

MELLIFIQ

Behandling av läkemedelsrester – Pitkäniemi avloppsreningsverk

Pitkäniemi reningsverk i Lojo stad

2022-06-20

MELLIFIQ

Sid nr. : 2 (33)



MELLIFIQ

Innehållsförteckning

1.	Introduktion	4
2.	Bakgrund	4
2.1.	Problemformulering.....	4
2.2.	Vattenskyddsprogram	6
2.3.	Pitkäniemi avloppsreningsverk	6
2.4.	Recipient – Sjön Lohjanjärvi	7
2.5.	Projektets omfattning.....	9
2.6.	Projektpartners & samarbete	9
2.7.	Reningstekniker.....	10
3.	Metodik	13
3.1.	Förstudie: Provtagning på plats	13
3.2.	Förstudie: Intern pilotstudie.....	13
3.3.	Pilotförsök på plats.....	14
4.	Resultat	19
4.1.	Förstudie: Provtagning på plats	19
4.2.	Förstudie: Intern pilotstudie.....	20
4.3.	Pilotförsök på plats.....	21
5.	Diskussion	26
5.1.	Förstudie.....	26
5.2.	Pilotförsök på plats.....	26
5.3.	Energiförbrukning och kostnadseffektivitet.....	29
5.4.	Uppskalning och effektivitetsvinster	30
6.	Slutsatser och rekommendationer	31
6.1.	Betydande utsläpp av avlopps-API från Avloppsreningsverk i Pitkäniemi ..	31
6.2.	Hög reduktion möjlig	31
6.3.	Uppskalning och kostnadseffektivitet	31
7.	Referenser	32
8.	Bilaga 1 – Uppmätta API:er och LOQ:er	33

1. Introduktion

I samarbete med Lojo stad har Mellifiq genomfört ett pilotprojekt för att kartlägga förekomsten av läkemedelsrester i det kommunala avloppssystemet och möjligheterna att ta bort dem. Projektet genomfördes vid Pitkäniemi avloppsreningsverk, där utrustning för att reducera läkemedelsrester var installerat under en period av 1,5 år. Utrustningen inkluderade ett ozonsystem och en filtreringsenhet för granulärt aktivt kol (GAK). Båda dessa reningstekniker bedömdes både gemensamt och var för sig. Syftet med projektet var att öka kännedomen om de negativa effekterna av läkemedelsrester och att föreslå möjliga lösningar på detta problem. Pilotprojektet ingår i miljöministeriets program för effektiviserat vattenskydd under delprojektet "Vattnet i städer och skadliga ämnen", som är Södra Savolax NTM-centralens ansvar.

2. Bakgrund

Detta avsnitt innehåller relevant bakgrundsinformation, teori och översikt över projektets omfattning.

2.1. Problemformulering

Miljöfrågor och vattenskydd har blivit mer och mer relevanta under de senaste decennierna. Människans påverkan på vattenmiljöer är ett hot mot både ekologin och säkerställandet av vattenresurser med god kvalitet. På senare tid har medvetenheten om utsläpp av mikroplaster och läkemedelsrester höjts, och nya studier om utsläppens storlek samt påverkan på flora och fauna ger en allt tydligare bild av att åtgärder bör vidtas. Rapporten LUSKA (Svahn & Erland, 2017) har kartlagt utsläppen av läkemedelsrester från flera svenska reningsverk. En av slutsatserna är att läkemedelsrester förekommer i liknande mängder i förhållande till det totala flödet i alla anläggningar som undersökts.

Genom konsumtion av läkemedel och andra biologiskt aktiva substanser, hamnar rester i vår omgivning. De aktiva läkemedelssubstanserna bryts till viss del ner i människokroppen, men en stor del av substanserna lämnar kroppen i aktiv form via urin eller avföring. Beroende på ämnet och effektiviteten av nedbrytningen i kroppen kommer olika mängder av ämnet att lämna kroppen. Restämnen spolas ner i avloppet och når så småningom det lokala avloppsreningsverket. En stor del av dessa förblir obehandlade genom avloppsreningsverken och släpps ut i vattendrag, sjöar och hav.

Läkemedelsrester påverkar vattenlevande organismer redan vid mycket låga koncentrationer. Endast en begränsad mängd substanser har studerats utförligt på vilda djur, och den kombinatoriska effekten av de flesta läkemedel är dessutom svår att bedöma. Flera läkemedel stör till exempel olika djurarters hormonfunktioner. Till

exempel har fiskens beteende studerats i en doktorsavhandling vid Södertörns högskola" (Kellner, 2017). En av slutsatserna från studien är att antidepressiva medel dämpar fiskens ätbeteende. En rapport om problemet i Nederländerna sammanfattar det som "Möjliga effekter av läkemedel är till exempel beteendeförändringar, vävnadsskador och effekter på reproduktion av vattenlevande organismer som kan störa ekosystemet som helhet (Von Sonntag & Von Gunten, 2012).

I olika länder ledde detta till flera forskningsinitiativ och faktiska åtgärder. I Schweiz finns redan lagstiftning för större reningsverk, som måste åtgärda sina utsläpp av läkemedelsrester. Också i Finland har man uppmärksammat detta miljöproblem bland annat som en del av NTM-centralens initiativ för ett effektivare vattenskydd. Delprojektet för hantering av vatten i städerna och minskning av skadliga ämnen pekar på utsläpp av i synnerhet läkemedel via avloppsvatten. Här efterlyses pilotprojekt och andra studier som kartlägger förekomsten av skadliga ämnen samt utvärderar effekten av reningsmetoder.

I dag finns det inga krav i Finland eller dess grannländer på att behandla läkemedelsrester i avloppsreningsverk. De behandlingsprocesser som finns på plats tar bort vissa ämnen till viss del, medan vissa ämnen inte reduceras alls. Läkemedelsrester följer också med slammet från avloppsreningsverken, som är en biprodukt från reningsprocesserna. I LUSKA visar undersökningarna att vissa läkemedel tas bort helt i befintliga reningssteg, även om de flesta visar en låg reduktion. Vissa rester ökar i koncentration efter reningsstegen. I studien spekuleras det även om att vissa ämnen kan initialt vara bundna till större partiklar, som sedan släpps ut i vattnet under reningsstegen. De passerar då genom reningsprocesserna och släpps ut i mottagaren i sin aktiva form.

LUSKA-projektet mätte bland annat läkemedelskoncentrationer vid reningsverkens inlopp och utlopp. Pilotprojektet i samarbete mellan Lojo kommun och Mellifiq har inkluderat liknande mätningar. Läkemedelskoncentrationerna har uppmätts både före och efter reningsverket för att uppskatta mängden läkemedel i det renade vattnet och råvattnet till/från avloppsreningsverket i Pitkäniemi. Dessutom har två av de mest lovande teknikerna för läkemedelsrening testats på ett delflöde av det renade vattnet från anläggningen. Syftet med denna utvärdering av reningsteknikerna är främst att utvärdera dess effektivitet och praktiska tillämpbarhet. Synergierna när teknikerna kombineras är av särskilt intresse. Genom rening av läkemedelsrester i en mindre skala har slutsatser dragits om reningsteknikerna, deras möjligheter och begränsningar. Ett mål var att kunna använda de slutsatser som drogs i detta projekt för att skala upp reningsprocesserna när reningskrav för läkemedelsutsläpp implementeras.

Mellifiq är ett ledande miljöteknikföretag med 25 års erfarenhet av integrering av reningstekniker samt ozonrening. I tidigare projekt har Mellifiq utrett

läkemedelsborttagning och behandling av avloppsvatten. Ett antal tidigare förstudier på avloppsvatten visar goda resultat med ozonrening. Vid Tierps reningsverk i Sverige har till exempel en fullskalig reningsprocess implementerats i samarbete med Mellifiq, med utmärkt läkemedelsborttagning som följd.

Lojo kommun och Mellifiq avsåg att detta projekt skulle leda till en ökad kännedom om problemet med mikroförroreningar i vatten och naturliga miljöer. Det mer övergripande målet var att bidra till att uppnå god kemisk status i yt- och grundvatten i enlighet med ramdirektivet för vatten och att uppnå en bättre status i den marina miljön. I bästa fall bidrar projektet till att konkreta åtgärder vidtas på nationell nivå för att minska utsläppen av skadliga ämnen.

2.2. Vattenskyddsprogram

Projektet har genomförts som en del av vattenskyddsprogrammet som leds av Finlands miljöministerium, vilket syftar till att göra Finland världsledande inom effektivt vattenskydd.

Som anges på miljöministeriets webbplats: (Miljöministeriet, 2022)

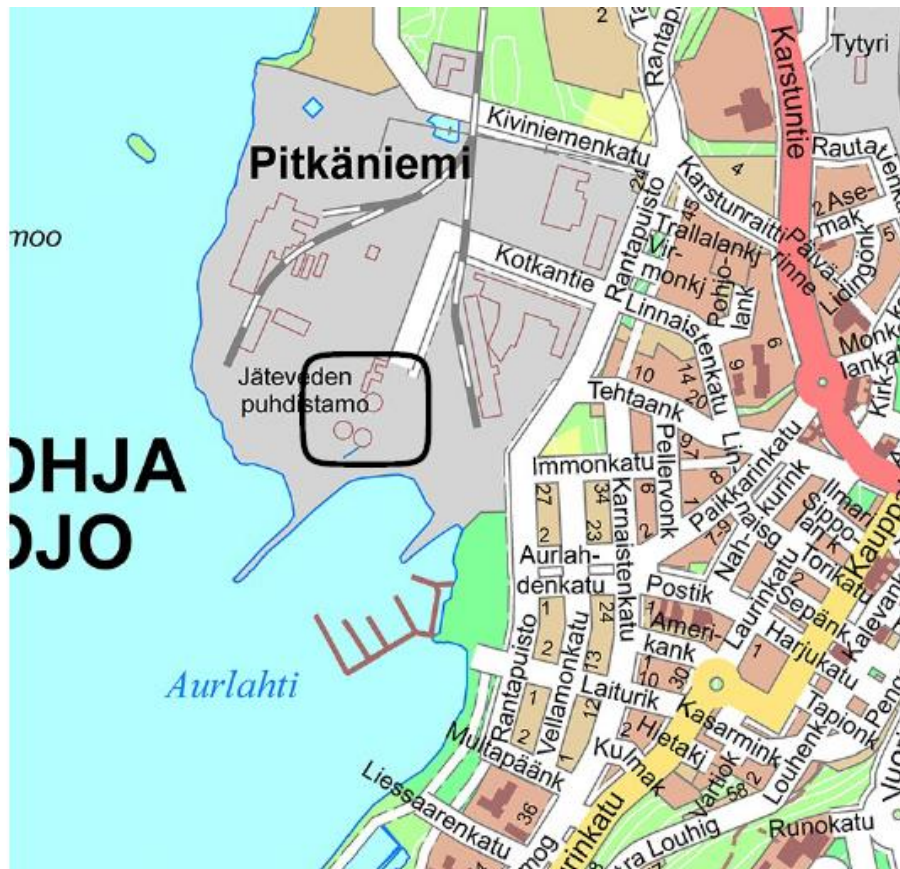
“The status of most Finnish waters is good or excellent, with the exception of the coastal waters of the Baltic Sea. The law requires that the status of waters must be at least good and the status of waters must not deteriorate. Water protection is guided by water management plans and the marine strategy adopted by the Government. Eutrophication is still the greatest challenge in water protection.

In 2018 the Finnish Government decided to allocate EUR 69 million in funding to enhance water protection in 2019–2023. The programme to enhance water protection brings together the relevant actors, ensures funding for the measures and creates continuity to water protection. The programme funds the most effective measures to improve the status of waters, strengthens cooperation between the different actors and introduces new practices and methods.

The next steps after the programme period are also under preparation. The work for the benefit of waters will be even more effectively linked to the other elements of environmental policy, such as mitigating climate change, halting biodiversity loss, achieving carbon neutrality, and nutrient recycling. Water protection with a long-term perspective will be a permanent part of the activities and objectives of municipalities, companies and civil society.”

2.3. Pitkäniemi avloppsreningsverk

I Lojo kommun finns två kommunalt drivna avloppsreningsverk. Den totala befolkningen uppgår till knappt 50 000 personer. Största delen av avloppsvattnet går till Pitkäniemi avloppsreningsverk, som är det största av de två. Figur 1 nedan visar avloppsreningsverket i nordvästra delen av Lojo stad.



Figur 1, Placering av Pitkäniemi reningsverk i Lojo stad

Pitkäniemi avloppsreningsverk färdigställdes 1975 och har sedan dess genomgått ett antal processuppgäraderingar såsom aktiv slamhantering, kvävereduktion och kontrollutrustning. Anläggningen hanterar avloppsvatten från för närvarande cirka 25 000 personer. I detta pilotprojekt pumpades vatten efter det sista reningssteget till pilotsystemet som integrerades i en 20 fots container, vilket förenklade det praktiska arbetet så som installationsarbete på plats.

Det normala flödet till reningsverket är cirka 7 000 m³/dygn eller 290 m³/timme. Under sommar, höst och vinter fluktuerar flödet relativt lite. Under våren ökar flödena markant under vissa dagar på grund av smältande snö och is.

2.4. Recipient – Sjön Lohjanjärvi

Lohjanjärvi är en sjö med en yta på cirka 88,2 kvadratkilometer och ett medeldjup på 12,7 m. Utloppet består av Svartån och mynnar så småningom ut i Finska viken vid Pojo. Förutom Lojo kommun omges den av Karjalohja kommun och Raseborg.



Figur 2. Lohjanjärvi med Svartån och utlopp i Finska viken. (Wikipedia, 2022)

Det finns cirka 26–29 fiskarter i sjön. Mest förekommande är gädda och abborre. Flera olika fiskarter planteras i sjön, som ål och öring för fritidsfiske och artvård. Sjön är populär för rekreation och för fiske. En av sjöarnas största miljöutmaningar är algblooming på grund av övergödning. Sjön påverkas av bland annat Mondi och Sappi pappersbruk. Enligt LUVY visar en undersökning av vattenkvaliteten i Lohjanjärvi sjö att den "i huvudsak klassas som god". Studien uttrycker att kvaliteten är sämre i sjöns södra delar, där vattnet står relativt stilla i ett intrikat nätverk av mindre vattendrag (LUVY, 2022).

2.5. Projektets omfattning

De viktigaste projektmålen anges nedan:

- Mätning av mängden läkemedelsrester i ett kommunalt avloppsvatten vid ett medelstort finskt avloppsreningsverk
- Undersökning av mängden läkemedelsrester som tas bort i befintliga reningssteg
- Testning och utvärdering av effekten av läkemedelsrening med aktivt kol och ozon, separat och i kombination på en partiell ström av det totala flödet.
- Studie av möjliga synergieffekter mellan teknikerna i kombination.
- Utvärdering av de två metodernas effektivitet vad gäller energiförbrukning, effektivitet och kostnader före fullskalig rening
- Ge ett framgångsrikt exempel på en praktisk åtgärd för att uppnå de övergripande målen om god kemisk status i yt- och grundvatten i enlighet med ramdirektivet för vatten och god status i den marina miljön.
- Undersökning av möjliga åtgärder för att mildra effekterna av utsläpp av läkemedelsrester i linje med EU:s strategi för läkemedel i miljön
- Öka medvetenheten om skadliga ämnen och mikroföroreningar som släpps ut i miljön, särskilt frågan om läckage av läkemedelsrester

2.6. Projektpartners & samarbete

Projektet genomfördes som ett samarbete mellan Mellifiq och Lojo kommun. Mellifiq genomförde en första del av pilotprojektet som syftade till att mäta förekomsten av läkemedelsrester och testa behandlingen av dem vid Pitkäniemi avloppsreningsverk.

Mellifiq designade och levererade ett skräddarsytt pilotsystem avsett för läkemedelsbehandling. Mellifiq utarbetade också planen för tester och analyser för mätningar och utvärdering av behandlingsmetodernas effektivitet. När pilotutrustningen var installerad analyserade Mellifiq mätresultat och sammanställde informationen i denna tekniska rapport.

Enskilda typer av läkemedel kan vara svårare att bryta ner, men genom att förlänga reaktionstiden i en reaktionsvolym kan dessa arter vanligtvis behandlas.

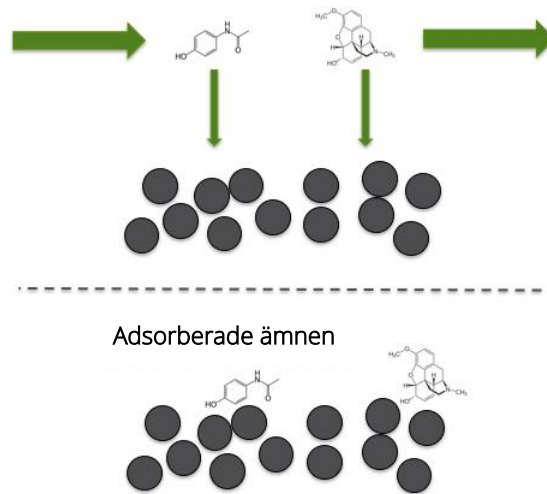
Nedbrytningen i mindre beståndsdelar och slutligen koldioxid och vatten kommer att pågå så länge ozon tillsätts tills fullständig oxidation uppnåtts.

En annan effekt av ozonering är att mikroorganismer som bakterier och virus neutraliseras i hög utsträckning. Ozon har en stark biocideffekt, som används i flera olika branscher för att sterilisera utrustning och ytor. Eftersom ozonet bryter ner mikroorganismernas cellväggar och annan biomassa har de ingen möjlighet att utveckla resistens mot ozonet. Steriliseringen blir därmed en positiv bieffekt av ozonering, vilket leder till att skadliga mikroorganismer dödas av innan de når utloppet, vilket i sin tur mildrar effekter av till exempel antibiotikaresistens.

Design och val av systemkomponenter spelar en avgörande roll för ett ozonsystems prestanda. För god funktion krävs syregenerering, reaktionsvolym, ozongenerering, pumpinställningar, injektionsmekanism, återflödesskydd, styrsystem och säkerhetsfunktioner så som ozonläckagedetektering. Ozonsystemet i pilotprojektet kommer även att inkludera en integration av alla dessa komponenter. Om ett ozonsystem är rätt utformat förlorar det inte prestanda över tid i samma utsträckning som till exempel ett kolfilter. Så länge systemdelarna är intakta och väl underhållna kan systemets prestanda behållas över tid. Systemet matas med elektricitet och kan i vissa fall kylas med processvattnet. Driftkostnaderna kommer därmed nästan uteslutande från strömförbrukning.

2.7.2. Adsorption med aktivt kol

Kolfilter kan utformas på många olika sätt men har i allmänhet samma grundprincip. Kolmaterialet genom vilket vattnet passerar fungerar som ett filter där partiklar av olika storlekar och kemisk sammansättning adsorberas. Större partiklar filtreras på grund av sin storlek som inte tillåter passage genom materialet. Vid en tillräckligt stor belastning av dessa måste kolfiltret backspolas för att inte täppas till. Mindre partiklar och individuellt vattenlösliga molekyler adsorberas istället till materialets yta. Det innebär att de "fastnar" på en tillgänglig yta på kolet och stannar där, se figur 4 nedan.



Figur 4. Schematisk bild av vattenflödet och adsorberade arter av GAK

Det finns kolmaterial i många utföranden och råvaror. Att använda rätt material kan ha stor inverkan på de uppnådda resultaten. I allmänhet är en stor total ytareal av kolet önskvärt. Om partikelstorleken är för liten uppstår praktiska problem med att hålla kolet på plats och kanalisering i filterbädden. I projektet användes granulerat aktivt kol (GAK) i en Watermaid trycksatt tank. Kolgranulatet placerades i tanken där vattnet fick rinna jämnt igenom. Vattnet kommer i kontakt med granulatet och får ligga kvar med tillräcklig retentionstid för att läkemedelsresterna ska hinna adsorberas. Vissa molekyler har hög affinitet och adsorberas lätt, medan molekyler med andra kemiska egenskaper kan vara mindre benägna att adsorberas.

Om kolfiltret dimensioneras med tillräcklig volym kan nästan 100 % av läkemedelsresterna avlägsnas. De adsorberas i det aktiva kolmaterialet och avlägsnas fysiskt från det reade vattnet. I händelse av underdimensionering eller felaktigt materialval kan prestandan påverkas avsevärt negativt. En begränsning med koltekniken är att den tillgängliga aktiva ytan minskar när läkemedelsrester och andra arter upptar den. När kolet är mättat måste materialet bytas ut.

3. Metodik

I följande avsnitt presenteras de implementerade metoderna.

3.1. Förstudie: Provtagning på plats

Mellifiq gjorde det första besöket i Pitkäniemi reningsverk, där vattenprover samlades in för att mäta läkemedelsnivåer. Proverna togs från reningsverkets inkommande avlopp och utgående vatten. 97 olika läkemedel analyserades för varje prov, varav halten av 33 läkemedel låg över kvantifieringsgränsen (LOQ).

3.2. Förstudie: Intern pilotstudie

Personalen på reningsverket i Pitkäniemi skickade ett 150-litersprov av det utgående avloppsvattnet till Mellifiq som sedan behandlades med egen pilotutrustning vid Mellifiqs anläggningar. Resultaten användes som stöd för dimensioneringen av utrustningen som senare installerades i Lojo. På så sätt kunde ett anpassat vattenreningsystem väljas för pilotförsöket på plats vid Pitkäniemi reningsverk.

3.2.1. Beskrivning av det interna pilotsystemet

Det interna pilotsystemet består av en upplösningsmekanism, kontakttank, avgasventiler, återcirkulationspump och sensorer och mätare för att övervaka processen.

3.2.2. Intern pilotimplementering

Den interna piloten användes för att behandla 150 L tertiärt vatten som skickades från Pitkäniemi reningsverk. I den första fasen övervakades avlägsnandet av läkemedelsrester i en kombination av ozon och aktivt kol. Ozonering utfördes för att uppskatta behandlingsnivån för den faktiska piloten. Prover togs under 5, 10, 20, 60 och 180 minuter.

GAK-behandling testades med två separata filtreringsbäddar i serie i den interna pilotstudien.



Figur 5. Internt pilotsystem.

3.3. Pilotförsök på plats

För pilotförsöken på plats levererades en komplett containerlösning till Lojo med installerad utrustning och provtagningspunkter. Containern placerades på plats och anslöts till flödet ut från Pitkäniemi avloppsreningsverk (se figur 6 nedan).



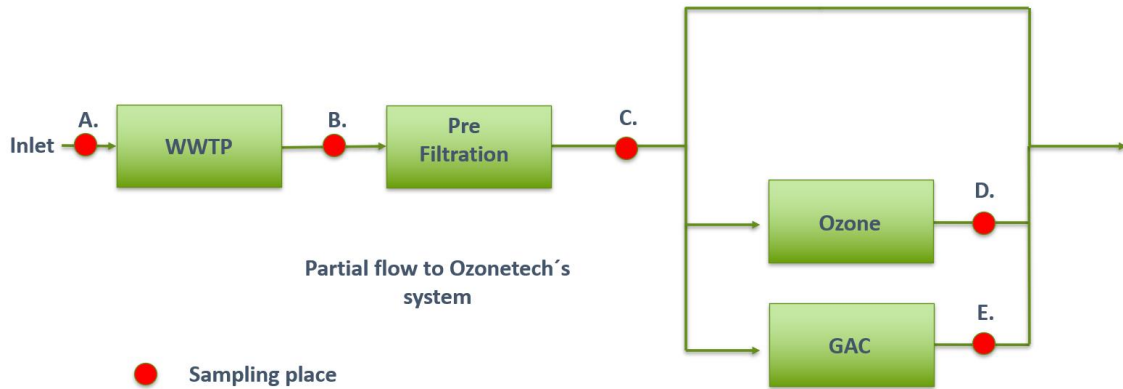
Figur 6. Ansluten pilotanläggning i container på plats vid Pitkäniemi avloppsreningsverk.

3.3.1. Beskrivning av pilotsystem på plats

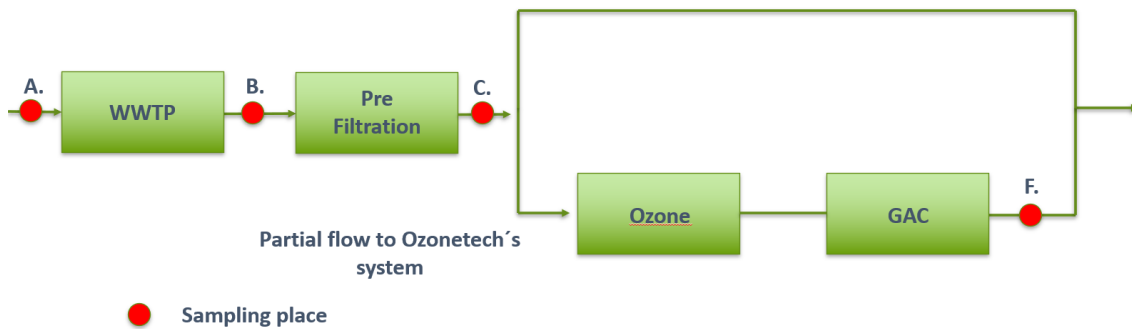
Pilotsystemet på plats som används i Lojo inkluderar behandlingsstegen enligt figurerna 7 och 8. Inloppsvattnet till pilotsystemet är avloppsströmmen från avloppsreningsverket. Inkommande vatten till systemet förfiltreras genom ett påsfilter för att avlägsna sediment och partiklar. Detta filtersteg lades till under projektet (på grund av högt partikelinnehåll) för att mildra partikelrelaterade problem, främst med GAK-filtrering. Det förfiltrerade vattnet passerar sedan genom ett ozoneringssteg, i vilket vattnet flödar in i en reaktionstank där ozon tillsätts. Efter ozoneringssteget behandlas vattnet i ett GAK-filter. Syftet med GAK-bädden är att adsorbera kvarvarande föroreningar eller läkemedelssubstanser efter oxidationsbehandlingen med ozon. Processen byggdes med möjlighet att backspola kolbädden manuellt om det behövs för att avlägsna partiklar som kan ackumuleras och så småningom begränsa flödet genom bädden. Det är dock viktigt att komma ihåg att adsorberade ämnen i det aktiva kolet inte avlägsnas under backspolning, endast icke-adsorberade partiklar.

Pilotsystemet byggdes också för att förbikoppla enskilda behandlingssteg med ytterligare uppsättningar ventiler och rörledningar. Detta gjorde det möjligt för driftpersonal att växla mellan olika behandlingskonfigurationer. I det här pilotprojektet utvärderades följande konfigurationer:

1. Separat behandling med endast ozonering eller GAK (enligt figur 7)
2. Seriell behandling med ozonering som ett första steg följt av GAK (enligt figur 8)



Figur 7. Schematisk bild av rening med ozon och GAK som separata behandlingar. Provtagningspunkterna A till E är markerade med rött. Vattenflödesriktningen indikeras med grön pil.



Figur 8. Schematisk bild av rening med ozonering och GAK i serie. Provtagningspunkterna, A till F, är markerade med rött. Vattenflödesriktningen indikeras med grön pil.

3.3.2. Implementering av pilotsystem på plats

För att uppnå en så korrekt utvärdering som möjligt togs prover med avseende på uppehållstid mellan provtagningspunkterna. Prover togs också upprepade gånger för att minska risk för provtagningsfel och felkällor.

Vid beräkningen av uppehållstiderna beaktades uppgifter om flöden och volymer. Vattenflödet genom containersystemet var 10 m³/h och uppehållstiderna mellan provtagningspunkterna presenteras i tabell 1 nedan.

Tabell 1. Tid mellan provtagningspunkterna.

Provtagningspunkt	Tid mellan provtagningspunkterna
A → B	-
B → C	1 minuter
C → D	4 minuter
C → E	5 minuter
C → F	9 minuter

Alla prover analyserades för läkemedelssubstanser och TOC. Utöver dessa analyser togs även prover för analys av COD och DOC för utvalda prover, se tabell 2 nedan. Relevansen av de olika organiska analysdata förklaras kortfattat nedan:

- TOC - Totalt organiskt kol - Analyseras för alla prover för att följa organiskt innehåll under hela processen.
- COD - Kemisk syreförbrukning - Indikerar kemisk syreförbrukning och effekten av ozonbehandling på organiskt innehåll i vattnet. Analyseras för alla provtagningspunkter.
- DOC - Upplöst organiskt kol - Anger mängden organiskt innehåll upplöst i vatten, prover tas före ozonsteget, efter ozonsteget och efter GAK för att utvärdera minskningen i varje reningssteg.

Repetitioner av provtagningen gjordes för att minska felkällor. Provtagningen gjordes under tre separata provtagningsomgångar för att inkludera säsongvariationer av vattenkvaliteten. Provtagningsomgångarna genomfördes i oktober 2021, november 2021 och i februari 2022. Varje provtagningsomgång följde ett liknande provtagningschema enligt tabell 2 nedan.

Tabell 2. Provtagningsplan för varje provtagningsomgång.

Provbeteckning	Provtagningspunkt	Typ av analys	Prowolyml (ml)
#1	A	TOC, COD, DOC	200
#2	A	Läkemedel	40
#3	B	TOC, COD, DOC	200
#4	B	Läkemedel	40
#5	C	TOC, COD, DOC	200
#6	C	Läkemedel	40
#7	D	TOC, COD, DOC	200
#8	D	Läkemedel	40
#9	E	TOC, COD, DOC	200
#10	E	Läkemedel	40
#11	F	TOC, COD, DOC	200
#12	F	Läkemedel	40

Beskrivning av provtagningspunkter enligt figurerna 7 och 8:

- A - Inlopp till avloppsreningsverk
- B - Utlopp från avloppsreningsverk, före pilotsystemets förfiltreringssteg
- C - Efter förfilter, före ozon och GAK
- D - Efter ozon
- E - Efter GAK
- F - Efter ozon och GAK



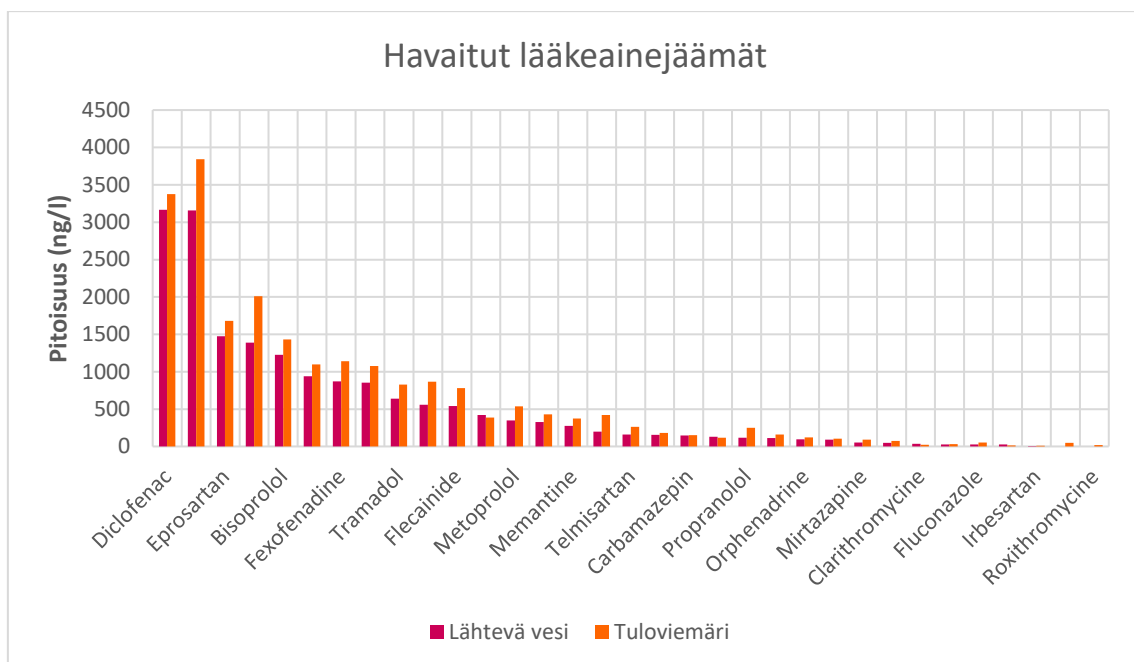
Figur 9. Öppnad container med synlig GAK-filtertank och rostfritt ozonsystem.

4. Resultat

Avsnitten nedan innehåller en presentation av resultaten från varje steg i pilotprojektet.

4.1. Förstudie: Provtagning på plats

I prover av inkommande avloppsvatten och utgående behandlat vatten detekterades 33 aktiva läkemedelssubstanser (API:er) över kvantifieringsgränsen enligt figur 10 nedan. Den totala koncentrationen i inkommande avlopp och utgående vatten visas nedan i figur 10.



Figur 10. Aktiva farmaceutiska substanser (API) som finns i Pitkäniemi reningsverk före och efter reningsprocessen i reningsverket. Staplar i cerise färg visar utgående flöde, och orange inkommande.

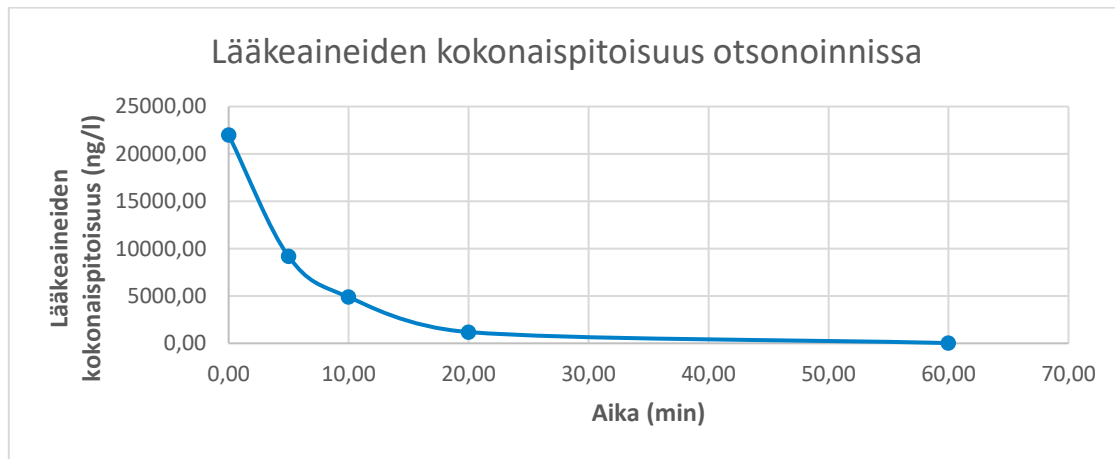
Det bör noteras att analysen kvantifierar innehållet i 101 olika API:er. Detta återspeglar endast en mycket begränsad del av alla utsläppta API:er i miljön på grund av att det finns tusentals tillåtna ämnen i bruk. Därför kan det antas att det faktiska innehållet i vattenprovet kan vara 3 - 5 gånger högre.

4.2. Förstudie: Intern pilotstudie

Resultaten från den andra delen av förstudien presenteras i följande avsnitt.

4.2.1. Ozonering

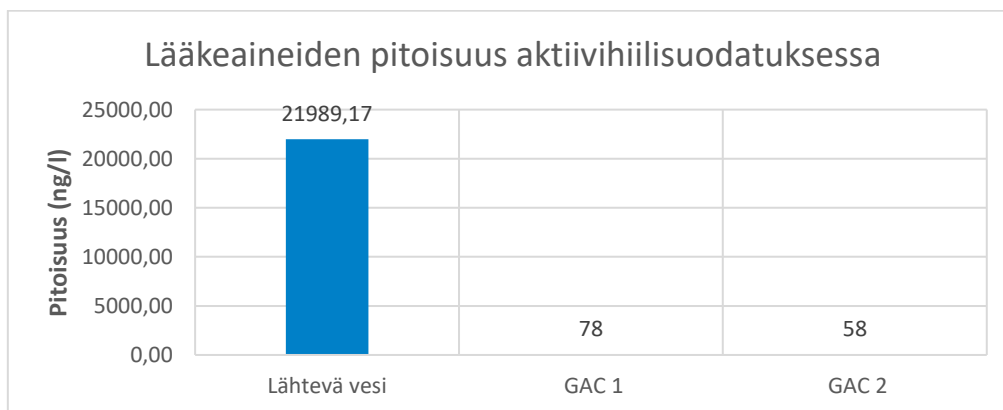
80 % av det uppmätta totala API-innehållet reducerades efter cirka 10 minuter. Det totala API-innehållet reducerades till under kvantifieringsgränsen efter cirka 60 minuter.



Figur 11. Ozondelen av pilotexperimentet visar en tydlig minskning av koncentrationerna av läkemedelsrester när ozoneringen fortskrider.

4.2.2. GAK-filtrering

Effekten av filtrering med aktivt kol testades vid behandling av tertiärt vatten med två GAK-filtreringsbäddar i serie enligt figur 12 nedan. Största delen av de läkemedel som påträffades i Pitkäniemis avloppsvatten adsorberades effektivt i det aktiva kolet. Redan efter det första GAK-steget minskade de totala koncentrationerna av läkemedelsrester med mer än 99 %. Små fällningar observerades av läkemedel med låg kvantifieringsgräns, såsom flekainid och bupropion. Inga läkemedel upptäcktes vid kombination av ozon- och GAK-behandling.



Figur 12. Totala koncentrationer av API: er i tertiärt vatten och efter filtrering av aktivt kol.

4.3. Pilotförsök på plats

Resultaten från de tre provtagningsomgångar som genomfördes under pilotförsöken på plats presenteras nedan.

4.3.1. Provtagningsomgång 1

Analysresultaten för läkemedel och organiskt innehåll från provtagningsomgång 1 visas nedan i tabellerna 3 och 5.

Trettio (30) olika API:er detekterades i inkommande vatten till avloppsreningsverket. Den totala reduktionen av det totala API-innehållet i Pitkäniemi avloppsreningsverk var 83 % (exkl. koffein). Från 52 871 ng/L i inloppet till avloppsreningsverket ner till 9 230 ng/L i utloppet (som sedan matades till pilotsystemet på plats).

Pilotsystemets reduktion av det totala API-innehållet var 92 % för oxidering genom ozonbehandling och över 99 % för GAK-filtret. Den kombinerade reduktionsgraden översteg också 99 %.

Tabell 3. Analysresultat av API:er från mätomgång 1.

	Före avloppsreningsverk	Efter avloppsreningsverk	Efter förfilter	Efter oxidering	Efter GAK	Efter oxidation och GAK
Alla konc. API [ng/L]	52 871	9 230	11 880	763	22	32
Reduktion [%]	-	83	-28,7*	94	99,8	99,7

* En negativ reduktion indikerar en ökning av läkemedelskoncentration. Detta resultat diskuteras närmare i avsnitt 5.2.3.

De sju API:er som återstod efter oxidationssteget reducerades kraftigt. De andra API:erna reducerades till under kvantifieringsgränsen.

När oxidation och aktivt kol användes som kombinerad reningsteknik kvarstod endast två API:er i låg koncentration, strax över detektionsgränsen.

Nedan visas data för de två återstående API:erna efter behandlingsprocessen för API-borttagning. Reduceringsgraden var mer än 90 % för var och en av dessa API:er.

Tabell 4. Återstående API:er efter fullständig pilotsystembehandling från mätomgång 1

API	Inlopp [ng/L]	Utlopp [ng/L]	Minskning [%]
Bupropion	109	5	95
Tramadol	317	27	91

När det gäller organiskt innehåll presenteras resultaten för TOC, DOC och COD för varje provtagningspunkt i tabell 5 nedan.

Tabell 5. Analysresultat av TOC, DOC och COD-Cr från mätomgång 1

Provtagningspunkt	TOC [mg/L]	DOC [mg/l]	COD-Cr [mg/l]
Råmatning till avloppsreningsverk	94	59	580
Avloppsreningsverk	11	10	28
Efter förfilter	11	12	30
Efter oxidation	11	10	25
Efter GAK	< 2,0	< 2,0	< 20
Efter oxidation och GAK	< 2,0	< 2,0	< 20

TOC-värden visade en reduktion på 88 % från inlopp till utlopp över avloppsreningsverket. Oxidation visade ingen mätbar effekt på TOC-nivåer. GAK-behandlingen reducerades TOC till under detektionsgränsen (LOQ).

DOC-värden visade en reduktion på 83 % från inlopp till utlopp över avloppsreningsverket. Oxidation gav en reduktion på 17% av DOC-nivåerna. GAK-behandling reducerades DOC till under detektionsgränsen (LOQ).

COD-värdena visade en reduktion på 95 % från inlopp till utlopp över avloppsreningsverket. Oxidation gav en reduktion på 17 % av COD-nivåerna. GAK-behandling minskade COD under detektionsgränsen (LOQ).

4.3.2. Provtagningsomgång 2

Analysresultaten för läkemedelsrester och organiskt innehåll från provtagningsomgång 2 visas nedan i tabellerna 6 och 8.

Trettiofyra (34) olika API:er upptäcktes i inkommande vatten till avloppsreningsverket. Reduktionen av det totala API-innehållet i Pitkäniemi avloppsreningsverk var 83 % (exkl. koffein). Från 104 920 ng/L i inloppet till avloppsreningsverket ner till 18 115 ng/L i utloppet (som sedan matades till pilotsystemet på plats).

Reduktionen av det totala API-innehållet uppgick till 92 % för oxidering genom ozonbehandling och över 99 % för GAK-filtret. Den kombinerade reduktionseffekten översteg också 99 %.

Tabell 6. Analysresultat av API:er från mätomgång 2.

	Före avloppsreningsverk	Efter avloppsreningsverk	Efter förfilter	Efter oxidering	Efter GAK	Efter oxidation och GAK
Alla konc. API [ng/L]	104 920	18 115	27 554	2 159	115	10
Reduktion [%]	-	83	-52,1*	92	99,6	99,9

* En negativ reduktion indikerar en ökning. Detta resultat diskuteras närmare i avsnitt 5.2.3.

Av de tio API:er som återstod efter oxidationssteget reducerades nio kraftigt. De andra API:erna reducerades till under detektionsgränsen.

När oxidation och aktivt kol användes som kombinerad reningsteknik kvarstod endast en API i låg koncentration, strax över detektionsgränsen.

Nedanstående tabell listar återstående API efter pilotsystemets kombinerade reningsprocess. Reduceringsgraden var 97 % för denna API-typ.

Tabell 7. Återstående API efter fullständig pilotsystembehandling från mätomgång 2.

API	Inlopp [ng/L]	Utlopp [ng/L]	Minskning [%]
Amytriptylin	348	10	97

När det gäller organiskt innehåll presenteras resultaten för TOC, DOC och COD för varje provtagningspunkt i tabell 8 nedan.

Tabell 8. Analysresultat av TOC, DOC och COD-Cr från provtagningsomgång 2

Provtagningspunkt	TOC [mg/L]	DOC [mg/l]	COD-Cr [mg/l]
Råmatning till avloppsreningsverk	72	56	770
Avloppsreningsverk	12	11	27
Efter förfilter	12	11	26
Efter oxidation	11	11	23
Efter GAK	<2	<2	<20
Efter oxidation och GAK	<2	<2	<20

TOC-värden visade en reduktion på 83 % från inlopp till utlopp över avloppsreningsverket. Oxidation reducerade TOC-nivåerna med 8 %. GAK-behandling reducerade TOC under detektionsgränsen (LOQ).

DOC-värdena visade en reduktion på 80 % från inlopp till utlopp över avloppsreningsverket. Oxidation reducerade inte DOC-nivåerna. GAK-behandling reducerade DOC till under detektionsgränsen (LOQ).

COD-värdena visade en reduktion på 96 % från inlopp till utlopp över avloppsreningsverket. Oxidation med ozon gav en reduktion på 12 % av COD-nivåerna. GAK-behandling reducerade COD under detektionsgränsen (LOQ).

4.3.3. Provtagningsomgång 3

Analysresultaten för läkemedelsrester och organiskt innehåll från provtagningsomgång 3 visas nedan i tabellerna 9 och 11.

Trettioen (31) olika API:er detekterades i inkommande vatten till avloppsreningsverket. Reduktionen av det totala API-innehållet i Pitkäniemi avloppsreningsverk var 56 % (exkl. koffein). Från 18 758 ng/L i inloppet till avloppsreningsverket ner till 8 323 ng/L i utloppet (som sedan matades till pilotsystemet på plats).

Reduktionen av det totala API-innehållet genom pilotsystemet var 68 % för oxidationsbehandling med ozonering och över 99 % för GAK. Den kombinerade behandlingsreduktionseffekten översteg också 99 %.

Tabell 9. Analysresultat av API:er från mätomgång 3.

	Råmatning till avloppsreningsverk	Avloppsreningsverk	Efter förfilter	Efter oxidering	Efter GAK	Efter oxidation och GAK
Alla konc. API [ng/L]	18 758	8 323	20 334	6 597	31	15
Reduktion [%]	-	56	-144,3*	68	99,8	99,9

* En negativ reduktion indikerar en ökning. Detta resultat diskuteras närmare i avsnitt 5.2.3.

Efter den kombinerade effekten av oxidation och aktivt kol kvarstod endast en API i låg koncentration, strax över detektionsgränsen.

Nedan visas data för återstående API efter reningsprocessen. Reduktionen var över 99 %.

Tabell 10. Återstående API-innehåll efter avslutad pilotsystembehandling från mätomgång 3.

API	Inlopp [ng/L]	Utlopp [ng/L]	Minskning [%]
Losartan	2 182	15	99,9

När det gäller organiskt innehåll presenteras resultaten för TOC, DOC och COD för varje provtagningspunkt i tabell 11 nedan.

Tabell 11. Analysresultat av TOC, DOC och COD-Cr från mätomgång 3

Provtagningspunkt	TOC [mg/L]	DOC [mg/l]	COD-Cr [mg/l]
Råmatning till avloppsreningsverk	80	30	500
Avloppsreningsverk	16	14	42
Efter förfilter	16	14	42
Efter oxidation	15	14	41
Efter GAK	3	< 2,0	< 20
Efter oxidation och GAK	3.2	2.5	< 20

TOC-värden visade en reduktion på 80 % från inlopp till utlopp över avloppsreningsverket. Oxidationen visade en 6 % reducering av TOC-nivåerna. GAK-behandling reducering TOC under detektionsgränsen (LOQ).

DOC-värden visade en reduktion på 53 % från inlopp till utlopp över avloppsreningsverket. Oxidation reducerade inte TOC-nivåerna. GAK-behandling reducerade DOC under detektionsgränsen (LOQ).

COD-värdena visade en reduktion på 92 % från inlopp till utlopp över avloppsreningsverket. Oxidation leder till en 2% reducering av COD-nivåerna. GAK-behandling reducerade COD under detektionsgränsen (LOQ).

4.3.4. Effektförbrukning

Pilotsystemet på plats inkluderade ett automatiserat ozonsystem kombinerat med ett filtreringssteg med aktivt kol. Ozonsystemet inkluderade energiförbrukande mekanismer som en boosterpump (för att blanda in ozongas i vattenflödet), syrgasgenerator, ozongenerator och ett elektroniskt styr- och övervakningssystem.

GAK-filtret förbrukar inte energi direkt under drift men medför en tryckförlust och kräver utbyte av filtermediet med jämna mellanrum. Dessa två faktorer leder till indirekta driftskostnader. Tabellen nedan innehåller operativa kostnadsfaktorer (OPEX).

Tabell 12. Pilotanläggningens OPEX-faktorer.

OPEX-källa	Beskrivning	Värde	Enhet
Komponenter i ozonsystemet	Effektförbrukning	0.22	kWh/m ³
GAK-tryckförlust (totalt)	Tryckförlust på grund av flödesbegränsning under filtrering	0,1 – 0,6	bar
GAK-filtermedia	Cirka 1 filtermedieutbyte per år	375	kg GAK / 10 m ³ /h flödes hastighet

5. Diskussion

I följande avsnitt diskuteras och utvärderas insamlade data under projektet.

5.1. Förstudie

Under förstudien visade det sig att det finns betydande halter av API:er i såväl inlopps- som utloppsströmmar vid avloppsreningsverket i Pitkäniemi.

De icke-steroida antiinflammatoriska läkemedlen (NSAID), diklofenak och det blodtryckssänkande läkemedlet losartan, förekom i de högsta koncentrationerna. Vanligtvis förekommer båda i avloppsvatten mer än andra läkemedel. Diklofenak är också känt för att orsaka förändringar i lever och njurar av fisk och ansamling av gallvätska. När Losartan är i fettlöslig form ackumuleras den också effektivt i organismer.

Resultaten är i linje med tidigare studier som gjorts på avloppsreningsverk i små till medelstora städer i Skandinavien och signalerar ett behov av metoder för att reducera utsläppen för att minska miljöskadorna på ekosystemen.

I de interna pilotförsöken i förstudien kunde man konstatera att ozonering samt GAK-rening har stor potential att reducera API-halten i den befintliga vattenmatrisen vid Pitkäniemi avloppsreningsverk. Ozonering reducerade API-halten med över 60 % inom 5 minuter och över 75 % reduktion med 10 minuters kontakttid. GAK-behandling gav en reduktion på över 99 % av det totala API-innehållet med hjälp av endast ett GAK-filtersteg.

Förstudieresultaten motiverade därför att man gick vidare med pilotförsöken på plats för att utvärdera en processen under de förhållanden som existerar vid Pitkäniemi avloppsreningsverk.

5.2. Pilotförsök på plats

Pilotförsöken på plats omfattade dimensionering och installation av ett pilotsystem inklusive ozon- och GAK-behandling. Processdesign och montering av pilotsystemet utfördes av Mellifiq. Installationen på plats utfördes av Pitkäniemi avloppsreningsverks personal i samarbete med Mellifiq. Efter en första driftsättning utvärderades pilotsystemet vid tre separata tillfällen där prover samlades in och skickades till tredjepartslaboratorier för analys av API-innehåll samt organiskt innehåll.

5.2.1. Ytterligare förfiltrering

Till en början inkluderade pilotsystemet endast processutrustning för ozonering och GAK-filtrering av vattnet, men i ett tidigt skede blev det uppenbart att systemet krävde ett förfilter för att avlägsna större partiklar som sand, smuts och alger. Därför installerades ett påsfilter som ett förbehandlingssteg i containersystemet före

idrifttagning. Detta indikerar ett särskilt behov av förfiltreringssteg vid en ev. uppskalning av processen.

5.2.2. API-reduktion i Pitkäniemi avloppsreningsverk

API och organiskt innehåll mättes vid inlopps- och utloppsflödena i Pitkäniemi avloppsreningsverk under de tre provtagningsomgångarna. Ungefär en tredjedel av det totala API-innehållet bestod av koffein som uteslöts från mätdata eftersom det inte är en API. Det är dock värt att notera att allt mätbart koffeininnehåll avlägsnades i avloppsreningsverksprocesserna.

När det gäller reduktion av API:er visade sig avloppsreningsverket kunna ge en minskning med 56 till 83 procent av det totala API-innehåll som matades till avloppsreningsverket. Man kan därför dra slutsatsen att de nuvarande reningssystemen vid anläggningen i Pitkäniemi har en betydande reningseffekt på det totala API-innehållet. De metaboliska mikrobiologiska processer som förekommer vid den biologiska behandlingen spelar sannolikt en nyckelroll för att uppnå denna reduktion. Ytterligare mätningar i varje enskilt behandlingssteg krävs för att bekräfta detta.

Det är värt att nämna att den relativa reduktionen av API:er från provtagningsomgång 3 är betydligt lägre än i de två tidigare omgångarna. Detta kan dock vara en följd av den betydligt lägre inloppskoncentrationen till avloppsreningsverket i den tredje provtagningsomgången. Ytterligare undersökningar krävs för att hitta orsakerna bakom dessa fluktuationer av inloppskoncentrationen.

5.2.3. Förfiltreringseffekter på API-innehåll

Förfiltreringssteget visades påverka API-innehållet avsevärt. Mätningen påvisade konsekvent en ökning av det totala API-innehållet över förfiltreringssteget. Man skulle kunna förvänta sig en reduktion av API-innehållet när man inför ett partikelfiltreringssteg, men baserat på tidigare studier om pilot- och fullskaliga implementeringar av API-borttagning (Tierps Energi & Miljö AB, 2020) ökade dock det totala API-innehållet med cirka 75 % i genomsnitt över partikelfiltret.

En potentiell förklarande mekanism kan vara läckage av API:er från massan av partiklar i filtret som uppsamlats, vilken kontinuerligt ökar över tiden tills filtret byts ut, rengörs eller backspolas.

5.2.4. API-reduktion med ozonering

Det installerade ozoneringssteget visade sig vara effektivt för att reducera uppmätt API från det behandlade vattenflödet. Över 90 % av det totala API-innehållet togs bort i de två första provtagningsomgångarna. I genomsnitt togs 85 % av det totala API-innehållet bort under de tre provtagningsomgångarna.

Ozonstegets reduceringsgrad minskade i den tredje provtagningsomgången. En del av förklaringen kan vara en lägre inloppskoncentration av API-innehåll som systemet matas med i kombination med ett högre organiskt innehåll. Detta kan leda till en "konkurrens-effekt" reaktionstekniskt, då det kan avleda oxideringen från API:er till andra organiska partiklar som finns i vattenmatrisen.

5.2.5. API-reduktion med GAK

GAK-behandling uppvisade konsekvent reduceringsgrader som översteg 99 % av det totala API-innehållet under alla tre provtagningsomgångarna. Återstående API:er efter GAK-behandling var Losartan, Bupropion, Tramadol och Amitriptylin. Alla reducerades till mätvärden strax över LOQ.

Man kan därför dra slutsatsen att GAK-reningssteget var dimensionerat för att uppnå höga reduceringsgrader vid nuvarande flödes hastighet och förhållanden på plats.

5.2.6. Synergieffekter

Under pilotförsöken på plats utfördes mätningar av API:er även efter ozon- och GAK-behandling kombinerat, med ozonbehandling som första steg och GAK-filtrering som andra steg. Dessa mätningar visade en minskning av API-innehållet med cirka 99,9 %, vilket är långt över nuvarande ramverk i andra länder. I Schweiz fastställdes t.ex. 2016 ett mål på 80 % reduktion.

Vid de nuvarande processförhållandena kunde emellertid endast marginella synergivinsten visas vid användning av denna kombination eftersom både ozonering och GAK separat uppnådde goda resultat med mycket höga reduceringsgrader. Att "stressa" systemet genom att till exempel öka flödes hastigheten avsevärt skulle kunna vara ett sätt att utvidga studien.

Synergieffekterna mellan de två behandlingsmetoderna skulle potentiellt möjliggöra mer kostnadseffektiva behandlingssystem där ozon skulle kunna användas som en förbehandling följt av ett GAK-steg. På så sätt skulle varje enskild process kunna användas mer effektivt och nå en effektivare process till en lägre kostnad. Resultaten indikerar en potentiell reduktion av organiskt innehåll på upp till 20 % med hjälp av ett kompakt ozonsystem där kontakttiderna för fullskalig implementering kan ökas avsevärt för att nå högre reduceringsgrader av organiskt material. Detta kommer i sin tur att leda till betydligt lägre organisk belastning på GAK-systemet vilket leder till ett krav på motsvarande lägre GAK-bäddvolym. Lägre GAK-bäddvolym minskar också investeringskostnaderna för filterutrustning samt sänker mängden underhållsarbete i samband med till exempel byte av filtermassa.

Dessutom kan livslängden för GAK-materialet potentiellt förlängas på grund av en regenerativ effekt i kombination med ozonering före GAK-behandlingen. Den

regenerativa effekten uppkommer vid en kontinuerlig nedbrytning och avlägsnande av redan adsorberat organiskt innehåll på den aktiva kolytan.

5.3. Energiförbrukning och kostnadseffektivitet

Under pilotförsöken på plats utvärderades data om till exempel energi- och materialkostnader för att möjliggöra uppskattningar av en uppskalad process för avloppsreningsverket i Pitkäniemi. En sammanfattning av dessa viktiga driftsparametrar presenteras i tabell 13 nedan.

Tabell 13. Nyckeltal till följd av pilotförsöken på plats.

Nyckeltal	Värde*	Enhet
Genomsnittlig API-reduktion genom ozonering	85	%
Ozonering + GAK genomsnittlig API-reduktion	99.9	%
Energiförbrukning för ozonsystemet per behandlad kubikmeter vatten	0,22**	kWh/m ³
Ozonsystemets energiförbrukning per mg reducerat API	0,004***	kWh/mg API
Total årlig reduktion av API-massa med endast ozon	42,8***	Kg
Total årlig reduktion av API-massa med ozon + GAK	50,9***	Kg
Kostnader för driftsmaterial till GAK per behandlad kubikmeter vatten	0.022	EUR/m ³
GAK-driftsmaterialrelaterade kostnader per behandlad kubikmeter vatten vid inkludering av ozonförbehandling	0,018****	EUR/m ³

* Observera att alla värden som presenteras i tabellen baseras på den specifika utrustning och de förhållanden som rådde i pilotskala under pilotförsöken.

** Observera att energiförbrukningen inte tar hänsyn till reduceringsgraden. Endast energi som förbrukas per volym behandlat vatten.

*** Observera att detta värde endast återspeglar de 101 uppmätta föreningarna av potentiellt tusentals andra API-arter som finns i avloppsvatten.

**** Observera att detta värde återspeglar förhållandena i pilotskala där cirka 20 % organiskt innehåll kan avlägsnas genom ozonförbehandling. I en fullskalig process kan ytterligare organisk belastning avlägsnas genom justering av ozoneringen.

Det är viktigt att notera att alla data i tabell 13 ovan baserar sig på den specifika utrustning i pilotskala som används på plats vid avloppsreningsverket i Pitkäniemi. En uppskalad process från pilotsystemets flödes hastighet (10 m³/h) till fullskaligt flöde (7000 m³/dag) kommer att leda till positiva skalningseffekter, vilket leder till en mer kostnadseffektiv process.

Vid uppskalning av en process för att behandla utsläppta API:er från ett fullskaligt avloppsreningsverk, såsom i Lojo, bör dessutom synergieffekterna mellan ozonering och GAK-filtrering beaktas. En sådan process skulle möjliggöra användning av mer kompakta behandlingsprocesser för ozonering och GAK vilket i sin tur ytterligare minskar driftskostnaderna samt kapitalinvesteringskostnaderna för ny utrustning.

5.4. Uppskalning och effektivitetsvinster

När man överväger en fullskalig process för API-behandling för Pitkäniemi avloppsreningsverk kan positiva skalningseffekter samt synergieffekter för ozon och GAK utnyttjas för att nå en effektivare process. För ozonsystemet innebär detta upp till cirka 70 % vinster i effektivitet för boosterpump och syregenerering.

Uppskalningen av GAK-filterbehandlingen kommer inte att medföra samma typ av energieffektivitetsvinster. På grund av positiva synergieffekter när de används i kombination med ozon skulle dock den erforderliga kontakttiden för GAK-filtret potentiellt kunna minska med cirka 40 %, vilket skulle kunna leda till en minskning av 40 % när det kommer till materialrelaterade kostnader för GAK-filtret.

Efter redovisning av effektivitetsvinster till följd av uppskalning och synergieffekter kan värdena i tabell 13 ovan justeras till de värden som presenteras i tabell 14 nedan.

Tabell 14. Justerade nyckeltal efter positiva skalnings- och synergieffekter mellan ozonering och GAK-behandling.

Nyckeltal	Värde	Enhet
Genomsnittlig API-reduktion genom ozonering	85	%
Ozonering + GAK genomsnittlig API-reduktion	99.9	%
Energiförbrukning för ozonsystemet per behandlad kubikmeter vatten	0,08*	kWh/m ³
Ozonsystemets energiförbrukning per mg reducerat API	0,0026**	kWh/mg API
Total årlig reduktion av API-massa med endast ozon	42,8**	Kg
Total årlig reduktion av API-massa med ozon + GAK	50,9**	Kg
Kostnader för driftsmaterial till GAK per behandlad kubikmeter vatten	0.022	EUR/m ³
GAK-driftsmaterialrelaterade kostnader per behandlad kubikmeter vatten vid inkludering av ozonförbehandling	0,013***	EUR/m ³

* Observera att energiförbrukningen inte tar hänsyn till reduceringsgraden. Endast energi som förbrukas per volym behandlat vatten.

** Observera att detta värde endast återspeglar de 101 uppmätta föreningarna av potentiellt tusentals andra API-arter som finns i avloppsvatten. De totala massutsläppen av API:er kommer sannolikt att stå för 3-5 gånger högre mängder.

*** Detta värde återspeglar förhållandena i pilotskalan där cirka 40 % organiskt innehåll kan avlägsnas genom förbehandling av ozon.

En fullskalig process skulle leda till månatliga driftskostnader (för ozonering och GAK-behandling) omkring 4 410 euro enligt uppgifterna i tabell 14 ovan. Att dela upp denna kostnad jämnt över de cirka 50 000 invånarna i Lojo skulle leda till en månatlig driftskostnad på cirka 0,09 euro per invånare. Denna kostnad skulle kunna mildra de oöverskådliga miljöeffekter som orsakas av de hundratal kilo (uppskattade) API-er som årligen släpps ut från avloppsreningsverket i Pitkäniemi.

6. Slutsatser och rekommendationer

I detta avsnitt presenteras en sammanfattning av denna studie samt generella slutsatser och rekommendationer för det framtida arbetet.

6.1. Betydande utsläpp av avlopps-API från Avloppsreningsverk i Pitkämäki

Man kan dra slutsatsen att totalt API-innehåll som släpps ut från Pitkämäki avloppsreningsverk är över 10 000 ng/L. Detta inkluderar endast mätning av 101 substanser av de tusentals olika API-substanser som finns i samhället. Därför kan den faktiska koncentrationen av totalt utsläppt API-innehåll förväntas ligga i intervallet 3 – 5 gånger högre. Det motsvarar cirka 150 – 250 kg API-innehåll årligen som släpps ut till recipient från avloppsreningsverket i Lojo.

6.2. Hög reduktion möjlig

De interna pilotförsöken såväl som pilotförsöken på plats visade en hög potential hos de utvärderade reningsteknikerna ozonering och GAK-filtrering för att reducera API:er i mycket hög utsträckning. Över 90 % reduktion uppnåddes efter ozonering och över 99 % reduktion efter GAK-behandlingen.

Resultaten bekräftar de potentiella fördelarna med att använda ozon i kombination med GAK där ozonering skulle fungera som en förbehandling, vilket effektivt tar bort majoriteten av API samtidigt som GAK-behandling införs som ett slutpoleringssteg för att ta bort kvarvarande API-innehåll.

6.3. Uppskalning och kostnadseffektivitet

De utvärderade reningsteknikerna ozonering och GAK-filtrering för reduktion av API-innehåll skulle fungera som en effektiv kombination vid uppskalning och implementering av en fullskalig anläggning för läkemedelsrening. Uppskattade driftskostnader skulle uppgå till månatliga kostnader på cirka 4 410 euro, motsvarande cirka 0,09 euro per capita. I slutändan skulle en fullskalig process dra nytta av att använda en kombination av ozonering och GAK för att nå en mer kostnadseffektiv process samtidigt som man uppnår hög reduktion av API-halter.

Med ständigt ökande regulatoriska krav på avloppsvattnets kvalitet rekommenderas att man börjar planera för åtgärder för att genomföra fullskalig API-rening.

7. Referenser

- Kellner, M. (2017). *Selective serotonin re-uptake inhibitors in the environment - Effects of citalopram on fish behavior*. Södertörn: Södertörn University.
- LUVY. (2022, June 14). *Lojo-området grundvatten är av god kvalitet*. From LUVY: <https://www.luvy.fi/sv/lojo-omradets-grundvatten-ar-av-god-kvalitet/>
- Miljöministeriet. (den 14 Juni 2022). *Vattenskyddsprogrammet*. Hämtat från Miljöministeriet: <http://www.luvy.fi/se/huvudsida/nyheter/?a=viewItem&itemid=1713>
- Svahn, O., & Erland, B. (2017). *LUSKA Läkemedelsutsläpp från Skånska Avloppsreningsverk*. Kristianstad: Kristianstad University.
- Tierps Energi & Miljö AB. (2020). *Implementering av fullskalig läkemedelsrening vid Tierps reningsverk*. Tierp: Tierps Energi & Miljö AB.
- Von Sonntag, C., & Von Gunten, U. (2012). *Chemistry of Ozone in Water and Wastewater Treatment 2012*. IWA Publishing.
- Wikipedia. (2022, June 14). *Karta över Lojo sjö och Svartån*. From Wikipedia: https://sv.wikipedia.org/wiki/Lojo_sj%C3%B6#/media/Fil:LA2-Svartan_Nyland.png

8. Bilaga 1 – Uppmätta API:er och LOQ:er

API	Loq	API	Loq	API	Loq
Alfuzosin	4	Donepezil	7.5	Oxytetracyklin	10
Alprazolam	20	Duloxetin	2	Paracetamol	30
Amiodaron	30	Eprosartan	15	Paroxetin	10
Amytriptylin	10	Fenofibrat	20	Perfenazin	20
Atenolol	15	Fexofenadin	10	Pizotifen	2
Atorvastatin	10	Finasterid	20	Prometazin	15
Atrakurium	4	Flecainid	1.5	Ranitadin	20
Azelastin	2	Flukonazol	7.5	Repaglinide	2
Biperiden	3	Flunitrazepam	10	Risperidon	4
Bisoprolol	3	Fluoxetin	7.5	Rosuvastatin	20
Bromokriptin	15	Flupentixol	10	Roxitromycin	15
Budesonid	20	Flufenazin	10	Sertralin	10
Buprenorfin	20	Flutamid	10	Sotalol	15
Bupropion	3	Glibenklamid	20	Sulfametoxazol	15
Karbamazepin	7.5	Glimepirid	20	Tamoxifen	5
Klorpromazin	10	Haloperidol	3	Telmisartan	10
Klorprotixen	10	Hydroxizin	3	Terbutalin	3
Cilazapril	2	Irbesartan	3	Tetracyklin	20
Ciprofloxacin	10	Ketokonazol	45	Tramadol	15
Citalopram	15	Levomepromazin	20	Trihexifenidyl	3
Klaritromycin	3	Loperamid	2	Trimetoprim	3
Clemastine	2	Maprotilin	15	Venlafaxin	20
Klindamycin	3	Meklozozin	10	Verapamil	10
Klomipramin	2	Memantin	3	Zolpidem	3
Klonazepam	10	Metoprolol	15	Azitromycin	40
Clotrimazol	10	Mianserin	3	Beclomethazone	80
Kodein	15	Mikonazol	10	Dipyridamol	3
Cyproheptadin	7.5	Mirtazapin	15	Erytromycin	20
Desloratidin	15	Naloxon	2	Felodipin	20
Diklofenak	10	Nefazodon	2	Koffein	20
Dicyklobolin	10	Norfloxacin	20	Propranolol	20
Dihydroergotamin	15	Ofloxacin	3	Ceterizine	15
Diltiazem	1.5	Orfenadrin	3	Losartan	10
Difenhydramin	4	Oxazepam	10		