

RE: SOURCE

Slutrapport för projekt

Atium - Ny hållbar teknik för rening av vatten från tungmetaller

Projektperiod: Oktober 2018 till oktober 2019

Projektnummer: 46129-1

Diarienummer: 2018-002161

Med stöd från

VINNOVA
Sveriges innovationsmyndighet

 **Energimyndigheten**

FORMAS 

**Strategiska
innovations-
program**

Datum
2019-10-31

Dnr
2018-002161

Projektnr
46129-1

Titel på projektet – svenska Atium - Ny hållbar teknik för rening av vatten från tungmetaller
Titel på projektet – engelska Atium - Sustainable method for removing heavy metals from water
Universitet/högskola/företag Atium AB
Adress Stena Center 1A-D, 412 92 Göteborg
Namn på projektledare Johan Björkquist
Namn på ev övriga projektdeltagare Emma Ericson, Björn Wickman
Nyckelord: 5-7 st Vattenrening, tungmetaller, kvicksilver, elektrokemi, genomförbarhetsstudie

Med stöd från

VINNOVA
Sveriges innovationsmyndighet

 **Energimyndigheten**

FORMAS 

**Strategiska
innovations-
program**

Förord

Detta projektet är finansierat av RE:Source och startupet Atium. Projektet har även fått hjälp från Chalmers genom tillgång till labbutrustning och utförande av labbtester samt analyser. Genom stöd från företag inom tandvården, klor-alkaliindustrin samt gruvindustrin har projektet fått tillgång till värdefulla vattenprover samt kunskap kring dagens vattenrening och behovet på marknaden. Konsultbolagen IMCG och Consat har varit till stor hjälp genom framtagande av marknadsanalys samt design av testplattform.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	5
Summary	6
Inledning och bakgrund	7
Genomförande	8
Resultat och diskussion	9
Slutsatser, nyttiggörande och nästa steg	17
Publikationslista	18
Projektkommunikation	18
Referenser	19

Sammanfattning

Enligt världshälsoorganisationen, WHO, är kvicksilver ett utav de hälsofarligaste ämnena för människor. Det skadar de centrala nervsystemet och utvecklingen av hjärnan, vilket gör det särskilt farligt för barn och gravida kvinnor. Giftiga föroreningar i form av tungmetaller är också en stor bidragande orsak till att rent vatten är en av de största samhällsutmaningarna som världen står inför. I det här projektet har startupbolaget Atium vidareutvecklat en ny innovativ lösning för att effektivt rena vatten från kvicksilver. Den patentsökta tekniken bygger på elektrokemi och är ett resultat av flera års forskning från Chalmers tekniska högskola.

I projektet har en analys av den globala marknaden för vattenrening av kvicksilver tagits fram, applikationsområden har identifierats och genom utförliga labbtester har teknikens prestanda undersökts i olika industriella vatten. Utifrån analysen av marknaden samt tester av tekniken i labb har två intressanta behovsägare identifierats; tandvården och klor-alkaliindustrin. Goda resultat från tester av tekniken i labb på dessa industriella applikationer har uppnåtts varpå samarbeten med behovsägare i de respektive områdena har skapats. Till sist har även en bra testplattform tagits fram där flödesmodeller har kunnat testas med olika elektrodmaterial. Resultat från testplattformen har visat att det är tekniskt möjligt att hantera vattenflöden från både tandvården och klor-alkaliindustrin med hög prestanda vilket ger goda möjligheter till vidare utveckling av produkter anpassade för dessa behovsägare, men även inom andra applikationsområden såsom gruvindustrin och dricksvattenrening.

Från resultaten i detta projekt kommer vidare utveckling kunna ske av innovationen för att möjliggöra effektiv rening av vatten från kvicksilver med minskade mängder farligt avfall. Vidare samarbete kommer ske med behovsägare och prototyper för tandvården och klor-alkaliindustrin kommer utvecklas. Utifrån resultaten kommer pilotprojekt kunna skissas fram tillsammans med både tandvården och klor-alkaliindustri.

Nästa steg är att utveckla en prototyp för tandvården och testa den i skarpt läge i pilotprojekt, för att så snabbt som möjligt kunna lansera en produkt på marknaden. Lösningen för tandvården är relativt enkel jämfört med mer industriella applikationer, vilket möjliggör en snabb marknadsintroduktion och låter Atium skapa momentum för att på lång sikt leverera i större skala.

Det långsiktiga målet är att kunna erbjuda en teknik som på ett ekonomiskt och hållbart sätt kan komma ner i lägre koncentrationer och möjliggöra för industrier att minska sina utsläpp, minska mängden farligt avfall och förbättra vattenkvaliteten både i Sverige och globalt. Det har visat att den återanvändningsbara lösningen som utvecklats och testats med stor sannolikhet kan byta ut metoder baserade på kemikalier eller förbrukningsvaror, som till exempel kolfilter.

Summary

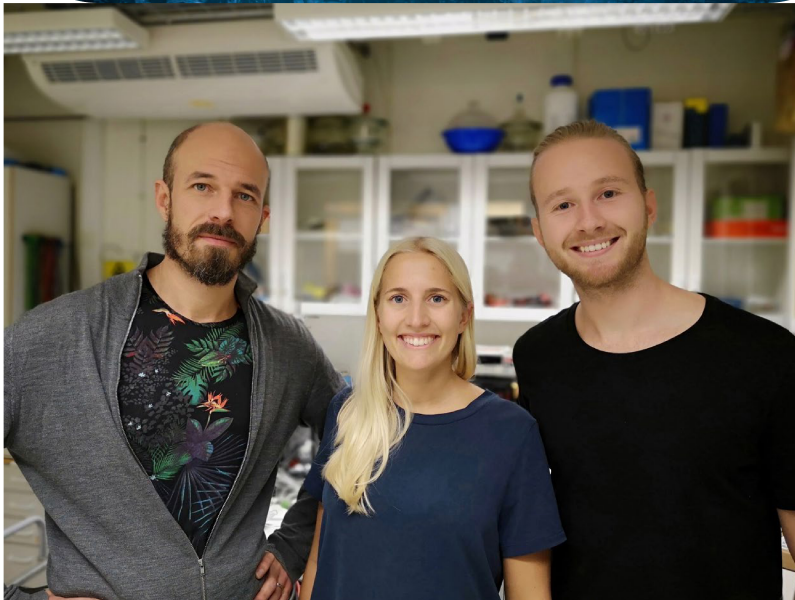
According to the World Health Organization, WHO, mercury is one of the most toxic substances to human health. It damages the central nervous system and the development of the brain, making it especially harmful for children and pregnant women. Toxic pollutants in the form of heavy metals are also a major contributing factor to why clean water is one of the biggest societal challenges facing the world. In this project, the startup company Atium has further developed a new innovative solution to effectively purify water from mercury. The patent-pending technology is based on electrochemistry and is the result of several years of research from Chalmers University of Technology.

In this project, an analysis of the global market for water purification of mercury has been produced, application areas have been identified and through extensive lab tests the technology's performance has been investigated in various industrial waters. Based on the analysis of the market and tests of the technology in the lab, two interesting industries have been identified; dental care and the chlor-alkali industry. Good results from tests of the technology in the lab on these industrial applications have been achieved, whereupon collaborations with industry partners in the respective areas have been established. Finally, a good test platform has been developed where flow models have been tested with different electrode materials. Results from the test platform have shown that it is technically possible to manage water flows from both the dental and chlor-alkali industries with high performance, which provides good opportunities for further development of products adapted to these industries, but also in other application areas such as the mining industry and drinking water treatment.

From the result of this project, further product development of the innovation will be possible to enable efficient purification of water from mercury with reduced amounts of hazardous waste. Further collaboration will take place with industry partners, and prototypes for the dental care and the chlor-alkali industry will be developed. Based on the results, pilot projects can be outlined together with both the dental care and the chlor-alkali industry.

The next step is to develop a prototype for dental care and test it in sharp conditions in pilot projects, in order to be able to launch a product on the market as quickly as possible. The solution for dental care is relatively simple compared to more industrial applications, which enables a rapid market introduction and allows Atium to create momentum for long-term delivery on a larger scale.

The long-term goal is to be able to offer a technology that can economically and sustainably lower the concentrations of mercury and enable industries to reduce their emissions, reduce the amount of hazardous waste and improve water quality both in Sweden and globally. It has been shown in this project that the innovation that has been developed and tested is very likely to be able to replace methods used today that are based on chemicals or consumables, such as carbon filters.



Inledning och bakgrund

Tungmetaller är ett stort miljöproblem som uppmärksammas mer och mer. Det initiala fokus med tekniken som vidareutvecklas i det här projektet är kring tungmetallen kvicksilver då det både är ett stort problem och väldigt uppmärksammat just nu. Kvicksilver är ett utav de tio giftigaste ämnena för mänsklig hälsa enligt världshälsoorganisationen, WHO (WHO, 2017). Kvicksilver är ett grundämne som inte kan brytas ned utan lagras i mark, vatten och levande organismer. Det är förbjudet att använda kvicksilver i många länder och sektorer men släpps fortfarande ut av flera olika industrier inom tex gruvnäring, kemikalieproduktion och från tandläkarkliniker. Kvicksilver drabbar bland annat nervsystemet och hjärnan och är därför speciellt farligt för barn samt gravida kvinnor, då det lätt överförs till fostret. Eftersom kvicksilver kan färdas lång väg via luft är kvicksilverförorening ett globalt problem och en stor bidragande orsak till förorenat vatten, och åtgärder mot kvicksilverutsläpp måste ske världen över. En studie av IPEN (Bell, 2017)

undersökte kvicksilvernivåerna i över tusen kvinnor i 25 av de mest påverkade länderna i världen. De fann att över 53% av kvinnor i fertil ålder hade så höga kvicksilvernivåer i kroppen att det hade varit direkt skadligt för fostret vid en graviditet. I Sverige rekommenderar Livsmedelsverket kvinnor i fertil ålder att inte äta ett flertal fiskarter oftare än 2-3 gånger per år. För att minska utsläpp av giftiga tungmetaller så arbetar organisationer såsom FN-konventionen Minamata Convention on Mercury för att striktare reglering kring utsläpp skall implementeras, för att sätta press på industrier att sanera sina process- och avloppsvatten på bättre sätt.

Behovsägare i form av industrier pressas hårt att förbättra både effektiviteten och hållbarheten av vattenrening, men även att sanera mark och vatten från gamla utsläpp som lagrats över många år. Miljösaneringsföretag, som använder mobila vattenreningslösningar, arbetar hårt med att rena mark och vatten kring gamla tandläkarmottagningar och industrier där just rening av vatten från kvicksilver är en stor flaskhals i deras projekt. För att uppnå målen om rent vatten (mål 6) så måste både utsläppen och nuvarande nivåer av tungmetaller i miljön minskas. I detta projektet har vi vidarutvecklat en ny hållbar vattenreningsteknik som kan bidra till att dessa målen uppnås.

Genom att erbjuda en kostnadseffektiv lösning som på ett miljövänligt sätt kan rena vatten från låga koncentrationer kvicksilver så kan vår innovation bidra till minskade utsläpp, ökad möjlighet till miljösanering samt lägre mängder sekundäravfall från vattenrening. Den patentsökta tekniken bygger på elektrokemi och är ett resultat av flera års forskning från Chalmers tekniska högskola. Jämfört med dagens metoder har den tre fördelar; 1. Den kan effektivt rena låga koncentrationer av tungmetaller från stora mängder vatten. 2. Den är selektiv vilket gör att den inte slösar kapacitet på ofarliga ämnen. 3. Tekniken är hållbar då den är kemikaliefri, återanvändningsbar, inte kräver några förbrukningsvaror, har en väldigt låg energiförbrukning och minskar mängden sekundärt avfall.

Målet är att vår teknik ska kunna bidra till högre standard på de tekniker som används i Sverige och internationellt för hantering av avfall innehållande kvicksilver. Syftet är att utveckla och implementera tekniken brett i många applikationsområden, för att på ett hållbart sätt minska utsläppen, öka möjligheterna till miljösanering och förbättra vattenkvalitén. Innovationen kommer bidra till mål 3, 6, 9 och 12 av de globala målen och vi tror att den även kan bidra till en policypåverkan för högre kvar på rening av avloppsvatten från kvicksilver.

Genomförande

AP 1. Identifiering av applikationsområden har skett i samarbete med en extern konsult, IMCG, som har kunskap och erfarenhet inom marknaden för vattenrening, samt ett brett nätverk inom många industriella branscher. IMCG genomförde en utförlig marknadsanalys för innovationen i syfte att identifiera applikationsområden med fokus på vidare teknikutveckling. För att förenkla och effektivisera IMCG's arbete hade Emma och Johan från Atium utförliga diskussioner med IMCG under två möten samt tog fram relevant material på det som tidigare gjorts i bolaget som kunde komma till användning för IMCG's arbete.

Atium har varit i kontakt med ett flertal olika kunder och potentiella behovsägare från relevanta segment och testat hypoteser kring nyttiggörande och möjligheter med tekniken genom möten,

mässor och mail. Parallellt med detta har labbtester genomförts på Chalmers, genom Björn Wickman, för att mäta teknikens prestanda, detta för att tydliggöra vilka applikationsområden där tekniken har potential att göra skillnad.

AP 2. Analys av resultaten från AP 1 med hänsyn till teknikens generella potential för att ta reda på vilka applikationsområden som kan ha störst nytta av tekniken och där det finns en tydlig efterfrågan från kunder. AP 2 har genomförts av Emma och Johan.

AP 3. Kontakter har knutits med potentiella testpartners, beslutstagare och specialister inom vattenrening. Diskussioner kring pilotprojekt har inlets och information för en kravspecifikation har samlats in. Detta har skett genom samtal kring vilka utmaningar som finns kring vattenreningsfrågan idag och vilka möjligheter som finns att minska kostnader, avfallsmängden samt öka effekten av vattenreningen genom implementering av tekniken. Emma och Johan från Atium har bland annat varit på mässor, event och besökt olika industrier.

AP 4. Framtagande av kravspecifikation för tekniken har skett genom nära kontakt mellan Atium och behovsägare. Teknikens potential har testas på verkliga vatten, hämtade från behovsägare, i labbmiljö på Chalmers. Teknikens potential har även utvärderats sett till dess förmåga att rena flödande vatten, en lösning baserad på befintliga produkter har testats samt en testplattform för skräddarsydda flödestester har utvecklats.

AP 5. Slutrapportering.

Resultat och diskussion

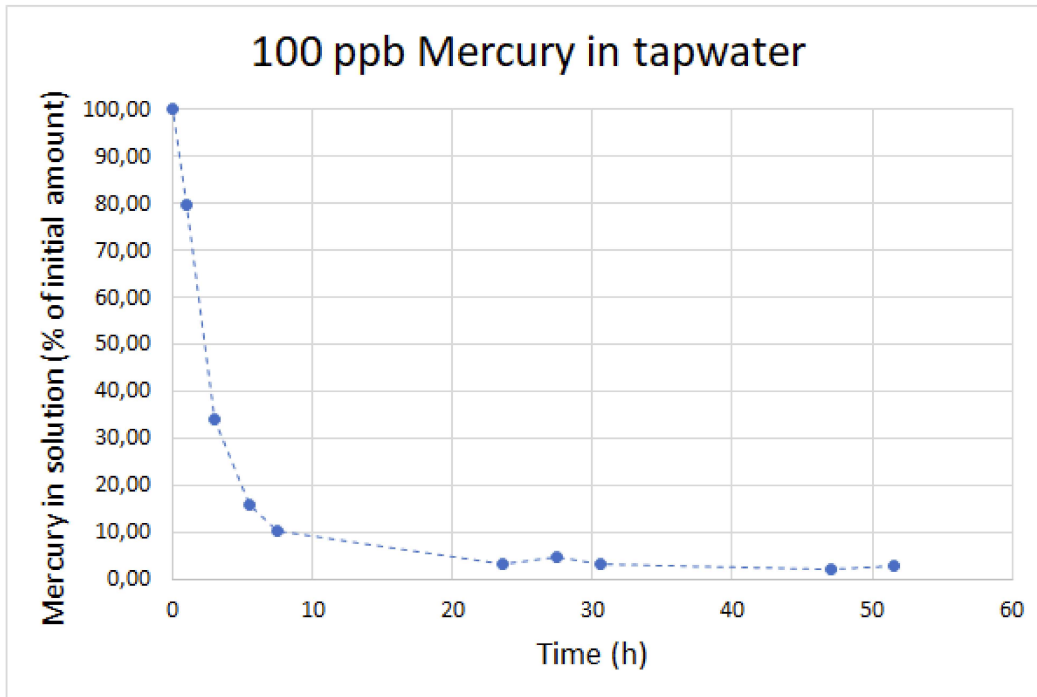
Resultat från AP1

Konsultfirman IMCG genomförde en generella analys av den globala marknaden för rening av vatten från kvicksilver och sammanfattade detta i en rapport till Atium. Från rapporten framkom att kvicksilverutsläpp främst kommer från småskalig guldindustri och kolförbränning. Det framkom även att behovet av vattenrening från just kvicksilver är stort inom tandvård, klor-alkalifabriker, svavelsyratillverkning och cementproduktion. Rapporten listar även information kring lagar och utsläpp vad gäller kvicksilver.

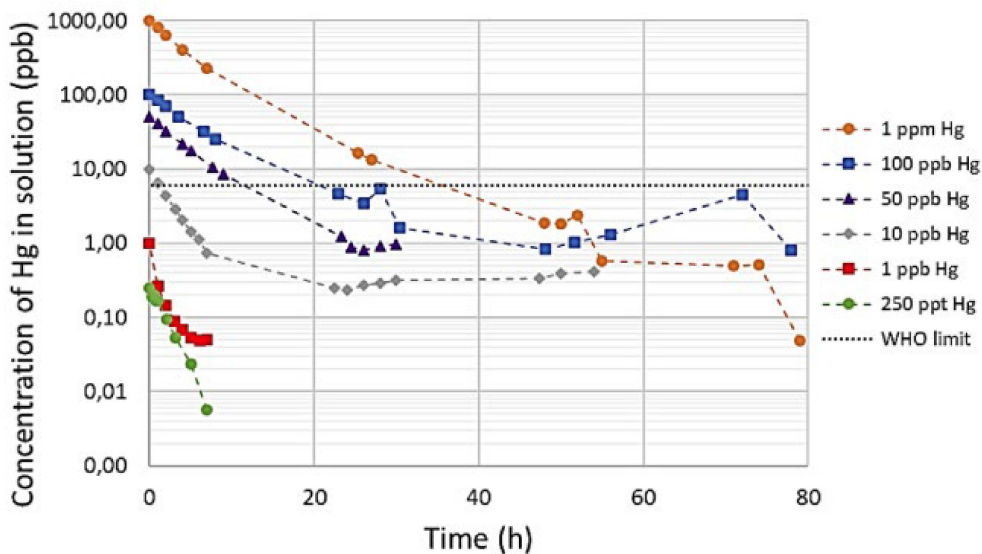
IMCG listade även de största konkurrenterna på den globala marknaden och konkurrerande tekniker. Till sist så sammanställdes och listades branschspecifika event och mässor. I bilaga finns hela rapporten från IMCG.

Från analysen av IMCG kunde Atium identifiera några applikationsområden och industrier där tekniken hade kunnat appliceras och göra skillnad; tandvård, klor-alkalifabriker, rökgaskondensat samt gruvinindustrin. Företag inom Sverige identifierades och därefter kunde relationer börja byggas med vissa av företagen för att initiera tester. Vad som tydligt framgick var att dagens lösningar domineras av metoder som bygger på förbrukningsvaror i form av kemikalier eller filter, som leder till stora mängder farligt avfall. Industrierna visade stort intresse för innovationen då den visade potential till att både sänka utsläppen av kvicksilver samt minska

avfallsmängden från vattenreningsprocessen, vilket är både en kostnad och miljöpåverkan som de gärna skulle eliminera. För att vidare testa teknikens potential genomfördes labbtester på verkliga vatten från ovan nämnda industrier. Labbtестerna genomfördes på Chalmers genom Björn Wickman med hjälp från en projektanställd, Emma Feldt. I nedan figurer, figur 1-5, visas resultat från några av de prover som genomfördes.

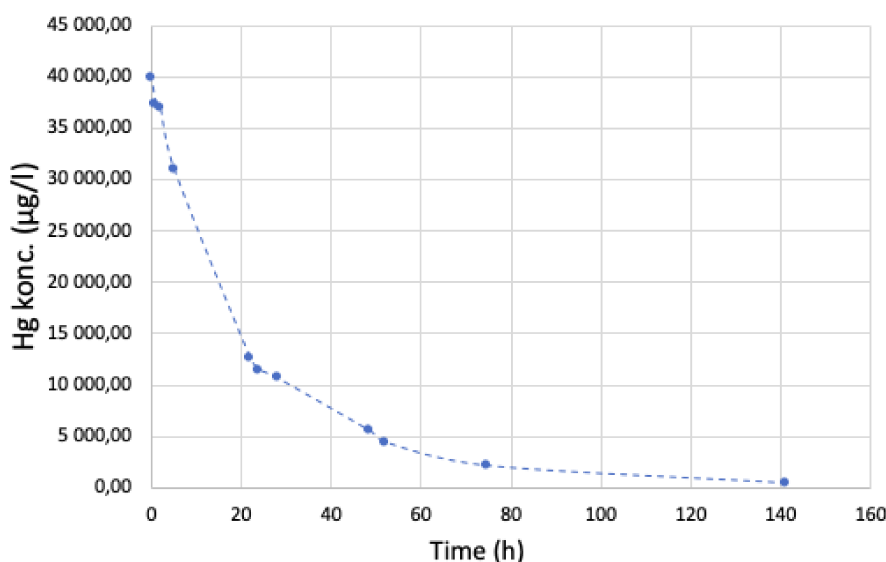


Figur 1. Tekniken testad i kranvatten innehållande en startkoncentration på 100 ppb kvicksilver. Efter mindre än 10h hade 90% av kvicksilvret tagits bort och totalt kunde >98% av kvicksilvret tas bort.



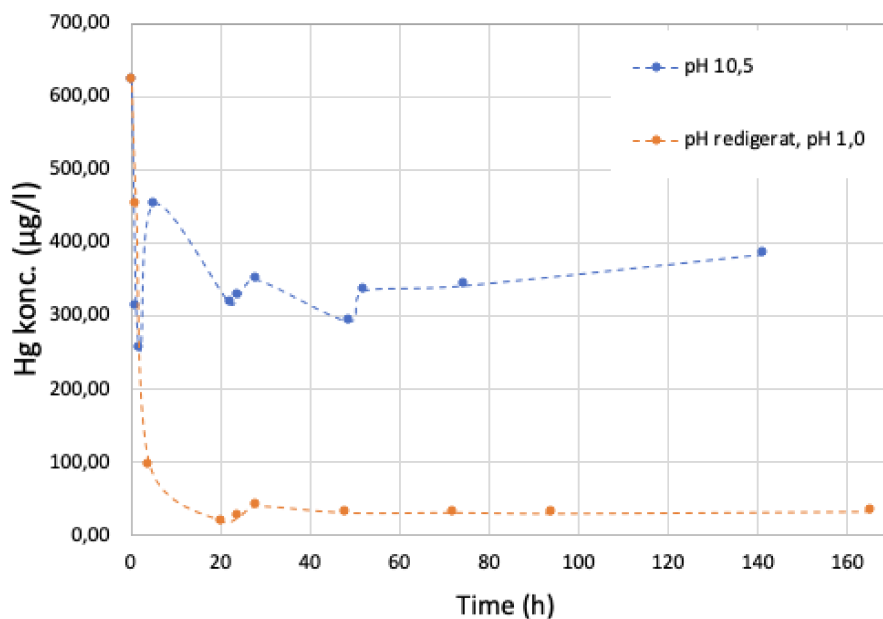
Figur 2. Test med varierade startkoncentrationer av kvicksilver i kranvatten. I alla tester kan tekniken rena ner till halter under gränsvärdet för dricksvatten satt av World Health Organisation, WHO.

Tester har genomförts på dricksvatten med olika startkoncentrationer av kvicksilver med lovande resultat. I figur 1 och 2 visas grafer där man kan se att tekniken kan rena >98% från initialkoncentrationer av kvicksilver. Dessa resultat kan användas som start för att visa applicerbarheten av tekniken inom tandvården där vattnet är liknande. Vattenprover från tandvårdskliniker testades även dessa, tyvärr innehöll de proverna från klinikerna inga eller för låga halter kvicksilver för att kunna analyseras. 15 nya prover har tagits från tandläkarkliniker som nu ska testas och analyseras som följd av projektet.



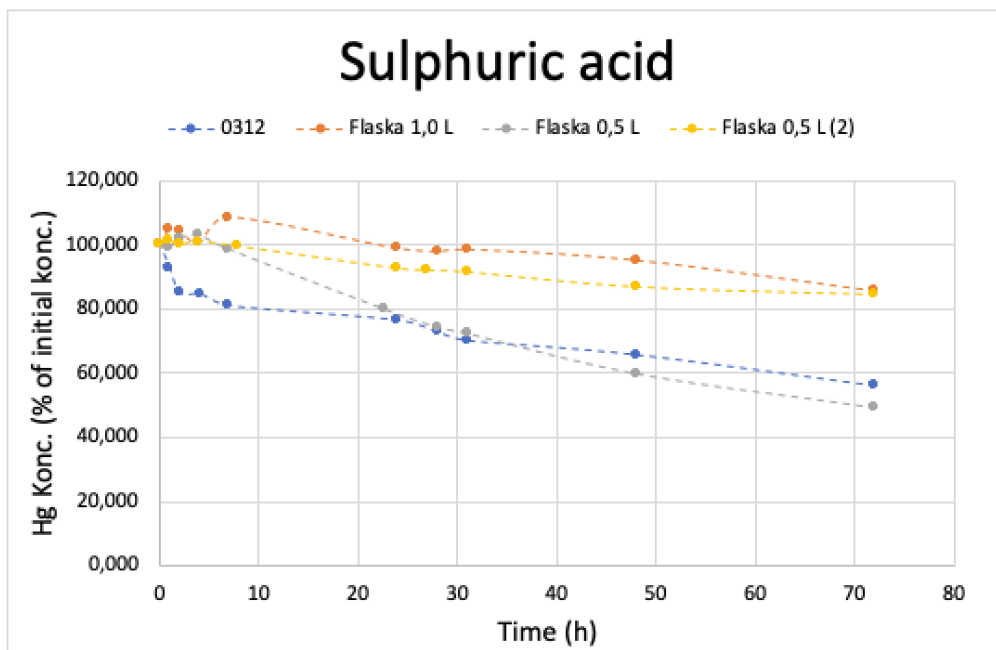
Figur 3. Tekniken testad i en syra-lösning från en klor-alkalifabrik med pH 1,7 och initialkoncentration på 40mg/l.

I figur 3 har tekniken testats i stark betsyra från en klor-alkalifabrik med höga halter kvicksilver. I labbtest visas att tekniken kan ta bort så gott som allt kvicksilver utan problem.



Figur 4. Test av tekniken med vattenprov från vattenrening hos en klor-alkalifabrik. Genom pH justering kan >98% av kvicksilvret tas bort.

I figur 4 visas labbttest där tekniken är testad i vattenprover från vattenreningssteg hos en klor-alkalifabrik. Initialt var pH relativt högt, pH10,5. Vid höga pH tenderar kvicksilvret att binda sig till partiklar och det blir då svårt att fånga kvicksilverjoner. När vi däremot justerar pH till 1 kan så gott som allt kvicksilver renas ur lösningen.



Figur 5. Test av tekniken i koncentrerad svavelsyra från smältverk, >50% av kvicksilvret tas bort.

Initiala tester har även genomförts på koncentrerad svavelsyra från smältverk. I de första testerna kunde kring 50% av kvicksilvret tas bort från lösningen. Ytterligare tester genomförs i labb nu för att försöka uppnå samma resultat som visats tidigare med >98% rening. En möjlig anledning till att inte mer kvicksilver tas bort i testet ovan är det låga pH:t, svavelsyralösningen hade ett negativt pH vilket eventuellt kan påverka processen.

Resultat från AP2

Efter genomförda labbtester på flera olika typer av vatten där Atium testat teknikens potential kunde två applikationsområden identifieras där tekniken visats fungera i labbtester, och där det finns tydlig efterfrågan efter ny vattenreningsteknik för att säkerställa rent vatten och samtidigt minska mängden avfall. Dessa applikationsområden är tandvården och klor-alkalifabriker.

Inom tandvården finns idag lagkrav på att kliniker måste använda så kallade amalgamavskiljare för att fånga upp kvicksilver från amalgamlagningar. Dessa bygger idag på sedimentering och fångar därför endast upp kvicksilverpartiklar, medans kvicksilver som löst sig i vatten rinner rakt igenom och ut i våra avlopp. I EU projektet Hg-rid LIFE samarbetar IVL, Sweden Recycling och praktikertjänst med att undersöka tandvårdens utsläpp av kvicksilver och titta på möjligheter att minska utsläppen.

I klor-alkalifabriker har man i vissa fall använt kvicksilvermetoden för att framställa kemikalier. Det är nu förbjudet att använda kvicksilver i dessa processer men stora mängder kvicksilver finns fortfarande kvar i industrierna, kontaminerade verktyg, utrustning och mark. Fabrikerna behöver därför hantera höga koncentrationer kvicksilver i deras vattenrening, vilken idag ofta består av

sedimenteringstankar och aktiva kolfilter som genererar stora mängder avfall och har svårt att komma ner i låga koncentrationer.

Resultat från AP3

Efter att ha identifierat tandvården som ett potentiellt applikationsområde och genomfört framgångsrika tester på kontaminerat kranvatten så tog Atium kontakt med det EU-finansierade projektet Hg-Rid, som drevs av tandvårdsföretaget Praktikertjänst tillsammans med forskningsinstitutet IVL och Sweden Recycling som är Sveriges största leverantör av amalgamavskiljare och tillhörande service- och saneringstjänster. Projektet visade stort intresse för lösningen och Atium bjöds in till att ta möten med de respektive projektparterna, till att ta del av mätresultaten från IVL samt till att presentera lösningen på slutkonferensen som hölls under World Water Week i Stockholm i augusti. IVL och Sweden Recycling bidrog stort till kravspecifikationen genom kunskap om de förhållanden, utmaningar och behov som finns inom rening av amalgamrester från tandvården. Genom IVL's testresultat och Sweden Recyclings kunskap kring dagens teknik och hur innovationen skulle kunna komplettera dagens lösningar kunde ett koncept för ett framtida pilotprojekt börja diskuteras. Praktikertjänst kunde genom diskussioner också klargöra slutkundens perspektiv inom detta applikationsområde, och hur kliniker generellt sett gärna vill dra ner sina utsläpp men att kostnaden inte kan vara oskäligen. Det bidrog ytterligare till kravspecifikationen genom att ge en uppfattning kring kostnadsgräns för en färdig lösning. Ytterligare diskussioner med Sweden Recycling gav också insikt kring värdekedjan som följer vattenreningen, inklusive hantering av det kontaminerade avfallet och eventuell slutförvaring. Både Sweden Recycling och Praktikertjänst indikerade tidigt intresse för att delta i ett pilotprojekt för att testa innovationen som ett komplement till dagens amalgamavskiljare, för att även fånga upp de kvicksilverjoner som löst sig i vatten.

Inom ett andra applikationsområde där analysen identifierade stor potential, klor-alkaliindustri, så tog Atium kontakt med Inovyn, ett företag med en stor anläggning i Stenungssund. Inovyn tillverkar främst klor och lut och har under många år använt en process som utnyttjar kvicksilver. De är nu i startskedet av ett långt saneringsprojekt för att rena mark, vatten och utrustning på anläggningen från kvicksilver, då de övergått till en metod som inte längre kräver kvicksilver. Efter ett initialt möte där Atium presenterade innovationen och Björn Wickman presenterade forskningen bakom, så visade Inovyn ett stort intresse för att testa tekniken inom tre områden av deras saneringsarbete. Vidare diskussioner och besök på anläggningen har lett till diskussioner kring pilotprojekt samt tester på relevanta vatten. De ser en stor potential att både minska behovet av giftiga kemikalier och förbrukningsbara kolfilter genom implementering av Atiums innovation.

Utöver dessa två segment så har Atium även diskuterat behovet med ett Svenskt gruvbolag som visat stort intresse för att genomföra tester i syfte att undersöka teknisk genomförbarhet inom svavelsyratillverkning. Atium kom i kontakt med gruvbolaget genom ett matchmakingevent på Bergforsk och STRIM-dagarna 2019. Atium har också kommit i kontakt med EIT RawMaterials som kunnat bidra med mycket kontakter och kunskap inom gruvnäringen, samt inom hur man tar fram en attraktiv lösning för gruvsektorn. Genom att medverka vid ett antal events där startups matchas med större industrier och får coaching i att utveckla lösningar för industriella kunder, så

har Atium fått ytterligare kontaktytor för att verifiera behovet av tekniken samt den feedback som krävs för att ta fram en pålitlig kravspecifikation.

Resultat från AP4

Kravspecifikation för tekniken har tagits fram genom interaktion med behovsägare. Då de två identifierade applikationsområdena, tandvården och klor-alkaliindustri, skiljer sig stort i form av vattenreningsbehov togs två kravspecifikationer fram.

För tandvården kunde följande krav identifieras:

Krav	
Vattenflöde	3-10 l/min (ca 400 l/dag)
Koncentration Hg	200 - 500 µg/l
Storlek	max 16x18x45 cm
Livslängd	helst över 1 år
Partikelstorlek på inkommande vatten	max 2mm
Kostnad	max 5000kr/produkt

Vattnet som ska renas i tandvården är relativt rent med neutralt pH och kan liknas vid kravvatten men med högre halter kvicksilver. Viktigt inom tandvården är att 1. det får absolut inte bli stopp för då påverkas hela klinikens arbete, 2. det är oftast ganska begränsat med utrymme för produkten, 3. idag byts amalgamavskiljarna ut ungefär en gång per år och det är bra om man kan hålla liknande serviceintervall.

För klor-alkaliindustrin kunde följande krav identifieras:

Krav	
Vattenflöde	2-5 kubik/h (ca 50 kubik/dygn)
Koncentration Hg	varierar, ca 600µg/l. Krav utsläpp <5µg/l (max 0,5 kg/år)
Livslängd	Kontinuerligt flöde, få fabriksstopp/år (helst inga)
pH	1-14
Kostnad	pågående diskussion

I klor-alkalifabriker rör det sig om betydligt större vattenflöden som ska renas och även högre koncentrationer kvicksilver. Det viktigaste för fabriken är att klara de gränsvärden som sätts av kommun och landsting på ett maxutsläpp av 5 µg/l. pH kan variera stort, allt från väldigt surt till basiskt något som måste tas hänsyn till i utformandet av produkten. Vattenreningen är idag en kontinuerlig process och fabriken vill helst göra så få driftstopp som möjligt vilket innebär att produkten måste kunna stå under än längre period. Atium håller idag på att diskutera kostnader kring deras befintlig vattenrening, som består av många många steg, och vilka moment innovationen hade kunnat ersätta och därefter uppskatta kostnader.

Inom båda applikationsområden så har labbtester genomförts för att påvisa innovationens potential, dessa kan ses under resultaten från AP 1. Vidare har interaktion med flera aktörer inom de olika applikationsområden visat att innovationen måste kunna hantera kontinuerliga vattenflöden för att vara praktiskt applicerbar. Initiala labbtester på Chalmers gjordes på vattenprover i bägare, ofta i storleken 50ml, så kallade batch-experiment.

Då rening av flödande vatten visat sig vara ett krav undersökte Atium hur innovationen kunde anpassas för detta. Genom litteraturgranskning och diskussioner med experter inom elektrokemisk vattenrening så hittade en befintlig lösning som eventuellt kunde anpassas och kombineras med innovationen för att hantera vattenflöden. Atium köpte in en anpassad variant av en filterpressreaktor, se Bild 1, och genomförde tester i labbet, se Bild 2, för att undersöka innovationens prestanda när den kombineras med en konventionell reaktordesign. Tester visade att innovationen, när den applicerades i denna reaktortyp, presterade under önskad nivå. Tekniken kunde som bäst avlägsna ~30% av det kvicksilver som fanns i vattenflödet och detta endast när flödet hölls på en väldigt låg nivå.

Därefter gjordes grundlig sökning på möjliga elektrodmaterial som hade kunnat användas i en flödesreaktor för att uppnå motsvarande rening som i batch-experimenten. Flera olika former av elektrodmaterial köptes in och testades i labbet och när ett lovande material funnits så började en plattform att designas för att testa materialet på flödande vatten. Då den konventionella filterpressreaktorn inte fungerade så bra som önskat så designades en testplattform som till stor del var baserad på konventionella reaktordesigner, men där olika elektrodmaterial kan testas i varierande skala. Konsultbolaget Consat anlätades för att hjälpa till med designen av testplattformen och framgångsrika tester genomfördes sedan i labbmiljö på Chalmers. Resultaten visade att elektrodmaterial som identifierats motsvarade förväntningarna och att flödesmodellen som testplattformen använde gav betydligt bättre resultat än den som filterpressreaktorn använder. Testerna har gett en stark indikation till att det är tekniskt genomförbart att behandla vattenflödena inom både tandvården och klor-alkaliindustrin med tillräcklig prestanda utan att reaktorn behöver vara för stor.

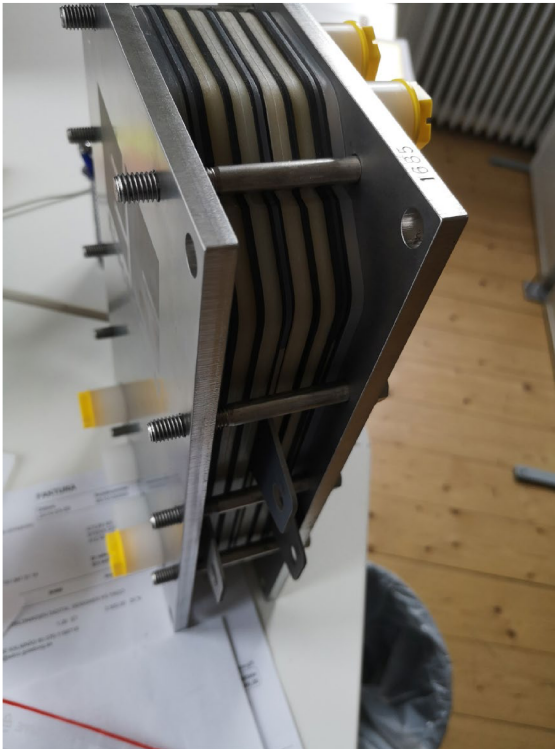


Bild 1. Filterpressreaktor.

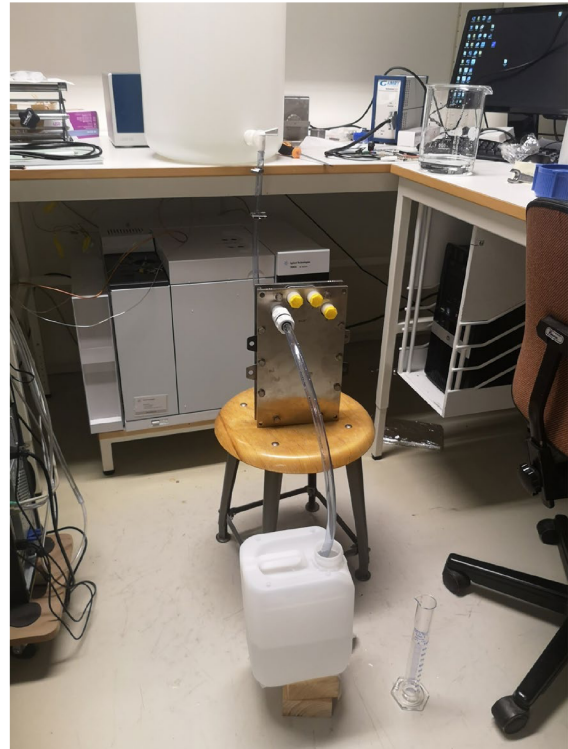


Bild 2. Tester i labb med filterpressreaktorn.

Slutsatser, nyttiggörande och nästa steg

I projektet har en analys av den globala marknaden för vattenrening av kvicksilver tagits fram, applikationsområden har identifierats och genom utförliga labbtester har teknikens prestanda undersökts i olika industriella vatten. Utifrån analysen av marknaden samt tester av tekniken i labb kunde två intressanta behovsägare identifieras; tandvården och klor-alkaliindustrin. Goda resultat från tester av tekniken i labb på dessa industriella applikationer har uppnåtts varpå samarbeten med behovsägare i de respektive områdena har kunnat skapas. Genom möten, events och samarbeten med nyckelpersoner med kunskap inom de olika applikationsområdena har två kravspecifikationer kunnat tas fram som kommer ligga till grund för fortsatt utvecklingsarbete av tekniken, och framtagandet av en produkt anpassad efter behoven hos tandvården och klor-alkaliindustrin. Till sist har även en bra testplattform tagits fram där flödesmodeller har kunnat testas med olika elektrodmaterial. Resultat från testplattformen har visat att det är tekniskt möjligt att hantera vattenflöden från både tandvården och klor-alkaliindustrin med hög prestanda vilket ger goda möjligheter till vidare utveckling av produkter anpassade för dessa behovsägare, men även inom andra applikationsområden såsom gruvindustrin och dricksvattenrening.

Från resultaten i detta projekt kommer vidare utveckling kunna ske av innovationen för att möjliggöra effektiv rening av vatten från kvicksilver med minskade mängder farligt avfall. Vidare samarbete kommer ske med de behovsägare som har identifierats genom detta projekt och

prototyper för tandvården och klor-alkaliindustrin kommer utvecklas. Utifrån resultaten kommer pilotprojekt kunna skissas fram tillsammans med både tandvården och klor-alkaliindustri. Från projektet har också utmaningar identifieras kring bland annat vattenflöde och elektrodmaterial, något som kommer arbetas vidare med för att uppnå optimala förhållanden för tekniken. Nästa steg är att utveckla en prototyp för tandvården och testa den i skarpt läge i pilotprojekt, för att så snabbt som möjligt kunna lansera en produkt på marknaden. Lösningen för tandvården är relativt enkel jämfört med mer industriella applikationer, vilket möjliggör en snabb marknadsintroduktion och låter Atium skapa momentum för att på lång sikt leverera i större skala.

Det långsiktiga målet är att kunna erbjuda en teknik som på ett ekonomiskt och hållbart sätt kan komma ner i lägre koncentrationer och möjliggöra för industrier att minska sina utsläpp, minska mängden farligt avfall och förbättra vattenkvaliteten både i Sverige och globalt. Det har visats att den återanvändningsbara lösningen som utvecklats och testats med stor sannolikhet kan byta ut metoder baserade på kemikalier eller förbrukningsvaror, som till exempel kolfilter. Lösningen för tandvården är även högst överförbar till rening av dricksvatten, då det i båda fallen rör sig om relativt rent vatten med små mängder fritt kvicksilver i, likväl kan lösningen för kloralkaliindustrin troligen appliceras i industrier med liknande vattenströmmar såsom gruvindustrin. Så resultaten kan alltså ha en stor inverkan på utsläpp, avfallsgenerering, hälsa och miljö i områden som inte är direkt undersökta inom projektet.

Publikationslista

Parallellt med projektet så har två forskningsartiklar publicerats kring innovationen, en av dem i Nature Communications som fick enorm spridning, både i nationell och internationell media. Resultaten från projektet har kontinuerligt spridits till behovsägare och samarbetspartners för att påvisa hur innovationen utvecklas och närmar sig ett prototypstadium. Projektet har även möjliggjort deltagande i en rad events som resulterat i mycket uppmärksamhet och spridning av innovationen samt vad den kan bidra med, inom nätverk som fokuserar på innovation och miljö.

Tunsu, C., & Wickman, B. (2018). Effective removal of mercury from aqueous streams via electrochemical alloy formation on platinum. *Nature communications*, 9(1), 4876.

Ytterligare en artikel har publicerats i maj i år i Industrial & Engineering Chemistry Research, där andra elektrodmaterial för processen testas.

Bengtsson, M. K., Tunsu, C., & Wickman, B. (2019). Decontamination of mercury-containing aqueous streams by electrochemical alloy formation on copper. *Industrial & Engineering Chemistry Research*.

Projektkommunikation

Atium har varit på fler mässor och events och presenterat tekniken, bland annat har Atium varit på Bergforsk- och STRIMdagarna i Luleå, VA-mässan på Elmia, World Water Week i Stockholm, WIN WIN möte i Malmö och Water and Wastemässan i Göteborg. Från dessa event har Atium skapat goda kontakter och nätverk inom olika brancher samt fått tillgång till värdefull kunskap kring prototyputveckling.

Referenser

1 WHO. 2017. *Mercury and health* <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health>

2 Bell, Lee. 2017. *Ipen* <https://ipen.org/site/mercury-women-child-bearing-age-25-countries>