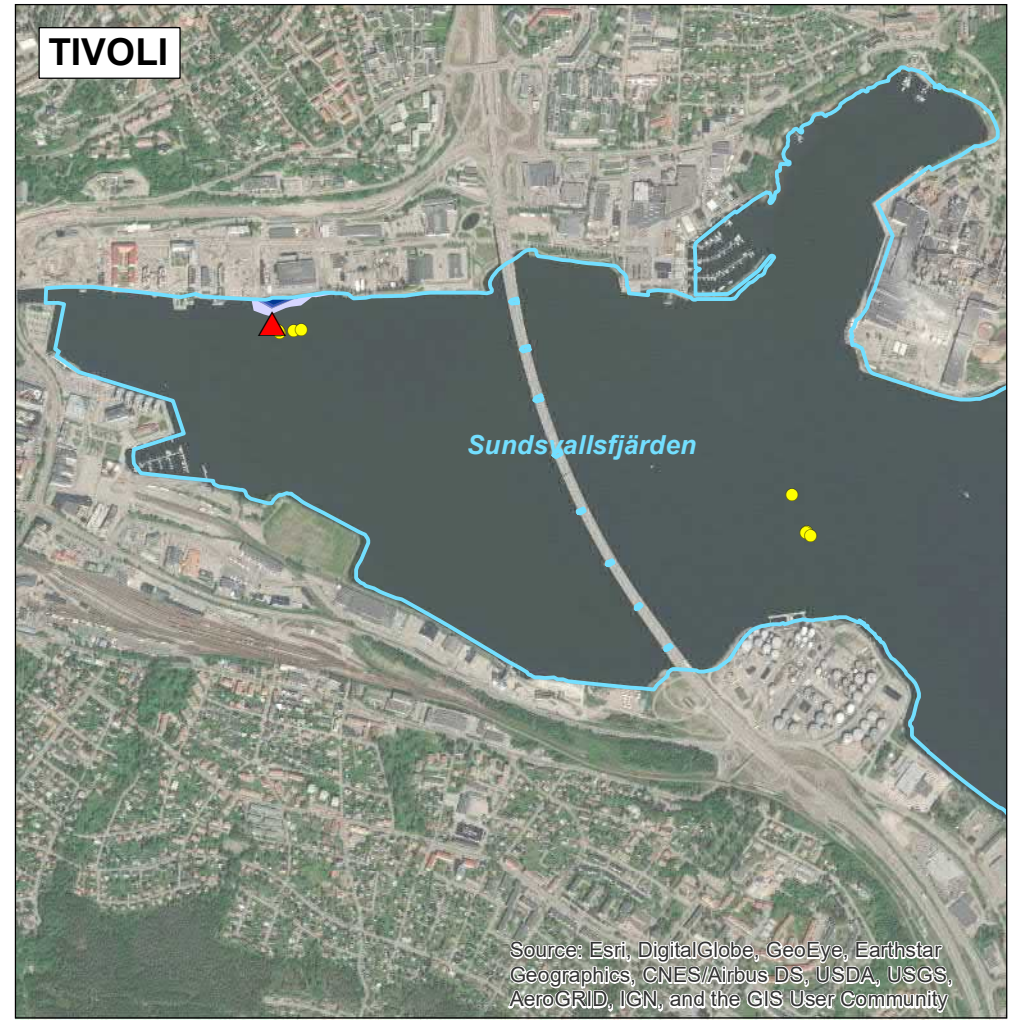
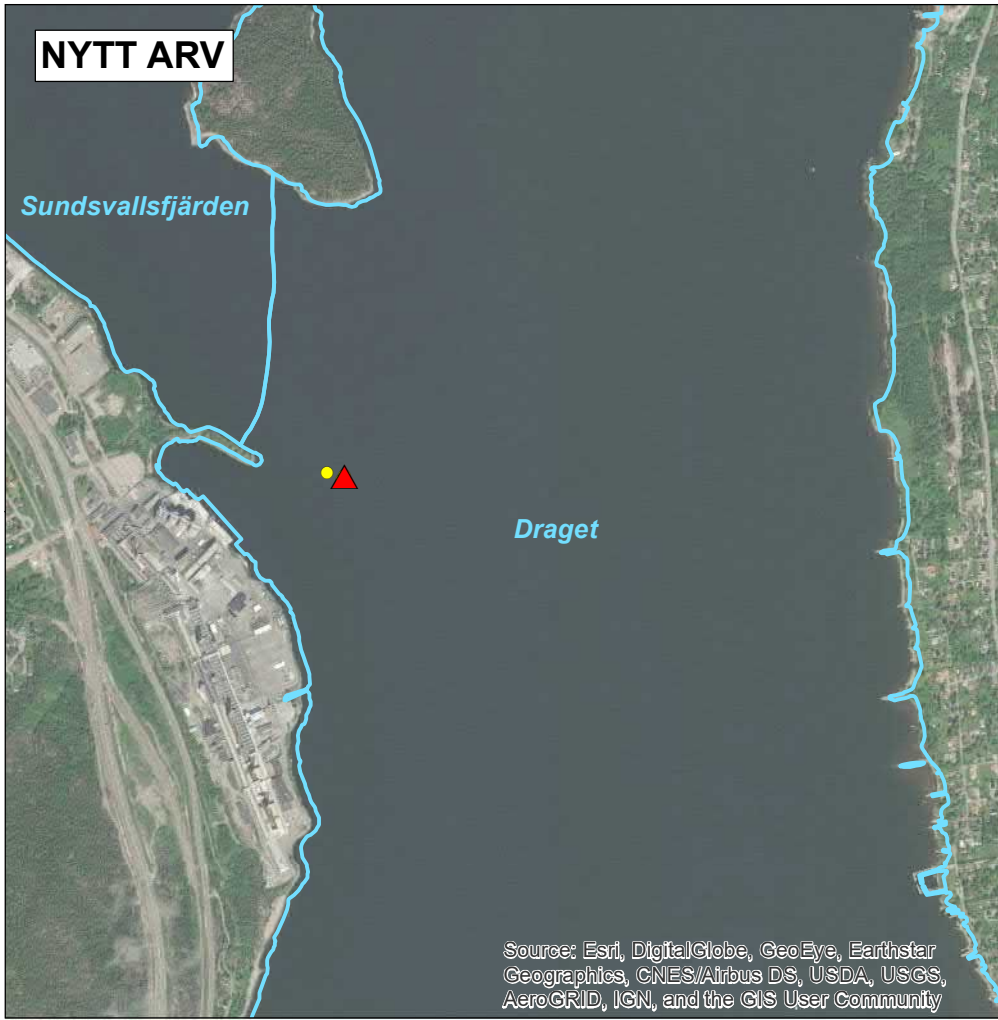


**BEFINTLIGA ARV UTAN KVÄVERENING (3A) OCH MED KVÄVERENING (3B) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Diclofenac - vattenvolymer med beräknade halter över HVMFS 2019:25 (10ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	0	23000	35000	0	58000
Andel av berörd vattenförekomst	0.00%	0.06%	0.02%	0.00%	-

**Visualisering - Vinter, Yta**



- ▲ Utsläppspunkt
- Provtagningsposition
- Vattenförekomst
- Utspädning (antal gånger)
  - 45
  - 65
  - 47



Datum: 2020-06-26

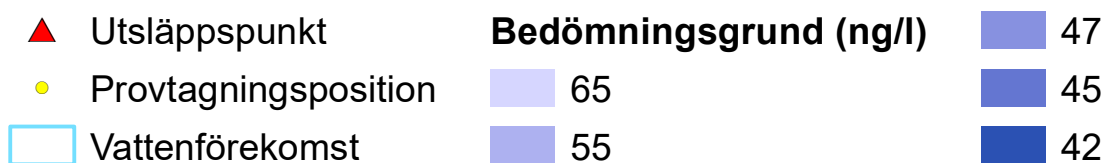
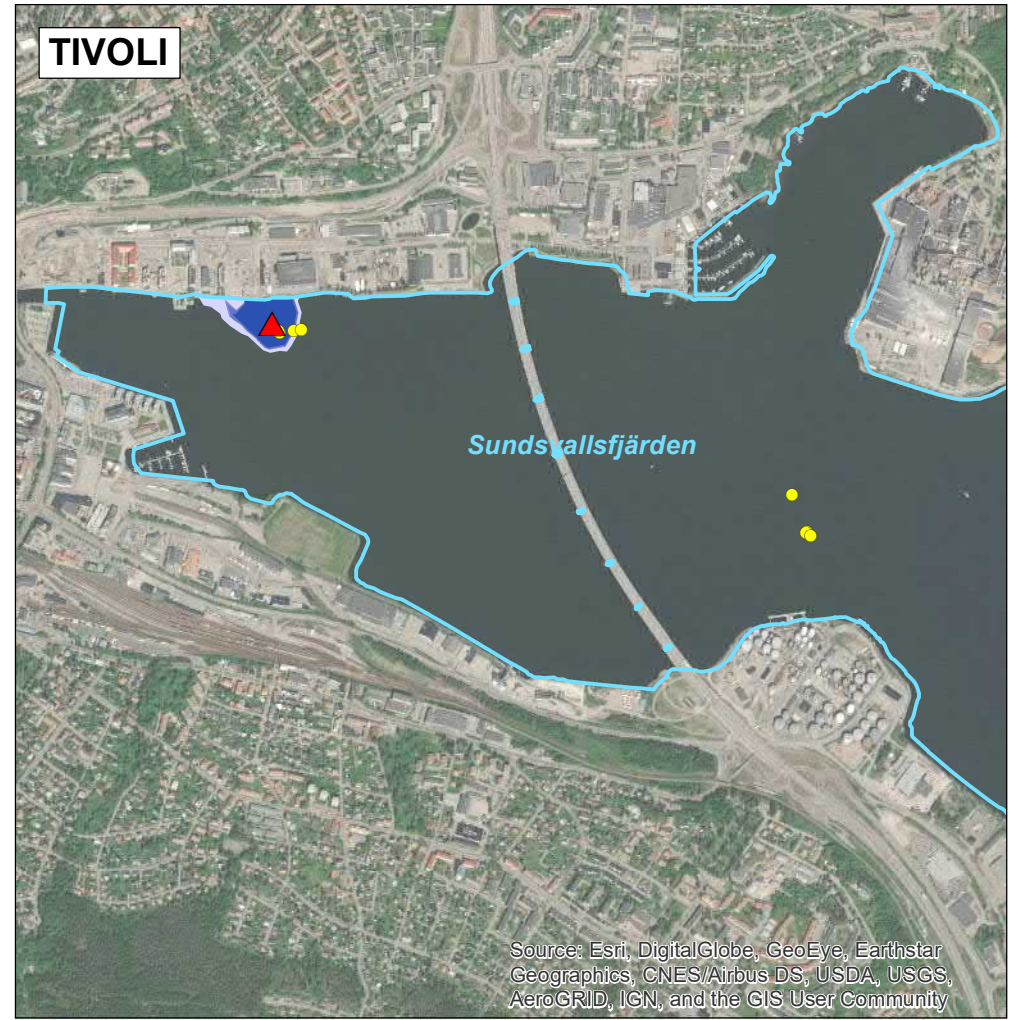
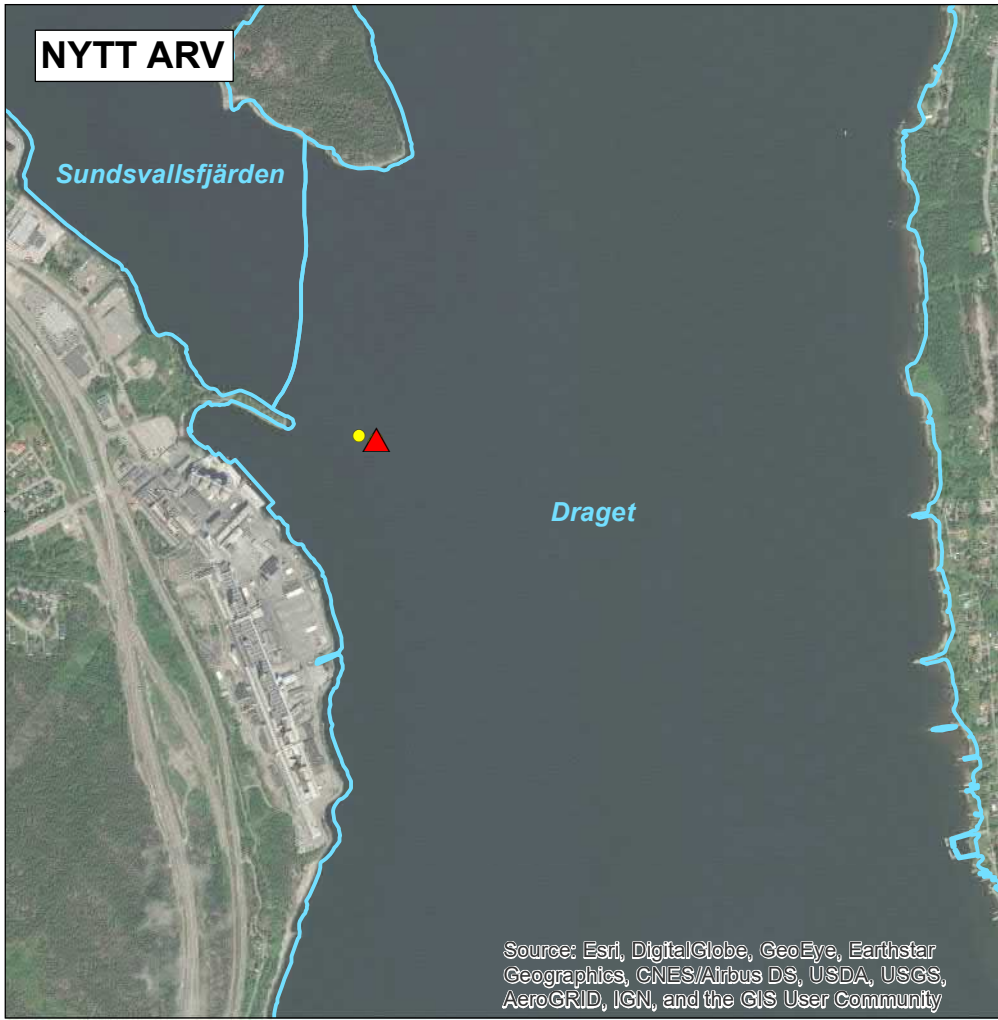


**BEFINTLIGA ARV UTAN KVÄVERENING (3A) OCH MED KVÄVERENING (3B) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Diclofenac - vattenvolymer med beräknade halter över HVMFS 2019:25 (10ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	0	23000	35000	0	58000
Andel av berörd vattenförekomst	0.00%	0.06%	0.02%	0.00%	-

**Visualisering - Vinter, Botten**



Datum: 2020-06-26

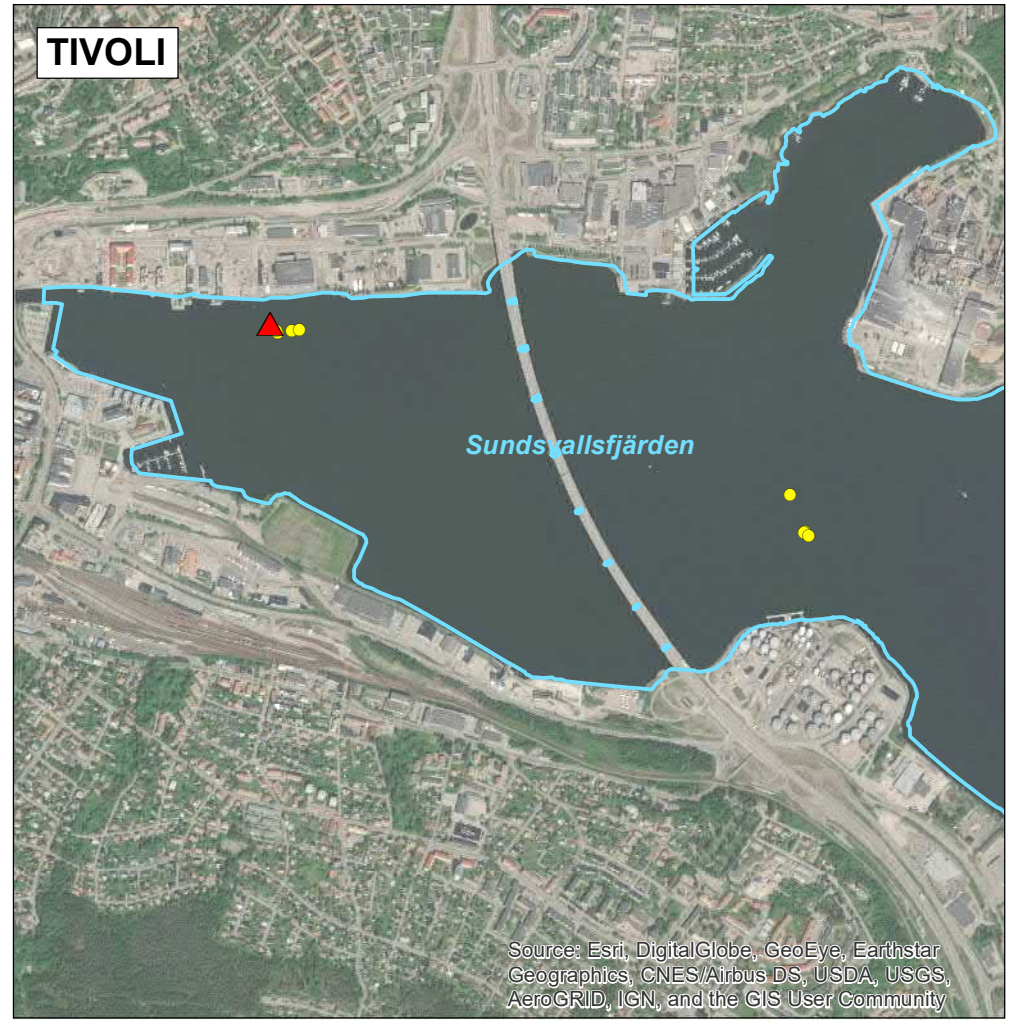
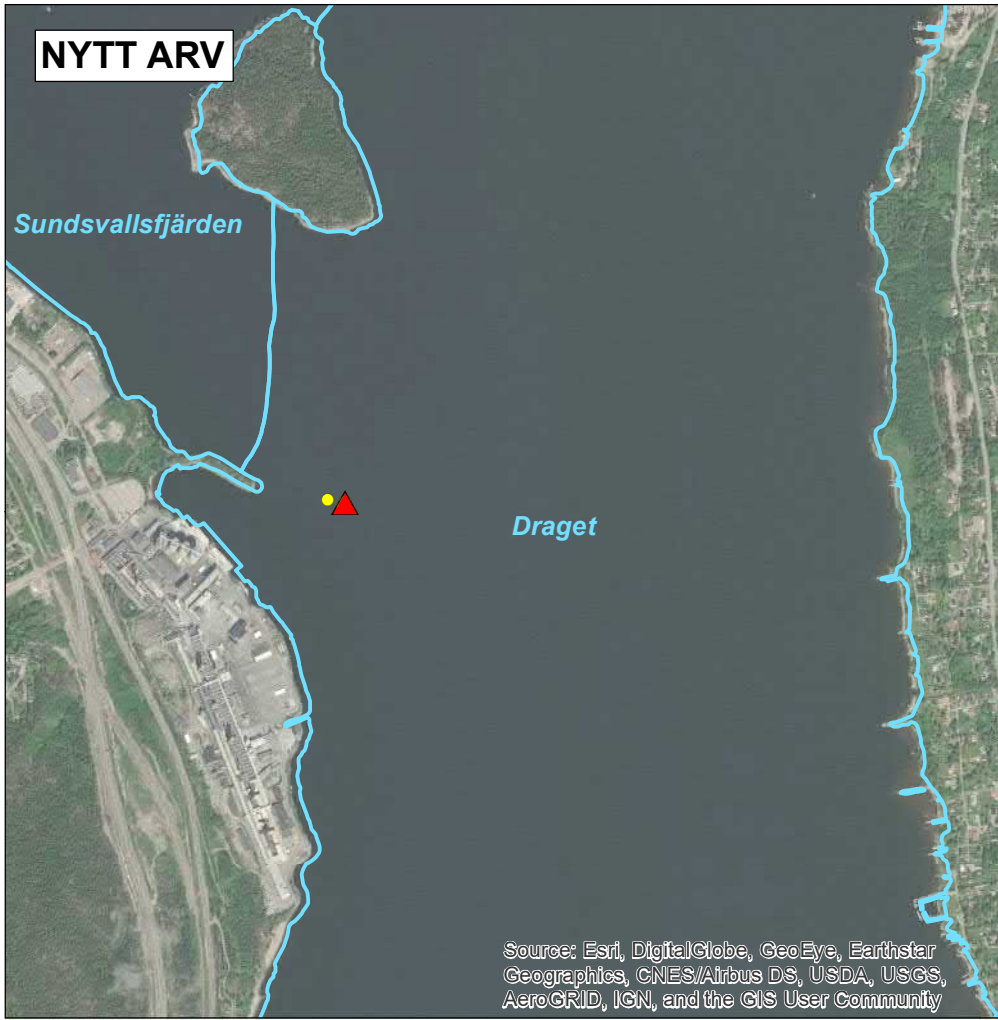


**BEFINTLIGA ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (3C) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A)**

**Diclofenac - vattenvolymer med beräknade halter över HVMFS 2019:25 (10ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	115000	0	0	0	0
Andel av berörd vattenförekomst	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	-

**Visualisering - Sommar, Yta**



- ▲ Utsläppspunkt
- Provtagningsposition
- Vattenförekomst



Datum: 2020-06-24



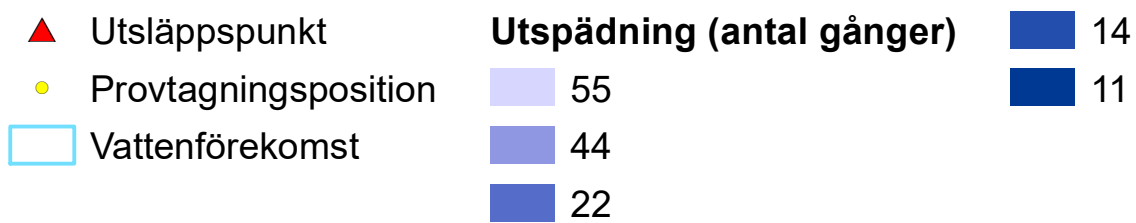
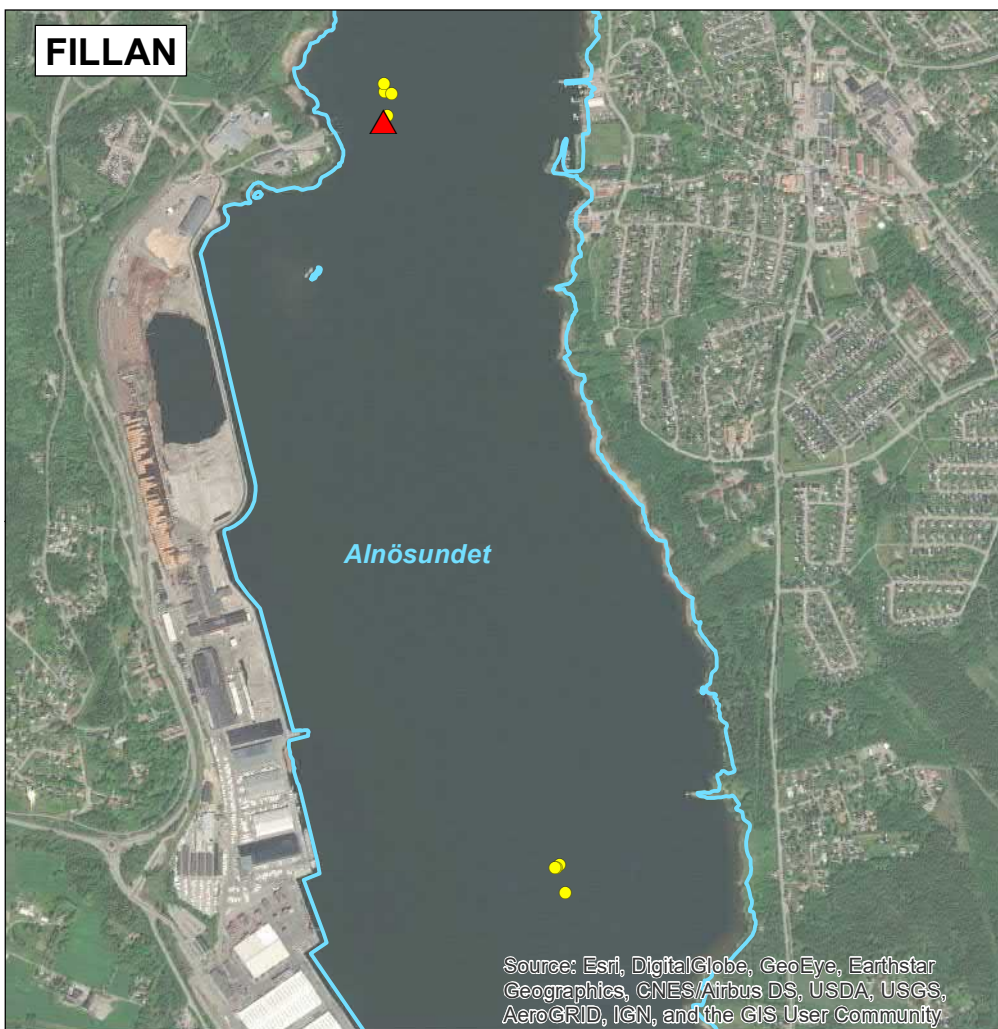
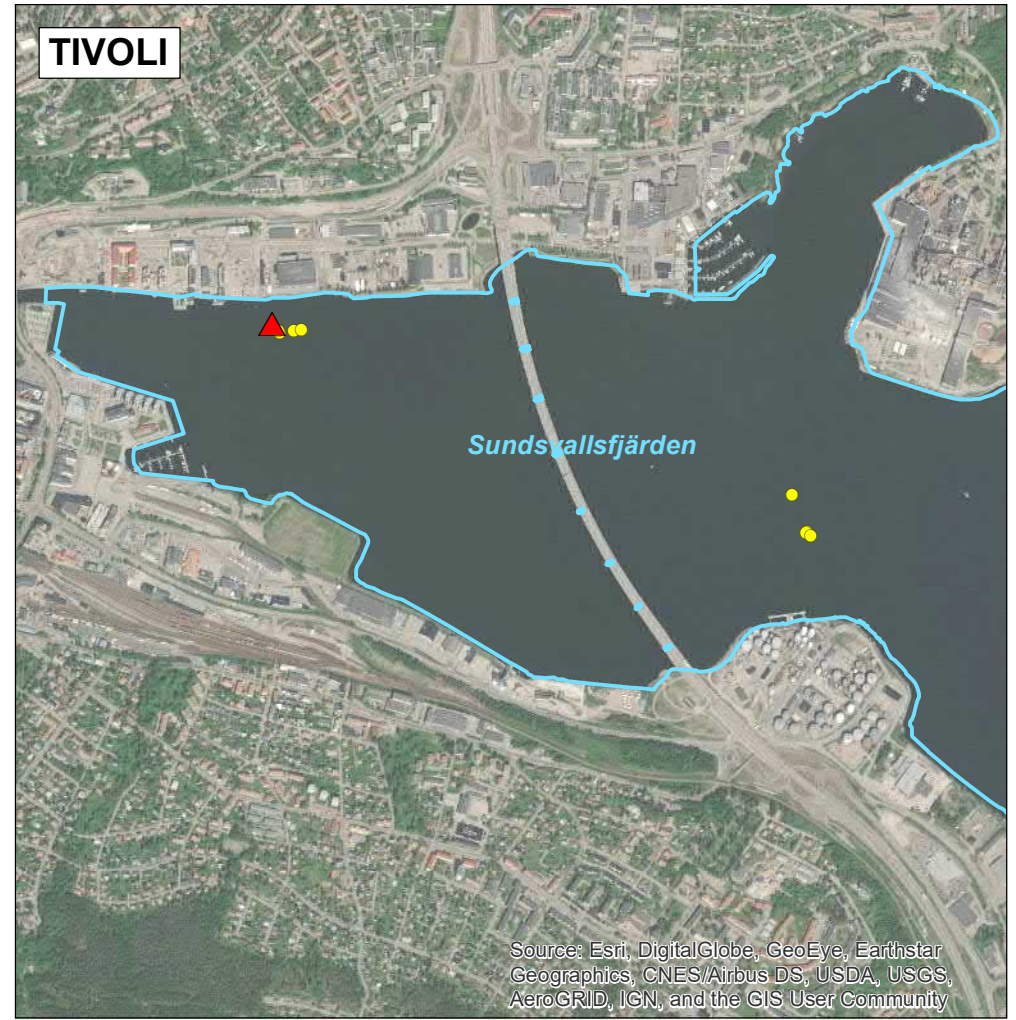
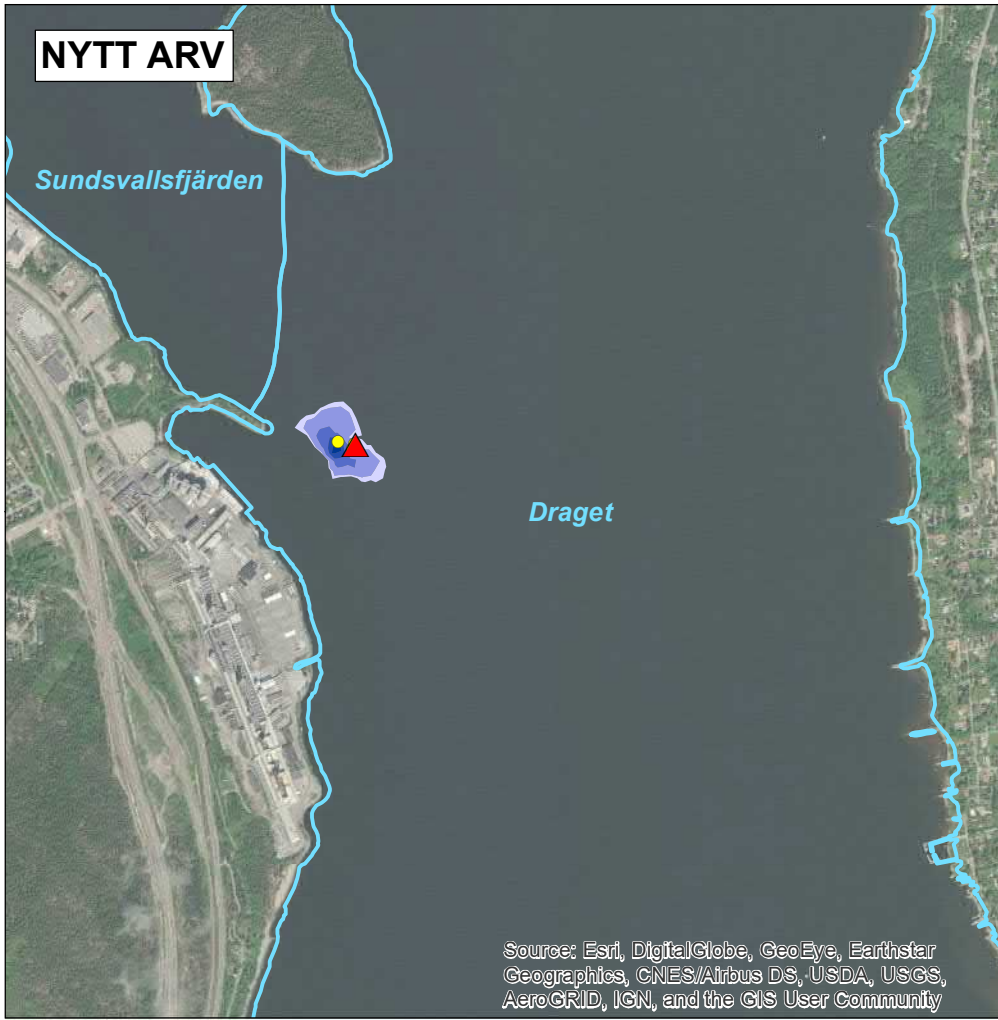


**BEFINTLIGA ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (3C) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A)**

**Diclofenac - vattenvolymer med beräknade halter över HVMFS 2019:25 (10ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	115000	0	0	0	0
Andel av berörd vattenförekomst	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	-

**Visualisering - Sommar, Botten**



Datum: 2020-06-24

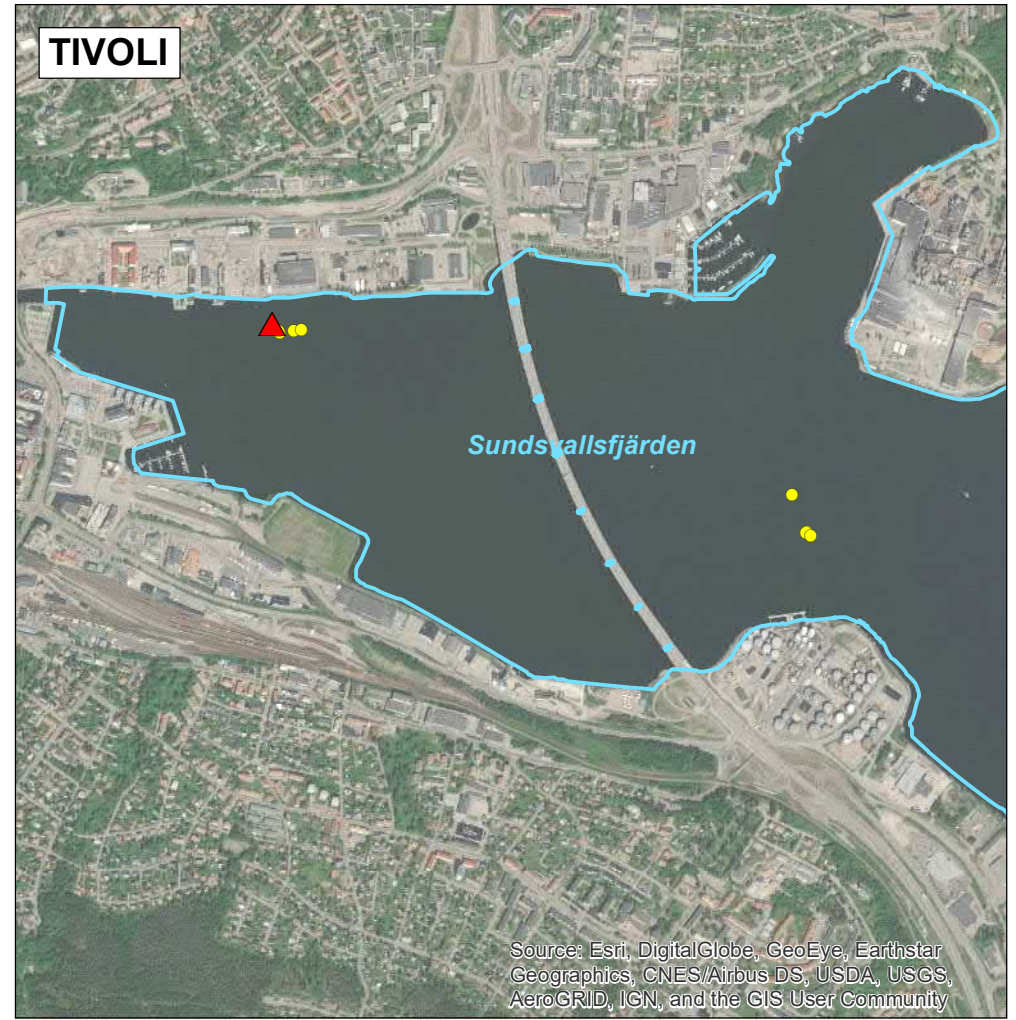
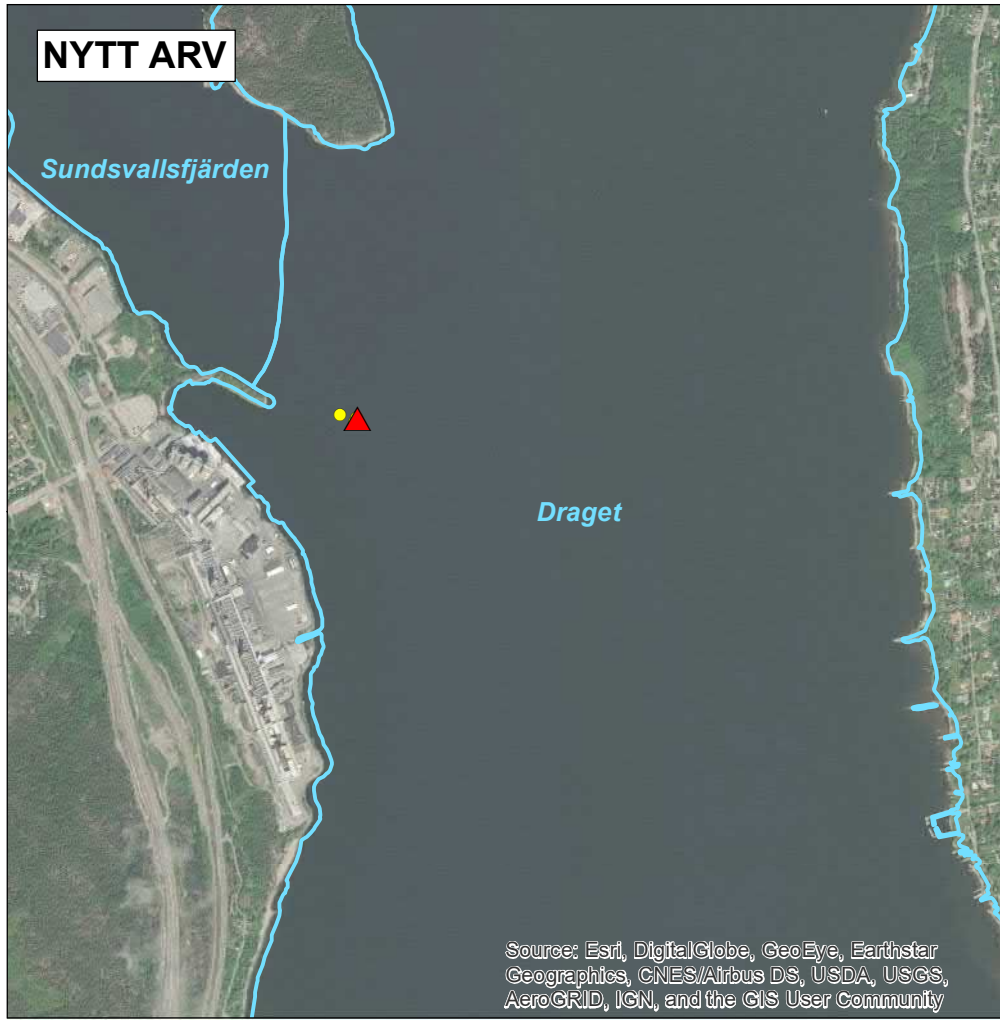


**BEFINTLIGA ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (3C) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A)**

**Diclofenac - vattenvolymer med beräknade halter över HVMFS 2019:25 (10ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	134000	0	0	0	0
Andel av berörd vattenförekomst	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	-

**Visualisering - Vinter, Yta**



- ▲ Utsläppspunkt
- Provtagningsposition
- Vattenförekomst



Datum: 2020-06-24

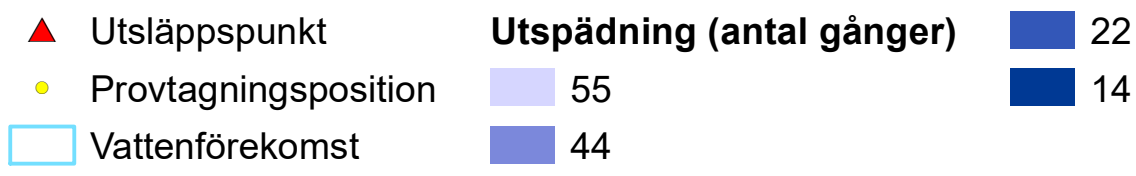
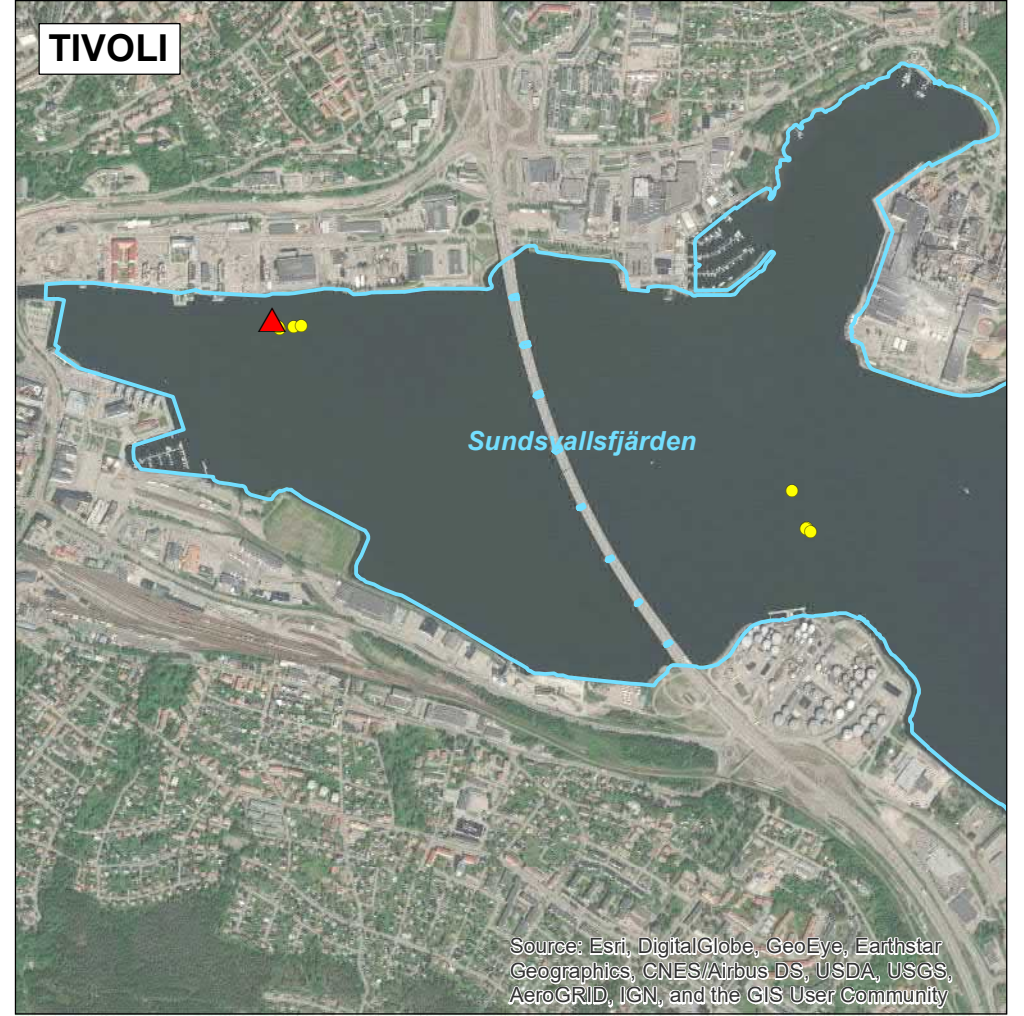
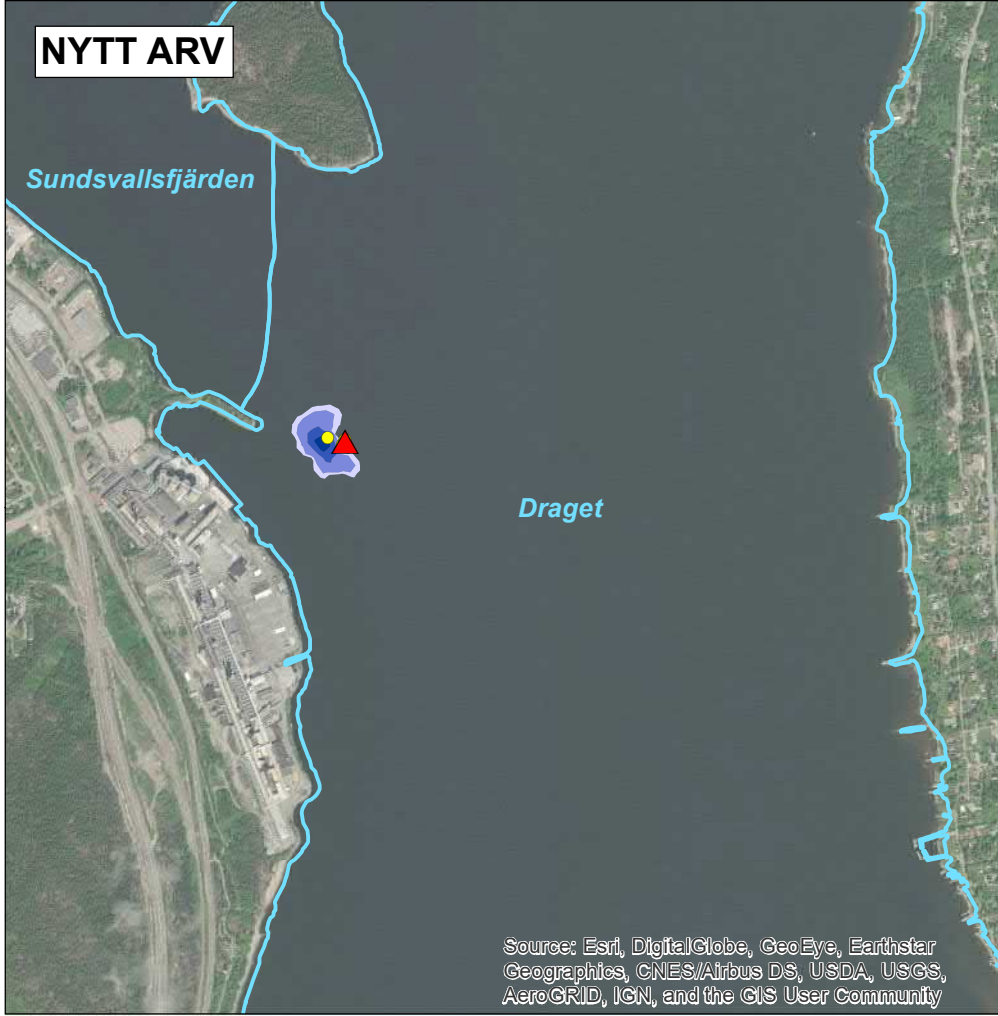


**BEFINTLIGA ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (3C) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A)**

**Diclofenac - vattenvolymer med beräknade halter över HVMFS 2019:25 (10ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	134000	0	0	0	0
Andel av berörd vattenförekomst	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	-

**Visualisering - Vinter, Botten**



Datum: 2020-06-24

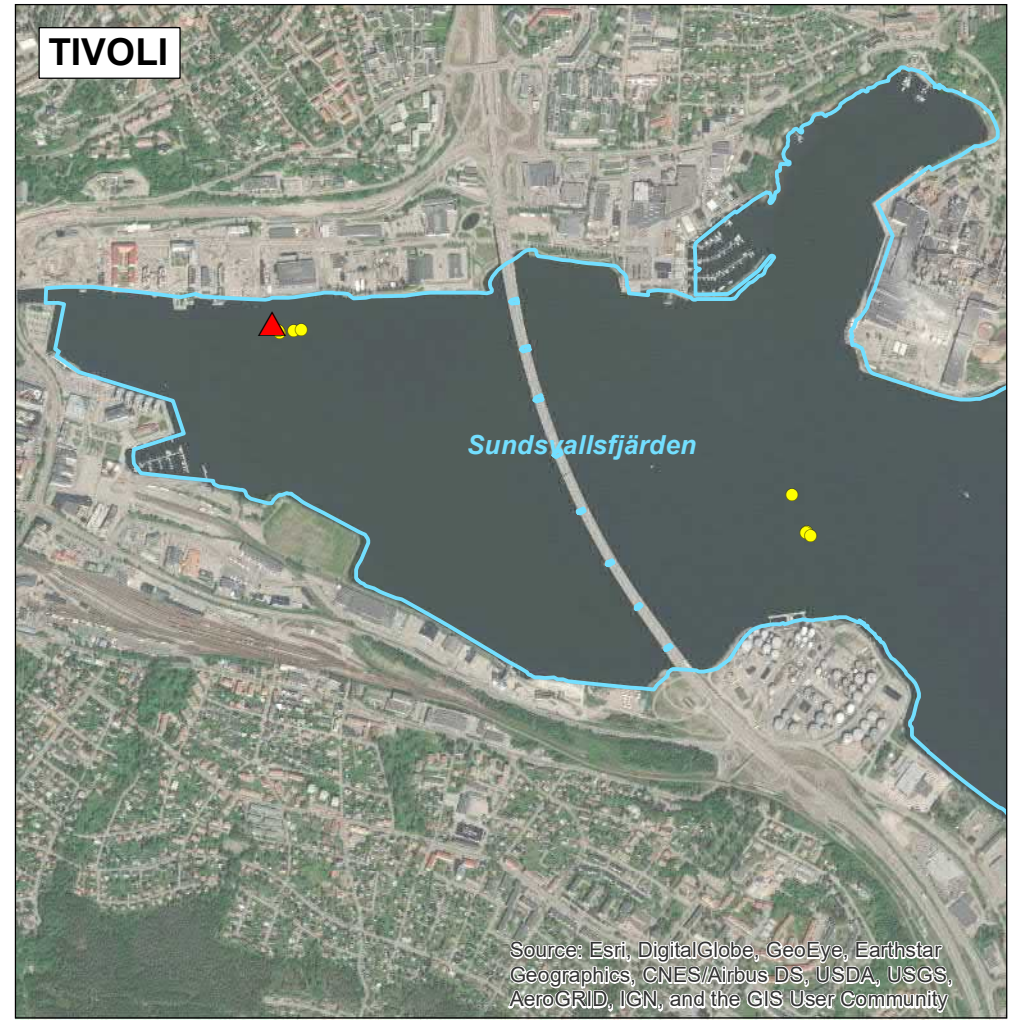
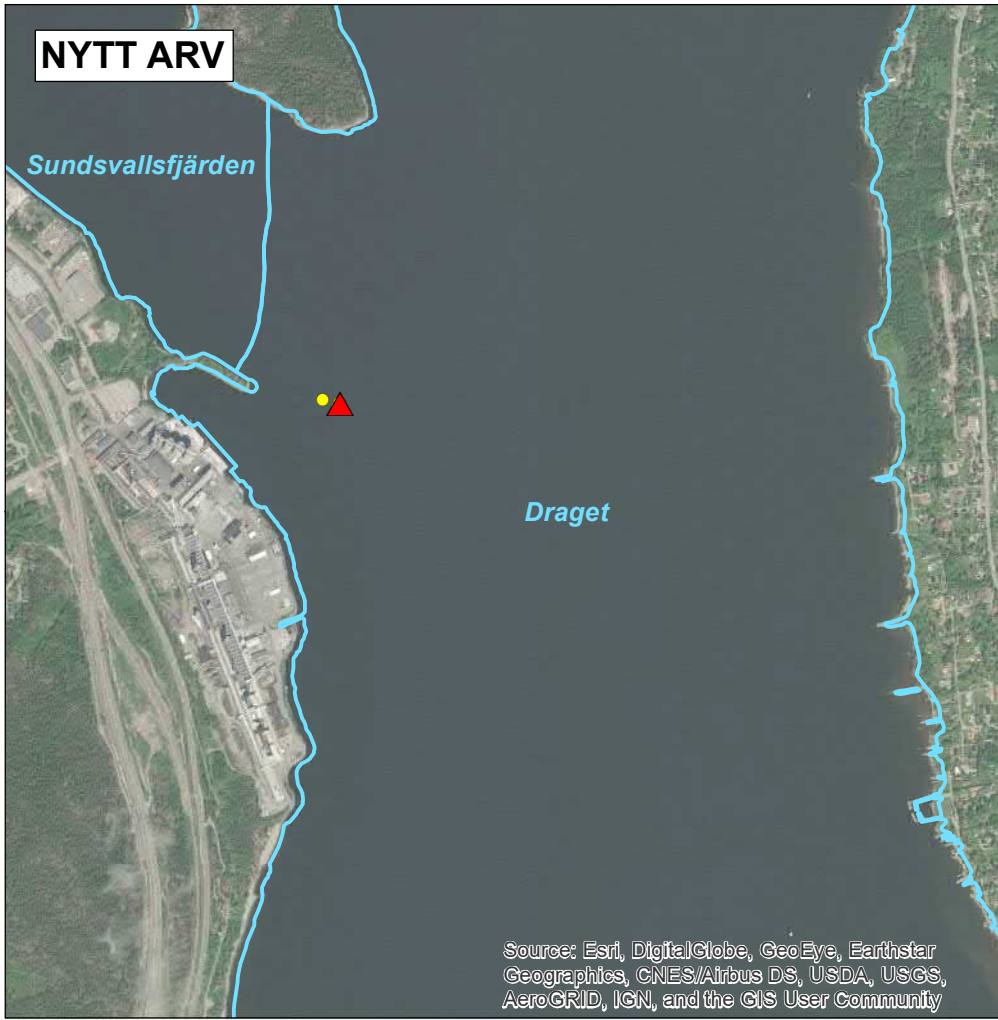


**BEFINTLIGA ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (3C) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Diclofenac - vattenvolymer med beräknade halter över HVMFS 2019:25 (10ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	0	0	0	0	0
Andel av berörd vattenförekomst	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-

**Visualisering - Sommar, Yta**



- ▲ Utsläppspunkt
- Provtagningsposition
- Vattenförekomst



Datum: 2020-06-24

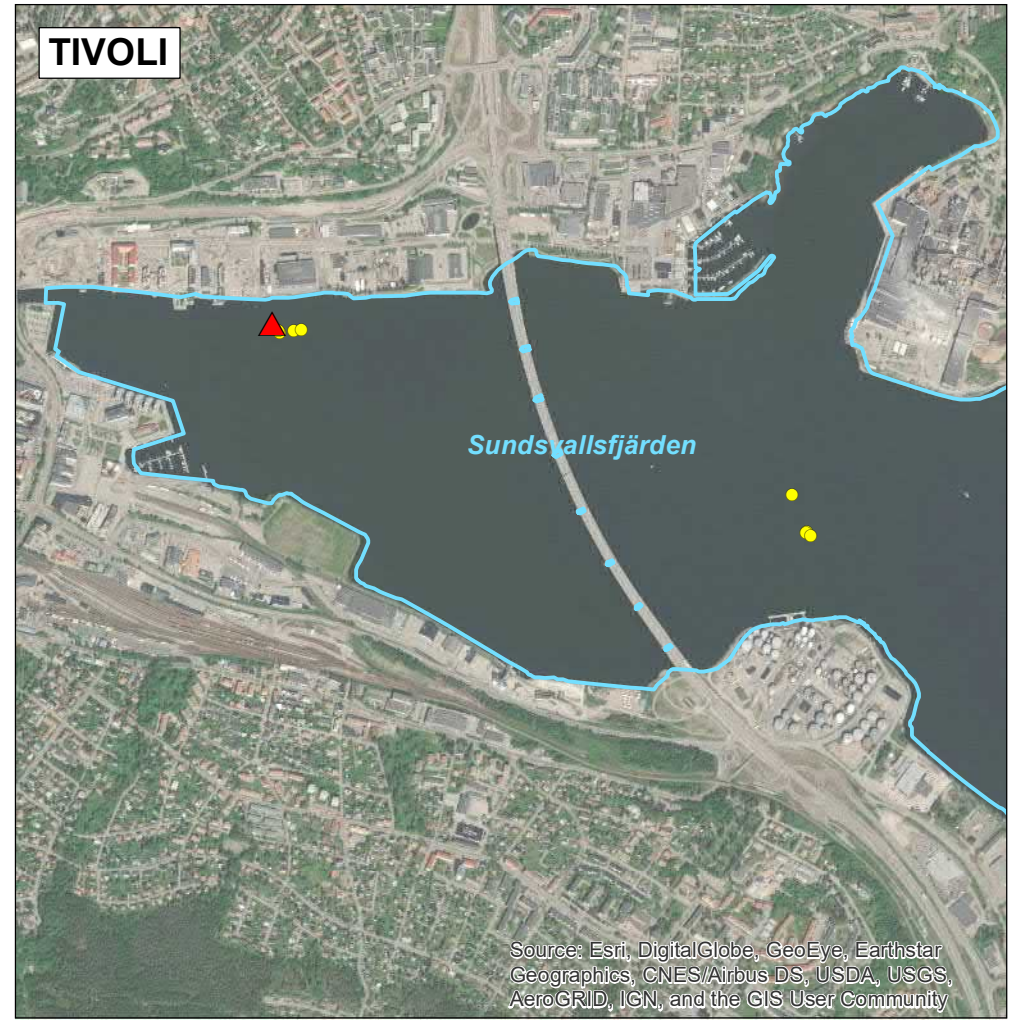
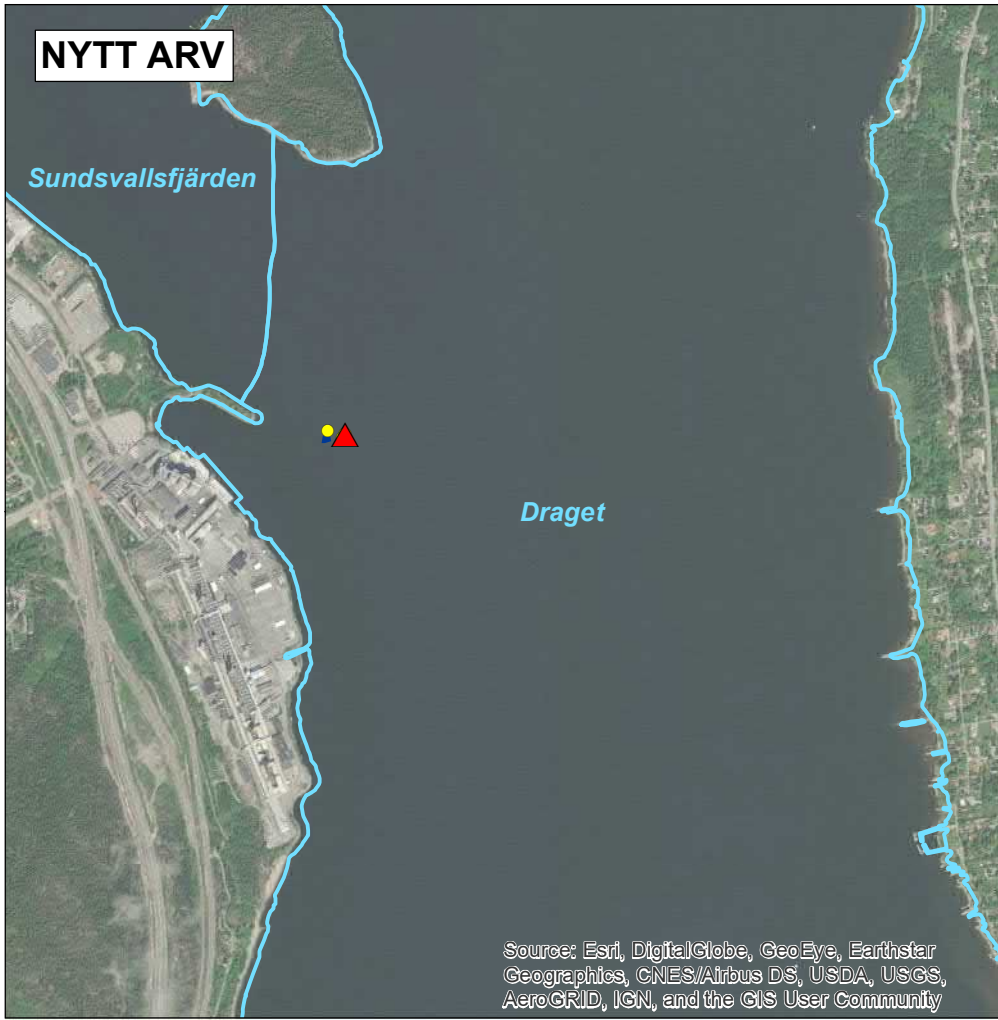


# BEFINTLIGA ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (3C) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)

## Diclofenac - vattenvolymer med beräknade halter över HVMFS 2019:25 (10ng/l)

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	0	0	0	0	0
Andel av berörd vattenförekomst	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-

### Visualisering - Sommar, Botten



- ▲ Utsläppspunkt
- Provtagningsposition
- Vattenförekomst
- Utspädning (antal gånger) 11



Datum: 2020-06-24

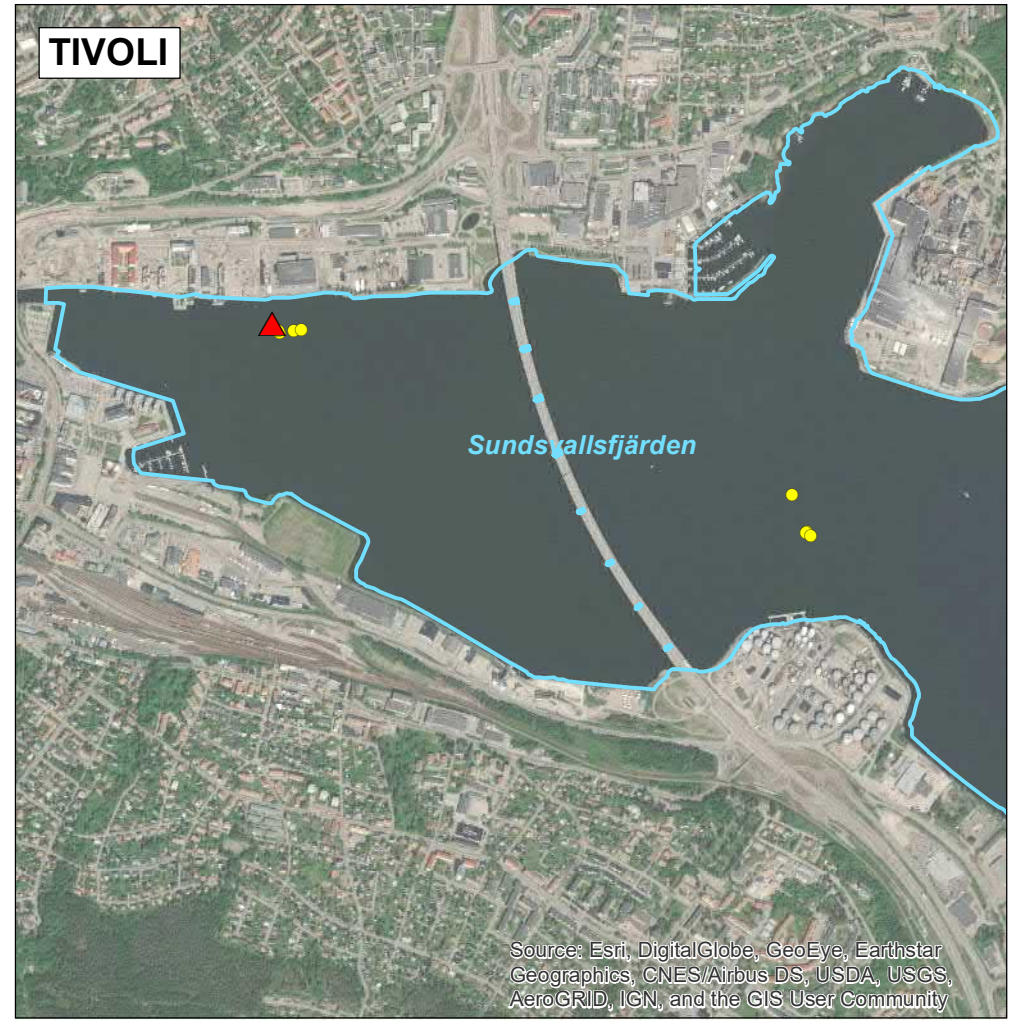
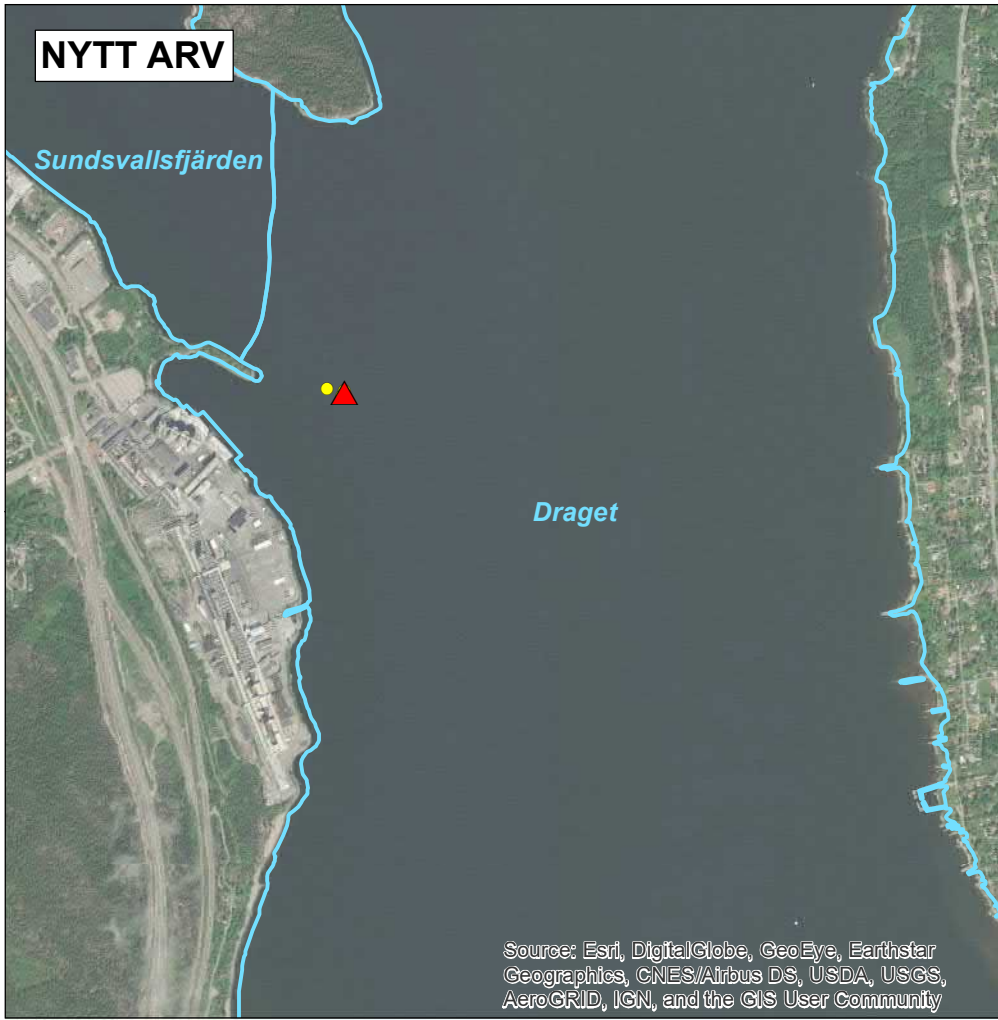


**BEFINTLIGA ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (3C) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Diclofenac - vattenvolymer med beräknade halter över HVMFS 2019:25 (10ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	0	0	0	0	0
Andel av berörd vattenförekomst	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-

**Visualisering - Vinter, Yta**



- ▲ Utsläppspunkt
- Provtagningsposition
- Vattenförekomst



Datum: 2020-06-24

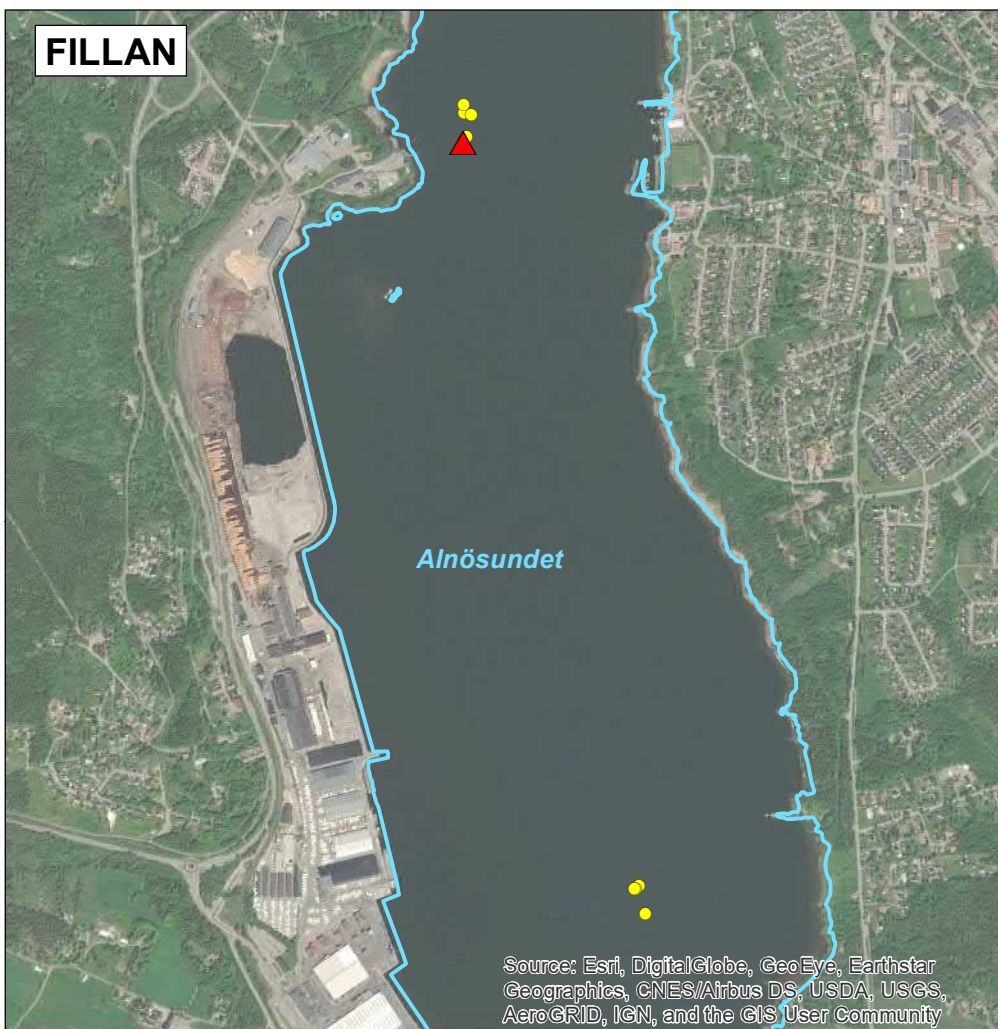
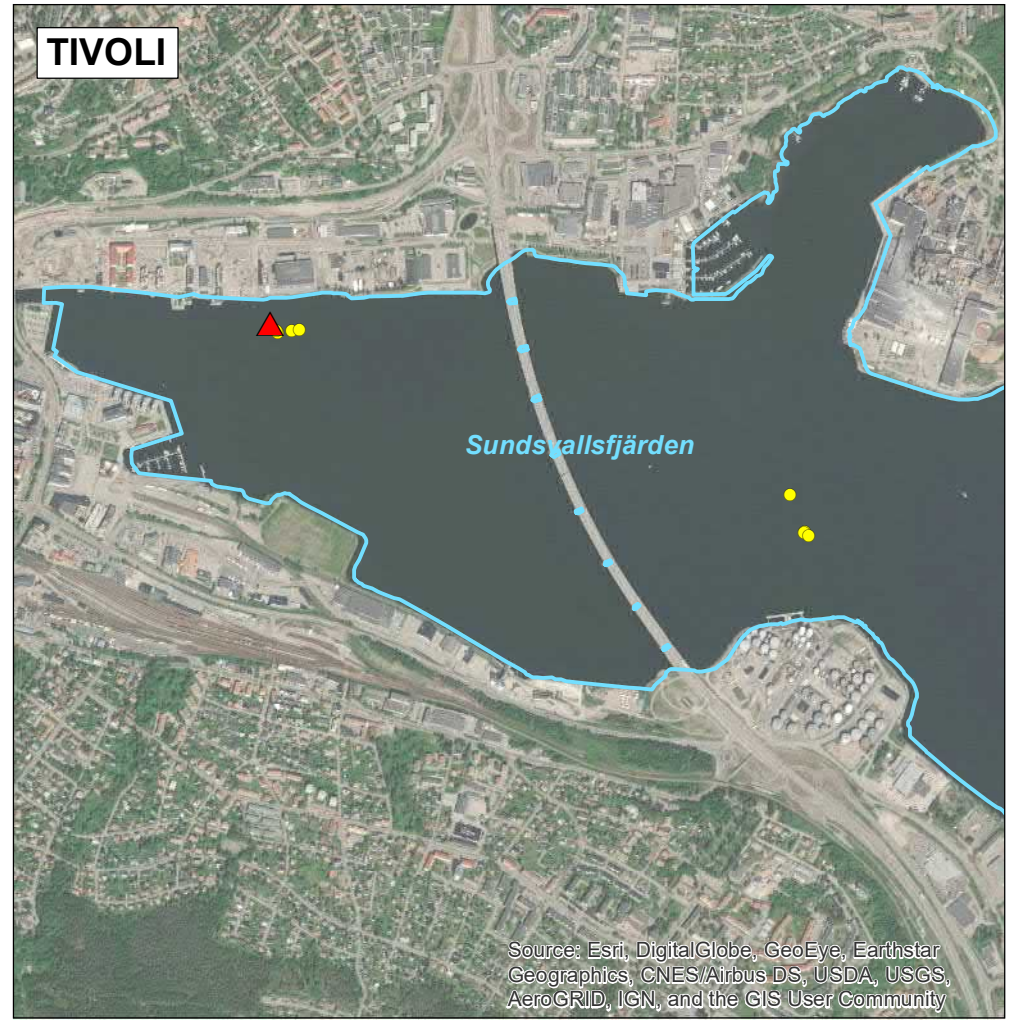
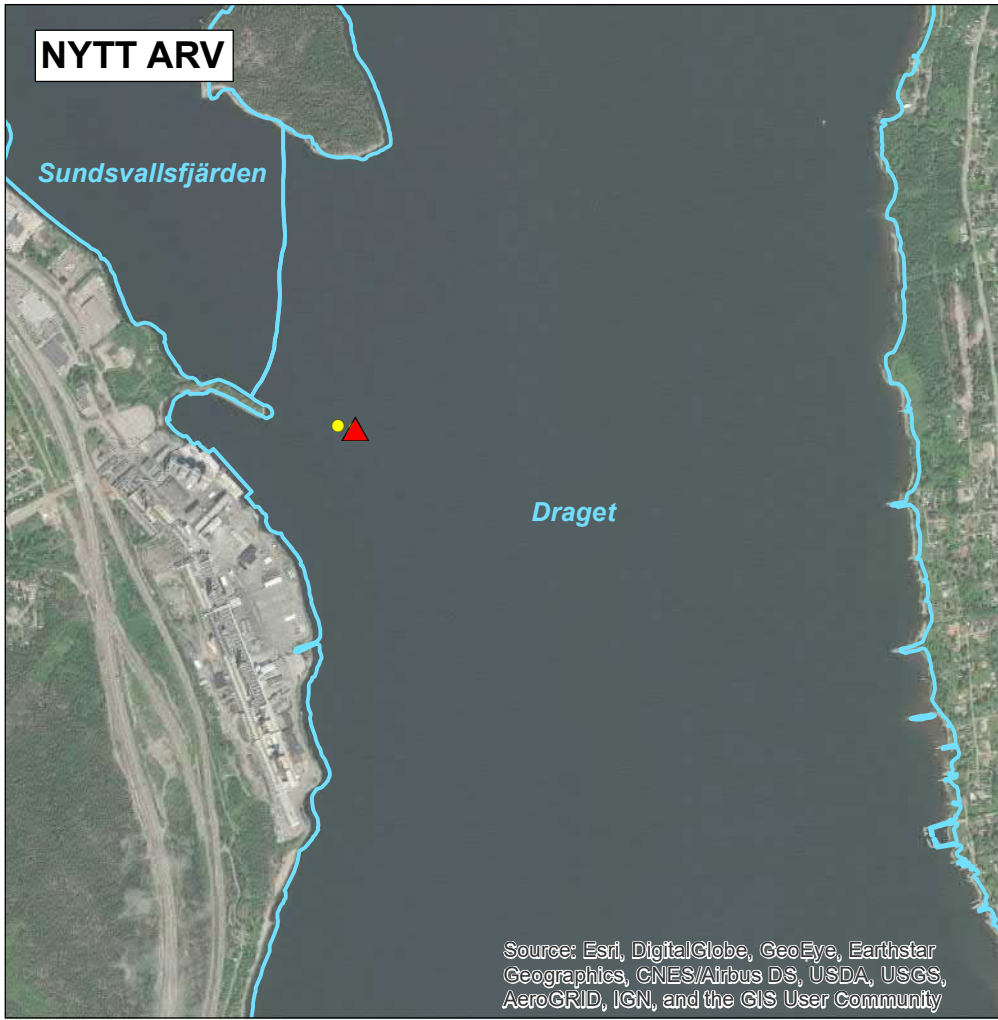


**BEFINTLIGA ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (3C) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Diclofenac - vattenvolymer med beräknade halter över HVMFS 2019:25 (10ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	0	0	0	0	0
Andel av berörd vattenförekomst	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-

**Visualisering - Vinter, Botten**



- ▲ Utsläppspunkt
- Provtagningsposition
- Vattenförekomst



Datum: 2020-06-24

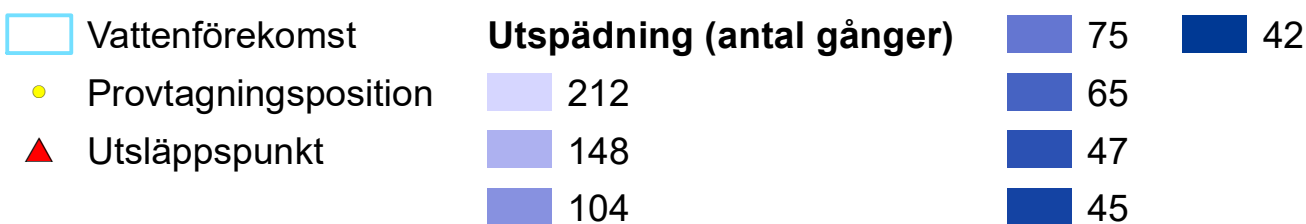
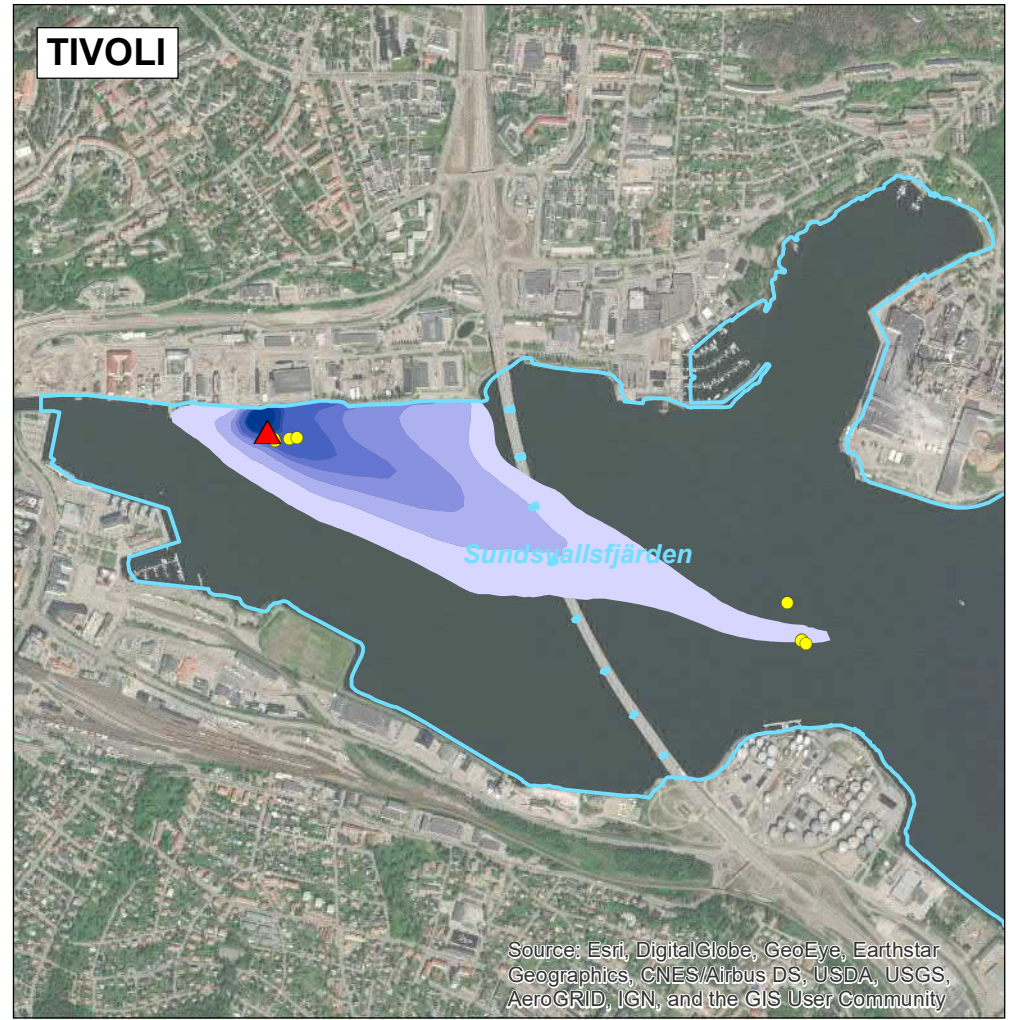
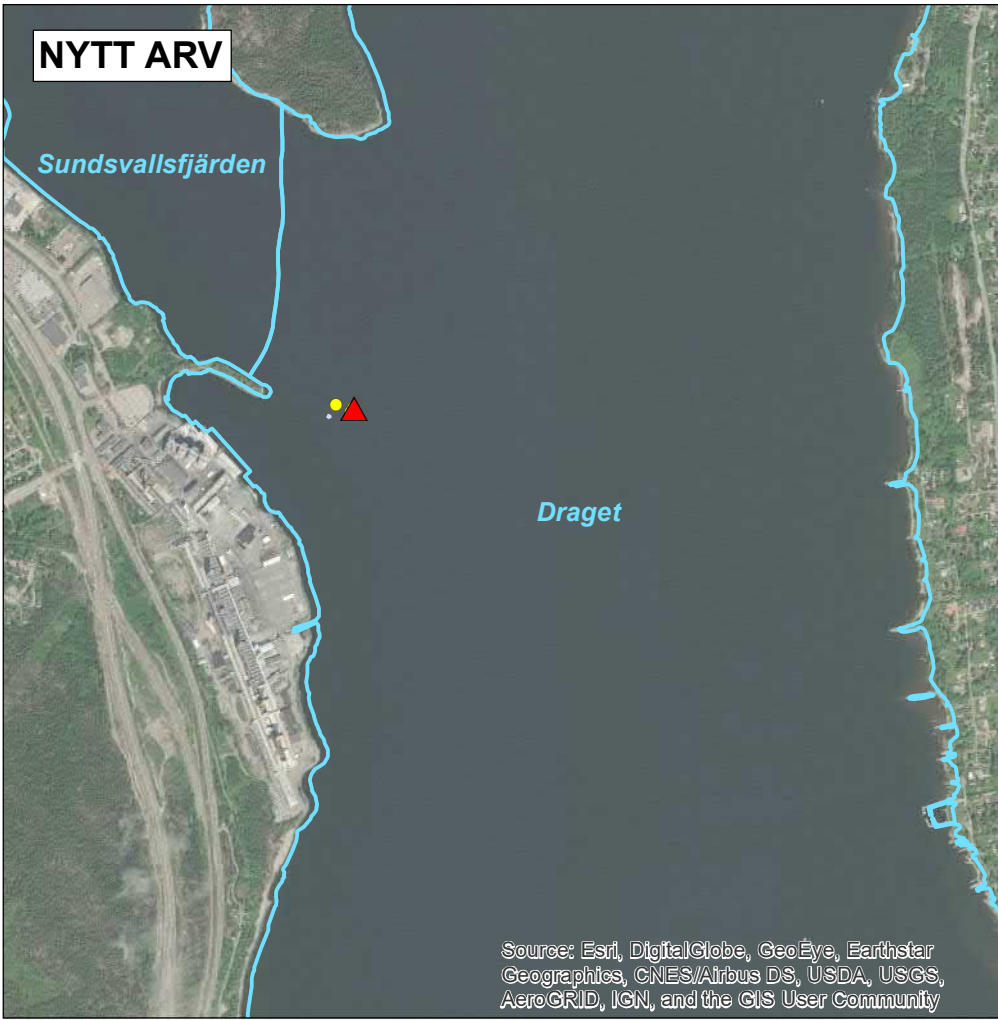


**BEFINTLIGA ARV UTAN KVÄVERENING (3A) SAMT MED KVÄVERENING (3B) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A)**

**Oxazepam - vattenvolymer med beräknade halter över PNEC (IVL) (10 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	1097000	3061000	189000	0	3250000
Andel av berörd vattenförekomst	0.24%	8.65%	0.09%	0.00%	-

**Visualisering - Sommar, Yta**



Datum: 2020-06-24



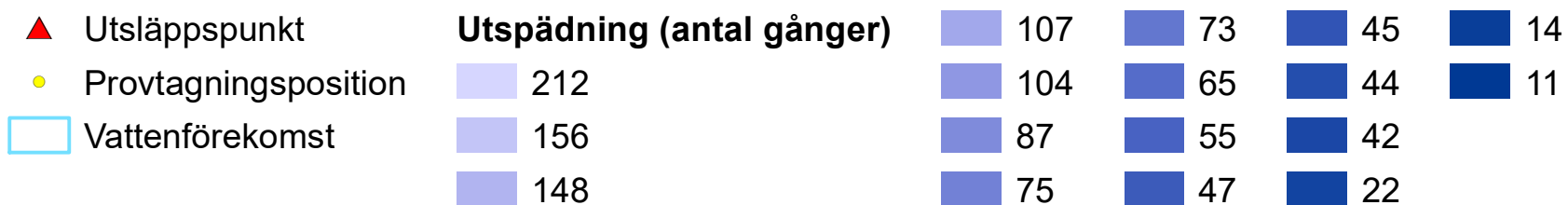
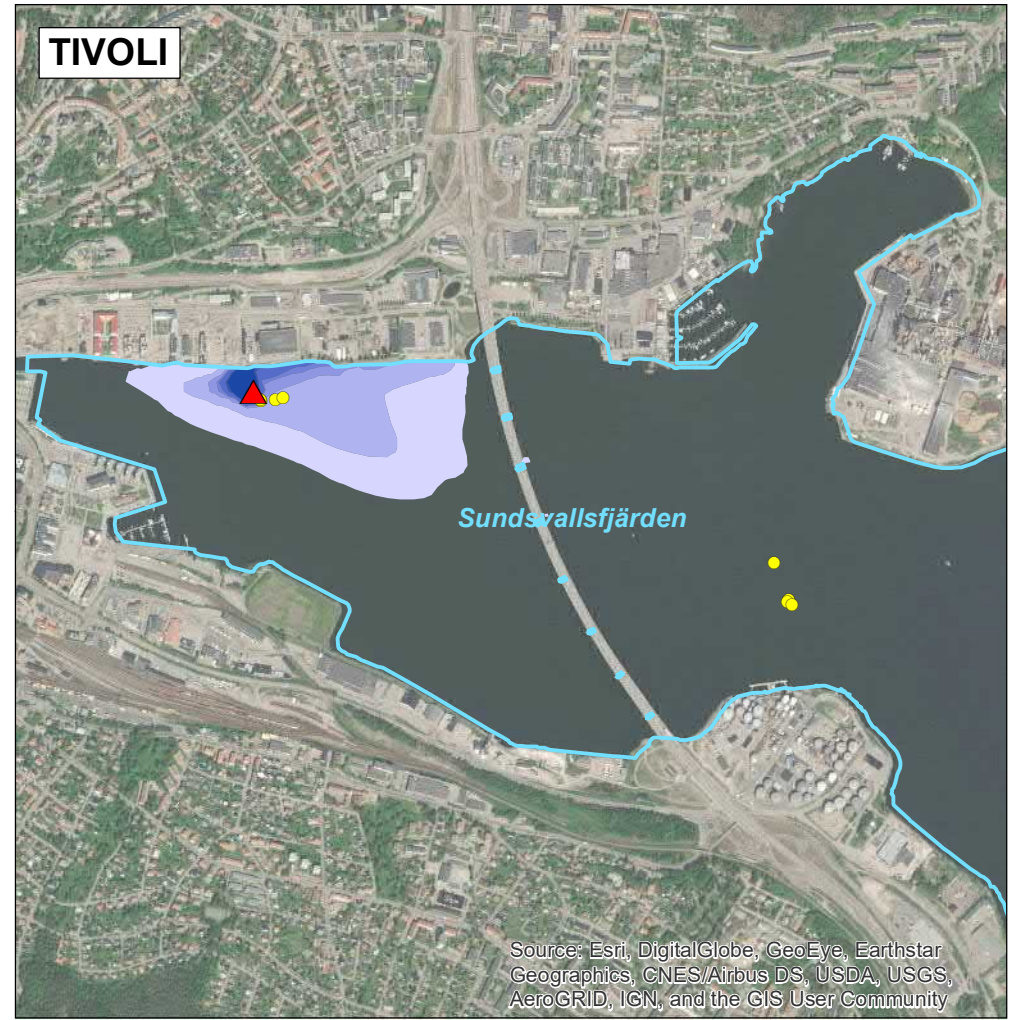
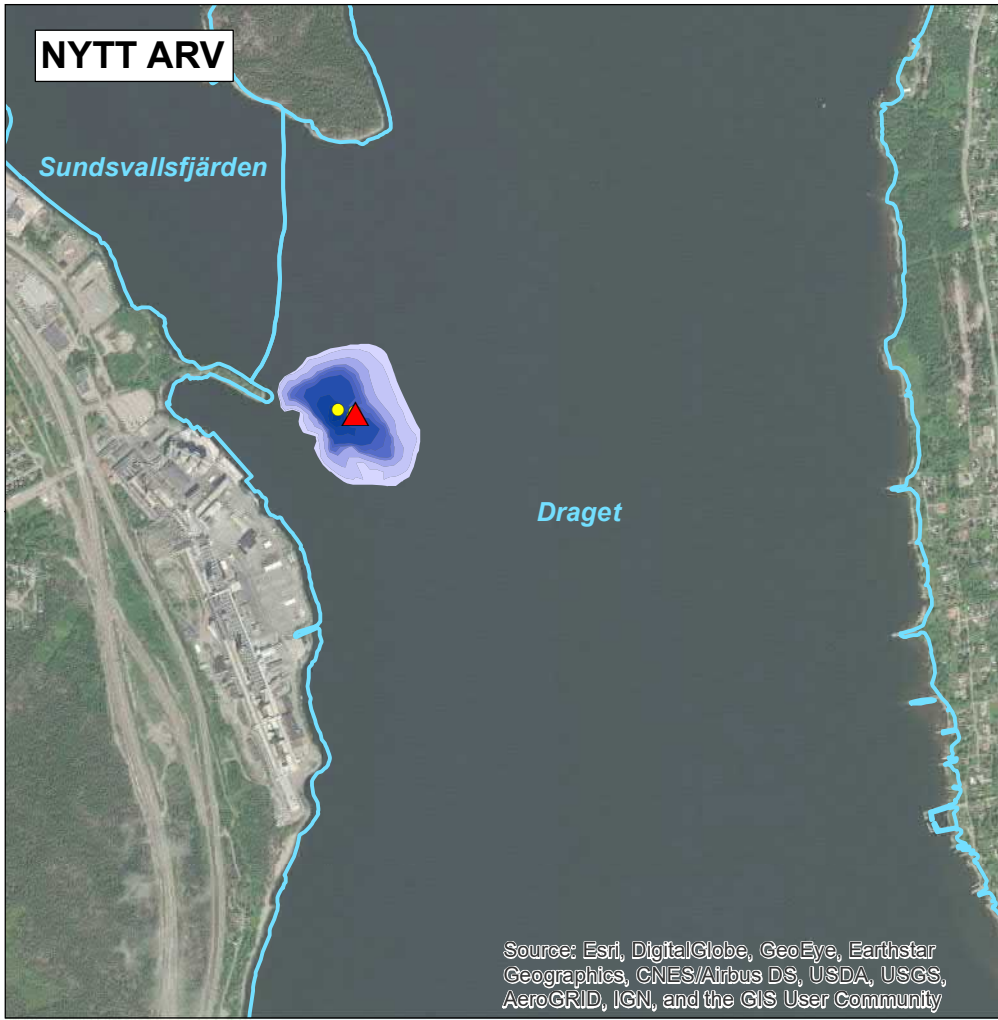


**BEFINTLIGA ARV UTAN KVÄVERENING (3A) SAMT MED KVÄVERENING (3B) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A)**

**Oxazepam - vattenvolymer med beräknade halter över PNEC (IVL) (10 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	1097000	3061000	189000	0	3250000
Andel av berörd vattenförekomst	0.24%	8.65%	0.09%	0.00%	-

**Visualisering - Sommar, Botten**



Datum: 2020-06-24

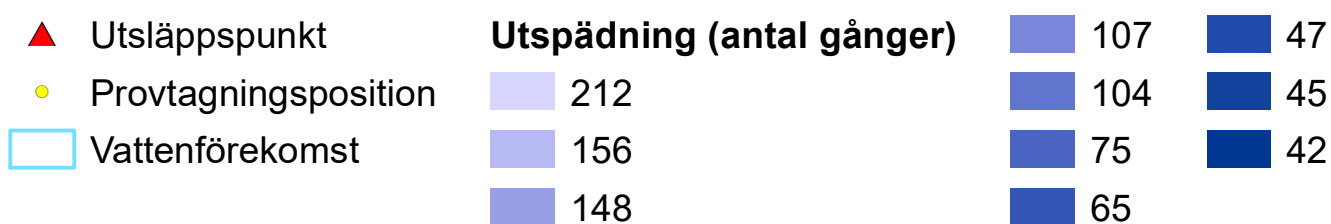
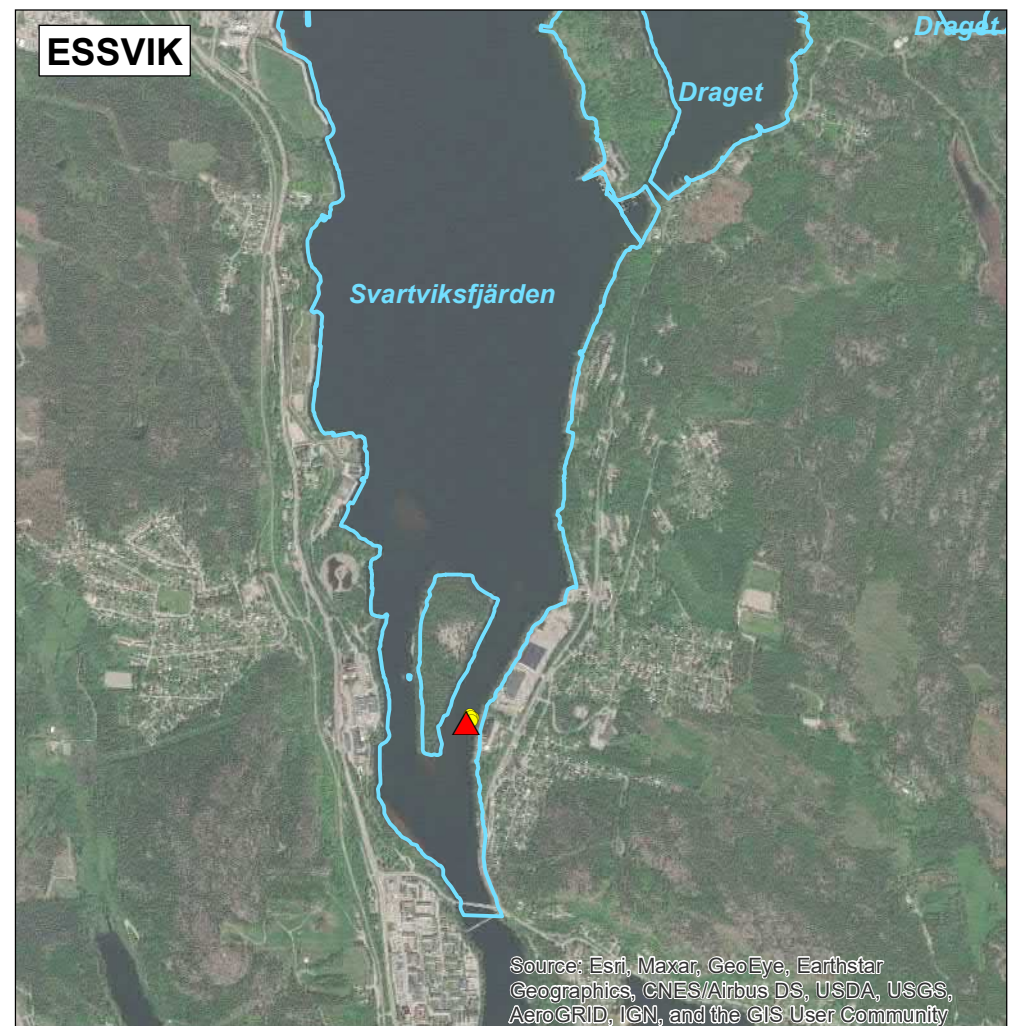
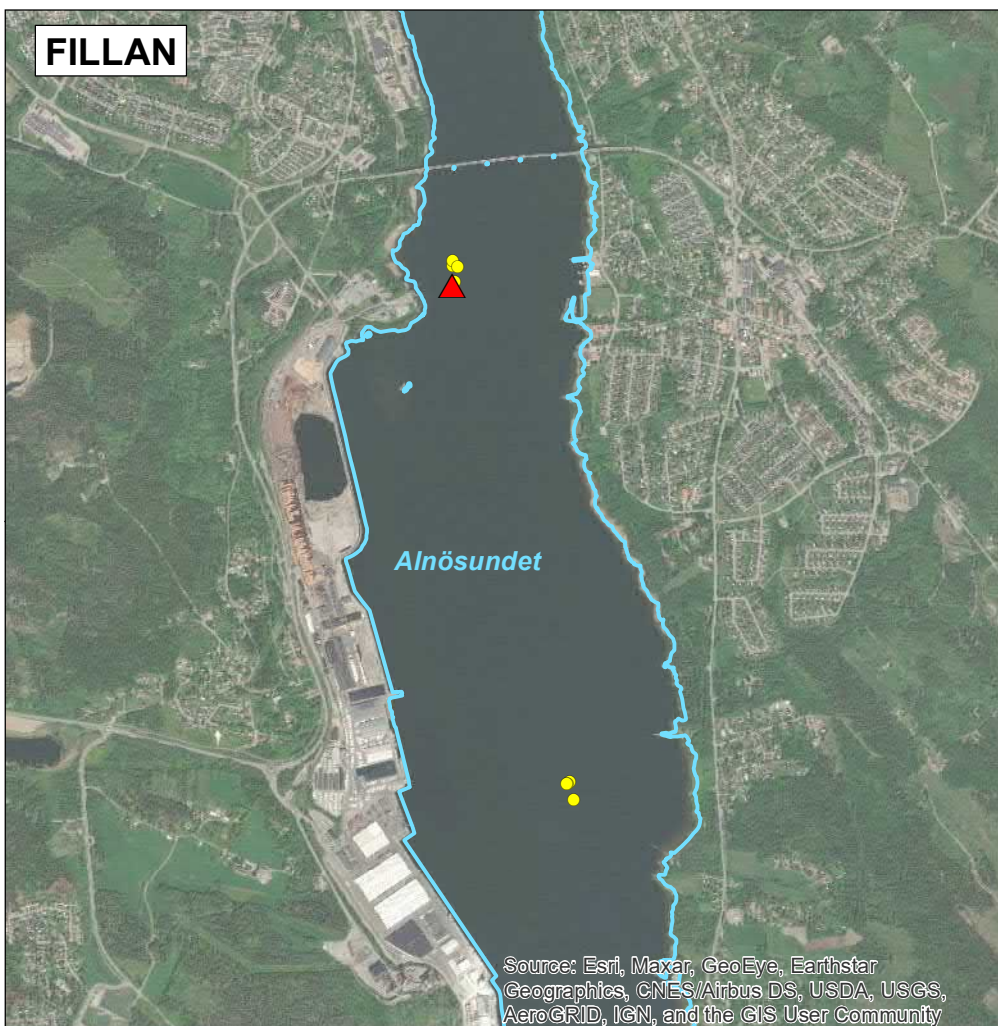
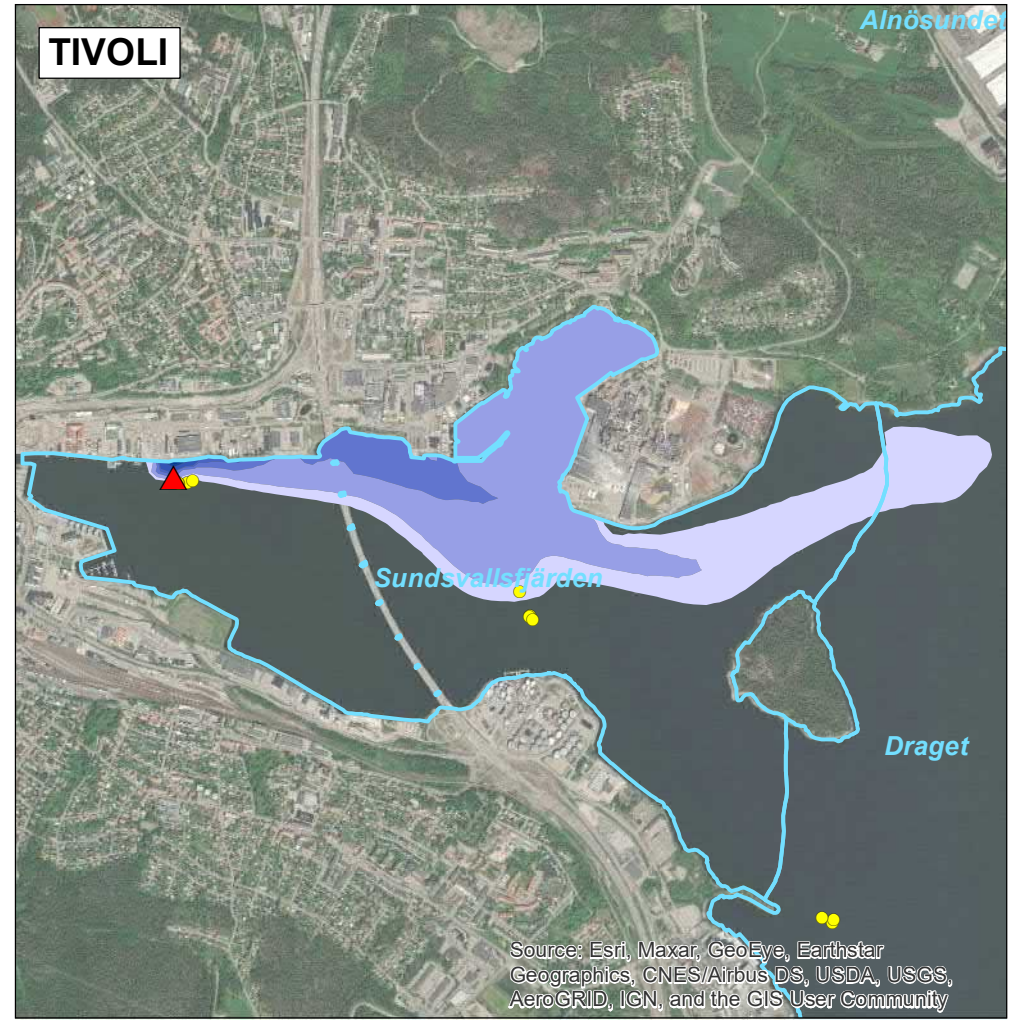
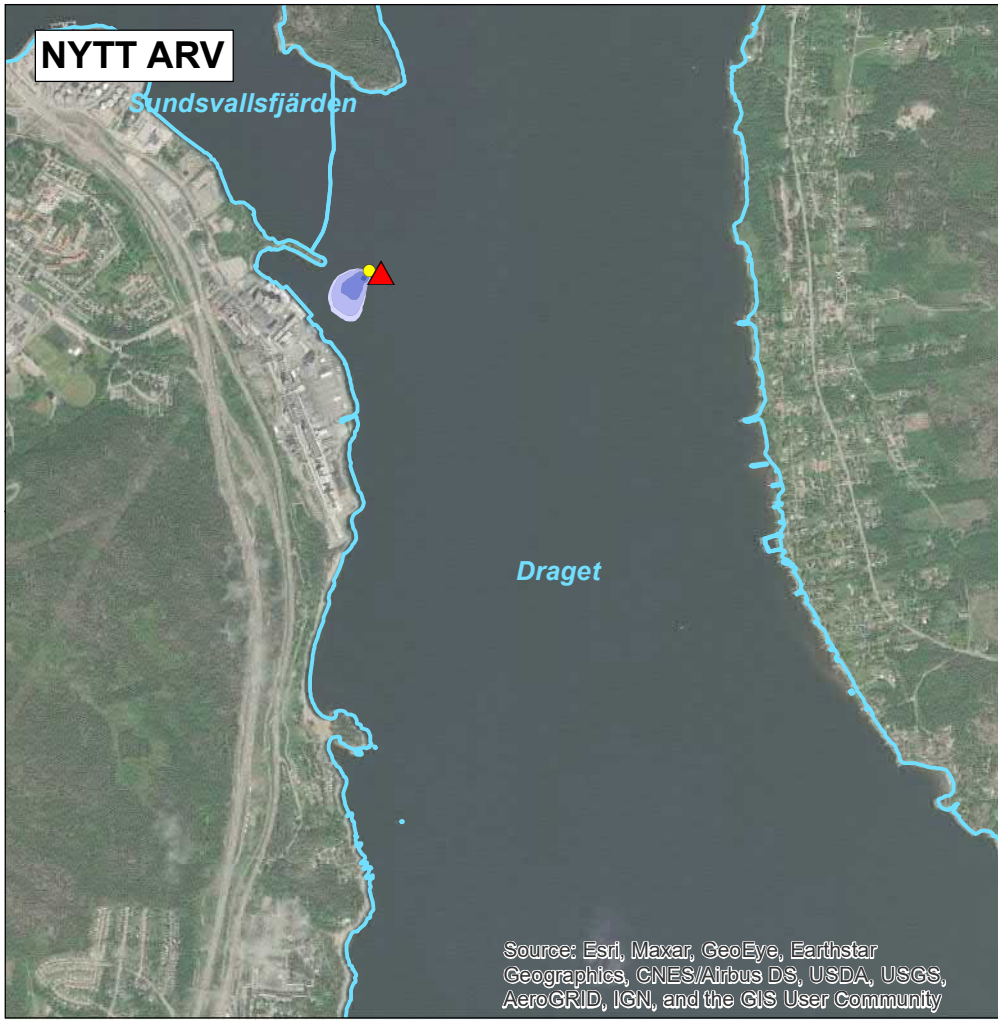


**BEFINTLIGA ARV UTAN KVÄVERENING (3A) SAMT MED KVÄVERENING (3B) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A)**

**Oxazepam - vattenvolymer med beräknade halter över PNEC (IVL) (10 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	1454000	5035000	235000	0	5270000
Andel av berörd vattenförekomst	0,32%	14,22%	0,11%	0,00%	-

**Visualisering - Vinter, Yta**



Datum: 2020-06-25

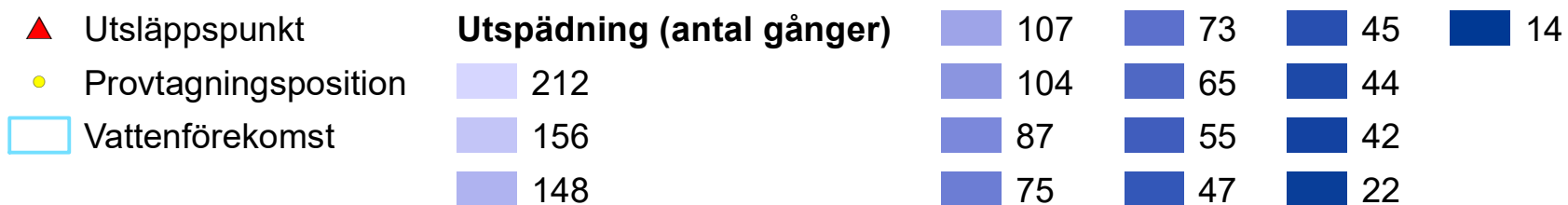
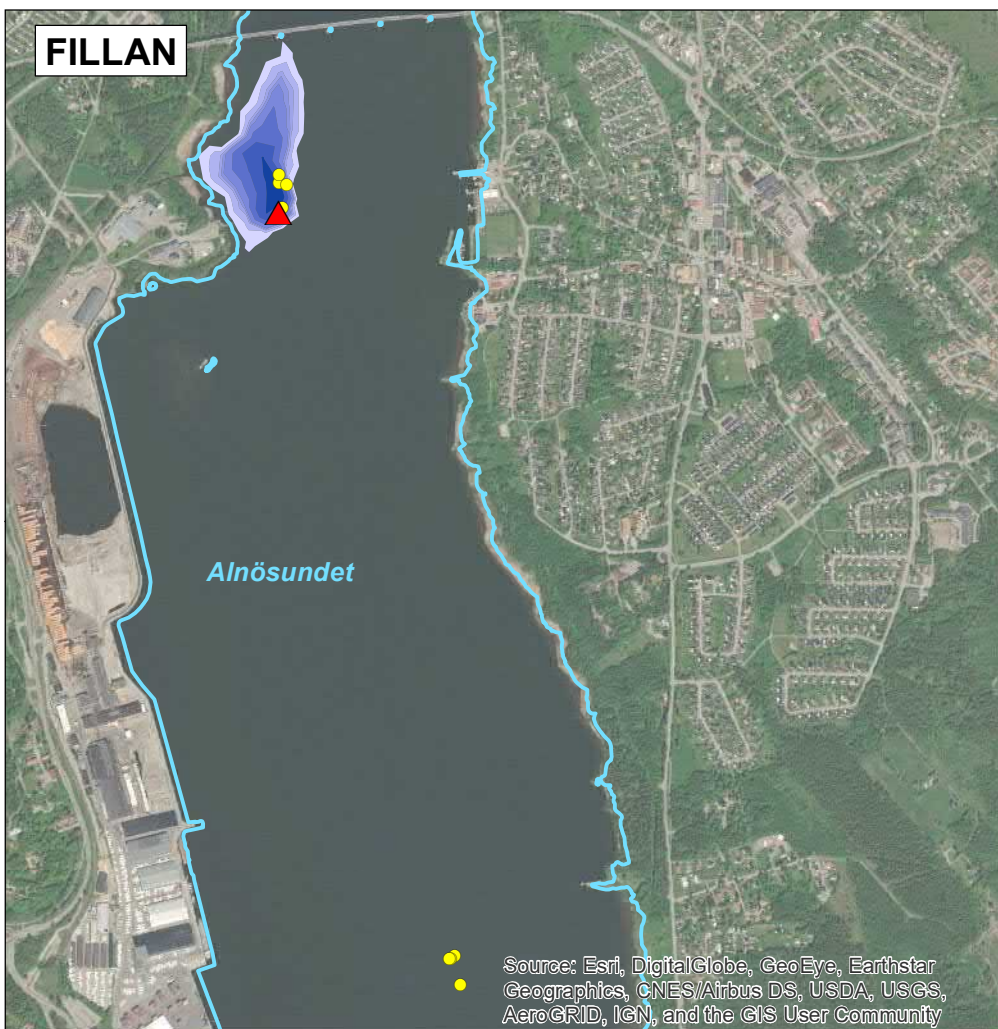
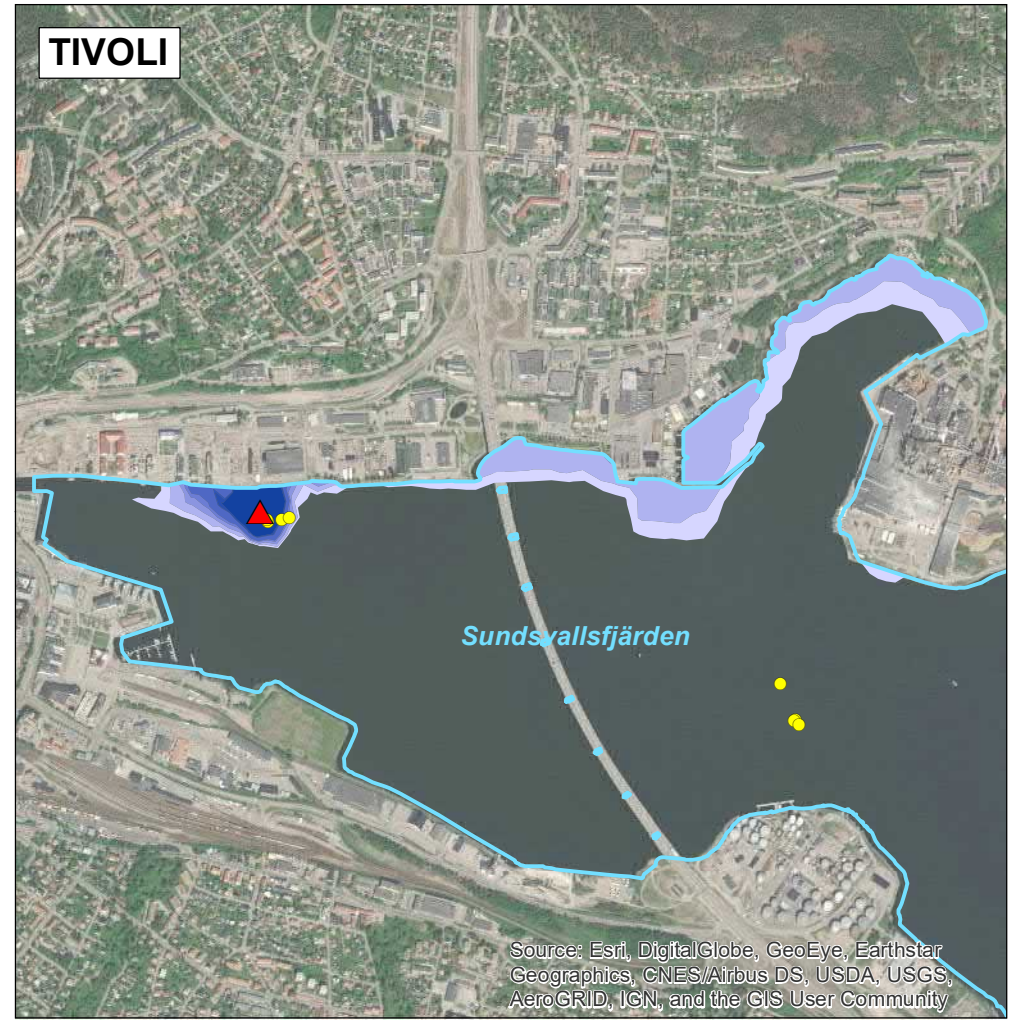
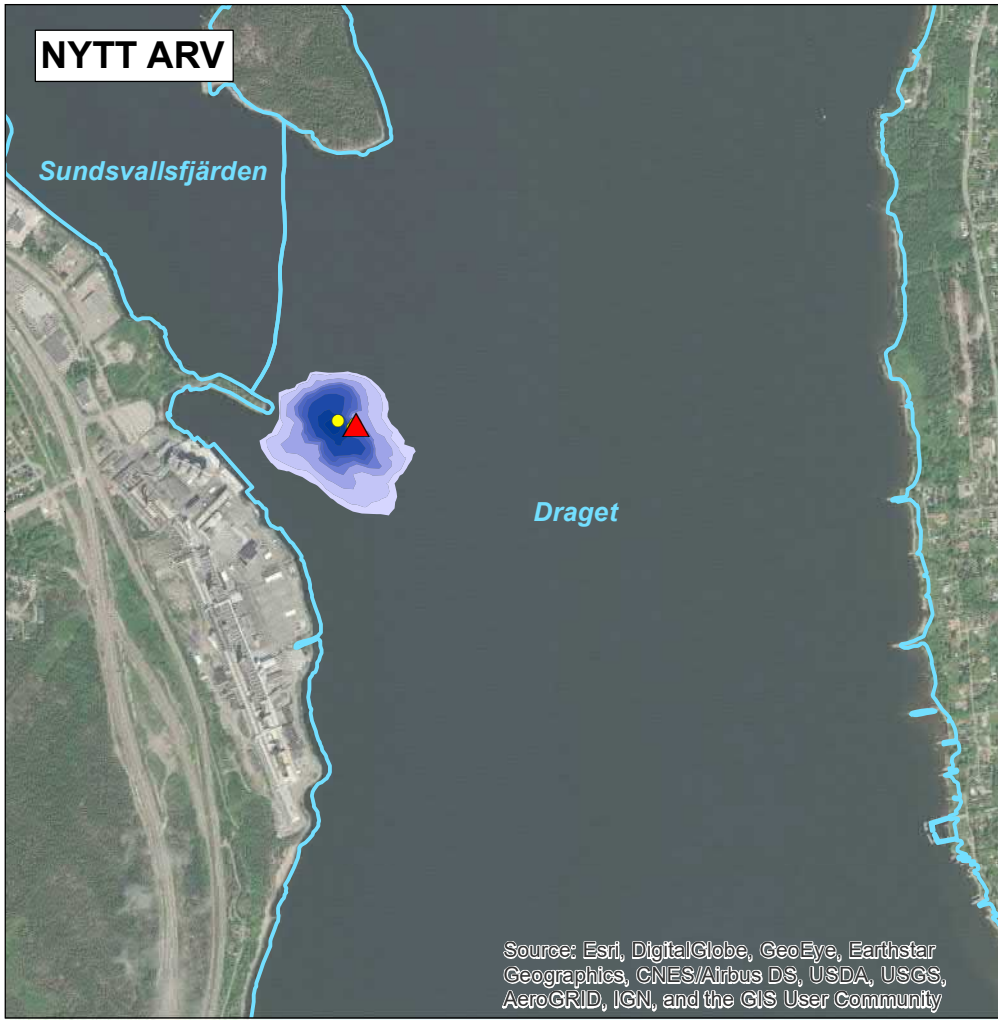


**BEFINTLIGA ARV UTAN KVÄVERENING (3A) SAMT MED KVÄVERENING (3B) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A)**

**Oxazepam - vattenvolymer med beräknade halter över PNEC (IVL) (10 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	1454000	5035000	235000	0	5270000
Andel av berörd vattenförekomst	0,32%	14,22%	0,11%	0,00%	-

**Visualisering - Vinter, Botten**



Datum: 2020-06-26

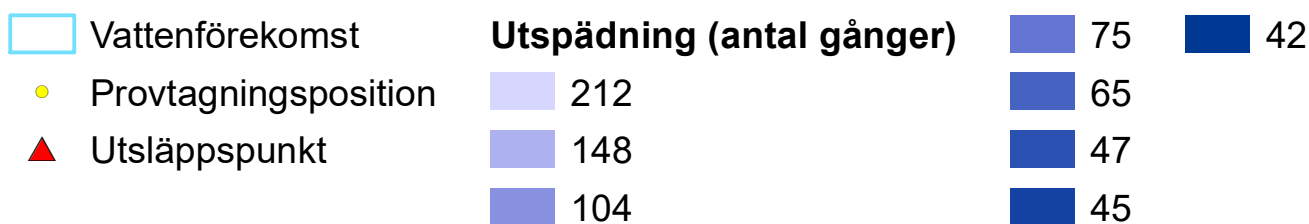
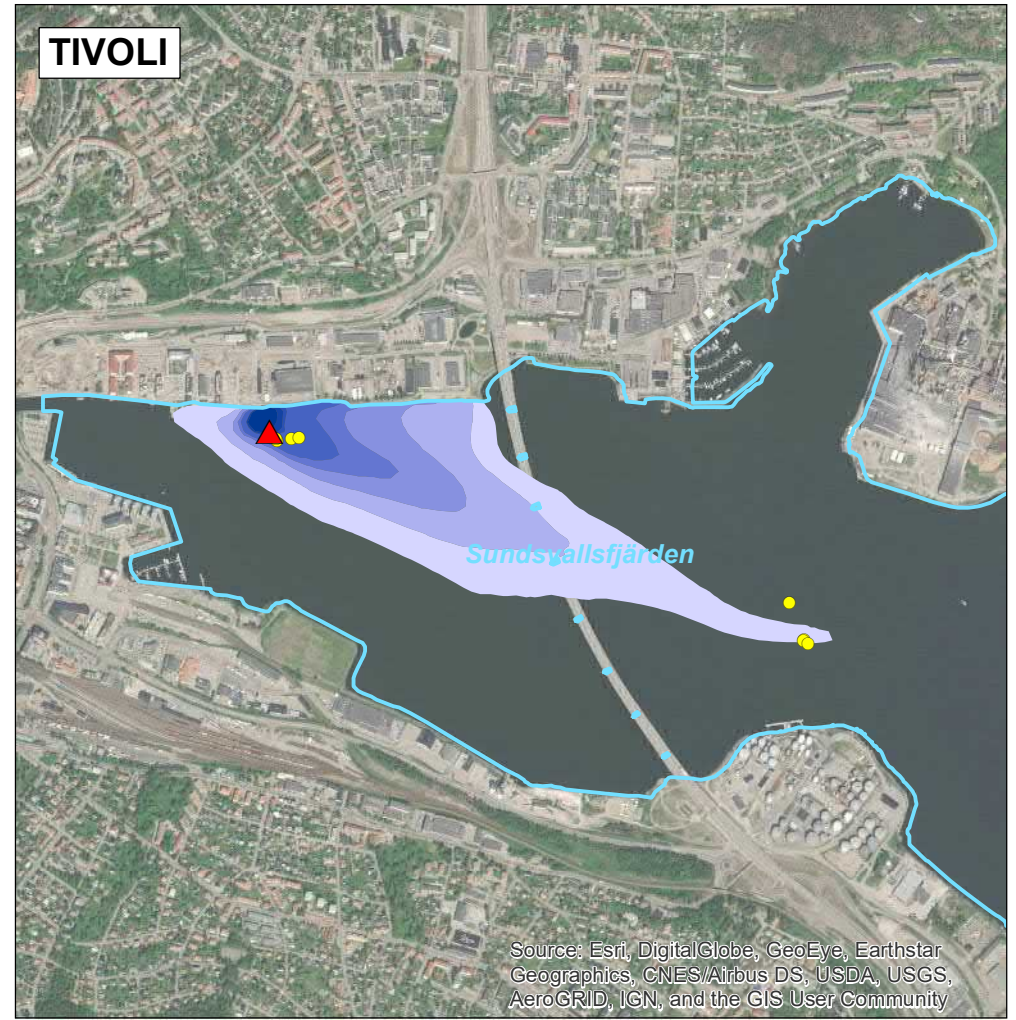
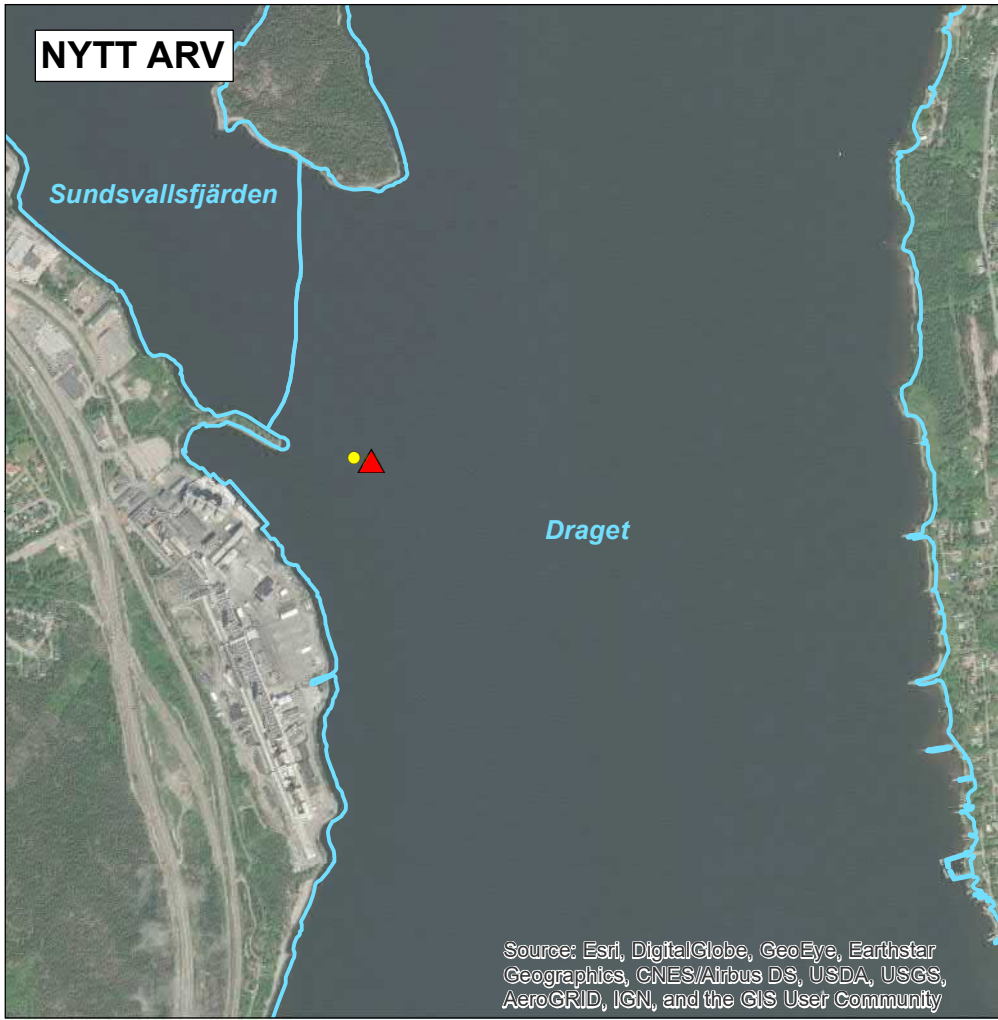


**BEFINTLIGA ARV UTAN KVÄVERENING (3A) SAMT MED KVÄVERENING (3B) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Oxazepam - vattenvolymer med beräknade halter över PNEC (IVL) (10 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	78000	3061000	189000	0	3250000
Andel av berörd vattenförekomst	0,02%	8,65%	0,09%	0,00%	-

**Visualisering - Sommar, Yta**



Datum: 2020-06-26

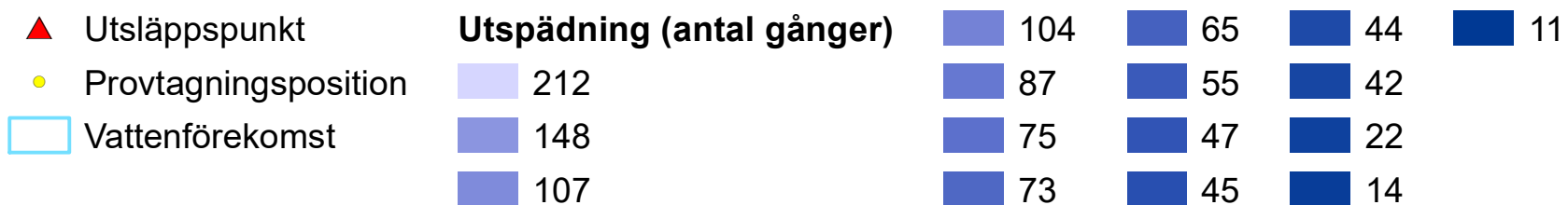
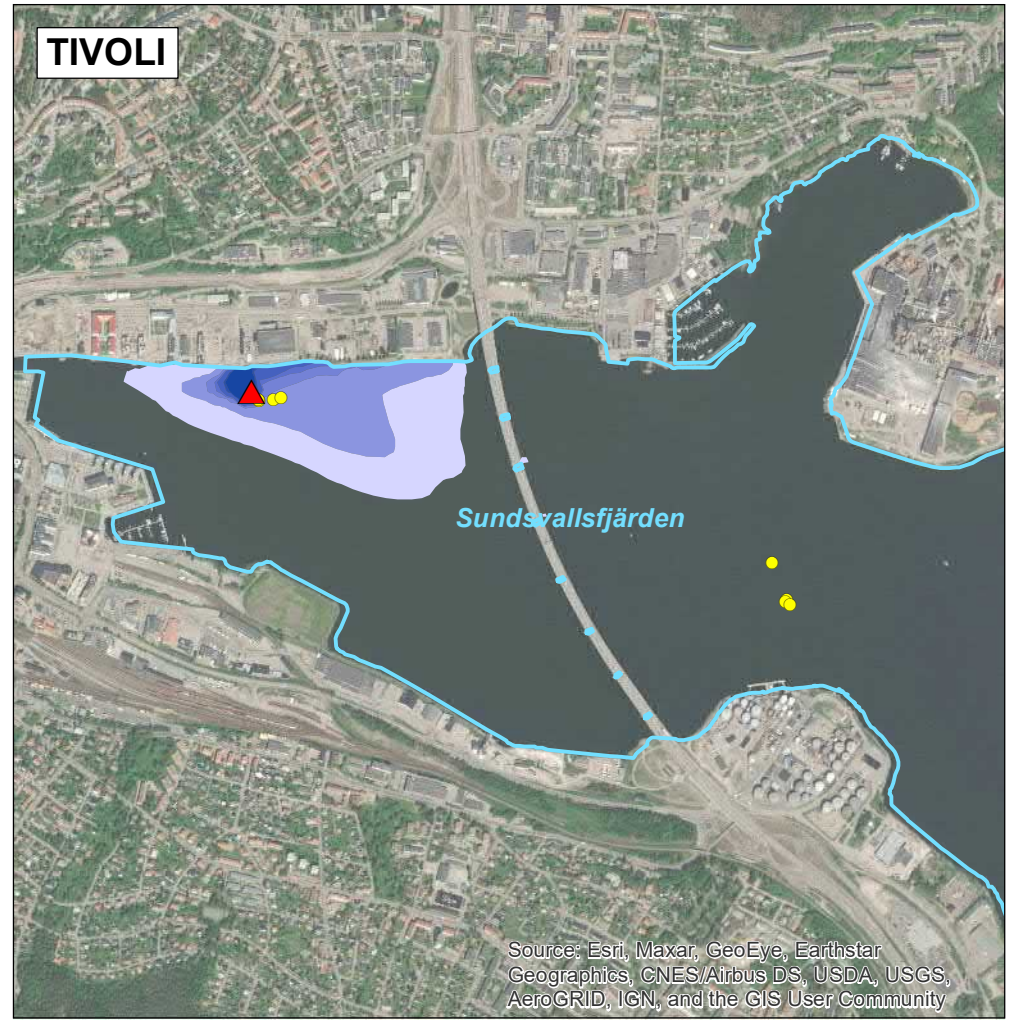
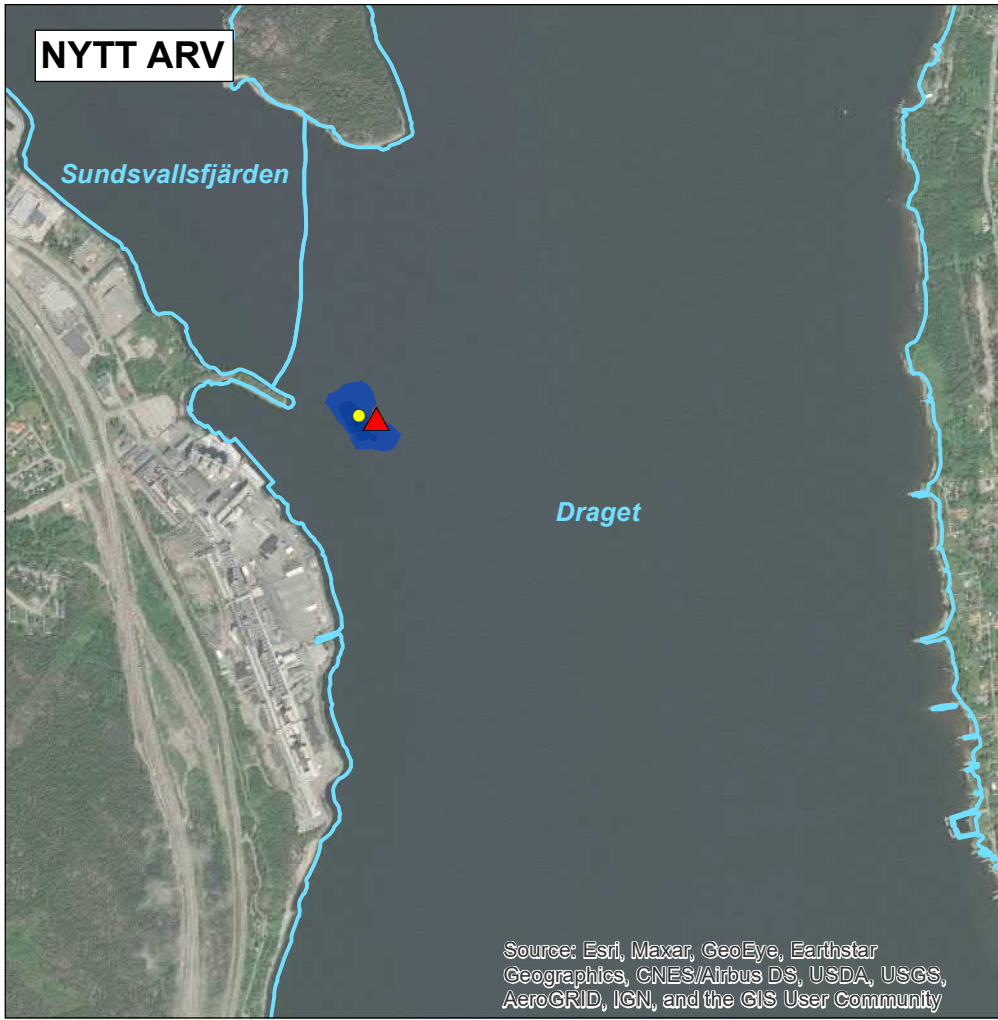


**BEFINTLIGA ARV UTAN KVÄVERENING (3A) SAMT MED KVÄVERENING (3B) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Oxazepam - vattenvolymer med beräknade halter över PNEC (IVL) (10 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	78000	3061000	189000	0	3250000
Andel av berörd vattenförekomst	0,02%	8,65%	0,09%	0,00%	-

**Visualisering - Sommar, Botten**



Datum: 2020-06-25

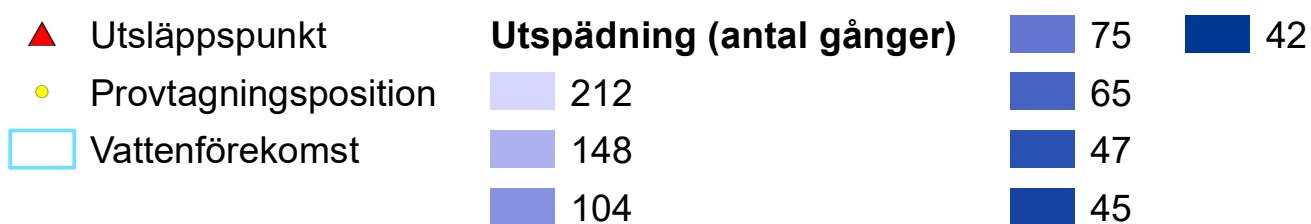
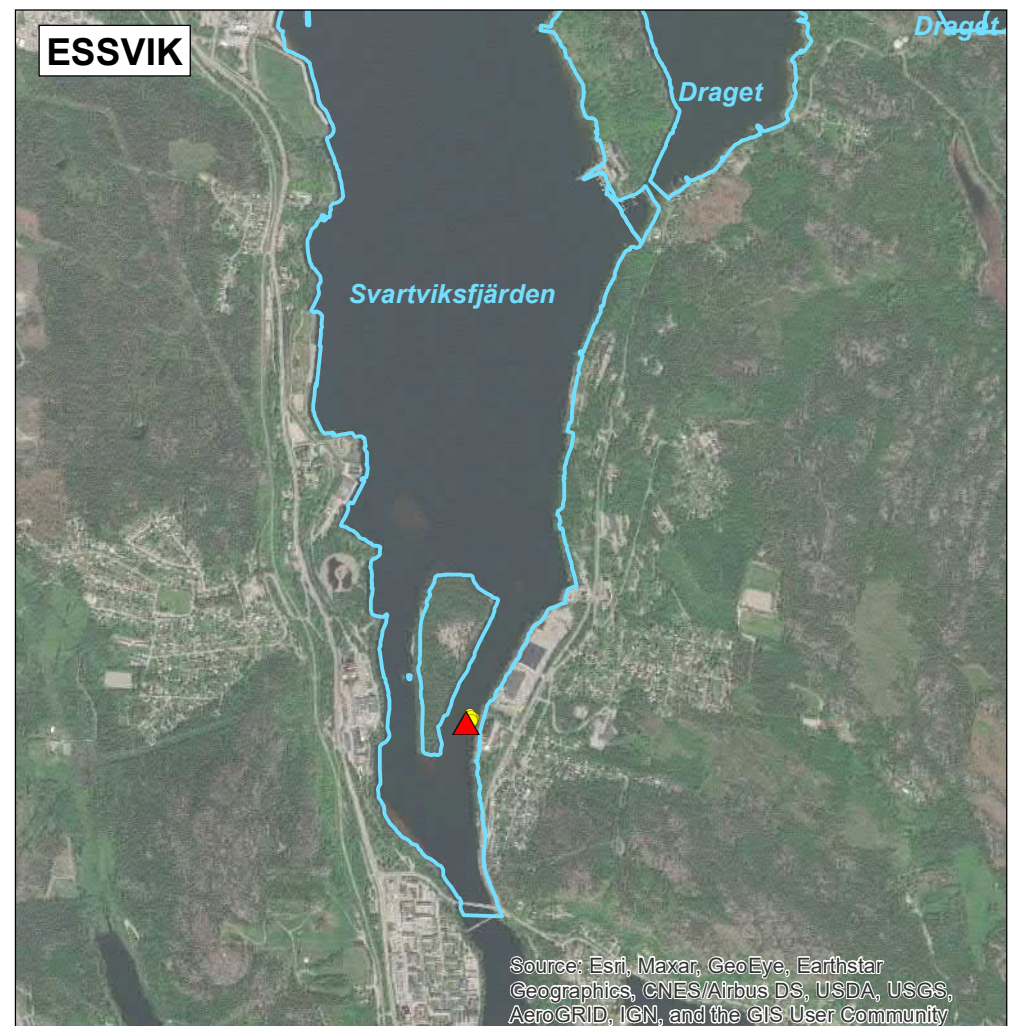
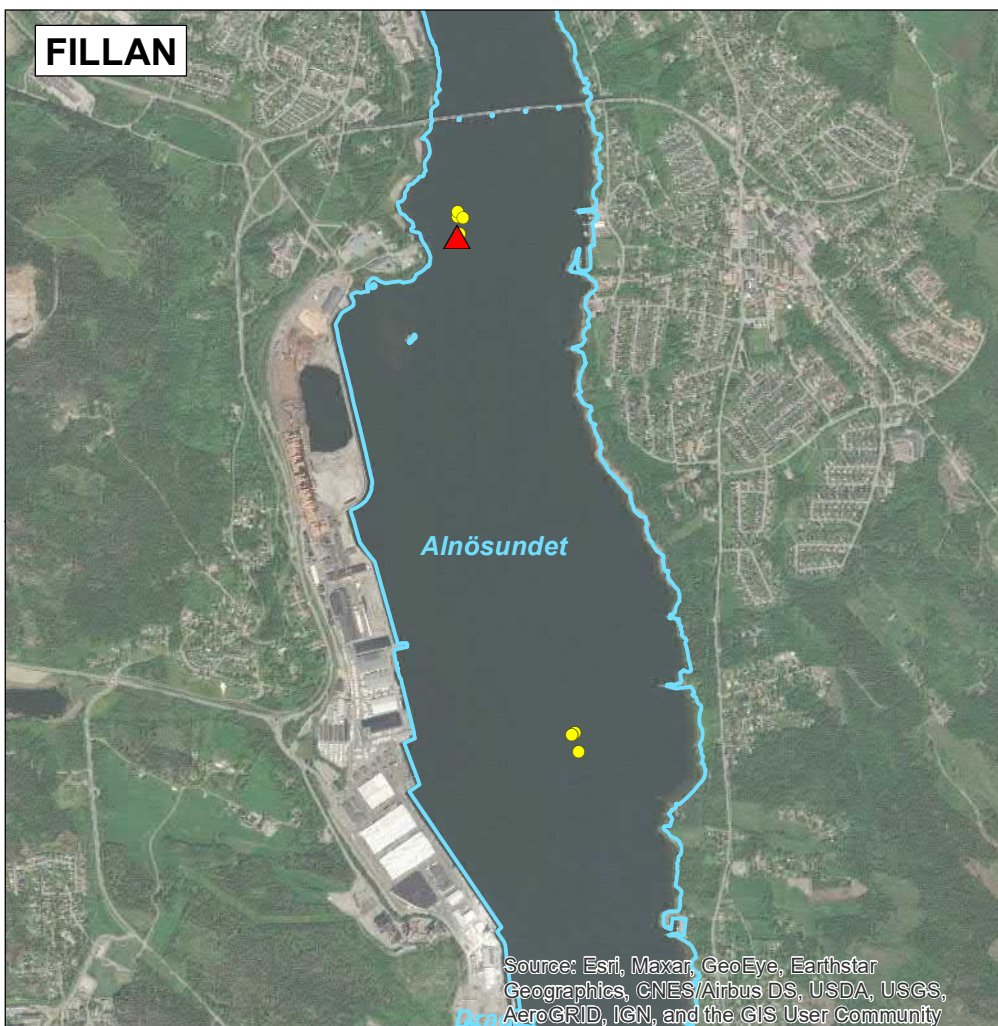
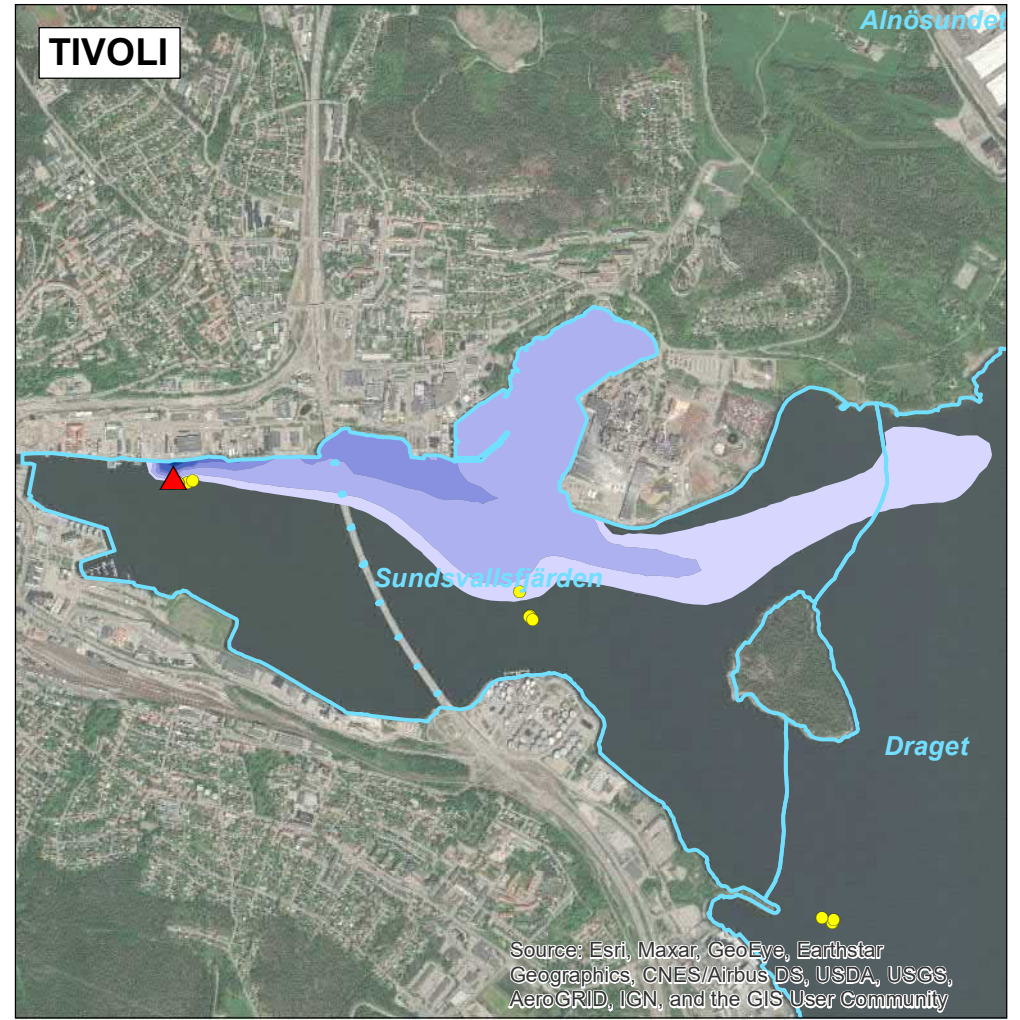
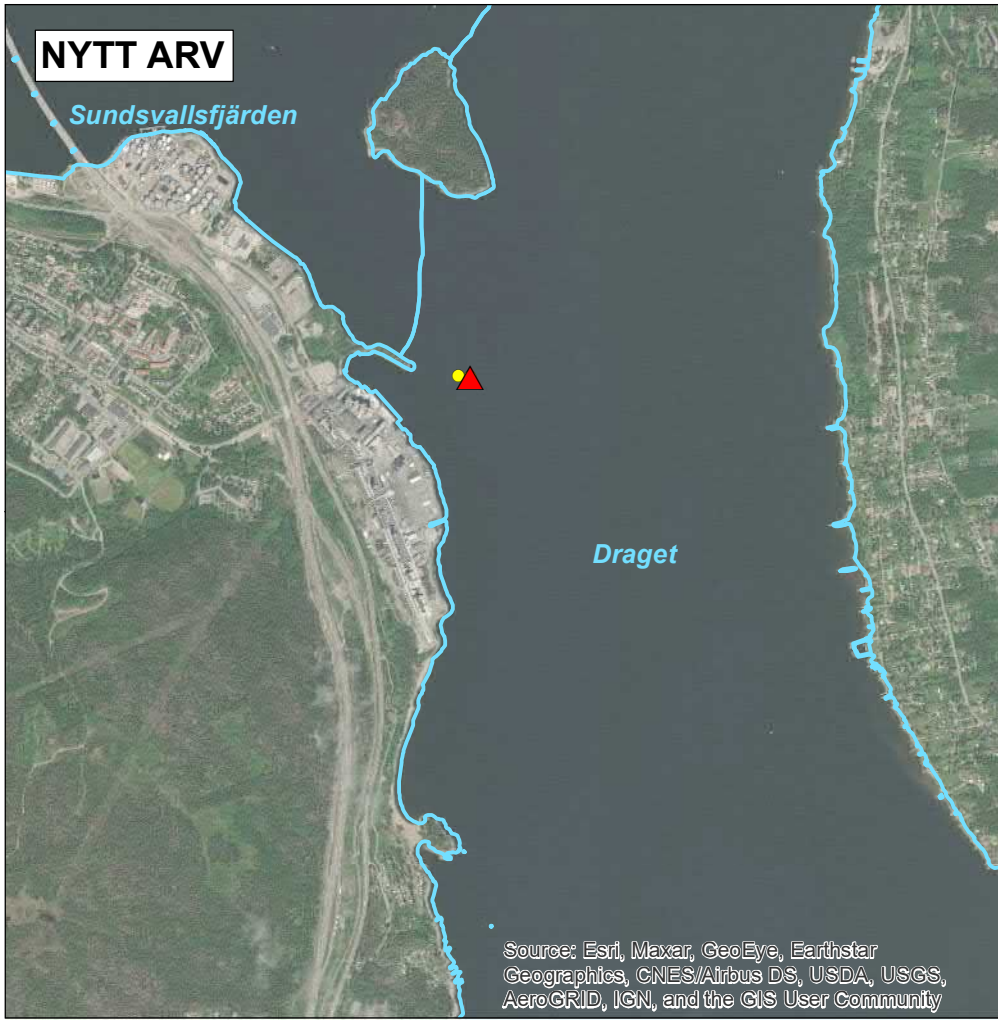


**BEFINTLIGA ARV UTAN KVÄVERENING (3A) SAMT MED KVÄVERENING (3B) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Oxazepam - vattenvolymer med beräknade halter över PNEC (IVL) (10 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	74000	5035000	235000	0	5270000
Andel av berörd vattenförekomst	0,02%	14,22%	0,11%	0,00%	-

**Visualisering - Vinter, Yta**



Datum: 2020-06-25

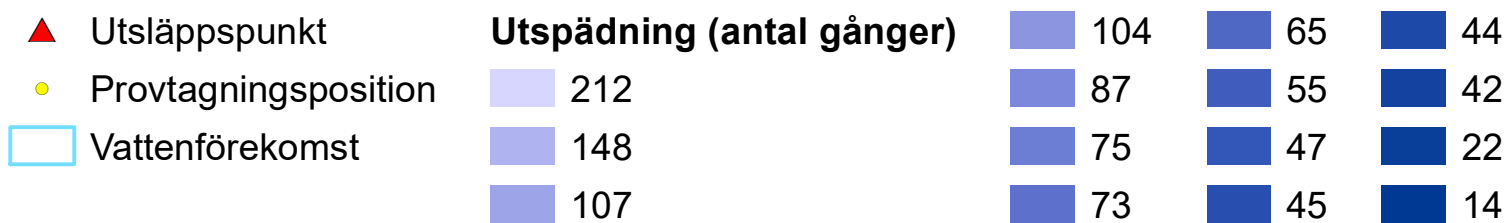
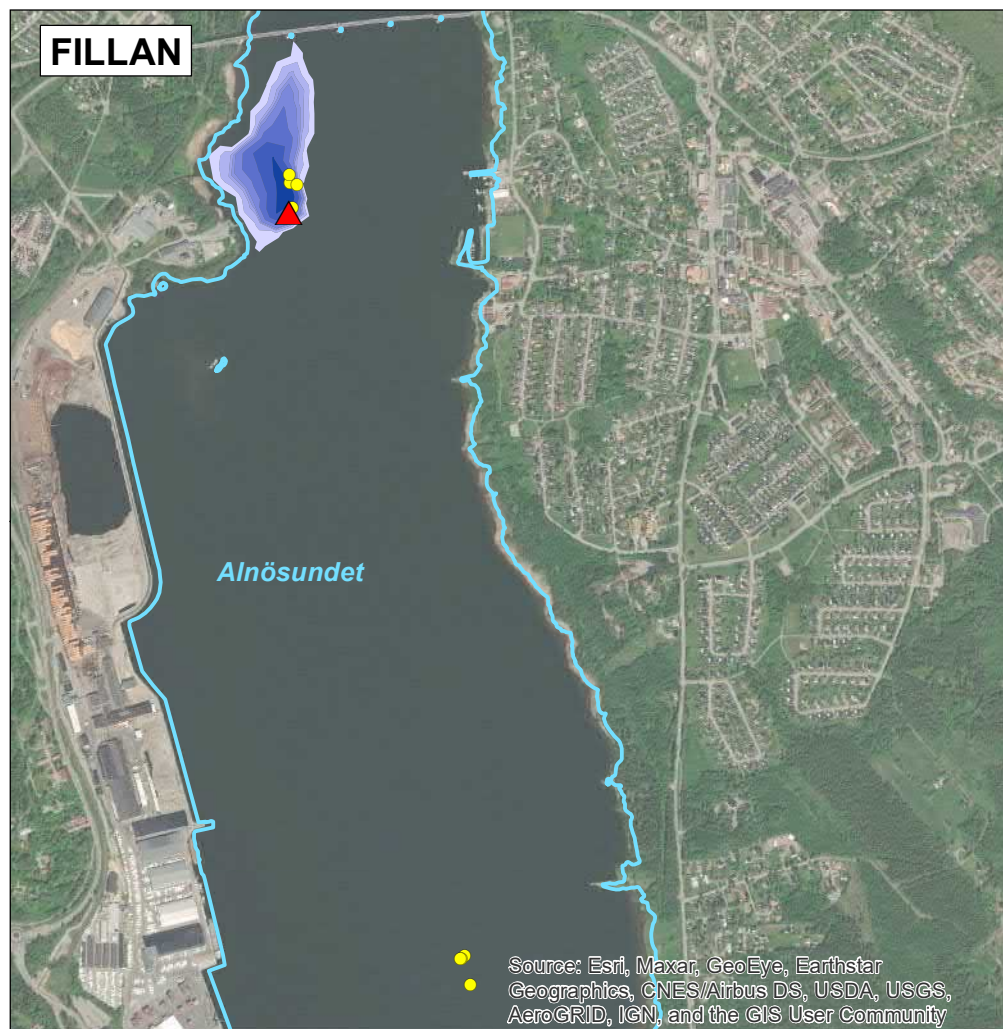
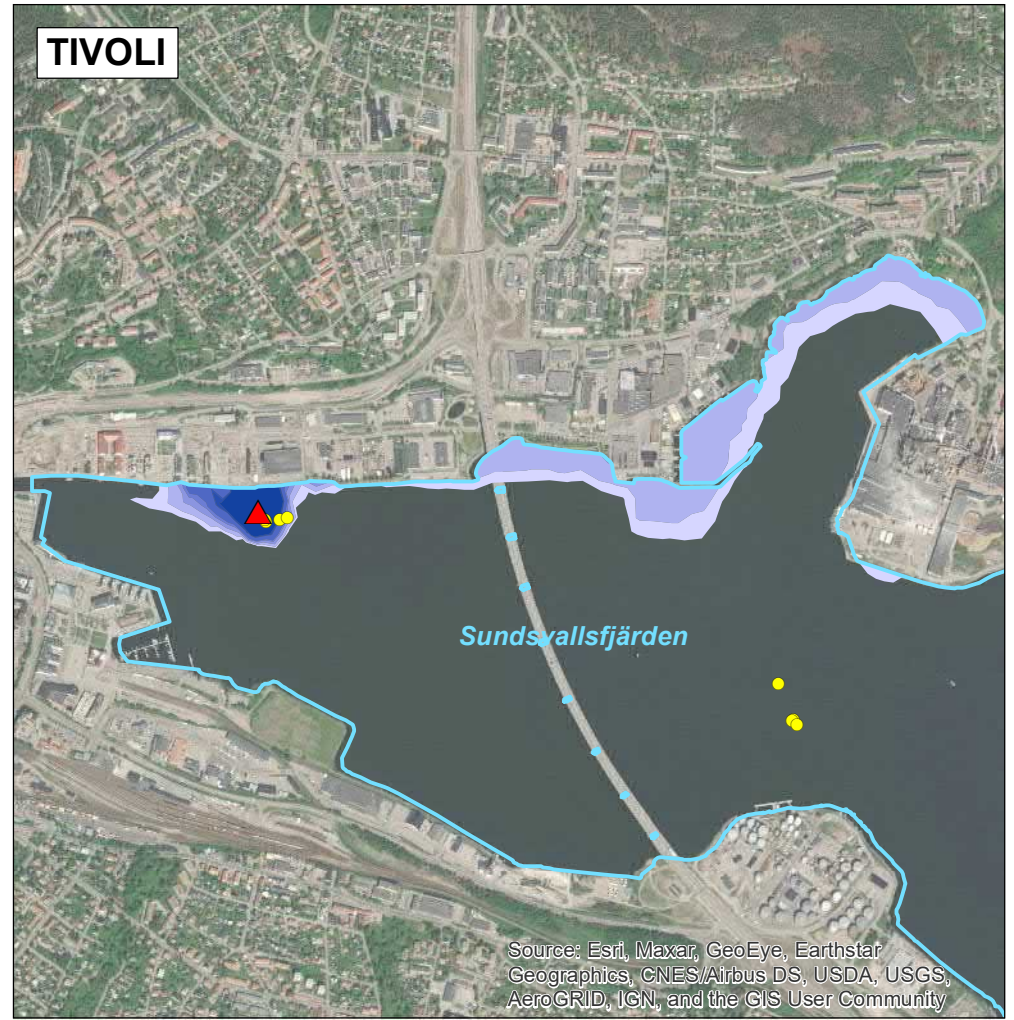
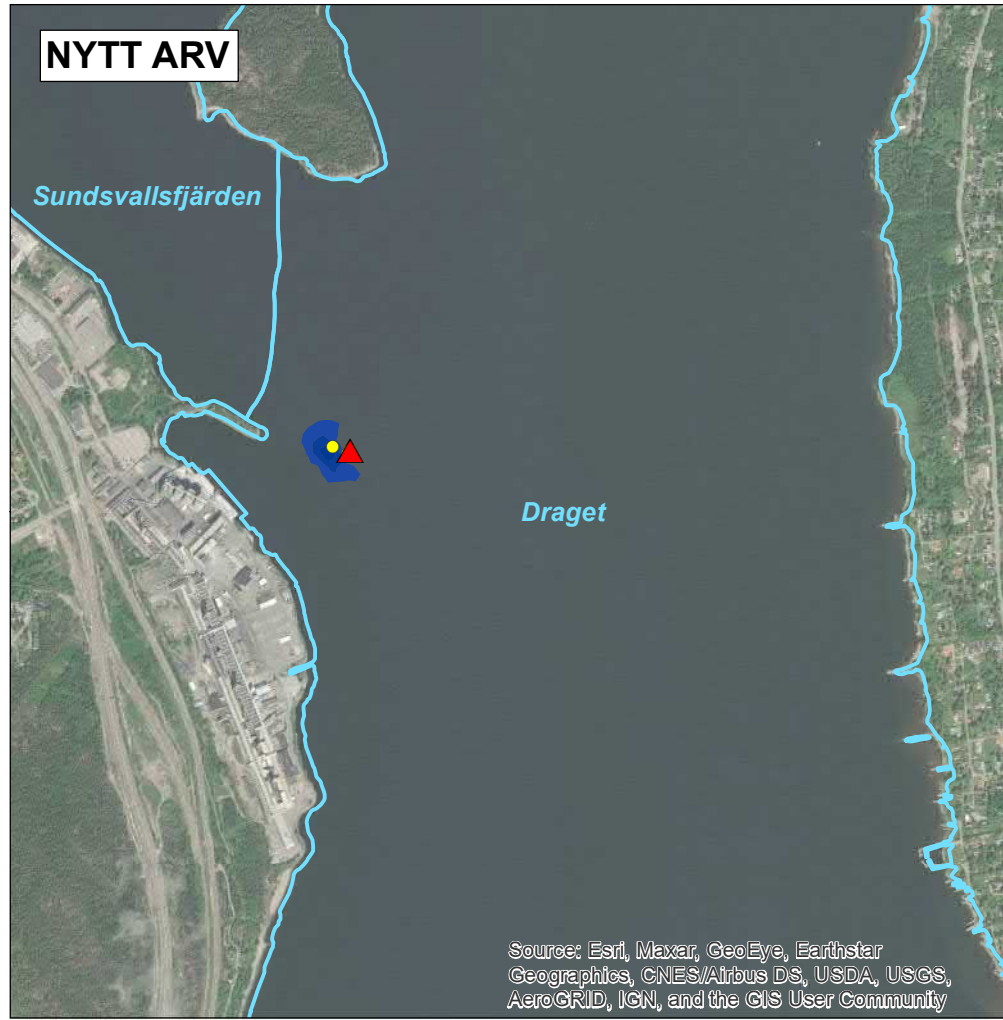


**BEFINTLIGA ARV UTAN KVÄVERENING (3A) SAMT MED KVÄVERENING (3B) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Oxazepam - vattenvolymer med beräknade halter över PNEC (IVL) (10 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	74000	5035000	235000	0	5270000
Andel av berörd vattenförekomst	0,02%	14,22%	0,11%	0,00%	-

**Visualisering - Vinter, Botten**



Datum: 2020-06-25

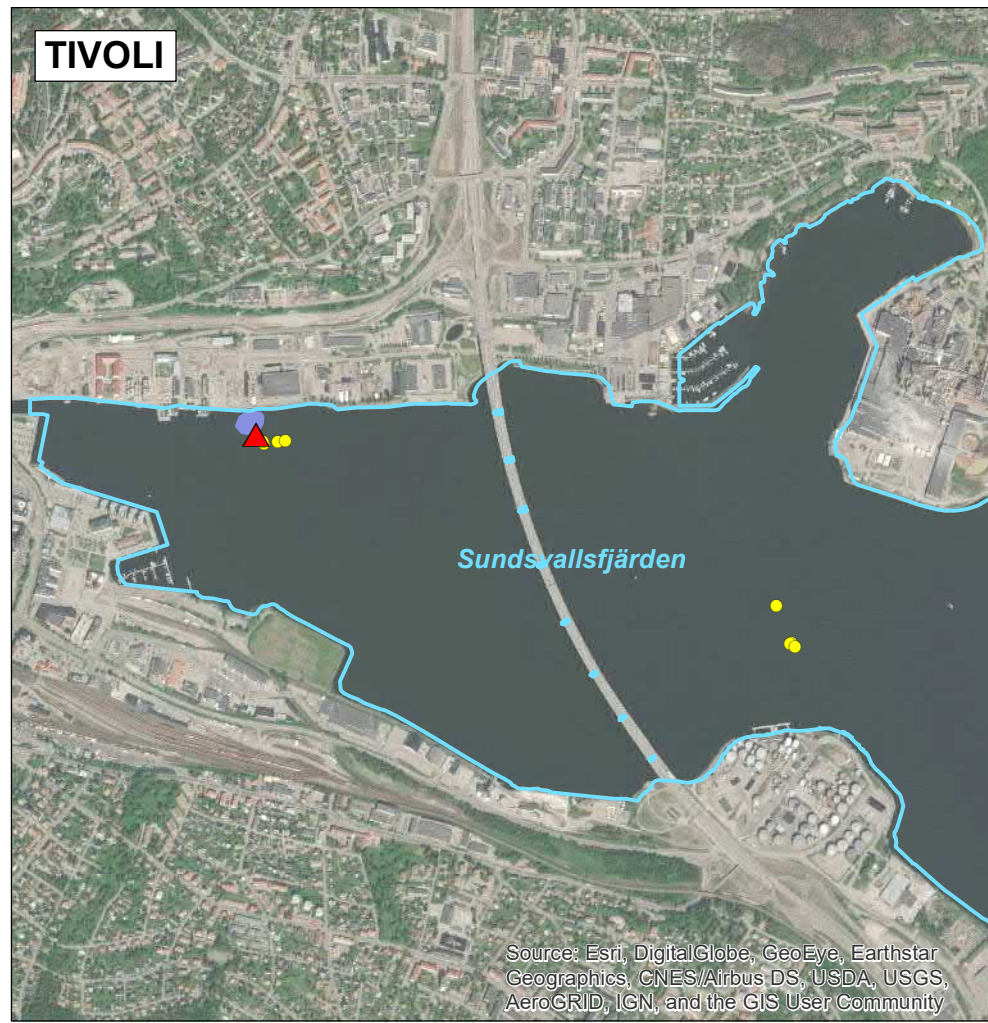
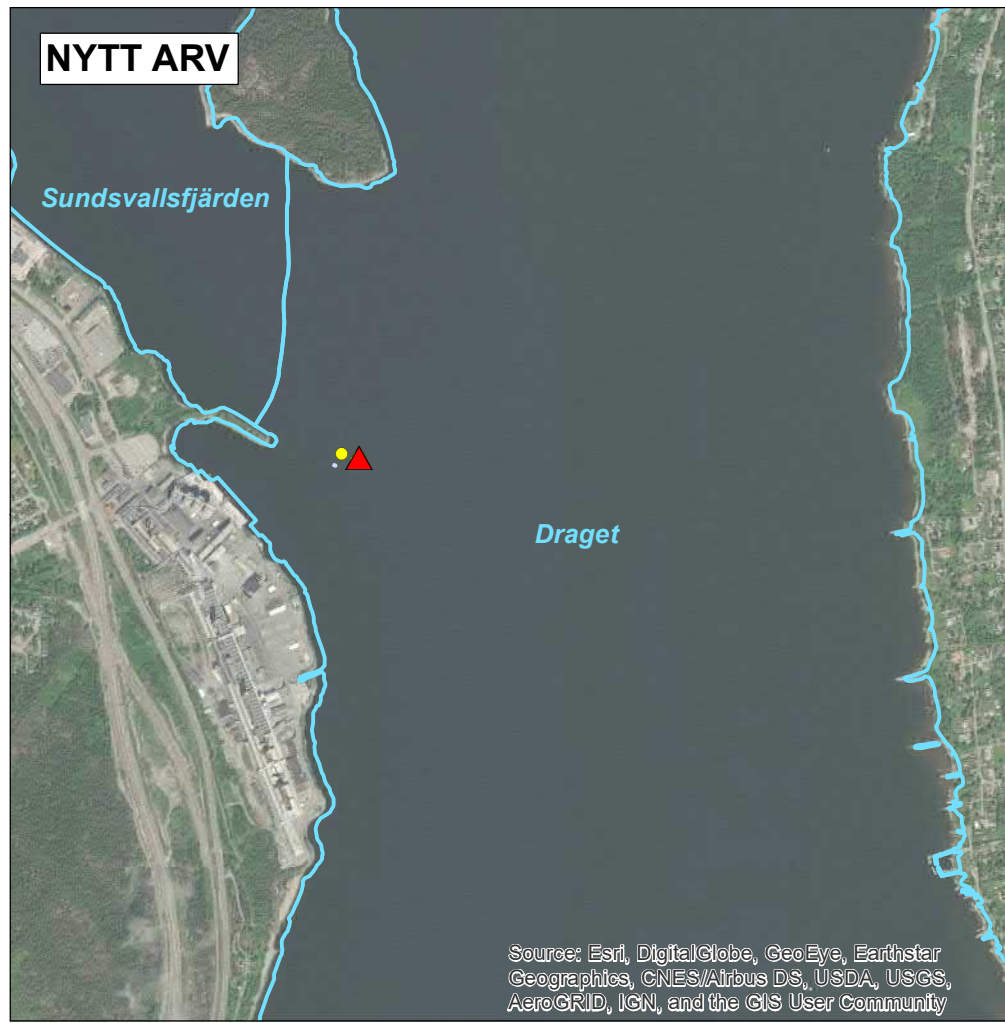


**BEFINTLIGA ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (3C) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A)**

**Oxazepam - vattenvolymer med beräknade halter över PNEC (IVL) (10 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	1097000	18000	2000	0	20000
Andel av berörd vattenförekomst	0.24%	0.05%	0.00%	0.00%	-

**Visualisering - Sommar, Yta**



- Vattenförekomst
- Provtagningsposition
- ▲ Utsläppspunkt
- Utspädning (antal gånger)**
- 212
- 42



Datum: 2020-06-26



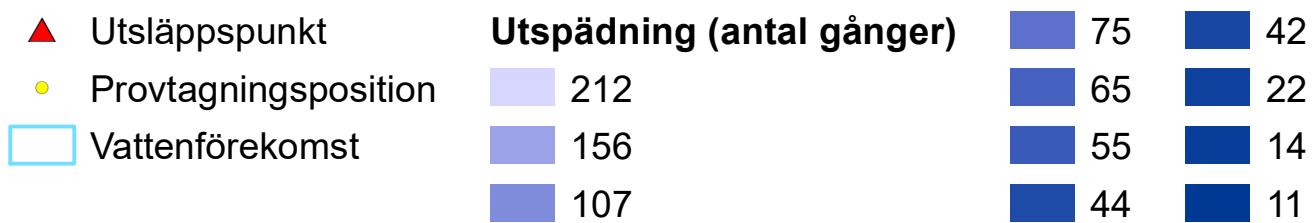
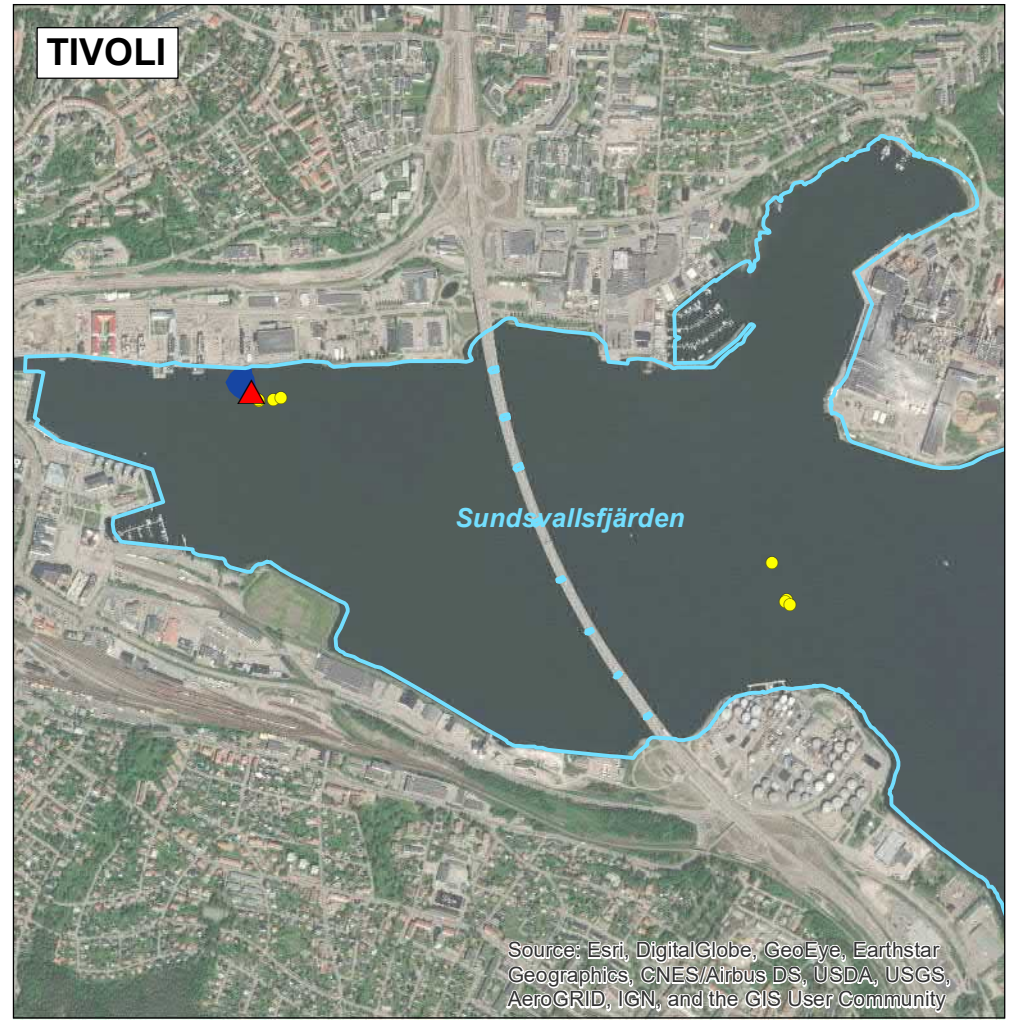
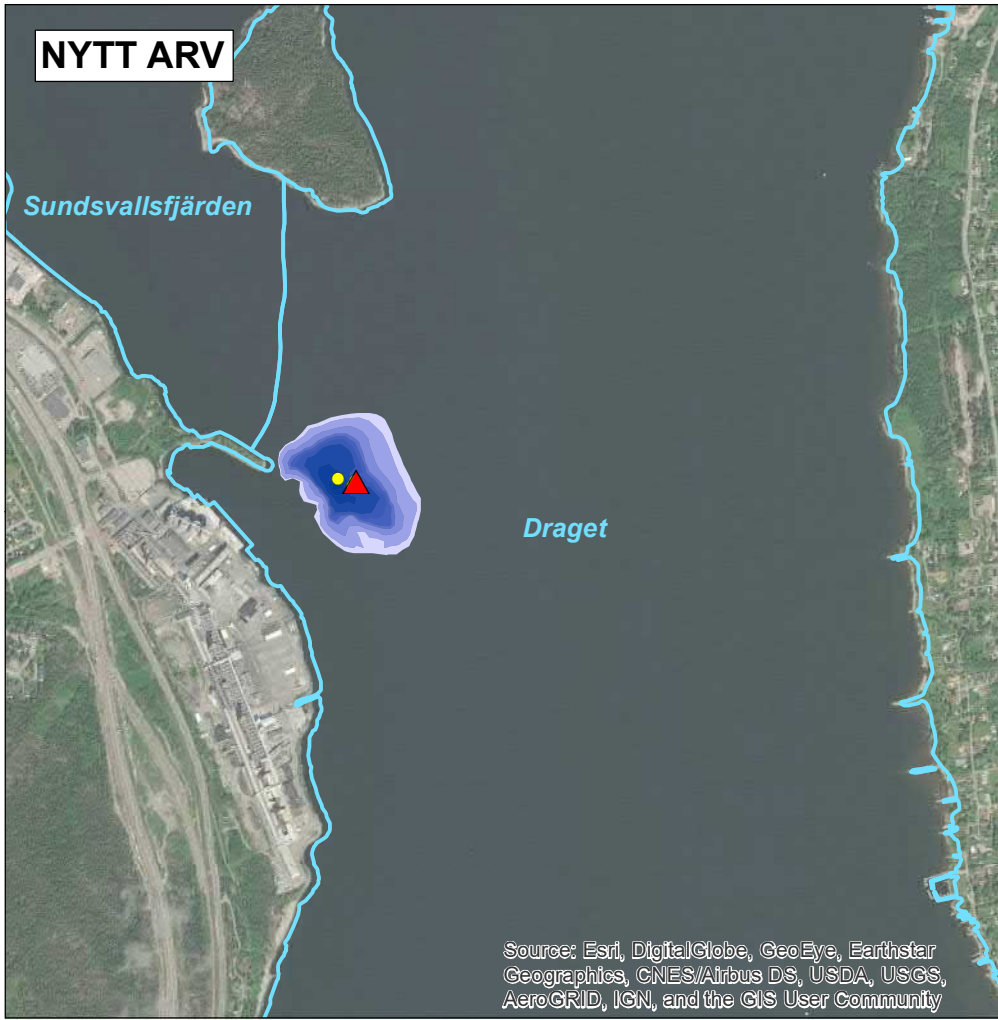


**BEFINTLIGA ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (3C) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A)**

**Oxazepam - vattenvolymer med beräknade halter över PNEC (IVL) (10 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	1097000	18000	2000	0	20000
Andel av berörd vattenförekomst	0.24%	0.05%	0.00%	0.00%	-

**Visualisering - Sommar, Botten**



Datum: 2020-06-26

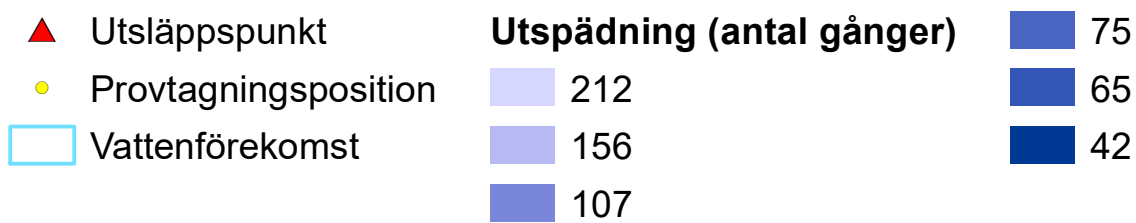
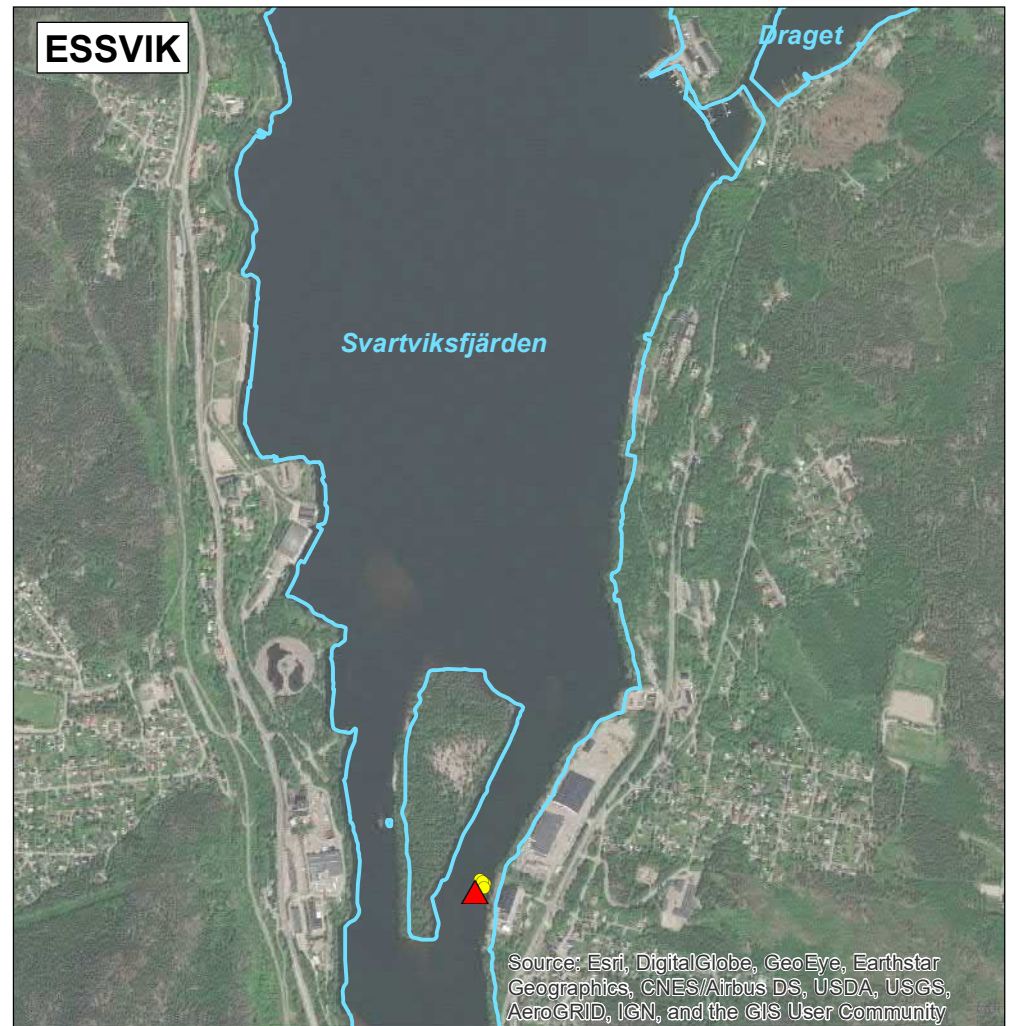
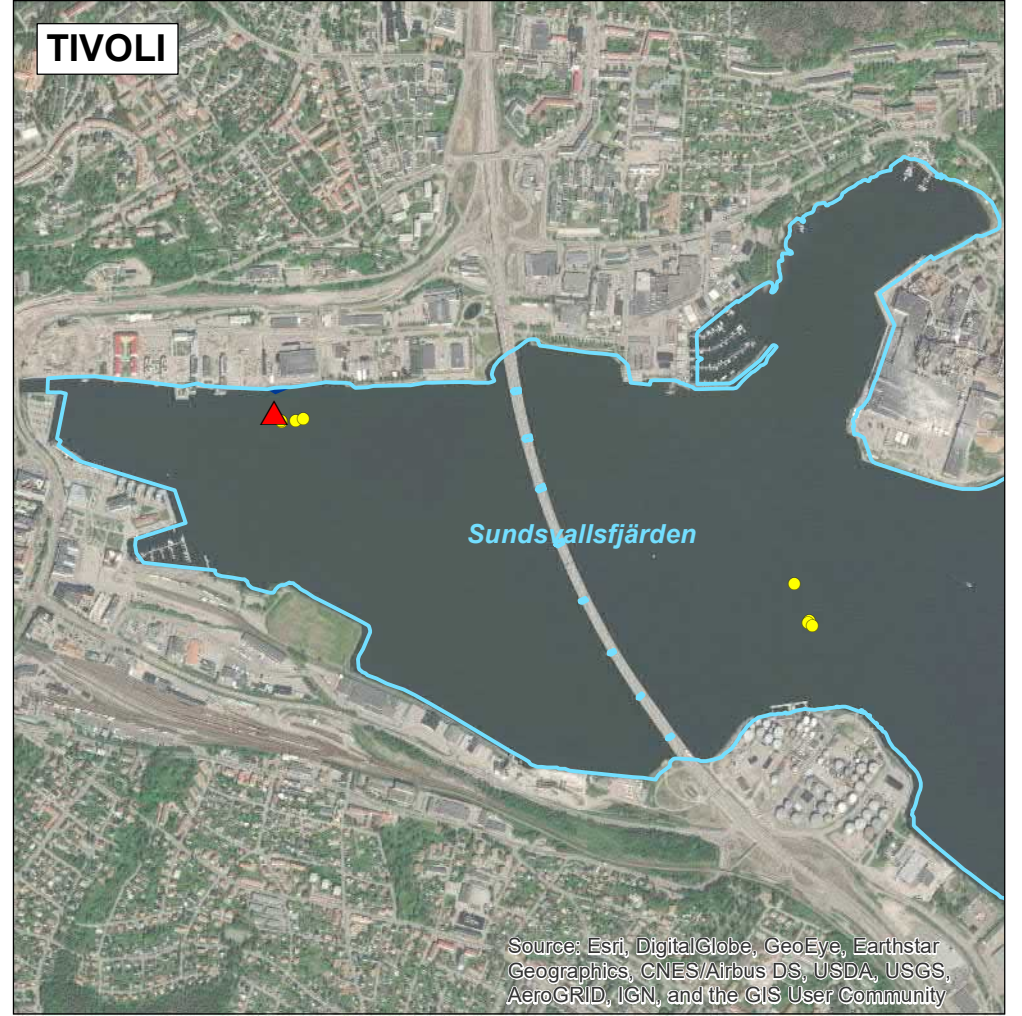
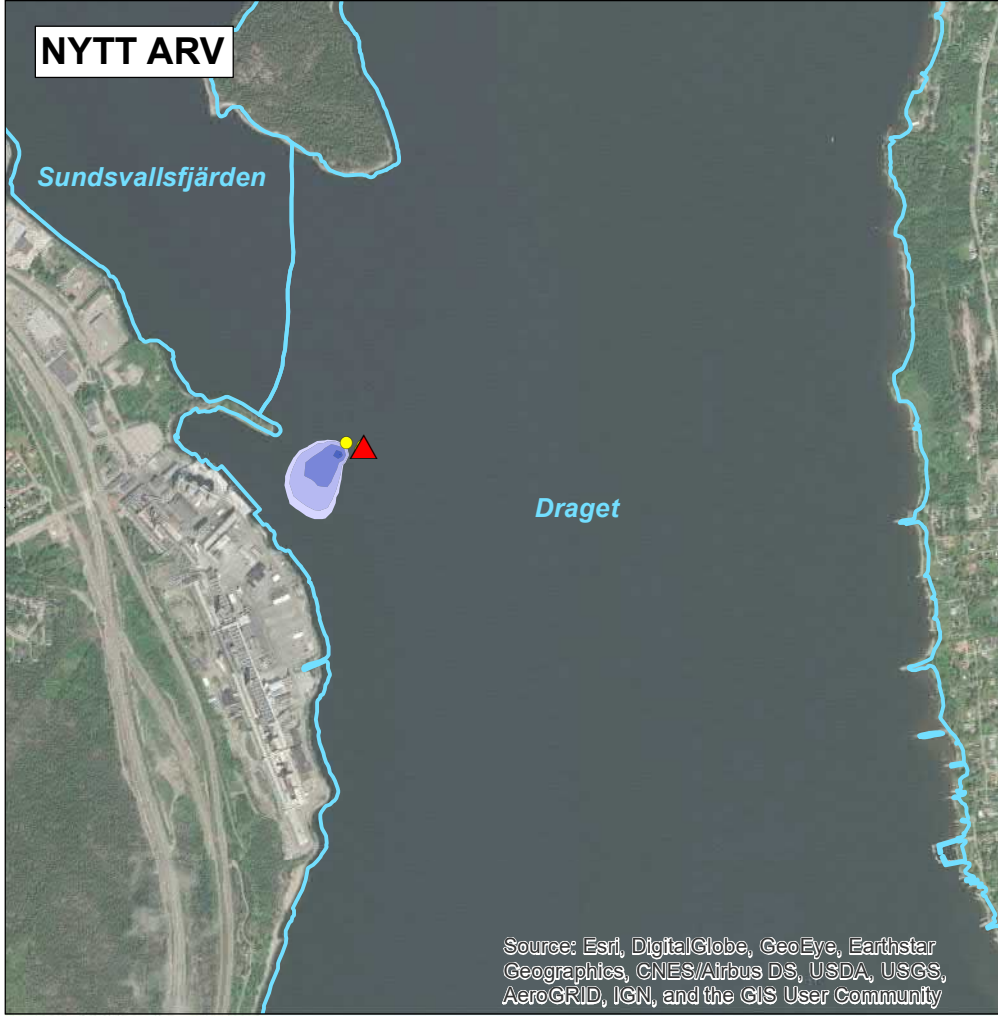


**BEFINTLIGA ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (3C) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A)**

**Oxazepam - vattenvolymer med beräknade halter över PNEC (IVL) (10 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	1454000	2000	4000	0	6000
Andel av berörd vattenförekomst	0.32%	0.01%	0.00%	0.00%	-

**Visualisering - Vinter, Yta**



Datum: 2020-06-26

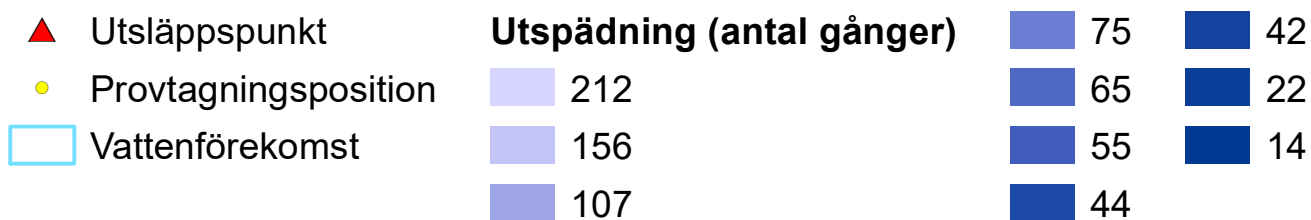
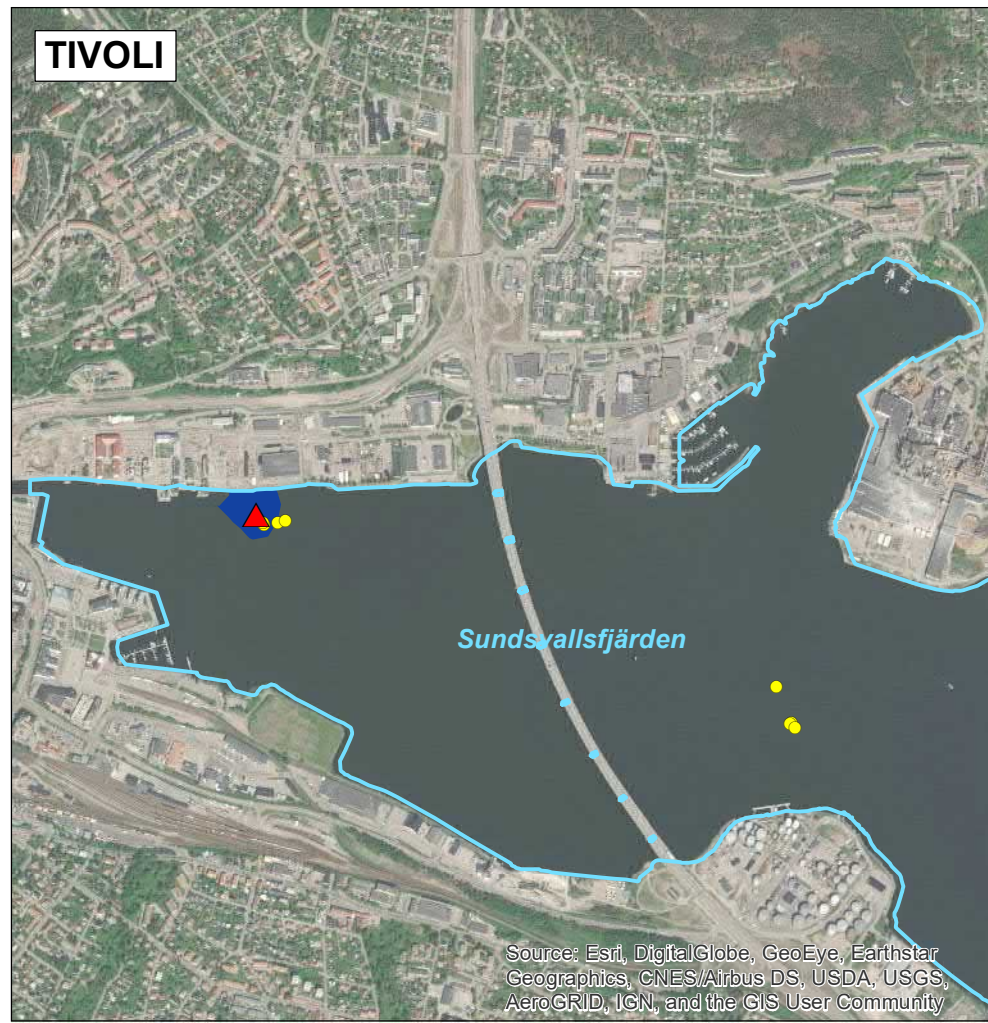
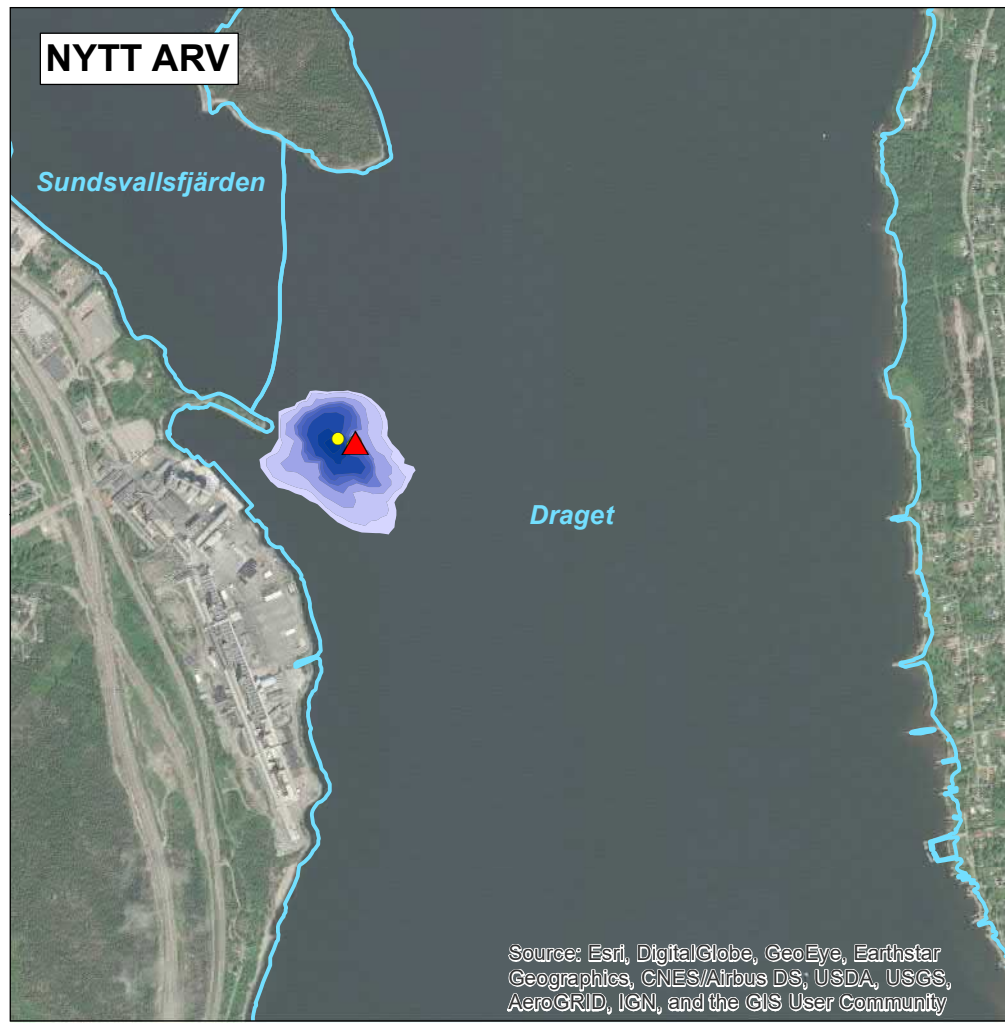


**BEFINTLIGA ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (3C) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING (1A)**

**Oxazepam - vattenvolymer med beräknade halter över PNEC (IVL) (10 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	1454000	2000	4000	0	6000
Andel av berörd vattenförekomst	0.32%	0.01%	0.00%	0.00%	-

**Visualisering - Vinter, Botten**



Datum: 2020-06-26

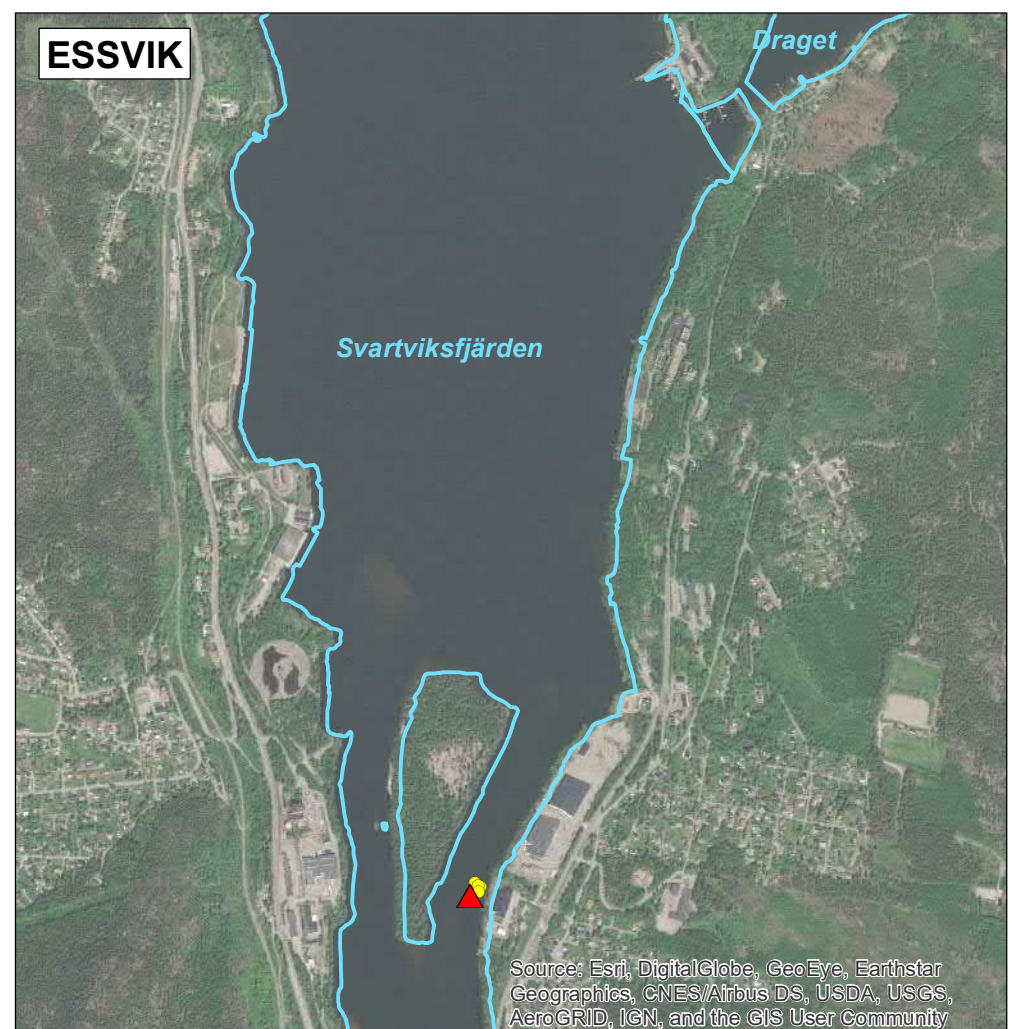
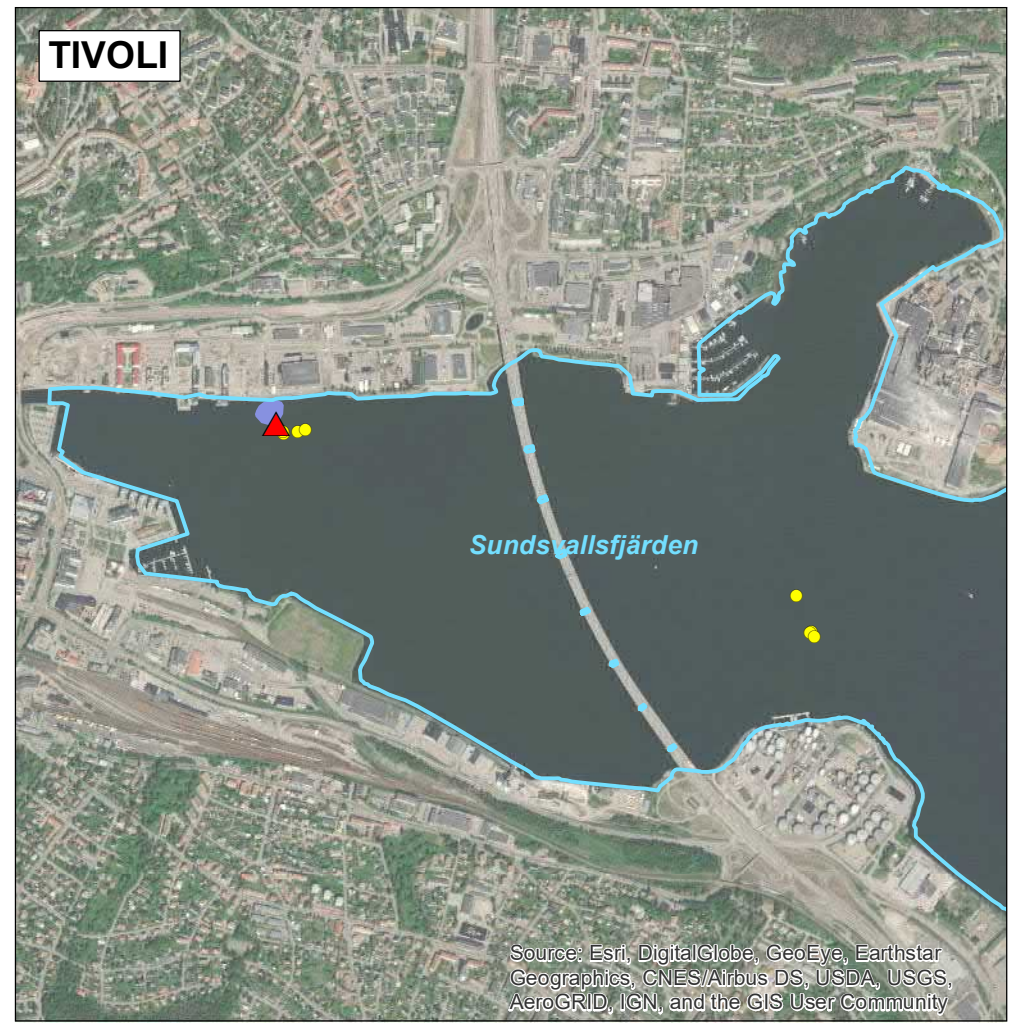
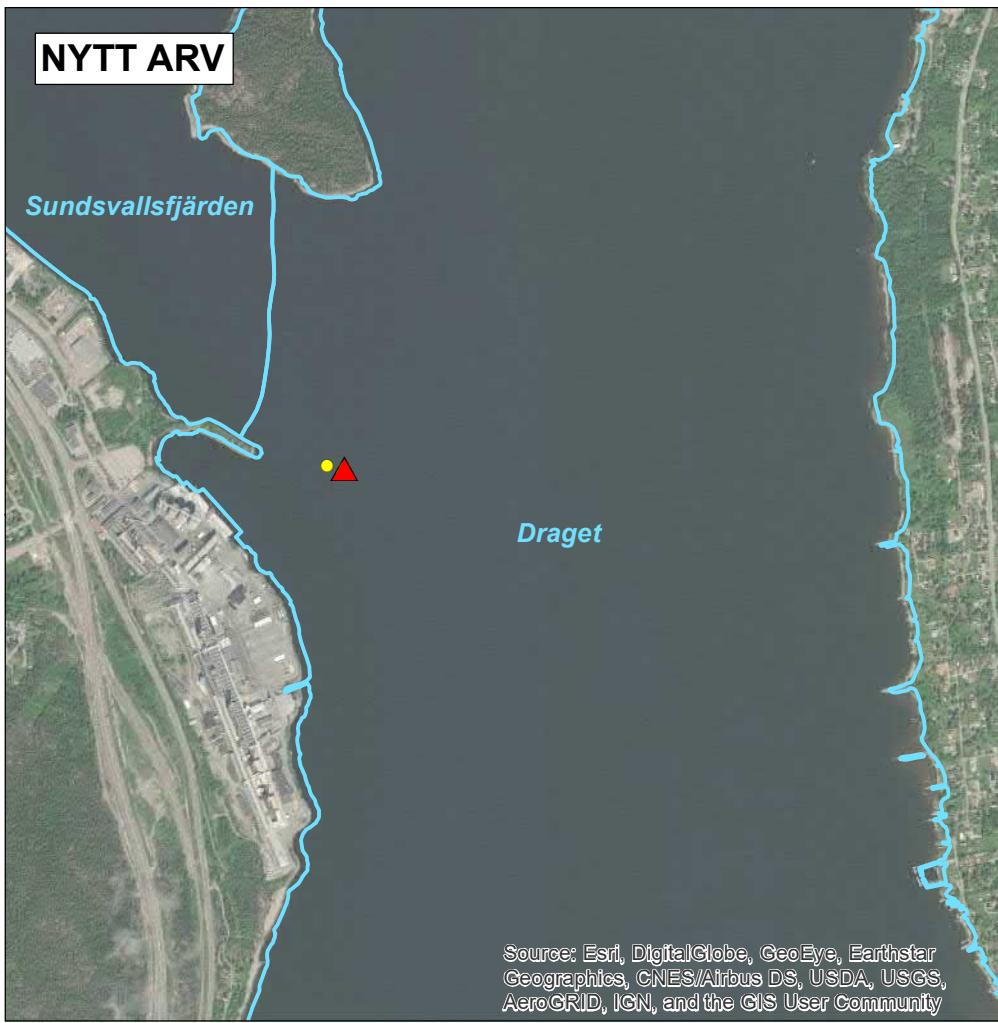


**BEFINTLIGA ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (3C) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Oxazepam - vattenvolymer med beräknade halter över PNEC (IVL) (10 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	78000	18000	2000	0	20000
Andel av berörd vattenförekomst	0.02%	0.05%	0.00%	0.00%	-

**Visualisering - Sommar, Yta**



- Vattenförekomst
- Provtagningsposition
- ▲ Utsläppspunkt
- Utspädning (antal gånger)**
- 42



Datum: 2020-06-26

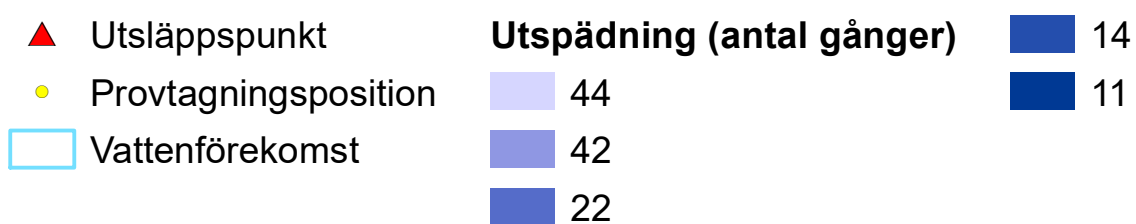
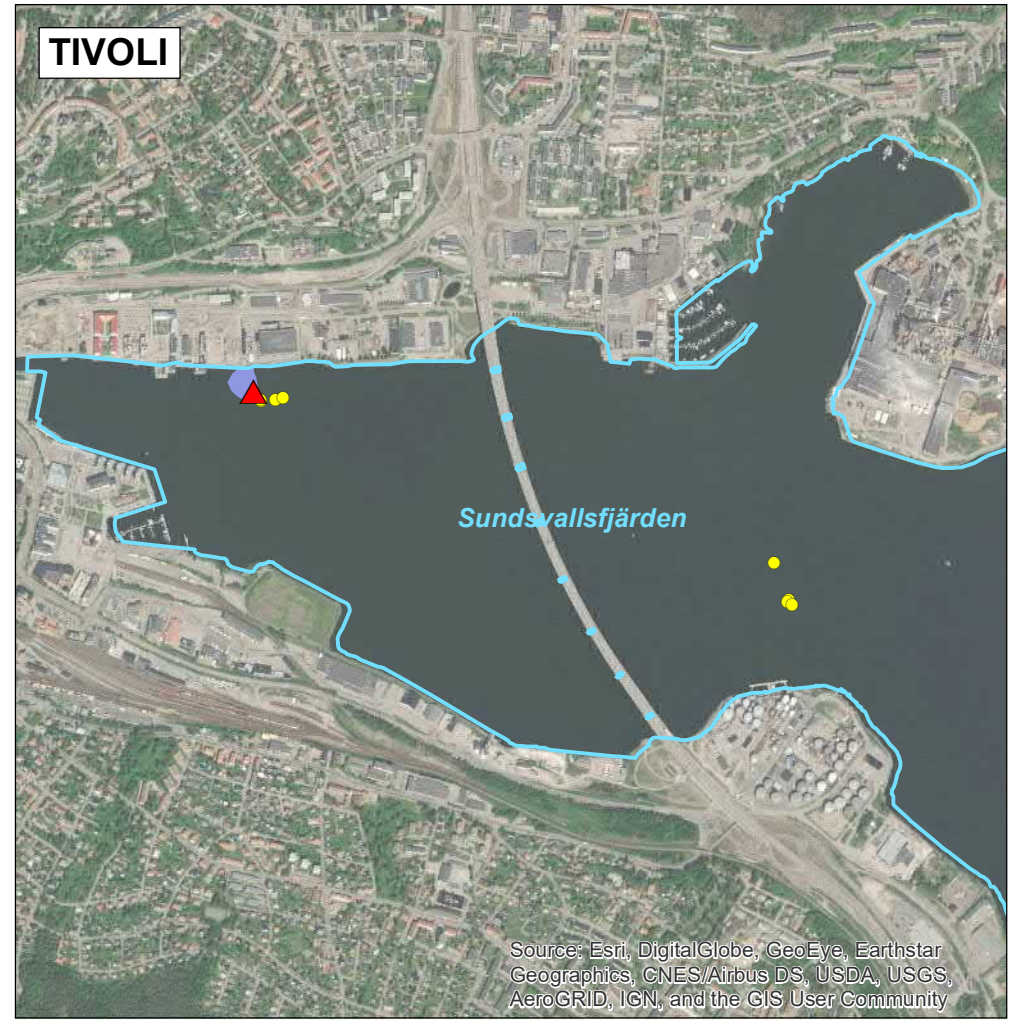
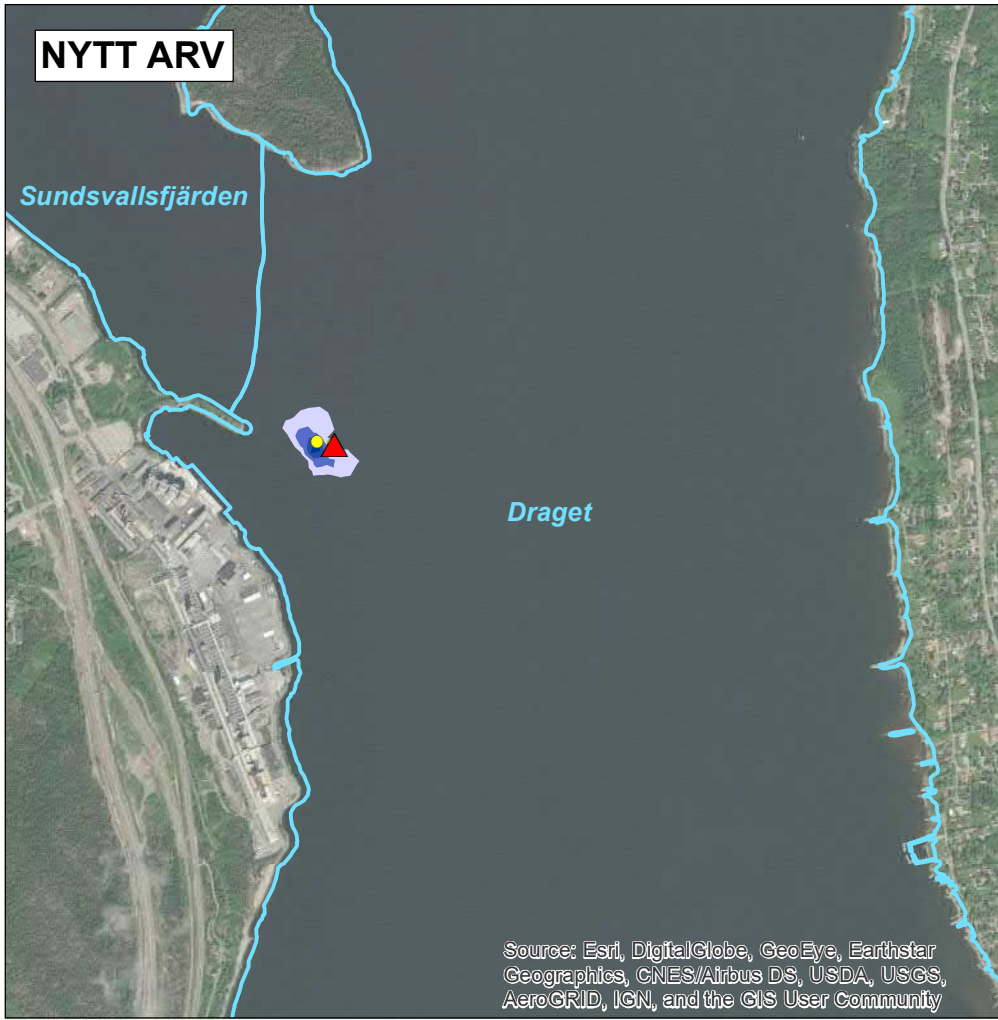


**BEFINTLIGA ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (3C) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Oxazepam - vattenvolymer med beräknade halter över PNEC (IVL) (10 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	78000	18000	2000	0	20000
Andel av berörd vattenförekomst	0.02%	0.05%	0.00%	0.00%	-

**Visualisering - Sommar, Botten**



Datum: 2020-06-26

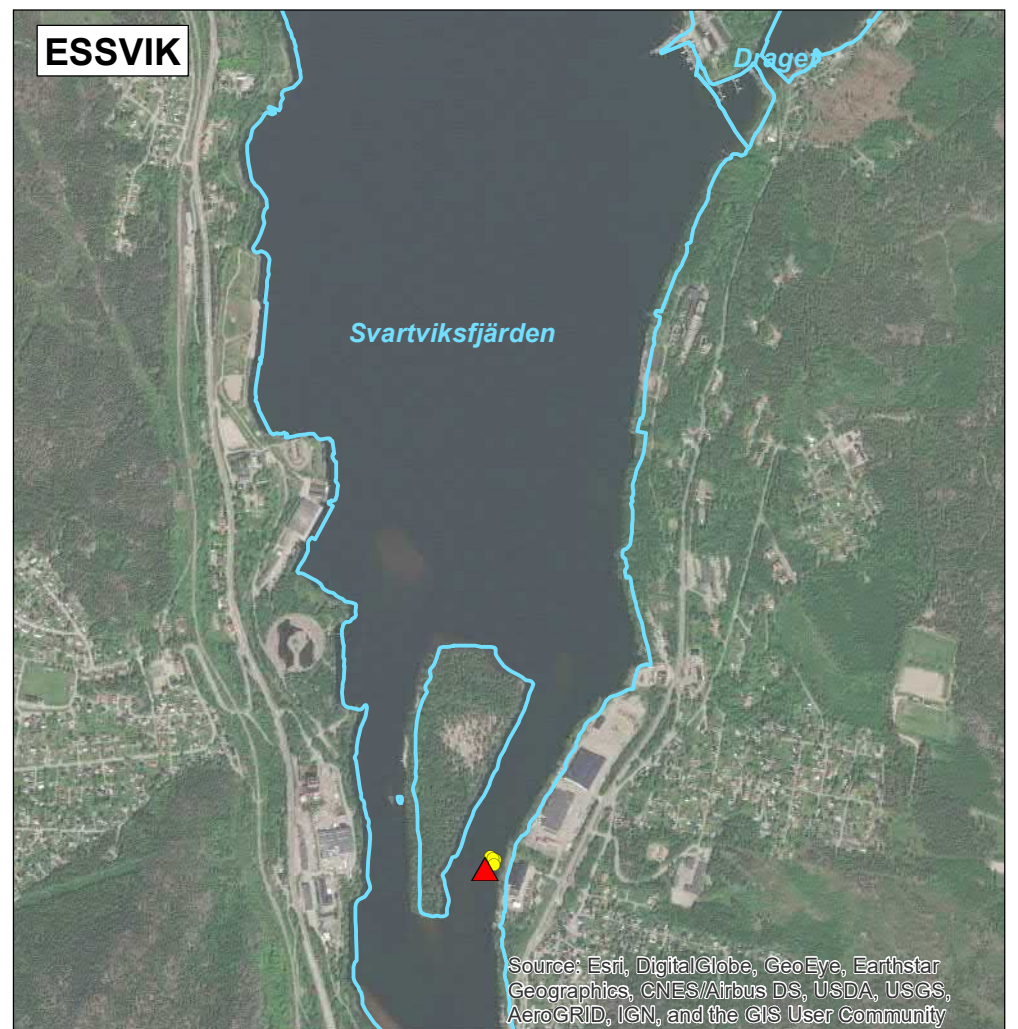
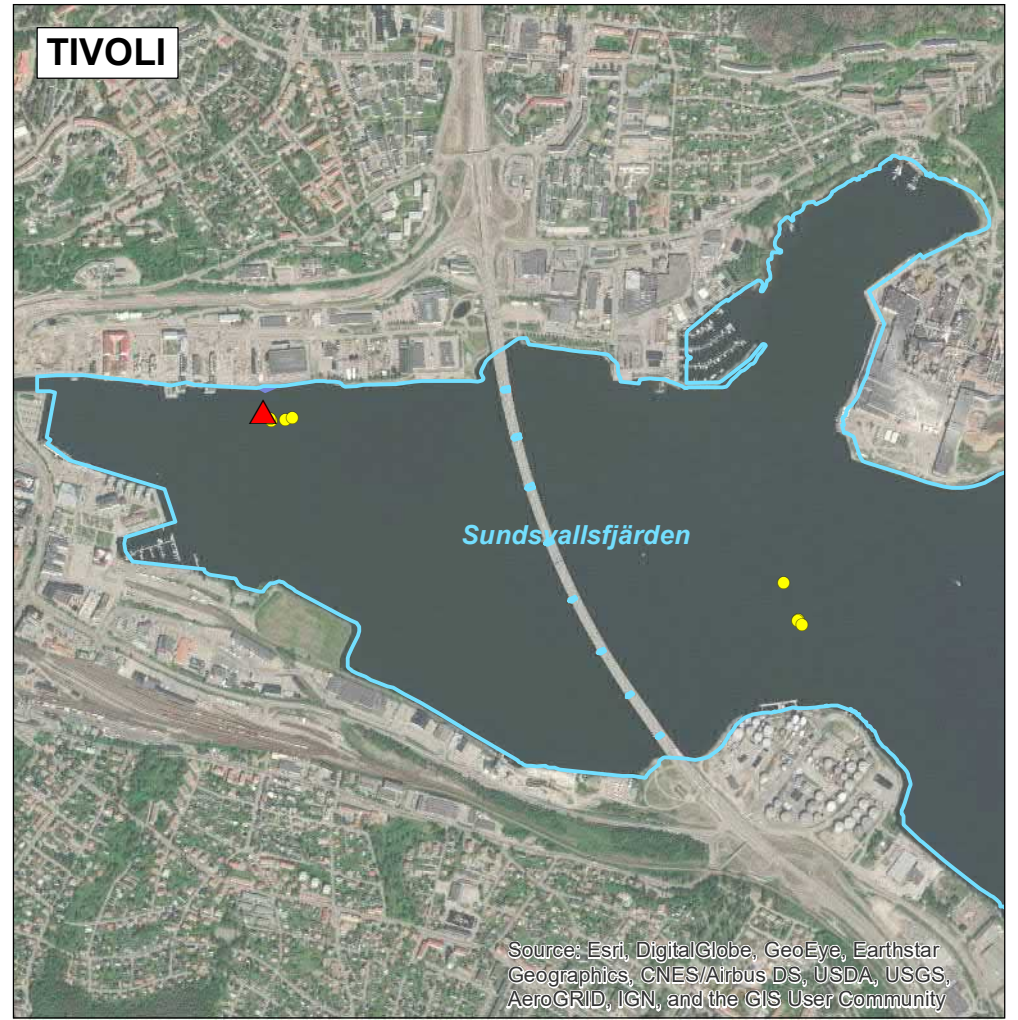
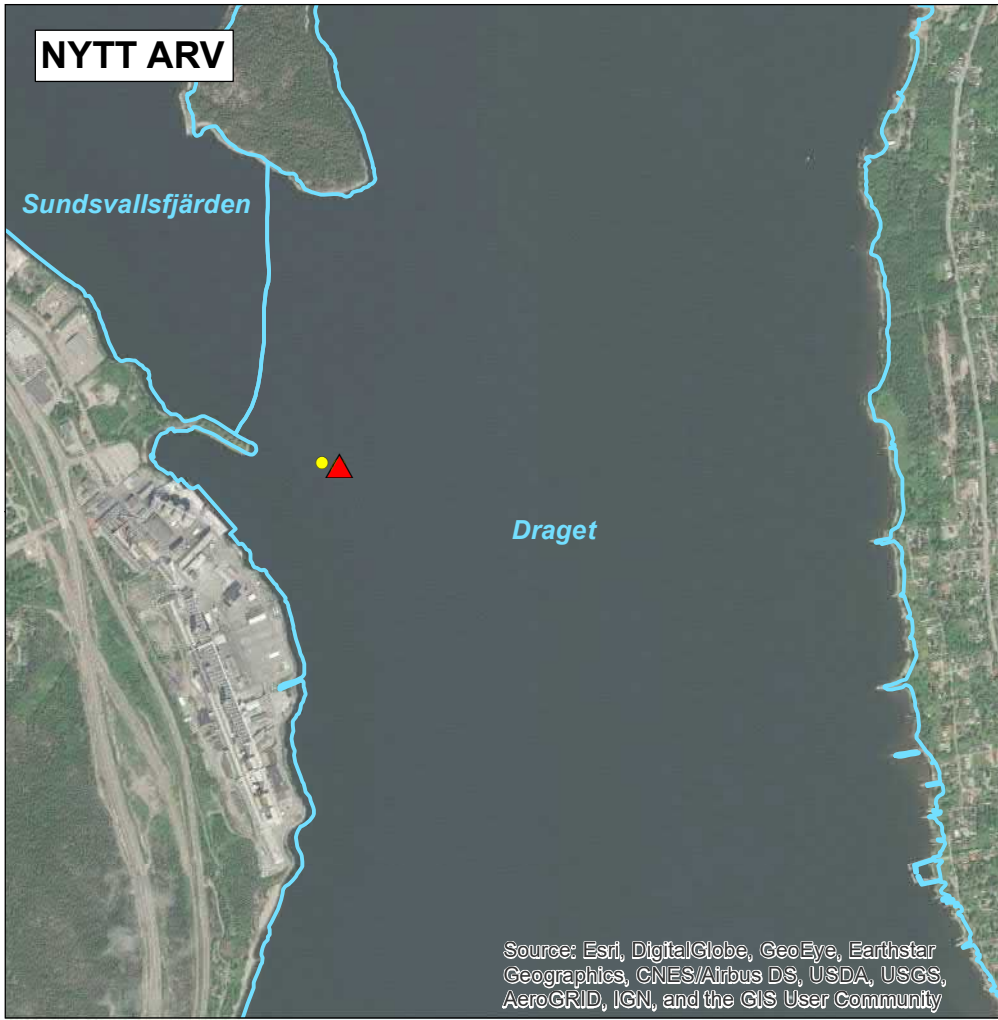


**BEFINTLIGA ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (3C) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Oxazepam - vattenvolymer med beräknade halter över PNEC (IVL) (10 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	74000	2000	4000	0	6000
Andel av berörd vattenförekomst	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	-

**Visualisering - Vinter, Yta**



- ▲ Utsläppspunkt
- Provtagningsposition
- Vattenförekomst
- Utspädning (antal gånger)**
- 42



Datum: 2020-06-26

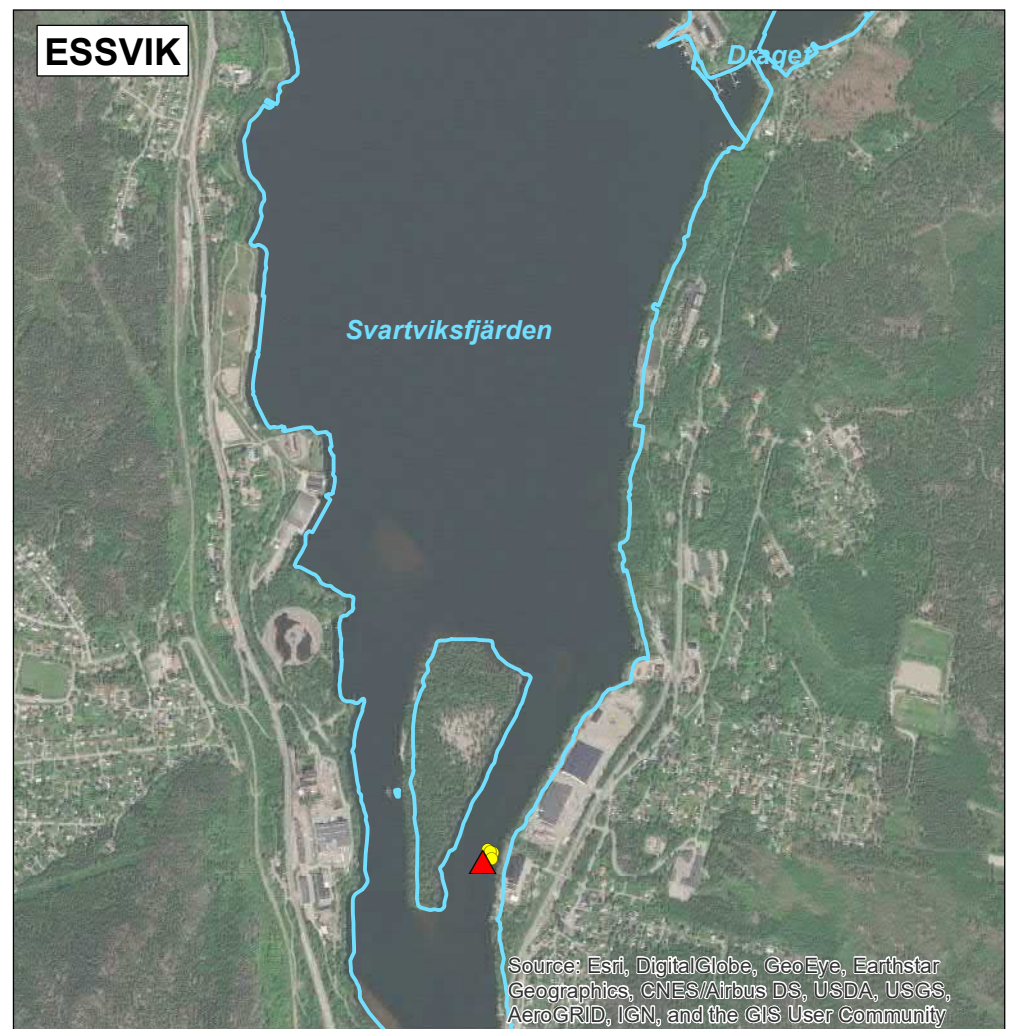
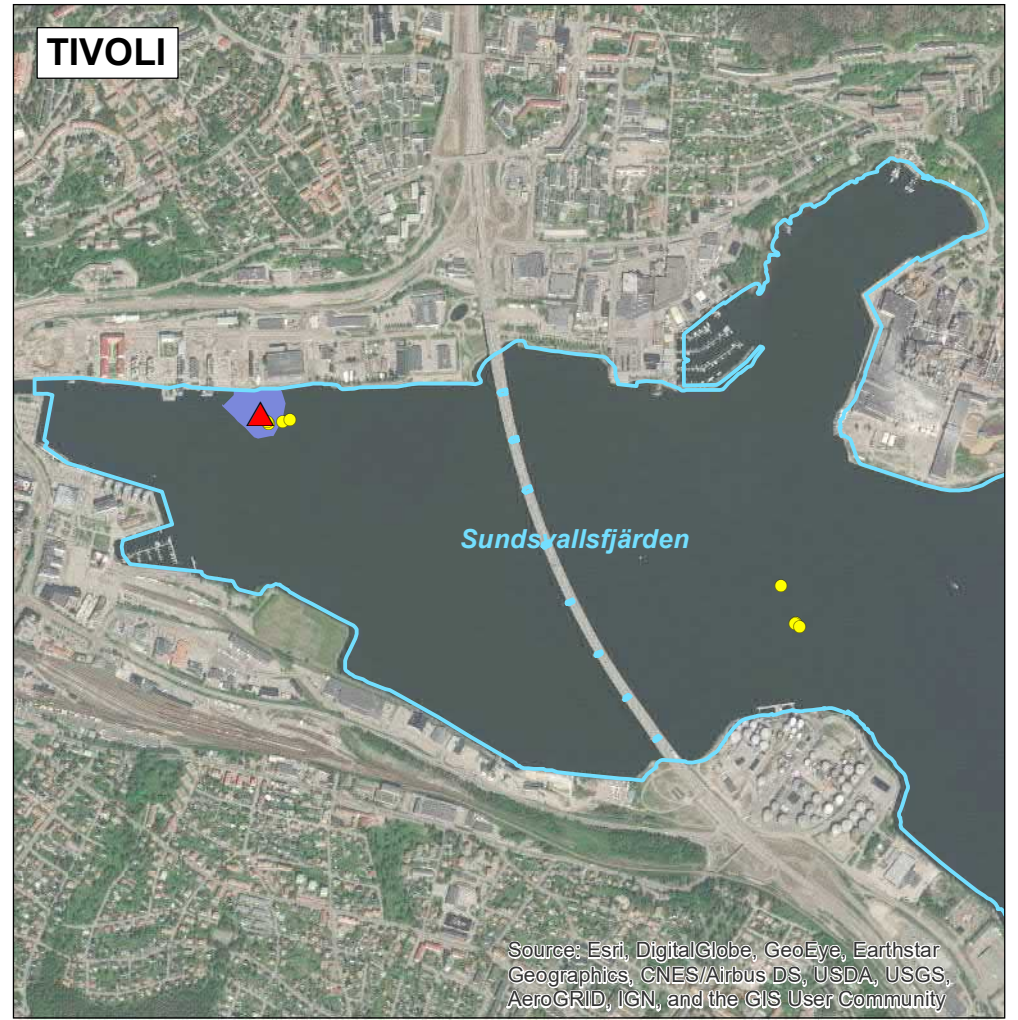
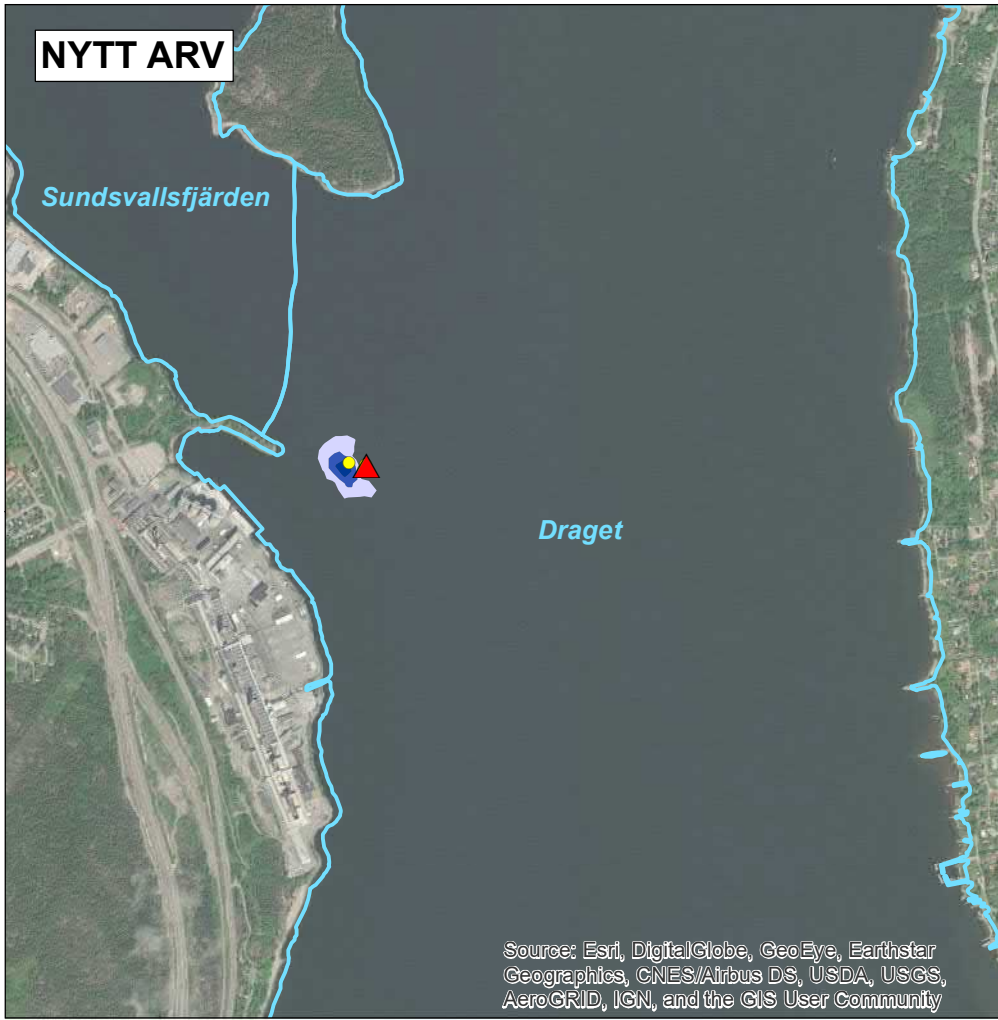


**BEFINTLIGA ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (3C) JÄMFÖRT MED NYTT ARV MED KVÄVERENING & LÄKEMEDELSRENING (1B)**

**Oxazepam - vattenvolymer med beräknade halter över PNEC (IVL) (10 ng/l)**

VATTENVOLYMER	Nytt ARV	TIVOLI	FILLAN	ESSVIK	TOTAL VOLYM BEFINTLIGA ARV
Total volym (m3)	74000	2000	4000	0	6000
Andel av berörd vattenförekomst	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	-

**Visualisering - Vinter, Botten**



- ▲ Utsläppspunkt
- Provtagningsposition
- Vattenförekomst
- Utspädning (antal gånger)**
- 22
- 14
- 44
- 42



Datum: 2020-06-26

