

**Norrtälje kommun, Norrtälje Vatten och Avfall AB**

**Lindholmens ARV**

**Pilotförsök med läkemedelsrening 2021-22**

2022-10-31



Berndt Björlenius  
Uppdragsnr: 2021-007

**B<sup>2</sup> Processteknik**  
Eva Bonniers Gata 8  
129 54 Hägersten  
070-736 67 50

## Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	6
Beskrivning av pilotanläggningen .....	7
Behandlingsenheter – schematiskt .....	9
Förbehandling .....	11
Pilotlinjer läkemedelavskiljning – PAC .....	11
Pilotlinjer läkemedelavskiljning – GAC .....	12
Pilotlinjer läkemedelavskiljning – Ozonering .....	13
Labkolfilter .....	14
Nitrifikationsfilter .....	15
Akvariecontainer för fiskexponering .....	16
Analysmetodik mm .....	17
Bromid .....	17
Bromat .....	17
Läkemedelsrester .....	17
Mikrobiella analyser .....	17
Nonylfenol .....	18
PFOA och PFOS .....	18
TOC- totalt organiskt kol .....	18
UV och VIS spektroskopi/absorption .....	18
Effektbaserad analys av avloppsvattenprover .....	18
Försökskörningar och resultat .....	19
Allmän beskrivning av försöksdriften .....	19
Övergripande statistik om försöken .....	20
Inpumpning till pilotanläggningen .....	21

Förbehandling med grovfilter och sandfilter .....	21
Interna analyser – resultat för pilotlinjerna .....	21
Totalt Organiskt kol - TOC .....	21
Konduktivitet .....	23
pH .....	24
UV254 nm - absorptions .....	25
Förbehandlingen – drift och process.....	26
Nitrifikationsfiltret – drift och process .....	27
PAC-linjen – drift och process .....	27
Avskiljning av PAC i sandfiltret och erforderlig backspolning .....	27
Dos respons för PAC dos .....	28
Ozoneringslinjen – drift och process.....	29
Driftobservationer .....	30
Ozonerings dos/respons .....	30
GAC-filtret – drift och process.....	31
Efterreaktionstankarna i ozoneringslinjen – drift och process .....	33
Labkolfilter – drift och process.....	35
Läkemedelsrester .....	37
Lindholmens reningsverk .....	37
Pilotlinjer .....	40
Ozonerings - dos/respons-bestämningar.....	43
Läkemedelsavskiljning över kontakttankarna U0-U3 i ozoneringslinjen .....	46
Fler jämförelser mellan behandlingsmetoderna avseende läkemedelsrester.....	48
Kemiska analyser .....	48
Jämförelse av analysresultaten för läkemedelsrester från tre lab för samma provvatten.....	50

Externa analyser - förutom läkemedelsrester .....	54
Bromid och bromat i utgående avloppsvatten och ozonerat vatten .....	54
Microtox - Toxicitet över kontakttankarna U0-U3 .....	55
Provtagning och resultat för microtox .....	55
Nonylfenol .....	56
PFOS och PFOA .....	56
Celltester för analys av vattenprover - bestämning av östrogena m fl effekter .....	60
Övriga observationer under försöken .....	61
Biologiska tester – zebrafisk och dammsnäckor .....	61
Option B Desinfektionstester för återbruk av renat avloppsvatten för gäddfabrik och boskapsbete....	66
Utformning av utvärderingen.....	66
Utrustning och försök.....	67
Resultat.....	68
Option C Nya implementerbara tekniker .....	74
Utvärdering av enzymmaterial P från leverantör A .....	74
Utvärdering av material från leverantör C .....	76
Multikriterieanalys - processval .....	77
Designparametrar för läkemedelsreningssteget baserat på pilotförsöken .....	78
Slutsatser av pilotförsöken.....	80
Tack.....	81
Bilagor.....	82
Bilaga 1 Sammanställning av läkemedelsanalyser - UTG Lindholmens ARV .....	82
Bilaga 2 Sammanställning av läkemedelsanalyser - PAC Lindholmens ARV .....	83
Bilaga 3 Sammanställning av läkemedelsanalyser – O3+SF Lindholmens ARV .....	84
Bilaga 4 Sammanställning av läkemedelsanalyser - GAC Lindholmens ARV .....	85

Bilaga 5 Sammanställning av läkemedelsanalyser - MBBR Lindholmens ARV .....	86
Bilaga 6 Pilotförsök Förfilter Absorbans UV254nm .....	87
Bilaga 7 Pilotförsök MBBR Absorbans UV254nm .....	88
Bilaga 9 Pilotförsök PAC Absorbans UV254nm .....	89
Bilaga 9 Pilotförsök O3+SF Absorbans UV254nm.....	90
Bilaga 10 Pilotförsök GAC Absorbans UV254nm .....	91
Bilaga 11 Pilotförsök LabGAC-linjer Absorbans UV254nm .....	92
Bilaga 12 Pilotförsök O3 + Uppehållsvolymer U0-U3 Absorbans UV254nm .....	93
Bilaga 13 Jämförelse av analysresultat från Miljö och Media på Kivik AB med SGS Eurofins, Kivik och SGS - på samma prover – halter ng/l.....	94
Bilaga 14 Jämförelse av analysresultat från Miljö och Media på Kivik AB med SGS Eurofins, Kivik och SG - på samma prover – relativa halter, % .....	95
Bilaga 15 Specialanalyser från SGS – Mikrobiella analyser - desinfektionsförsök 2022-02-10 .....	96
Bilaga 16 Specialanalyser från SGS – Mikrobiella analyser - desinfektionsförsök 2022-03-01 .....	97
Bilaga 18 Ny teknik – enzymfilter – avskiljning av läkemedelsrester .....	99
Bilaga 19 Ny teknik – enzymfilter – avskiljning av läkemedelsrester, även negativa värden .....	100

## Norrtälje kommun – Norrtälje Vatten och Avfall AB

### Pilotförsök med läkemedelsrening 2021 vid Lindholmens reningsverk

#### Sammanfattning

Pilotförsök med läkemedelsrening och tillhörande fiskeexponering genomfördes på Lindholmens reningsverk under hösten och vintern 2021-2022. Försöken förlöpte bra och resultaten bedöms som relevanta för ett principförslag och senare dimensionering av ett läkemedelsreningssteg.

Utvärderingen visar att avskiljningen av kvarvarande läkemedelsrester i dagens utgående vatten kunde uppgå till 95% med aktiverat kol och 90 % med ozonering. Nitrifikationssteget enligt MBBR konceptet hade begränsad avskiljning av läkemedelsrester, ca 17 %, men steget var i första hand installerat för att nitrifiera utgående vatten och effekten på läkemedelsrester mättes som en bonus.

Resultaten bedöms vara relevanta för dimensionering av ett läkemedelsreningssteg som det presenteras i ett principförslag. Utvärderingen visar att avskiljningen av kvarvarande läkemedelsrester i reguljärt utgående vatten kan uppgå till 95% med granulerat aktiverat kol (GAC) och 90 % med ozonering. Ett framtida reningskrav för läkemedelsrester kan formuleras på många sätt såsom att kräva att en grupp utvalde och relevanta läkemedelsrester avskiljs till 80%. Förbrukningen av GAC för att uppnå denna avskiljning uppgick till 30 g/m<sup>3</sup> medan ozonering kräver en ozondos av 7 g O<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> motsvarande 0,70 g O<sub>3</sub>/g DOC. Nitrifikationssteget enligt MBBR konceptet hade begränsad avskiljning av läkemedelsrester, ca 17 %, men steget var i första hand installerat för att nitrifiera utgående vatten och effekten på läkemedelsrester mättes som en bonus.

Försöken med pulveriserat aktiverat kol, PAC, visade att en PAC-dos av 27 g/m<sup>3</sup> erfordrades för att uppnå 80 % avskiljning medan 33 g/m<sup>3</sup> var tvunget att doseras för att uppnå 90 % avskiljning.

Utvärderingen av ozoneringen med sina två olika parallella efterbehandlingssteg visade att förlängd efterreaktionstid i uppehållsvolymer med 5 timmar, gav mindre effekt än sandfiltrering mätt som UV 254 nm. Utgående tvåmediasandfilter efter ozoneringen bakades in i ozoneringsproverna och ingen separat provtagning av läkemedelsrester gjordes direkt efter kontakttanken i ozoneringslinjen.

Pilotförsöken utfördes och avrapporterades av B<sup>2</sup> Processteknik på uppdrag av NVAA. Rapporten är i första hand ett underlag till principförslaget för läkemedelsreningen vid Lindholmens reningsverk men utgör även kunskapsuppbyggnad om läkemedelsrester på reningsverket och hur de kan behandlas.

## Beskrivning av pilotanläggningen

En pilotanläggning med behandlingsenheter i form av förbehandling, läkemedelavskiljning med aktiverat kol respektive ozonering, samt olika efterbehandlings för ozonerat vatten sattes upp på Lindholmens reningsverk i september 2021 varefter försöken pågick i olika omfattningar t. o. m. 1 mars 2022. Pilotanläggningen beskickades med ordinarie utgående efterfällt avloppsvatten från reningsverket. Det i pilotanläggningen behandlade avloppsvattnet återfördes till utgående vatten, efter ordinarie provtagningspunkt.

Försöken kompletterades med ett nitrifikationssteg för att i första hand oxidera kvarvarande ammoniumkväve i utgående vatten från Lindholmens reningsverk och därmed säkra att de planerade exponeringsförsök med zebrafisk och dammsnäckor, för att utvärdera de extra rena avloppsvattnets kvalitet, inte skulle störas av höga ammoniumhalter.

Fem parallella labfilter med granulerade aktiverade kol (GAC) installerades för att kunna utvärdera olika produkters kapacitet. Pilotanläggningen kompletterades med ultrafilter och UV-enhet för att utvärdera några olika desinfektionsmetoder för avloppsvatten. Slutligen innehöll pilotanläggningen kylar och frysbox för att möjliggöra provinsamling och provförvaring i väntan på analys, figur 1 och figur 2. Pilotanläggningen inrymdes i en inredd 20 fots container, men vissa delar av ozoneringen placerades utomhus av plats- och säkerhetsskäl, figur 1 och figur 2.



\*



Figur 1. Pilotanläggningen med nitrifikationstankar på taket och 5 m höga ozonkontaktkolonner. Akvarie-containern för fiskexponering i förgrunden, eftersedimentering och Norrtäljeviken i bakgrunden.



Figur 2. Interiör av pilotanläggningen. Pilotlinjer till vänster, labkolfilter till höger (bild skall uppdateras).



## Sammanfattning av det dagliga arbetet i pilotanläggningen

Pilotförsök med läkemedelsrening och tillhörande fiskeexponering genomfördes på Lindholmens reningsverk under hösten och vintern 2021-2022. Försöken förlöpte i stort sett bra, men fördröjdes och förlängdes pga leveransproblem av komponenter och aktiverat kol som en följd av Corona-pandemin. Pilotlinjerna drevs kontinuerligt med samma inställningar åtminstone för hela kalenderveckor. Kontinuerlig insamling av provvatten gjordes med slangpump, till förvaring i kylskåp. Ett urval från de insamlade veckoproven sändes till externt laboratorium för analys av huvudsakligen läkemedelsrester. Veckoproven analyserades intern med avseende på TOC och DOC. Utöver detta gjordes mätningar av temperatur, konduktivitet, pH och UV-ljusabsorbans vid 254 nm, de tre första parametrarna registrerades i många fall kontinuerligt med loggrar. Under försöksveckorna tog också i medeltal tre stickprov per behandling för bestämning av konduktivitet, pH och UV-ljusabsorbans. Hydrauliska flöden och nivåer mättes och registrerades för att bestämma uppehållstider, belastningar, doser och igensättningshastigheter mm.

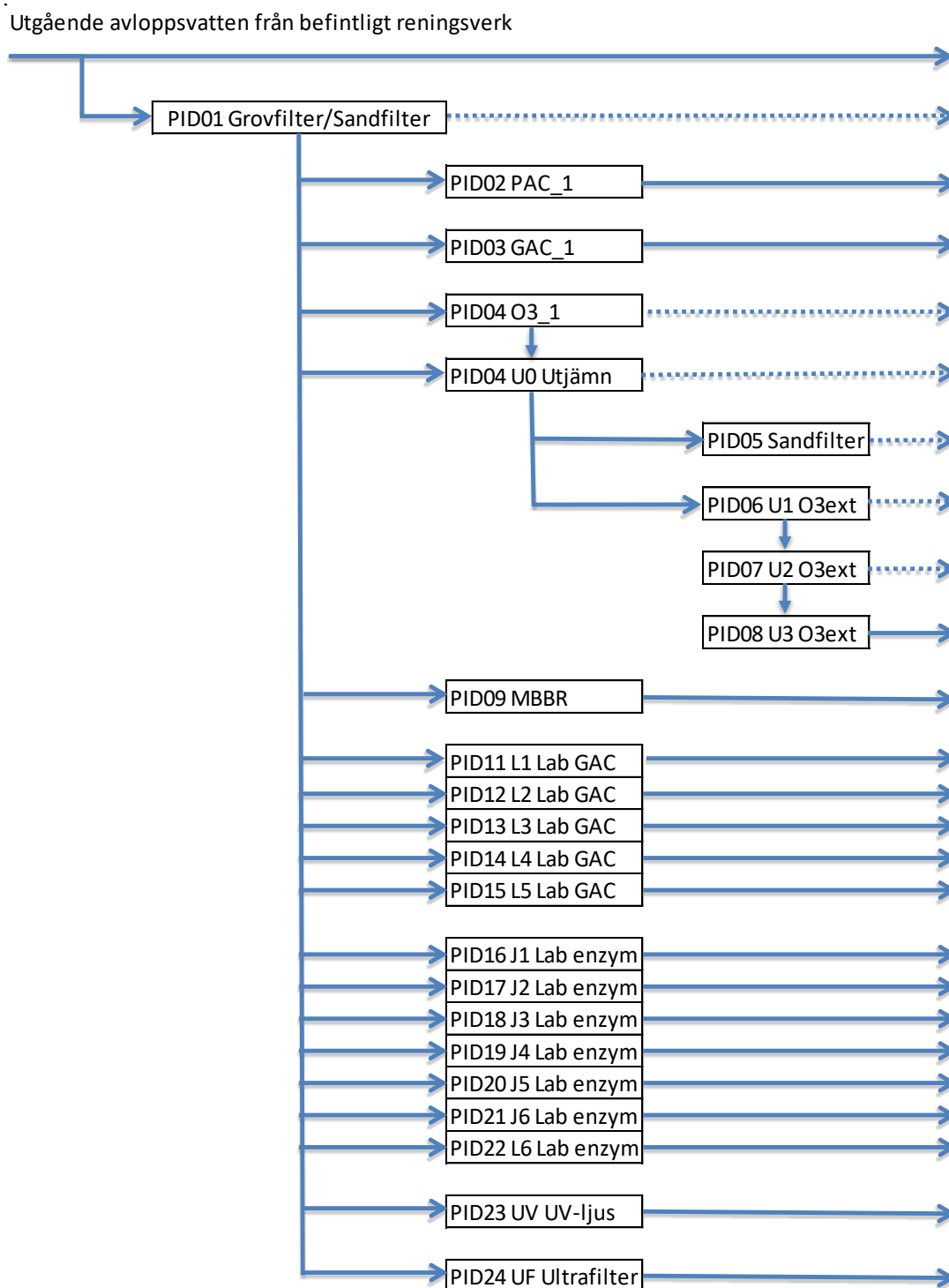
## Behandlingsenheter – schematiskt

Pilotanläggningen innehöll förbehandling, pilotlinjer med olika delar och reningstekniker samt labkolfilter. Anläggningen matades med utgående, efterfällt avloppsvatten från Lindholmens reningsverk som behandlades på olika sätt varefter vattnets provtogs med stickprover eller kontinuerligt insamlade veckosamlingsprov, figur 3.

Reningsteknikerna kan delas in i klasser som representerar biologiska, separerande och oxidativa processer, tabell 1.

Tabell 1 Gruppering av de använda lab- och pilotanläggningarna

Biologiska processer	Separation	Oxidativa processer
MBBR	Pulverkol PAC1	Ozonering, O3
Enzymfilter 1	Granulerat kol GAC1	Ozonering, O3 + Efterreaktionsvolym U1+U2+U3
Enzymfilter 2	Ultrafilter	Ozonering, O3 + Sandfilter, SF OS
Enzymfilter 3	Granulerat kol, LK1	UV-kontakt
Enzymfilter 4	Granulerat kol, LK2	
Enzymfilter 5	Granulerat kol, LK3	
Enzymfilter 6	Granulerat kol, LK4	
Enzymfilter 7	Granulerat kol, LK5	



Figur 3. Schematisk uppbyggnad av pilotanläggningen samt provtagningstyper  
( — samlingsprov, ---stickprov)

### *Förbehandling*

Pilotanläggningens första behandling av inpumpat avloppsvatten bestod av en förbehandling med två grovfilter i serie, utjämningsstank och två seriekopplade sandfilter med var sin filtrattank, figur 4. De två grovfiltren hade hål med 3 mm respektive 1,5 mm diameter, varefter det filtrerade vattnet trycktes vidare till en utjämningsstank från vilket det första sandfiltret, F1, hämtade sitt vatten. Sandfiltret F1 innehöll lite grövre sand (1,2–2,0 mm) än det efterföljande sandfiltret F2 (0,4–0,6 mm). Sandfilter F2 hämtade sitt vatten från sandfilter F1s filtrattank och levererade filtrat till sin efterföljande filtrattank. Filtrattankarna användes som reservoar för backspolning av respektive sandfilter. Filtrattanken för sandfilter F2 fungerade också utjämningsstank av inkommande avloppsvatten till pilot- och labenheterna. Sandfiltren backspolades två till tre gånger i veckan vid behov, typiskt efter att tryckfallet ökat från 0,5–0,6 till 1,5–1,6 bar.



Figur 4. Förbehandling med grovfilter, förfilter och filtrattankar

### *Pilotlinjer läkemedelavskiljning – PAC*

PAC-linjen bestod av en inblandningstank, tre kontakttankar med 20 minuters uppehållstid i vardera, samt ett nedströms tvåmediasandfilter innehållande 0,5 m Filtralite 2,4–4 mm över 0,5 m Rådasand 1,2–2,0 mm, figur 5. Filtret spolades rent från ansamlade partiklar och PAC-flockar

med en luft- och vattenblandning med de linjära flödena 10 L/h luft respektive 20 m/h vatten. Gångtiden beräknades dimensioneringsmässigt till minst tre dygn mellan erforderliga backspolningar.

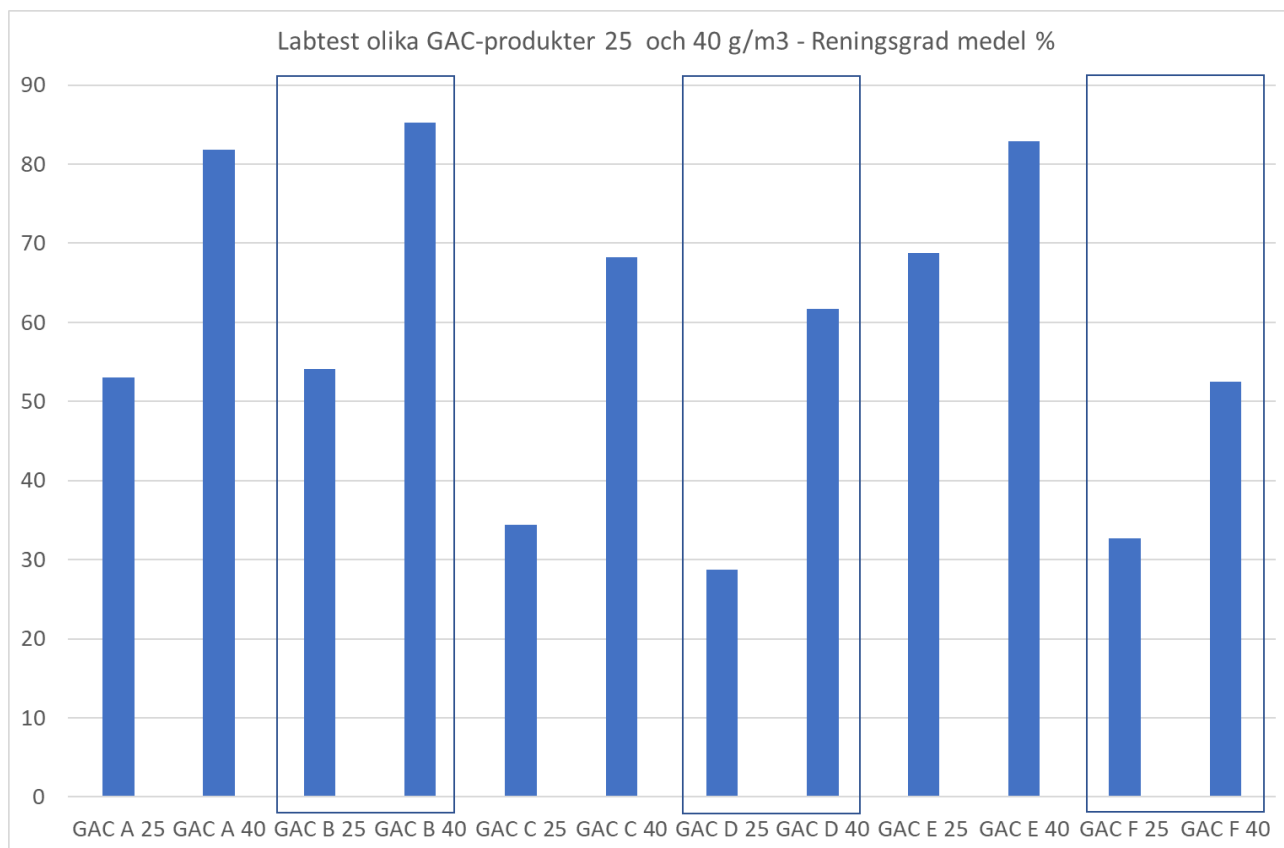
PAC-linjen beskickades med en slangpump till ett börvärde av 50 L/h. En PAC-slurry med koncentrationen 15 g/l bereddes en till två gånger per vecka och hölls i suspension med luftning. PAC-slurryn doserades kontinuerligt med en slangpump till en inblandningstank före den första av tre kontakttankar i serie. Blandningen av avloppsvatten och den tillsatta kolslurryn hölls i rörelse med luftning i respektive kontakttank.



Figur 5. PAC-linjen: inblandningsbehållare, tre kontakttankar i serie och ett sandfilter.

### *Pilotlinjer läkemedelavskiljning – GAC*

GAC-enheten/linjen bestod av ett nedströmsfilter fyllt med 1 m Jacobi Aquasorb 5000. Valet av Aquasorb 5000 baserades dels på tidigare pilottester på sex olika reningsverk, dels på labtest som utfördes på veckoprov på utgående vatten från Lindholmens reningverk. Även här låg Aquasorb 5000 i relativ topp bland de kol som kunde levereras i tid till försöken. GAC A-E testades alla i parallella och kontinuerligt körda labkolonner, se nedan. GAC E som föll bäst ut i labtesten uppvisade även



Figur 6. Labförsök: Genomsnittlig avskiljningsgrad av 30 läkemedelsrester hos sex olika produkter varav GAC A o GAC B är Aquasorb 5000 i två olika sorteringar av kornstorlek.

Filtratet från GAC-filtret i pilotskala samlades upp i en efterföljande utjämningstank för att vid behov kunna pumpas till en exponeringslinje med zebrafisk och dammsnäckor. GAC-filtret backspolades rent från ansamlade partiklar med vatten med en linjär hastighet av 6-7 m/h vatten. Gångtiden beräknades dimensioneringsmässigt till minst två dygn mellan erforderliga backspolningar.

### *Pilotlinjer läkemedelavskiljning – Ozonering*

Under försöken på Lindholmens reningsverk användes initialt en mindre ozoneringslinje än den ordinarie pilotlinjen i väntan på en uppdaterad och reoverad ozongenerator. Linjen drevs kontinuerligt med ett flöde av 22-25 l/h och det ozonerade vattnet leddes efter kontaktkolonnen till ordinarie sandfilter efter ozonering.

Den ordinarie ozoneringslinjen inleddes med en excenterskruvpump som tryckte förbehandlat, utgående, avloppsvatten genom ett venturidysa som skapade ett undertryck för den i venturidysan tillförda syre- och gasblandningen så att gaserna kan lösas in i avloppsvattnet. Ozonet producerades lokalt i en ozongenerator med maxkapaciteten 10 gO<sub>3</sub>/h. Syre koncentrerades lokalt ur luft och trycktes in i den vattenkylda ozongeneratorn. Avloppsvattnet passerade

därefter en 5 m höga kontaktkolonn med 15 till 30 minuters uppehållstid (medel 20 minuter) vid de typiska flöden som kördes under pilotförsöken. Utloppet från kolonnen var kopplat till en utjämningstank (U0) varefter det ozonerade vattnet fördelades på fyra strömmar: 1) sandfilter, 2) efterreaktionsvolymmer (U1, U2 och U3), 3) provtagning och 4) bräddning. Efterbehandlingsalternativen 1) sandfiltret och 2) efterreaktionsvolymerna installerades för att om möjligt förbättra läkemedelsreningen eller minska den potentiella toxiska effekten av ozoneringen.

Sandfiltret i ozoneringslinjen bestod av ett nedströms tvåmediasandfilter som innehöll 0,5 m Filtralite 2,4–4 mm över 0,5 m Rådasand 1,2–2,0 mm. Filtret spolades rent från ansamlade partiklar med en luft- och vattenblandning med de linjära flödena 10 L/h luft respektive 20 m/h vatten. Gångtiden beräknades dimensioneringsmässigt till minst två dygn mellan erforderliga backspolningar. Filtratet från 1) sandfiltret samlades upp i en efterföljande utjämningstank för att vid behov kunna pumpas till en fiskexponeringslinje.

Efterreaktionsvolymerna (extra kontakttankarna efter kontaktkolonnen och utjämning (U0), bestod av tre seriekopplade 200 L fat med en dimensionerande kontakttid av 2 h per fat. Syftet med kontakttankarna var att förlänga reaktionstiden för ozon och läkemedelsrester innan avloppsvattnet släpps till recipienten. Bidragande orsaker till att efterreaktionsvolymerna undersöktes var dels att det tidigare rapporterats att en förlängd uppehållstid kan minska toxiciteten i avloppsvattnet som ett alternativ till sandfiltrering.

## Labkolfilter

Under pilotförsöken kördes fem parallella labkolfilter med fem utvalda granulerade aktiverade kol (GAC)-produkter för att utvärdera produkternas kapacitet och lämplighet för användning på Lindholmens reningsverk, figur 6. Under försöken kördes först försöksomgång 1 med en delvis förbrukad koluppsättning för att slutligt fastställa adsorptionskapaciteten på de aktiva kolen. Förfarandet med att fortsätta använda föregående kol var också en konsekvens av kraftigt försenade leveranser (2,5 månader) av utvalda aktiverade kol från tillfrågade bolag. När de beställda kolprodukterna till slut kom byttes kolen ut till försöksomgång 2.

De granulerade aktiverade kol som användes i kolfiltren var för försöksomgång 1, Jacobi Aquasorb 5000, Chemvicon 207EA, Chemvicon 207C, Chemvicon F300 och Chemvicon F400. De var fyllda i labkolfilter LF1 till LF5 i nämnd ordning. I försöksomgång 2 användes i nämnd filterordning, Aquasorb 5000 8x30, Aquasorb 5000 12x40, Aquasorb 6400 12x40, Chemvicon

F400 och Chemviron Cyclecarb 401. Filtren rymde i storleksordningen 275-415 g GAC vardera beroende på koldensitet.



Figur 7. De fem labkolfiltren som drevs kontinuerligt och parallellt med pilotlinjerna.

## Nitrifikationsfilter

Ett nitrifikationsfilter eller nitrifikationssteg installerades på pilotanläggningen för att sänka ammoniumhalten i den delström av utgående avloppsvatten från Lindholmens reningsverk, som skulle behandlas med avskiljning av läkemedelsrester i pilot- och labenheterna. Nitrifikationsfiltret av typen MBBR – moving bed biofilm reactor - bestod av två st 1000 l IBC-tankar i serie och tankarna fylldes med ca 35% bärare av typen Anox-Kaldnes K1 med etablerad biofilm hölls i cirkulation och luftades genom en gummimembran-dysa i vardera IBC-tank, figur 7. Luftarna matades med kompressorluft från Lindholmens reningsverk. En sedimenteringstank installerades efter nitrifikationstankarna för att avskilja flockar som släpps från bärrmaterialet innan det nitrifierade avloppsvattnet leddes in i pilotanläggningen.



Figur 8. Pilotanläggningen med de tillbyggda nitrifikationsfiltren på taket (uppdateras).

### *Akvariecontainer för fiskeexponering*

Fiskeexponeringen utfördes i en inredd 10 fots container, figur 8 och figur 9. Fyra parallella linjer med tre akvarier i varje linje förbereddes och belastades kontinuerligt med fyra olika vatten. Behandlat vatten från granulerade aktiverade kol, GAC-linjen, respektive behandlat vatten från ozoneringslinjen med ozon + sandfiltrering, tillfördes via var sin utjämningskammare till tre parallella akvarier vardera. Aktivkolfiltrerat kranvatten utgjorde kontrollvatten som tillfördes tre andra parallella akvarier. Referensvatten utgjordes av dagens utgående avloppsvatten från Lindholmens reningsverk och tillfördes den fjärde linjen via en utjämningskammare till de tre parallella akvarierna.

Luft tillfördes de behandlade vattnen i fördelningstunnorna för att dels driva av eventuellt restozon och övermättnad av syrgas, dels för att lufta upp utgående respektive kolfiltrerat avloppsvatten för att säkerställa att syrebrist inte stör försöken.

Anläggningen var värmeisolerad och möjlighet fanns till uppvärmning, kylning och hög luftomsättning. Temperaturen loggades i inom- och utomhusluft, i fördelningstankarna för akvarierna och i varje enskilt akvarium.





Figur 9. Akvariecontainern exteriör



Figur 10. Akvariecontainern interiör

## Analysmetodik mm

### *Bromid*

Analyserades av SGS Analytics Sweden enligt metod DS/EN 10304-1

### *Bromat*

Analyserades av SGS Analytics Sweden enligt metod SS-EN ISO 11206:2013.

### *Läkemedelsrester*

SGS Analytics Sweden analyserade vattenproven enligt ISO 21676:2018, medan Miljö och Media på Kivik AB (MoLab) körde med metoder som är validerade enligt standardmetoden, 1694, publicerad 2007 av det Amerikanska Naturvårdsverket (United States Environmental Protection Agency, US EPA), Method 1694: Pharmaceuticals and Personal Care Products in Water, Soil, Sediment, and Biosolids by HPLC/ MS/MS (EPA, 2007). Eurofins analyserade proverna enligt metodreferens EPA 539 och EPA1639.

### *Mikrobiella analyser*

SGS analyserade de utvalda mikrobiella parametrarna för att bedöma desinfektion av utgående avloppsvatten enligt tabell 2.

Tabell 2 Mikrobiella analyser i samband med desinfektionsstudierna

Analys	Metod
Odlingsbara mikroorg. 22°C 3d	SS-EN ISO 6222, utg 1
Odlingsbara bakt 35°C 2 d	SS-EN ISO 6222 utg 1
Termotolerant koliforma 44°C	SS028167-2 MF
Intestinala Enterokocker	SS-EN ISO 7899-2
Campylobact jejuni/coli/lari	NMKL 119-3
E.coli O 157	VIDAS UP ECPT
Listeria monocytogenes	VIDAS LMX
Salmonella	NMKL 71-4/SS 028165-3
Kolifager	SS-EN ISO 10705-2 mod
Mikrosvamp 25°C	SS028192-1
Mögelsvamp	SS028192-1
Jäst	SS028192-1
Pres Clostridium perfringens	SS-EN ISO 14189:2016
Pseudomonas aeruginosa	SS-EN ISO 16266:2008

### *Nonylfenol*

Analyserades av SGS Analytics Sweden enligt deras egen interna metod GC-MS-NCI.

### *PFOA och PFOS*

Analyserades av SGS Analytics Sweden, enligt ej angiven metod och av Miljö och Media på Kivik AB enligt MoLabs analysmetoder.

### *TOC- totalt organiskt kol*

TOC mättes med kyvett-test från HACH med kit-nummer LCK385, vilket inbegriper fysisk koldioxidavdrivning.

### *UV och VIS spektroskopi/absorption*

Analyserades med dubbelstrålig spektrofotometer UV-1800 av märke Shimadzu med 5 cm kvartskyvetter för referensvatten (avjonat vatten) respektive provvatten.

### *Effektbaserad analys av avloppsvattenprover*

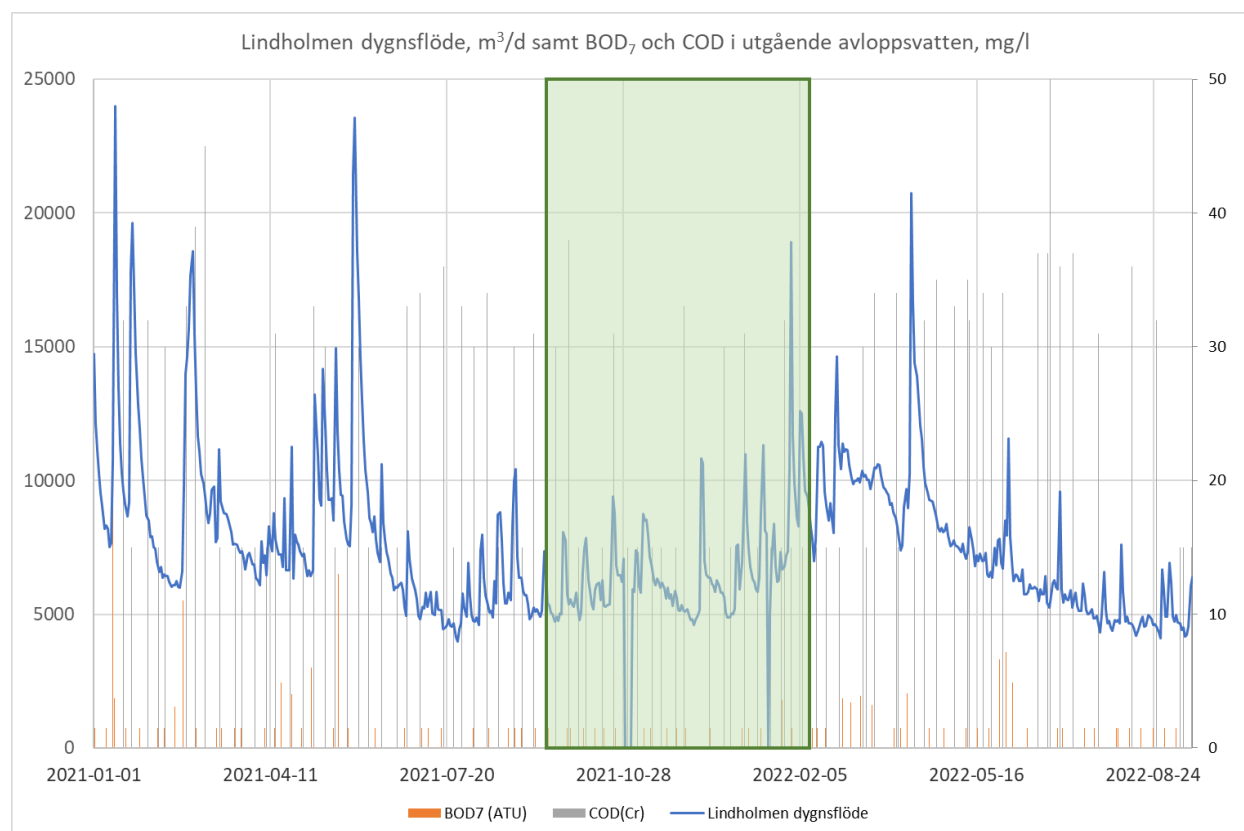
Testen utfördes av Biocell Analytica som studerat förekomsten av ämnen som kan aktivera östrogenreceptorn (ER), androgenreceptorn (AR), arylhydrokarbonreceptorn (AhR) samt orsaka oxidativ stress (Nrf2). Resultaten användes för att beräkna bioekvivalenta koncentrationer (bioequivalent concentrations, BEQ). BEQ-värdet beskriver den observerade effekten uttryckt som en koncentration av en referenssubstans, som är analyserad samtidigt. Referenssubstanserna var 2,3,7,8-tetrachlorodibenzodioxin (TCDD) för AhR-aktivitet, 17 $\beta$ -estradiol (E2) för ER-aktivitet, dihydrotestosteron (DHT) för AR-aktivitet, hydroxyflutamid (OHF) för anti-AR-aktivitet och tertiär butylhydrokinon (tBHQ) för Nrf2 (oxidativ stress).

## Försökskörningar och resultat

Pilotförsöken utfördes på plats på Lindholmens reningsverk och kördes hösten 2021 och vintern 2022. Mät- och analysresultat samlades in löpande under försöken och externa analysresultat inkom t.o.m. augusti 2022. Utvärdering och rapportskrivning utfördes under augusti t.o.m. oktober 2022.

### Allmän beskrivning av försöksdriften

Pilotanläggningen installerades och togs i drift under september 2021 och drevs med omfattande provtagning och analys. Försöken utfördes med olika inriktningar och omfattade veckorna fr o m 2021\_38 till vecka 2022\_09. Försöksperioden kan sägas representera typiska driftveckor vid Lindholmens reningsverk, med en period med lite högre flöden, vilken inföll i slutet av försöken, figur 11.



Figur 11. BOD<sub>7</sub>, COD och flöden under 2021–2022 samt pilotförsöksveckor i grönt.

Medelvärde för flöde; BOD<sub>7</sub> och COD under hela den i figur 10 redovisade perioden var 7600 m<sup>3</sup>/d; 2,4 mg/l respektive 25 mg/L. Under försöksperioden var motsvarande värden för flöde; BOD<sub>7</sub> och COD 7200 m<sup>3</sup>/h, 1,6 och 21 mg/l.

Försöken inleddes med försök med inställning av adekvata hydrauliska flöden och backspolningsstrategier i de olika linjerna med aktiverat kol. Därefter kördes anläggningen med erfarenhetsbaserade förutsättningar att nå konstant hög läkemedelsrening för att producera representativa utgående vatten för exponeringsförsöken med zebrafisk och dammsnäcka. Provtagning med veckovisa samlingsprov och uttag av frekventa stickprover utfördes löpande. Proverna skickade löpande till externt lab för läkemedelsanalyser medan TOC och några driftparametrar analyserades för att ställa in processen i stort.

Reningsverket hade en god nitrifikation vid försöksstart men ett nitrifikationsfilter för pilotanläggningen installerades ändå i samråd med processingenjörerna på Lindholmen som en säkerhetsåtgärd i det fall nitrifikationen skulle begränsas, eller i alla fall ammoniumkväve skulle komma med eventuellt förbilet avloppsvatten till utgående avloppsvatten, pga extremt höga flöden.

Biotesterna under de tre sista driftveckorna i december 2021 då samtliga linjer bedömdes intrimmade och linjerna kördes så stabil som möjligt för att ge konstanta betingelser i framförallt reningsgrad.

Totalt kördes pilotanläggningen under 21 veckor, varav 12 veckor räknas som skarpa, med löpande veckovisa uttag av samlingsprov. Analys- och reningsresultat redovisas översiktligt och sammanfattningsvis i detta resultatkapitel och resultaten återfinns mer i detalj i bilaga 1–23.

Veckoprover togs ut genom att provvatten samlades in med kontinuerlig pumpning till provkärl som förvarades i kylskåp fram till dess fyra eller tre dagar förflutit. Efter respektive delvecko-period frystes delveckoprovet in i -20°C och utvalda delprover tinades efter det att försöken avslutats. Delproverna flödesproportionerades till "helveckoprover" som skickades i kylväskor till externt laboratorium, eller analyserades omgående på det interna labbet.

### *Övergripande statistik om försöken*

Totalt behandlades 1280 m<sup>3</sup> avloppsvatten i de olika pilot- och labenheterna i pilotanläggningen. Under försöken samlades 65 veckoprover in och de flesta skickades till olika externa lab för att analyseras på läkemedelsrester, medan ett mindre urval skickades för analys av PFAS-ämnen, nonylfenoler, Microtox, bromid och bromat.

Stickprover för analys av bl.a. TOC/DOC, konduktivitet, pH och UV/VIS-absorbans samlades in löpande under försöken och antalet stickprover uppgick till totalt 1175 stycken för mätning och analys på lokalt laboratorium, därtill sändes 37 stickprover från dos-responsförsök, kontakttidförsök och labkolfilter till externt laboratorium för läkemedelsanalys mm.

## Inpumpning till pilotanläggningen

Pilotanläggningen matades med en dränkbar pump av fabrikat Flygt med modellbeteckning Ready 4L. Pumpen var nedsänkt i utloppskanalen från verket, före flödesmätningen. Pumpen gick kontinuerligt och utan problem från 6 september 2021 till 1 mars 2022, då de sista försöksenheterna stängdes av.

## Förbehandling med grovfilter och sandfilter

Behandlingens inledande två grovfiltren, med först 3 mm och sedan 1,5 mm håll, i respektive rengjordes manuellt i snitt tre gånger i veckan för att avlägsna svarta slamflockar och annat biologiskt material (andmatsrester). Sandfiltren backspolades två till tre gånger i veckan vid behov, typiskt efter att tryckfallet ökat från 0,6–0,7 bar till 1,5-1,7 bar.

Under en period, efter årsskiftet 2021-2022, ersattes sandfiltren av två parallella trumfilter med maskvidden 15 µm respektive 30 µm. Trumfiltren backspolades automatiskt baserat på igensättning av dukarna som följdes via nivåmätare uppströms dukarna.

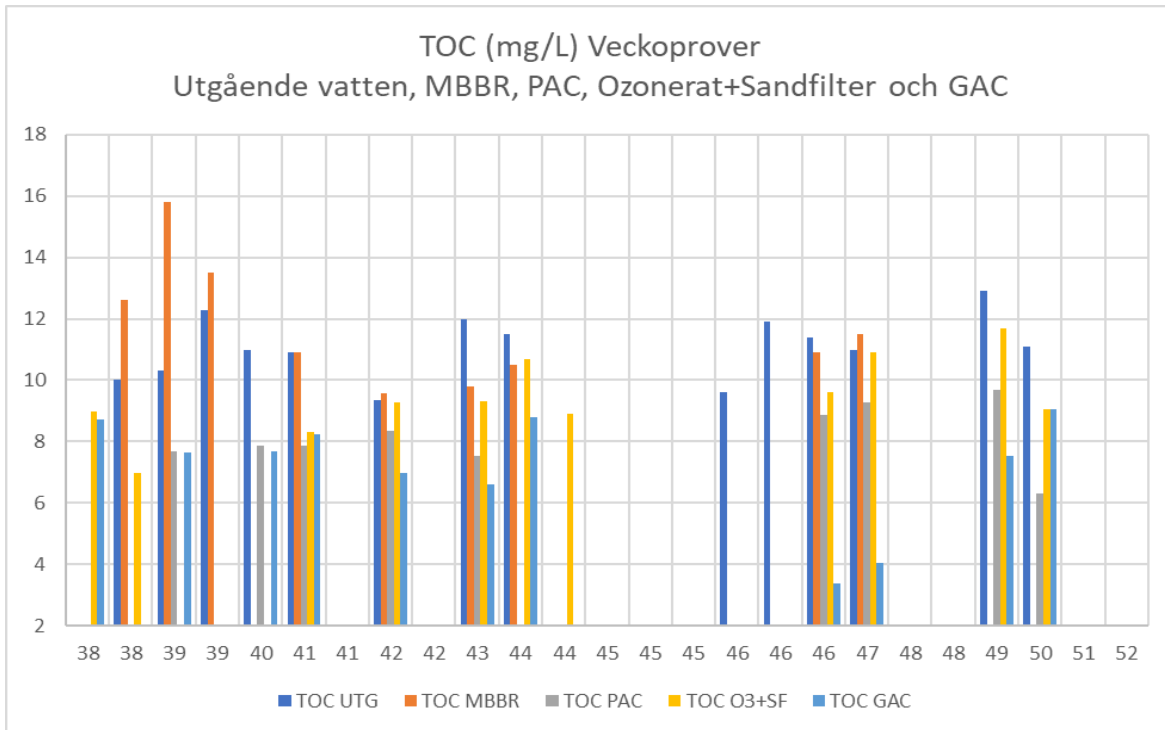
## Interna analyser – resultat för pilotlinjerna

Kontinuerlig uppföljning gjordes genom mätningar och analyser på insamlade stick- och vecko-samlingsprover. Uppföljningen var nödvändig för dokumentation och beskrivning av försöken, samt viktiga för att kontrollera och vid behov justera driftparametrar såsom doser av ozon och pulverkol (PAC). De interna analyserna omfattade partikulärt och löst organiskt material analyserat som TOC (Total Organic Carbon) respektive DOC (Disolved Organic Carbon), konduktivitet, pH, UV-absorbans vid 254 nm, VIS-absorbans vid 600 nm. Till detta utfördes stickprovsmätningar av syre i vatten- och gasfas, ozon i gasfas samt vattentemperatur.

### *Totalt Organiskt kol - TOC*

Lindholmens reningsverk avskiljer organiskt kol (TOC) till mycket stor del, ca 90 %. Resthalten i ordinarie utgående avloppsvatten är normal till något förhöjd, medel ca 11 mg C/l, jämfört med andra reningsverk, som precis som Lindholmen, saknar avslutande sandfilter. I samband med försöken följdes TOC-halten, i första hand genom analys av veckoprover insamlade på avloppsvatten, före och efter de olika pilotlinjerna för läkemedelsrening. Analysresultaten visar att TOC in till läkemedelsreningen varierar något under försöksperioderna, figur 12 och tabell 3.

En anledning till minskningen kan vara att luftningen i ordinarie biosteg förstärktes med fler luftare under sommaren för att förbättra nitrifikationen.



Figur 12. TOC i veckoprover från pilotlinjerna tagna under höstens försök. X-axelns siffror är veckonummer. Beteckningar: UTG – ordinarie utgående avloppsvatten, MBBR-utgående avloppsvatten från nitrifikationsfiltret med MBBR-teknik, PAC-utgående avloppsvatten från pulverkollinjen, O3+SF – ozonerat och sandfilterat samt GAC – aktivt kol filterat.

MBBR-linjen påverkade inte TOC-halten nämnvärt, men genom okulära observationer förefaller det som det organiska material ändrat karaktär genom att större flockar kunde ses i utgående vatten från MBBR-anläggningen jämfört med ordinarie utgående avloppsvatten. PAC-linjen sänkte TOC-halten med ca 3 mg C/l genom adsorption av organiskt material till kolet och partikelavskiljning i sandfiltret i PAC-linjen.

Ozoneringens påverkan på TOC-halten varierade, men minskningen låg under alla veckor i genomsnitt på 1,5 mg C/l. Slutligen GAC-linjen som avskilde mest TOC av alla behandlingar. Avskiljningen varierade mellan 1 och 8 mg C/l. Störst avskiljning sker efter ett kolbyte, vilket gjordes vecka 44 i pilotanläggningen. Då var avskiljningen av TOC 8 mg/l, vilken sjönk till 2 mg/l efter sex veckors drift, vilket motsvarade nästan 2900 bäddvolym (BV).

Tabell 3. TOC [mg C/l] i veckoprover från pilotlinjerna

Vecka 2021	UTG	MBBR	PAC	O3+SF	GAC
V38	10,0	12,6		9,0	8,7
V39	11,3	14,2	7,7		7,7
V40	11,0		7,9		7,7
V41	10,9	10,9	7,9	8,3	8,2
V42	9,4	9,6	8,4	9,3	7,0
V43	12,0	9,8	7,5	9,3	6,6
V44	11,5	10,5		8,9	
V45					
V46	11,4	10,9	8,9	9,6	3,4
V47	11,0	11,5	9,3	10,9	4,1
V48					
V49	12,9		9,7	11,7	7,5
V50	11,1		6,3	9,1	9,1
Medel	11,1	11,2	8,2	9,6	7,0

### Konduktivitet

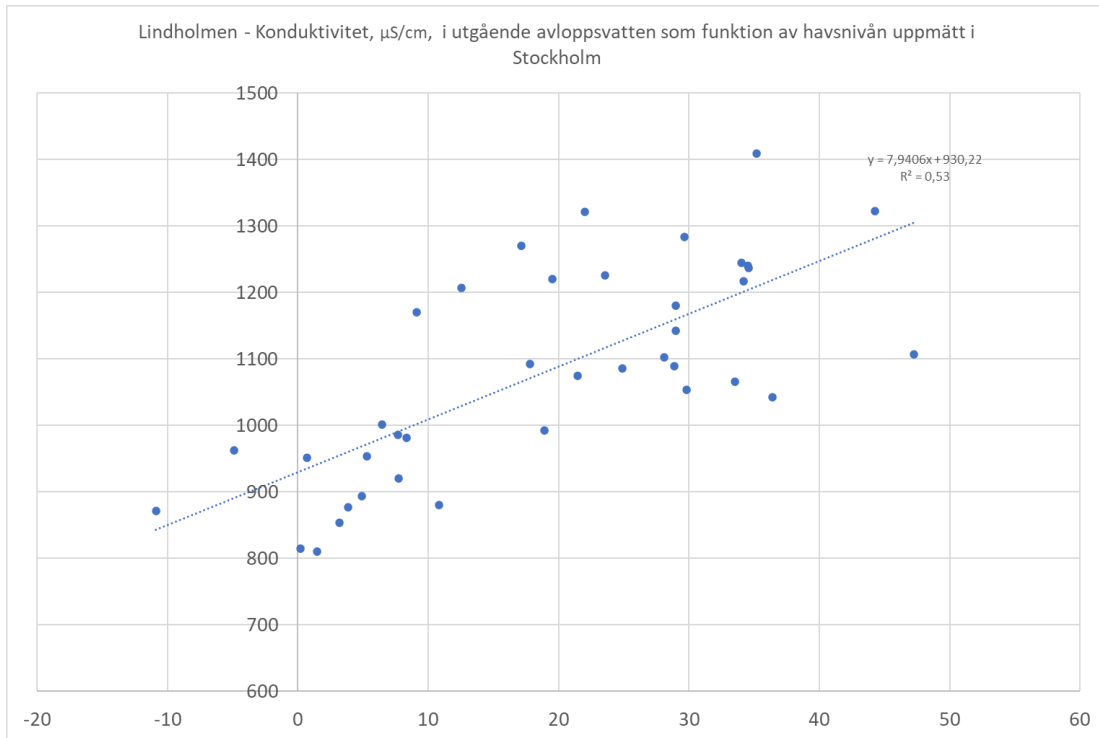
Mätningarna av konduktivitet (elektrisk ledningsförmåga p.g.a. joner i avloppsvattnet) visar att utgående vatten håller en typisk konduktivitet för kommunalt avloppsvatten under försökens första veckor och att MBBR och möjligen GAC-linjen sänker konduktiviteten något, tabell 4.

Tabell 4. Konduktivitet [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] i prover från pilotlinjerna.

Vecka 2021	UTG	MBBR	PAC	O3+SF	GAC
V38	740	853		844	756
V39	948	886	935		929
V40	858		858		881
V41	1010	994	957	998	1023
V42	1102	1042	1082	1122	1090
V43	1214	1171	1185	1158	1082
V44	1153	1114		1099	1071
V45	1050	1018	1040	1036	1040
V46	1100	1048	1058	1085	1063
V47	1294	1207	1261	1268	1283
V48	1281		1246	1291	1283
V49	1184		1176	1174	1178
V50	895		878	873	878
Medel	1064	1037	1061	1086	1043

Förklaringen till den något lägre konduktiviteten kan vara utfällning av kemisk flock i GAC-linjen och i MBBR-tanken förbrukning av alkalinitet p.g.a. nitrifikationen samt utfällning av kemisk flock.

Under större delen av hösten var konduktiviteten förhöjd från i medeltal 860 till 1150  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , vilket antogs bero på inträngning av bräckt vatten i ledningsnätet. Ett överslag visar att inläckaget uppgick i medeltal till knappt 14% av inkommande flöde och inläckaget ökar med ökande havsnivå, figur 13.



Figur 13. Konduktivitet,  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , i utgående avloppsvatten som funktion av havsnivån uppmätt i Stockholm

### *pH*

Mätningarna av pH visar att utgående vatten är neutralt och i samband med ozoneringen och framförallt i MBBR-linjen ökar pH något sannolikt p.g.a. gas- respektive luftflödet som strippar bort koldioxid ur avloppsvattnet, tabell 5. Ökningen av pH över PAC-linjen kan också bero på avdrivning av koldioxid i de luftade kontakttankarna, men också något från den tillsatta PAC-produkten som kan vara svagt basisk p.g.a. produktionsrester.



Tabell 5. pH i prover från pilotlinjerna.

Vecka 2021	UTG	MBBR	PAC	O3+SF	GAC
V38	8,80	7,52			
V39	7,41		7,76		
V40	6,89		7,52		7,07
V41	6,88				
V42	7,10				
V43					
V44				7,53	
V45	7,18	7,89	7,80	7,40	7,19
V46	7,52	7,83	7,83	7,93	7,56
V47	7,43	7,97			7,23
V48	7,66				
V49	7,87	7,93	7,58		7,75
V50	7,48		7,44	7,24	7,86
Medel	7,47	7,83	7,66	7,53	7,44

*UV254 nm - absorbans*

Mätningarna av absorbans visar att GAC-filtret avskiljer överlägset mest av ämnen som absorberar UV ljus, följt av effekten av ozoneringen och sist PAC-linjen och MBBR-linjen, tabell 6.

Tabell 6. UV absorbans [ $\text{cm}^{-1}$ ] i prover från pilotlinjerna.

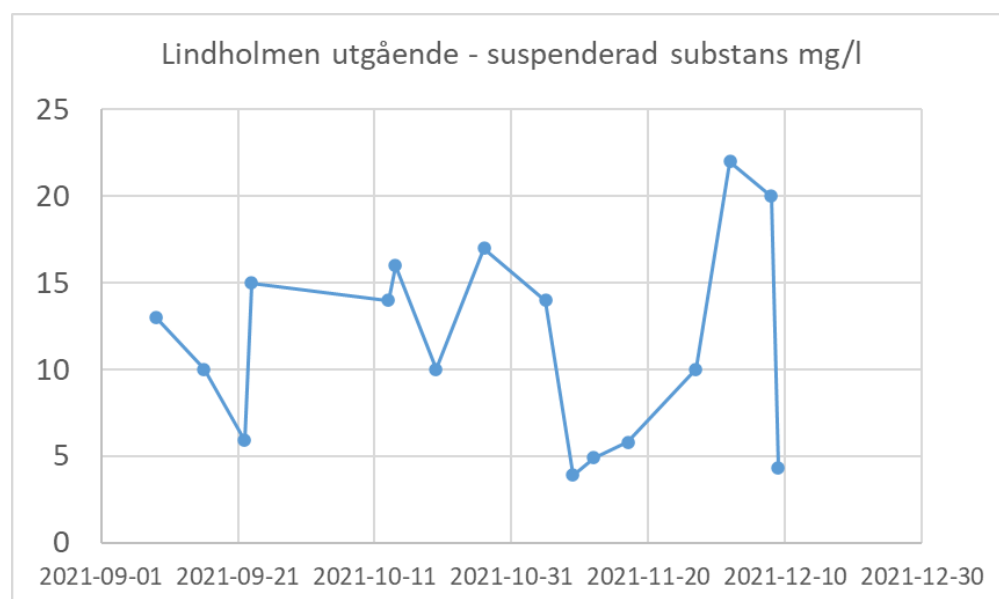
Vecka 2021	UTG	MBBR	PAC	O3+SF	GAC
V38	1,068	1,304	0,864		0,562
V39	1,236	1,253	0,849		0,680
V40	1,392				0,759
V41	1,267	1,379	0,901	0,723	0,877
V42	1,234	1,365	1,035	0,918	0,792
V43	1,501	1,214	0,965	1,039	0,600
V44	1,533	1,483		0,519	1,123
V45	1,271	1,181	0,961	0,531	0,212
V46	1,563	1,455	1,686	0,802	0,462
V47	1,659	1,667	1,713	1,089	0,623
V48	0,935		1,673	1,196	0,442
V49	1,642		2,416		1,306
V50	1,810		2,279	0,897	1,465
Medel	1,393	1,367	1,395	0,857	0,762

Förbehandlingsfiltren F1 och F2 avskilde ämnen och partiklar som absorberar UV-ljus vid 254 nm till i medeltal  $10 \pm 5\%$ , se nedan. Mätningarna av UV-absorbans hade stor betydelse under försöken för att momentant och direkt i fält kunna ställa in erforderlig ozondos för att uppnå

hög läkemedelsoxidation. På samma sätt kunde PAC-dosen justeras in. Vidare användes UV-resultaten för att följa läkemedelsreningen med labkolfilter.

## Förbehandlingen – drift och process

Suspenderat material kan påverka läkemedelsreningen negativt pga igensättningar och ökad resursåtgång i ozoneringssteget. Effekten av pilotanläggningens förbehandling, i form av två seriekopplade sandfilter, utvärderades med hjälp av UV/VIS-absorbans vid 254 nm och 600 nm mätt på stickprover från pilotanläggningen. Utgående avloppsvatten från Lindholmens reningsverk höll i medeltal suspenderade substanshalter av 11 mg/l, men med variationer mellan 4 och 22 mg/l figur 14.



Figur 14 Suspenderad substans i utgående avloppsvatten från Lindholmen reningsverk under försöken

Förbehandlingsfiltren F1 och F2 avskilde ämnen och partiklar som absorberar UV-ljus vid 254 nm och 600 nm till i medeltal  $10 \pm 5$  %. I princip all avskiljning (90 %) skedde redan i det första sandfiltret F1 som innehöll lite grövre sand (1,2–2,0 mm) än sandfilter F2 som innehöll finare sand (0,4 - 0,6 mm). Omräknat till suspenderad substans för provtagningsdagarna i pilotanläggningen sänktes susp-halten från drygt 12 mg/l till 10 mg/l i medeltal, motsvarande 19% reduktion.

Trumfilter utvärderades som alternativ till sandfilter under försöken som kördes efter årsskiftet dvs 7 januari till 1 mars 2022. Under denna period var den genomsnittliga susp-halten 14 mg/l i utgående avloppsvatten från Lindholmens reningsverk. Avskiljningen av suspenderad substans begränsades till 13 %, något sämre än för sandfiltren.

## Nitrifikationsfiltret – drift och process

Nitrifikationsfiltret togs i drift i september för att i första hand nitrifiera utgående vatten innan det pumpades in i pilotanläggningen. Inkopplingen av nitrifikationsfiltret var en försiktighetsåtgärd för att kunna köra biotesterna utan att testorganismerna skulle störas av höga ammoniumhalter. Nitrifikationsfiltret fungerade direkt vid uppstart tack vare den redan etablerade biofilmen. Den totala uppehållstiden i tankarna kom att variera mellan 2,5 och 8 h under försökskörningarna, beroende på igensättningar i strypningen av flödet till linjen. Syrehalten i tankarna var hög, 9–11 mg O<sub>2</sub>/l, vilket motsvarar 100 % syremättnad. Vattentemperaturen var i princip densamma som i utgående avloppsvatten, men temperaturen kunde sjunka någon grad under kalla nätter mot slutet av försöken. Upphållstiden i tankarna var tillräcklig för att nitrifiera avloppsvattnet till mindre än 1 mgNH<sub>4</sub>-N/l, men uppehållstiden var erfarenhetsmässig för kort med 2 h, men tillräcklig med 8 h, för att ge en god avskiljning av vissa läkemedelsrester, vilket tidigare rapporterats oxideras i MBBR-system.

## PAC-linjen – drift och process

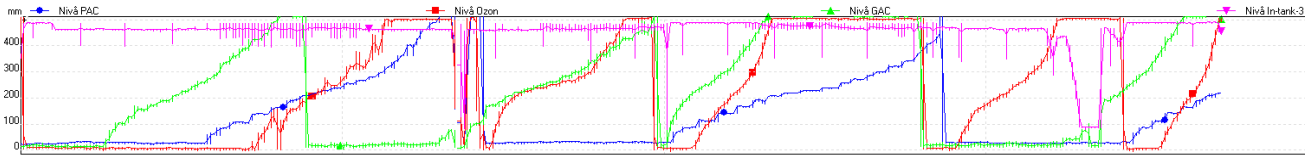
PAC-linjen beskickades med en slangpump till ett börvärde på 40-50 l/h. En PAC-slurry för dosering bereddes en till två gånger per vecka och hölls i suspension med luftning i en förrådstank. PAC-slurryn doserades kontinuerligt med en slangpump till en inblandningszon före den första av tre kontakttankar med 20 minuters uppehållstid vardera. PAC-dosen varierades mellan veckorna för att utvärdera erforderlig dos för att nå minst 80% avskiljning av utvalda läkemedelsrester.

Under alla försöksveckor, användes Jacobi Aquasorb 5000P som tidigare visat sig vara en kostnadseffektiv produkt. Under försöken på Lindholmen hölls PAC-dosen något högre än normalt på andra reningsverk och den varierade normalt mellan 15 och 35 g PAC/m<sup>3</sup>. Dosen var lägre vecka 42 och vecka 43 då dosen låg under 15 g PAC/m<sup>3</sup>.

### *Avskiljning av PAC i sandfiltret och erforderlig backspolning*

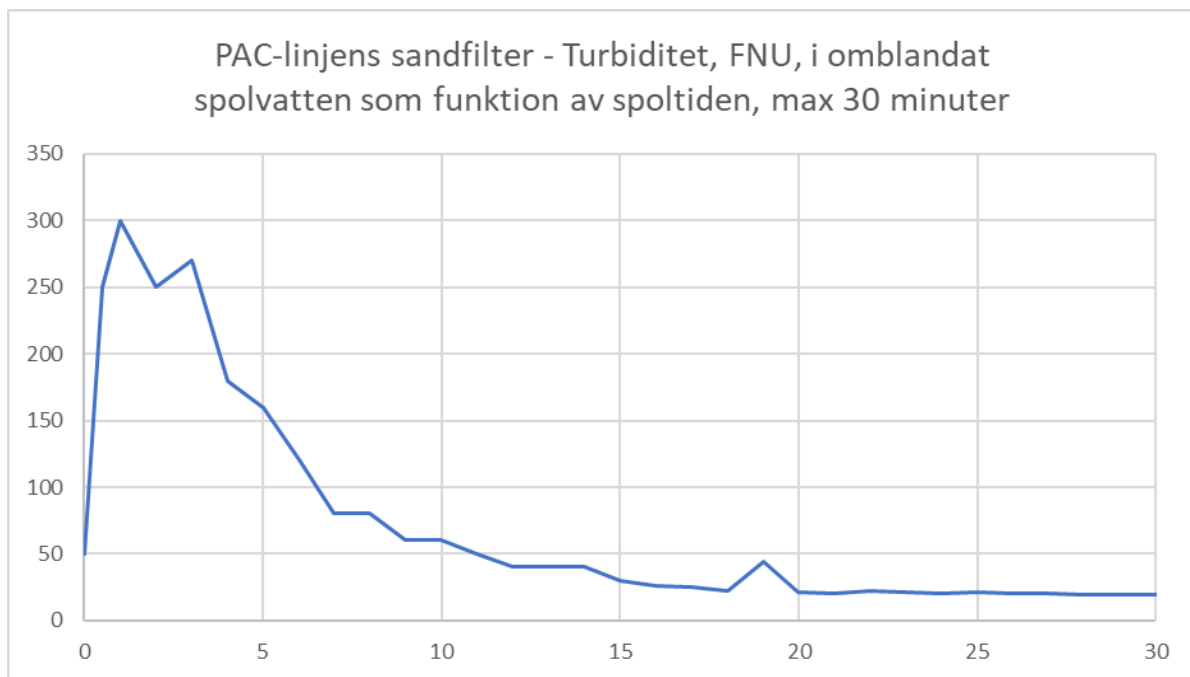
PAC-flockar och andra partiklar avskildes effektivt i tvåmedia sandfiltret: mer än 90 % mätt som turbiditet. Typiska värden var 10–20 FNU före sandfiltret och <1 FNU efter. Provtagningskärnen för behandlat avloppsvatten var helt rena från svart pulverkol, trots 7 dagars kontinuerlig insamling av utgående vatten från PAC-linjen.

Sandfiltret i PAC-linjen spolades rent från ansamlade partiklar och PAC-flockar med en luft- och vattenblandning med de linjära flödena 8-10 L/h luft respektive 20 m/h vatten. Gångtiden var relativt lång mellan erforderliga backspolningar och uppgick i PAC-linjen till 5-7 dagar, varunder tryckfallet successivt ökade med ca 650 mm H<sub>2</sub>O, figur 15. Vanligtvis backspolades filtret var fjärde till var femte dag för att säkerställa högt hydrauliskt flöde genom filtret. Ytbelastningen på filtret var i snitt 2,3 m/h under normal nedströmsdrift.



Figur 15. Nivåer, mm, i pilotfiltren på Lindholmen i november 2021, trendlängd 14 d.

Sandfiltret i PAC-linjen backspolades under 1x 30 minuter som ett standardförfarande. Vi några tillfällen under försökskörningarna togs stickprover ut varje minut på backspolvattnet för att följa bortspolningen av partiklar. Proverna mättes med avseende på turbiditet och gav ett liknande mönster varje gång, figur 16.



Figur 16. Turbiditet i backspolvatten från PAC-linjen varje minut från spolstart + 1 minut.

De sedimenterade stickprovernas slamfas är tydligt utbildad efter 1,5-2 timmar och proverna fick en klar vattenfas ovanför slammet.

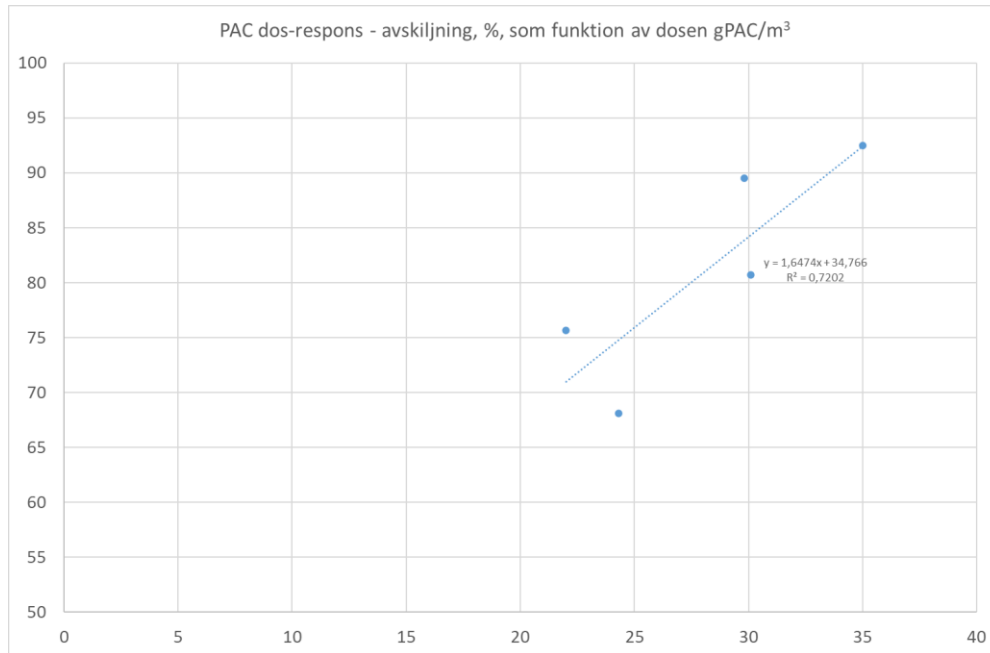
En slutsats som kan dras av mätningarna av backspolvattnet är att backspoltiden för PAC-linjens sandfilter kunde kortas ned till 15 minuter från den normala 20–30 minuters backspoltid.

### *Dos respons för PAC dos*

De under försöken doserade mängderna PAC motsvarade en dos mellan 15 och 35 g PAC/m<sup>3</sup>. Under vecka 42 och vecka 43 låg under 15 g PAC/m<sup>3</sup>. Den varierade dosen gjordes för att hitta

och bestämma en PAC-dos som måste tillsättas för att uppfylla önskade eller tilldelade krav för läkemedelsrening.

En dos-responskurvan för Lindholmens reningsverk togs fram baserat på medelavskiljningen av 24 utvalda läkemedelssubstanser över PAC-linjen, i diskreta veckoprov för veckorna 2021\_39-50, figur 17. Med API avses Active Pharmaceutical Ingredient eller på svenska en läkemedelssubstans.



Figur 17. Medelavskiljning [%] av 30 API vs PAC-dos

Dos-responskurvan visar att en PAC-dos av 27 g/m<sup>3</sup> erfordras för att uppnå 80 % avskiljning, medan 33 g/m<sup>3</sup> måste doseras för att uppnå 90% avskiljning. Dessa värden ligger nästan 90 % högre än rekommenderade doser baserade på pilotförsök som tidigare utförts på Käppala och Västerås reningsverk. Orsaker till det högre dosbehovet kan vara att läkemedelskoncentrationerna i Lindholmens utgående avloppsvatten är i medeltal dubbelt så höga än i Henriksdal reningsverk, TOC-halten är 40% högre än i Henriksdal, att pilot-linjen körde inte med PAC-recirkulation samt att de utvalda och studerade ämnena delvis skiljer sig mellan studierna.

## Ozoneringslinjen – drift och process

Ozoneringslinjen drevs kontinuerligt under försöksveckorna med en ozondos som beräknades ge mellan 80 % och 90 % oxidation eller nedbrytning av läkemedelsresterna. Efter haveriet av den stora ozongeneratoren straxt efter uppstarten, sattes en mindre ozonlinje samman och som drevs under tre veckor i väntan på reparationen av ozongeneratoren. Det ordinarie ozoneringslinjen var därefter i drift i åtta veckor.

Sex dos/respons-försök med ozon gjordes i anslutning till försöksperioderna varav prover för läkemedelsanalys skickades in från fem omgångar, två omgångar prover från tester med en labkolonn och tre omgångar från försök i pilotlinjen. Ozoneringslinjen innehöll, förutom själva ozonbehandlingen, två olika efterbehandlingsalternativ: sandfilter och efterreaktionsvolym. Under försöken kördes sandfiltret kontinuerligt och veckosamlingsprover togs ut från kombinationen ozonering och sandfilter. Stickprover togs ut till kortare samlingsprover från efterreaktionsvolymerna. Analysresultat för läkemedelsrester återfinns i detalj i bilaga 1-5.

### *Driftobservationer*

Ozoneringslinjen drabbades av ett ozongeneratorhaveri redan dag 2 av de skarpa försöken. När väl generatoren renoverats fungerade ozoneringen bra med kontinuerlig drift utan avbrott under försöksveckorna. Inga ozonläckor noterades och anläggningen slogs inte heller av automatiskt av ozondetektorerna i anläggningen. Ingen nämnvärd skumning förekom i ozoneringen, vare sig i gasuttaget i toppen av kontaktkolonnen eller i utgående vatten. Begränsad skumning noterades dock i samband med dos-responsförsöken och då i testerna med höga doser, 12 och 16 g O<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>.

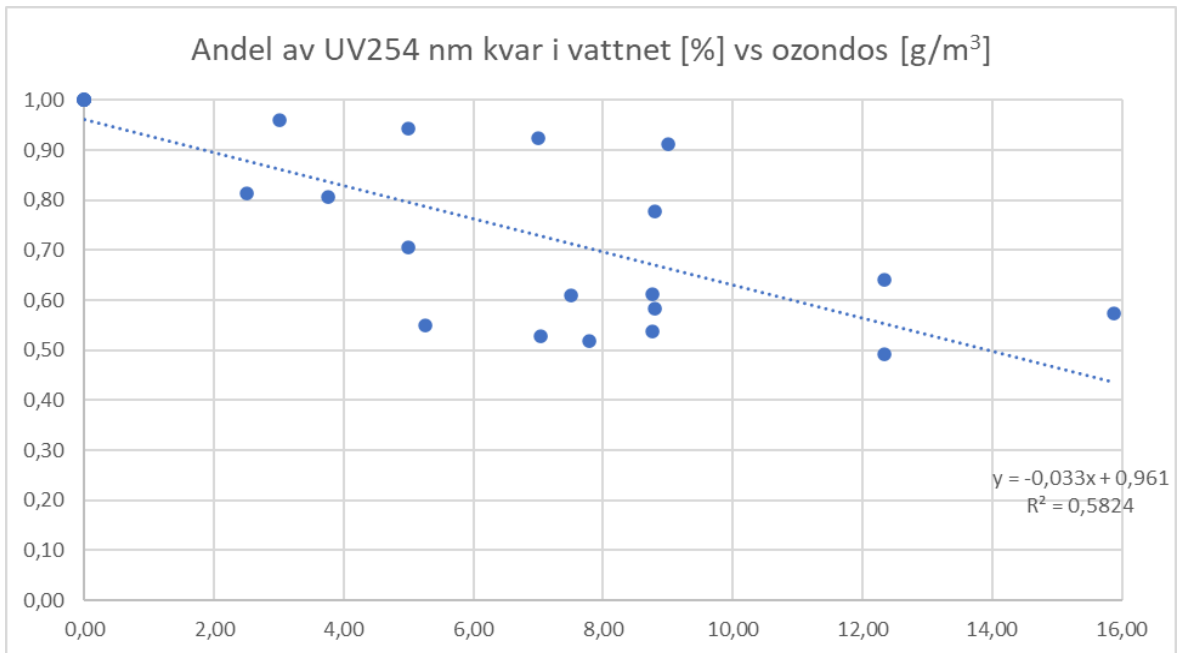
## Ozonering dos/respons

Dos responsförsök med ozon utfördes tre gånger under försöken med labkolonnen: 2021-10-04, 2021-10-14 och 2021-11-08 och ytterligare tre gånger under försöken med pilotkolonnen: 2021-12-17 och 2020-02-10 och 2021-03-03, tabell 7. Prover för analys av läkemedelsrester skickades till externt laboratorium för försöken 2021-10-14, 2021-11-08, 2021-12-17, 2022-02-10 och 2022-03-01.

Tabell 7. Data för dos/responsförsöken med ozon

Datum	Avloppsflöde [L/h]	Uppehållstid [min]	TOC [mg/L]	DOC [mg/L]
2021-10-04	22	19	12	11
2021-10-14	22	19	10,9	8,6
2021-11-08	22	19	12,2	11,5
2021-12-17	260	20	12,5	11,2
2022-02-10	260	20	10,8	9,9
2022-03-01	260	20	9,6	8,3

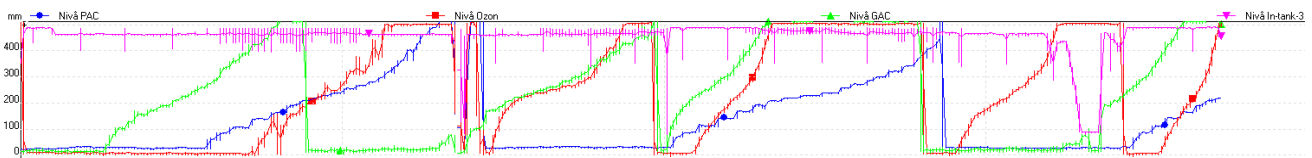
Absorbansmätningar vid UV-254 nm användes under försöken som en snabb indikation på anläggningens funktion och mätningarna gav underlag till inställningar av driften av bl.a. ozoneringslinjen som fick sin dos/respons relation snabbt fastställd före och under de skarpa försöksveckorna, figur 18.



Figur 18. Dos/respons försök för ozon baserad på relativ minskning [%] av UV254 nm absorbans som funktion av ozondosen [ $\text{gO}_3/\text{m}^3$ ].

## GAC-filtret – drift och process

GAC-linjen kördes kontinuerligt under totalt 26 veckor. GAC-filtret backspolades med vatten under 30 minuter varannan till var tredje dag för att bli fritt från ansamlade partiklar och säkerställa hög hydraulisk kapacitet, ca 50 l/h. Backspolhastigheten var låg, motsvarande 13 m/h vatten, för att undvika förlust av GAC-korn till spolavloppet. Gångtiden var relativt lång mellan erforderliga backspolningar och kunde i GAC-filtret uppgå till 5 dagar, varunder tryckfallet successivt ökade med ca 650 mm  $\text{H}_2\text{O}$ , figur 17. Ytbelastningen på filtret under nedströmsdrift var i snitt 2,3 m/h.

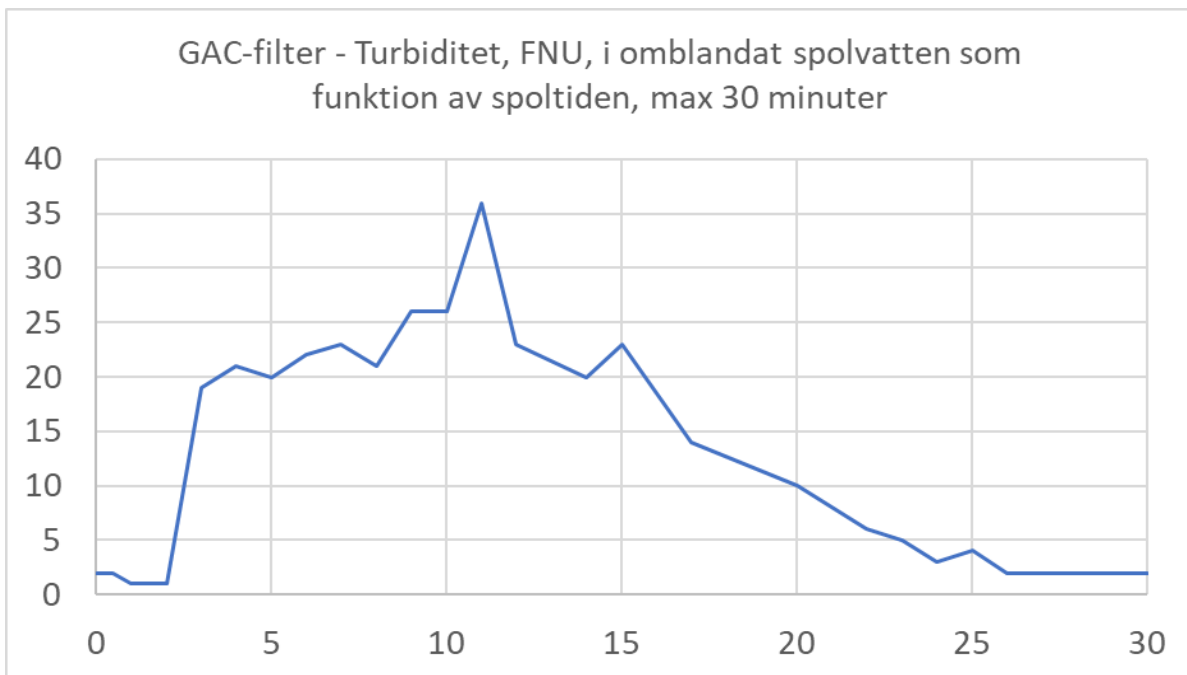


Figur 19. Nivåer, mm, i pilotfiltren på Lindholmen i november 2021, trendlängd 14 d.

GAC-filtret backspolades under 30 minuter som ett standardförfarande varvid tydliga flockar kunde observeras i spolvattenavloppet. Vi några tillfällen under försökskörningarna togs stickprover ut varje minut på backspolvattnet för att följa bortspolningen av partiklar. Proverna mättes med avseende på turbiditet och en utvärdering visar att backspoltiden skulle kunna minskas till 15 minuter från standardtiden som var 30 minuter, figur 21.



Figur 20. Backspolning av GAC-filtret – avskilda flockar spolas bort.



Figur 21. Turbiditet i backspolvatten från GAC-linjen varje minut från spolstart + 1 minut. En slutsats som kan dras av mätningarna av backspolvatten är att backspoltiden för GAC-filtret skulle kunna kortas ned till 15-25 minuter beroende på mängden ackumulerade partiklar.



## Efterreaktionstankarna i ozoneringslinjen – drift och process

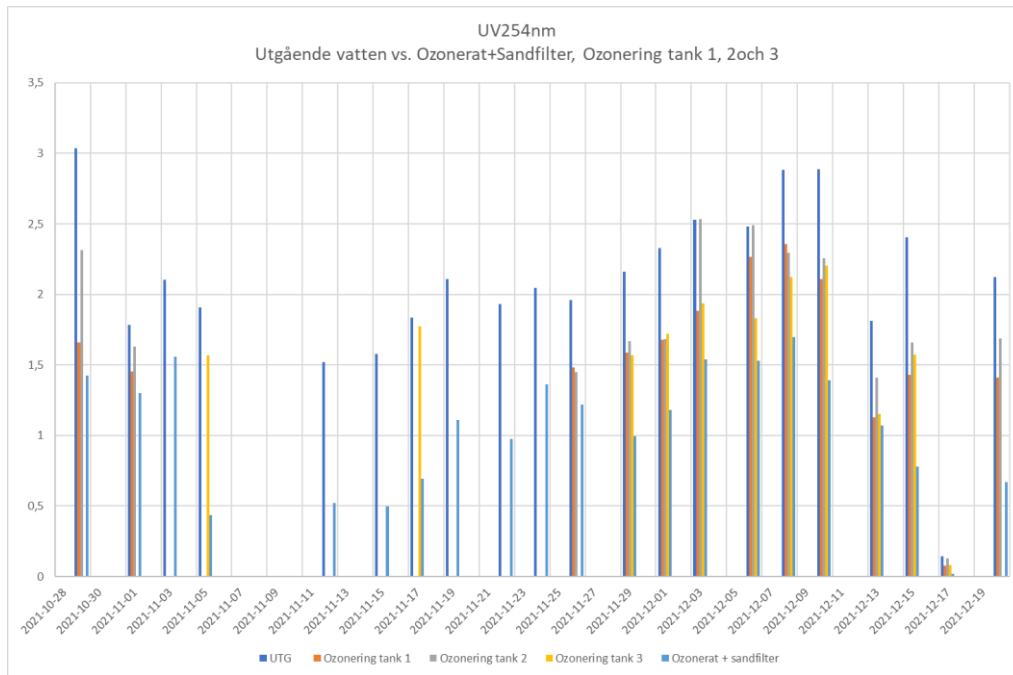
Kontakttankar installerades och testades för att undersöka effekterna av en förlängd reaktionstid för ozon och bildade radikaler, av och med, läkemedelsresterna i avloppsvattnet, innan vattnets släpps till recipient. Den förlängda uppehållstiden undersöktes även som ett alternativ till sandfilter för att minska den eventuellt toxiska effekten i ozonerat vatten. Den toxiska effekten utvärderades med hjälp av microtox-analyser. Förändringen av avloppsvattnets sammansättning över de sekventiella efterreaktionstankarna undersöktes med hjälp av UV absorption vid 254 nm.

Flödet till kontakttankarna reglerades manuellt med en ventil efter ozoneringslinjens fördelningstank (U0) på pilotanläggningens tak. Tankarna var i drift under den sammanhängande ozoneringsperioden med pilotanläggningen under vecka 2021\_43 till 2021\_50. Avloppsvattenflödet varierade vid några tillfällen p.g.a. successiv igensättning av flödesmätaren men var i medeltal 120 l/h.

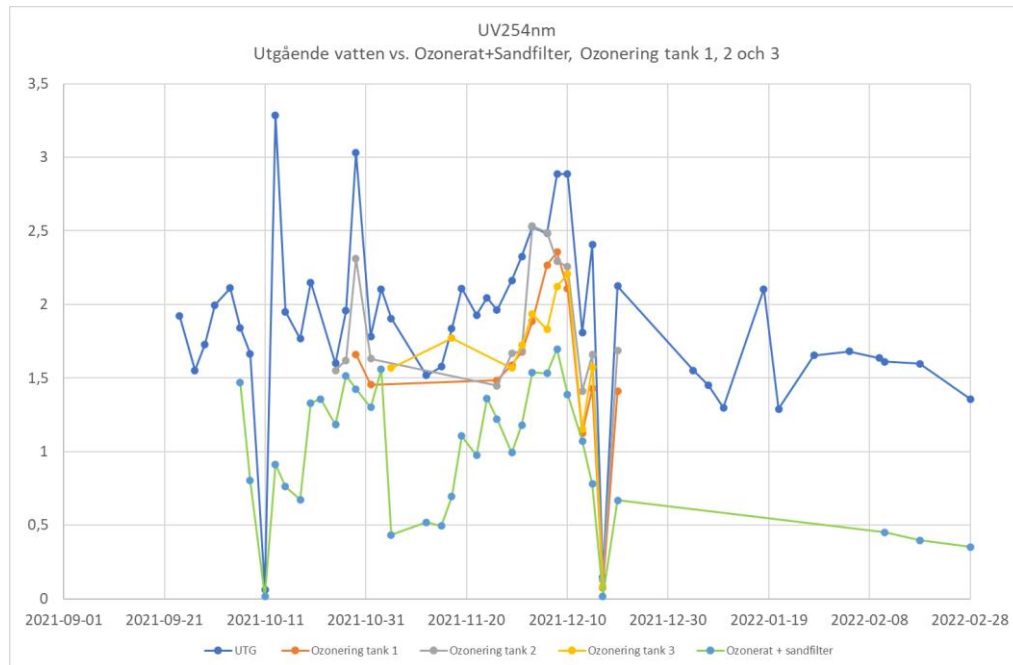
Varje kontakttank rymde 200 L och tillsammans rymde de tre kontakttankarna 600 L. De var förbundna med rör som monterades så att hydraulisk kortslutning förhindrades i respektive tank. Prover togs ut genom kulventiler efter respektive tank. Den till vattenflödet korrelerade uppehållstiden i efterreaktionstankarna varierade men låg runt 1,7 h per tank (blå linje i figur 20). Den sammanlagda uppehållstiden i de tre tankarna varierade mellan typiskt 5 h.

Effekten av efterreaktionsvolymerna följdes upp med UV-absorbans vid 254 nm. En jämförelse mellan absorbansen i utgående avloppsvatten från Lindholmens reningsverk med absorbansen i utgående vatten från respektive efterreaktionsvolym U0-U3 samt efter ozoneringslinjens sandfilter (O3+SF) visar att de olika efterbehandlingarna minskar UV-absorbansen, figur 22. Sandfiltreringen har den största effekten, men där bidrar även själva filtreringen sannolikt till minskningen. Periodvis sedimentering noterades i tank 3, vilken också kan ha bidragit till minskningen av material som absorberar UV ljus med 254 nm våglängd.

En vidare utvärdering av absorbanserna i korresponderande stickprover från utgående vatten från respektive efterreaktionsenhet och uppdelat på olika dygn visar att både efterreaktionsvolymerna och sandfiltreringen har en konsekvent, relativt hög avskiljning av absorberande material, figur 23. I efterreaktionstankarna kan en förväntad, successiv minskning absorberande material synas i mätningarna för t.ex. 9 december 2021, men att värdena i de flesta fall pendlar lite inkonsekvent mellan korresponderade prover, vilket troligen är en effekt av uppgrumlat material i samband med provtagningarna, trots att provvatten fick rinna för att tömma provtagningsledningen innan provuttag.



Figur 22. UV-Absorbans vid 254 nm i utgående vatten från Lindholmens reningverk, utgående vatten från efterreaktionsvolym U0-U3 samt efter ozoneringslinjens sandfilter (O3+SF).



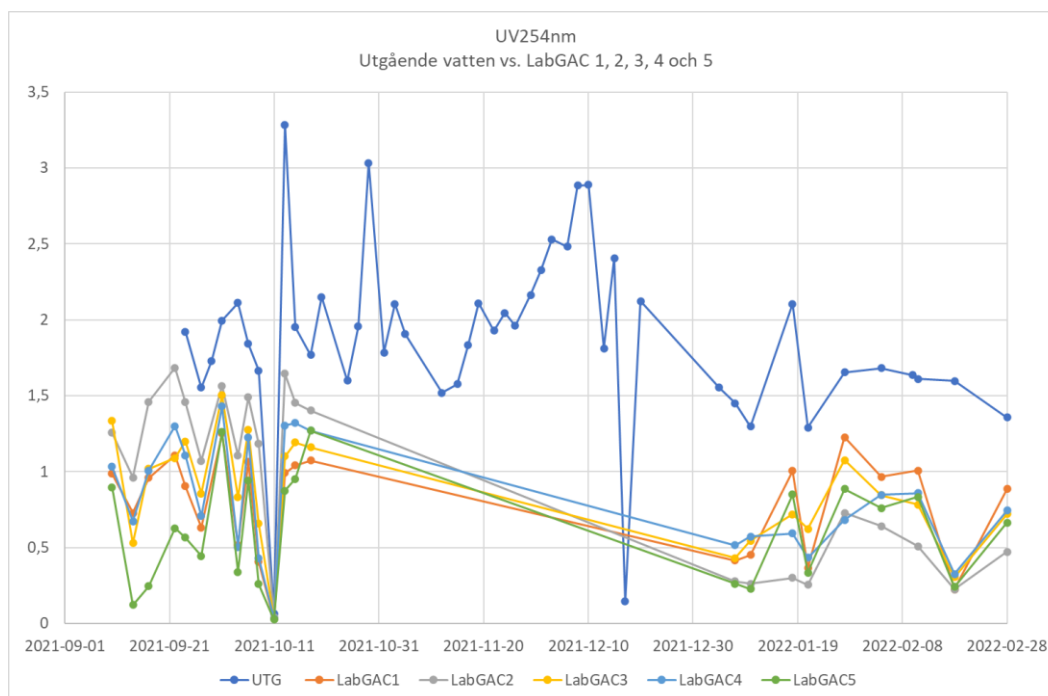
Figur 23. Försöksperiod 1: UV-Absorbans vid 254 nm i utgående vatten från Lindholmens reningverk, utgående vatten från efterreaktionsvolym U0-U3 samt efter ozoneringslinjens sandfilter (O3+SF).

Sammanfattningsvis finns tendenser i mätresultaten till att absorbanen minskar något successivt genom efterreaktionsvolymerna, men resultaten är osäkra och har stor spridning. Klart är dock att UV-absorbanen minskat mest över sandfiltret och då huvudsakligen genom bortfiltrering av absorberande partikulärt material.

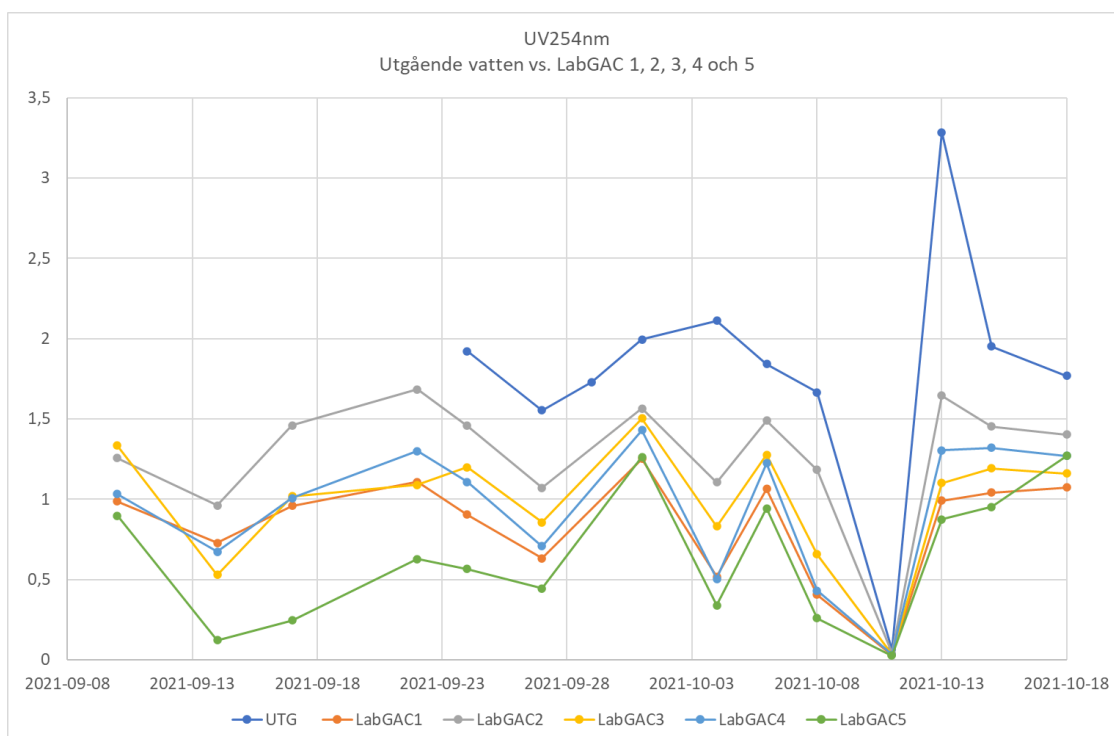
## Labkolfilter – drift och process

De fem labkolfilterna kördes kontinuerligt under två olika försök under totalt 32 veckor fördelat på sju veckor under försöksomgång 1 med en delvis förbrukad koluppsättning, för att slutligt fastställa adsorptionskapaciteten på de aktiva kolen. Försöksomgång 2 inleddes med att delvis byta sort, men framförallt till att byta till nya batcher av kolprodukter varefter försöken kördes vidare 25 veckor.

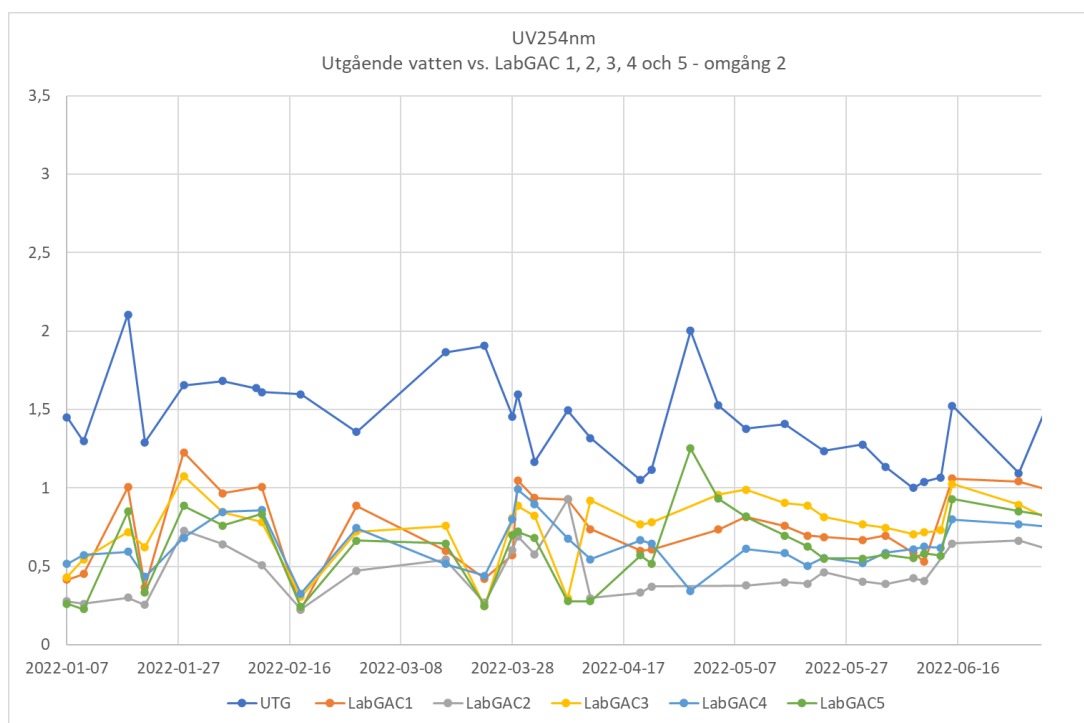
Prover för analys av läkemedelsrester togs regelbundet, men endast sex omgångar skickades in av budgetskäl, eftersom användbarheten av labkoltesterna ansågs vara begränsade p.g.a. risken för snabba genombrott. Reningen följdes i stället med mätning av UV-absorbans i stickprover tagna från labkolfilterna, figur 24. Relativt snabba genombrott indikerar låg kapacitet hos tre kolen i försöksomgång 1 och kol i försöksomgång 2, vilket och omöjliggör användning av just de kolen på Lindholmens reningsverk. De övriga GAC-produkterna visade en hög kapacitet när försöken fick avbrytas. Labkolens reningseffekt under försöken följdes även genom ett par omgångar läkemedelsanalyser.



Figur 24. UV-absorbans UV 254 nm labkolfilterna LF1-LF5 samt Lindholmens UTG – hela perioden.



Figur 25. UV-absorbans UV 254 nm labkolfiltren LF1-LF5 samt Lindholmens UTG – försöksomgång 1.



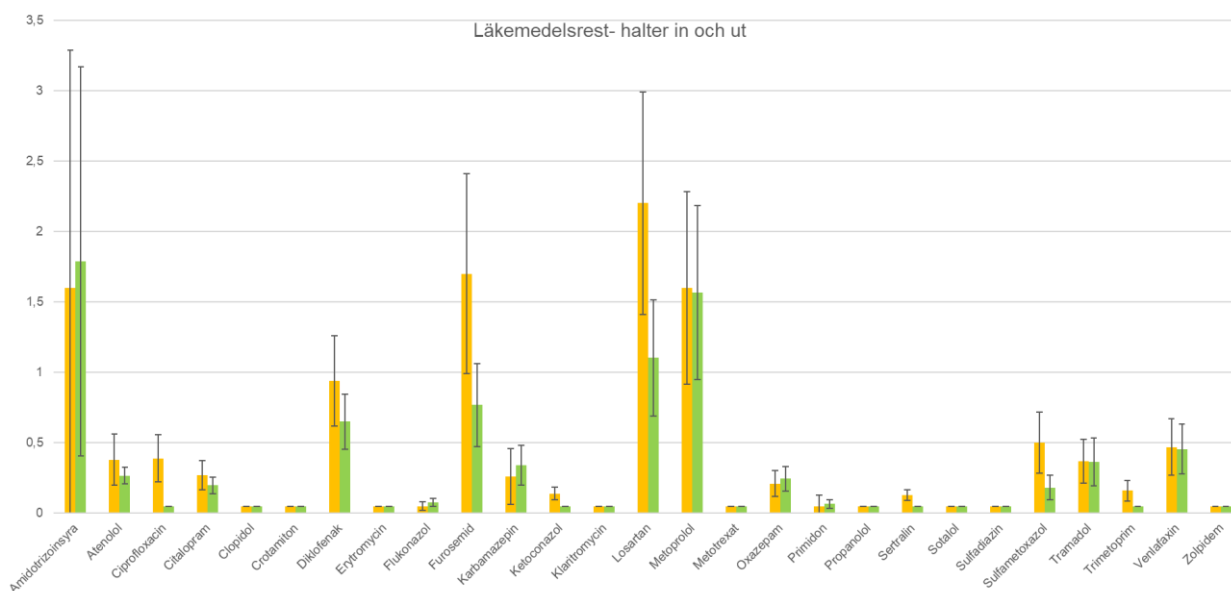
Figur 26. UV-absorbans UV 254 nm labkolfiltren LF1-LF5 samt Lindholmens UTG – försöksomgång 2.

## Läkemedelsrester

Utvärderingen av pilotförsöken gjordes huvudsakligen baserat på interna analyser av fysikalisk/kemiska parametrar och externa läkemedelsanalyser. De flesta prover för läkemedelsanalyser, drygt 100 st, analyserades av SGS som rapporterade resultaten för de 30 utvalda substanser som projektet valt ut. Miljö och Media på Kivik AB (MoLab) analyserade totalt 33 prover varav runt fem prover överlappade de båda andra laboratorierna. Eurofins analyserade totalt fem prover för att ge möjlighet att studera upp till 148 substanser i de fall kvantifieringsgränserna är tillräckligt låga.

### Lindholmens reningsverk

Provtagning utfördes på det befintliga Lindholmens reningsverk dels genom tre omgångar med enbart inkommande och utgående avloppsvatten, dels med utvidgad provtagning till att omfatta även försedimenterat och biorenat avloppsvatten, figur 27 och figur 29. De genomsnittliga koncentrationerna i inkommande och utgående vatten vid Lindholmen tillsammans med min- och maxvärden återfinns i tabell 8. Genom att ta hänsyn till avloppsflödet under respektive provtagningsdag kunde även de specifika läkemedelsmängderna per person och dygn beräknas, tabell 9.



Figur 27. Halter av läkemedelsrester i inkommande och utgående från Lindholmens reningsverk

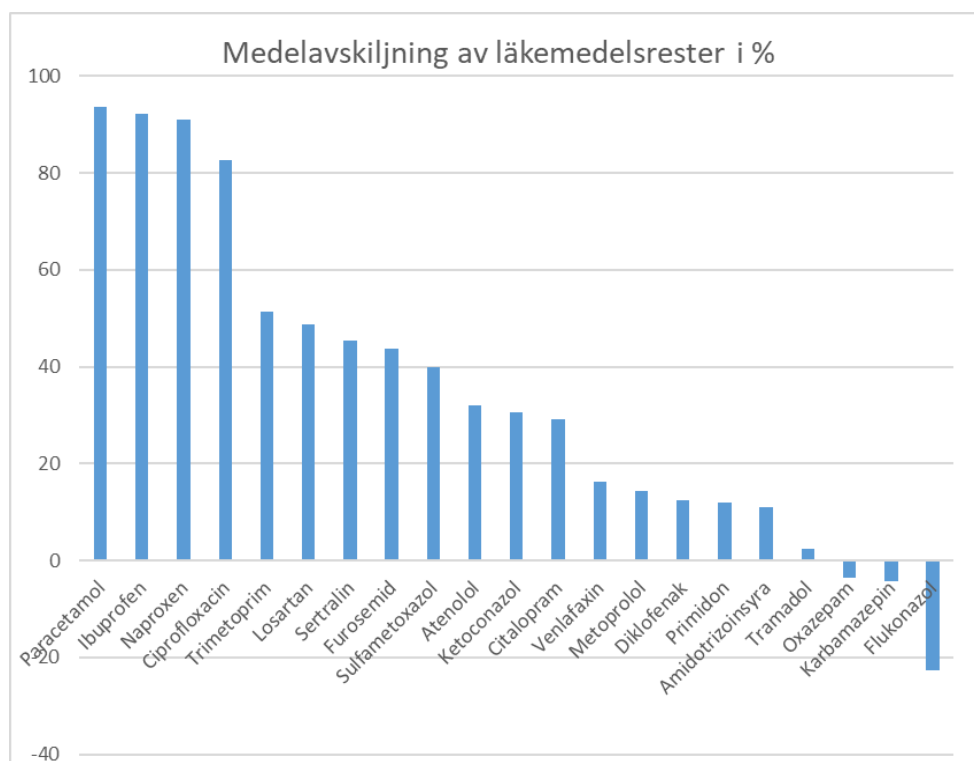
Reningsgraden är högst för de ämnen som förekommer i högst koncentrationer i inkommande avloppsvatten dvs ämnena paracetamol, ibuprofen och naproxen, som alla är smärtlindrande och inflammationsdämpande. I Lindholmen är den genomsnittliga reningsgraden av analyserade ämnen 38% över befintligt reningsverk, vilket framgår av grafen nedan, figur 28.

Tabell 8. Koncentrationer av analyserade läkemedelsrester i inkommande och utgående avloppsvatten på Lindholmens reningsverk

Koncentrationer Ämne ng/l	Lindholmen INK Medel (min-max)	Lindholmen UTG Medel (min-max)
Amidotrizoinsyra	1775 (50-3900)	2476 (50-12000)
Atenolol	528 (220-790)	348 (190-480)
Ciprofloxacina	753 (150-2700)	48 (12-170)
Citalopram	340 (150-530)	241 (23-390)
Clopidol	50 (50-50)	35 (5-50)
Crotamiton	50 (50-50)	35 (5-50)
Diklofenak	970 (340-1300)	511 (53-1300)
Erytromycin	51 (50-50)	46 (5-120)
Flukonazol	112 (50-290)	128 (27-270)
Furosemid	2297 (480-4100)	1909 (120-3900)
Ibuprofen	12750 (4900-21000)	320 (34-1200)
Karbamazepin	353 (140-610)	377 (19-700)
Ketoconazol	252 (50-910)	31 (2-50)
Klaritromycin	60 (50-100)	82 (39-200)
Losartan	3000 (1100-4900)	1573 (83-3100)
Metoprolol	2162 (970-2900)	1667 (51-2900)
Metotrexat	50 (50-50)	35 (5-50)
Naproxen	11667 (6400-18000)	511 (36-1800)
Oxazepam	365 (120-670)	436 (120-620)
Paracetamol	34573 (440-190000)	45 (5-110)
Primidon	82 (50-210)	66 (19-120)
Propanolol	98 (50-290)	85 (50-160)
Sertralin	248 (50-840)	73 (35-100)
Sotalol	50 (50-50)	39 (19-73)
Sulfadiazin	50 (50-50)	50 (50-50)
Sulfametoxazol	475 (50-940)	275 (19-550)
Tramadol	403 (160-520)	391 (41-660)
Trimetoprim	138 (50-230)	125 (10-270)
Venlafaxin	592 (300-780)	504 (21-900)
Zolpidem	50 (50-50)	35 (5-50)
Summa	124343	12497
Summa exkl 3 stora	15353	11620

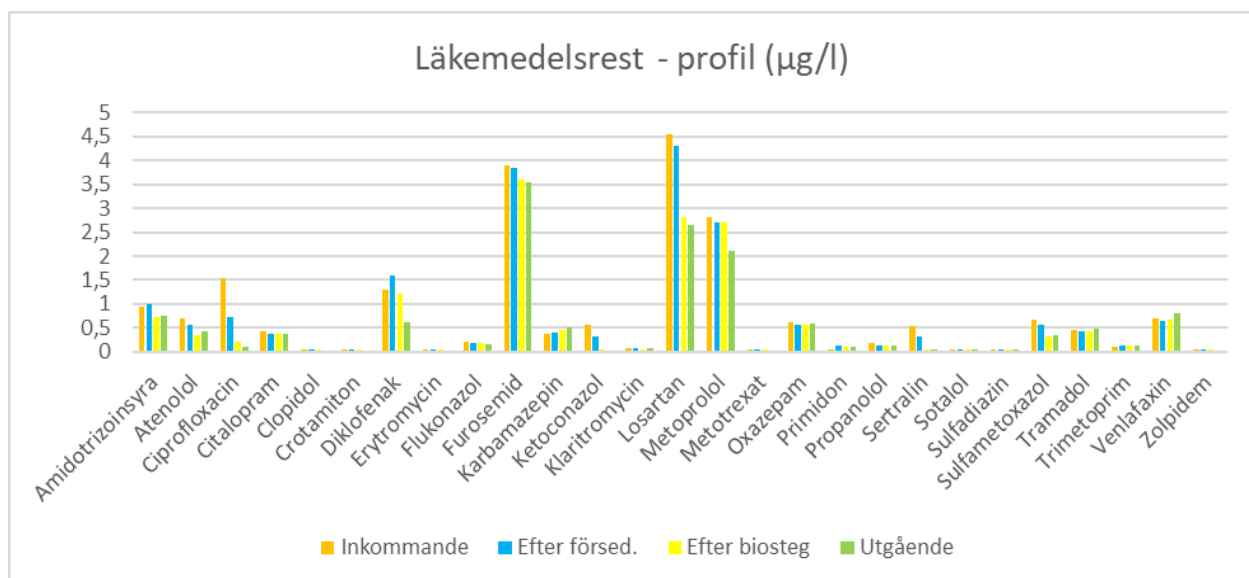
Tabell 9. Specifika mängder av analyserade läkemedelsrester i inkommande och utgående avloppsvatten på Lindholmens reningsverk

Spec. mängd Ämne	Lindholmen INK Mängd ng/pe, d	Lindholmen UTG Mängd ng/pe, d
Amidotrizoinsyra	397	560
Atenolol	123	84
Ciprofloxacina	154	12
Citalopram	79	57
Clopidol	14	10
Crotamiton	14	10
Diklofenak	224	121
Erytromycin	14	11
Flukonazol	25	30
Furosemid	496	436
Ibuprofen	2913	93
Karbamazepin	81	89
Ketoconazol	51	9
Klaritromycin	15	19
Losartan	682	375
Metoprolol	505	393
Metotrexat	14	10
Naproxen	2760	149
Oxazepam	81	101
Paracetamol	17056	14
Primidon	22	16
Propanolol	22	20
Sertralin	50	18
Sotalol	14	10
Sulfadiazin	14	13
Sulfametoxazol	102	66
Tramadol	94	91
Trimetoprim	34	31
Venlafaxin	140	118
Zolpidem	14	10
Summa	26200	2978
Summa exkl 3 stora	3472	2721



Figur 28. Reningsgrad över Lindholmens reningsverk baserat på inkommande och utgående halter i dygns- och veckoprover.

Vid fyra tillfällen togs veckoprover från de olika huvudprocesserna i reningsverket, inkommande efter galler, efter försedimentering, efter biosteg och efter efterfällning, Figur 29.



Figur 29. Profil av summan av läkemedelsrester efter olika reningssteg på Lindholmens reningsverk

### Pilotlinjer

En sammanställning av medel-, min- och maxvärden samt standardavvikelser för läkemedels-halterna i inkommande till och utgående avloppsvatten från pilotlinjerna visar att PAC-linjen uppvisade de lägsta koncentrationerna, tätt följd av GAC-linjen, ozoneringslinjen och sist biofilmlinjen (MBBR), tabell 10.

Tabell 10. Läkemedelskoncentrationer i inkommande till och utgående vatten från pilotlinjerna.

Prov	UTG 2021-22	MBBR 2021-22	PAC 2021-22	O3+SF 2021-22	GAC 2021-22
	V39-V09	V39-V48	V39-V50	V41-V09	V39-V09
Substans [ng/l]	Medel (min-max) ±std avv.	Medel (min-max) ±std avv.	Medel (min-max) ±std avv.	Medel (min-max) ±std avv.	Medel (min-max) ±std avv.
Amidotrizoinsyra	2476 (50-12000) ± 1020	2433 (830-3200) ± 1020	2433 (1800-2900) ± 464	3047 (52-10250) ± 3693	2515 (790-6900) ± 2110
Atenolol	348 (190-480) ± 86	162 (0,08-75) ± 34,3	29,6 (0,08-75) ± 34,3	128 (<10-260) ± 81	26,6 (0,08-77) ± 25,8
Ciprofloxacin	48 (12-170) ± 37,8	13,1 (0,83-33) ± 11,9	8,5 (0,83-21) ± 7,5	9,2 (0,83-23) ± 10,3	9,6 (0,83-23) ± 7,7
Citalopram	241 (23-390) ± 111	189 (17-340) ± 126	12,4 (0,5-23,3) ± 8,8	73,4 (<10-170) ± 94,9	59,7 (<10-250) ± 99
Clopidol	35 (5-50) ± 20	<10	<10	<10	<10
Crotamiton	36 (5-50) ± 20	<10	<10	<10	<10
Diklofenak	511 (53-1300) ± 1020 ± 278	419 (45,6-1200) ± 425	104 (0,67-410) ± 157	<10	68,2 (2-160) ± 52,3
Erytromycin	46 (5-120) ± 31	11,7 (5-30,8) ± 10	6,2 (1,1-15) ± 4,7	<10	3,5 (0,36-<10) ± 2,2
Flukonazol	128 (27-270) ± 63,5	111 (57-180) ± 41	49 (5-84) ± 36	105,1 (25-200) ± 41	52,6 (10-150) ± 45,6
Furosemid	1909 (120-3900) ± 1338	667 (1,7-3300) ± 1317	267 (1,7-1300) ± 517	<30	178 (1,7-680) ± 267
Ibuprofen	320 (34-1200) ± 297	114 (50-160) ± 52,4	80,4 (15-250) ± 85,8	50,7 (<30-110) ± 30,4	101 (49-320) ± 88
Karbamazepin	377 (19-700) ± 179	437 (160-760) ± 198	69,4 (<10-239) ± 91	14,4 (<10-52) ± 16,3	89 (12-410) ± 118
Ketoconazol	31 (2-50) ± 20	13,7 (0,83-50) ± 18,6	21,3 (0,83-50) ± 23,5	28,9 (0,83-110) ± 36,3	9,2 (0,83-<100) ± 14,7
Klaritromycin	82 (39-200) ± 52	82,6 (23-190) ± 61,7	8,5 (0,36-18) ± 7,1	9,4 (<10-35) ± 10,3	7 (0,36-19) ± 5,5
Losartan	1573 (83-3100) ± 861	827 (3,1-2300) ± 946	211 (2700-5000) ± 737	26,8 (1,3-125) ± 41,8	241 (0,05-860) ± 294
Metoprolol	1667 (51-2900) ± 814	1002 (34,7-2300) ± 950	160 (0,2-430) ± 179	865 (<10-1900) ± 617	409 (12,5-1800) ± 624
Metotrexat	35 (5-50) ± 20	3,3 (0,83-5) ± 2	3,3 (0,83-5) ± 2,0	4,4 (0,83-<10) ± 2,0	<10
Naproxen	511 (36-1800) ± 438	51,5 (9,9-170) ± 61	50 (9,9-180) ± 65,6	14,3 (9,8-<30) ± 5,0	79,9 (9,9-290) ± 96,3
Oxazepam	436 (120-620) ± 136	398 (175,7-540) ± 159	73,7 (4,1-150) ± 57,4	209 (43-360) ± 119	58 (16-140) ± 39,4
Paracetamol	45 (5-110) ± 29,4	52 (5-152) ± 60,4	42 (<10-97,7) ± 45,4	34,9 (<10-169) ± 54,6	30,8 (0,31-103) ± 37,6
Primidon	66 (19-120) ± 31	57,4 (<10-150) ± 55,5	16,8 (<10-49) ± 19,6	21,6 (<10-56) ± 19	30,1 (<10-150) ± 45,6
Propranolol	85 (50-160) ± 44	44,8 (5-110) ± 42,8	3,6 (1,5-5) ± 1,7	4,5 (1,6-<10) ± 1,9	14,9 (<10-62) ± 21,8
Sertralin	73 (35-100) ± 22	32,1 (0,65-97) ± 36,6	3,3 (0,65-5) ± 2,1	18 (<10-33) ± 10,5	3,6 (0,65-<10) ± 2,1
Sotalol	39 (19-73) ± 17,5	23,8 (<10-67) ± 24,5	4,4 (<10-12) ± 4,4	<10	3,9 (<10-10) ± 3,1
Sulfadiazin	50 (50-50) ± 23,2	25 (<10-50) ± 24,5	<10	<50	<10
Sulfametoxazol	275 (19-550) ± 142	315 (203-440) ± 79	58,7 (13-133) ± 51,7	20,1 (<10-42) ± 15,4	157 (17-640) ± 180
Tramadol	391 (41-660) ± 180	275 (84-560) ± 175	43,1 (4,5-100) ± 44,1	139 (<10-280) ± 95,3	119 (2,8-440) ± 163
Trimetoprim	125 (10-270) ± 77,4	56,6 (<10-150) ± 61	4,9 (0,52-8,8) ± 2,6	6,4 (4,9-15) ± 3,9	22,4 (0,52-130) ± 39,4
Venlafaxin	504 (21-900) ± 234	529 (210-900) ± 264	107 (1,35-274) ± 112	218 (<10-440) ± 150	176 (11,2-620) ± 207
Zolpidem	35 (5-50) ± 20	3,1 (0,33-5) ± 2,3	3,1 (0,33-5) ± 2,3	4,3 (0,33-<10) ± 2,1	3,4 (0,33-<10) ± 2,2
Medel	570 (197-816)	245 (77-414)	114 (40-225)	170 (10-393)	122 (9,8-304)
Summa	11271 (2761-17954)	7264 (2222-12427)	2882 (1873-6762)	4698 (305-11776)	2992 (283-9136)
Summa exkl amidotrizoinsyra	8202 (2701-16554)	5918 (2222-9227)	1465 (318-4162)	2232 (253-4120)	1621 (283-5936)
Antal APIer	21 (14-22)	18 (15-21)	18 (14-24)	11 (4-16)	17 (9-21)

Summan av läkemedelsrester, amidotrizoinsyra medräknat eller ej, minskade markant över aktivt kol och ozoneringslinjerna. Även över MBBR-linjen minskade koncentrationerna, om än inte lika mycket som de förstnämnda. Generellt sett är de genomsnittliga halterna i pilotbehandlat avloppsvatten på Lindholmen något högre än förväntat, vilket troligen beror på de något högre TOC-halterna i utgående avloppsvatten och att de valda ozondoserna varit något för låga vissa veckor. Vidare skiljer antalet prover för olika provströmmar och pilotlinjerna



kördes olika länge. I de fall analysvärdet var lägre än kvantifierings- eller detektionsgränsen (halten) användes halva värdet i summering, medelvärdesbildning etc.

Avskiljningsgraden (eller reningsgraden) beräknades för varje substans och korresponderande datapar i inkommande och utgående vatten från pilotlinjerna. I de fall ämnet var detekterat eller kvantifierat i inkommande vatten, men att ämnet låg under detektions- eller kvantifieringsgränsen i utgående, behandlat vatten, användes halva gränsvärdet i beräkningarna av avskiljningsgraden.

Beräkningarna visar att de högst avskiljningsgraderna av läkemedelsrester för samtliga substanser uppnåddes med aktiverat granulerat kol (PAC och GAC) och därefter visade ozoneringssteget god avskiljning (med genomsnittlig ozondos ca 7 g O<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>), följt av linjen med pulveriserat kol med genomsnittlig dos 27 g O<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>, och sist, med ett ordentligt hopp ned i avskiljningsgrad, till MBBR-linjen, tabell 11. MBBR-linjen var dock inte avsedd för läkemedelsrening utan inställd för nitrifikation av utgående avloppsvatten.

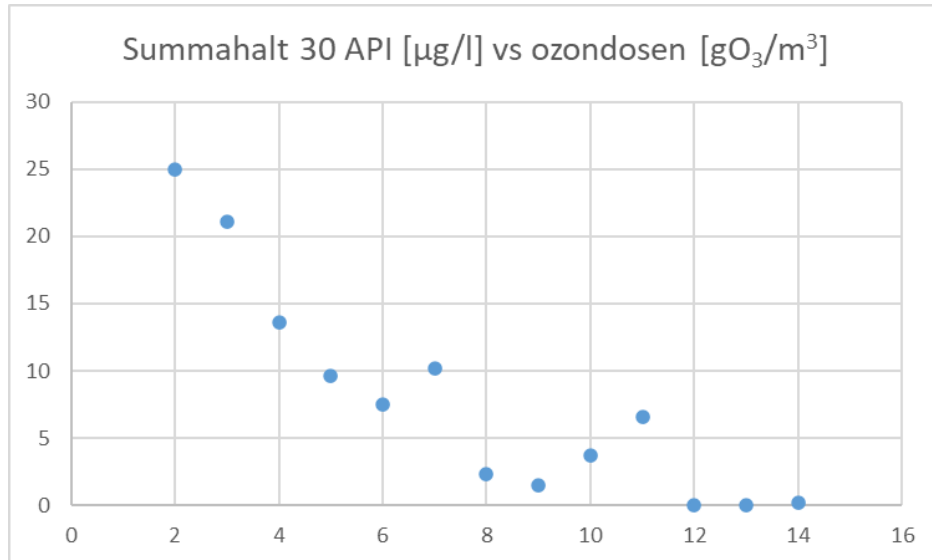
Avskiljningsgraden för de 21 detekterade läkemedelsresterna i utgående avloppsvatten var i snitt 97 % med GAC, 91 % med ozonering, 81 % med PAC och slutligen 11 % i MBBR-linjen. Ozondosen var relativt hög, 6,5 – 7 g/m<sup>3</sup> för att uppnå 80% rening. En förklaring är att TOC-halten är relativt hög i utgående vatten från Lindholmen. Den specifika ozondosen var 0,70 g O<sub>3</sub>/g DOC. Ozonbehovet för 90%, är ca 0,95 gO<sub>3</sub>/g DOC. Den specifika ozondosen varierade under försöken mellan 0,39–1,0 g O<sub>3</sub>/g TOC med standardavvikelsen ±0,2.

Tabell 11. Avskiljningsgrader för läkemedelsrester under de skarpa försöksveckorna med aktiverat granulerat kol (GAC) och ozonering följt av sandfilter.

Prov	MBBR 2021-22 V39-V48	PAC 2021-22 V39-V50	O3+SF 2021-22 V41-V09	GAC 2021-22 V39-V09
Substans [ng/l]	Avskiljning [%]	Avskiljning [%]	Avskiljning [%]	Avskiljning [%]
Amidotrizoinsyra	-147,2	42,2	8,6	24,3
Atenolol	26,8	91,9	70,1	92,8
Ciprofloxacin	-51,3	79,0	66,4	77,5
Citalopram	1,0	88,9	77,8	97,0
Clopidol				
Crotamiton				
Diklofenak	23,0	79,4	98,0	89,9
Erytromycin	0,0			24,4
Flukonazol	-82,1	72,4	38,9	76,5
Furosemid	60,2	83,7	95,4	82,9
Ibuprofen	-33,6	68,5	71,6	58,4
Karbamazepin	3,1	76,7	96,9	78,3
Ketoconazol	34,8	69,6		69,6
Klaritromycin	-17,3	91,8	75,7	93,0
Losartan	39,2	82,2	97,7	82,6
Metoprolol	10,3	76,5	70,0	94,9
Metotrexat				
Naproxen	44,7	68,3	94,7	71,9
Oxazepam	2,2	81,6	61,7	84,7
Paracetamol				
Primidon	-10,4	62,3	63,6	51,6
Propanolol	14,0	96,6	93,7	95,4
Sertralin	46,1	95,9	81,3	95,7
Sotalol	7,3	86,6	85,3	83,6
Sulfadiazin				
Sulfametoxazol	0,9	80,1	94,4	64,1
Tramadol	-37,5	81,9	70,2	90,3
Trimetoprim	5,6	81,8	95,8	94,8
Venlafaxin	-42,3	67,5	72,9	88,3
Zolpidem		80,2		
Medel	-4	79	76	78
Median	3	80	77	83
Min	-147	42	9	24
Max	60	97	98	97
Alla utom amidotrizoinsyra				
Medel	2	80	80	80
Median	3	80	78	84
Min	-82	62	39	24
Max	60	97	98	97

### Ozonering - dos/respons-bestämningar

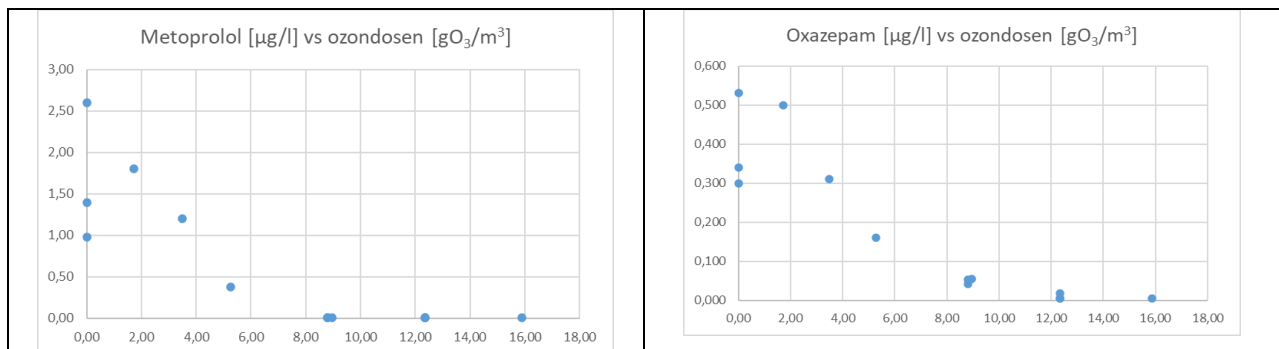
Dos/responsförsöken med ozon visade att summan av de 30 utvalda läkemedelsresterna, "APIerna", minskade med ökande ozondos, figur 30. I de fall analysvärdet var lägre än kvantifierings- eller detektionsgränsen (halten) användes halva värdet i summeringen.



Figur 30. Summa [µg/l] av de utvalda 30 läkemedelsrester (APIer - Active Pharmaceutical Ingredient) som funktion av ozondosen [gO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>] vid tre tillfällen 2021-22 på Lindholmens reningsverk.

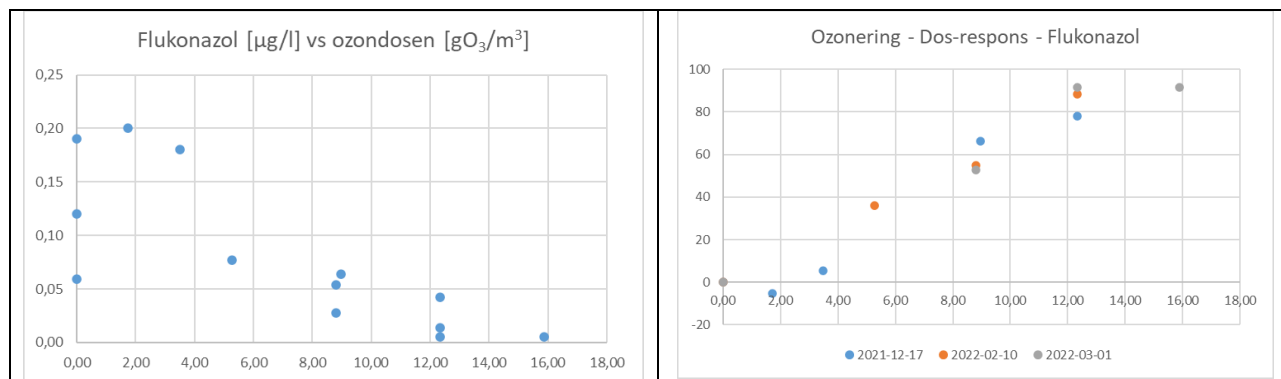
Dos responskurvan visar att erforderlig ozondos ligger runt 6,5 g/m<sup>3</sup> för att uppnå 80% avskiljning av läkemedelsrester från utgående avloppsvatten från Lindholmens reningsverk.

Ett slumpmässigt urval gjordes av två representanter för de 30 läkemedelsrester som analyserats i ozonerat vatten, metoprolol (en betablockerare) och oxazepam (lugnande medel). Minskningen i metoprolol- respektive oxazepamhalt som funktion av ozondosen var tydlig, figur 26 och liknar mönstret för summan av de 30 utvalda, figur 31.



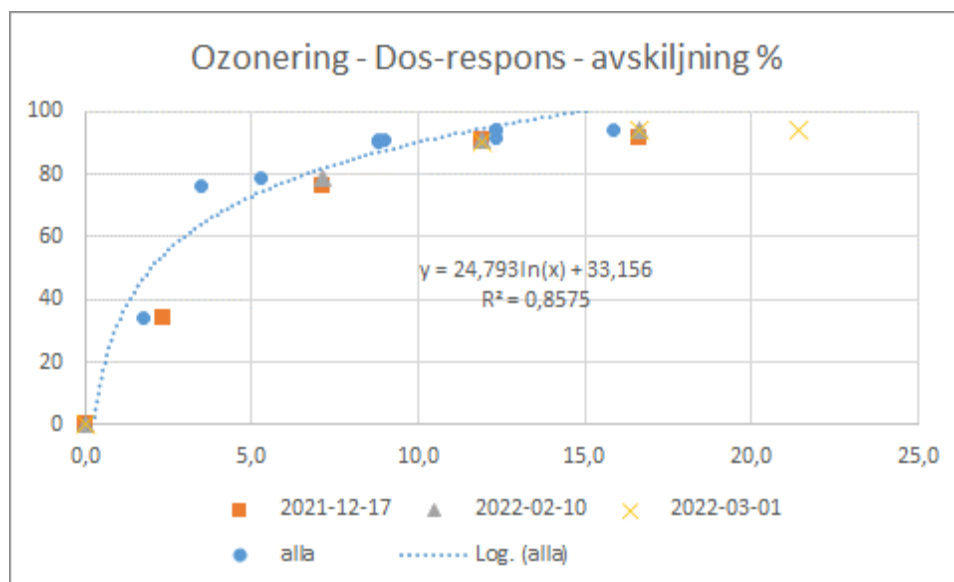
Figur 31. Halten av metoprolol som funktion av ozondosen i Lindholmen.

Flukonazol är det läkemedel som brukar vara svårt att bryta ned med ozon och så även på Lindholmen, även om halten trycks ned under kvantifieringsgränsen med mycket höga ozondoser som 16 g/m<sup>3</sup>. För att nå 80% avskiljning av flukonazol krävs 12 g/m<sup>3</sup>, figur 32.



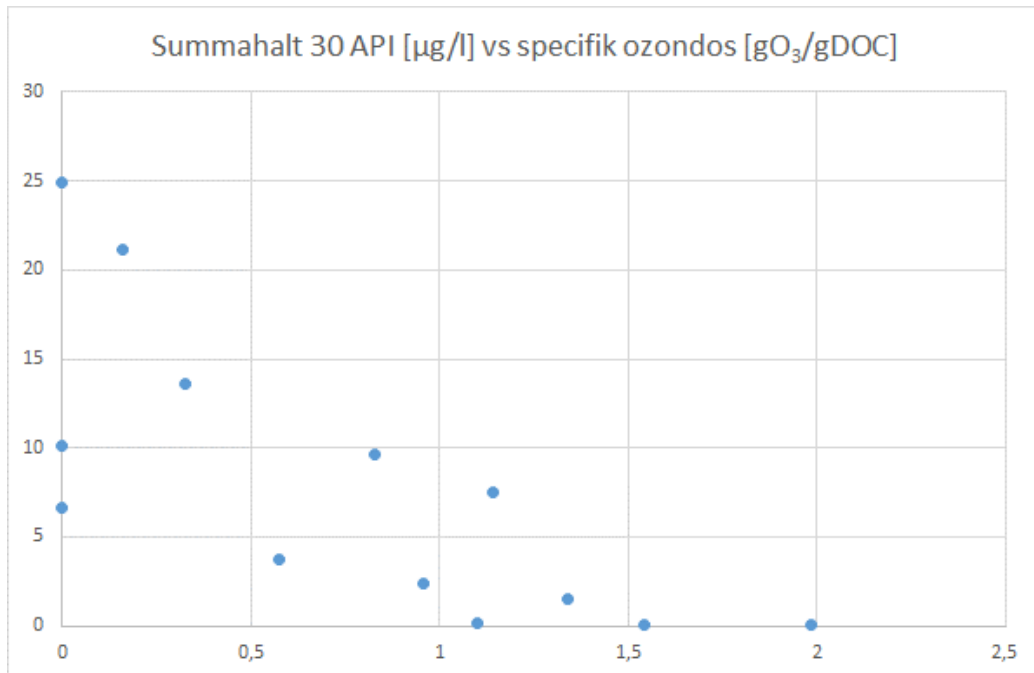
Figur 32. Halten av Flukonazol och dess avskiljningsgrad som funktion av ozondosen.

Den genomsnittliga avskiljningsgraden för de 30 utvalda läkemedelsresterna ökade med ökande ozondos enligt ett typiskt mönster, figur 28. I de fall analysvärdet var lägre än kvantifierings- eller detektionsgränsen (halten) användes halva värdet vid beräkningen av avskiljningsgraden. Den erforderliga ozondosen för att nå 80 % avskiljning (ca 6,5 g/m<sup>3</sup>) var något högre än andra några andra pilotförsök runt Mälardalen (ca 5 g/m<sup>3</sup>) och beror sannolikt på att det är några olika ämnen som studerats, att SGS kan ha överskattat läkemedelshalterna men framförallt att DOC-halten är relativt hög på Lindholmen.

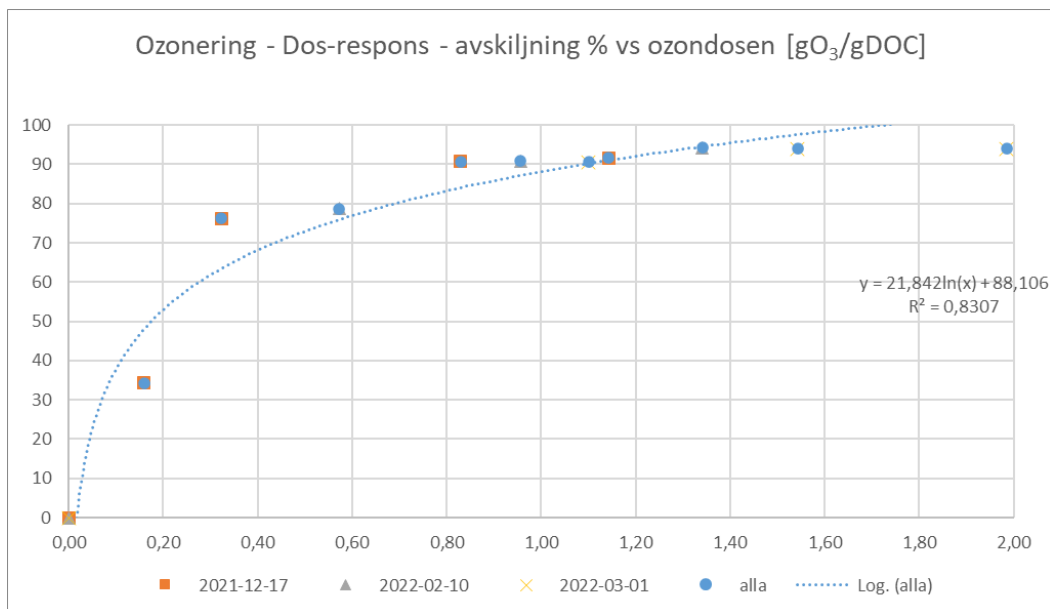


Figur 33. Dos-responsförsök genomsnittlig avskiljningsgrad vid olika ozondoser i Lindholmen.

Normering av ozondosen mot halten löst organiskt kol, DOC, i avloppsvattnet görs för att lättare kunna jämföra resultat och bedöma designer och dessas rimlighet mellan olika försök och olika reningsverk. Figur 30 och figur 33 ovan kan jämföras med följande två figurer där ozondosen normerats med DOC för att bestämma den så kallade specifika ozondosen, figur 34 - 35.



Figur 34. Summa [ng/l] av de utvalda 30 läkemedelsresterna som funktion av ozondosen [gO<sub>3</sub>/gDOC] vid tre tillfällen år 2021 och 2022.



Figur 35. Genomsnittlig avskiljningsgrad för 30 APIer vid olika specifika ozondoser.

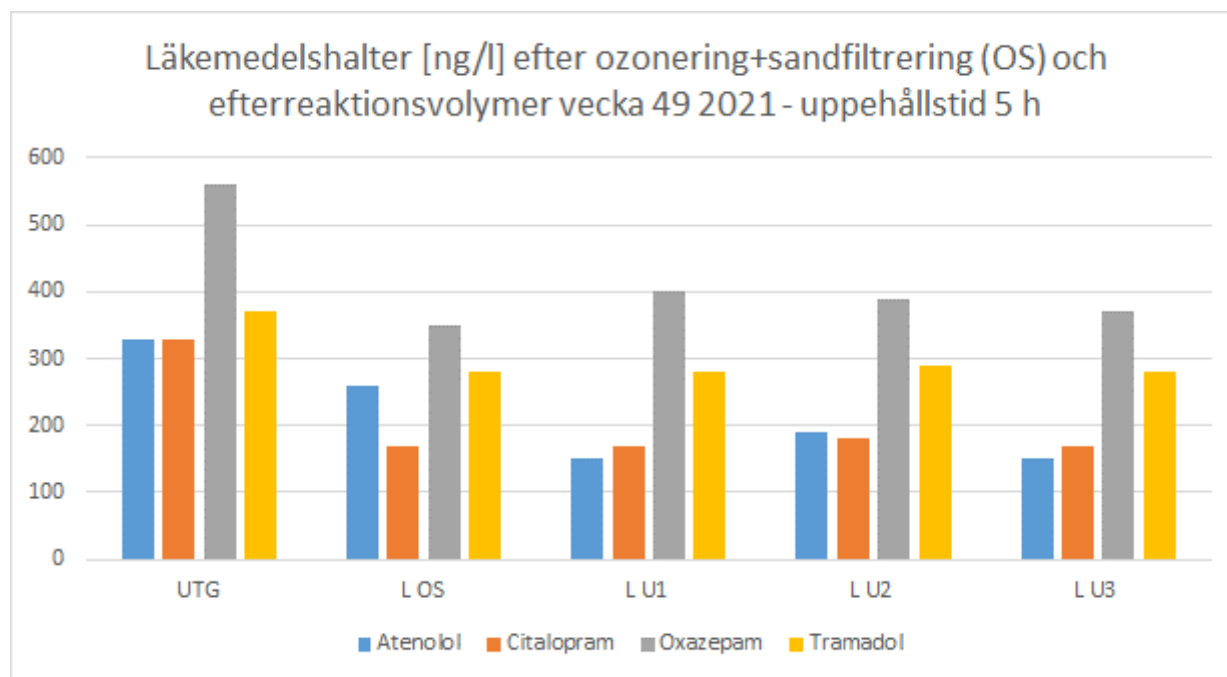
Den genomsnittliga avskiljningsgrad för de olika specifika ozondoserna beräknades genom att använda värdet för halva detektionsgränsen i det fall halten sjönk nedanför detektionsgränsen vid ozoneringen. Kurvorna har ett typisk utseende. För att uppnå minst 80% genomsnittlig avskiljning fordras ca 0,7 gO<sub>3</sub>/g DOC.

### Läkemedelsavskiljning över kontakttankarna U0-U3 i ozoneringslinjen

I projektet undersökes möjligheten att förlänga den kontrollerade efterreaktionstiden för ozonerat vatten som ett alternativ till sandfiltrering. Prover från tre sekventiella tankarna utvärderades framförallt med UV-absorbans, men också med läkemedelsanalyser vid ett tillfälle, bilaga 7.

Samlingsprover samlades in med kontinuerlig pumpning från utgående avloppsvatten, efter ozoneringens sandfilter och utloppet från den i serien tredje extra kontakttanken.

En jämförelse med prover från sandfiltret efter ozoneringen visar att samtliga 16 kvarvarande läkemedelsrester efter ozoneringen minskade i 11 fall successivt genom den förlängda kontakttiden, varav fyra substanser redovisas i figur 36. För citalopram och tramadol var halten konstant, medan halterna steg för karbamazepin, primidon och klaritromycin, det senare troligen pga dekonjugering av modersubstanser.



Figur 36. Koncentrationen av fyra utvalda substanser genom serien av efterreaktionstankar.

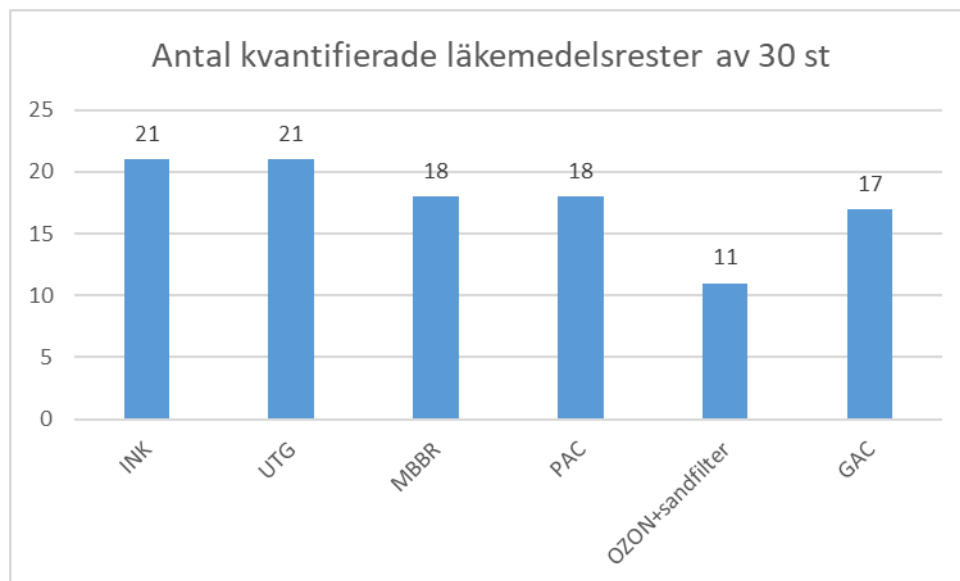
Den förlängda reaktionstiden har således viss effekt, vilket visar hur låga reaktionshastigheterna med ozon kan vara för vissa ämnen, åtminstone när ozonet är förbrukat och inte mätbart (<0,01 mg/l) i efterreaktionsvolymerna. Reaktionerna antas ske med radikaler, men det resonemanget utvecklas inte här.

Kostnaden för reaktionsvolymen kan bli stora, speciellt om de skall byggas nya. I Lindholmens reningsverk finns inga begagnade bassänger tillgängliga för förlängd reaktionstid, men nyttan av efterreaktionsbassängerna bedömdes som begränsade för att väga upp kostnaden för att bygga nya bassänger som alternativ till sandfilter. Baserat på dessa begränsade mätningar kommer efterreaktionsvolymen i nuläget inte förberedas i reningsverket, utan möjliga efterreaktioner får ske i recipienten.

## Fler jämförelser mellan behandlingsmetoderna avseende läkemedelsrester

### *Kemiska analyser*

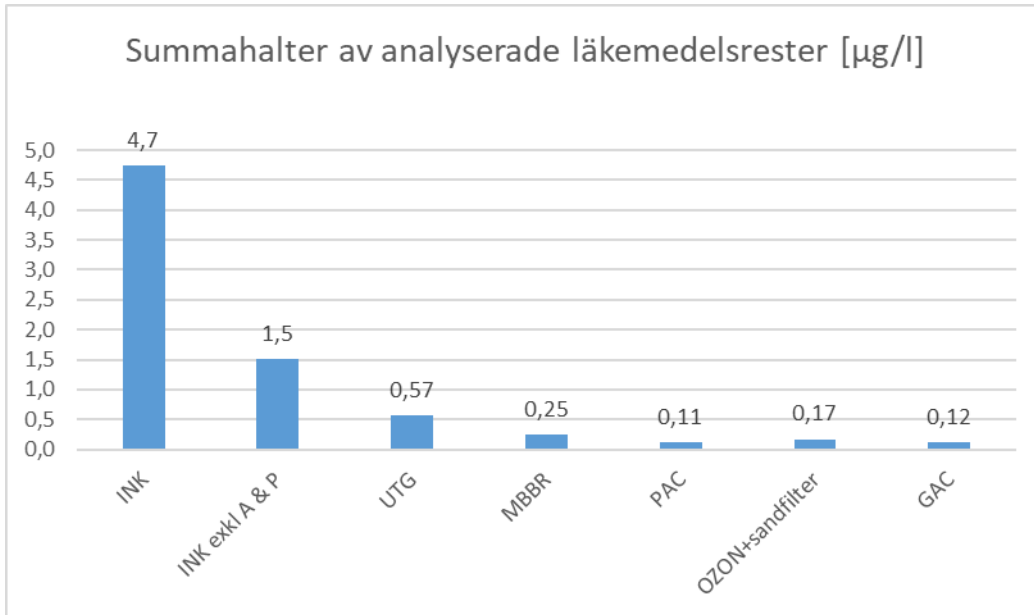
Antalet detekterade läkemedelssubstanser kan vara ett enkelt, men grovt, sätt att undersöka olika behandlingars effekt på läkemedelskoncentrationerna. Analyser av proverna från försöken visar att av de 30 utvalda läkemedelsresterna detekterades i genomsnitt 21 i dagens utgående avloppsvatten. MBBR-linjen sänkte antal detekterade ämnen till 18 st. Med de mer effektiva metoderna PAC, ozonering och GAC var antalet 18 st, 11 st respektive 17 st detekterade substanser, vilket var sämre än förväntat, figur 37. Orsaken kan vara den relativt höga DOC-halten i dagens utgående avloppsvatten.



Figur 37. Antal detekterade läkemedelsrester i Lindholmens reningsverk och efter pilotlinjerna.

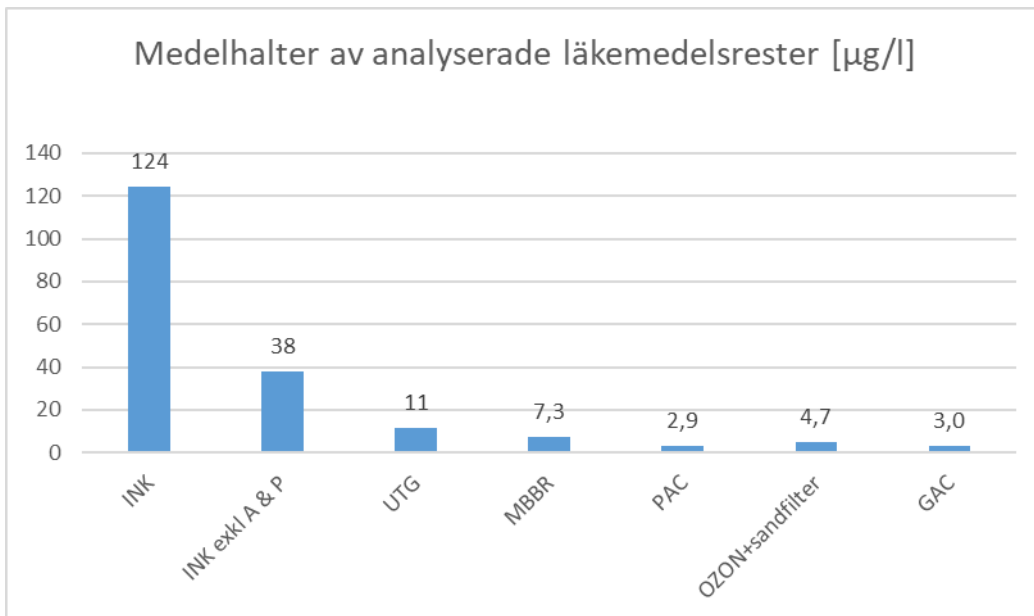
En annan översiktlig jämförelse mellan de undersökta metoderna är att beräkna summahalter av de 30 utvalda läkemedelsresterna vilket visar att aktiverat kol hade den lägsta summan med allt mer stigande summor för ozonering, PAC, MBBR, utgående och med ett rejält hopp upp till summahalten för inkommande avloppsvatten, figur 38.





Figur 38. Summahalter [ $\text{ng/l}$ ] av läkemedelsrester i Lindholmens reningsverk och i behandlat vatten från pilotlinjerna, A = amidotrizoinsyra och P = paracetamol.

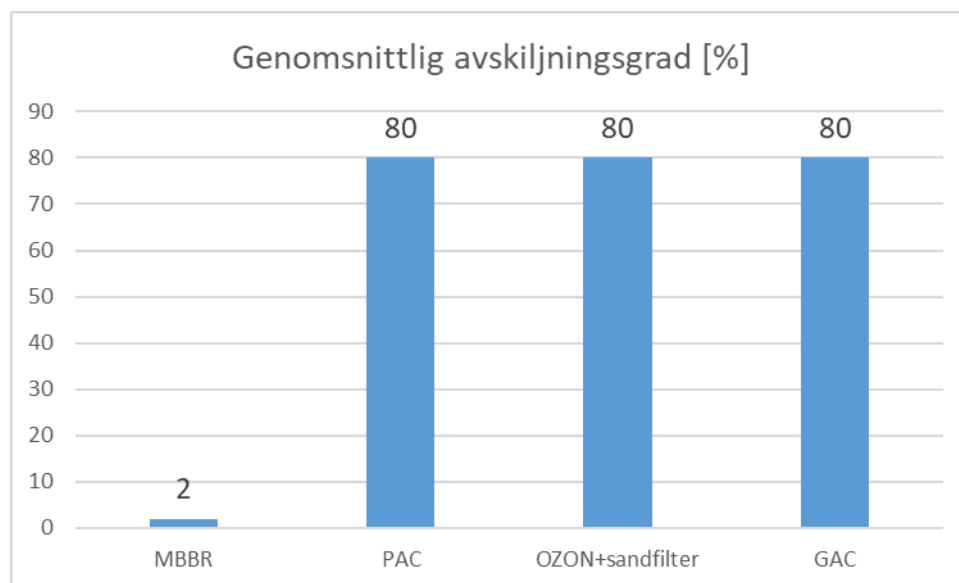
Medelhalten av läkemedelsresterna är en till summahalten snarlikt parameter som kan beräknas för de olika vattnen in till och ut från pilotlinjerna. Mönstret av summahalterna från pilotstudien på Lindholmens reningsverk upprepas i medelhalterna av de 30 ämnena, figur 39.



Figur 39. Medelhalt [ $\text{ng/l}$ ] av de 30 läkemedelsresterna i Lindholmens reningsverk.

Medelhalterna av de undersökta 30 läkemedelsresterna sjönk markant över dagens reningsverk, men medelhalterna var ytterligare två gånger lägre med ozonering och nästan fyra gånger med GAC, jämfört med dagens utgående halter.

Medelvärdet av de beräknade avskiljningsgraderna av läkemedelsrester med de olika pilotlinjerna, jämfört med dagens utgående vatten, uppgick till mellan 2 % och 80 %, figur 40.



Figur 40. Genomsnittlig avskiljningsgrad [%] i de olika pilotlinjerna.

De genomsnittliga avskiljningsgraderna i pilotanläggningarna var något lägre än förväntat, men visar ändå att alla de tre avancerade reningsteknikerna, pulverkol (PAC), ozonering och granulerat kol (GAC) kan var och en användas för att uppnå 80 % avskiljningsgrad av läkemedelsrester.

#### *Jämförelse av analysresultaten för läkemedelsrester från tre lab för samma provvatten*

Tre olika laboratorier har varit involverade i analyserna av läkemedelsrester i avloppsvatten. SGS Analytics Sweden AB (SGS) analyserade flertalet av proverna. Miljö och Media på Kivik AB /MoLab (Kivik) analyserade 33 prover, medan Eurofins analyserade fem prover. I form av en liten interkalibrering, analyserades fem prover av alla de tre laboratorierna för att jämföra analysernas rimlighet och halternas nivå samt att ge data för några fler substanser än de 30 substanser som SGS analyserade. En jämförelse mellan resultaten visar att halterna grovt sett ligger i samma härad/inom samma tiopotens, men att halterna relativt ofta kan skilja sig med 100–200 %, tabell 12 och bilaga 13-14. SGS uppmätta halter är i flera fall högre än Kiviks och Eurofins rapporterade halter.

Tabell 12. Jämförelse mellan analysresultat från SGS, Kivik och Eurofins halter, ng/l.

Substans ng/l	SGS	Kivik	Eurofins	SGS	Kivik	Eurofins
	UTG	UTG	UTG	LH O3 1,7	LH O3 1,7	LH O3 1,7
Amidotrizoinsyra	12000		6200	13000		8000
Atenolol	480	328	240	440	267	220
Azithromycin		116			49	150
Benzotriazole		2175	1300		2088	1100
Ciprofloxacin	170	73	180	170	43	150
Citalopram	280	309	330	280	234	280
Clopidol	<10		<10	<10		<10
Crotamiton	<10		<10	<10		<10
Diklofenak	310	874	600	340	534	390
Erytromycin	<10	10	<250	<100	6	<250
Estradiol (E2)		<0,017	<5		<0,1	<5
Estrone		1,5	<5		1	<5
Etinyestardiol (EE2)		<0,83	<1		<0,1	<1
Flukonazol	190	148	160	200	134	150
Furosemid	3100	1823	4400	920	550	4600
Hydrochlorothiazide		32	1400		27	1500
Ibuprofen	180	209	<100	130	<17	<100
Irbesartan		254	300		198	250
Karbamazepin	430	391	370	280	269	280
Ketoconazol	<100	<5	<10	<100	<0,83	<10
Klaritromycin	75	50	55	38	23	29
Losartan	2300	1394	2100	1600	1010	1400
Metoprolol	2600	1854	1900	1800	1511	1700
Metotrexat	<10	<0,83	<10	<100	<0,83	<10
Naproxen	580	397	360	370	255	280
Oxazepam	530	319	360	500	274	290
Paracetamol	<10	132	<40	<20	158	<20
Primidon	43		44	50		43
Propanolol	110	62,4	130	50	40	92
Sertralin	99	38,9	130	34	12	48
Sotalol	39		28	34		35
Sulfadiazin	<1000		<10	<1000		<10
Sulfametoxazol	140	135	<10	<100	73	<10
Tramadol	460	322	380	310	259	350
Trimetoprim	220	181	200	150	137	150
Venlafaxin	610	600	540	500	481	460
Zolpidem	<10	2,3	<10	<100	<0,017	<10
Medel	1134	453	944	1009	345	914
Summa	24946	12232	21707	21196	8633	21947

Tabell 13. Jämförelse mellan analysresultat från SGS, Kivik och Eurofins, relativhalter %. SGS har satts till 100% i de fall halter kvantifierats följt av Kivik och sist Eurofins i det fall SGS, respektive Kivik inte redovisat halter. I beräkningen har halva kvantifieringsvärdet använts i det fall kvantifierade halter saknats.

Substans ng/l	SGS	Kivik	Eurofins	SGS	Kivik	Eurofins
	UTG	UTG	UTG	LH O3 1,7	LH O3 1,7	LH O3 1,7
Amidotrizoinsyra	100		52	100		62
Atenolol	100	68	50	100	61	50
Azithromycin		100			100	307
Benzotriazole		100	60		100	53
Ciprofloxacin	100	43	106	100	25	88
Citalopram	100	110	118	100	84	100
Clopidol	100		100	100		100
Crotamiton	100		100	100		100
Diklofenak	100	282	194	100	157	115
Erytromycin	50	100	<1250	772	100	1930
Estradiol (E2)						
Estrone		100	<250		100	332
Etinyestardiol (EE2)						
Flukonazol	100	78	84	100	67	75
Furosemid	100	59	142	100	60	500
Hydrochlorothiazide		100	4331		100	5624
Ibuprofen	100	116	28	100	7	38
Irbesartan		100	118		100	126
Karbamazepin	100	91	86	100	96	100
Ketoconazol						
Klaritromycin	100	67	73	100	62	76
Losartan	100	61	91	100	63	88
Metoprolol	100	71	73	100	84	94
Metotrexat						
Naproxen	100	68	62	100	69	76
Oxazepam	100	60	68	100	55	58
Paracetamol	8	100	15	6	100	6
Primidon	100	0	102	100		86
Propanolol	100	57	118	100	79	184
Sertralin	100	39	131	100	36	141
Sotalol	100		72	100		103
Sulfadiazin						
Sulfametoxazol	100	97	4	69	100	7
Tramadol	100	70	83	100	84	113
Trimetoprim	100	82	91	100	91	100
Venlafaxin	100	98	89	100	96	92
Zolpidem	219	100	219			
Medel	99	86	236	121	80	352

## Beräkning av avskiljningsgrader vid ozonering – dos responsförsök – jämförelser mellan lab

De fem proverna som analyserades av all tre lab kom från en dos-responsförsök på Lindholmen den 17 december 2021. Eurofins analyserade flest ämnen och deras resultat användes för att beräkna avskiljningsgraderna vilka sedan sorterades i fallande effekt dvs från mest till minst avskilt, tabell.

Tabell 14. Jämförelse mellan avskiljningsgrad beräknade på analysvar från Eurofins, Kivik och SGS.

Substans avskiljning %	Eurofins	Kivik	SGS	Substans avskiljning % forts.	Eurofins	Kivik	SGS
Losartan	99,9	99,9	99,8	Clarithromycin	90,9	99,7	93,3
Trimetoprim	99,8	99,9	97,7	Tetracyklin	90,4		
O-Desmethylvenlafaxine	99,7			Gemfibrozil	89,1		
Diklofenak	99,6	99,98	98,4	Valsartan	88,8		
Mirtazapin	99,5			Fexofenadin	88,5		
Karbamazepin	99,3	99,96	98,8	Tramadol	87,6	88,3	78,8
Atenolol	99,0	99,99	70,3	Oxazepam	87,5	92,8	65,5
Cetirizine	98,8			Ciprofloxacin	86,1	98,9	94,1
Naproxen	98,6	99,6	97,4	Quetiapine	84,4		
Lidocaine	98,3			Sotalol (β-Adrenergika)	82,1		87,2
Hydroklortiazid	98,2	99,7		5-methylbenzotriazole	79,7		
Furosemid	98,1	99,9	99,5	Fluoxetin	79,2		
Sertraline and norsertraline	98,1	99,8	87,4	Fenazon	79,2		
Klozapin	98,1			Benzotriazole	78,5		
Bezafibrat	97,5			Amiloride	75,0		
Azithromycin	96,7	99,9		Xylometazolin	75,0		
Metoprolol	96,5	97,0	76,8	Ramipril	75,0		
Propranolol	96,2	99,7	95,5	Primidone	64,8		76,7
Amitriptyline	95,8			Verapamil	64,3		
Irbesartan	95,8	98,1		Koffein	64,2		
Bisoprolol (β-Adrenergika)	95,8			Gabapentin	63,6		
Piperacillin	95,8			4-Acetamidoantipyrene	61,5		
Venlafaxine	94,7	94,2	77,5	Warfarin	58,3		
Ketoprofen	93,4			Lamotrigine	57,6		
Citalopram	93,0	93,1	81,6	Fluconazole	45,0	52,4	35,8
Desloratadin	92,9			Diatrizoat (Amidotrizoat)	28,2		14,6
Atorvastatin	91,7			Sulfamethoxazole	-	95,2	96,4
Mebendazol	91,7			Ketokonazol	-	66,7	90,0
Clindamycin	91,2			Ibuprofen	-	76,1	73,9

Samstämmigheten i avskiljningsgrad är stor för många substanser, men generellt ger mätdata från SGS lägre avskiljningsgrader, delvis beroende på högre kvantifieringsgränser (LOQ). Det finns en risk att avskiljningsgraden underskattats i pilotförsöken på Lindholmen.

Enligt beräkningarna av avskiljningsgrader var metoprolol, venlafaxin, citalopram och tramadol var de tydligaste exemplen på behovet av interkalibreringar, förbättrade analyser eller

kvalitetssäkringsrutiner. En utvärdering av bakomliggande halter i provvattnen visar på större spridning, 50-300% för vissa ämnen, amidotrizoinsyra, atenolol, diklofenak, furosemid och propranolol samt extremt stor spridning för hydroklortiazid och sulfametoxazol med 2500-4000 %, tabell 12 och tabell 13. Tveksamhet råder dock om förekomsten av den höga halten och den stora mängden amidotrizoinsyra vilken inte stämmer med förbrukningen i region Stockholm (Helena Ramström, personlig kommunikation, 20 september 2022). Redovisade analysdata för hydroklortiazid och sulfametoxazol med 25-40 gångers skillnad i halter mellan de tre laboratorierna. Eurofins värden förefaller i fallet hydroklortiazid kraftigt ha överskattat koncentrationerna och i fallet sulfametoxazol ha underskattat koncentrationerna i jämförelse med data från andra reningsverk.

## Externa analyser - förutom läkemedelsrester

### *Bromid och bromat i utgående avloppsvatten och ozonerat vatten*

En risk med ozonering är att bromat bildas genom oxidation av bromid som kan finnas i avloppsvattnet. Bromat är giftigt och är rapporterat att vara mutagen och cancerogen. LC50-värdet (dödlig koncentration för halva fiskbesättningen) är 100 mg/l efter 96 h exponering. Det finns en rekommendation och förslag till miljökvalitetsnormen som är satt till 50 µg bromat/l.

Bromidhalten var låg på Lindholmen, under detektionsgränsen 1 mg/l i samtliga prov. Bromathalten låg som förväntat under detektionsgränsen för reguljärt utgående avloppsvatten, men i ett av de tagna proven på ozonerat vatten var bromathalten 40 µg/l, vilket är högre än gränsvärdet för bromat i dricksvatten. Värdet understiger dock förslaget till miljökvalitetsnormen på 50 µg bromat/l. Orsaken till det höga värdet var en stresstest i samband med ett dos-responsförsök, där ozondosen var så hög, 16 gO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>, så att medelavskiljningen av läkemedelsrester nådde 94%.

I mer detalj från försöken på Lindholmen analyserades sex veckoprover med avseende på bromat och fyra prover med avseende på bromid. Prover var dels på utgående vatten (UTG) dels på ozonerat och därefter sandfiltrerat vatten (ozon+sandfilter), tabell 15.

Tabell 15. Bromid- och bromathalter i utgående avloppsvatten från Lindholmen samt i ozonerat utgående vatten.

Lindholmen Provperiod 2021-22	Bromid		Bromat	
	UTG	Ozon+sandfilter	UTG	Ozon+sandfilter
Vecka 48	<1	-	<3	<3
Vecka 50	-	<1	<15	<6
Vecka 09	<1	<1	<4	40

### *Microtox - Toxicitet över kontakttankarna U0-U3*

Ett enkelt sätt att få en uppfattning av eventuell toxicitet i avloppsvatten är att mäta så kallad Microtox. Mätningen utfördes av SGS som Microtox enligt ISO 11348-3, Vibrio fisher. Resultaten rapporterades för effektkoncentrationerna EC10, EC20 och EC50 med värden inom intervallet 1 % - 81,9 %, ju lägre procentvärde, desto högre giftighet. Högsta värde, som innebar lägst toxicitet var 81,9 %, avrundat till >82 % i labresultaten.

### *Provtagning och resultat för microtox*

Tre samlingsprover från ett dygn på utgående, aktivt kolfilterat och ozonerat med sandfiltrering skickades direkt in till externt laboratorium för analys. Analysresultaten visade ingen variation mellan proverna och det rapporterade värdet är det högsta möjliga dvs med det lägsta värdet för toxicitet som kan rapporteras med SGS:s analysmetod, tabell 16.

Tabell 16. Microtoxvärden i dygnsprover från pilotanläggningen.

Parameter	Enhet	Utgående		
		UTG	Aktivt kol GAC	Ozonerat Ozon+sandfilter
Microtox, EC20 (%) 5 min	%	>82	>82	>82
Microtox, EC20 (%) 15 min	%	>82	>82	>82
Microtox, EC20 (%) 30 min	%	>82	>82	>82
Microtox, EC50 (%) 5 min	%	>82	>82	>82
Microtox, EC50 (%) 15 min	%	>82	>82	>82
Microtox, EC50 (%) 30 min	%	>82	>82	>82

Det förelåg ingen skillnad i analysvärde mellan proven som analyserades med avseende på Microtox. Resultatet >82 % visar att proverna kan vara lågt/något toxiska enligt generella bedömningar av Microtox-värden, men proverna kan lika gärna sakna toxicitet. Den använda analysmetoden var allt för begränsad för att möjliggöra bedömning av skillnader mellan de olika avloppsvattnet i pilotförsöken, eftersom dagens utgående avloppsvatten i Lindholmens reningsverk har låg eller ingen toxicitet enligt Microtox-analysen.

### *Nonylfenol*

Nonylfenoletoxilat ger vid nedbrytning i reningsverk upphov till det hormonstörande ämnet nonylfenol. Tidigare har nonylfenoletoxilat funnits i importerade textilier, men innehållet har minskat sedan problemet uppmärksammades i början av 2000-talet. Veckoprover för vecka 44 och 49 2021 och vecka 9 2022 från pilotlinjerna analyserades med avseende på nonylfenol i vatten av SGS enligt deras egen interna metod GC-MS-NCI, tabell 17.

Tabell 17. Nonylfenol i utgående, aktivkolfiltrerat och ozonerat avloppsvatten.

Nonylfenol, µg/l	UTG	GAC	Ozon+sandfilter
V44	<0,1	<0,1	-
V49	0,17	0,24	-
V09	0,41	-	0,17

Proverna från vecka 44 hade halter under kvantifieringsgränsen 0,1 µg/l och ligger i linje med halter ut från Henriksdal och Bromma ARV, som hade halter lägre än 0,1 µg/l i sina utgående vatten. Avskiljningen över kolfiltret var negativ, dvs halten ut var högre än in, vilket förefaller svårförklarligt. Normalt sett brukar i alla fall en begränsad avskiljning ske över ett kolfilter. Tid fanns inte för nya provuttag. Avskiljningen över ozoneringen var bättre, knappt 60%, vilket var högre än förväntat. Inför en kompletterande studie bör fler prover tas ut för analys.

### *PFOS och PFOA*

PFAS är ett samlingsnamn för tusentals olika syntetiserade substanser som innehåller kolväten med framförallt flera eller många utbytta väteatomer mot fluoratomer. Vissa PFAS substanser är cancerframkallande, andra kan orsaka leverskador eller påverka reproduktionsförmågan och immunsystemet. Substanserna är mycket svårnedbrytbara och kan finnas i vanliga produkter som smink, kläder och möbler.

Utvalda veckoprover för vecka 49 2021 och vecka 09 2022 från pilotlinjerna analyserades av SGS med avseende på 11 olika PFAS i avloppsvatten. Detektionsgränsen var mellan 0,2 och 0,3 ng/l ämnena. En sammanställning av analys-resultaten visar att flera former av de 11 PFAS föreningarna fanns i avloppsvattnen och kunde detekteras i alla prov, tabell 18.



Tabell 18. Halter av olika PFAS i några veckoprover från pilotkörningarna

Vecko- prov	Substans	Halter	UTG	GAC	Ozon+sandfilter normal dos	Ozon+sandfilter hög dos
	<b>PFBA (Perfluorbutansyra)</b>					
Vecka 49	PFBA (Perfluorbutansyra)		3,2	3,6		
Vecka 09	PFBA (Perfluorbutansyra)		4,4		3	2,7
	<b>PFBS (Perfluorbutansulfonsyra)</b>					
Vecka 49	PFBS (Perfluorbutansulfonsyra)		1,8	1,2		
Vecka 09	PFBS (Perfluorbutansulfonsyra)		1,3		1,7	1,4
	<b>PFDA (Perfluordekansyra)</b>					
Vecka 49	PFDA (Perfluordekansyra)		<0,3	0,15		
Vecka 09	PFDA (Perfluordekansyra)		0,4		0,58	0,42
	<b>PFHpA (Perfluorheptansyra)</b>					
Vecka 49	PFHpA (Perfluorheptansyra)		1,7	0,93		
Vecka 09	PFHpA (Perfluorheptansyra)		1,9		2,1	1,9
	<b>PFHxA (Perfluorhexansyra)</b>					
Vecka 49	PFHxA (Perfluorhexansyra)		4,2	4,1		
Vecka 09	PFHxA (Perfluorhexansyra)		4,0		5,5	4,7
	<b>PFHxS (Perfluorhexansulfonsyra)</b>					
	PFHxS (Perfluorhexansulfonsyra)		1,5	0,35		
Vecka 09	PFHxS (Perfluorhexansulfonsyra)		1,3		1,5	1,4
	<b>PFNA (Perfluornonansyra)</b>					
Vecka 49	PFNA (Perfluornonansyra)		0,59	0,15		
Vecka 09	PFNA (Perfluornonansyra)		0,59		0,64	0,61
	<b>PFOA (Perfluoroktansyra), linjär</b>					
Vecka 49	PFOA (Perfluoroktansyra)		2,5	0,8		
Vecka 09	PFOA (Perfluoroktansyra)		3,1		2,9	3,2
	<b>PFOS (Perfluoroktansulfonsyra), grenad</b>					
Vecka 49	PFOS (Perfluoroktansulfonsyra), grenad		1,1	0,21		
Vecka 09	PFOS (Perfluoroktansulfonsyra), grenad		1,1		1,5	1,4
	<b>PFOS (Perfluoroktansulfonsyra), linjär</b>					
Vecka 49	PFOS (Perfluoroktansulfonsyra), linjär		1	0,22		
Vecka 09	PFOS (Perfluoroktansulfonsyra), linjär		0,9		1,4	1,1
	<b>PFOSA (Perfluoroktansulfonamid)</b>					
Vecka 49	PFOS (Perfluoroktansulfonsyra), linjär		<0,3	<0,3		
Vecka 09	PFOS (Perfluoroktansulfonsyra), linjär		0,3		<0,3	<0,3
	<b>PFPeA (Perfluorpentansyra)</b>					
Vecka 49	PFPeA (Perfluorpentansyra)		3,2	3,6		
Vecka 09	PFPeA (Perfluorpentansyra)		3,8		3,4	3,4
	<b>6:2 FTS (Fluortelomer sulfonat)</b>					
Vecka 49	6:2 FTS (Fluortelomer sulfonat)		1,5	0,32		
Vecka 09	6:2 FTS (Fluortelomer sulfonat)		1,0		36	1,8
	<b>Summa 4 PFAS</b>					
Vecka 49	Summa 4 PFAS		6,7	1,6		
Vecka 09	Summa 4 PFAS		7,0		7,9	11
	<b>Summa 11 PFAS</b>					
Vecka 49	Summa 11 PFAS		22	15		
Vecka 09	Summa 11 PFAS		24,0		60	24

Halterna var relativt låga, t.ex. underskreds det tidigare gränsvärdet 90 ng/l för PFAS i dricksvatten. Däremot kommer det nya, kraftigt sänkta, gränsvärdet för dricksvatten och vissa livsmedel, 4 ng/l, som träder i kraft 1 januari 2023 inte att underskidas, även om en jämförelse med dricksvatten haltar för avloppsvatten.

Bland analysresultaten är det ett värde, 36 ng/l för 6:2 FTS i normalozonerat avloppsvatten, som betraktas som en outlier eftersom avloppsvattnet före ozoneringen innehåller 1 ng/l och ett annat, högozonerat (16 g ozon/m<sup>3</sup>) vatten på samma utgående vatten har en halt på 1,8 ng/l.

Halten av grenad PFOA var lägre än 0,3 ng/l i samtliga prov och redovisas inte i tabellen.

Generellt sett visar försöken att granulerat aktiverat kol (GAC) tog bort en del PFAS-ämnen medan ozoneringen inte fungerar så bra, alternativt ökar koncentrationerna av enskilda substanser.

Summa 4 PFAS utgörs av PFOA, PFNA, PFHxS och PFOS och dessa fyra substanser bidrar med knappt hälften av de PFAS som vi får i oss med dricksvatten, mat och luft. Därför är det intressant att se hur mycket som tillförs miljön med avloppsvatten

Avskiljningen av PFAS-föreningar har beräknats på korresponderande prov. I det fall en PFAS-förening har kvantifierats i ordinarie utgående avloppsvatten från Lindholmens ARV och inte efter en pilotlinje har halva värdet för detektionsgränsen använts i beräkningarna av avskiljningsgrad, tabell 19.

Högst avskiljning stod GAC-linjen för, även om spridningen var stor. Avskiljningen av PFOS, både grenad och linjär var relativt hög, runt 80%. Avskiljningen över ozoneringen var begränsad och i medeltal var avskiljningen negativ vilket skulle kunna tolkas som att PFAS-ämnen frigörs från partiklar som delvis bryts ned av ozon. Ozoneringen ger också stor spridning i avskiljningsgrader, vilket även tidigare försök på andra reningsverk visat, t.ex. på Fors reningsverk.

Tabell 19 Avskiljningsgrader PFAS-föreningar i pilotförsöken i Lindholmens ARV 2021-22

Prover	Substans	Halter	GAC	Ozon+sandfilter normal dos	Ozon+sandfilter hög dos
	<b>PFBA (Perfluorbutansyra)</b>				
Vecka 49	PFBA (Perfluorbutansyra)		-12,5		
Vecka 09	PFBA (Perfluorbutansyra)			32	39
	<b>PFBS (Perfluorbutansulfonsyra)</b>				
Vecka 49	PFBS (Perfluorbutansulfonsyra)		33		
Vecka 09	PFBS (Perfluorbutansulfonsyra)			-31	-8
	<b>PFDA (Perfluordekansyra)</b>				
Vecka 49	PFDA (Perfluordekansyra)				
Vecka 09	PFDA (Perfluordekansyra)			-45	-5
	<b>PFHpA (Perfluorheptansyra)</b>				
Vecka 49	PFHpA (Perfluorheptansyra)		45		
Vecka 09	PFHpA (Perfluorheptansyra)			-11	0
	<b>PFHxA (Perfluorhexansyra)</b>				
Vecka 49	PFHxA (Perfluorhexansyra)		2		
Vecka 09	PFHxA (Perfluorhexansyra)			-38	-18
	<b>PFHxS (Perfluorhexansulfonsyra)</b>				
	PFHxS (Perfluorhexansulfonsyra)		77		
Vecka 09	PFHxS (Perfluorhexansulfonsyra)			-15	-8
	<b>PFNA (Perfluoronansyra)</b>				
Vecka 49	PFNA (Perfluoronansyra)		75		
Vecka 09	PFNA (Perfluoronansyra)			-8	-3
	<b>PFOA (Perfluoroktansyra), linjär</b>				
Vecka 49	PFOA (Perfluoroktansyra)		68		
Vecka 09	PFOA (Perfluoroktansyra)			6	-3
	<b>PFOS (Perfluoroktansulfonsyra), grenad</b>				
Vecka 49	PFOS (Perfluoroktansulfonsyra), grenad		81		
Vecka 09	PFOS (Perfluoroktansulfonsyra), grenad			-36	-27
	<b>PFOS (Perfluoroktansulfonsyra), linjär</b>				
Vecka 49	PFOS (Perfluoroktansulfonsyra), linjär		78		
Vecka 09	PFOS (Perfluoroktansulfonsyra), linjär			-59	-25
	<b>PFOSA (Perfluoroktansulfonamid)</b>				
Vecka 49	PFOS (Perfluoroktansulfonsyra), linjär				
Vecka 09	PFOS (Perfluoroktansulfonsyra), linjär			50	50
	<b>PFPeA (Perfluorpentansyra)</b>				
Vecka 49	PFPeA (Perfluorpentansyra)		-13		
Vecka 09	PFPeA (Perfluorpentansyra)			11	11
	<b>6:2 FTS (Fluortelomer sulfonat)</b>				
Vecka 49	6:2 FTS (Fluortelomer sulfonat)		79		
Vecka 09	6:2 FTS (Fluortelomer sulfonat)				-80
	<b>Summa 4 PFAS</b>				
Vecka 49	Summa 4 PFAS		76		
Vecka 09	Summa 4 PFAS			-13	-57
	<b>Summa 11 PFAS</b>				
Vecka 49	Summa 11 PFAS		32		
Vecka 09	Summa 11 PFAS			-150	0
	<b>Alla PFAS-ämnen i tabellen</b>				
Vecka 49-09	Medel avskiljning		48	-22	-9

### Celltester för analys av vattenprover - bestämning av östrogena m fl effekter

Förutom Microtox användes celltester - effektbaserade metoder baserade på odlade celler som modifierats för att mäta specifika toxiska effekter i avloppsvattnen. Med metoden studerades förekomsten av ämnen som kan aktivera cellernas östrogenreceptor (ER), androgenreceptorn (AR), arylhydrokarbonreceptor (AhR) samt orsaka oxidativ stress (Nrf2), vilka alla återspeglar förändringar i den normala vattenmiljön.

Med celltesterna beräknas så kallade bioekvivalenta koncentrationer, bioequivalent concentrations, (BEQ), vilka beskriver den observerade effekten uttryckt som en koncentration motsvarande ett referensämne, som analyserades samtidigt. Referensämnena som användes var 2,3,7,8-tetrachlorodibenzodioxin (TCDD) för att mäta AhR-aktivitet, 17 $\beta$ -estradiol (E2) för ER-aktivitet, dihydrotestosteron (DHT) för AR-aktivitet, hydroxyflutamid (OHF) för anti-AR-aktivitet och tertiär butylhydrokinon (tBHQ) för Nrf2 (oxidativ stress).

Samlingsprov från utgående avloppsvatten, ozonerat och sandfilterat, granulerat aktiverat kol (GAC), pulveriserat aktiverat kol (PAC) samt ett kontrollvatten (KV) i form av ett aktivt kolfilterat kranvatten analyserades med celltesterna. Resultaten från celltesterna visade på relativt hög AR-aktivitet i samtliga prover utom i kontrollvattnet, och de olika behandlingarna av vattnet verkade inte påverka AR-aktiviteten. tabell 20.

Tabell 20 Uppmätta aktiviteter i celltester av olika försöksvatten.

Receptor	Referensämne	Enhet	LOD	Kontrollvatten (KV)	UTG	Ozon+ sandfilter	GAC	PAC
AR	Dihydrotestosteron	[pg DHT/l]	247	inaktiv	1053	1812	1792	1929
anti-AR	Hydroxyflutamid	[pg OHF/l]	0,007	inaktiv	inaktiv	inaktiv	inaktiv	inaktiv
ER	17 $\beta$ -estradiol	[pg E2/l]	17	156	155	325	200	478
Nrf2	tertiär-butylhydrokinon	[pg BHQ/l]	4	22	16	13	inaktiv	4
AhR	2,3,7,8-tetrachlorodibenzodioxin	[pg TCDD/l]	518	1763	11823	7739	6313	4555

Blockering av androgenreceptorn (anti-AR-aktivitet) uppmättes inte dvs alla prover låg under detektionsgränsen. Nrf2-aktivitet (oxidativ stress) uppmättes i samtliga prover, förutom efter GAC-behandling. Aktivering av Ah-receptorn uppmättes i alla prover i relativt hög omfattning. För östrogen aktivitet (ER-aktivitet) uppmättes relativt låga aktiviteter. Analyserna indikerar, medräknat utspädningsfaktor till recipienten, att östrogeniciteten i utgående avloppsvatten kan resultera i överskriden åtgärdsnivå för östradiol till recipienten.

## Övriga observationer under försöken

I pilotanläggningens inloppsfiltre observerades under försöken den vattenlevande växten andmat (*Lemna minor*) som sköljts med från slutsedimenteringens ytor och fastnat i inloppsfiltren, vilket fick dem att sätta igen snabbare än normalt, figur 41. Risk finns således att andmat kan öka belastningen på de planerade skivfiltren i en fullstor anläggning.



Figur 41. Andmat på en sedimenteringsbassängs yta.

## Biologiska tester – zebrafisk och dammsnäckor

Effekten av läkemedelsreningen testades även biologiskt under ledning av Stefan Örn och Gunnar Carlsson på SLU: Under försöksdriftens tre avslutande veckor under 2021 hölls tolv besättningar med zebrafisk, i lika många akvarier. Behandlat vatten från granulerade aktiverade kol, GAC-linjen, respektive behandlat vatten från ozoneringslinjen, ozon + sand-filtrering, tillfördes tre parallella akvarier vardera. Aktivkolfiltrerat kranvatten utgjorde kontrollvatten som tillfördes tre andra parallella akvarier. Referensvatten utgjordes av dagens utgående avloppsvatten från Lindholmens reningsverk.

Pilotlinjerna för läkemedelsrening och som producerade behandlat avloppsvatten för den biologiska testning drevs kontinuerligt och med största möjliga stabilitet och konstanta inställningar för att efterlikna en framtida drift där justeringar endast görs när driften hamnat utanför aktuellt driftfönster.

Statistisk bearbetning av analysresultaten för veckoproverna som samlades in under fiskexponeringen visar att dagens utgående avloppsvatten från Lindholmens reningsverk

innehåller höga halter läkemedelsrester med relativt liten spridning mellan försöksveckorna, tabell 21. Behandlat vatten från granulerade aktiverade kol, GAC-linjen, respektive behandlat vatten från ozoneringslinjen, ozon + sandfiltrering, innehöll betydligt lägre halter.

Tabell 21. Läkemedelsrester i kranvatten, utgående avloppsvatten från Lindholmens reningsverk samt innehåll i behandlat vatten från ozoneringslinjen, ozon + sandfiltrering respektive granulerade aktiverade kol, GAC-linjen i samband med biostesterna

Prov	Kranvatten 2021 V48-V50	UTG 2021 V48-V50	Ozon+SF 2021 V48-V50	GAC 2021 V48-V50
Substans [ng/l]	Medel	Medel (min-max) ±std avv.	Medel (min-max) ±std avv.	Medel (min-max) ±std avv.
Atenolol	<5	413 (<10-450) ± 26	200 (170-260) ± 45	29 (<10-77) ± 34
Ciprofloxacin	<10	24 (<10-33) ± 6,3	<20	10 (<10-15) ± 4,1
Citalopram	<5	313 (<10-330) ± 23,6	114 (<10-170) ± 56	<10 (<10-17) ± 5,7
Clopidol		<10	<10	<10
Crotamiton		<10	<10	<10
Diklofenak	<10	247 (<10-400) ± 113	<10	57 (<10-160) ± 73
Erytromycin	<20	<10	<10	<10
Flukonazol	<1	217 (<10-270) ± 39	<10	27 (<10-66) ± 28
Furosemid		50 (<30-120) ± 50	<30	<30
Ibuprofen		143 (<10-280) ± 98	63 (<10-110) ± 48	40 (<10-66) ± 26
Karbamazepin	<3	460 (<10-530) ± 67	29 (<10-52) ± 24	28 (<10-68) ± 28
Ketoconazol	<10	<100	<500	<10
Klaritromycin	<1	112 (<10-200) ± 62	20 (<10-35) ± 15	<10
Losartan	<5	738 (<10-2000) ± 893	<10	12 (<10-25) ± 9,4
Metoprolol	<5	2500 (<10-2900) ± 374	1330 (<10-1900) ± 570	78 (<10-200) ± 87
Metotrexat		<10	<10	<10
Naproxen		155 (<30-180) ± 25	<30	<30
Oxazepam	<5	527 (<10-570) ± 54	275 (<10-350) ± 75	40 (<10-100) ± 42
Paracetamol		<10	28 (<10-50) ± 23	<10
Primidon		75 (<10-99) ± 22	41 (<10-56) ± 15	14 (<10-31) ± 12
Propanolol	<50	105 (<10-140) ± 31	<10	<10
Sertralin	<10	86 (<10-100) ± 12	25 (<10-33) ± 8,5	<10
Sotalol	<0,5	50 (<10-73) ± 16	<10	<10
Sulfadiazin		275 (<10-500) ± 225	<50	<10
Sulfametoxazol	<5	310 (<10-550) ± 170	20 (<10-34) ± 15	35 (<10-84) ± 35
Tramadol	8	433 (<10-520) ± 63	215 (<10-34) ± 15	32 (<10-85) ± 38
Trimetoprim	1	160 (<10-180) ± 22	10 (<10-15) ± 5	<10
Venlafaxin	<0,5	683 (<10-770) ± 123	315 (<10-1440) ± 125	63 (<10-160) ± 69
Zolpidem	<0,5	<10	<10	<10

Analysresultaten visade på relativt höga koncentrationer av läkemedelsrester i utgående avloppsvatten från Lindholmen, jämfört med t.ex. Henriksdals reningsverk från samma tid 2021 ("Janusinfo.se," 2021) och Rimbo reningsverk våren 2022. Koncentrationerna liknade mer de tidigare uppmätta vid Fors reningsverk 2020, tabell 22.

Tabell 22. Jämförelse av läkemedelshalter i utgående avloppsvatten från Lindholmen, Rimbo, Fors och Henriksdals reningsverk.

Ämne	Lindholmen Utg Medel ng/l	Rimbo Utg Medel ng/l	Fors Utg Medel ng/l	Henriksdal Utg Medel ng/l
Amidotrizoinsyra	2476			
Atenolol	348	23	346	108
Ciprofloxacin	48			
Citalopram	241	96	568	124
Clopidol	35			
Crotamiton	35			
Diklofenak	511	247	1480	717
Erytromycin	46	6	136	<20
Flukonazol	128	76	156	39
Furosemid	1909	194	2580	
Ibuprofen	320	46	270	
Karbamazepin	377	109	640	
Ketoconazol	31	2		<10
Klaritromycin	82	23	163	
Losartan	1573	400		
Metoprolol	1667	557	3220	846
Metotrexat	35	1		
Naproxen	511	258	119	
Oxazepam	436	186	312	56
Paracetamol	45	100	1800	105
Primidon	66			
Propanolol	85	29	220	125
Sertralin	73	15	131	34
Sotalol	39			
Sulfadiazin	50			
Sulfametroxazol	275	112	182	56
Tramadol	391	207	1200	600
Trimetoprim	125	57	82	22
Venlafaxin	504	158	742	604
Zolpidem	35	1		8
<b>Summa</b>	<b>12497</b>	<b>2904</b>	<b>14347</b>	<b>3444</b>

Läkemedelskoncentrationerna var i medeltal tre-fyra gånger högre i Lindholmens reningsverk än i Henriksdals reningsverk. En förklaring till skillnaderna kan vara att analyserna är utförda av olika laboratorier och med några månaders tidsskillnad, men detta borde endast förklara en del. En snabb jämförelse mellan verkens inkommande koncentrationer visar att koncentrationerna var ca tre gånger högre i inkommande avloppsvatten till Lindholmens reningsverk än till

Henriksdals reningsverk under den undersökta tiden. Lindholmen har också en variant av aktivslamprocess, OCO, som tidvis är oluftad, vilket kan minska läkemedelsavskiljningen, vilket i sin tur bekräftas av den uppmätta, något lägre avskiljningen, ca 30-40 % jämfört med den mer förekommande 50% avskiljningen av ett urval av inkommande läkemedelsrester.

Förklaringen till de högre koncentrationerna i utgående renat avloppsvatten kan sammanfattningsvis vara resultatskillnader mellan laboratorier, att konsumtionen av läkemedel är högre i upptagningsområdet till Lindholmen, mängden ovidkommande vatten var mindre till Lindholmen än i Henriksdal, samt att den biologiska reningen har kortare uppehållstid i Lindholmen än i Henriksdals reningsverk.

Pilotlinjerna fungerade tillfredsställande under fiskeexponeringsförsöken, vilket återspeglas i avskiljningsgraderna av läkemedelsrester, tabell 23.



Tabell 23. Avskiljningsgrader för läkemedelsrester under fiskexponeringen med aktiverat kol (GAC) och ozonering följt av sandfilter

Prov	O3+SF 2021-22 V48-V50	GAC 2021-22 V48-V50
Substans [ng/l]	Avskiljning [%]	Avskiljning [%]
Amidotrizoinsyra	8,0	27,4
Atenolol	51,2	93,5
Ciprofloxacina	56,2	58,8
Citalopram	63,8	97,0
Clopidol		
Crotamiton		
Diklofenak	97,5	57,8
Erytromycin		
Flukonazol	29,9	86,8
Furosemid	87,5	87,5
Ibuprofen	72,4	72,0
Karbamazepin	95,6	92,7
Ketoconazol	90,0	90,0
Klaritromycin	89,2	94,2
Losartan	95,7	88,6
Metoprolol	48,0	96,2
Metotrexat		
Naproxen	90,1	56,2
Oxazepam	45,1	91,3
Paracetamol		
Primidon	48,7	73,3
Propanolol	94,7	94,7
Sertralin	71,1	94,0
Sotalol	89,2	84,8
Sulfadiazin	90,0	
Sulfametoxazol	91,0	82,0
Tramadol	48,5	92,3
Trimetoprim	94,2	95,8
Venlafaxin	73,3	88,3
Zolpidem		
Medel	72	82
Median	80	89
Min	8	27
Max	98	97
Alla utom amidotrizoinsyra		
Medel	74	85
Median	88	89
Min	30	56
Max	98	97

## Option B Desinfektionstester för återbruk av renat avloppsvatten för gäddfabrik och boskapsbete

Försök med desinfektion av utgående avloppsvatten genomfördes med ozonering, ultrafilter och UV-ljus för att utröna möjligheterna att återvinna renat avloppsvatten från Lindholmens reningsverk. Idén kom upp i samband med en diskussion om att använda dagens avloppsvatten för att försörja en framtida "gäddfabrik" med efterföljande sommarbete.

Målet var att i pilotskala undersöka desinfektionsgraden för de utvalda processerna för läkemedelsrening, ozonering respektive granulerat aktiverat kol, men också undersöka hur några kända tekniker för desinfektion, ultrafiltrering (UF) och ultraviolett ljus UV vid 254 nm (UV) kan användas för desinfektion av det aktuella avloppsvattnet. Testerna gjordes på Lindholmens reningsverk vid två olika tillfällen, 2022-02-10 och 2022-03-01.

### *Utformning av utvärderingen*

Processerna kördes alla parallellt med samordnad provtagning och direkt transport till externt analyslab för parallell analys av utvalda mikrobiella parametrar.

Testerna utfördes vid två tillfällen för att om möjligt hinna ta lärdom av den första omgången om lämpliga doser, uppehållstider mm. Analysmetoderna valdes bland det reguljära utbudet hos kommersiella lab med korta svarstider representerade olika typer av mikroorganismer bland virus, bakterier och mikrosvampar inklusive jäst, tabell.

Tabell 24 Undersökta mikroorganismer under desinfektionsförsöken

Analys	Metod
Odlingsbara mikroorg. 22°C 3d	SS-EN ISO 6222, utg 1
Odlingsbara bakt 35°C 2 d	SS-EN ISO 6222 utg 1
Termotolerant koliforma 44°C	SS028167-2 MF
Intestinala Enterokocker	SS-EN ISO 7899-2
Campylobact jejuni/coli/lari	NMKL 119-3
E.coli O 157	VIDAS UP ECPT
Listeria monocytogenes	VIDAS LMX
Salmonella	NMKL 71-4/SS 028165-3
Kolifager	SS-EN ISO 10705-2 mod
Mikrosvamp 25°C	SS028192-1
Mögelsvamp	SS028192-1
Jäst	SS028192-1
Pres Clostridium perfringens	SS-EN ISO 14189:2016
Pseudomonas aeruginosa	SS-EN ISO 16266:2008

Analysresultaten sammanställdes för att kunna jämföra dagens situation med införandet av läkemedelsrening alternativt kompletterande reningssteg på annat sätt.

### *Utrustning och försök*

Pilotanläggningen kompletterades med ultrafilter och en UV-enhet för att utvärdera några olika desinfektionsmetoder för avloppsvatten parallellt med ozonering och aktiverat-kolfiltrering.

## Ozonering

Befintlig ozoneringslinje i pilotskala kördes sekventiellt med fyra olika ozondoser innan stickprovtagning gjordes efter sex omsättningar vilket skall säkerställa att vattnet bytts ut i ozoneringsanläggningen inklusive kontaktkolonnen innan nytt prov tas.

Dosen varierades mellan 5 och 16 g ozon/m<sup>3</sup> avloppsvatten, tabell 25.

Tabell 25 Ozondoser under desinfektionsförsöken

Försöksomgång	Dos [g O <sub>3</sub> /m <sup>3</sup> ]	Dos [g O <sub>3</sub> /g DOC]
Ozon 1 10/2	8,8	0,96
Ozon 2 10/2	12,3	1,34
Ozon 3 10/2	5,3	0,57
Ozon 4 10/2	7,0	0,76
Ozon1 1/3	12,3	1,54
Ozon2 1/3	15,9	1,98
Ozon3 1/3	8,8	0,6575
Ozon4 1/3	5,3	1,10

Den mot DOC-halten i utgående avloppsvatten normerade ozondosen var som mest mer än dubbelt så hög som den erforderliga dosen för 80% avskiljning av läkemedelsrester.

## Ultrafilter

Ett mindre ultrafilter sattes upp för kontinuerlig drift med ca 20 l/h. Filterelementen var av "spagettityp" dvs bestod av många parallellt monterade tunna ihåliga fibrer som låter partikelfritt avloppsvatten, transporteras, vinkelrätt mot den dominerande strömningsriktningen, in genom den yttre trådmembranytan och samlas i fibrernas inre för vidare transport ut ur filtret som ett filtrat. Denna så kallade "cross-flow" filtrering håller fibrerna rena från större beläggningar av partiklar så de transporteras ut på den "smutsiga sidan", med vatten som inte filtrerats. Filterelementen hade en cut-off av 0,22 µm vilket innebär

att i princip alla bakterier ( $>1 \mu\text{m}$ ) inte kan passera filterelementen, vilket dock de betydligt mindre viruspartiklarna kan.

## UV-utrustning

En genomströmningssenhet med UV-rör sattes upp i pilotanläggningen och kördes kontinuerligt under fem dagar innan själva provtagningarna. Enheten kördes under själva försöken med några olika flöden för att variera kontakttiden för avloppsvattnet. Utrustningen var av fabrikat OSAGA och hade ett UVC-rör med in-effekten 75 Watt. De uppehållstider som ställdes in var 30, 15 s respektive 8 s, vilka bedömdes ligga inom lämpligt intervall för desinfektion med UV-ljus.

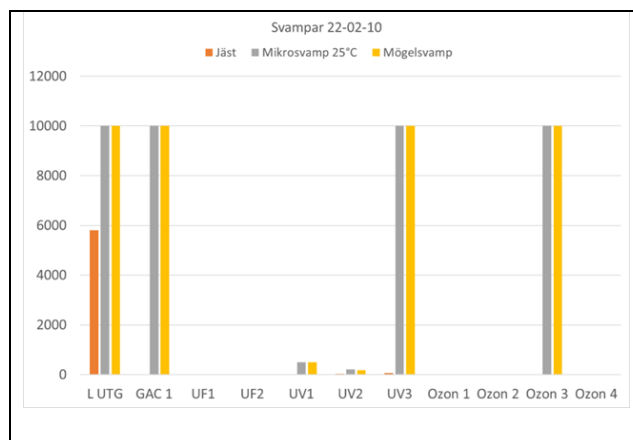
Desinfektion med UV-ljus bygger på att UV-ljuset tränger in i mikroorganismerna och skadar proteiner och framförallt DNA och RNA vilket skadar och hindrar mikroorganismen att fungera och framförallt föröka sig.

## *Resultat*

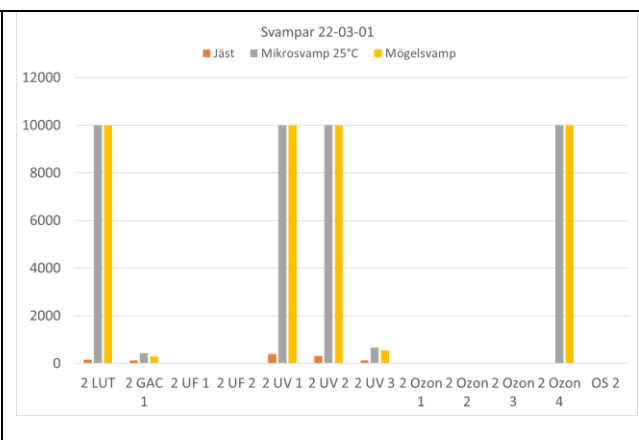
De utförda desinfektionsförsöken med ozonering, ultrafilter och UV-ljus visade på olika alternativ för att uppnå en god reduktion av ett flera olika mikroorganismer, virus, bakterier och mikrosvampar. Desinfektion i kombination med avancerad rening för att ta bort läkemedelsrester öppnar upp för goda möjligheter att återanvända renat avloppsvatten till t.ex. en gäddfabrik med efterföljande sommarbete. Förekomst av antibiotikaresistens analyserades inte utan minskningen av antalet bakterier visar indirekt minskningen av eventuell antibiotikaresistens.

God desinfektion av utgående avloppsvatten kunde uppnås med ozonering, ultrafilter och UV-ljus i fallande resultatordning.

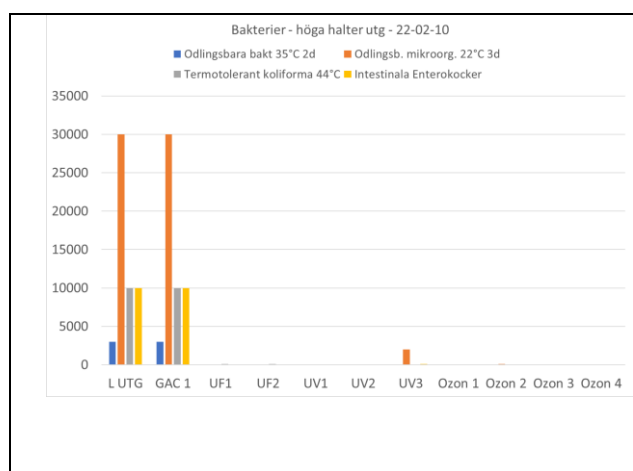
Avskiljningen av mikroorganismerna grupperades efter typ av mikroorganism och halter i utgående avloppsvatten: (mikro)svampar, bakterier som förekommer i höga halter respektive låga halter, figur 42, figur 43 och figur 44. Alla data återfinns i tabell 26 och 27.



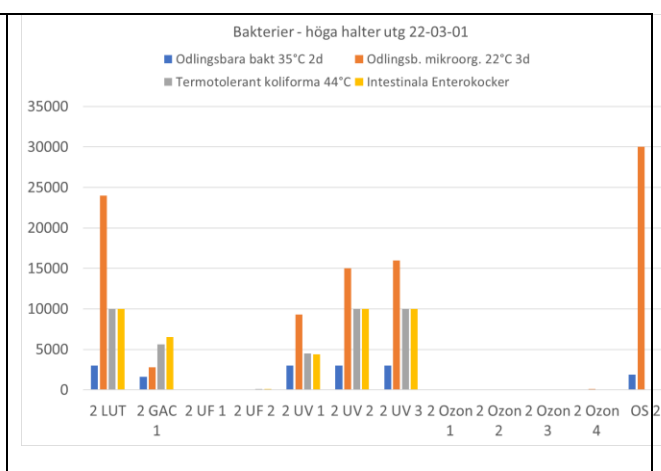
Figur 42 a Mikrosvampar 2022-02-10



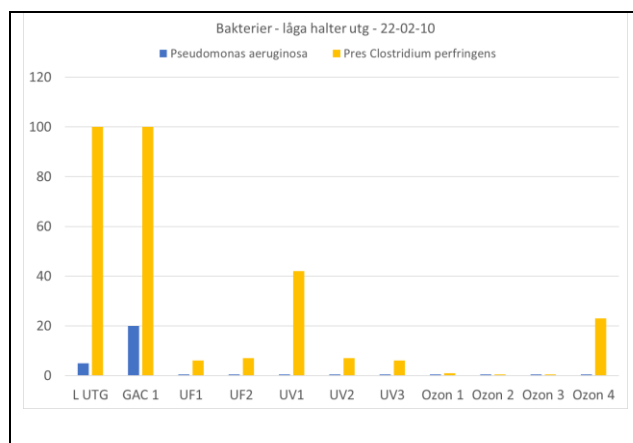
42b Mikrosvampar 2022-03-01



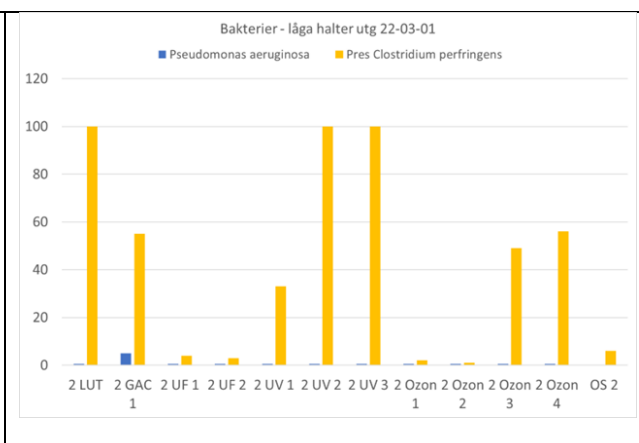
Figur 43 a Bakterier höga halter 2022-02-10



43b Bakterier höga halter 2022-03-01



Figur 44 a Bakterier låga halter 2022-02-10



44b Bakterier låga halter 2022-03-01

Reduktionen av mikrosvampar över GAC-filtren varierade mycket. Men de längre uppehållstiderna i UV-enheten var reduktionen god liksom vid normala och högre ozondoser.

Reduktionen av bakterier som förekom i höga halter var begränsad över GAC-filtret, men annars mycket god så länge normala till höga UV- och ozondoser administrerades.

Reduktionen av bakterier som förekom i låga halter var begränsad över GAC-filtret och mer varierande vid normala till höga UV- och ozondoser vilket kräver mer uppföljning.

Reduktionen av virus, mätt som somatiska kolifager var begränsad över GACfilter och ultrafilter. Med normala och höga UV- och ozondoser var desinfektionen god.

Reflektioner över mer specifika bakterier: campylobacter, E.coli O 157, listeria och salmonella samt SARS-CoV-2 virus

Laboratoriet kunde inte påvisa förekomst av Campylobact jejuni/coli/lari, E.coli O 157 eller salmonella i något av de tagna proven. Däremot kunde Listeria monocytogenes påvisas i ordinarie utgående avloppsvatten från båda tillfällena, i utgående från GAC-filtret, och i tre av sex utgående prover från UV-behandlingen.

Utöver de redan redovisade analyserades prover från den 10 februari även med avseende på SARS-CoV-2 viruspartiklar med anledningen av coronapandemin. Samtliga prover, inklusive ordinarie utgående avloppsvatten hade halter lägre än detektionsgränsen på 1000 geq/100ml.

Tabell 26 Resultat från 2022-02-10

Förklaring, Dos etc Parameter	Aktivt kol-											
	Utgående filterat		Ultrafilter		Ultrafilter		Ultrafilter		Ultrafilter		Ultrafilter	
L UTG	GAC 1	UF1	UF2	UF1	UF2	UV1	UV2	UV3	Ozonerat Ozon 1	Ozonerat Ozon 2	Ozonerat Ozon 3	Ozonerat Ozon 4
Preliminär Listeria	msstänk	msstänk	-	-	-	-	-	msstänk	-	-	-	-
Preliminär Pseudomonas	6	100	10	13	-	-	-	-	15	7	-	2
Odlingsbara bakt 35°C 2d	>3000	>3000	<10	<10	<10	<10	<10	<10	10	<10	<10	<10
Jäst	5800	<10	10	10	<10	<10	<10	27	64	<10	<10	<10
Mikrosvamp 25°C	>10000	>10000	10	10	500	210	>10000	>10000	<10	<10	>10000	<10
Mögelisvamp	>10000	>10000	<10	<10	500	180	>10000	>10000	<10	<10	>10000	<10
Odlingsb. mikroorg. 22°C 3d	>30000	>30000	45	27	36	55	2000	2000	<10	<10	100	<10
Pseudomonas aeruginosa	5	>20	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Termotolerant koliforma 44°C	>10000	>10000	91	100	<10	<10	9	9	9	<10	<10	<10
Somatiska kolifager	>3000	>3000	>3000	1600	<1	<1	2	2	<1	<1	<1	22
Cam pylobact jejuni/coliari	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad
E.coli O 157	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad
Listeria monocytogenes	påvisad	påvisad	påvisad	påvisad	påvisad	påvisad	påvisad	påvisad	påvisad	påvisad	påvisad	påvisad
Salm onella	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad
Intestinala Enterokocker	>10000	>10000	9	18	<10	<10	120	120	<10	<10	<10	18
Pres Clostridium perfringens	>100	>100	6	7	42	7	6	6	1	<1	<1	23
SARS-CoV-2 viruspartiklar	<1000	<1000	-	-	-	-	-	-	msstänk	-	-	-

Tabell 27 Resultat från 2022-03-01

Förklaring, Dos etc Parameter	Aktivt kol-												Ozonerat + Ozonerat sandfilterat				
	Utgående filterat		Ultrafilter		Ultrafilter		Ultrafilter		Ultrafilter		Ultrafilter		Ultrafilter		Ultrafilter		Ultrafilter
2 LUT	2 GAC 1	2 UF1	2 UF2	2 UF1	2 UF2	2 UV1	2 UV2	2 UV3	2 Ozon 1	2 Ozon 2	2 Ozon 3	2 Ozon 4	OS2	OS2	OS2	OS2	OS2
Preliminär Listeria	msstänk	msstänk	-	-	-	-	-	msstänk	msstänk	-	-	-	-	-	-	-	-
Preliminär Pseudomonas	-	5	2	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Odlingsbara bakt 35°C 2d	3000	1600	40	30	3000	3000	3000	3000	3000	5	5	5	20	1900	5	5	5
Jäst	150	130	5	5	400	310	120	660	660	5	5	5	5	10	5	5	5
Mikrosvamp 25°C	10000	430	5	5	10000	10000	10000	10000	10000	5	5	5	10000	10	5	5	5
Mögelisvamp	10000	300	5	5	10000	10000	10000	10000	10000	5	5	5	10000	10	5	5	5
Odlingsb. mikroorg. 22°C 3d	24000	2800	45	82	9300	15000	16000	16000	16000	5	5	5	140	30000	5	5	5
Pseudomonas aeruginosa	0.5	5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Termotolerant koliforma 44°C	10000	5600	45	110	4500	10000	10000	10000	10000	5	5	5	5	5	5	5	5
Somatiska kolifager	3000	1100	280	150	24	120	680	680	680	0.5	0.5	0.5	10	0.5	0.5	0.5	0.5
Cam pylobact jejuni/coliari	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad
E.coli O 157	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad
Listeria monocytogenes	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad
Salm onella	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad	ej påvisad
Intestinala Enterokocker	10000	6500	55	91	4400	10000	10000	10000	10000	5	5	5	9	5	5	5	5
Pres Clostridium perfringens	100	55	4	3	33	100	100	100	100	2	1	49	56	6	6	6	6

## Log-reduktion - ett mått på desinfektionsverkan

Desinfektionen kan mätas som minskningen av mikroorganismer uttryckt som "log-reduktion" vilken beräknas genom att ta 10logaritmen på kvoten mellan halten av mikroorganismer i obehandlat vatten,  $N_0$  och behandlat vatten,  $N$ , motsvarande  $10\log(N_0/N)$ .

De ovan redovisade resultaten användes för att få fram log-reduktionerna för de båda försöksomgångarna, tabell 28 och tabell 29.

Tabell 28 Logreduktionen med olika behandlingsmetoder – Försök 1 – 2022-02-10

Försök 2022-02-10	Aktivt kol- Ultrafilter		Ultrafilter	Ultraviolet	Ultraviolet	Ultraviolet	Ozonerat	Ozonerat	Ozonerat	Ozonerat
	filtrerat	UF1	UF2	ljus	ljus	ljus	Ozon 1	Ozon 2	Ozon 3	Ozon 4
Analys	GAC 1	UF1	UF2	UV1	UV2	UV3	Ozon 1	Ozon 2	Ozon 3	Ozon 4
Odlingsbara bakt 35°C 2d	0,00	2,78	2,78	2,78	2,78	2,48	2,78	2,78	2,78	2,78
Jäst	3,06	2,76	2,76	3,06	2,33	1,96	3,06	3,06	3,06	3,06
Mikrosvamp 25°C	0,00	3,00	3,00	1,30	1,68	0,00	3,30	3,30	0,00	3,30
Mögelsvamp	0,00	3,30	3,30	1,30	1,74	0,00	3,30	3,30	0,00	3,30
Odlingsb. mikroorg. 22°C 3d	0,00	2,82	3,05	2,92	2,74	1,18	3,78	2,48	3,78	3,78
Pseudomonas aeruginosa	-0,60	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Termotolerant koliforma 44°C	0,00	2,04	2,00	3,30	3,30	3,05	3,05	3,30	3,30	3,30
Somatiska kolifager	0,00	0,00	0,22	3,78	3,78	3,18	3,78	3,78	2,13	3,78
Intestinala Enterokocker	0,00	3,05	2,74	3,30	3,30	1,92	3,30	3,30	2,74	3,30
Pres Clostridium perfringens	0,00	1,22	1,15	0,38	1,15	1,22	2,00	2,30	2,30	0,64

Tabell 29 Logreduktionen med olika behandlingsmetoder – Försök 2 – 2022-03-01

Försök 2022-03-01	Aktivt kol- Ultrafilter		Ultrafilter	Ultraviolet	Ultraviolet	Ultraviolet	Ozonerat	Ozonerat	Ozonerat	Ozonerat	Ozon + sandfilter
	filtrerat	UF 1	UF 2	ljus	ljus	ljus	Ozon 1	Ozon 2	Ozon 3	Ozon 4	OS 2
Analys	2 GAC 1	2 UF 1	2 UF 2	2 UV 1	2 UV 2	2 UV 3	2 Ozon 1	2 Ozon 2	2 Ozon 3	2 Ozon 4	OS 2
Odlingsbara bakt 35°C 2d	0,27	1,88	2,00	0,00	0,00	0,00	2,78	2,78	2,78	2,18	0,20
Jäst	0,06	1,48	1,48	-0,43	-0,32	0,10	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48
Mikrosvamp 25°C	1,37	3,30	3,30	0,00	0,00	1,18	3,30	3,30	3,30	0,00	3,00
Mögelsvamp	1,52	3,30	3,30	0,00	0,00	1,27	3,30	3,30	3,30	0,00	3,00
Odlingsb. mikroorg. 22°C 3d	0,93	2,73	2,47	0,41	0,20	0,18	3,68	3,68	3,68	2,23	-0,10
Pseudomonas aeruginosa	-1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Termotolerant koliforma 44°C	0,25	2,35	1,96	0,35	0,00	0,00	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30
Somatiska kolifager	0,44	1,06	1,30	2,10	1,40	0,64	3,78	3,78	3,78	2,48	3,78
Intestinala Enterokocker	0,19	2,26	2,04	0,36	0,00	0,00	3,30	3,30	3,30	3,05	3,30
Pres Clostridium perfringens	0,26	1,40	1,52	0,48	0,00	0,00	1,70	2,00	0,31	0,25	1,22

Desinfektionen var ofta mycket god och nådde ned till kvantifieringsgränsen. Beroende på halterna av respektive mikroorganism i ordinarie utgående avloppsvatten kan maximalt en logreduktion på runt 4 uppnås.

Läkemedelsavskiljningen i samband med desinfektionsförsöken

Desinfektion kan ses som en bonus vid läkemedelsrening med ozon. För att undersöka graden av läkemedelsrening vid desinfektionstekniker togs ett antal prover för läkemedelsanalys, tabell.



Tabell 30 Avskiljningsgrad av läkemedelsrester i samband med desinfektionsförsöken

Avskiljning %	Ozon 1 10/2	Ozon 2 10/2	Ozon 3 10/2	GAC 1/3	UV1 1/3	Ozon1 1/3	Ozon2 1/3	Ozon3 1/3	Ozon4 1/3
Amidotrizoinsyra	0	32	-23		2	32	47	21	12
Atenolol	99	99	65	88	4	98	98	98	50
Ciprofloxacin	88	88	88	68	-27	89	89	89	75
Citalopram	97	97	97	97	0	97	97	97	87
Clopidol									
Crotamiton									
Diklofenak	99	99	99	70	-39	98	98	98	98
Erytromycin									
Flukonazol	55	88	36	64	-3	92	92	53	19
Furosemid	96	96	96	73	-41	98	98	98	98
Ibuprofen	68	91	24	25	25	86	86	71	37
Karbamazepin	98	98	98	82	10	98	98	98	98
Ketoconazol									
Klaritromycin	93	93	93						
Losartan	100	100	100	59	17	100	100	100	100
Metoprolol	100	100	73	90	-1	99	99	99	53
Metotrexat									
Naproxen	98	98	98	73	-7	98	98	98	98
Oxazepam	84	99	53	77	10	98	98	86	47
Paracetamol									
Primidon	74	74	11	37	0	74	74	74	26
Propranolol	92	92	92	90	8	90	90	90	90
Sertralin	92	92	92	95	-3	95	95	95	95
Sotalol	80	80	80	77	-9	77	77	77	77
Sulfadiazin									
Sulfametoxazol	99	99	97	32	8	98	98	98	98
Tramadol	98	98	82	90	8	99	99	99	69
Trimetoprim	98	98	98	96	7	96	96	96	96
Venlafaxin	99	99	84	82	6	98	98	98	73
Zolpidem									
Medel	87	91	74	73	-1	91	92	87	71

Under desinfektionsförsöken hade ozoneringen en hög avskiljningsgrad, högre avskiljning med högre ozondos. Även aktiverat kol hade en relativt hög avskiljningsgrad men den hade sjunkit till 73 % eftersom kolet närmast sig sin tekniska livslängd. Inget prov togs på ultrafiltrerat avloppsvatten eftersom membranet inte avskiljer de i allmänhet lösta läkemedelsresterna som har mycket mindre diameter än filtrets porer. UV-enheten har en teoretisk möjlighet att med tillräcklig mängd UV-ljus bryta ned läkemedelsrester, men resultatet visar att ingen större avskiljning skedde, vilket förklaras med den allt för låga UV-dosen. Ett antal substanser minskade dock i koncentration över UV-enheten varav mest ibuprofen, karbamazepin, losartan och oxazepam.

Sammanfattningsvis visade desinfektionsförsöken på lovande resultat där god desinfektion är fullt möjlig för en rad mikrobiella indikatororganismer. Ozonering uppvisade bäst resultat och störst bredd att ta bort virus, bakterier, svampar och patogener. Ozon följdes av ultrafilter och därefter UV-ljus. Ett desinficerat avloppsvatten möjliggör återbruk och kan fungera bra för att skapa en periodvis uppdämd gäddfabrik vilken andra perioder också skulle fungera som betesmark!

### Option C Nya implementerbara tekniker

Dagens läkemedelsreningssteg består uteslutande av antingen ozonering eller aktiverat kol eller möjligen kombinationen ozonering och kol. Nya tekniker presenteras då och då men har inte riktigt kommit fram till implementeringsfasen. I samband med ansökningstillfället för projektet hade en leverantör (A) tillfrågats att, efter flera avstämningar under 2020 och 2021 bedyrat att enzymteknologin nu kommit fram till en mognad efter omfattande pilottester, värd att utvärderas i en till reningsverket anpassad pilotskala för därpå följande direkt fullskaleimplementering.

När pilotutrustningen med enzymssystem från Leverantör A skulle avropas kunde den ej levereras eftersom inget bäddmaterial kunde framställas på så kort tid som två månader. Projektet ombads vänta fyra månader på materialet. När nytt avrop gjordes efter denna tid kunde materialet eller utrustning inte heller denna gång levereras, utan företaget hade fokuserat om på andra projekt. Kontakt togs då med en leverantör B som avsåg snabbt försöka ta fram ett för försöken anpassat material baserat på sina tidigare erfarenheter. Dessvärre prioriterade inte heller leverantör B projektet efter initiala positiva utfästelser, utan hann inte med att leverera materialet innan projekttidens utgång.

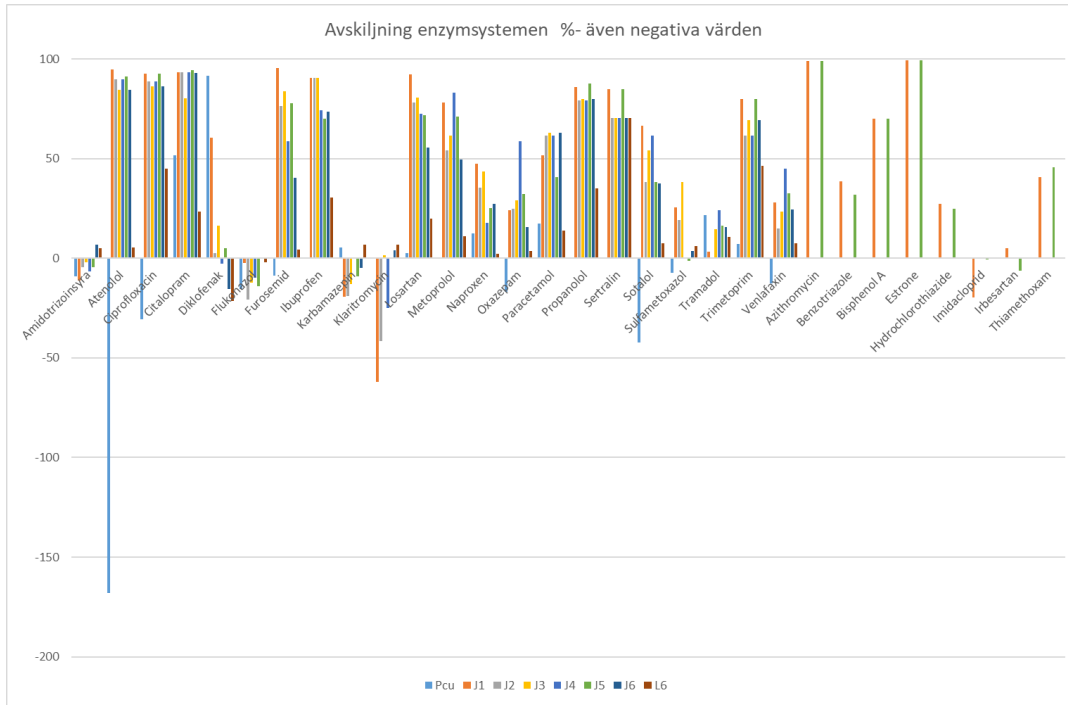
Under tiden med diskussionerna med leverantör B gjordes labförsök med ett tidigare försålt material från leverantör A som utlovats ha mer än 80% avskiljning för många läkemedelsrester för att försöka indikera om utfästelserna om funktionen varit korrekta.

Ytterligare en leverantör (C) tillfrågades akut när leverantör B inte kunde leverera. Leverantör C jobbade vid förfrågningsstillfället med utveckling och utvärdering av sina material och ansåg sig inte kommit tillräckligt långt för egentlig implementering, beroende på stor spridning i avskiljningsgrader. Leverantör C tillhandahöll ändå några lovande material som kunde köras omgående, innan projekttidens utgång.

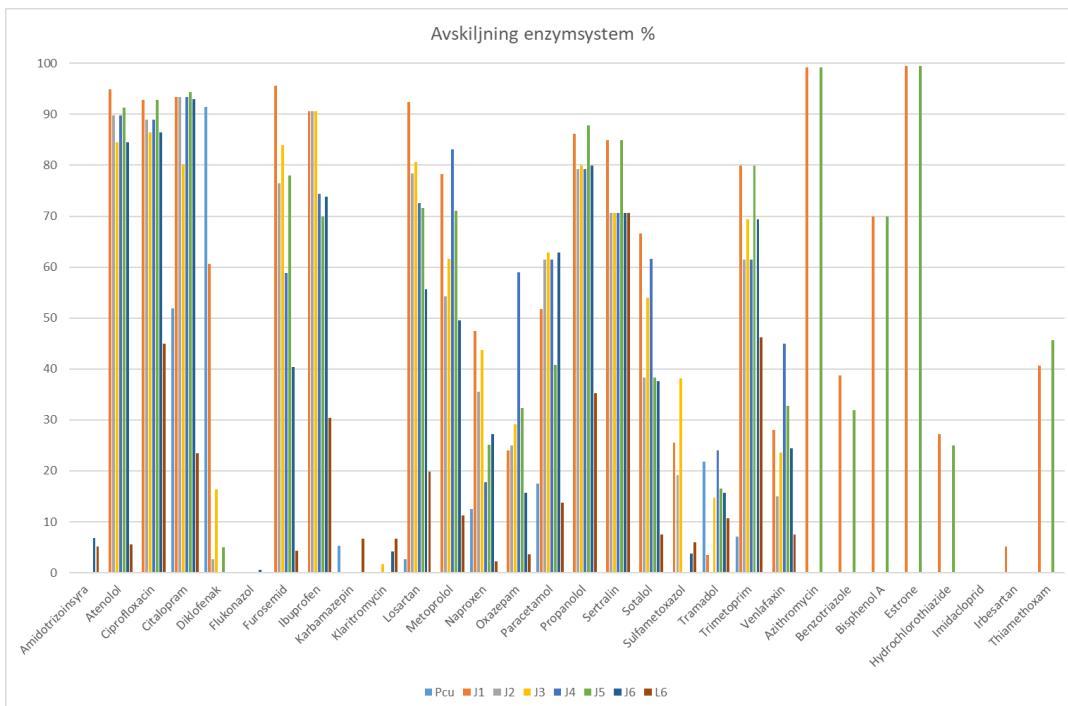
#### *Utvärdering av enzymmaterial P från leverantör A*

Filtrering av avloppsvatten genom enzymfiltret genomfördes under 15 minuter, med efterföljande 8 h uppehållstid för blandningen avloppsvatten och de enzymer som frisläppts under filtreringen. Proverna märks med materialet eller massans beteckning P.

Försöket gjordes vid ett tillfälle. Analyserna visar att den genomsnittliga avskiljningen av 40 analyserade ämnen var 1 % i genomsnitt med en spridning från -170 % för atenolol till +92% för diklofenak figur 45 och figur 46.



Figur 45 Alla avskiljningsgrader för enzymsystemen som studerades för Lindholmens reningsverk.

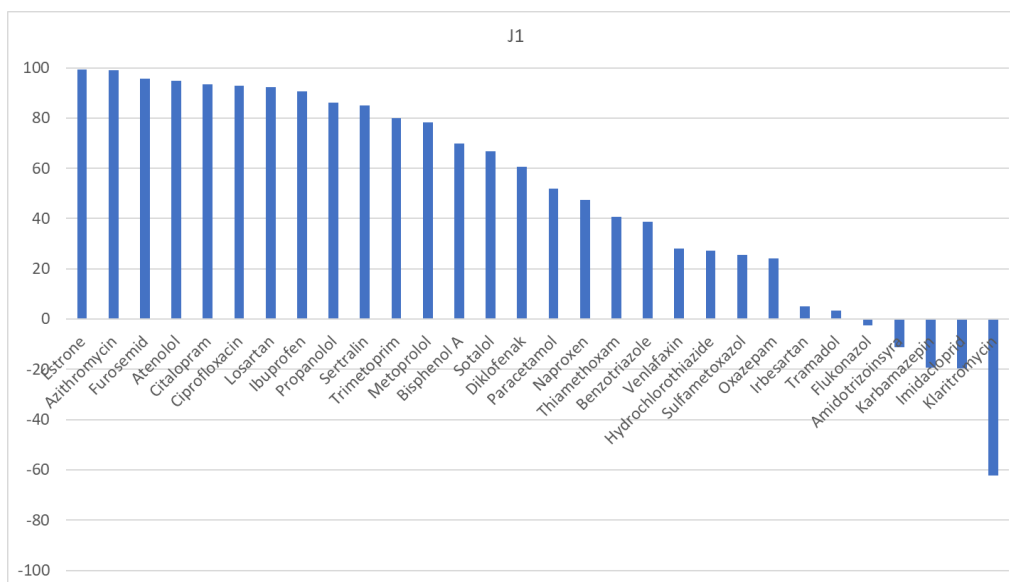


Figur 46 Positiva avskiljningsgrader för enzymsystemen som studerades för Lindholmens reningsverk.

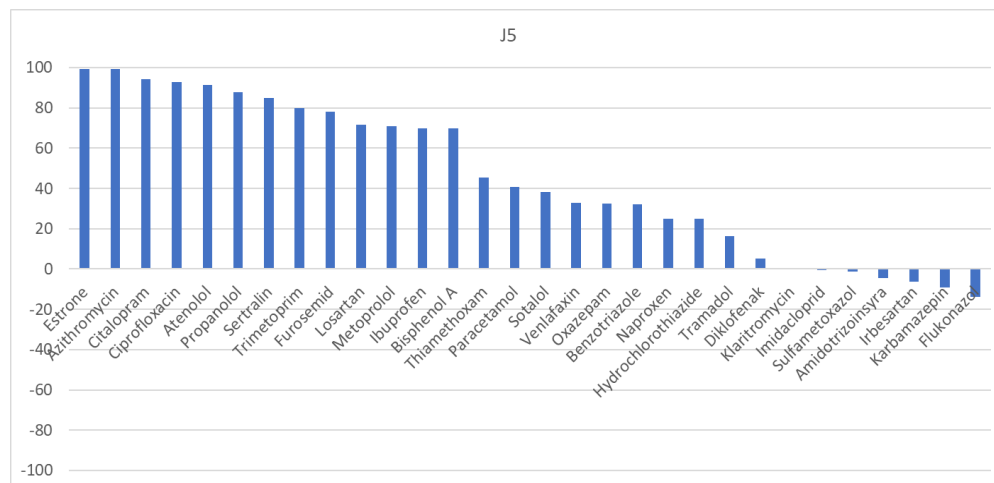
### Utvärdering av material från leverantör C

Pilotförsök med sju material, J1-J6+L6, byggde på kontinuerlig filtrering nedströms genom stationära enzymfilter. Försöken kördes semikontinuerlig från den 23 maj till den 19 augusti 2022 och den genomsnittliga uppehållstiden låg runt två timmar.

Genomsnittlig avskiljning av 30 analyserade ämnen 53 % för J1-J6 (48-63%), medan L6 inte fungerade så bra med genomsnittlig avskiljning av 35% med spridningen -55% (diklofenak) till +84% (ciprofloxacin). Fördelningen av avskiljningen för exempelvis material J1 och J5 visar på likheter, men också stor spridning, figur 47 och 48.



Figur 47 Avskiljningsgrader, %, i enzymfilter J1 för Lindholmens reningsverk



Figur 48 Avskiljningsgrader, %, i enzymfilter J5 för Lindholmens reningsverk

## Multikriterieanalys - processval

I syfte att utröna vilken läkemedelsreningsteknik som är den mest optimala lösningen för Lindholmens reningsverk har en multikriterieanalys genomförts.

Multikriterieanalysen baserades på utvalda och betydelsefulla parametrar för implementering och drift. Projektmedlemmarna i Lindholmens läkemedelsreningssprojekt kompletterade och värderade parametrarna och kriterierna samt genomförde multikriterieanalysen under ledning av Berndt Björleinius. Stort engagemang om parametrar och värderingar visades av gruppen som kom fram till en för Lindholmen passande matris med grupperade parametrar, tabell 31. Preliminära data från labförsöken var inarbetade i faktaunderlaget till varje parametrar. Kostnadsbedömningar var anpassade till Lindholmen, men baserades på nyligen genomgångna projekt i Sverige.

Tabell 31 Grupperade parametrar i multikriterieanalysen

Parameter	Viktning [%]
<b>Favorit av process sedan tidigare som funkar för organisationen (om relevant)</b>	<b>0,0%</b>
<b>Ytbehov</b>	<b>7,5%</b>
<b>Kostnader (6 parametrar uppdelade och värderade var för sig)</b>	<b>51,5%</b>
<b>Reningsgrad och biprodukter ( 6 parametrar uppdelade och värderade var för sig)</b>	<b>15,0%</b>
<b>Klimatpåverkan</b>	<b>5,0%</b>
<b>Elenergi</b>	<b>5,0%</b>
<b>Personalrelaterat - ( 3 parametrar uppdelade och värderade var för sig)</b>	<b>15,0%</b>
<b>Referenser, antal</b>	<b>1,0%</b>
<b>Summa</b>	<b>100,0%</b>

De tekniker som jämfördes var teknik var ozonering med sandfilter, granulerat aktiverat kol och pulveriserat aktiverat kol (PAC) med sandfilter. Förbehandling före läkemedelsreningen förutsattes vara lika för alla alternativ och planeras att ingå som avslutande partikelavskiljningssteg i Lindholmens reningsverk för att klara tuffa utsläppskrav på fosfor. Bedömningen gjordes i en 5 gradig skala som relaterades till vad jämförande teknik: Mycket bättre +2, Bättre +1, Lika 0, Sämre -1, Mycket sämre -2.

Resultatet av multikriterieanalysen blev att granulerat aktiverat kol, GAC, bedömdes som mest relevant för implementering som läkemedelsreningsssteg vid Lindholmens reningsverk. Skillnaden mot ozonering var dock marginell, men GAC föll ut som något mer lämplig än ozonering (referensalternativet), som i sin tur föll bättre ut än PAC. De relativa och viktade bedömningssiffrorna var GAC 0,1; ozonering 0,0; PAC -0,4. Utfallet var något oväntat och berodde på bl a höga poäng för arbetsrelaterade frågor och energibehov vid drift.

NVVA:s medarbetare sammanfattade, efter en kontemplationstid efter multikriterieanalysen, ställningstagandet för GAC som, "Ozon är/känns onaturligt men är utvecklingsbart, risk för osäkra biprodukter, stor elkonsumtion, risker i arbetsmiljön. GAC känns säkrare och det borde kunna bli mindre miljöpåverkan med tiden då det finns stora möjligheter att i framtiden kunna korta transporter, byta råämne, hitta återanvändningsområden, återvinna värme och el vid förbränning. GAC är också okänsligare för störningar och är därmed säkrare och ger dessutom bättre rening så länge kolet byts vid behov."

Utvecklingen i världen sedan multikriterieanalysen gjordes i början av mars 2022 har visat på en hög inflation och kraftigt stigande priser på el och speciellt granulerat kol, vilket det senare stigit med 75% under året. Det fortsatta kriget i Ukraina med sanktioner mm gör det framtida kostnadsläget mycket osäkert. En grov känslighetsanalys gjord i september 2022 med justerade poäng för drift- och totalkostnader för GAC och PAC visar att utfallet av multikriterieanalysen skulle blivit annorlunda i dagsläget (september 2022), nämligen att ozonering hade varit mest fördelaktigt, följt av GAC och sist PAC, med indikativa siffrorna 0; -0,2; -0,5.

I principförslaget för Lindholmens läkemedelsreningssteg redovisas ändå en anläggning för GAC eftersom beslutet togs under delvis andra förutsättningar än idag och en omarbetning i projektets rapporteringsläge inte inryms av tids- och kostnadsskäl. En översiktlig dimensionering för Lindholmens reningsverk redovisades dock för huvudalternativen GAC respektive ozonering i juni 2021 av B<sup>2</sup> Processteknik, innan NVAA beviljades medel för föreliggande förstudie som nu avrapporteras med bl a dessa pilotförsök.

## Designparametrar för läkemedelsreningssteget baserat på pilotförsöken

Multikriterieanalysen för ett framtida läkemedelsreningssteg på Lindholmens reningsverk visade att rening med aktiverat granulerat kol är det mest fördelaktiga för anläggningen sett till helheten. Dimensionerande värden och designparametrar för har framför allt tagits fram baserat på pilotförsöken men även interna och externa erfarenheter har inarbetats, tabell 32.

Anläggningen skall dimensioneras för att klara en anslutning av 50 000 pe och med den genomsnittliga avskiljningsgraden beräknad för vart och ett av läkemedelssubstanserna.

Tabell 32 Dimensioneringsunderlag för läkemedelsreningen på Lindholmen

Dimensioneringsunderlag	Värde	Enhet
Flöde, $q_{\max}=2 q_{\dim}$	1800	$\text{m}^3/\text{h}$
TOC	12,5	$\text{g}/\text{m}^3$
DOC	10,9	$\text{g}/\text{m}^3$
Summan av 30 läkemedelsrester i dagens utgående	12500	$\text{ng}/\text{L}$
Ozondos	7	$\text{gO}_3/\text{m}^3$
Ozondos	0,73	$\text{gO}_3/\text{mg DOC}$
Uppehållstid, UHT Ozonkontakttank $q_{\dim}$ ( $q_{\max}$ )	30 (15)	minuter
Vattendjup ozon	5	m
Ytbelastning GAC,, $q_{\dim}$	3	$\text{m}/\text{h}$
Kolfilteryta	300	$\text{m}^2$
Bäddhöjd, GAC	1,25	m
Uppehållstid, kolfilter $q_{\dim}$ ( $q_{\max}$ )	25 (12,5)	minuter
Backspoltid, kolfilter	15	minuter
Backspolhastighet, kolfilter	13	$\text{m}/\text{h}$
Spolvattenbassäng, volym	130	$\text{m}^3$
Spolavvattenbassäng, volym	120	$\text{m}^3$
Lagringsvolym material till ett filter, $\text{m}^3$	50	$\text{m}^3$

## Slutsatser av pilotförsöken

Dagens utgående avloppsvatten från Lindholmens reningsverk har normala tidvis något höga TOC-halter för en anläggning utan avslutande sandfilter, vilket något påverkar resursförbrukningen för ett avslutande läkemedelsreningssteg. Med lägre TOC-halter minskar den onödiga förbrukning av ozon eller aktiverat kol. Försöken kördes i huvudsak under perioder med TOC-halter i utgående avloppsvatten, ca 9–14 mg C/l.

Pilotanläggningen fungerade bra under försöken och resultaten bedöms som relevanta som underlag för en dimensionering av en fullskalanläggning. Valet av teknik för läkemedelsreningen vid Lindholmens reningsverk görs av projektgruppen och baseras på reningsresultat, resultat från fiskexponeringen, utformning, drift inklusive logistik, arbetsmiljö, miljöpåverkan och ekonomi.

Medskicket till projektgruppen från dessa pilotförsök är att filtrering genom granulerat aktiverat kol (GAC) eller ozonering följt av sandfilter visat sig vara de mest lovande teknikerna för läkemedelsreningen vid Lindholmens reningsverk, både med möjlighet att nå 80-90% genomsnittlig avskiljning av de 30 studerade läkemedelssubstanserna.

Granulerat aktiverat kol gav den högsta avskiljningen av läkemedelsrester, mellan 80-90% av de för studien utvalda 30 läkemedelsresterna. Pilotförsökens längd anpassades så att den specifika kolförbrukningen för minst 80% avskiljning av utvalda läkemedelsrester skulle kunna bestämmas. Kolförbrukningen blev 30 g/m<sup>3</sup> för 80% avskiljning. Parallella försök i labbskala visade att i stor sett samma kolförbrukning.

Ozonering i kombination med sandfilter gav den näst högsta avskiljningen av läkemedelsrester, över 80% av de för studien utvalda 30 läkemedelsresterna med en ozondos av 6,5–7 g O<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> eller motsvarande 0,67–0,73 g O<sub>3</sub>/g DOC.

PAC-försöken visade relativt stor variation i avskiljningsgrad mellan veckorna beroende på de varierade PAC-doserna som användes för att hitta dos/responsvärden för PAC. Medelavskiljningen av läkemedelsrester var 81% vid PAC-dosen 27 g/m<sup>3</sup> och 90% vid PAC-dosen 33 g/m<sup>3</sup>. Relativt höga läkemedelskoncentrationer och TOC i utgående avloppsvatten från Lindholmens, upp till fem gånger jämfört med Henriksdals reningsverk, kan ha bidragit till ett relativt högt PAC-behov.

MBBR-steget installerat för i första hand nitrifikation drevs mestadels med kort uppehållstid, ca 2 h, men upp till 8 h under vissa perioder, för avloppsvattnet. Uppföljningen med läkemedelsanalyser var begränsad till tre veckoprover. Detta räcker endast till att semi-kvantitativt bedöma att MBBR-steget med nuvarande inställningar inte har tillräcklig kapacitet som läkemedelsreningssteg utan den genomsnittliga avskiljningen var 2-17%, beroende på antalet studerad läkemedelsrester.



## Tack

Ett stort tack till NVAA:s Jennie Åberg, Emma Gunnerblad, Rickard Grähs, Janne Osbäck, och Anderas Hollstein för hjälp, assistens och trevligt sällskap under försökskörningarna på Lindholmens reningsverk och våra projektmöten i anslutning arbetet.

Tack också till Stefan Örn och Gunnar Carlsson på SLU för trevligt samarbete och sällskap på Lindholmen samt Anders Ullman, Treatcon AB för trevliga och intressanta diskussioner under projekttiden.

Hägersten den 30 oktober 2022



Berndt Björlenius  
B<sup>2</sup> Processteknik

## Bilagor

### Bilaga 1 Sammanställning av läkemedelsanalyser - UTG Lindholmens ARV

Provets märkning	LUV48	LUV49	LUV4	LUV50	L OS 0 17/12	L OS 14/10	L OS 8/11	L UTG V44	L UTG, V39	L UTG 10/2	L UTG 1/3	Lindh Utg 15/6	LH Utg	Utg LH Aug	Utg LH Juli	Utg LH Maj	UTG LH April	Läk utg	Läk Utg		
Ämne	µg/l	V48-2021	V49-2021	V04-2022	V50-2021	2021-12-17	2021-10-14	2021-11-08	V44-2021	V39-2022	2022-02-10	2022-03-01	2022-06-17	2022-08-17	aug-21	jul-21	maj-21	2022-06-16	2021-12-06	2021-11-01	Medel
Atenolol	0,39	0,4	0,47	0,45	0,48	0,3	0,36	0,31	0,4	0,4	0,26	0,31	0,19	0,24	0,29	0,2	0,34	0,46	0,37	0,35	
Ciprofloxacin	0,033	0,018	0,069	0,022	0,17	0,015	0,043	0,012	0,012	0,043	0,044	0,027	0,026	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,12	0,06	0,05	
Citalopram	0,33	0,33	0,26	0,28	0,28	<0,01	0,29	<0,01	0,023	0,18	0,15	0,25	0,21	0,23	0,26	0,13	0,17	0,39	0,33	0,24	
Clopidol	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,005	0,005	0,04	
Crotamiton	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,005	0,005	0,04	
Diklofenak	0,4	0,21	0,65	0,13	0,31	0,053	0,44	0,72	1,3	0,39	0,33	0,5	0,43	0,61	0,74	0,39	0,86	0,68	0,56	0,51	
Erytromycin	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,12	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,005	0,02	0,05	
Flukonazol	0,18	0,27	0,18	0,2	0,19	0,11	0,15	0,027	0,051	0,12	0,059	0,17	0,1	0,1	0,1	<0,1	<0,1	0,19	0,14	0,13	
Furosemid	0,12	<0,03	3,4	<0,03	3,1	<0,03	2,9	3,1	2,9	0,41	0,85	1,6	2	0,7	1	0,37	1	3,9	3,2	1,91	
Ibuprofen	0,054	0,28	1	0,096	0,18	0,23	0,54	0,44	0,22	0,17	0,11	0,18	0,034	0,32	<0,3	1,2	0,32	0,2	0,36	0,32	
Karbamazepin	0,53	0,48	0,44	0,37	0,43	<0,01	0,7	0,019	0,17	0,24	0,2	0,46	0,4	0,35	0,5	0,15	0,36	0,55	0,44	0,38	
Ketoconazol	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,015	0,02	0,014	-	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,002	0,03	0,03	
Klaritromycin	0,076	0,2	0,16	0,061	0,075	<0,01	0,043	0,072	0,15	0,074	<0,01	<0,01	0,039	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,11	0,05	0,08	
Losartan	2	0,13	3,1	0,083	2,3	0,88	2,3	2,5	2	1,7	1,2	1,2	0,79	0,9	1,4	0,61	1,5	2,8	2,5	1,57	
Metoprolol	2,9	2,6	2,5	2	2,6	0,34	2	0,051	0,35	1,4	0,98	2	1,5	1,6	2,3	0,76	1,6	2,1	2,1	1,67	
Metotrexat	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,005	0,005	0,04	
Naproxen	<0,03	0,13	1,8	0,18	0,58	0,11	0,46	0,22	0,036	0,83	0,75	0,31	0,19	0,45	0,43	1,3	0,68	0,39	0,36	0,51	
Oxazepam	0,57	0,56	0,57	0,45	0,53	0,51	0,45	0,47	0,59	0,34	0,3	0,34	0,42	0,27	0,33	0,12	0,26	0,58	0,62	0,44	
Paracetamol	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,044	<0,01	<0,1	<0,1	0,11	<0,1	0,005	0,005	0,04	
Primidon	0,099	0,08	0,035	0,045	0,043	0,069	0,12	0,095	0,079	0,019	0,019	0,031	0,059	0,11	<0,1	<0,1	<0,1	0,073	0,12	0,07	
Propranolol	0,14	0,11	0,11	0,065	0,11	<0,01	0,097	<0,01	<0,01	0,065	0,051	0,076	0,063	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,16	0,11	0,08	
Sertralín	0,1	0,087	0,098	0,07	0,099	0,044	0,099	0,1	0,085	0,066	0,097	0,083	0,035	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,07	0,05	0,07	
Sotalol	0,04	0,073	0,032	0,038	0,039	<0,01	0,023	<0,01	0,047	0,025	0,022	0,026	0,019	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,043	0,03	0,04	
Sulfadiazin	<0,1	-	<0,1	<1	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,05	0,05	0,05	
Sulfametoxazol	0,55	0,19	0,36	0,19	0,14	0,019	0,43	0,27	0,37	0,51	0,25	0,33	0,18	0,22	0,22	<0,1	0,24	0,48	0,22	0,27	
Tramadol	0,52	0,37	0,43	0,41	0,46	<0,01	0,31	0,041	0,1	0,31	0,39	0,6	0,66	0,33	0,59	0,17	0,37	0,53	0,45	0,39	
Trimetoprim	0,18	0,13	0,17	0,17	0,22	<0,01	0,14	<0,01	0,01	0,27	0,14	0,15	0,067	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	0,07	0,12	
Venlafaxin	0,77	0,77	0,72	0,51	0,61	0,021	0,61	0,1	0,22	0,39	0,33	0,57	0,52	0,47	0,68	0,24	0,43	0,9	0,71	0,50	
Zolpidem	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,005	0,005	0,04	



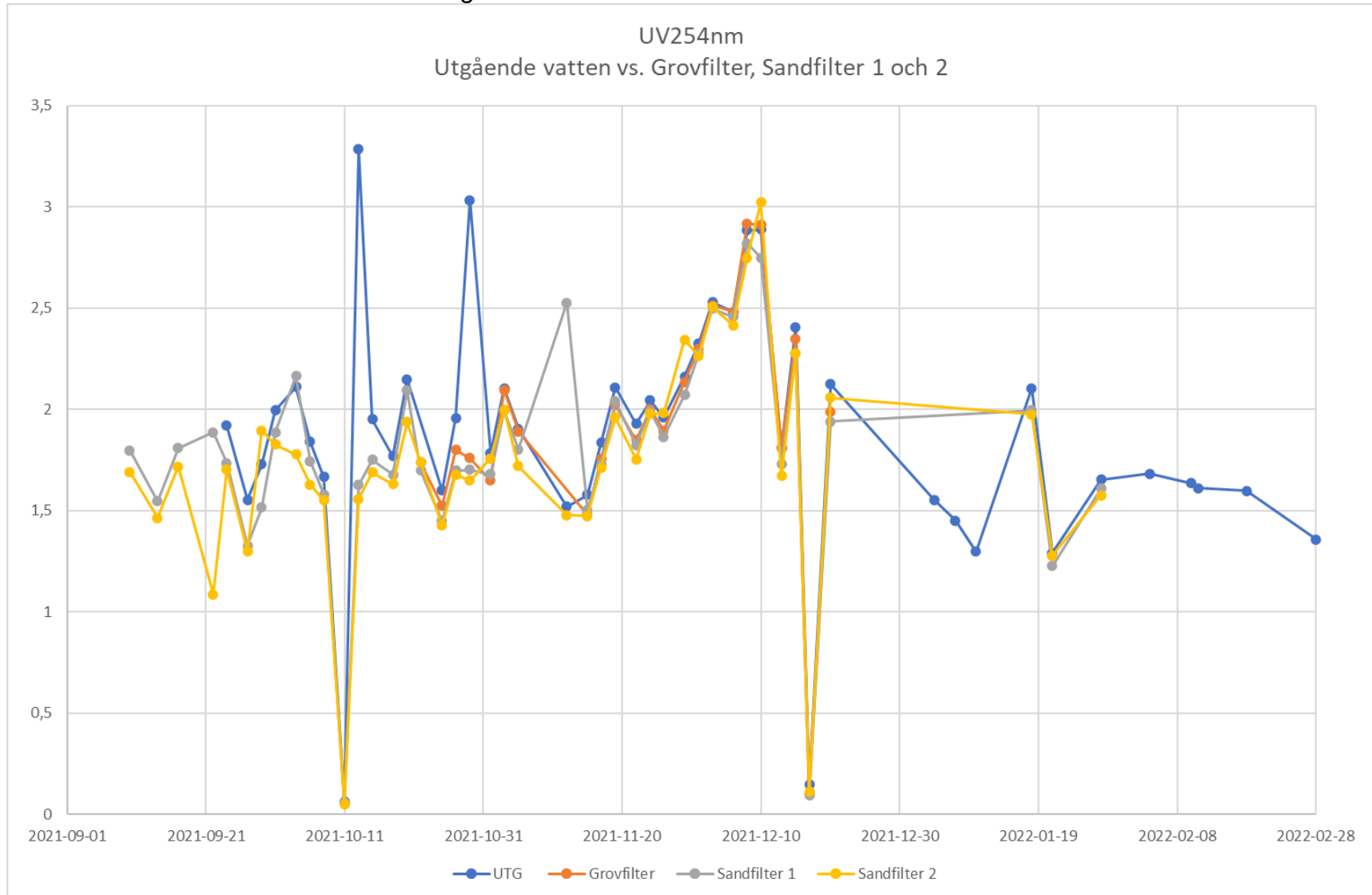


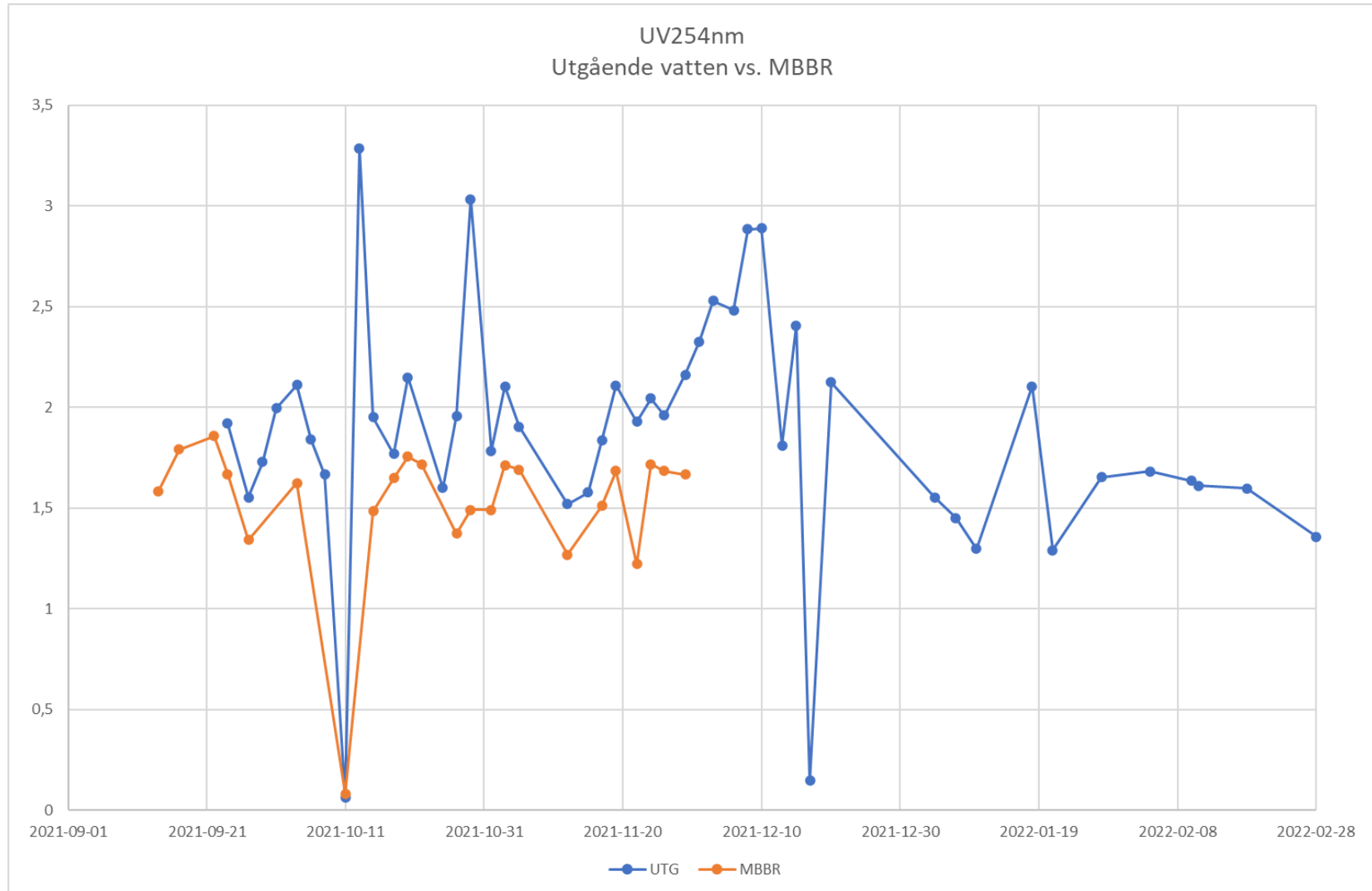
## Bilaga 4 Sammanställning av läkemedelsanalyser - GAC Lindholmens ARV

Provets märkning	L GAC V39	L GAC V42	L GAC V44	L GAC V47	L G1 V49	L G1 V50	L G1 V50	L G1 V4	GAC V9 1/3	
Ämne $\mu\text{g/l}$	V39-2021	V42-2022	V44-2021	V47-2021	V49-2021	V50-2021	V50-2021	V04-2022	V09-2022	Medel
Amidotrizoinsyra	1,8		3,2		1	6,9		1,4	0,79	2,52
Atenolol	0,01	0,0001	0,062	0,45	<0,01	0,077	0,0001	0,022	0,031	0,07
Ciprofloxacin	0,023	0,001	0,017	0,022	<0,02	<0,01	0,001	<0,03	0,014	0,01
Citalopram	0,25	0,001	0,24	0,28	<0,01	0,017	0,007	<0,01	<0,01	0,09
Clopidol	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	0,01
Crotamiton	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	0,01
Diklofenak	0,063	0,002	0,1	0,13	<0,01	0,16	0,016	0,12	0,1	0,08
Erytromycin	<0,01	0,0004	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,0004	<0,01	<0,01	0,004
Flukonazol	0,11	0,016	0,15	0,2	0,01	0,066	0,045	0,04	0,021	0,07
Furosemid	<0,03	0,002	0,68	<0,03	<0,03	<0,03	0,002	0,64	0,23	0,18
Ibuprofen	0,056	0,050	0,19	0,096	0,066	0,049	0,050	0,32	0,082	0,11
Karbamazepin	0,13	0,032	0,41	0,37	0,012	0,068	0,045	0,044	0,036	0,13
Ketoconazol	<0,1	0,001	<0,01	<0,1	<0,1	<0,01	0,001	<0,01	<0,02	0,02
Klaritromycin	0,012	0,0004	0,011	0,061	<0,01	<0,01	0,002	0,019	<0,01	0,01
Losartan	0,33	0,0001	0,46	0,083	<0,01	0,025	0,001	0,86	0,49	0,25
Metoprolol	1,8	0,013	1,3	2	0,029	0,2	0,016	0,12	0,1	0,62
Metotrexat	<0,01	0,001	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,001	<0,01	<0,01	0,004
Naproxen	<0,03	0,010	0,12	0,18	0,03	<0,03	0,030	0,29	0,2	0,10
Oxazepam	0,044	0,018	0,14	0,45	0,016	0,1	0,033	0,075	0,068	0,10
Paracetamol	<0,1	0,103	0,078	<0,01	<0,01	<0,01	0,0003	<0,02	<0,01	0,03
Primidon	0,053	<0,01	0,15	0,045	<0,01	0,031	0,000	0,02	0,012	0,04
Propanolol	0,062	0,002	0,048	0,065	<0,01	<0,01	0,001	<0,01	<0,01	0,02
Sertralin	<0,01	0,001	<0,01	0,07	<0,01	<0,01	0,001	<0,01	<0,01	0,01
Sotalol	<0,01	<0,01	<0,01	0,038	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Sulfadiazin	<0,1	<0,1	<0,1	<1	-	<0,01	<0,02	<0,1	-	0,10
Sulfametoxazol	0,15	0,017	0,64	0,19	0,017	0,084	0,097	0,16	0,17	0,17
Tramadol	0,4	0,003	0,44	0,41	<0,01	0,085	0,048	0,028	0,039	0,16
Trimetoprim	0,037	0,001	0,13	0,17	<0,01	0,01	0,005	<0,01	<0,01	0,04
Venlafaxin	0,62	0,011	0,48	0,51	0,023	0,16	0,097	0,084	0,06	0,23
Zolpidem	<0,01	0,0003	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,0003	<0,01	<0,01	0,004

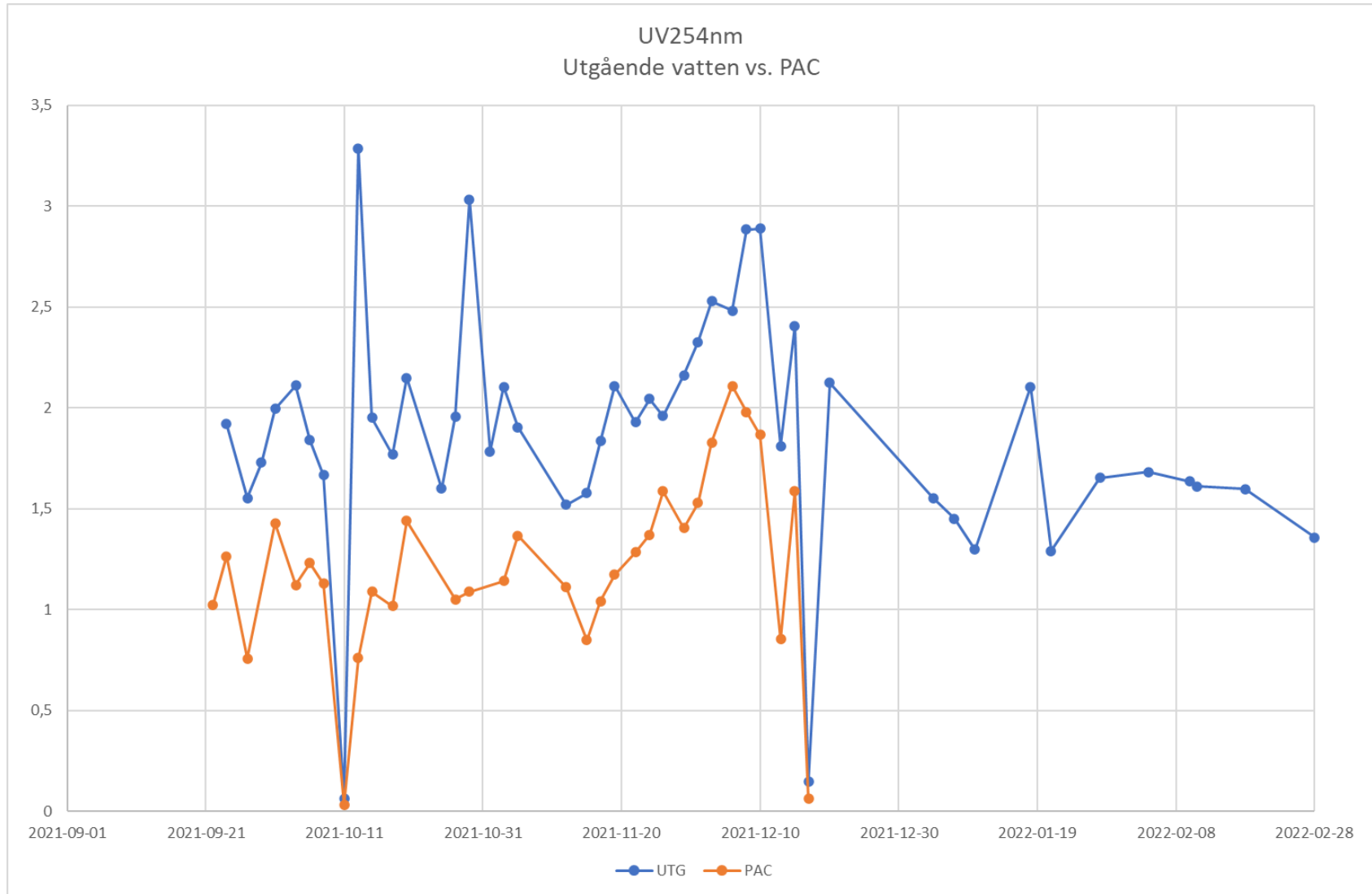
## Bilaga 5 Sammanställning av läkemedelsanalyser - MBBR Lindholmens ARV

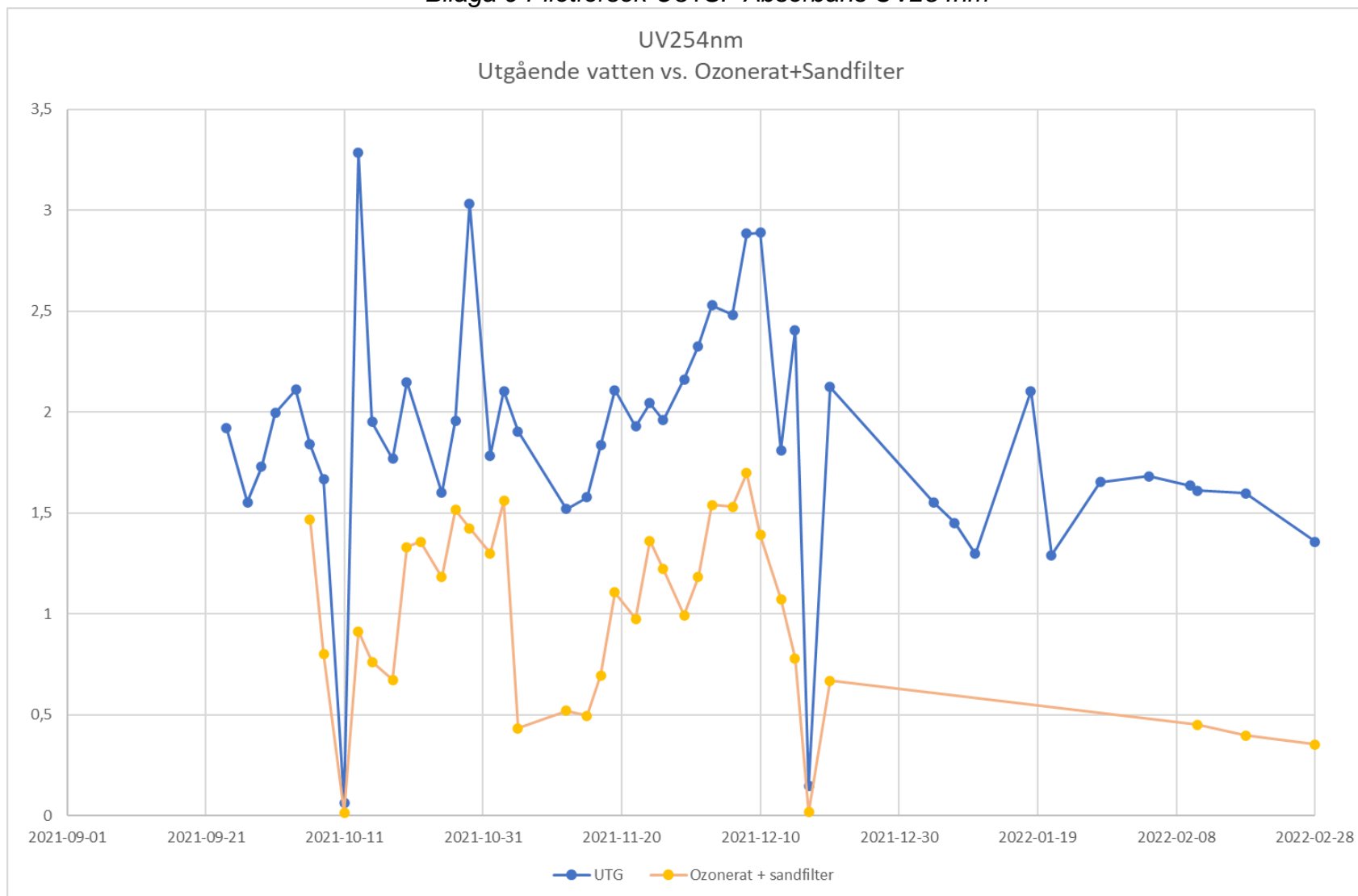
Provets märkning	L MB V39	L MB V42	L MB V44	L MB V47	L MB V48	
Ämne $\mu\text{g/l}$	V39-2021	V42-2022	V44-2021	V47-2021	V48-2021	Medel
Amidotrizoinsyra	2,7		3,2		0,83	2,24
Atenolol	0,22	0,020	0,28	0,000	0,29	0,16
Ciprofloxacin	0,033	0,001	0,016	0,001	<0,03	0,01
Citalopram	0,34	0,089	0,017	0,180	0,32	0,19
Clopidol	<0,01		<0,01		<0,01	<0,01
Crotamiton	<0,01		<0,01		<0,01	<0,01
Diklofenak	0,53	0,046	1,2	0,227	0,094	0,42
Erytromycin	<0,01	0,031	<0,01	0,013	<0,01	0,01
Flukonazol	0,12	0,084	0,057	0,116	0,18	0,11
Furosemid	<0,03	0,002	3,3	0,002	<0,03	0,67
Ibuprofen	0,15	0,050	0,16	0,050	0,16	0,11
Karbamazepin	0,76	0,459	0,16	0,327	0,48	0,44
Ketoconazol	<0,01	0,001	0,012	0,001	<0,1	0,01
Klaritromycin	0,19	0,032	0,058	0,023	0,11	0,08
Losartan	1,6	0,021	2,3	0,003	0,21	0,83
Metoprolol	2,3	0,416	0,26	0,035	2	1,00
Metotrexat	<0,01	0,001	<0,01	0,001	<0,01	0,003
Naproxen	<0,03	0,010	0,053	0,010	0,17	0,05
Oxazepam	0,52	0,176	0,52	0,234	0,54	0,40
Paracetamol	<0,01	0,152	<0,01	0,093	<0,01	0,05
Primidon	0,15		0,066		0,071	0,10
Propanolol	0,11	0,021	<0,01	0,007	0,081	0,04
Sertralin	0,015	0,001	0,047	0,001	0,097	0,03
Sotalol	<0,05		0,027		0,067	0,04
Sulfadiazin	<0,1		<0,1		-	0,05
Sulfametoxazol	0,44	0,203	0,31	0,273	0,35	0,32
Tramadol	0,38	0,125	0,084	0,228	0,56	0,28
Trimetoprim	0,11	0,007	<0,01	0,011	0,15	0,06
Venlafaxin	0,74	0,277	0,21	0,518	0,9	0,53
Zolpidem	<0,01	0,0003	<0,01	0,0003	<0,01	0,003

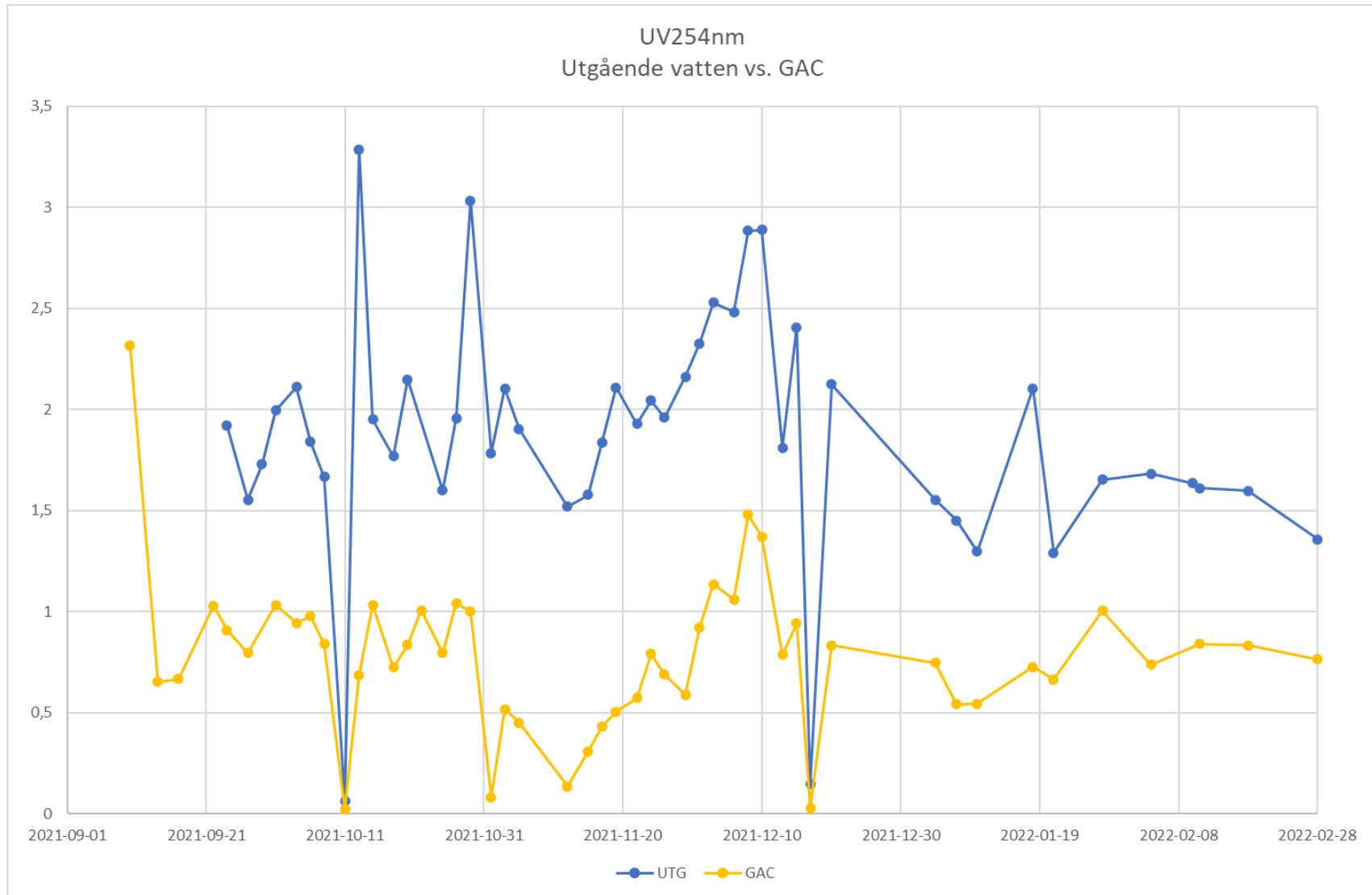
*Bilaga 6 Pilotförsök Förfilter Absorbans UV254nm*

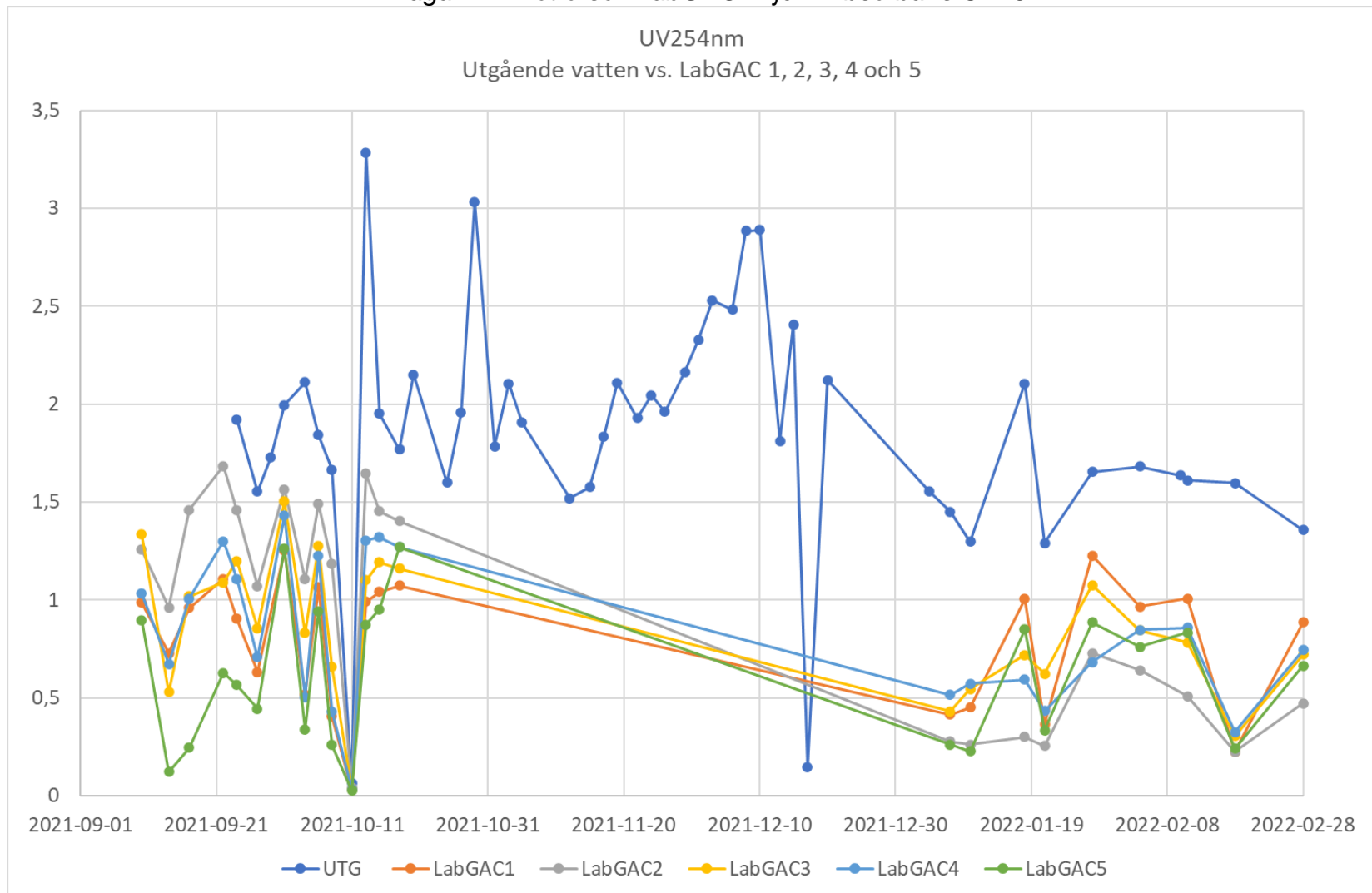
*Bilaga 7 Pilotförsök MBBR Absorbans UV254nm*

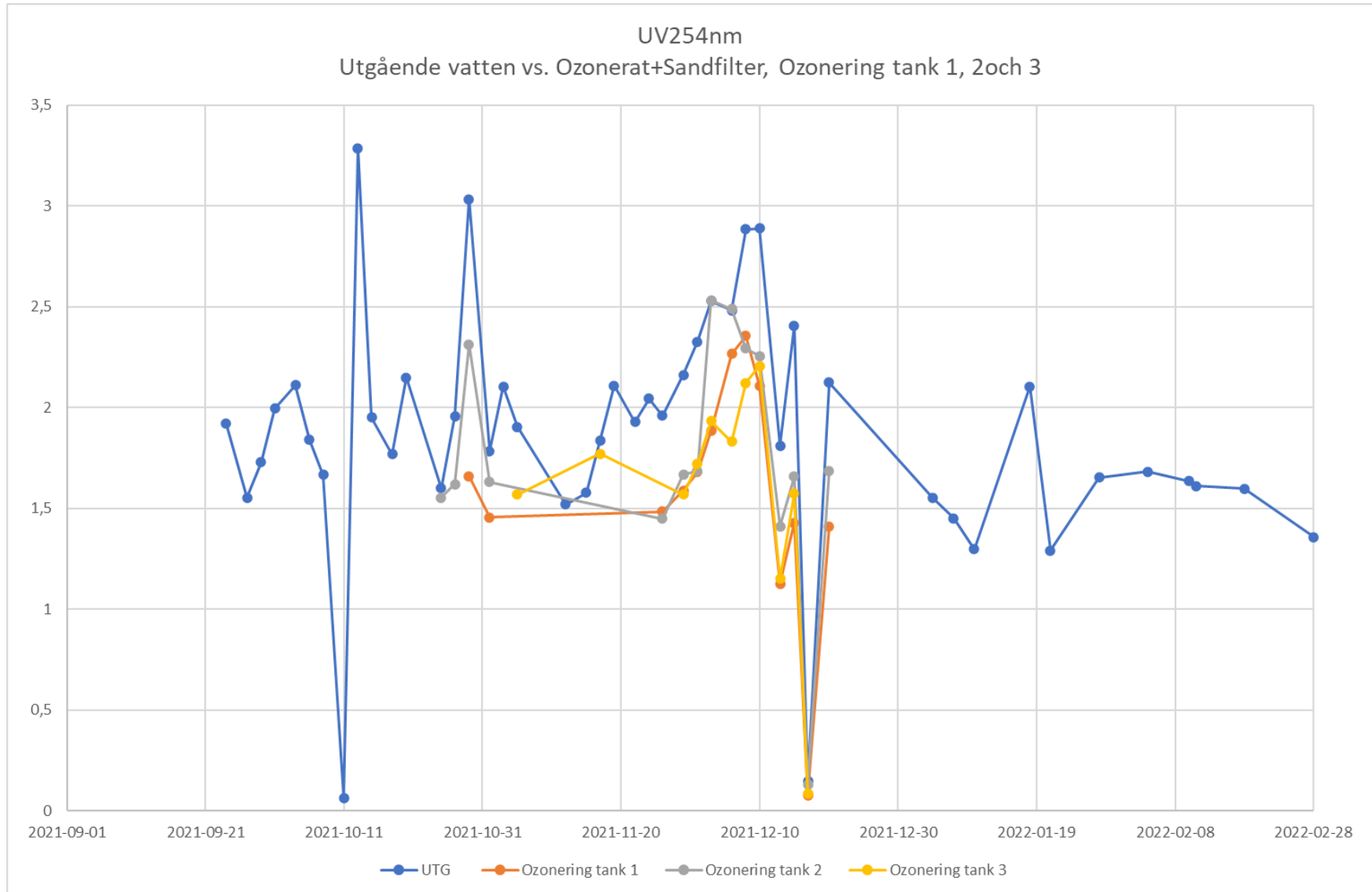


*Bilaga 9 Pilotförsök PAC Absorbans UV254nm*

*Bilaga 9 Pilotförsök O3+SF Absorbans UV254nm*

*Bilaga 10 Pilotförsök GAC Absorbans UV254nm*

*Bilaga 11 Pilotförsök LabGAC-linjer Absorbans UV254nm*

*Bilaga 12 Pilotförsök O3 + Uppehållsvolymer U0-U3 Absorbans UV254nm*

*Bilaga 13 Jämförelse av analysresultat från Miljö och Media på Kivik AB med SGS Eurofins, Kivik och SGS - på samma prover – halter ng/l*

Substans ng/l	SGS	Kivik	Eurofins	SGS	Kivik	Eurofins	SGS	Kivik	Eurofins	SGS	Kivik	Eurofins	SGS	Kivik	Eurofins
	UTG	UTG	UTG	LH O3 1,7	LH O3 1,7	LH O3 1,7	LH O3 3,5	LH O3 3,5	LH O3 3,5	LH O3 9 g/m <sup>3</sup>	LH O3 9 g/m <sup>3</sup>	LH O3 9 g/m <sup>3</sup>	LH O3 12,3	LH O3 12,3	LH O3 12,3
Amidotrizoinsyra	12000		6200	13000		8000	11000		2900	9500,0		6000	7400		3700
Atenolol	480	328	240	440	267	220	280	<0,1	<5	<10	<0,1	<5	<10	<0,1	<5
Azithromycin		116			49	150		<0,17	83		<0,17	<10		<0,17	<10
Benzotriazole		2175	1300		2088	1100		758	450		102,3	110		24,1	<40
Ciprofloxacin	170	73	180	170	43	150	<30	<0,83	<50	<10	<0,83	<50	<10	<0,83	<5
Citalopram	280	309	330	280	234	280	98	38,5	41,0	<10	3,9	<10	<10	<0,17	<10
Clopidol	<10		<10	<10		<10	<10		<10	<10		<10	<10		<10
Crotamiton	<10		<10	<10		<10	<10		<10	<10		<10	<10		<10
Diklofenak	310	874	600	340	534	390	<10	<0,17	<5	<10	<0,17	<5	<10	<0,17	<5
Erytromycin	<10	10	<250	<100	6	<250	<10	<0,17	<250	<10	<0,17	<250	<10	<0,17	<250
Estradiol (E2)		<0,017	<5		<0,1	<5		<0,017	<5		<0,1	<5		<0,1	<5
Estrone		1,5	<5		1	<5		<0,017	<5		<0,1	<5		<0,1	<5
Etinyestardiol (EE2)		<0,83	<1		<0,1	<1		<0,017	<1		<0,1	<1		<0,1	<1
Flukonazol	190	148	160	200	134	150	180	101	120	64	40,0	56	42,0	22,4	39
Furosemid	3100	1823	4400	920	550	4600	<30	<1,7	2200	<30	<1,7	1000	<30	<1,7	440
Hydrochlorothiazide		32	1400		27	1500		<0,083	<50		<0,083	<50		<0,083	<5
Ibuprofen	180	209	<100	130	<17	<100	79	<17	<50	<30	<17	<50	<30	<17	<5
Irbesartan		254	300		198	250		<2	<10		8,9	20		2,8	<10
Karbamazepin	430	391	370	280	269	280	<10	<0,17	<5	<10	<0,17	<5	<10	<0,083	<5
Ketoconazol	<100	<5	<10	<100	<0,83	<10	<10	<0,83	<10	<10	<0,83	<10	<10	<0,83	<10
Klaritromycin	75	50	55	38	23	29	<10	<0,17	<10	<10	<0,17	<10	<10	<0,17	<10
Losartan	2300	1394	2100	1600	1010	1400	<10	2,0	<5	<10	0,9	<5	<10	0,2	<5
Metoprolol	2600	1854	1900	1800	1511	1700	1200	110	130	<10	2,8	<5	<10	0,2	<5
Metotrexat	<10	<0,83	<10	<100	<0,83	<10	<10	<0,83	<10	<10	<0,83	<10	<10	<0,83	<10
Naproxen	580	397	360	370	255	280	<30	<1,7	<10	<30	<1,7	<10	<30	<1,7	<10
Oxazepam	530	319	360	500	274	290	310	21,6	40	56,0	24,1	50	19,0	8,2	20,0
Paracetamol	<10	132	<40	<20	158	<20	<30	147	<20	<10	50,8	<20	<10		<20
Primidon	43		44	50		43	<30		22	<10		9,0	<10		<5
Propranolol	110	62,4	130	50	40	92	<10	<0,017	<10	<10	0,3	<10	<10	<0,017	<10
Sertralin	99	38,9	130	34	12	48	20	<0,083	<5	<10	<0,083	<5	<10	<0,083	<5
Sotalol	39		28	34		35	<10		<10	<10		<10	<10		<10
Sulfadiazin	<1000		<10	<1000		<10	<10		<10	<10		<10	<10		<10
Sulfametoxazol	140	135	<10	<100	73	<10	<10	11,8	<10	<10	1,1	<10	<10	1,6	<10
Tramadol	460	322	380	310	259	350	190	74,5	92	<10	<2	<5	<10	<2	<5
Trimetoprim	220	181	200	150	137	150	<10	<0,17	<1	<10	<0,17	<1	<10	<0,17	<1
Venlafaxin	610	600	540	500	481	460	270	67,9	55	<10	1,2	<5	<10	<0,17	<5
Zolpidem	<10	2,3	<10	<100	<0,017	<10	<10	<0,017	<10	<10	<0,017	<10	<10	<0,017	<10
Medel	1134	453	944	1009	345	914	1363	133	558	3207	21	1035	2487	9	1050
Summa	24946	12232	21707	21196	8633	21947	13627	1332	6133	9620	236	7245	7461	60	4199

*Bilaga 14 Jämförelse av analysresultat från Miljö och Media på Kivik AB med SGS Eurofins, Kivik och SG*  
*- på samma prover – relativa halter, %*

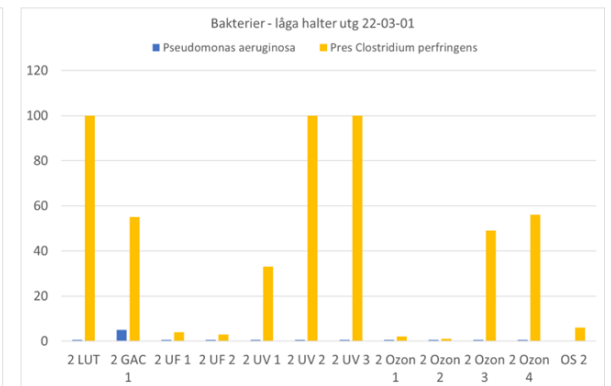
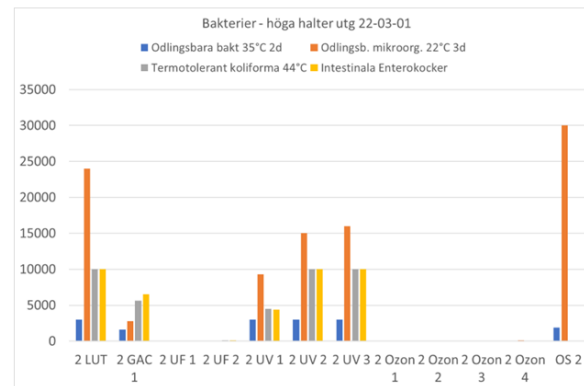
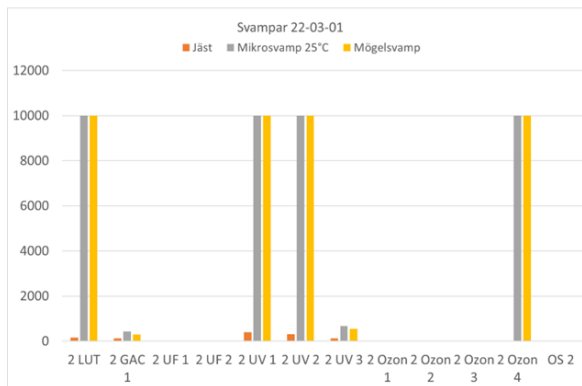
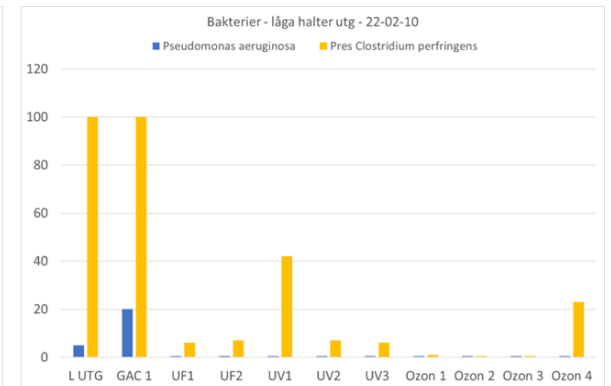
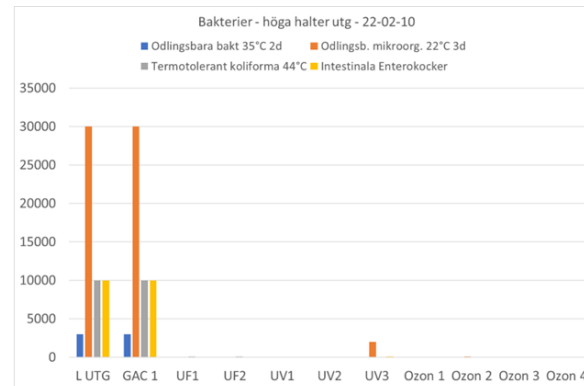
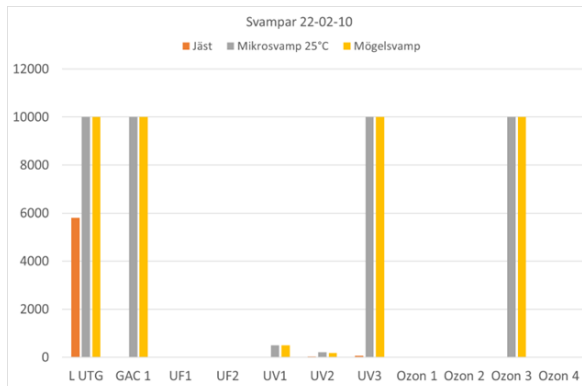
Substans ng/l	SGS	Kivik	Eurofins	SGS	Kivik	Eurofins	SGS	Kivik	Eurofins	SGS	Kivik	Eurofins	SGS	Kivik	Eurofins
	UTG	UTG	UTG	LH O3 1,7	LH O3 1,7	LH O3 1,7	LH O3 3,5	LH O3 3,5	LH O3 3,5	LH O3 9 g/m <sup>3</sup>	LH O3 9 g/m <sup>3</sup>	LH O3 9 g/m <sup>3</sup>	LH O3 12,3	LH O3 12,3	LH O3 12,3
Amidotrizoinsyra	100		52	100		62	100		26	100		63	100		50
Atenolol	100	68	50	100	61	50	100	0,02	1						
Azithromycin		100			100	307									
Benzotriazole		100	60		100	53		100	59		100	108		100	83
Ciprofloxacin	100	43	106	100	25	88									
Citalopram	100	110	118	100	84	100	100	39	42						
Clopidol	100		100	100		100	100		100	100		100	100		100
Crotamiton	100		100	100		100									
Diklofenak	100	282	194	100	157	115									
Erytromycin	50	100	<1250	772	100	1930									
Estradiol (E2)															
Estrone		100	<250		100	332									
Etinyestardiol (EE2)															
Flukonazol	100	78	84	100	67	75	100	56	67	100	63	88	100	53	93
Furosemid	100	59	142	100	60	500	1	0,04	100	2	0,09	100	3	0,19	100
Hydrochlorothiazide		100	4331		100	5624									
Ibuprofen	100	116	28	100	7	38	100	11	32						
Irbesartan		100	118		100	126					100	226		100	180
Karbamazepin	100	91	86	100	96	100									
Ketoconazol															
Klaritromycin	100	67	73	100	62	76									
Losartan	100	61	91	100	63	88	250	100	125		100	293		100	1043
Metoprolol	100	71	73	100	84	94	100	9	11		100	90	2085	100	1042
Metotrexat															
Naproxen	100	68	62	100	69	76									
Oxazepam	100	60	68	100	55	58	100	7	13	100	43	89	100	43	105
Paracetamol	8	100	15	6	100	6	10	100	7	10	100	20			
Primidon	100	0	102	100		86				56		100			
Propanolol	100	57	118	100	79	184				1601	100	1601			
Sertralin	100	39	131	100	36	141	100	0,21	13						
Sotalol	100		72	100		103									
Sulfadiazin															
Sulfametoxazol	100	97	4	69	100	7	42	100	42						
Tramadol	100	70	83	100	84	113	100	39	48						
Trimetoprim	100	82	91	100	91	100									
Venlafaxin	100	98	89	100	96	92	100	25	20						
Zolpidem	219	100	219												
Medel	99	86	236	121	80	352	94	42	44	258	78	240	415	71	311







*Bilaga 17 Specialanalyser från SGS – Mikrobiella analyser - desinfektionsförsök 2022-02-10 och 2022-03-01*



Bilaga 18 Ny teknik – enzymfilter – avskiljning av läkemedelsrester

