

REZUMAT

al tezei de doctorat cu titlul „Cercetări privind recuperarea argintului din filme radiografice și efluenți”

Doctorand: Fiz. CÂNDA Letiția-Roma

Conducător științific: Prof.dr.ing. HEPUȚ Teodor

Introducere

Studiul tehnicilor de recuperare a argintului din filme radiografice și efluenți implică: cercetarea procedeelor utilizate în prezent, previzionarea cantităților de deșuri (radiografii și soluții) generate la nivel local, pe o perioadă determinată (un trimestru), un management eficient al gestionării și înregistrării datelor de pe filmele radiografice, colectarea și procesarea lor în vederea optimizării proceselor de recuperare a argintului prin diverse tehnologii. Obiectivele cercetării sunt:

- creșterea eficienței gradului de recuperare argintului;
- reducerea costurilor și a timpului de recuperare;
- diminuarea impactului acestor deșuri și a soluțiilor rezultate asupra mediului [1/2].

Producția mondială de argint este, la ora actuală, insuficientă pentru a satisface cererea, în continuă creștere, respectiv de 2-2,5% pe an. În mod curent, 94-98% din filmele radiografice sunt folosite în serviciile medicale. Radiografiile pot conține între 5-15g Ag/kg de film, reprezentând o sursă semnificativă secundară de argint [2/8].

Cercetările experimentale și prelucrarea datelor obținute s-au realizat în laboratoarele Facultății de Inginerie Hunedoara, iar radiografiile au fost furnizate de Spitalul Municipal „Al. Simionescu”, Hunedoara (arhivă). Din experimentările efectuate și calculele legate de costuri, eficiență și grad de recuperare rezultă că poate fi realizată o recuperare eficientă a argintului din filme de raze X uzate, profitul fiind destinat îmbunătățirii serviciilor medicale din secția de radiologie.

CAPITOLUL 1. CONSIDERAȚII TEHNICE PRIVIND VALORIFICAREA METALELOR PREȚIOASE

Orice echipament uzat, care conține metale prețioase, constituie un material secundar de valoare, dar uneori și o sursă de substanțe nocive pentru mediu. Cererea de echipamente electrice și electronice (EEE), precum și numărul aparatelor și dispozitivelor care implică utilizarea metalelor prețioase în procesul de fabricație a crescut considerabil odată cu avansul tehnologic. Investigațiile medicale, prin tehnologia aferentă, constituie un consumator semnificativ de metale prețioase. Inovațiile cu privire la tehnologiile electrice și electronice, din toate domeniile de activitate, au redus ciclul de viață al acestora, crescând, astfel, generarea de deșuri care conțin metale prețioase. Prin urmare, este necesară o strategie în trei piloni: de prevenire, reciclare și reutilizare a deșeurilor, pentru minimizarea impactului asupra mediului și pentru promovarea utilizării eficiente a resurselor irosite [3/18].

În ultimul deceniu, multe țări au emis legislații privind gestionarea deșeurilor cu conținut de metale neferoase. Depozitarea subterană a e-deșeurilor sau arderea în incineratoare nu mai este permisă fără izolarea materialelor periculoase. Mai mult decât atât, exportul de e-deșeuri în țări subdezvoltate nu este permis în conformitate cu reglementările internaționale [4/21].

E-deșeurile sunt clasificate ca materiale periculoase, prin urmare, ar trebui să fie gestionate în mod corespunzător. Mai mult decât atât, prezența metalelor prețioase (PMS) în e-deșeuri, cum ar fi aurul (Au), argintul (Ag), platina (Pt), galiul (Ga), paladiul (Pd), tantalul (Ta), telurul (Te), germaniul (Ge) și seleniul (Se) le face atractive pentru reciclare.

Referitor la recuperarea argintului, prezintă interes recuperarea acestuia din radiografii și efluenți, iar pentru platină, principale sursă de recuperare o constituie convertorii catalitici uzați.

CAPITOLUL 2. PROCESE METALURGICE UTILIZATE PENTRU EXTRAGEREA METALELOR PREȚIOASE

Metalele prețioase sunt printre puținele materiale care nu se degradează și nu își pierd proprietățile chimice sau fizice în procesul de reciclare. În consecință, acestea au capacitatea de a fi reciclate de un număr infinit de ori. Metalele prețioase sunt utilizate într-o gamă largă de aplicații, nu numai în echipamente electronice și de comunicații, nave spațiale și motoare de avioane cu reacție ci și în telefoane mobile sau convertoare catalitice. Cele mai des recuperate metale prețioase sunt: aurul, argintul și metalele din grupa platinei.

Interesul pentru recuperarea aurului este datorată vastelor sale aplicații industriale, prețurilor mari de piață, dar și pentru valoarea atribuită în timpul crizelor politice și economice internaționale, ca resursă limitată.

Reciclarea se face în două etape, prin generarea primului concentrat de metal prin îmbogățire mecanică (pre-tratament), urmată de prelucrarea pirometalurgică/hidrometalurgică a concentratului. În comparație cu metoda pirometalurgică, procesul hidrometalurgic este mai exact, previzibil și ușor de controlat. Leșierea este primul pas pentru recuperarea aurului folosind procesul hidrometalurgic. Levigarea de aur cu cianură a fost cea mai uzuală metodă de mai bine de o sută ani datorită simplității și costului, precum și eficiența procesului. Cu toate acestea toxicitatea și eliminarea în siguranță a cianurii în mediu ridică nevoia de dezvoltare a altor agenți de leșiere. Substanțe alternative cum ar fi tiourea, tiosulfatul sau tiocianatul au fost recent propuse ca agenți de leșiere non-cianură.

Pentru recuperarea aurului din diferite tipuri de soluții leșiere se folosesc diferite metode, cum ar fi cementarea, adsorbția, extracția cu solvent, schimbul de ioni, etc.

Platina este un element de bază pentru fabricarea convertoarelor catalitice. Convertorul catalitic este un dispozitiv utilizat pentru a reduce toxicitatea emisiilor provenite de la motoarele cu ardere internă. Catalizatorii uzați pot fi supuși rafinării [5/54,6/55] pentru a fi recuperate metale precum nichelul, cobaltul, molibdenul, vanadiu.

Convertorul catalitic tipic conține un total de 1,5 grame de platină și 4 grame de alte metale din aceeași grupă. Cantitatea exactă de platină variază în funcție de tehnologia de fabricație aplicată. Oricum această cantitate este mare în comparație cu randamentul resurselor primare. Reciclarea catalizatorilor uzați se face mai frecvent prin metode pirometalurgice.

Argintul apare în mod natural, în mediu, ca un metal moale, de culoare "argintie", neexistând surse artificiale pentru acesta. Materialele fotografice sunt sursa majoră de deșeuri cu conținut de argint, care este eliberat în mediul înconjurător.

Recuperarea argintului din deșeuri sub formă de soluții, cum ar fi cele produse de prelucrarea clasică medicală și industrială a filmelor cu raze X, filme fotografice și imagini a fost practică de peste 100 de ani. Cu toate acestea, viabilitatea economică a procesului s-a schimbat radical în ultimii ani.

Metodele moderne de recuperare oferă posibilitatea de a realiza o amortizare rapidă, ceea ce înseamnă profituri mai rapide.

Studiile și cercetările la nivel național privind recuperarea argintului din radiografii nu sunt aprofundate. La nivel internațional, studiile efectuate de-a lungul timpului privind recuperarea argintului din deșeuri de filme radiografice au evidențiat două metode tipice: prin procese pirometalurgice; prin procese hidrometalurgice, respectiv prin solubilizare acidă.

În urma studiului privind reciclarea metalelor prețioase prin diverse metode din diferite deșeuri existente pe plan mondial, se desprind următoarele concluzii:

- ***Colectarea de deșeuri care conțin metale prețioase*** este un pas decisiv pentru reciclarea și gestionarea eficientă a resurselor.

- ***Etapele de preprocesare***, inclusiv sortarea, dezmembrarea, zdrobirea și eliberarea vor izola metalele, aliajele și alte valori dintr-un material complex de deșeuri.

- ***Cunoașterea incompletă a metodelor care stau la baza proceselor de topire și rafinare*** reprezintă o altă barieră care afectează potențialul de reciclare a metalelor prețioase.

CAPITOLUL 3. NECESITATEA RECUPERĂRII ARGINTULUI DIN FILMELE RADIOGRAFICE

Filmele radiografice, fotosensibile, sunt suportați de nitrat de celuloză prevăzute cu o peliculă de halogenură de argint pe ambele fețe. Filmul de raze X conține în medie 7,5g Ag/kg, în timp ce negativele au 9g Ag/kg, iar filmele aparatelor foto 2g Ag/kg. Cantitatea de argint din soluția fixatoare depinde de modul de prelucrare, dar media este de 3g/l.

Managementul deșeurilor, incluzând și partea de recuperare a acestora are la bază activități cu impact multiplu:

- tehnologic, prin folosirea deșeurilor în fluxurile de producție, care înlocuiesc astfel materiile prime deficitare în multe cazuri;

- economic, prin reducerea costurilor de fabricație, de cele mai multe ori deșeurile necesitând operații minime de procesare înainte de a fi reintroduse în procesul tehnologic;

- social, prin crearea de noi locuri de muncă acolo unde este necesară procesarea deșeurilor într-o formă mai utilă procesului tehnologic;
- ecologic, prin înlăturarea deșeurilor deja produse și depozitate, dar care reprezintă un pericol pentru întreg ecosistemul, acestea fiind foarte rar inerte.

Valorificarea argintului din radiografiile reprezintă o soluție de perspectivă, cu un potențial crescut pentru viitor.

Dezvoltarea centrelor de recuperare și reciclare a radiografiilor în România ar duce la diminuarea considerabilă a cheltuielilor cu exploatarea și importul de argint precum și la creșterea rezervelor naționale de argint, metal cu proprietăți deosebite și cu o vastă utilizare.

CAPITOLUL 4. ASPECTE TEORETICE PRIVIND SINTEZA ȘI RECUPERAREA ARGINTULUI DIN FILMELE RADIOGRAFICE

Cercetarea recuperării argintului din radiografiile a fost orientată pe mai multe direcții de-a lungul timpului. Metodele aplicate în pirometalurgie sunt considerate depășite, fiind energofage. Studiile privind recuperarea argintului prin metode enzimatică, sunt într-o fază relativ incipientă, cu rezultate neelocvente, presupunând un interval lung de timp pentru desprinderea de pe film a emulsiei [7/1].

În literatura de specialitate au fost abordate numeroase metode de recuperare a argintului de pe filmele radiografice expuse, dintre care:

- leșierea în soluție de hidroxid de sodiu [8/11,9/12];
- utilizarea unor agenți reducători în două etape [10/93];
- cementarea din azotat de argint, cu metale mai active [1/2,11/94].

Nanoparticulele (NP) au o gamă largă de aplicații și în alte domenii cum ar fi cosmeticele, alimentele și hrana pentru animale, sănătatea mediului, mecanica, optica, științele biomedicale, industria chimică, electronica, industriile spațiale, emițătoarele de lumină, dispozitive optice neliniare și aplicații fotoelectrochimice.

Pentru sinteza nanoparticulelor de argint se folosesc metode variate, spre exemplu cele chimice, inclusiv reducerea chimică, utilizând unul sau mai mulți agenți reducători organici și anorganici, tehnici electrochimice, reducere fizico-chimică, radioliză, ablație laser, iradierea cu microunde sau reducere sonoelectrochimică sau sonochimică [12/99,13/100].

Argintul a fost recuperat cu succes din filme fotografice folosind o soluție de NaOH, fără nici o separare sau purificare. Având în vedere că soluțiile coloidale nu pot fi filtrate, a fost obținut argintul metalic granulat și lucios, cu un nivel de puritate de 99,24% ±0,03 [9/12].

Procesul de cementare este utilizat pentru sinteza metalelor prețioase din soluții de leșiere și pentru purificarea soluțiilor electrolitice. Înlocuirea metalică, numită și proces de cementare, se bazează pe utilizarea unor metale cum ar fi fierul, zincul și cuprul, care sunt mai active decât argintul pentru refacerea eficientă a efluentului. Procesul, în general, este compus din două reacții:

- reducerea ionului metalic mai activ;
- oxidarea metalului mai puțin activ.

Pentru sintetizarea unei pulberi de argint pur poate fi aplicat procesul de cementare, prin precipitarea compusului de argint dintr-o soluție, urmată de

reducerea precipitatului, iar apoi pentru creșterea densității aparente, cementul se încălzește într-un cuptor, păstrându-și morfologia.

Studiul unui material vast de metode de sintetizare și recuperare ale metalelor prețioase și în special ale argintului, au constituit baza realizării cercetării de laborator în vederea recuperării argintului din radiografii.

CAPITOLUL 5. CERCETĂRI ȘI EXPERIMENTĂRI PROPRII PRIVIND SINTEZA ȘI RECUPERAREA ARGINTULUI DIN FILME RADIOGRAFICE ȘI EFLUENȚI

În cercetările proprii am utilizat deșeuri de filme radiografice provenite de la Spitalul Municipal "Alexandru Simionescu" Hunedoara, cu respectarea legislației în vigoare referitoare la confidențialitatea datelor. Conform informațiilor furnizate, în fiecare lună se procesează în medie 2500 radiografii. Radiografiile au o masă medie de 20g, ceea ce presupune că masa radiografiilor dezvoltate lunar este de aproximativ 50kg. Un kilogram de radiografii conține minim 2g de argint, deci argintul ce ar putea fi recuperat este de cel puțin 1kg pe an, într-o singură unitate spitalicească de mărime și capacitate medie. Extrapolând aceste date la nivel național, se pot obține minim 300kg de argint pe an, rezultat din valorificarea filmelor radiografice expuse.

În cadrul experimentărilor efectuate, pentru recuperarea argintului s-au folosit mai multe metode, cele mai elocvente fiind:

- cu soluție de hidroxid de sodiu la diverse concentrații, inclusiv utilizând agenți reducători;

- cementarea argintului cu metale mai active (cupru, fier, zinc) din soluții de azotat de argint, obținut prin percolarea emulsiei fotografice în acid azotic.

Primul demers experimental a presupus leșierea (percolarea) filmului în soluții de NaOH. În acest caz au fost realizate un număr de 7 serii de experimentări, pe cantități diferite de deșeu de film radiografic, modificând parametrii experimentali: concentrația soluției de NaOH, modul de uscare a filmelor, temperatura de leșiere, modalitatea de separare a reziduului, etc.

În urma cercetărilor experimentale a rezultat o variantă tehnologică simplificată, denumită generic schema B-E, prezentată în fig.1/5.14. Reziduurile rezultate au fost analizate/vizualizate înainte de topire, în fig.2/5.18 fiind prezentate atât particule de argint cât și impuritățile prezente. După topire, au rezultat bucățile de argint prezentate în fig.3/5.21.

În urma experimentărilor au rezultat următoarele concluzii:

- Procesul cuprinde o serie de etape care trebuie respectate, astfel încât să poată fi recuperat cel puțin parțial argintul depus pe filmul radiografic dezvoltat.

- Durata procesului este relativ mare, ceea ce în practica industrială ar conduce la o eficiență economică mai redusă.

- Eliminarea necesității spălării reziduului rezultat (cu cantități relativ mari de apă distilată, pentru eliminarea cristalelor de sodă pe argintul recuperat). Se evită astfel o poluare a mediului prin evacuarea reziduurilor lichide rezultate din procesul de spălare.

- În ceea ce privește leșierea filmelor radiografice în soluții apoase de NaOH,

se recomandă următorii parametri de proces: concentrația de soluție apoasă de NaOH 1,5 M, interval de proces de 80-90°C.

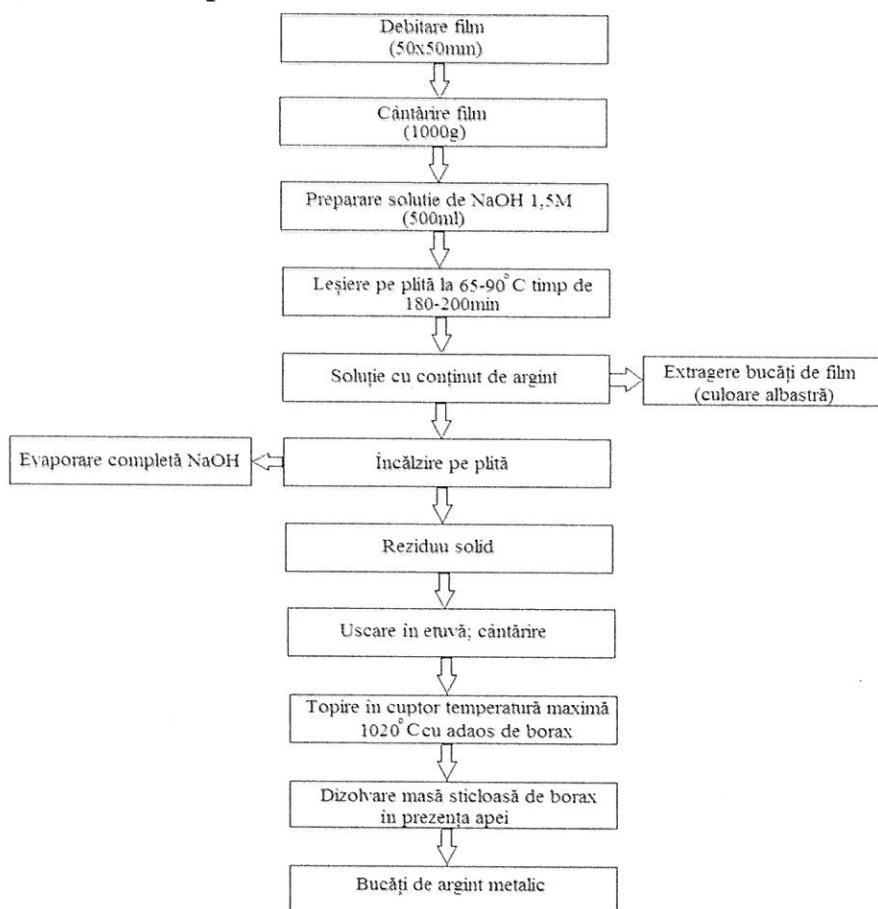


Fig.1. Varianta tehnologică B-E

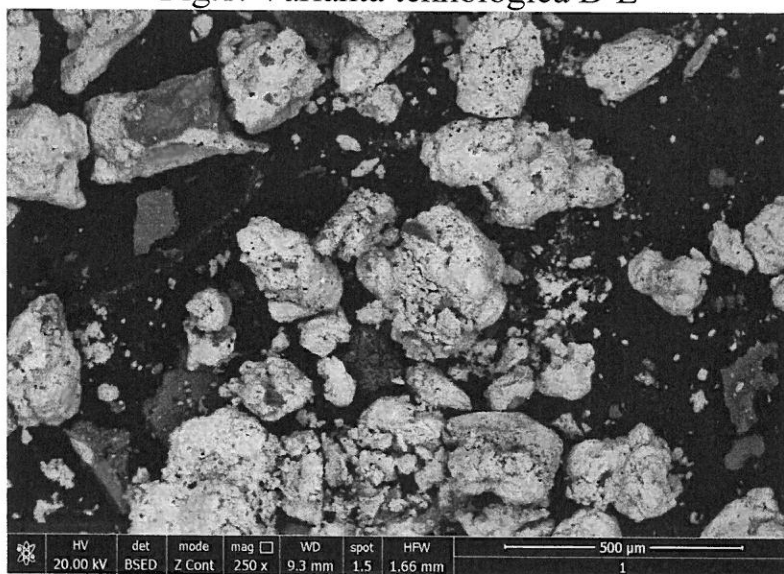


Fig.2. Vizualizarea reziduuului solid prin analiză SEM (ordin de mărire x250)



Fig.3. Bucăți de argint obținute cu NaOH

Soluțiile care conțin argintul reacționează cu acidul azotic, dacă concentrațiile acestuia sunt suficient de mari. În urma reacției rezultă azotat de argint și alți compuși chimici, în funcție de tipul soluției, iar în unele cazuri, din acest amestec se poate recupera argintul, fie prin reducere chimică cu unul sau mai mulți agenți reducători, fie prin cementare, metodă folosită și în purificarea argintului.

A doua direcție de cercetare a constat în cementarea argintului din azotatul de argint, rezultat în urma trecerii în soluție de acid azotic a argintului de pe pelicula radiografică. Cementarea argintului s-a făcut în trei variante, utilizând Cu, Zn și Fe, în cazul utilizării Zn și Fe, în filtrat nefiind evidențiate particule de argint.

Demersul experimental a cuprins un număr de 7 serii, pe baza rezultatelor obținute ajungându-se la o variantă tehnologică considerată optimă, demunită schema R – prezentată în fig.4/5.59.

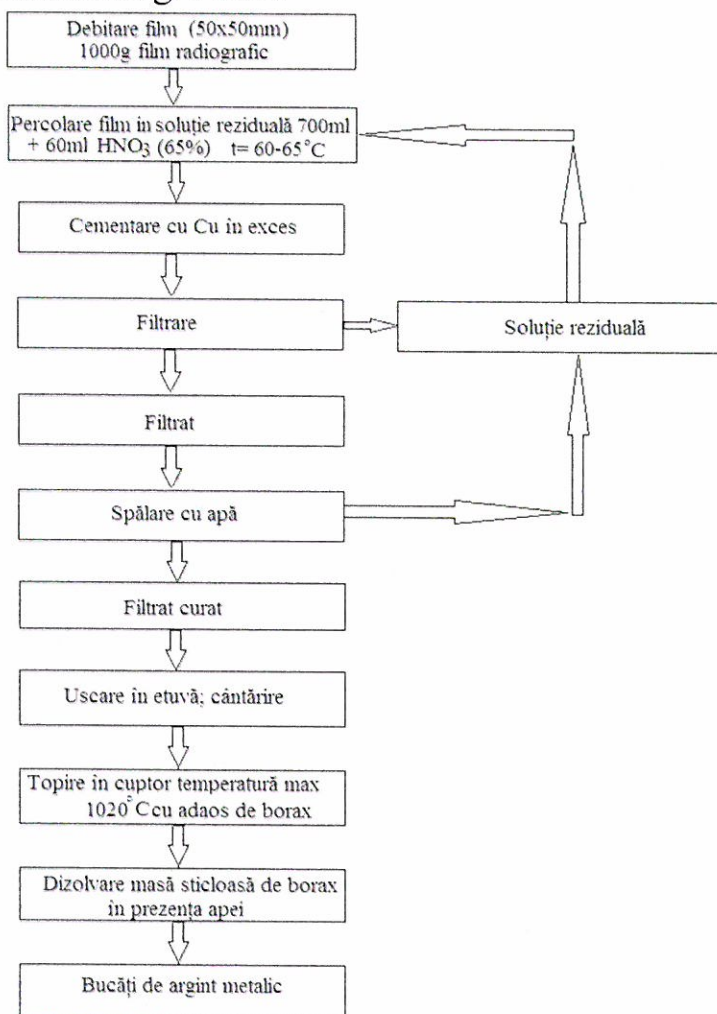


Fig.4. Schema tehnologică R

Au fost analizate probe rezultate atât la microscopul stereografic cât și electronic de baleiaj, aspectele vizualizate fiind prezentate în fig.5/5.55 respectiv fig.6/5.57.



Fig.5. Vizualizarea particulei de argint prin analiză SEM (ordin de mărire x5000)

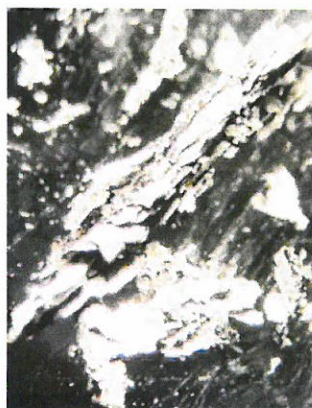


Fig.6. Argint cu aspect dendritic (x20)

În urma studiului efectuat cu scopul obținerii argintului de pe filmele radiografice expuse utilizând acid azotic, rezultă următoarele concluzii:

- Temperatura optimă de stripare este de 55-65°C, ceea ce duce la un timp de percolare a filmelor radiografice de cca. 30s .

- Concentrația de acid azotic optimă în soluția apoasă este de 20% (valori mai mari ducând la creșterea prețului de cost al procesului, iar valori mai mici la creșterea timpului de stripare a argintului din emulsia radiografică, respectiv scăderea randamentului procesului).

- Raportul optim de diluție recomandat înainte de cementare este de 1:1.

- Forma și dimensiunile particulelor de argint obținute diferă în cazul fiecărei etape de cementare, la început particulele fiind de dimensiuni mai mici, ulterior acestea crescând și putând fi vizualitate cu ochiul liber.

- Ideea refolosirii perpetue a soluțiilor în procesele următoare, fără ca acestea să fie dispersate în mediu, fac din această nouă metodă o posibilitate de aplicare la

scară largă pentru recuperarea argintului din radiografii, găsindu-se rezolvarea uneia dintre principalele deficiențe ale metodelor hidrometalurgice.

- Când concentrația de cupru în soluție ajunge la o concentrație prea mare, poate fi supusă unui proces de electroliză, cu anod de cupru, metodă clasică de recuperare și rafinare a cuprului. Ținând seama de faptul că acest lucru se întâmplă după un număr mare de reutilizări, iar cantitățile de soluție nu sunt mari, deoarece se evaporă, costurile acestui proces de remediere sunt mici.

- Puritatea dovedită de rezultatele analizelor de laborator arată că recuperarea argintului prin cementare este o metodă viabilă de recuperare a acestuia din radiografii.

CAPITOLUL 6. SISTEM DE GESTIUNE INFORMATICĂ A FILMELOR RADIOGRAFICE

Implementarea unui program de digitalizare și de organizare a înregistrărilor unui spital, împreună cu instalarea unui sistem dinamic și amplu de regăsire a informațiilor, ar trebui să reprezinte o prioritate pentru orice cabinet medical/unitate spitalicească, pentru a îmbunătăți serviciile din domeniul medical.

În cadrul acestui capitol s-a dorit construirea unei aplicații informatice, care să permită evidența exactă a gestionării radiografiilor din cadrul unui spital, ceea ce ar permite reținerea la sursă a filmelor radiografice, cu posibilități de acumulare centralizată și predare ulterioară filmelor specializate în recuperarea argintului.

Mediul de dezvoltare ales pentru realizarea aplicației este Microsoft Access [14-16/152-154]. Aplicația este de tip Windows Forms, permițând o interfață prietenoasă cu utilizatorul, prin care se pot realiza toate operațiile de gestiune a pacienților, într-un mod grafic ușor de înțeles pentru orice utilizator ce deține cunoștințe minime de utilizare a calculatorului.

Pornind de la această aplicație, care permite organizarea pacienților și a radiografiilor într-o bază de date, se poate crea o rețea complexă care să includă toate cabinetele medicale/ unități spitalicești, care să țină o evidență unitară a radiografiilor. O astfel de rețea ar simplifica foarte mult componentele ale managementului integrat de gestiune a filmelor radiografice (de organizare a depozitării radiografiilor, de control a condițiilor de depozitare precum și de predare filmelor de procesare în vederea recuperării argintului), cât și modul de căutare și accesare a radiografiilor indiferent de timp și locație.

CAPITOLUL 7. CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DIRECȚII DE CONTINUARE A CERCETĂRILOR

Dintre concluziile finale evidențiate în teza de doctorat, sunt prezentate în continuare cele mai semnificative:

1/3. Studiile referitoare la recuperarea metalelor prețioase constituie o preocupare a oamenilor de știință, susținută de instituții și firme în contextul economic global.

2/5. Rata de recuperare a metalelor prețioase este încă destul de mică, însă cercetările actuale pot oferi soluții de perspectivă mai bune, atât în ceea ce privește

gestionarea deșeurilor cât și modalități clare, concrete și cu eficiență sporită pentru separarea și reutilizarea acestora.

3/12. Recuperarea argintului din radiografiile are o importanță deosebită datorită extinderii utilizării acestora în numeroase domenii, inclusiv a medicinei.

4/18. Una dintre direcțiile de cercetare a constat din utilizarea soluției apoase de hidroxid de sodiu ca agent de leșiere a peliculei anorganice depuse pe stratul de polimer (procesul tehnologic A). Din varianta de bază, cu unele modificări, s-au desprins 9 variante, fiind prezentate atât fluxurile tehnologice parcurse cât și aspecte din timpul experimentărilor.

5/19. Pe baza datelor și observațiilor rezultate din experimentele de laborator corelate cu rezultatele din prelucrarea matematică (exprimate grafic și analitic în programele de calcul Excel și Matlab), s-au obținut intervalele de variație optime pentru parametrii de influență considerați semnificativi: concentrația soluției apoase de NaOH de 1,5M, temperatura de leșiere de 80-90°C.

6/20. Din această direcție de cercetare s-a ajuns la o variantă optimă simplificată (schema tehnologică B-E).

7/21. A doua direcție de cercetare în condiții de laborator a constat în utilizarea pentru striparea peliculei anorganice care conține argint a unei soluții apoase de acid azotic, urmată de cementarea argintului cu metale mai electropozitive, fiind parcurse 7 variante tehnologice diferite.

8/23. Parametrii de influență identificați în varianta optimă simplificată (schema tehnologică R) au fost următorii: temperatura de stripare de 55-65°C, concentrația soluției apoase de HNO₃ de 20%, utilizarea cuprului în procesul de cementare (obținându-se randamente de extracție a argintului mai mari comparativ cu utilizarea fierului sau a zincului), necesitatea diluării soluției rezultate după percolare, în scopul reducerii consumului de cupru.

9/24. Puritatea argintului obținut după schema tehnologică R a fost ridicată, ceea ce duce la eliminarea etapei de rafinare ulterioară a argintului.

10/25. Baza de date realizată permite o înregistrare (prin scanare) a radiografiilor pacienților, stocarea acestora pentru fiecare pacient în parte astfel încât să poată fi accesată după caz de medicii specialiști, indiferent de dată sau locație, reținerea la sursă (generator) a radiografiilor (pe o perioadă clar stabilită prin norme interne).

Cele mai semnificative contribuții originale sunt următoarele:

1/3. Stabilirea, pe baza datelor experimentale din literatura de specialitate, a unor corelații simple (în programul de calcul Excel) – exprimate grafic și analitic prin funcții polinomiale de grad superior, și respectiv, corelații duble (în programul de calcul Matlab) – exprimate grafic (prin suprafețe de corelație, curbe de nivel în proiecție plană și spațială precum și figurarea subdomeniilor de variație) și analitic (prin ecuații polinomiale de gradul 2, gradul 5 și ecuații compuse – polinomial + logaritmice), în toate cazurile fiind prezentați, de asemenea, coeficienții de corelație obținuți.

2/4. Utilizarea unor astfel de reprezentări grafice și/sau ecuații analitice prezintă interes pentru practica industrială în scopul determinării unor parametrii de

variație, a unor domenii de încadrare optimă și a timpului alocat determinărilor cantitative și calitative ale proceselor.

3/5. Stabilirea, pe baza numeroaselor experimente realizate în laborator și a prelucrării datelor obținute în programele de calcul Excel și Matlab, a unei metode simplificate de lucru pentru recuperarea argintului de pe filmele radiografice, utilizând o soluție apoasă de hidroxid de sodiu (schema tehnologică B-E), și respectiv a parametrilor optimi de lucru.

4/6. În urma demersului experimental efectuat, în ceea ce privește utilizarea NaOH la leșierea filmului radiologic, s-a ajuns la concluzia că nu mai este necesară etapa de spălare (mai ales cu utilizare de apă distilată) și uscare a filmelor (naturală sau cu atât mai mult în etuvă), ceea ce duce la o reducere a timpului de procesare și respectiv la eficientizarea economică a procesului (reducere costuri apă și energie).

5/7. Alegerea, pe cale experimentală, a cuprului ca metal utilizat pentru cementarea argintului din soluțiile de azotat de argint.

6/8. Stabilirea, pe baza numeroaselor experimente realizate în laborator și a prelucrării datelor obținute în programele de calcul Excel și Matlab, a unei metode simplificate de lucru pentru recuperarea argintului de pe filmele radiografice, utilizând o soluție apoasă de acid azotic (schema tehnologică R), și respectiv a parametrilor optimi de lucru.

7/9. Utilizarea apei curente în procesul de trecere în soluție a argintului de pe filmele radiografice, precum și pentru spălarea filtratului, în locul celei dublu sau triplic distilate, din considerente economice.

8/10. Recuperarea cuprului din soluțiile reziduale prin electroliză și reutilizarea tuturor produșilor secundari.

9/11. Argintul metalic obținut prin tratarea filmelor cu acid azotic, după topirea în cuptor, are o puritate foarte mare, de peste 99%.

10/13. În întregul demers experimental s-a plecat de la premisa că protecția mediului și respectiv reducerea gradului de poluare reprezintă o prioritate.

11/14. Realizarea unei baze de date, cu posibilitatea de a fi aplicată la nivel regional sau chiar național, care permite o gestionare adecvată a filmelor radiografice la sursă (cabine medicale/ unități spitalicești), permițând totodată accesul facil al medicilor, pacienților și al administratorilor de rețea și asigurând derularea în condiții mai bune a actului medical, cu respectarea confidențialității datelor pacienților.

Având în vedere rezultatele obținute prin elaborarea tezei de doctorat cu titlul: „*Cercetări privind recuperarea argintului din filme radiografice și efluenți*”, consider că acestea prezintă interes pentru recuperarea argintului din radiografia la nivel industrial, iar cercetările viitoare în domeniul pot aborda următoarele direcții:

- transfer tehnologic către un procesator industrial interesat;
- extinderea cercetărilor prin recuperarea argintului din efluenți (revelator și fixator);
- extinderea cercetărilor prin recuperarea argintului, aurului și a altor metale prețioase din DEEE, catalizatori și din alte deșeuri care conțin metale prețioase [17,18/155, 151];

- implementarea în fază pilot a bazei de date, referitoare la gestionarea cu un impact minim asupra mediului, a filmelor radiografice expuse.

Bibliography

- [1/2] S.Aktas, M.H. Morcali, O.Yucel, „Silver recovery from wasre radiographic films by cementation and reduction”, *Canadian Metallurgical Quarterly*, 2010, Volume 49, No.2, pp.147-154
- [2/8] A.D.Bas, E.Y.Yazici, H. Deveci, ”Recovery of silver from X-ray film processing effluents by hydrogen peroxide treatment”, *Hydrometallurgy*, 2012, Volume 121-124, 6, pp. 22-27
- [3/18] European Parliament. Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on waste electrical and electronic equipment (WEEE). Off. J. Eur. Union 2003, Volume L37, pp. 24–38.
- [4/21] J. Puckett, L. Byster, S. Westervelt, R. Gutierrez, S. Davis, A. Hussain, M. Dutta, „Exporting Harm—The High-Tech Trashing of Asia”; The Basel Action Network (BAN) Silicon Valley Toxics Coalition (SVTC): Seattle, WA, 2002,USA
- [5/54] http://www.saimm.co.za/Conferences/Pt2012/695-714_Rumpold.pdf
- [6/55] <http://www.emitec.com/en/environmental-protection/environmentally-sound-recycling.html>
- [7/1] S. Shankar, S. V. More, R. Seeta Laxman, ”Recovery of silver from waste X-ray films by alkaline protease from *Conidiobolus Coronatus*”, Division of Biochemical Sciences, National Chemical Laboratory, 2011, Pune – 411008, India
- [8/11] J. Marincovic, M. Korac, Z.Kamperovic, I.Matic, ”Recycling of silver from exposed X-ray films”, *Acta Metalurgica Slovaca*, 2006, Volume 12, pp. 262-268
- [9/12] N. Nakiboğlu, D. Toscali, G. Nişli, T.J. Chem, ”A Novel Silver Recovery Method from Waste Photographic Films with NaOH Stripping”, 2003, Volume 27, pp. 127-133, , vizualizat pe:
https://www.researchgate.net/publication/238770816_A_Novel_Silver_Recovery_Method_from_Waste_Photographic_Films_with_NaOH_Stripping
- [10/93] <https://www.google.com/patents/US6290749> - Preparation of ultra-pure silver metal US 6290749 B1
- [11/94] M. Jaskuła, ”Cementation of Silver Ions on Metallic Copper”, *Jordan Journal of Earth and Environmental Sciences*, 2009, Volume 2(1), pp.84- 95
- [12/99] D. Kim, S. Jeong, J. Moon, ”Synthesis of silver nanoparticles using the polyol process and the influence of precursor injection”, 2006, *Nanotechnology*, doi: 10.1088/0957-4484/17/16/004
- [13/100] S. Iravani, H. Korbekandi, S.V. Mirmohammadi, B. Zolfaghari, ”Synthesis of silver nanoparticles: chemical, physical and biological methods”, *Res Pharm Sci.*, 2014, Volume 9(6), pp. 385-406
- [14/152] E. Koller, M Roşculeţ, ”Programare în Access”, Editura Teora 2002, ISBN 973-601-909-8, Bucureşti
- [15/153] Grupul BDASERG, Baze de date – Fundamente teoretice și practice, Editura Infomega, 2002, ISBN 973-99970-3-1
- [16/154] J. Cox, J. Lambert, ”Step by step – Access, Get practice files and complete eBook”, 2010, ISBN 978-7356-2692-8

[17/155] L. Cînda, E. Ardelean, M. Ardelean, L. Strugariu, "Preliminary Tests for Precious Metals Recovery from Sideritic Waste", AMS, Timișoara, 2015

[18/151] L. Cînda, T. Heput, E. Ardelean, "Methods of recovering precious metals from industrial waste", International Conference on Applied Sciences, ICAS2015, published in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol.106, 9 pagini, 2016, indexată ISI