

Ημερίδα της Κοσμητείας της Πολυτεχνικής Σχολής του ΑΠΘ
Θεσσαλονίκη, 24 Μαΐου 2012

***Χρυσός στη Βόρεια Ελλάδα
Ευλογία και κατάρα***

Εισήγηση

Γεωργίου Κ. Τριανταφυλλίδη
Λέκτορα της ΠΣΑΠΘ

Εμφανίσεις χρυσού στη βόρεια Ελλάδα και παραγωγή του με εκχύλιση
των πετρωμάτων

Η τύχη των «**εναλλάξιμων μετάλλων**» για το νερό στα οικοσυστήματα

1. Εμφανίσεις χρυσού στη βόρεια Ελλάδα, εναλλάξιμα μέταλλα για τα φυσικά νερά

Η παρουσία του χρυσού στα πετρώματα της Βόρειας Ελλάδας και η επιχειρούμενη αδειοδότηση εξορυκτικών δραστηριοτήτων με στόχο την παραγωγή του μετάλλου αυτού **εισάγει την κοινωνία των πολιτών της περιοχής στην κλίμακα των ppm / ppb**, δηλαδή στην κλίμακα της περιεκτικότητας των πετρωμάτων της περιοχής στο μέταλλο αυτό.

Ο Au συναντάται στη φύση στα **αβιοτικά περιβάλλοντα** (νερό βροχής, θαλασσίνο νερό, νερό λιμνών, ατμοσφαιρική σκόνη, εδάφη, χιόνι) σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. **Οι μέγιστες τιμές τους είναι:**

0,001 μg/L στο βρόχινο νερό, 0,0015 μg/L στο θαλασσίνο νερό αλλά κοντά σε υδροθερμικές εκχύσεις, 19 μg/L σε νερό ποταμών κοντά σε μεταλλευτικές περιοχές παραγωγής χρυσού, 2,53 mg/kg ξηρού δείγματος στο χιόνι κοντά σε μία μεταλλουργία (Smelter) στη Ρωσία, 256 mg/kg ξηρού δείγματος σε ιζήματα καθαρών νερών κοντά σε ένα τέλμα μεταλλουργίας χρυσού. **Για το στερεό φλοιό της γης αναφέρονται τα 5 μg/L ξηρού δείγματος.**

Στη **γλωρίδα** (στα φυτά) υψηλές συγκεντρώσεις του μετάλλου αναφέρονται σε περιοχές κοντά στις μεταλλουργίες χρυσού (19 μg/kg ξηρού δείγματος).

Στον **άνθρωπο** αναφέρονται συγκεντρώσεις 1,1 μg/L στα ούρα οδοντοτεχνιτών έναντι 0,002 έως 0,85 μg/L σε ανθρώπους οι οποίοι δεν έχουν σχέση με ανάλογες δραστηριότητες [4].

Ο χρυσός αυτός προέρχεται από τη **διάσπαρτη παρουσία του μετάλλου στο στερεό φλοιό της γης**. Η βιοσυσσωρευση και η τοξικότητά του (ιδιαίτερα στις μορφές Au⁺ και Au³⁺) για τα ζώα και τον άνθρωπο αναφέρεται στη βιβλιογραφία [4].

Επικεντρώνοντας την προσοχή στο αντικείμενο της ημερίδας μπορείτε να πληροφορηθείτε για τις εκτεταμένες εμφανίσεις του στη βόρεια Ελλάδα από άλλους εισηγητές της ημερίδας (Αρίκας, Δημητριάδης). Συγκεντρωτικά όμως σας παρουσιάζω τις εισηγήσεις των κ.κ. **Νικολάου Αρβανιτίδη** (γεωλόγος, λειτουργούσε τότε ως εκπρόσωπος της Ένωσης Ελλήνων Γεωλόγων) και **Περικλή Παπαδόπουλου** (γεωλόγος, τότε διευθυντής του ΙΓΜΕ Ξάνθης) γύρω από τη δυναμική της παρουσίας του στη Μακεδονία και τη Θράκη, όπως αναφέρονται στα πρακτικά της διημερίδας του ΤΕΕ Θράκης [3]:

Αρβανιτίδης: Ανέδειξε το ρόλο του **κρυσταλλικού (μεταμορφωμένου) υποβάθρου** της βόρειας Ελλάδας με τα μάρμαρα και τα ανθρακικά πετρώματα να λειτουργούν ως πηγές μετάλλων (άρα και του χρυσού) και δέκτες υδροθερμικών διαλυμάτων (που και αυτά μεταφέρουν μέταλλα και χρυσό). Ανέδειξε το ρόλο της παρουσίας **υπερβασικών πετρωμάτων** στην Κεντρική Μακεδονία ως φορέων χρυσού, της **ηφαιστειότητας** στην περιοχή του βορείου Αιγαίου και του **μαγματισμού ηφαιστειότητας** για τις χρυσοφόρες μεταλλοφορίες Χαλκιδικής και Κιλκίς. Τέλος τα **μεγάλα ρήγματα** είναι υπεύθυνα για τη χρυσοφόρο μεταλλοφορία του Παγαίου.

Παπαδόπουλος: Εστίασε την προσοχή του στα **επιθερμικά συστήματα** παρουσίας χρυσού στη Θράκη. Το πεδίο Αισύμης – Σαπών - Πετρωτών είναι ένα μεγάλο επιθερμικό πεδίο – φορέας χρυσού (20 x 5 km στα όρια των νομών Ροδόπης – Εβρου).

Το σύνολο των παρουσιάσεων όλων των εισηγήσεων γύρω από την παρουσία του χρυσού καταλήγει στη διατύπωση ενός **κεντρικού συμπεράσματος** για την παρουσία του χρυσού στα πετρώματα της βόρειας Ελλάδας:

1. Ο χρυσός υπάρχει **διάσπαρτα κατανεμημένος** (σε περιεκτικότητες της τάξεως του ppm) **στα περισσότερα πετρώματα της περιοχής**. Ιδιαίτερα οι ορεινοί όγκοι (πλέον του 80% της επιφάνειάς τους) είναι σημαντικοί φορείς χρυσού αυτού του τύπου.
2. Το κοινό γεωχημικό χαρακτηριστικό όλων αυτών των εμφανίσεων είναι η **πολυμεταλλοφορία**. Τα πετρώματα τα οποία περιέχουν χρυσό περιέχουν και πολυάριθμα άλλα μέταλλα (όπως πχ μέταλλα της ομάδας της Pt) αλλά σε **συγκρίσιμες συγκεντρώσεις** με το χρυσό (ppm) και ακόμη μικρότερες (ppb).

Τα μέταλλα αυτά βρίσκονται μέσα σε κρυσταλλικές ουσίες και με βάση την τιμή της σταθεράς K του γινομένου διαλυτότητας **διαλύονται στο βρόχινο νερό**, όπως αυτό κατεισδύει στα πετρώματα μετά από τη βροχόπτωση. Η αντίδραση διαλυτοποίησης λειτουργεί και κατά την αντίστροφη έννοια (εναπόθεση). Υπό τη λογική αυτή χαρακτηρίζονται στα πλαίσια της εισήγησης ως **εναλλάξιμα μέταλλα** (για το φυσικό νερό).

Με τη σειρά του το νερό χρησιμοποιείται από τον άνθρωπο με **άντληση** μέσω γεωτρήσεων είτε για άρδευση είτε για πόση. Είναι γνωστό ότι το ωφέλιμο νερό για την επιβίωση στη Βόρεια Ελλάδα **αντλείται από βάθη μέχρι 300 m**. Η πολιτική αυτή πήρε εκρηκτικές διαστάσεις κατά τα τελευταία 30 χρόνια και σήμερα σε πολλές βαθύτερες γεωτρήσεις γίνεται άντληση υφάλμυρου νερού (νερού της θάλασσας).

Η ποιότητα των γεωργικών προϊόντων στην περιοχή εξαρτάται ισχυρά από τα μεταλλικά ιχνοστοιχεία του φυσικού νερού. **Είναι δώρο της φύσης το ότι τα νερά μπορούν να εμπλουτίζονται από τέτοια μεταλλικά ιόντα, η παρουσία των οποίων οφείλεται αποκλειστικά σχεδόν στα πετρώματα που περιέχουν χρυσό.**

2. Προσέγγιση του τρόπου απόληψης του χρυσού, κυάνωση και σημασία του Ν. 210/1973 (Μεταλλευτικός Κώδικας) και της ΚΥΑ 39624/2009

Κάθε σκέψη για απόληψή του **εμπλέκει την εξόρυξη των πετρωμάτων** στα οποία εμφανίζεται και την **επεξεργασία τους με μία μέθοδο** η οποία να είναι οικονομικά προσοδοφόρα. Απαιτείται δηλαδή:

- A. Ο χαρακτηρισμός μίας περιοχής της επιφάνειας της γης, η οποία περιέχει χρυσό, ως **«κοιτάσματος»**. Δηλαδή περιοχής όπου η απόληψή του οδηγεί σε οικονομικό όφελος (κέρδος).
- B. Σε διεθνές επίπεδο η επικρατούσα μέθοδος απόληψης είναι η **εκχύλιση του πετρώματος σε κυανιούχα υδατικά διαλύματα** (κυάνωση). Πρόκειται για υδρομεταλλουργία. Δευτερευόντως επιτυγχάνεται απόληψή του κατά την εξαγωγική

μεταλλουργία μεταλλευμάτων του χαλκού ως **παραπροϊόντος**. Η περίπτωση αυτή όμως μπορεί να θεωρηθεί ως εξαίρεση του κανόνα.

Γ. Για λόγους ενημέρωσης αναφέρεται και η **αμαλγαμάτωση** ως μέθοδος απόληψης χρυσού. Οντας κυριολεκτικά από περιβαλλοντική άποψη απαράδεκτη, δεν θα τύχει καμμίας άλλης αναφοράς. Οπου εφαρμόστηκε από αιώνων προκάλεσε περιβαλλοντικά δεινά με τη διασπορά υδραργύρου στα οικοσυστήματα.

Από τη διαδικασία **θα αποληφθούν τα ppm του χρυσού (και του αργύρου) αλλά και των περισσότερων συνοδών μετάλλων**. Αυτόματα **το μητρικό πέτρωμα καθίσταται στο σύνολό του απόβλητο της διαδικασίας**. Όπως αναφέρουν οι **Da Rosa και Lyon (1997)** η μεταλλουργία του χρυσού είναι αυτή η οποία **δημιουργεί τα περισσότερα απόβλητα από όλες τις άλλες μεταλλουργίες των γνωστών βιομηχανικών μετάλλων** (waste intensive industry) [4]. **Που θα αποτεθεί;**

Η αδειοδότηση της όλης διεργασίας επιτυγχάνεται με εφαρμογή του **N. 210/1973** (Μεταλλευτικός Κώδικας). Ο νόμος αυτός επιτρέπει άμεσα την εξορυκτική επέμβαση και έμμεσα τη χημική διεργασία της κυάνωσης **οπουδήποτε το αποτέλεσμα είναι κερδοφόρο οικονομικά**. Δηλαδή **επιτρέπει την εφαρμογή της μεθόδου αδιάκριτα σ' όλα τα οικοσυστήματα της βόρειας Ελλάδας**.

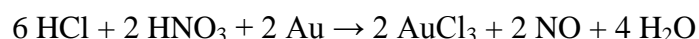
Η **KYA 39624/2009** χαρακτηρίζει τη χημική βιομηχανία της κυάνωσης «**μεταλλευτική**» και τα απόβλητά της (δηλαδή ολόκληρα τα βουνά) **δυσνητικά αδρανοποιήσιμα**. Επιτρέπει την απόθεσή τους σε οποιοδήποτε μέρος (σε «κοιλότητες» του αναγλύφου της γης!!!!) **αρκεί η εταιρία να βεβαιώσει ότι τα τοιχώματα του δέκτη είναι αδιαπέραστα στο νερό!!!** Τη δε διαδικασία της κυάνωσης ως τη **Βέλτιστη Διατιθέμενη Τεχνική (BAT)** για την παραγωγή χρυσού.

3. Τι είναι η κυάνωση – απογύμνωση των πετρωμάτων από τα μέταλλα

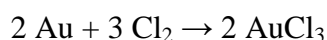
Από αρχαιοτάτων χρόνων η παραγωγή χρυσού από τον άνθρωπο γινόταν με εκμετάλλευση με **βαρυτομετρικές μεθόδους** ελεύθερου χρυσού σε κοίτες ποταμών (προσχωματικός χρυσός). Το μέγεθος των κόκκων του χρυσού αυτού ήταν **μεγαλύτερο των 50 μm** και η βαρυτομετρική μέθοδος (το γνωστό «πιάτο» των χρυσοθήρων της Αμερικής) επέτρεπε τον εύκολο διαχωρισμό και τελικά την απόληψή του.

Τα κοιτάσματα του τύπου αυτού άρχισαν να εξαντλούνται διεθνώς από τον 19^ο αιώνα. Ο χρυσός υπάρχει πλέον στα πετρώματα της επιφάνειας της γης αλλά σε μέγεθος κόκκων μικρότερο των 50 μm. Πρόκειται ουσιαστικά για **εμποτίσματα χρυσού** (και όλων των λοιπών συνοδών μετάλλων) στα μητρικά πετρώματα. Για να αποληφθεί ο χρυσός απαιτείται η **μετακίνησή** του από τη στερεά φάση του ορυκτού στην υδατική φάση ενός κατάλληλου διαλύτη. Αυτό είναι η **εκχύλιση** (leaching) του πετρώματος.

Ιστορικά η πρώτη μέθοδος εκχύλισης πετρωμάτων για παραγωγή χρυσού ήταν η εφαρμογή του **βασιλικού νερού** από τον Αραβα αλχημιστή **Jabir Ibn Hayyan** (6^{ος} αιώνας μ.Χ.)[2]:

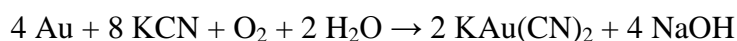


Η **χλωρίωση** αναφέρθηκε για τον ίδιο σκοπό από τον **C. W. Scheele** το 1774 και εφαρμόστηκε σε πετρώματα από τον **K. F. Plattner** το 1851:



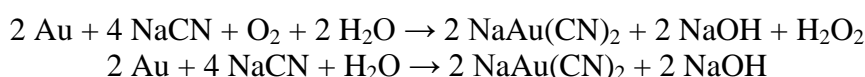
Πλησιάζοντας τον 19^ο αιώνα διαπιστώθηκε ο ρόλος των υδατικών διαλυμάτων του KCN στη διαλυτοποίηση Au. Ήταν γνωστός και στους αλχημιστές της εποχής (19^{ος} αιώνας). Οι **Scheele** (1783) και **Begraton** (1843) παρουσίασαν τη δυνατότητα του υδατικού διαλύματος KCN να διαλύσει Au από πετρώματα.

Το 1846 ο **L. Elsner** ανέδειξε το **ρόλο του οξυγόνου** στη διαλυτοποίηση Au από υδατικά διαλύματα του KCN. Σημειώνεται η παρακάτω αντίδραση, γνωστή ως **αντίδραση Elsner**:



Ενώ λοιπόν η χλωρίωση και η αμαλγαμάτωση εφαρμοζόταν με πολλά τεχνολογικά και περιβαλλοντικά προβλήματα μέχρι τα τέλη του 19^{ου} αιώνα, το **1890** οι Σκωτσέζοι **J. S. MacArthur** και οι αδελφοί **Forrest** εισήγαγαν την **κυάνωση με εφαρμογή του NaCN** στην επεξεργασία των μεταλλευμάτων του **Witwatersrand** της νοτίου Αφρικής. Μέχρι τότε (από το 1886 οπότε ξεκίνησε το μεταλλείο αυτό) εφαρμοζόταν εκεί η αμαλγαμάτωση ως μέθοδος απόληψης του χρυσού [1]. Το μεταλλείο αυτό και σήμερα είναι **το μεγαλύτερο στον κόσμο** με ετήσια παραγωγή 1.000 tn Au. Η μέθοδος έκτοτε επεκτάθηκε και κυριαρχεί μέχρι σήμερα σε διεθνές επίπεδο.

Οι παρακάτω αντιδράσεις προτείνονται πρόσφατα για την κυάνωση από τους **Korte, Coulston, Gasparini** [4]:



Τα υδατικά διαλύματα του NaCN **διαλύουν κατά την παραπάνω λογική όλα σχεδόν τα μέταλλα της πολυμεταλλοφορίας** των πετρωμάτων (Hg, Fe, Zn, Ag, Cd, Pb, As, Cu, μέταλλα της ομάδας της Pt, κλπ). Τα μεταφέρουν έτσι στην υδατική φάση, **τα κινητοποιούν**, και τα απομακρύνουν από το μητρικό πέτρωμα [2].

Η υδατική φάση της κυάνωσης με ειδική επεξεργασία κατακρημνίζει το Au και τα περισσότερα από τα διαλελυμένα μέταλλα και παράγεται έτσι ο λεγόμενος **χρυσός Dore**. Πρόκειται για **πολυμεταλλοφόρο κράμα Au/Ag** με πολυτιμότητα περίπου 85% σε Au και Ag. Ό,τι άλλο μέταλλο έχει συμπλοκοποιηθεί **κατακρημνίζεται ως ίζημα** με την εφαρμογή κάποιας μεθόδου αποτοξικοποίησης των κυανιόντων και απορρίπτεται στο χώρο τέλματος. Η **απογύμνωση των μητρικών πετρωμάτων από τα μέταλλα** με τον τρόπο αυτό είναι η θεμελιώδης αιτία υποβάθμισης της ποιότητας των φυσικών νερών, πέρα από τη διασπορά μίας ποικιλίας δηλητηρίων. Αυτό θα γίνει εύκολα αντιληπτό στα επόμενα.

Σε τεχνολογικό επίπεδο έχουν δοκιμασθεί εντατικά **εναλλακτικοί διαλύτες** για την εκχύλιση του χρυσού (alternative lixivants, θειο-θειϊκό αμμώνιο, θειουρία, βρώμιο).

Είναι συγκρίσιμα με το κυάνιο τοξικές ενώσεις. Παρόλο ότι λειτουργούν ως διαλύτες του Au πολύ ελάχιστα έχουν γίνει μέχρι σήμερα για την αποτοξικοποίηση των καταλοίπων τους [6].

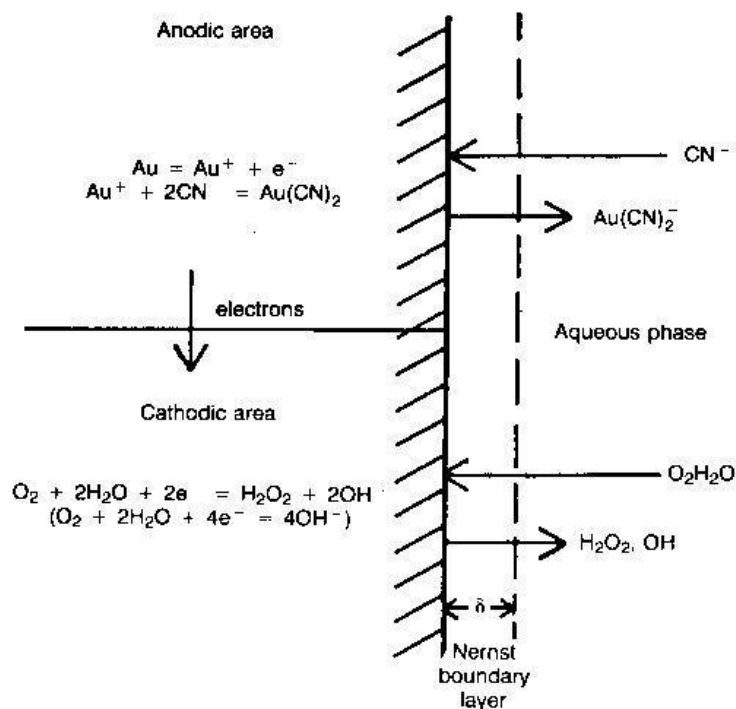
4. Μηχανισμός - κινητική της κυάνωσης και μερικές σημαντικές περιβαλλοντικές παράμετροι

Διαλυτοποίηση του Au

Για να εξηγηθεί η διαλυτοποίηση του Au και του Ag από τα κυανιούχα υδατικά διαλύματα παρουσία οξυγόνου έχουν προταθεί πέντε θεωρίες με πλέον επικρατούσα τη θεωρία **Bodlander** η οποία συνοψίζεται στην ακόλουθη φράση: **η αντίδραση διαλυτοποίησης θα προχωρά μέχρις ότου είτε εξαντληθεί το διατιθέμενο οξυγόνο είτε καταναλωθεί όλος ο υπάρχων Au.**

Στην **Εικόνα 1** παρουσιάζεται η αρχή διαλυτοποίησης του χρυσού με λειτουργία πρακτικά ενός γαλβανικού στοιχείου με άνοδο και κάθοδο [5]. Για να πραγματοποιηθεί η διαλυτοποίηση, και δεδομένου ότι οι αντιδράσεις είναι ετερογενείς, τα ακόλουθα στάδια κρίνονται απαραίτητα και με τη σειρά που αναφέρονται:

- Διαλυτοποίηση του οξυγόνου στο διάλυμα
- Μεταφορά των διαλελυμένων κυανιδίων και οξυγόνου στη διεπιφάνεια πετρώματος – διαλύματος
- Προσρόφηση των αντιδρώντων CN^- και O_2 στην επιφάνεια του στερεού
- Ηλεκτροχημική αντίδραση διαλυτοποίησης
- Εκρόφηση των υδατοδιαλυτών μεταλλοκυανιούχων συμπλόκων και λοιπών προϊόντων αντίδρασης από την επιφάνεια του στερεού
- Μετακίνησή τους προς το διάλυμα



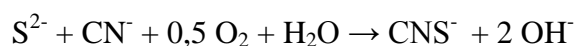
Εικόνα 1: Η αρχή διαλυτοποίησης του χρυσού σε κυανιούχα υδατικά διαλύματα.

Μια ποικιλία παραγόντων επιδρά στην **κινητική** της παραπάνω διαλυτοποίησης. Η διαθεσιμότητα οξυγόνου στη διεπιφάνεια στερεού – υγρού, η τιμή του pH, η δράση διάφορων αλκαλίων και η παρουσία άλλων ιόντων (πλην του κυανίου) στο διάλυμα. Η τελική ταχύτητα της αντίδρασης εξαρτάται και ελέγχεται από τη μεταφορά μάζας με διάχυση μέσω της διεπιφάνειας στερεού – υγρού των κυανιδίων και του οξυγόνου. Ετσι η **ταχύτητα αντίδρασης αυξάνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης οξυγόνου και την ταχύτητα ανάδευσης του πολφού.**

Οριακή ταχύτητα διαλυτοποίησης επιτυγχάνεται όταν ο **λόγος συγκέντρωσης οξυγόνου προς τη συγκέντρωση κυανιδίων είναι ίσος προς 6 [2].**

Τα θειοκυανιούχα

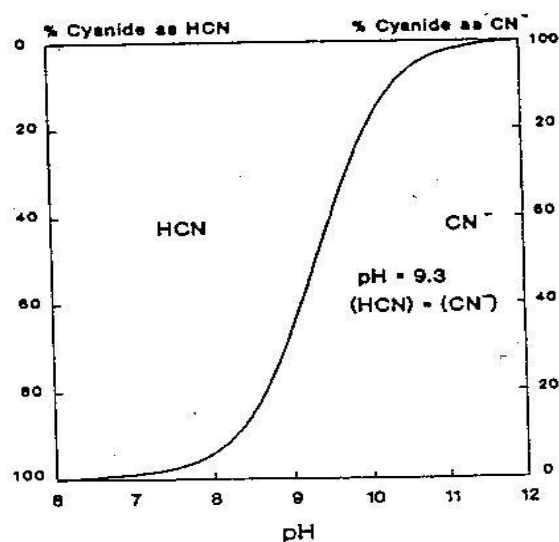
Ενδιαφέρει ο σχηματισμός **θειοκυανιούχων ενώσεων** κατά την αντίδραση πυριτών με κυανιούχα υδατικά διαλύματα διότι η περίπτωση έχει εφαρμογή στη διεργασία **εμπλουτισμού των πετρωμάτων στις εγκαταστάσεις Στρατωνίου**. Σήμερα πραγματοποιείται εμπλουτισμός με χρήση NaCN ως καταβυθιστικού αντιδραστηρίου (80 kg NaCN ημερήσια). Αυτό προσροφάται στην επιφάνεια του σιδηρο-αρσενοπυρίτη και οδεύει στη λιθογόμωση. Παρουσία οξυγόνου (το οποίο εισέρχεται στο διάλυμα κατά τον εμπλουτισμό λόγω της ανάδευσης) **δημιουργούνται θειοκυανιούχα** κατά την αντίδραση:



Θα πρέπει να ελεγχθεί η παρουσία και η τύχη των ουσιών αυτών διότι με τη λιθογόμωση απορρίπτονται ελεύθερα στις υπόγειες στοές. Αλλά και μόνον από την παρουσία κυανίου και οξυγόνου δεν διαλυτοποιείται το υπάρχον αρσενικό στο σιδηροπυρίτη μέσα στις στοές; Ποια είναι η τύχη του;

Εξάτμιση υδροκυανίου – προσθήκη αλκάλων (CaO) στα μπάνια κύνωσης

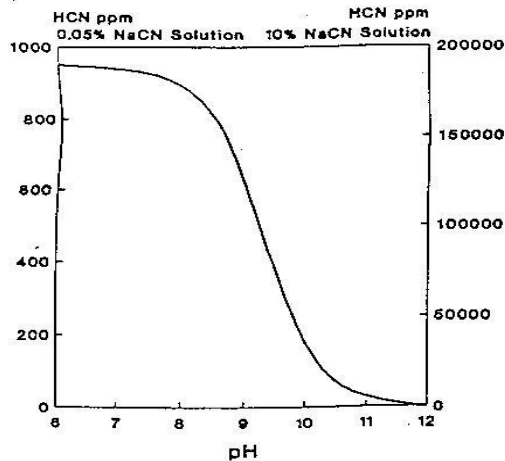
Η διάσταση του NaCN στο νερό δημιουργεί ελεύθερα κυανιόντα και HCN. Η παρουσία του τελευταίου εξαρτάται ισχυρά από το pH. Στην **Εικόνα 2** παρουσιάζεται η ισορροπία CN⁻ / HCN σε υδατικά διαλύματα. Όσο μειώνεται το pH επέρχεται **ραγδαία εξάτμιση υδροκυανίου από τα μπάνια**. Η πράξη απέδειξε ότι η προσθήκη CaO ελαχιστοποιεί την εξάτμιση όσο το pH πλησιάζει την τιμή 10,5. Σε πιο υψηλές τιμές **αναστέλλεται η κύνωση** οπότε είναι αδύνατο να εφαρμοσθούν.



Εικόνα 2: Η ισορροπία CN⁻ - HCN σε υδατικά διαλύματα [8].

Παρόλα αυτά η **εξάτμιση συνεχίζεται**, έστω και με χαμηλούς ρυθμούς, όπως φαίνεται από το διάγραμμα της **Εικόνας 3**. Με την εξάτμιση είναι ελεύθερο να προσροφηθεί στην υγρασία της ατμόσφαιρας και να επανέλθει **ανεξέλεγκτα στην επιφάνεια της γης** όπου επαναλαμβάνει τον κύκλο του. **Διαλύει μέταλλα!!!!** Στον καθαρό αέρα επιβιώνει, μέχρι να διασπασθεί από τα υδροξύλια της ατμόσφαιρας σε άζωτο και CO₂, για **δύο χρόνια** [7].

Τελευταία οι εταιρίες αρνούνται τη λειτουργία του φαινομένου αυτού και στην προπαγάνδα τους αναφέρουν ότι **στα δικά τους μπάνια δεν υπάρχει εξάτμιση υδροκυανίου!!!!**

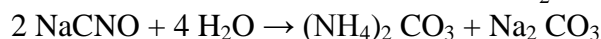
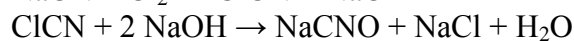
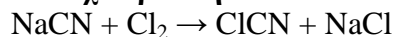


Εικόνα 3: Ταχύτητα εξάτμισης HCN από την επιφάνεια των μπάνιων κύνωσης στους 18 °C [9].

Αποτοξικοποίηση των κυανιόντων

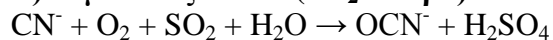
Η υψηλή τοξικότητα των κυανιούχων ενώσεων και η πολιτική πίεση από πολλές χώρες για υποβάθμισή της οδήγησε στην ανάπτυξη των λεγόμενων **μεθόδων αποτοξικοποίησης των κυανιόντων**. Σε βιομηχανικό επίπεδο υπάρχουν **τρεις διαθέσιμες ανάλογες τεχνικές** [10] οι οποίες εφαρμόζονται σε υδατικά διαλύματα (πχ μπάνια επιμεταλλώσεων) και κατ' επέκταση επιχειρείται η εφαρμογή τους στους πολφούς της μεταλλουργίας του Au:

A. Η χλωρίωση



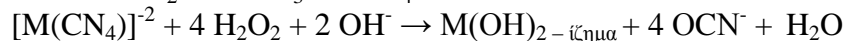
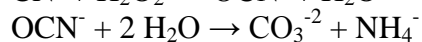
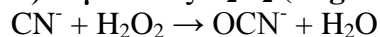
Ενδιάμεσες ουσίες: κυανικά, χλωρίδιο κυανογόνου, χλωραμίνες, υποχλωρίδια

B) Η μέθοδος INCO (SO₂ – αέρα)



Ενδιάμεσες ουσίες: θειοκυανιούχα, θειϊκό οξύ, κυανικά

Γ) Η μέθοδος H₂O₂ (Degussa)



Η μέθοδος INCO προτείνεται για εφαρμογή στη Βόρεια Ελλάδα. Υπάρχουν δύο σημαντικά σημεία στην κριτική της εφαρμογής και του αποτελέσματος των μεθόδων αυτών:

A) Για τους **πολφούς της μεταλλουργίας του χρυσού** οι μέθοδοι δρουν αποτελεσματικά σε ότι υπόσχονται **μόνον στην υγρή τους φάση**. Στους τελικούς

στερεούς κόκκους υπάρχουν **προσροφημένα κυανίδια** και θα εκλύονται στο μέλλον ανεξέλεγκτα διότι οι δεσμοί πρόσφυσής τους δεν είναι σταθεροί.

Β) Πολλά από τα ενδιάμεσα προϊόντα των μεθόδων αυτών δεν μπορούν να μετρηθούν με μεθόδους ρουτίνας. **Είναι ακόμη τοξικά** και δεν έχει μελετηθεί η επίδρασή τους στα έμβια όντα και τον άνθρωπο σε βάθος χρόνου (σε συνθήκες χρόνιας έκθεσης). Ετσι καλύτερος χαρακτηρισμός είναι ότι **αποτελούν μεθόδους υποβάθμισης της τοξικότητας και όχι τυπικής πλήρους αποτοξικοποίησης**.

Με την εφαρμογή των μεθόδων, μετά την απομάκρυνση του κυοφορούντος διαλύματος από τον πολφό και την κατακρήμνιση Au, Ag και πολλών συνοδών μετάλλων, πολλά από τα μέταλλα που παραμένουν στο διάλυμα **κατακρήμνίζονται ως υδροξειδία (ιζήματα)**.

Συνέπειες της άλεσης των πετρωμάτων – η τύχη του Κάκκαβου

Η **άλεση** (και μάλιστα εν υγρώ) επιχειρείται για κατάτμηση των κόκκων του πετρώματος σε τέτοια επίπεδα ώστε οι περιεχόμενοι μικροσκοπικοί κόκκοι χρυσού να εκθέσουν επιφάνεια στον κυανοφόρο διαλύτη. Η δράση αυτή **μεταβάλλει πλήρως και αναντίστρεπτα τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του πετρώματος** πολλαπλασιάζοντας την ειδική επιφάνεια των κόκκων κατά εκατομμύρια φορές. Ετσι η **τάση προσρόφησης χημικών ουσιών και συνακόλουθης εκρόφησης τους διαχρονικά δεν ελέγχεται επιστημονικά**.

Το υλικό αυτό εάν αποθεθεί σε χώρους τελμάτων θα ενταφιασθεί τελικά. Εάν όμως επιχειρηθεί η επανατοποθέτησή του στην φυσική του θέση με τη διαδικασία της λιθογόμωσης **τότε θα αποτελεί ένα υλικό το οποίο δεν θα έχει τα χαρακτηριστικά υδροφορέα**, δηλαδή τις υπέρλεπτες κατακλάσεις μέσα από τις οποίες κυκλοφορεί το φυσικό νερό υπό υδραυλική πίεση. Λόγω του ιδίου του βάρους θα συσσωματωθεί σε μεγάλο βαθμό και τελικά **θα είναι ένα ψαθυρό σύνολο το οποίο εν πολλοίς θα ανακλά το νερό**.

Παράδειγμα θα αποτελέσει ο Κάκκαβος ο οποίος σήμερα είναι **ο υδροφορέας για ολόκληρη την προ του Αθω περιοχή**. Το υλικό του θα εξορυχθεί και θα επανατοποθετηθεί ως λιθογόμωση **σε καθεστώς αποστράγγισης**. Αυτοί που αδειοδότησαν τη διαδικασία αυτή καλούνται υπό τύπον πειράματος να αλέσουν ποσότητα από το πέτρωμα του Κάκκαβου και να την τοποθετήσουν σ' ένα βαρέλι με τρύπια βάση το οποίο να είναι εκτεθειμένο στον ήλιο. Μετά την αποστράγγιση του περιεχομένου ας διαλύσουν τα τοιχώματα του βαρελιού για να δούν πως θα είναι το υλικό και εάν θα έχει χαρακτηριστικά υδροφορέα.. ΕΤΣΙ ΘΑ ΚΑΤΑΝΤΗΣΕΙ ΟΛΟΚΛΗΡΟ ΤΟ ΒΟΥΥΝΟ.

5. Η μεταλλουργία του χαλκού για τις Σκουριές και τη Βάθη. Το αρσενικό του αρσενοπυρίτη Ολυμπιάδας.

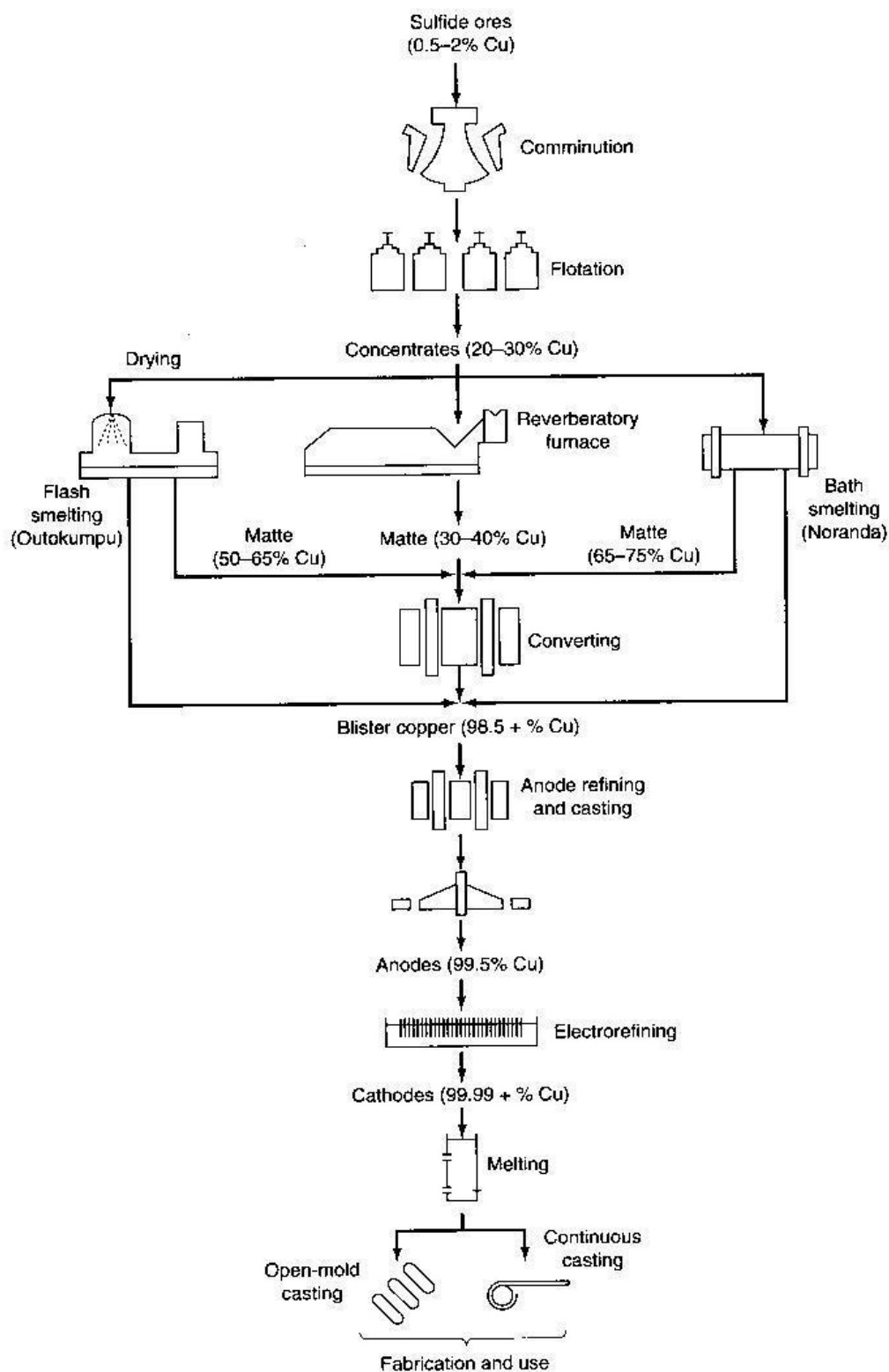
Στα πλαίσια επέκτασης των μεταλλουργιών χρυσού προτείνεται η παράλληλη απόληψη χαλκού – χρυσού για την περίπτωση των Σκουριών Χαλκιδικής αλλά και της Βάθης Κιλκίς σύντομα. Το πέτρωμα στις Σκουριές περιέχει χαλκοπυρίτη σε

ποσοστό περίπου 1,5% κ.β και χρυσό σε επίπεδα μικρότερα του 1 ppm. Οπότε προτείνεται η εφαρμογή της μεθόδου φρύξης του χαλκοπυρίτη γνωστή ως μέθοδος flash smelting. Στην **Εικόνα 4** παρουσιάζεται ένα τυπικό διάγραμμα ροής για την περίπτωση κατεργασίας χαλκοπυριτών **με περιεκτικότητα 0,5 έως 2% σε Cu** [11].

Στις Σκουριές θα εφαρμοσθεί **ο ένας από τους τρεις εναλλακτικούς δρόμους**, αυτός της εταιρίας Outokumpu (σήμερα μετονομάστηκε σε Outotec) με την **κάμινο flash-smelting**. Δύο σημεία είναι σημαντικά για την ενημέρωση γύρω από την πρόταση αυτή:

1. Μιλάει το αξιόπιστο Αμερικάνικο βιβλίο για περιεκτικότητα σε χαλκό του πετρώματος 0,5 έως 2%. Για μικρότερες περιεκτικότητες η **επίπλευση** (flotation, το πρώτο αναφερόμενο στάδιο επεξεργασίας) **προοδευτικά δεν θα είναι αποτελεσματική**.
2. Σωρεία από μέταλλα (As, Bi, Ni, Pb, Sb, Se αλλά και τα **πολύτιμα Ag, Au, Pt** κλπ) **λαμβάνονται ως υποπροϊόντα** στο στάδιο του ηλεκτρολυτικού καθαρισμού (electrorefining).

Όταν η επίπλευση πάψει να είναι αποτελεσματική **τότε θα εφαρμοσθεί κυάνωση** με το **χρυσό Dore** ως κύριο προϊόν. Η κυάνωση είναι η πρώτη εναλλακτική μέθοδος για την περίπτωση σύμφωνα με τη ΜΠΕ.



Εικόνα 5: Επεξεργασία χαλκοπυριτών για παραγωγή χαλκού (και χρυσού).

Και στις δύο περιπτώσεις γίνεται **απογύμνωση του Κάκκαβου από τα περιεχόμενα εναλλάξιμα μέταλλα** τα οποία σήμερα συναντώνται στα επίπεδα των ppm. Το

αποτέλεσμα αυτό είναι **ανεξάρτητο της εφαρμοζόμενης μεθόδου** (κυάνωσης ή flash smelting).

Πέραν από την επεξεργασία του χαλκοπυρίτη προτείνεται για τις Σκουριές η προσθήκη στην κάμινο και του αρσενοπυρίτη Ολυμπιάδας. Αυτό θα έχει ως συνέπεια την κινητοποίηση γιγαντιαίων ποσοτήτων αρσενικού (χιλιάδες τόνοι) οι οποίες θα καταλήξουν στο τέλμα του «Κοκκινόλακκα». Η μέθοδος είναι πλήρως ατεκμηρίωτη και εφαρμόζεται για πρώτη φορά διεθνώς. **Πουθενά δεν αναφέρεται πως θα διαπιστώνεται ότι το πέτρωμα της τελικής καταβύθισης του αρσενικού (ο σκοροδίτης) θα είναι υδατοδιαλυτός ή όχι. Και εάν θα είναι, τι θα γίνει;**

6. Τι ζητούν από τη βόρεια Ελλάδα, πολυεπίπεδη υποβάθμιση των φυσικών νερών, εναλλάξιμα μέταλλα, Κάκκαβος

Το πολιτικό και οικονομικό σύστημα που κυβερνά τη χώρα χαρακτήρισε ως «**κοιτάσματα**» χρυσού τεράστιες ορεινές (κατά κύριο λόγο) εκτάσεις στη βόρεια Ελλάδα και ξεκίνησε την εκποίησή τους μέσω ανοικτών διαγωνισμών προκειμένου να εφαρμοσθούν μέθοδοι αφαίρεσης του μετάλλου από τη φυσική του θέση. **Από νομική άποψη είναι μία εφαρμογή του Ν. 210/1973.**

Οι εκποιούμενες εκτάσεις χαρακτηρίζονται ως «μεταλλευτικές». Αυτόματα **όλο το μεταλλευτικό τους περιεχόμενο ανήκει στο μεταλλιοκτήτη**. Τα δικαιώματα του δημοσίου είναι ανύπαρκτα. **Η ιδιοκτησία γης χάνεται** σε κάθε περιοχή όπου θα επιχειρηθεί επέμβαση από την εταιρία. Εάν οι ιδιοκτήτες γης δεν συναινέσουν οι εκτάσεις τους θα απαλλοτριωθούν αναγκαστικά. Το δημόσιο θα προσδοκά όφελος από τα κέρδη (!!!!!) των ΑΕ, **εάν ποτέ υπάρξουν κέρδη.**

Με απλά λόγια το κόστος της ουγγιάς χρυσού δεν ξεπερνά τα 120 δολάρια ΗΠΑ ανά ουγγιά (32 γραμμάρια) από τα οποία **το 40% θα επιδοτηθεί**. Για το δημόσιο επιδότηση σημαίνει νέα δάνεια, δηλαδή **αύξηση του δημόσιου χρέους**. Για υπερτιμολογήσεις να μη γίνεται λόγος. Τιμή χρυσού τα 1500 δολάρια ΗΠΑ ανά ουγγιά. Η διαφορά όλη στην τσέπη των εταιριών και του οικονομικού κατεστημένου.

Θα αφαιρέσουν λοιπόν το χρυσό, αλλά και όλα τα εναλλάξιμα μέταλλα, από τα οικοσυστήματα, άσχετα από τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο. Η απογύμνωση θα λειτουργήσει στα επίπεδα των ppm και θα είναι καταλυτική για την ποιότητα των φυσικών νερών διότι θα τα στερηθεί οριστικά. Ο ρόλος τους δεν έχει αναδειχθεί διότι **δεν υπήρξε μέχρι σήμερα αφορμή**. Επιστήμες όπως η γεωλογία και η χημεία θα πρέπει να αναδείξουν την παρουσία τους στη φύση και το ρόλο τους στην ποιότητα των γεωργικών προϊόντων (μέσω των νερών άρδευσης) και συνεπώς στην **ποιότητα της ζωής των κατοίκων.**

Η συνολική υποβάθμιση των νερών και από **πολλές άλλες παράλληλες αιτίες**, έχουν αναδειχθεί από εισηγητές της ημερίδας (εκροές δηλητηρίων, όξινη απορροή, εκτροπή υπόγειων νερών, αποστράγγιση βουνών κλπ).

Το **δραματικό παράδειγμα εφαρμογής των προηγούμενων ο Κάκκαβος**. Η εξορυκτική δραστηριότητα θα αφαιρέσει το περιεχόμενο του βουνού - υδροφορέα, θα

το αλέσει, **θα αφαιρέσει το χρυσό και τα εναλλάξιμα μέταλλα** (με flash smelting ή με κυάνιο), θα επαναποθετήσει το αλεσμένο υλικό με πολλά χημικά αντιδραστήρια στη θέση του, θα στρώσει με χώμα την τελική επιφάνεια και θα επαναφέρει την αρχέγονη βλάστηση όπως είναι σήμερα οπότε το υπόγειο νερό θα γυρίσει στη θέση του!!!! **Ποιός τα πιστεύει αυτά, εκτός από την αδειοδοτούσα αρχή;**

Εάν το μέγεθος της επέμβασης όμως σήμερα κατά τη ΜΠΕ είναι x (με τιμή χρυσού τα 430 δολάρια ΗΠΑ ανά ουγγιά) **θα πρέπει να γίνει 3x** (για τη σημερινή τιμή των 1500 δολλαρίων ΗΠΑ ανά ουγγιά). Τότε απαιτείται τώρα υποβολή νέας ΜΠΕ!!! **Δεν νομίζετε;**

Στα πλαίσια αυτά τίθεται το ερώτημα: Ποια θεωρείται κατά την αδειοδοτούσα αρχή περιβαλλοντική επίπτωση από τη συνολική αυτή δράση, πως αποτιμάται οικονομικά και πως νοείται η περιβόητη αποκατάσταση των επιπτώσεών της; **Γιατί η ΜΠΕ και η ΑΕΠΟ απλά κωφεύουν.** Τότε ο «**ορυκτός πλούτος**» (για την αξιοποίηση του οποίου κανείς δεν αντιλέγει) καταντά «**ορυκτή κατάρα**».

Μήπως όλα αυτά είναι **κατάφορα αντίθετα** με την πολυδιαφημισμένη Ευρωπαϊκή πολιτική για τα νερά; Μήπως τα **εναλλάξιμα μέταλλα** αποτελέσουν την ασπίδα για επικράτηση της πολιτικής της ποιότητας των νερών έναντι της άκρατης μεταλλευτικής δραστηριότητας αυτού του τύπου και **διαφυλαχθεί έτσι η ακεραιότητα του τόπου;**

Διαφορετικά η μεταλλουργία του χρυσού θα είναι το περιβαλλοντικό κατόντημα όλης της Βόρειας Ελλάδας. Πρόκειται για την περιβαλλοντική κληρονομιά μίας γενιάς η οποία δημιούργησε και την μνημονιακή εικόνα της χώρας.

Βιβλιογραφία:

1. **R. J. Adamson**, *Gold Metallurgy in South Africa*, Cape and Transvaal Printers LTD, Cape Town, 1972.
2. **J. C. Yannopoulos**, *The Extractive Metallurgy of Gold*, Van Nostrand – Reinhold, New York, 1991.
3. **Δημερίδα Περιφερειακού Τμήματος Θράκης του ΤΕΕ**, 14-15 Οκτωβρίου 2000, *Εκμεταλλεύσεις χρυσοφόρων κοιτασμάτων στη Θράκη - Προβληματισμοί και Ερωτηματικά*, Πρακτικά, Κομοτηνή 2000.
4. **Ronald Eisler**, *Biogeochemical, Health, and Ecotoxicological Perspectives on Gold and Gold Mining*, CRC Press, 2004.
5. **F. Habashi**, *Kinetics of gold and silver dissolution in cyanide solution*, Bull. 59, Montana Bureau of Mines and Geology (Butte, MO), 1967.
6. **Dr. Norbert Steiner**, *Gegussa AG, Commentary on Cyanide and Sustainable Development in the Gold Mining Industry*, Submission to the European Union, 2002.
7. **Roger Atkinson**, *Kinetics and Mechanisms of the Gas-Phase Reactions of the Hydroxyl Radical with Organic Compounds under Atmospheric Conditions*, Chem. Rev., 1985, 69-201.

8. **Mark J. Longston, Karen Hagelstein, Terry Mudder**, *The Management of Cyanide in Gold Extraction*, International Council on Metals and the Environment (ICME), 1999.
9. **H. Jones, T. Robinson, M. Whiteley, and N. Vernon**, *Gold Plant Cyanide Safety*, The AusIMM Annual Conference, Rotorua New Zeland, 1990.
10. Επιστολή του Καθηγητή **Michael Spitteller** του Πανεπιστημίου του Dortmund Γερμανίας προς την Επίτροπο Περιβάλλοντος της ΕΕ Mrs Margot Wallstroem (12.03.2001).
11. **ASM Specialty Handbook, Cooper and Cooper Alloys**, ASM International, 2001.