

# RE: SOURCE

Slutrapport för projekt

---

## Cyanidfri utvinning/återvinning av guld ur elektronikavfall, gruvavfall och andra restprodukter

---

Projektperiod: februari 2020 till januari 2022  
Projektnummer: P49779-1

Med stöd från

**VINNOVA**  
Sveriges innovationsmyndighet

 **Energimyndigheten**

**FORMAS** 

**Strategiska  
innovations-  
program**

# Cyanidfri utvinning/återvinning av guld ur elektronikavfall, gruvavfall och andra restprodukter

## Cyanide-free extraction/recycling of gold from electronics-waste, mining-waste and other residues

Titel på projektet – svenska Cyanidfri utvinning/återvinning av guld ur elektronikavfall, gruvavfall och andra restprodukter
Titel på projektet – engelska Cyanide-free extraction/recycling of gold from electronics-waste, mining-waste and other residues
Universitet/högskola/företag Chromafora AB
Adress Banvaktsvägen 22
Namn på projektledare Karin Löfstrand
Namn på ev övriga projektdeltagare Peter Johansson, Johan Berg, Gustaf Aurelius, Gaston Lavén
Nyckelord: 5-7 st Guld, giftfri, utvinning, tiosulfat, Selmext

Med stöd från

## Förord

Chromafora AB är ett innovationsbolag med miljöteknik som kombinerar kemi och teknik för att utvinna metaller. I detta projekt ligger fokus på att göra guldutvinning mer säker och miljövänlig. Projektet har finansierats av Energimyndigheten via Re:Sources innovationsområde – hållbart materialnyttjande samt Chromafora själva. Projektet har utförts och styrts av Chromafora AB.

## Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	4
Summary .....	5
Inledning och bakgrund .....	6
Guldutvinning genom hydrometallurgi .....	6
Marknadspotential för en ny hydrometallurgisk guldprocess.....	7
Guldmarknaden i stort .....	7
Primära källor .....	7
Sekundära källor .....	8
Genomförande .....	10
Arbetspaket 1 – Inventering av guldhaltiga material i Sverige.....	10
Arbetspaket 2 – Metodanpassning till guldhaltigt material i laboratorieförsök ....	10
Arbetspaket 3 – Processdesign .....	10
Resultat och diskussion.....	11
Arbetspaket 1 - Inventering av guldhaltiga material i Sverige .....	11
Arbetspaket 2 – Metodanpassning till guldhaltigt material i laboratorieförsök ....	12
Lakningsresultat.....	12
Separation av guld och koppar.....	13
Utvinning av guld - cementering .....	13
Uppskalningsförsök .....	13
Ekonomisk potential .....	14
Arbetspaket 3 – Processdesign .....	14
Demonstrationsanläggning – pilotkoncept .....	14
Kostnadsuppskattning .....	16
Patent .....	17
Diskussion.....	17
Slutsatser, nyttiggörande och nästa steg .....	18
Slutsatser .....	18
Nyttiggörande .....	19
Nästa steg .....	20
Framåtblickande plan.....	20
Projektkommunikation.....	21
Referenser .....	21
Bilagor .....	22

## Sammanfattning



Figur 1: WEEE material till återvinning.

Guld utvinns nästan uteslutande med lakning och då används det giftiga ämnet cyanid. Chromaforas ambition är att använda och modernisera tiosulfatlakning, en gammal lagningsmetod med processmässiga utmaningar, och kombinera den med Chromaforas unika metallseparationsteknik, Selmext, för att skapa en miljövänligare lagningsmetod för guld.

I projektet har Chromafora samlat prover på olika typer av material från vårt samhälle innehållande guld. Källmaterialen har utgjorts av elektronikavfall (Figur 1), rester från sopförbränning och två typer av malmkoncentrat. Vi har knutit kontakter och samarbeten med relevanta partners och genom laboriestudier och bänkskalförsök visat att vi kan bemästra tiosulfatlakning, separera koppar från lakvätskan för att isolera guld och sedan utvinna guld.

Resultaten ger bilden av en ekonomiskt fördelaktig process som kan anpassas till alla hittills testade material och som har miljömässiga fördelar samt vissa intressanta konkurrensfördelar mot cyanid då processen kan byggas utan omfattande säkerhet och som små moduler som inte kräver bygglov.

Viktiga slutsatser är att det nu finns alternativ till giftig och miljöfarlig cyanidlakning som är ekonomiskt försvarbar. Utvinning och förädling av guld kan göras lokalt och på liten skala. Det kan utföras nära källan vid t.ex. återvinningscentralen, utan långa transporter till smältverk, och vår slutsats är att pilot/demo-anläggningen är tekniskt genomförbar.

Nästa steg i utvecklingen av Tiosulfat-Selmext blir att planera och genomföra en pilot/demo-tillsammans med någon av de företag som vi har samarbetat med inom detta projekt. Chromafora med konsortium avser att ansöka om bidrag i nästa möjliga

utlysningstillfälle. Målsättning är att bygga och genomföra en pilot som kan hantera 3–6 ton material per dag och köra processen kontinuerligt i flera månader för att inhämta kritisk processteknisk information. Samtidigt optimeras piloten för bästa prestanda och undersöks hur den kan göras än mer kostnadseffektiv. När pilotprojektet är klart ska det finnas möjlighet till patentering och tillräckligt med processerfarenhet att byggandet av en första anläggning i full skala är möjlig.

## Summary

Gold is extracted almost exclusively by leaching using the toxic substance cyanide. Chromafora's ambition is to utilize and modernize the thiosulphate leaching route, an old leaching method with several technical and chemical challenges and combine it with Chromafora's own metal separation technology Selmext. This creates a more environmentally friendly leaching methodology for gold.

Within this project, Chromafora has collected samples of different types of materials containing gold, both wastes and gold ore concentrate. During the project contacts and collaborations have been established with relevant partners in the mining and recycling sectors. Laboratory studies and bench scale experiments have shown that Chromafora masters the thiosulphate leaching, the separation of copper from the leachate to isolate the gold, and the final extraction of gold. The source materials have been constituted by electronic waste, residues from household waste incineration ashes and two types of ore concentrates.

The results depict an economically advantageous process that can be adapted to all the materials tested to date, and that environmental and competitive advantages over cyanide exists, such as the Thiosulfate-Selmext process can be built without extensive safety and as small modules that do not require a building permit.

The important conclusion is that there is now an alternative to toxic and environmentally hazardous cyanide leaching that is economically viable. Extraction and refining of gold can be carried out locally and in small scale near the source at e.g. the recycling company without long transports to smelters, and that the pilot / demo facility is technically feasible.

The next step in the process of driving the development of Thiosulfate-Selmext forward will be to plan and carry out a pilot / demo together with one of the companies with which Chromafora has established collaboration. Chromafora with consortium, intends to apply for a grant in the next available open call. The goal is to build and implement a pilot that can handle 3-6 tons of material per day and run the process for months to obtain critical information about the process and how it should be optimized for best performance and how it can be made even more cost-effective. When the pilot project is completed, there must be the opportunity for patenting and sufficient process experience to be able to build a first plant on a full scale.

## Inledning och bakgrund

Guldutvinning sker idag till stor utsträckning med en cyanidlakningsmetod ur låggradiga malmer. Cyanidlakningen fungerar väl för flertalet malmer men har låg effekt på svavelrika malmer och malmer innehållande organisk kol. Vidare har mycket lite arbete utförts på att använda cyanidlakning som metod för att återvinna material. Ett skäl till detta är cyanidens kraftiga toxicitet och att det därför är mycket svårt att få tillstånd till denna typ av verksamhet. Europaparlamentet röstade 2010 igenom ett förslag till resolution<sup>1</sup> som uppmanade Europeiska kommissionen att inleda ett fullständigt förbud mot cyanidlakning, men Europeiska kommissionen vägrade att föreslå lagstiftning för att genomföra ett sådant förbud eftersom det inte fanns någon teknik som kunde ersätta guldutvinning med cyanid. För Sveriges del skulle ett förbud mot cyanidlakning innebära att anrikningsanläggningar skulle behöva stänga. Målsättningen för detta projekt är att kunna erbjuda industrin ett miljövänligt och kostnadseffektivt alternativ till cyanidlakning. Detta skulle möjliggöra för EU att uppfylla Europaparlamentets önskemål om ett förbud av cyanidlakning och samtidigt upprätthålla, eller öka, guldproduktionen inom unionen.

Chromaforas metodik för utvinning av guld bygger på lakning med tiosulfat och företagets unika teknik för metallseparation som kallas Selmext. Kombinationen skulle undanröja de hinder som finns för en miljövänligare guldåtervinning och jungfrulig utvinning i Europa och världen. Chromaforas förhoppning är att projektet i längden kan leda till miljöcertifiering av hydrometallurgiskt åter- och utvunnet guld och generellt bidra till en mer hållbar resurshantering av metaller.

### Guldutvinning genom hydrometallurgi

Hydrometallurgisk guldutvinning består av tre steg. Alla tre är viktiga för att kunna utvinna eller återvinna guld från malmer eller material såsom elektronikskrot.

- 1) Lakning av det fasta metallinnehållet. Materialet lakas (upplösning) med cyanid eller tiosulfat. Ofta inkluderas en mekanisk förbehandling, såsom krossning och malning av materialet.
- 2) Separation av metallerna. Uppdelning av de olika metallerna till rena och koncentrerade vattenlösningar. Metoder för detta inkluderar vätskeextraktion, jonbyte, cementering, omvänd osmos, och vätskemembrantekniker.
- 3) Framställning av rena metallprodukter. Med elektro-raffinering och elektrolys framställs rena metallprodukter eller vid framställning av rena salter genom avdunstning, utfällning eller kristallisering.

En mindre litteraturstudie<sup>2-6</sup> visade tydligt att trots att lakning med tiosulfatmetoden studerats i över 100 år, så finns det extremt få exempel på kommersiella processer. Anledningen är bl.a. svårigheten att hitta och förstå kritiska faktorer och koppla dessa till utrustning i en uppskalad process. Andra orsaker som gjort att tiosulfatmetoden inte fått något genomslag är avsaknad av en bra metod att separera

guld och koppar efter lakningen och svårigheten att få till en ekonomiskt försvarbar process.

Chromafora AB har sedan 2015 arbetat med att utveckla selektiva metoder för separation av specifika metaller ur en lång rad olika lakvätskor. Chromafora besitter en unik teknik som kan separera metaller på ett miljövänligt och effektivt sätt som är konkurrenskraftigt jämfört med traditionella metoder som lösningsmedelsextraktion.

En framgångsrik separation av guld eller koppar ur en tiosulfatlakvätska ökar dessutom potentialen för tiosulfatmetoden då man kommer kunna recirkulera mycket av lakvätskan och ytterligare effektivisera processen. Således var Chromaforas initiala mål att lösa problematiken med separationsprocessen av guld och koppar efter lakning med tiosulfatmetoden. Avsaknaden av kommersiella processer där tiosulfatmetoden används gjorde dock att även lakningen av guld behövde undersökas. Målet med detta utvecklingsarbete har varit att hitta och få förståelse för kritiska processparametrar för lakning, separation och återvinning av guld och utifrån dessa kunna planera ett lämpligt uppskalningsförsök med utrusning och försöksmaterial.

### **Marknadspotential för en ny hydrometallurgisk guldprocess**

Parallellt med processutvecklingen har marknadspotentialen undersökts för den blivande produkt som Chromafora utvecklar.

#### *Guldmarknaden i stort*

Det globala utbudet av guld uppgår årligen till ca 4 800 ton varav två tredjedelar kommer direkt från primära källor d.v.s. gruvor, och en tredjedel från sekundära källor, i form av återvunnet guld från nedsmältning av smycken, tandproteser och återvinning av elektronik/WEEE (Waste Electronic and Electrical Equipment)<sup>7,8</sup>. Ungefär 90% av allt återvunnet guld kommer från smycken som enkelt återförs till marknaden genom smältning. Resterande del kommer i huvudsak från WEEE<sup>8</sup>, en typ av återvinning som är mer teknik- och kapitalintensiv.

#### *Primära källor*

Den primära utvinningstekniken kan förenklat delas in i gravimetrisk separation, som utnyttjar guldets relativt höga densitet i förhållande till andra mineralkorn i malmen och hydrometallurgi, som är en våtkemisk process. Nästan allt guld från primära källor utvinns med hydrometallurgi och nästan uteslutande används cyanid<sup>9</sup>. Det är en kostnadseffektiv process som måste hanteras på ett säkert sätt för att skydda människa och miljö. För att minska riskerna har medlemsorganisationen The Cyanide Code bildats. Organisationen bildades av och för gruvor och anläggningar som hanterar cyanid i sin verksamhet. Medlemmarna förbinder sig att följa standarprotokoll<sup>10</sup> för hanteringen vilket ska ge en säkrare arbetsmiljö, men lång ifrån alla väljer att medverka och medlemskap är ingen garanti för att förhindra olyckor. Lakning av guld med cyanid förekommer i två olika uppställningar. Antingen används behållare med omblandning eller så lakas materialet på hög där cyanid sprayas över den krossade malmen och vätskan rinner ner på en plastduk i



botten av högen. Cyanid-guld-lösningen kan då samlas upp i dammar och utvinns med aktivt kol. Cyanid medför alltid risker, både under aktiv produktion och efter nerlagd gruva om cyaniden inte destrueras korrekt utan tillåts ligga kvar i gruvdamarna.

Kombinationen av tiosulfatlakning och Chromaforas teknologi närmar sig cyanid i kostnadseffektivitet för vissa applikationer och har konkurrensfördelar jämfört med den konventionella cyanid-lakningsmetoden. Tiosulfat-Selmext kan helt eliminera den toxiska risk som cyanid utgör och samtidigt möjliggör metoden lokal lakning och guldutvinning vid gruvan som då kan optimera brytning och anrikningsverk utifrån helt nya förutsättningar. Till exempel elimineras transportkostnader till smältverk och därmed är det ekonomiskt hållbart att bryta malm med lägre halter guld och klassa om gammalt avfall som potentiell malm. Gruvverksamheten kan då bli mer lönsam, skonsammare för miljön, och skapa fler arbetstillfällen i lokalsamhället. Anledningen till att man idag inte investerar i lokal lakning med cyanid är mestadels på grund av de miljö- och hälsorisker som det medför, marknadsmässiga risker och risken av att inte få nödvändiga tillstånd av myndigheter. I vissa delar av världen är det mer accepterat med cyanidanvändning men det finns också områden som har gått så långt som till totalförbud. Genom att välja en lakningsmetod baserad på tiosulfat reduceras dessa risker avsevärt. Chromafora samarbetar med Björkdalsgruvan AB mot ett gemensamt mål att utveckla och implementera cyanidfri lokal lakning vid deras gruva utanför Skellefteå. Med lokal lakning kan gruvan bli effektivare och minska svinnet till sandmagasinen och samtidigt spara på tunga transporter av guldkoncentrat. Även gammalt avfall kan bli aktuellt att återvinna. Varje extra gram av guld som kan utvinnas är i förlängningen en besparing både i energi, koldioxidutsläpp och markanvändning.

Tiosulfatmetoden har ytterligare en fördel över cyanid, nämligen att malmer med högt innehåll av organisk kol eller svavel kan lakas effektivt. Rika, men tidigare icke exploaterbara malmer, skulle kunna utvinnas framför låghaltiga malmer. Vilket är bättre ur ett miljöperspektiv.

### *Sekundära källor*

Återvinning är en viktig del av guldmaknaden som inte bara är bra för miljön utan även har en prisreglerande effekt, när priset stiger ökar återvinning, främst från smycken, vilket ökar utbudet och pressar priset.

WEEE har en värdekedja helt skild från smyckesåtervinning och är den kategori som kan tänkas utgöra den huvudsakliga resursbasen för Chromaforas process. I dag är den vanligaste metoden för återvinning i kopparsmältverk av WEEE som inblandning i kopparkoncentratet. Till exempel är svenska Bolidens smältverk köpare av elektronikskrot. Smältning är på många sätt fördelaktigt då elektronikkomponenternas sammansättning bidrar positivt till smältans kemiska egenskaper. Smältning är dock energikrävande och innebär ofta långa transporter av materialet eftersom smältverk är centrerade till vissa få platser. Chromaforas affärsidé innebär decentraliserad utvinning av guld och andra metaller som ska ske lokalt i mindre skala, nära källan. Ett möjligt scenario som Chromafora undersöker är om utvinning kan ske redan hos återvinningsbolaget som samlar in och sorterar

skrotet. Förutom utvinning av metaller kan materialets rester dessutom komma till annan nytta, t.ex. som inblandning i betong.

Den globala marknaden av WEEE skrot uppgick år 2014 till 41,8 miljoner ton<sup>11</sup> och UN Environment Programme anger i sin prognos för 2030 att det kommer att öka till 75 miljoner ton<sup>12</sup>. Inom EU samlas enbart 35% av WEEE in för återvinning. Resten försvinner på andra vis, så som illegal export. Chromafora betraktar WEEE som en föränderlig resurs vars metallkomposition kan komma att ändras i takt med att teknikutvecklingen och nya konsumtionsmönster. I nuläget är metallinnehållet i WEEE, baserat på Chromaforas egna analyser och litteratursökning, omkring 50–200 gram guld per ton och 41 kilogram koppar per ton<sup>13</sup>.

I Norge genereras i genomsnitt 28,5 kg WEEE per år och person<sup>12</sup>, och man kan anta liknande siffra även för Sverige. Det betyder att den potentiella resursen bara inom landets gränser är i storleksordningen 285 000 ton per år med rådande befolkningens mängd. En stor del av WEEE resurserna samlas redan in för återvinning i Sverige, år 2019 var den siffran 147 627 ton<sup>14</sup>. Sortering sker i södra Sverige och sedan skickas materialet till Skellefteå till Bolidens Rönnskärsverk för smältning<sup>15</sup>.

Det man kan konstatera är att WEEE utgör en lokal och global resurs med mycket god ekonomisk potential. Det finns alltså goda förutsättningar inom och utanför Sverige att få tillgång till avfallsströmmar. Chromaforas Tiosulfat-Selmext utvinningskoncept har därför mycket goda förutsättningar till att bli en ekonomisk och miljömässig framgång inom segmentet WEEE.

Utöver WEEE hamnar en liten del guld även i hushållssopor och slutligen i restmaterial från sopförbränningen i kraftvärmeverken. Normalt sett används denna avfallsfraktion inte till annat än fyllnadsmassor. Redan i dag utvinns metall till viss del men även här innehåller resterna i regel små mängder guld och koppar. I det här projektet har labstudier visat att guld från resterna går att tillgodogöra sig tekniskt, men att guldhalten är så pass låg att det inte är ekonomiskt i dagsläget. Dessa massor borde sparas i väntan på att ny teknik hinner mogna, med idag tvingas tyvärr denna resurs att spridas ut i diverse mindre effektiva åtgärder så som fyllnadsmassor, mycket på grund av avfallsskatt. Denna beskattning har motsatt effekt mot lagens ursprungliga intention. I stället för återvinning främjas brytning av nytt guld i gruvorna där avfallsskatten inte påverkar den ekonomiska kalkylen.

En annan form av sekundär källa är gamla gruvdammar med metallinnehållande sandmassor. Det finns många äldre sandmagasin, bland annat i Bergslagen, som kan vara intressanta att undersöka och förhoppningsvis utvinna. Med lokal och mobil/temporär lakning kan sådana sandmagasin återigen bli resurser.

## Genomförande

### Arbetspaket 1 – Inventering av guldhaltiga material i Sverige

Johan Berg, Applikationschef, Chromafora AB

Inventering av tillgängliga guldhaltiga material och avfallsströmmar, primära som sekundära, har genomförts genom efterforskning av källor, insamlingsförfarande, volymer och återvinnare. Kontakter har knutits genom både videosamtal och vissa fysiska möten. På grund av pandemirestriktioner, som tidvis omöjliggjort fysiska besök, har kommunikationen skett nästan uteslutande genom virtuella möten.

### Arbetspaket 2 – Metodanpassning till guldhaltigt material i laborieförsök

Peter Johansson, Senior forskare och metodutvecklare, Chromafora AB

Lakningsförsök med utgångspunkt från en känd tiosulfatmetod<sup>4</sup> har utförts på 4 olika startmaterial, med målet att finna viktiga processparametrar och optimera för varje specifikt material.

Valideringsförsök har utförts för separation mellan guld och koppar med Chromaforas metod som kombinerat användande av hjälpkemikalier och ultrafiltrering, samt för utvinningen av fast guld genom cementering. Materialen har utvärderats både på sin ekonomiska potential, tillgänglighet och dess lakbarhet.

### Arbetspaket 3 – Processdesign

Johan Berg, Applikationschef, Chromafora AB

Gustaf Aurelius, Applikationsingenjör, Chromafora AB

Svensk Konstruktionstjänst AB

Baserat på erfarenheterna erhållna från bänkskaleförsöken, planeras pilotkonceptet. I samtliga delar av processen förutom i lakningen kan Chromafora tillämpa kommersiellt tillgänglig utrustning. Information om kommersiell utrustning har inhämtats från internationella leverantörer av gruv- och processutrustning.

Lämplig kommersiell utrustning för Chromaforas modifierade tiosulfatlakning kunde inte hittas. För att ta fram ett koncept på en lakningsreaktor och undersöka vilka möjligheter och fallgropar som föreligger för tillverkning av både lakningsreaktor för ett pilotprojekt och för framtida fullskalig produktion, har Chromafora tagit hjälp av konsultbolaget Svensk Konstruktionstjänst AB. I utvecklingsprocessen har Chromafora med ledning av konsultbyrån brutit ner behovet i kritiska punkter och utformat ett nytt koncept genom workshops och 3D modellering.

## Resultat och diskussion

Resultat från projektet presenteras under respektive arbetspaket.

### Arbetspaket 1 - Inventering av guldhaltiga material i Sverige

Totalt har fem material identifierats varav tre härrör från gruvindustrin och två från återvinningsindustrin med spridning på tre olika företag. Vi har etablerat samarbete med två företag, Björkdalsgruvan AB och Ragn-Sells AB, och har därmed tillgång till fyra material inom projektet. Ett gruvföretag som kunde bidra med gruvavfall valde att inte medverka på grund av redan högt antal forskningsprojekt under 2020. De visade däremot stort intresse av utvecklingen av denna teknik. Dessutom har Chromafora knutit kontakt med forskargrupp med närvaro både i Estland och Sverige, gruppen forskar och utvecklar teknik inom gravimetrisk och elektrostatisk metallseparation av WEEE material. Deras arbete kan leda till en effektiv förbehandling av WEEE som skulle kunna gynna Chromaforas process. Specifika volymer och guldhalter av materialströmmar kommer inte att redovisas med hänsyn till våra samarbetspartners.

#### *Björkdalsgruvan AB*

Björkdalsgruvan AB medverkar i projektet och bidrar med två, eventuellt tre, material från olika delar av sin verksamhet.

1. Sulfidkoncentrat (genom flotation) typ-I innehållande relativt höga guldhalter. Koncentratet är en sekundärprodukt och framställs med flotation av restmaterialet från den primära gravimetriska guldutvinningen.
2. Sulfidkoncentrat (genom flotation) typ-II innehållande en något lägre guldhalt. Även detta koncentrat är en sekundärprodukt från gruvan.
3. Material av gråberg (avfallshög) är ett alternativ som har diskuterats, dock har Chromafora ännu inte erhållit ett sådant material.

#### *Ragn-Sells AB*

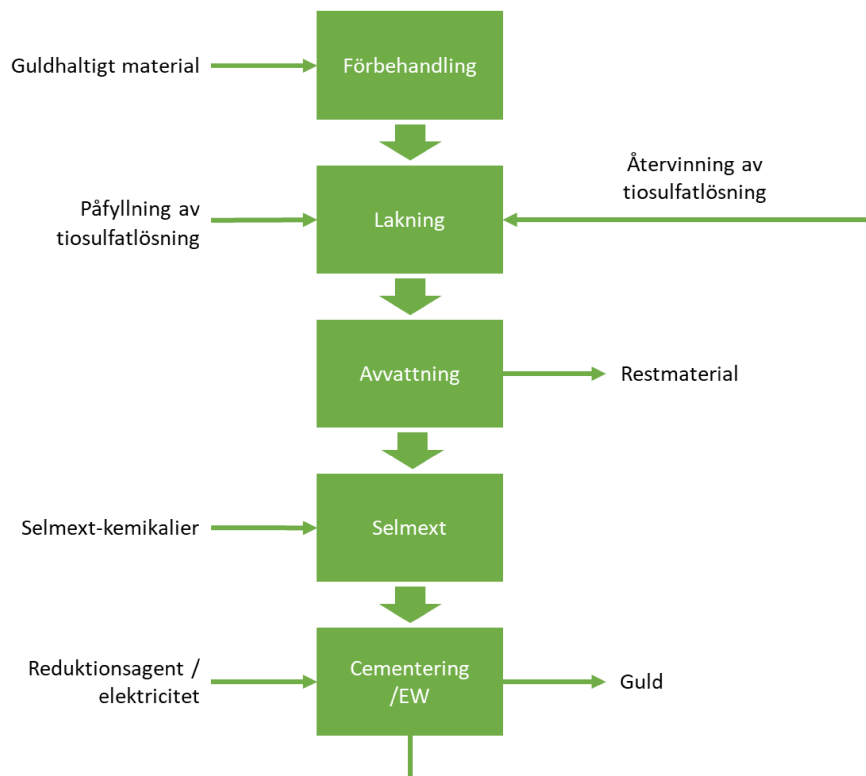
Ragn-Sells AB medverkar i projektet och bidrar med två olikartade material.

1. Slaggrus är en mindre kornstorleksfraktion (<2 mm) av bottenaska som härrör från förbränning av hushållssopor. Fraktionen innehåller enligt litteraturen guld i storleksordningen 0,1-2 g/t beroende på ursprung och hantering. Analyser utförda på material som erhållits från Ragn-Sells bekräftar detta. Guldinnehållet härrör från småelektronik med guldplätning och smycken med mera.
2. Elektronikavfall (WEEE) av kretskort (PCB) från datorer och annan hemelektronik. Materialet består av intakta delar och måste både krossas och malas för att lakas.

## Arbetspaket 2 – Metodanpassning till guldhaltigt material i laboratorieförsök

Fyra olika material har utvärderats med tiosulfat-metoden; två olika material från Björkdalsgruvan, slaggrus och elektronikskrot. Det går att laka alla fyra materialen men den ekonomiska potentialen måste utvärderas noggrant eftersom lakningsmetoden behöver justeras beroende på material. Dessutom är rätt förbehandling av de olika materialen avgörande för en lyckad lakning, vilket i slutändan kan påverka totalekonomin. Förbehandling av materialen kan inbegripa t.ex. malning, sur/basisk tvätt, oxidation/reduktion, rostning eller för-lakning av andra metaller, vilket också har studerats för vissa av materialen.

Den undersökta processen kan ses i flödesdiagrammet nedan (Figur 2).



Figur 2: flödesschema för utvinningsprocessen av guld.

### Lakningsresultat

#### Slaggrus:

Guld kan lakas från slaggrus utan förbehandling med högt utbyte. Utöver guld finns det möjlighet att laka koppar från detta material. Den låga guldhalten gör den relativa kemikaliekostnaden förhållandevis hög och den slutliga cementeringen kan bli ineffektiv. Chromafora har hittat ett sätt att på sikt anpassa processen till den här typen av låghaltigt material och i framtiden skapa en ekonomiskt hållbar process.

#### WEEE:

Elektronikskrot måste malas och förbehandlas enligt en framarbetad metod på lab innan guldlakning kan göras. Den höga guldhalten i materialet gör den

relativa kemikaliekostnaden i lakningen förhållandevis låg. Det exakta utbytet är svårt att beräkna på grund av att materielmängden inte räckte till för att utföra en fullständig fastfasanalys och således kunde inte guldhalten i startmaterialen bestämmas. Halten guld i lakvätskan är dock hög, vilket gör uppberbetningen lättare. Större volym WEEE behövs för att mer exakt kvantifiera utbytet.

#### Sulfidkoncentrat – Björkdalsgruvan:

Vi har undersökt två olika material från Björkdalsgruvan. Typ-I materialet kan lakas direkt med högt utbyte (>95%) medan typ-II lakar ca 70% och kräver därför förbehandling för att göra guldet mer åtkomligt för lakningsvätskan. Utbyte för typ-II kan dock jämföras med resultat från ett grovt genomfört och cyanidlakningstest som bara gav ca 30% utbyte.

#### *Separation av guld och koppar*

Separationen mellan guld och koppar görs genom membranfiltrering m.h.a. en hjälpkemikalie och är i första steget mer än 90% effektiv. Kopparhalten i lösningen kan sedan minskas genom ytterligare filtreringar.

#### *Utvinning av guld - cementering*

Utvinning av guld ur vätskan har endast testats genom cementering med zink och koppar. Ska lösningen återvinnas bör troligtvis koppar användas i en s.k. Merrill-Crowe process där man avlägsnar syrgas före cementering. Om guldhalten är låg kan cementeringsprocessen bli ineffektiv.

#### *Uppskalningsförsök*

Ett mindre uppskalningsförsök i kilogramskala med totalt ca 2 mg guld utförs på ett material från gruvnäringen för att validera metodens skalbarhet.

Lakningen utfördes i en för projektet specialbyggd roterande reaktor (

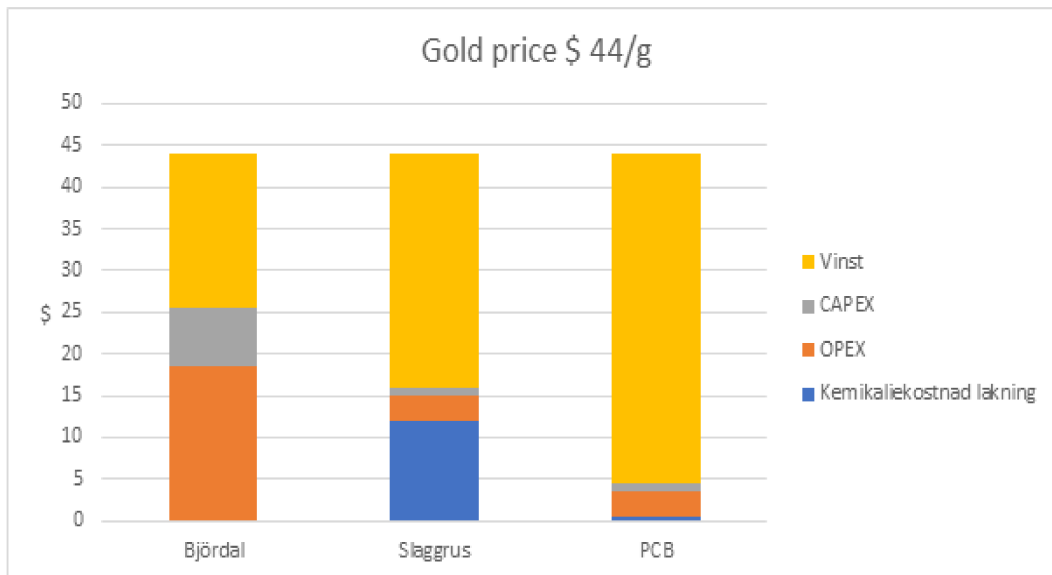
**Figur 3)** och ger ett utbyte på mer än 100% (vilket förklaras med inhomogent material). Koppar separerades sedan bort enligt utvecklat recept med en 95% effektivitet i första filtreringen. Kvar i lakvätskan fanns 95% av guldet som kunde fällas bort ur lösningen med cementering enligt ovan. Då halten guld är så pass låg kan utfällningen av guld endast bevisas genom att guldhalten i lakvätskan minskar.

**Figur 3: Specialkonstruerad reaktor använd vid lakning i kg-skala.**



### *Ekonomisk potential*

En analys av den ekonomiska potentialen för de olika materialen (utan kostnad för förbehandling och cementering) kan ses i Figur 4. För Björkdalsgruvan har deras tekniska rapport 2021 NI 43–101 använts som källa.



**Figur 4: Ekonomisk potential för de olika materialen baserat på guldinnehåll och lakbarhet hos materialen.**

### **Arbetspaket 3 – Processdesign**

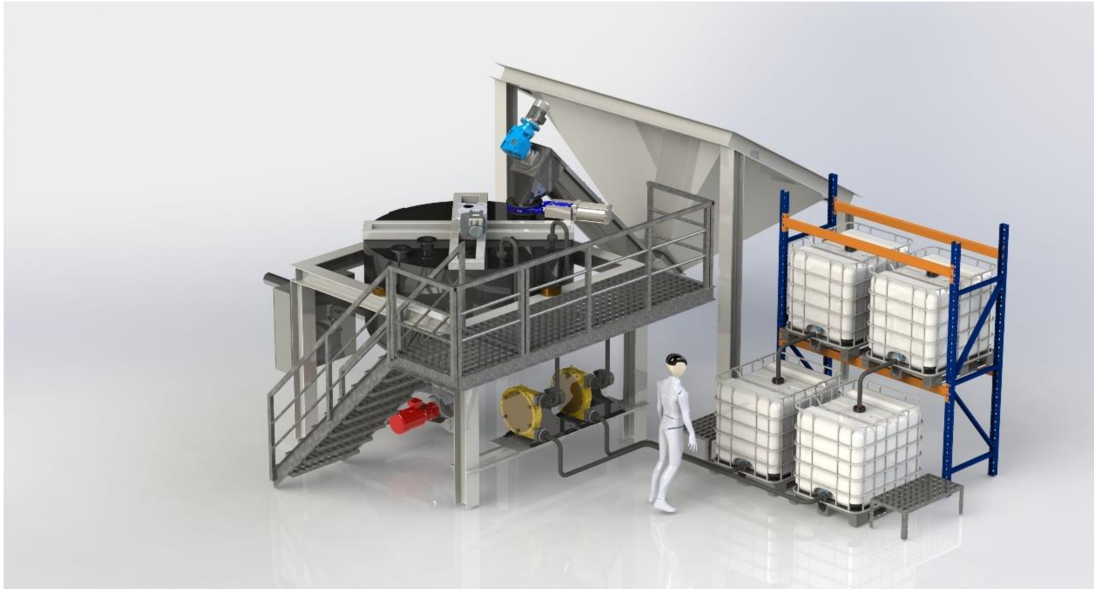
#### *Demonstrationsanläggning – pilotkoncept*

Tiosulfat-Selmext systemet består av flera processteg.

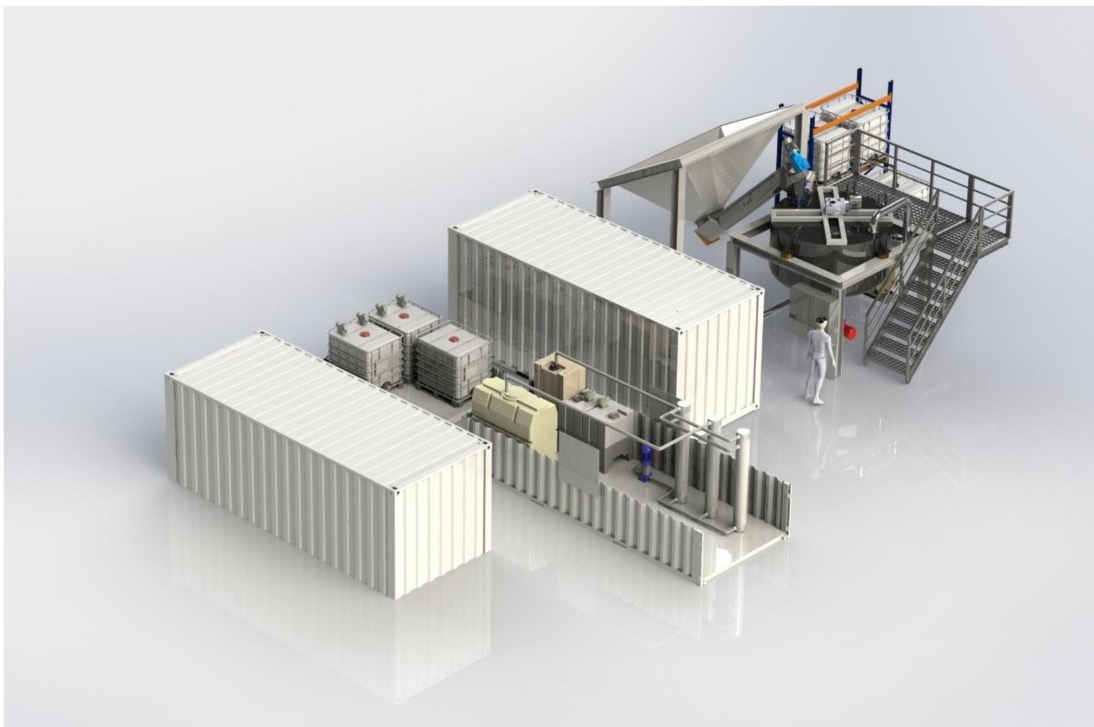
1. Förbehandling - Hänsyn måste tas till förbehandling såsom krossning malning, rostning eller tvätt
2. Lakning - Sker i Chromaforas reaktor med specialframtagen utrustning och kemi
3. Avvattning av lakresterna - Består av bergmaterial från malm eller av kretskortsrester
4. Selmext kemi och filtrering - Tar bort koppar och skapar en klar vätska
5. Extraktion av guld – Fast guld erhålls ur vätskan genom t.ex. cementering eller elektrokemisk utvinning
6. Återvinning av reagens - Selmext kemikalier och vätska återanvänds i processen

Konsultbyrån Svensk Konstruktionstjänst AB konstaterar i sin rapport att ”Processen uppfyller ett tydligt och stort behov. Vi ser att den har alla möjligheter att kunna ta sig ut på marknaden och göra stor nytta. De tekniska lösningarna är känd teknik. I dagsläget ser vi inga problem att konstruera anläggningen.”. Slutsatsen är upplyftande och nedan följer konceptskiss av lakningsreaktorn (Figur 5 och 6). Pilotkonceptet har en kapacitet omkring 3–6 ton råmaterial per dag vilket motsvarar

1000–2000 ton per år. Utöver pilotskala finns även ett koncept (ej presenterat här) för behandling av 30 000 ton material per år, en storlek som Chromafora och våra samarbetspartners anser är lämpligt för framtida produktion i full skala.



**Figur 5: Reaktorkoncept med kona för lastning med skopa, skruvmatning till reaktorn, blandare sitter centralt i kärlet och lakvätska pumpas från behållare i pallställ intill.**



**Figur 6: Bilden visar hela pilotkonceptet med lakningsreaktor till höger, följt av pressfilter för avvattning av det fasta materialet, sedan Selmext för separation av koppar och guld, och längst till vänster en container med cementeringssteget för uttag av guld.**



### Kostnadsuppskattning

För att genomföra en pilot/demonstration på plats hos en samarbetspartner med tillgång till nödvändigt materialflöde uppskattas följande kostnader enligt Tabell 1.

**Tabell 1: Kostnadsuppskattning för pilot**

Arbetspaket	Arbetstid	Utrustning och tjänster	Kostnad
<b>Projektkoordination</b> innefattar: möten, planering, rapportering, besök och resor.	500 000 kr	0 kr	500 000 kr
<b>Förberedelsefasen</b> innefattar: förbehandlingsstudie av materialet, t.ex. utvärdering av malning, laborativa studier för att för-optimera lakning och separation, slutgiltiga ritningar lakningsreaktorn och Selmext-systemet, ta fram operatörsmanual för personal, genomgång av säkerhet, konstruktion av reaktor, inköp och hyra av avvattningsutrustning, inköp av cementeringsutrustning, och inköp av Selmext-utrustning.	3 000 000 kr	5 000 000 kr	8 000 000 kr
<b>Vidareutveckling och forskning</b> kommer ske i realtid under pilotprojektets gång. Man kommer att studera möjligheterna att återanvända tiosulfatlösningen för att ytterligare förbättra processekonomin. Dessutom kommer optimeringsförsök att utföras parallellt på laboratorium och om en förbättring kan iakttas kan den snabbt överföras och testas i realtid. Mikroskopieringsstudier av restmaterialet kan utföras med akademisk samarbetspartner i syfte att optimera lakningen genom att hitta den bästa malningsmetoden. I resterna kan	3 800 00 kr	500 000 kr	4 300 000 kr

man studera eventuella kvarvarande guld och utröna varför allt guld inte lakats ut.			
<b>Transport och etablering</b> av utrustning och väderskydd.	650 000 kr	200 000 kr	850 000 kr
<b>Operativ pilotfas</b> genomförs med personal från Chromafora och samarbetspartners.	1 800 000 kr	200 000 kr	2 000 000 kr
<b>Utvärdering och rapport</b>	650 000 kr	0 kr	650 000 kr
<b>Samtliga arbetspaket</b>			<b>16 300 000 kr</b>

Kostnaden för genomförande av en pilot/demonstration hos samarbetspartner innefattar även kostnader för akademisk forskning. Chromafora har knutit kontakt med en akademisk institution kunnig inom hydrometallurgi.

### Patent

Lakning av guld med tiosulfat är en välkänd process och är i sig själv inte patenterbart. Chromafora ser dock möjligheter att patentera själva separationstekniken för guld och koppar samt processpatent för helheten på de olika relevanta materialen och processmässiga uppställningarna. Detta arbete har dock ej påbörjats på grund av avsaknad av helhetsbilden. Utöver detta finns nya tekniska lösningar som framkommit under utarbetandet av lakningsreaktorn som i sig kan vara patenterbara och skyddsvärda.

En första nyhetsgranskning utförd av Brann AB<sup>16</sup> patentbyrå stödjer möjligheten till patent. Planen för processpatent har förskjutits till efter utförd demonstration hos respektive materialägare.

### Diskussion

Resultaten visar tydligt att guld kan utvinnas från olika typer av guldinnehållande material och att allt tyder på att Tiosulfat-Selmext är processekonomiskt lönsam vid lakning av material med högre halter guld. För att skapa processekonomi även för låghaltiga material <10 gram per ton krävs en mer mogen process med flera år av processerfarenhet och optimering. Lakning med tiosulfat är inte en ny metod men den är industriellt utforskad så när som på ett kommersiellt exempel, nämligen Barrick Gold Corps gruva Goldstrike i Nevada och enbart mycket specifik malm utvinns med metoden. Chromaforas Selmext-teknologi tillför ytterligare en dimension och gör att lakningsmetoden nu kan användas till många fler tillämpningar. Barrick är ett exempel på att metoden är industriellt relevant men att den också är låst till denna mycket specifika malmtyp. Dessutom saknar Barrick incitament, som gruvbolag, att ge andra tillgång till deras egenutvecklade tiosulfatprocess. Chromafora avser att göra metoden tillgänglig globalt.

Tiosulfat-Selmext ger Chromafora en teknologiplattform att utveckla under lång tid framöver, den innebär att avfall kan hanteras lokal med alla fördelar som det medför, samt driva kostnaderna för återvinning nedåt. Man kan även tänka sig att koppar och andra metaller kan utvinnas i samma eller i extra lakningssteg i framtiden och separeras med Selmext. Rester som till exempel plast och glasfiber kan tas om hand och förhoppningsvis också återvinnas.

Marknadsanalysen visar att guld finns i avfallsströmmar över hela världen och att mycket material inte samlas in utan försvinner, så även i Sverige. Med kostnadseffektiv, miljövänlig och lokal återvinning kan mer avfall hitta rätt väg genom att ekonomiska incitament för insamling blir starkare.

Guldgruvor finns över hela världen, stora som små och med hög och låg standard. Tiosulfat-Selmext kan ge mindre gruvor en möjlighet att laka guld med mindre risker för människa och miljö genom att gammal osäker cyanidlakning kan bytas ut. Tiosulfat-Selmext kan också implementeras för ökad lönsamheten. Möjligheten låser upp nya typer av höghaltiga malmer som tidigare varit processtekniskt låsta och på så vis minska behovet av att bryta låghaltiga malmer som kostar mycket mer energi och utsläpp.

## Slutsatser, nyttiggörande och nästa steg

### Slutsatser

Guldinnehållande material har inventerats och flera material har identifierat, erhållits från källan och testats för lakbarhet, och det kan konstateras att det finns ekonomiskt attraktiva materialströmmar inom Sverige med storlek nog att bära en utvinningsverksamhet med fokus på utvinning i södra Sverige där avfallsströmmarna och transportbesparingen är som störst. Den största och mest höghaltiga avfallsströmmen är WEEE. Dessutom finns slaggrus från bottenaska från sopförbränning som är en mindre avfallsström med betydligt lägre guldhalt. Den har därmed svagare, men ändå intressanta, ekonomiska utsikter som kan bli aktuell när Tiosulfat-Selmext teknologin är mer mogen. Här spelar möjligheten att lagra materialet för framtida utvinning stor roll för att redan nu stoppa förluster av värdemetaller från kretsloppet. Just nu råder negativa incitament i form av avfallsskatt, i stället kan dessa massor lagras och utvinns i framtiden.

Viktiga kontakter har knutits till både återvinnare och gruvbolag, samt till en återvinningsteknikgrupp med bas både i Sverige och Estland. Det finns goda förutsättningar för synergier och att bilda konsortium för vidare studier i pilotskala och sådana diskussioner förekommer.

Chromafora kan konstatera att lakning med tiosulfat ger mycket goda resultat för de flesta typer av material. Vidare konstateras att materialens individuella kemiska egenskaper har stor inverkan på lakningskemin. Således måste varje material utvärderas separat för eventuellt behov av förbehandling samt mindre justeringar i lakningsreceptet.

Chromaforas innovation gör tiosulfatmetoden konkurrenskraftigt mot konventionell cyanidlakning vid högre guldhalter och dessutom med konkurrensfördelarna; lägre giftighet, förenklat miljötillstånd, lättare frakt och hantering av kemiska ämne, skalbar teknikplattform och öppning för brytning av tidigare låsta malmtyper.

Separation av koppar från den guldbärande tiosulfatlösningen kan konstateras fungera tillfredsställande i bänkskala. Kritiska parametrar har identifierats och optimeringsförsök har genomförts för vissa av materialen. Det är nödvändigt att gå till pilotskala för att få tillgång till större volym guldbärande tiosulfatlösning för utförande av en mer noggrann optimering och utvärdering av processens ekonomiska potential.

Inom projektet har praktisk lakning, separation och extraktion av guld lyfts från provrörsnivå till bänkskala och ett koncept för processens helhet har framarbetats både för pilotskala och fullskala med produktionskapacitet på 30 000 ton material per år. Det föreligger flera innovationer i processen som kan bli föremål för patentansökningar. Ingen patentansökan har ännu gjorts i samband med detta projekt, då fortsatt utveckling krävs innan möjligheterna står helt klara.

Likaså kan inte en fullständig ekonomisk potential fastslås innan en pilotstudie har genomförts, men det går att konstatera att både primära och sekundära materialströmmar finns tillgängligt i tillräcklig omfattning för att bära flera operationer med fokus på återvinning i södra Sverige och fokus på effektiviseringen och återvinning av gruvmaterial i centrala och norra Sverige. Exempelvis kan gamla gruvdammar bli intressanta undersökningsobjekt i syfte att återvinna metaller där då Tiosulfat-Selmext spela en ekonomiskt avgörande roll.

Internationellt föreligger samma typer av materialflöden som i Sverige men marknaden är naturligtvis avsevärt större.

Följande marknader har identifierats: WEEE, slaggrus från sopförbränning, lokal lakning vid gruva för effektivisering, utvinning av guld från gammalt gruvavfall och nya malmtyper (främst aktuellt i USA).

### **Nyttiggörande**

Tiosulfat-Selmext kan bidra till ökad återvinning, resurseffektivitet genom lokal förädling nära källan.

Metoden ser i dagsläget ut att vara ekonomiskt robust med en stor global marknadspotential. Produkten kan bidra till hållbarhet både inom primär och sekundär ut- och återvinning.

Det finns en långsiktig möjlighet att ersätta det giftiga ämnet cyanid och att bidra till minskade utsläpp av växthusgaser i form av vägtransporter till smältverk och lakningsverk.

Lokal förädling av guld innebär också att lokalsamhället kan få nya arbetstillfällen. Detta skulle kunna gynna mindre gruvorter både i Sverige, där det är svårt att få

tillstånd till cyanidanvändning, och i länder såsom Ungern eller Costa Rica som är exempel på länder där cyanid är förbjudet.

Europeiska kommissionen skulle också kunna gå vidare med lagstiftning mot cyanid om det fanns en lämplig ersättningsmetod.

Chromafora hoppas också på miljöcertifiering av utvinningstekniken.

### Nästa steg

Detta projekt har inneburit en mycket god plattform från vilken Chromafora nu delar upp utvecklingen i två grenar, en mot gruvnäringen och en mot elektronikskrot och hushållsavfall.

- Ansökan om pilotprojekt för utvinning av guld från Björkdalsgruvan i syfte att visa att Chromaforas teknik fungerar i större skala och kan medföra såväl ekonomiska som miljömässiga fördelar. Ansökan är inskickad till Swedish Mining Innovation och svar väntas i februari 2022.
- Planerar för ansökan till Re:Source med sikte på att genomföra en pilot för återvinning av guld från WEEE och eventuella andra avfallsmassor.

### Framåtblickande plan

En global marknad för försäljning av Chromaforas Tiosulfat-Selmext system för både gruvor och WEEE kan tänkas vara stor men i nuläget svår att överblicka utan bättre kostnadsestimat för processen som helhet. Vår bedömning är att det finns utrymme och efterfrågan på miljövänligare och säkrare alternativ till cyanidlakning både för primära och sekundära källapplikationer, inte minst med tanke på den starka investeringstrend i ESG (Environmental, Social and Corporate Governance) som nu råder.

Att direkt ersätta befintliga och fungerande cyanidanläggningar kommer inte vara aktuellt på grund av det stora kapital som redan finns bundet i en sådan anläggning, Chromafora siktar därför på små och medelstora kunder som ännu inte använder hydrometallurgi men skulle dra nytta av metodens fördelar. Chromaforas bästa väg framåt är att bygga små och modulära system i fabrik som enkelt kan placeras hos kunden och därmed snabbt kunna påbörja utvinning. En ansökan om pilotprojekt för guldlakning 3–6 ton per dygn har lämnat in till Swedish Mining Innovation tillsammans med våra samarbetspartner Björkdalsgruvan AB och Luleå Tekniska Universitet, förväntat besked kommer i februari. Den ansökan är en direkt fortsättning av detta projekt men med en annan inriktning. Det finns ett tydligt mål från gruvan att se cyanidfri effektiv guldlakning i full skala så snart det är möjligt.

Planen för återvinning av guld från WEEE är att fortsätta detta projekt i nästa Re:Source utlysning i syfte att genomföra en pilot i samma storleksordning som för gruvan men med anpassning av Tiosulfat-Selmext metoden specifikt för WEEE. Nära kontakt finns redan i dagsläget med återvinningsbolag och diskussioner förs om hur ett pilotprojekt skulle kunna genomföras, var och med vilka materialströmmar.

## Projektkommunikation

Projektet har kommunicerats genom en pressrelease ihop med Ragn-Sells AB:

<https://newsroom.ragnsells.com/posts/pressreleases/sustainable-leaching-of-gold-made-possible-wi>

Pressrealisen fick en del medial uppmärksamhet i form av artiklar inom teknikområdet. Målgruppen har varit verksamheter som kan dra nytta av Chromaforas metod och teknik.

## Referenser

1. Förbud mot användning av gruvdriftsteknik som utnyttjar cyanid, P7 TA(2010)0145 Europaparlamentets resolution av den 5 maj 2010 om ett allmänt förbud mot användning av cyanidbaserad gruvdriftsteknik inom Europeiska unionen (2011/C 81 E/13).
2. B. Xu, W. K. (2017). A Review of Thiosulfate Leaching of Gold: Focus on Thiosulfate Consumption and Gold Recovery from Pregnant Solution. *Metals*, 7, 222-237.
3. Li, C. (2003). *Fundamental aspects of gold leaching in thiosulfate solutions*. Thesis. The University of British Columbia.
4. M.G. Aylmore, D. M. (2001). Thiosulfate leaching of gold-A review. *Mineral Engineering*, 14, 135-174.
5. M.I. Jeffrey, P. B. (2003). The importance of controlling oxygen addition during the thiosulfate leaching of gold ores. *International Journal of Mineral Processing*, 72, 323-330.
6. SGS Mineral services. (2008). *Thiosulphate-an alternative to cyanidation in gold processing*.
7. World Gold Council, Gold Demand Trends Full Year and Q4 2020, 28<sup>th</sup> of January 2021.
8. World Gold Council, Gold Market Primer, Gold recycling, April 2018 .
9. World Gold Council, website.
10. The Cyanide Code, website.
11. Baldé C.P., Wang F., Kuehr R. and Huisman J. (2015), The Global E-waste Monitor - 2014, United Nations University, IAS –SCYCLE, Bonn, Germany.
12. Future E-waste Scenarios; Parajuly, K.; Kuehr, R.; Awasthi, A. K.; Fitzpatrick, C.; Lepawsky, J.; Smith E.; Widmer, R.; Zeng, X. (2019). StEP (Bonn), UNU ViE-SCYCLE (Bonn) & UNEP IETC (Osaka).
13. Morf L.S., Tremp J., Gloor R., Schuppisser F., Stengele M. and Taverna R. (2007), Metals, non-metals and PCB in electrical and electronic waste - Actual levels in Switzerland, *Waste Management*, 27, 1306-1316.

14. El-Kretsen, Pressmeddelande 2020-05-26.
15. Boliden AB, <https://www.boliden.com/sv/hallbarhet/sa-jobbar-vi/varldens-storsta-atervinnare-av-elektronikmaterial>
16. Brann (2018), Gold recovery process from Pregnant Leach Solution, Patentability Search Report, Brann Ref. No: U3433SE00, Clairvalex Ref No: JOB12667-1.

## Bilagor

- Administrativ bilaga
- EJ SPRIDNING\_bilaga\_resultat – Lite utförligare resultat