

Καταβύθιση CaCO₃ παρουσία ψευδαργύρου

Μουστάκη Ζ.¹, Νάτση Π.^{1,2}, Κουτσούκος Π.^{1,2,*}

¹Σχολή Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, Ελλάδα

²FORTH - ICEHT, GR 26500 Patras, Greece

(*pgk@chemeng.upatras.gr)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το ανθρακικό ασβέστιο αποτελεί βασικό συστατικό προβληματικών σχηματισμών καθαλατώσεων σε βιομηχανικές διεργασίες και κατά κανόνα αντιμετωπίζεται με τη χρήση χημικών αναστολέων η δράση των οποίων βασίζεται στη μείωση του βαθμού αλλά και του ρυθμού σχηματισμού των εναποθέσεων χωρίς τη δημιουργία προβλημάτων στον εξοπλισμό. Σε κάθε περίπτωση, η πλήρης κατανόηση του μηχανισμού της καταβύθισης του ανθρακικού ασβεστίου είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη μεθόδων αποτελεσματικών, για την αντιμετώπιση του σχηματισμού αντίστοιχων καθαλατώσεων.

Σκοπός της παρούσας εργασίας αυτής ήταν η μελέτη του μηχανισμού της καταβύθισης καθώς και της κρυσταλλικής ανάπτυξης του ανθρακικού ασβεστίου σε υπέρκορα διαλύματα του, απουσία και παρουσία ψευδαργύρου. Αναλυτικότερα, μελετήθηκε η επίδραση της παρουσίας ψευδαργύρου τόσο στη κινητική της κρυσταλλικής ανάπτυξης φύτρων ασβεστίτη, όσο και στη σταθερότητα των υπέρκορων διαλυμάτων, σε θερμοκρασία 25°C, 0.1M NaCl και pH 8.50. Κατά την αυθόρμητη καταβύθιση ανθρακικού ασβεστίου σε υπέρκορα διαλύματά του, στις παραπάνω συνθήκες απουσία ψευδαργύρου ταυτοποιήθηκε ο σχηματισμός βατερίτη και ασβεστίτη, ενώ η προσαρμογή των δεδομένων του ρυθμού καταβύθισης συναρτήσε του υπερκορεσμού των διαλυμάτων, οδήγησε στο συμπέρασμα ότι ο μηχανισμός αυθόρμητης καταβύθισης λαμβάνει χώρα σύμφωνα το πολυπυρηνικό πρότυπο, με επιφανειακή διάχυση των δομικών μονάδων στους σχηματιζόμενους κρυσταλλίτες.

Η παρουσία ψευδαργύρου στην αυθόρμητη καταβύθιση ανθρακικού ασβεστίου σε υπέρκορα διαλύματα του επηρέασε τη σταθερότητα των διαλυμάτων, ωστόσο ο μηχανισμός καταβύθισης παρέμεινε αμετάβλητος. Παρουσία ψευδαργύρου στα υπέρκορα διαλύματα, ταυτοποιήθηκε η παρουσία ασβεστίτη, βατερίτη αλλά και αραγωνίτη, υποδηλώνοντας ότι η παρουσία ψευδαργύρου επιβραδύνει τη μετατροπή των ασταθέστερων θερμοδυναμικά φάσεων προς τη σταθερότερη. Η παρουσία του ψευδαργύρου στα υπέρκορα διαλύματα, μειώνει το ρυθμό κρυσταλλικής ανάπτυξης του ανθρακικού ασβεστίου. Η ανασταλτική δράση της παρουσίας του ψευδαργύρου στα υπέρκορα διαλύματα ήταν μεγαλύτερη αυξανόμενης της συγκεντρώσεως του ψευδαργύρου και προσέγγισε το 70% για συγκέντρωση ψευδαργύρου (ολική) 30 μM. Τα κινητικά δεδομένα προσαρμόστηκαν ικανοποιητικά σε σχέση μεταξύ των ταχυτήτων απουσία και παρουσία ψευδαργύρου με την υπόθεση της ρόφησης σύμφωνα με το πρότυπο Langmuir. Μετρήσεις εξισορρόπησης ψευδαργύρου με κρυσταλλικά φύτρα ασβεστίτη σε συνθήκες ισορροπίας (25°C, 0.15M NaCl, pH 8.50) επιβεβαίωσαν και ποσοτικοποίησαν την υπόθεση της ρόφησης.

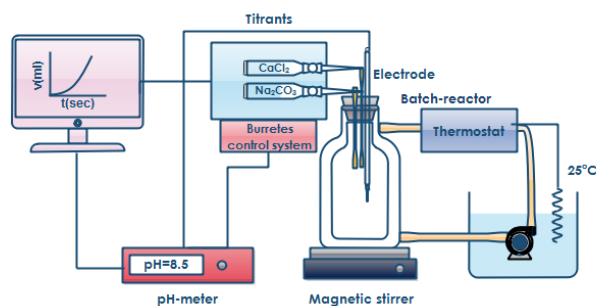
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το φαινόμενο της εναπόθεσης αλάτων σε επιφάνειες, αναφέρεται στη βιβλιογραφία με τον όρο “scaling” (καθαλατώσεις). Ειδικότερα η ορολογία αυτή χρησιμοποιείται για το σχηματισμό εναποθέσεων σε υδατικά διαλύματα ^[1]. Ο σχηματισμός καθαλατώσεων ανθρακικού ασβεστίου καθώς και άλλων δυσδιάλυτων αλάτων (ανθρακικά, θειικά και φωσφορικά άλατα μετάλλων των αλκαλικών γαιών) σε επιφάνειες υλικών αποτελεί σύνηθες πρόβλημα στη βιομηχανία. Συγκεκριμένα, ο σχηματισμός διαφόρων κρυσταλλικών πολυμορφικών φάσεων ανθρακικού ασβεστίου προκαλεί ιδιαίτερα προβλήματα στα φρεάτια παραγωγής πετρελαίου και φυσικού αερίου, και στις μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης κατά την αφαλάτωση νερού. Επίσης,

προβλήματα δημιουργούνται κατά την καταβύθιση ανθρακικού ασβεστίου στις διεργασίες διαχωρισμού υγρών αποβλήτων με μεμβράνες. Το φαινόμενο του scaling, όπως έχει γίνει αντιληπτό, οδηγεί σε δαπανηρές διακοπές στη παραγωγή πετρελαίου. Είναι, λοιπόν, επιτακτική η ανάγκη για την ανάπτυξη μεθόδων πρόληψης και αντιμετώπισης του φαινομένου αυτού. Η αντιμετώπιση πραγματοποιείται με μηχανική ή χημική απομάκρυνση των εναποθέσεων των αλάτων από τον εξοπλισμό. Παράλληλα δίνεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε οι μέθοδοι αυτές να είναι όσο το δυνατόν φιλικότερες στο περιβάλλον, αλλά ταυτόχρονα και οικονομικές. Δημοφιλής τεχνική μεταξύ των χημικών μεθόδων είναι η χρήση αναστολέα. Οι αναστολείς είναι χημικές ενώσεις οι οποίες μπορούν να παρεμποδίσουν την δημιουργία κρυστάλλων μέσω της ρόφησης τους στα ενεργά κέντρα της επιφάνειας των αναπτυσσόμενων κρυστάλλων. Η επιλογή κατάλληλου αναστολέα είναι αρκετά δύσκολη σε κάθε περίπτωση καθώς πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφορες παράμετροι. Μεταξύ των αναστολέων. Σημαντικό ενδιαφέρον έχουν προσελκύσει στην περίπτωση καθαλατώσεων ανθρακικού ασβεστίου τα ιόντα διάφορων μετάλλων όπως ο ψευδάργυρος (Zn^{+2}), ο σίδηρος (Fe^{+2} , Fe^{+3}), ο χαλκός (Cu^{+2}) και το μαγνήσιο (Mg^{+2}) [2]. Στην περίπτωση της παρουσίας ιόντων Zn^{+2} σε νερά μέτριας σκληρότητας είχε ως αποτέλεσμα, σε συγκεντρώσεις της τάξεως των 2 ppm, την πλήρη αναστολή της αυθόρμητης καταβύθισης του ανθρακικού ασβεστίου [3]. Η παρουσία ψευδαργύρου κατά τη βιολογική ασβεστοποίηση, είχε ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της μορφολογίας των σχηματιζόμενων κρυσταλλιτών [4]. Η παρουσία ψευδαργύρου σε υπέρκορα διαλύματα ανθρακικού ασβεστίου σε ίχνη (της τάξης των 50 ppb), είχε ως αποτέλεσμα τη δραματική μείωση της πυρηνογένεσης και της συνακόλουθης αυθόρμητης καταβύθισης [5]. Παρά το ερευνητικό ενδιαφέρον της ερευνητικής κοινότητας για το ρόλο τον οποίο διαδραματίζει η παρουσία του ψευδαργύρου στα υπέρκορα διαλύματα στα οποία καταβυθίζεται ανθρακικό ασβέστιο, απουσιάζουν από τη βιβλιογραφία αναλυτικές μελέτες τόσο της αυθόρμητης όσο και της κρυσταλλικής ανάπτυξης του ανθρακικού ασβεστίου παρουσία συγκεντρώσεων, στις οποίες δεν κατακρημνίζονται δυσδιάλυτα άλατα του ψευδαργύρου ($Zn(OH)_2$, $ZnCO_3$ ή $Zn_5(OH)_6(CO_3)_2$). Στην παρούσα εργασία, με τη βοήθεια της μεθόδου διατήρησης σταθερού υπερκορεσμού [6] για τη μέτρηση των ταχυτήτων καταβύθισης και κρυσταλλικής ανάπτυξης διερευνήθηκε τόσο η επίδραση της παρουσίας ψευδαργύρου σε υπέρκορα διαλύματα ανθρακικού ασβεστίου στη σταθερότητα των υπέρκορων διαλυμάτων όσο και στο μηχανισμό της πυρηνογένεσης και της κρυστάλλωσης του ανθρακικού ασβεστίου.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Όλα τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε διπλότοιχο αντιδραστήρα από Pyrex® όγκου 220 ml η θερμοκρασία του οποίου διατηρείτο σταθερή στους $25^\circ \pm 0.2$ °C, με ροή νερού από θερμοστατούμενο υδρόλουτρο, μέσω των τοιχωμάτων του αντιδραστήρα. Τα υπέρκορα διαλύματα παρασκευάζονταν μέσα στον αντιδραστήρα με ανάμιξη ίσων όγκων διαλυμάτων $CaCl_2$ και $NaHCO_3$ και αναδεύονταν συνεχώς με την βοήθεια μαγνητικού αναδευτήρα για την αποφυγή ανάπτυξης τοπικά υψηλών υπερκορεσμών. Η τιμή του pH των διαλυμάτων ρυθμιζόταν με προσθήκη κατάλληλης ποσότητας προτύπου διαλύματος $NaOH$ 0.1M και μετρείτο με συνδυασμένο ηλεκτρόδιο υάλου (Sure-flow glass body Thermo Scientific Ross) το οποίο βαθμονομείτο πριν από κάθε πείραμα με πρότυπα ρυθμιστικά διαλύματα NIST. Η πτώση τη τιμής του pH (της τάξης των 0.005 μονάδων pH) σηματοδοτούσε την έναρξη της καταβύθισης του ανθρακικού ασβεστίου λόγω της απελευθέρωσης πρωτονίων στο διάλυμα. Η ελάχιστη αυτή μείωση της τιμής του pH είχε ως αποτέλεσμα την ενεργοποίηση δυο μηχανικά συζευγμένων προχοϊδων από τις οποίες προσετίθεντο στον αντιδραστήρα διαλύματα $CaCl_2$ και $NaHCO_3$ κατάλληλης συγκέντρωσης, έτσι ώστε να διατηρείται σταθερός ο υπερκορεσμός. Η σχηματική απεικόνιση της πειραματικής διάταξης παρουσιάζεται στο Σχήμα 1. Η μελέτη της επίδρασης της παρουσία ψευδαργύρου, έγινε με προσθήκη τόσο στα υπέρκορα διαλύματα όσο και στα προστιθέμενα αντιδραστήρια, από κατάλληλο στοκ διάλυμα, το οποίο είχε παρασκευασθεί από κρυσταλλικό $Zn(NO_3)_2$.



Σχήμα 1: Πειραματική διάταξη για μετρήσεις ρυθμών καταβύθισης και κρυσταλλικής ανάπτυξης ανθρακικού ασβεστίου σε συνθήκες σταθερού υπερκορεσμού.

Οι συγκεντρώσεις των διαλυμάτων των δυο προχοϊδων υπολογίστηκαν με βάση τη στοιχειομετρία της καταβυθιζόμενης φάσης, δηλαδή $\text{Ca}^{2+}:\text{CO}_3^{2-}=1:1$. Η ιοντική ισχύς των υπέρκορων διαλυμάτων ήταν 0.1M με NaCl. Μετά την έναρξη της καταβύθισης (είτε αυθόρμητα, είτε κατόπιν της εισαγωγής φύτρων) λαμβάνονταν δείγματα από τον αντιδραστήρα, διηθούνταν από ηθμούς μεμβράνης (Sartorius. 0.22 μm) και τα διηθήματα αναλύονταν για την περιεκτικότητά τους σε ασβέστιο με φασματομετρία ατομικής απορρόφησης (Perkin Elmer AAnalyst 300). Τα καταβυθιζόμενα στερεά συλλεγόταν με διήθηση, ξηραίνονταν σε θερμοκρασία δωματίου και γίνονταν περαιτέρω χαρακτηρισμός της μορφολογίας του τόσο με ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM) όσο και με περίθλαση ακτίνων X (XRD). Ο ρυθμός σχηματισμού του ανθρακικού ασβεστίου με την εισαγωγή φύτρων, $R_{\text{CaCO}_3,s}$, υπολογίστηκε από την κλίση της γραμμής της προσθήκης των αντιδραστηρίων (dV/dt), προκειμένου να διατηρηθεί σταθερός ο υπερκορεσμός:

$$R_{\text{CaCO}_3} = \frac{C \times (dV / dt)}{m \times \text{SSA}} \quad (1)$$

Όπου C μια σταθερά ίση με το δεκαπλάσιο της συγκέντρωσης του ασβεστίου στα υπέρκορα διαλύματα, m, η μάζα των κρυσταλλικών φύτρων και SSA η αντίστοιχη ειδική επιφάνεια (0.3 m²/g). Στην περίπτωση της αυθόρμητης καταβύθισης, η αντίστοιχη εξίσωση ήταν:

$$R_{\text{CaCO}_3} = C \times \frac{dV}{dt} \quad (2)$$

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η κινούσα δύναμη για το σχηματισμό CaCO_3 σε υπέρκορα διαλύματά του είναι ο λόγος υπερκορεσμού, SR:

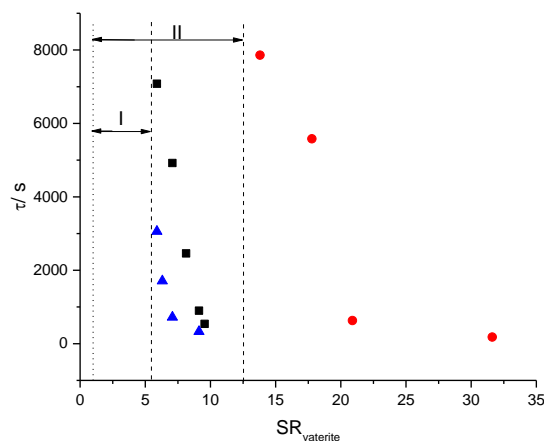
$$SR = \log \frac{(\text{Ca}^{2+})(\text{CO}_3^{2-})}{K_s^0} \quad (3)$$

Όπου οι παρενθέσεις υποδηλώνουν τις ενεργότητες των αντίστοιχων ιόντων και K_s^0 το θερμοδυναμικό γινόμενο διαλυτότητας του ανθρακικού ασβεστίου.

Η αυθόρμητη καταβύθιση ανθρακικού ασβεστίου απουσία ψευδαργύρου και προκειμένου να σχεδιαστεί το διάγραμμα σταθερότητας του συστήματος έγινε με την τεχνική free drift, κατά την οποία η μόνη παράμετρος με σταθερή τιμή ήταν η θερμοκρασία, έδειξαν ότι τα σταθερά υπέρκορα διαλύματα ανθρακικού ασβεστίου, αντιστοιχούσαν σε τιμές σχετικού υπερκορεσμού μεταξύ 0-3.5 (ως προς ασβεστίτη). Η μελέτη της κινητικής της καταβύθισης πέραν των ορίων αυτών ($\sigma = 3.5-4.8$) έγινε με διατήρηση σταθερού υπερκορεσμού με την οποία υπολογίστηκαν ακριβέστερα οι τιμές του χρόνου επαγωγής, ο οποίος μεσολαβούσε μεταξύ παρασκευής των υπέρκορων διαλυμάτων και της έναρξης της καταβύθισης καθώς και οι ρυθμοί αυθόρμητης καταβύθισης σε διάφορες τιμές σχετικού υπερκορεσμού. Ο φυσικοχημικός χαρακτηρισμός του καταβυθιζόμενου στερεού, έδειξε ότι πρώτα σχηματίζεται βατερίτης. Η ανάλυση των διαγραμμάτων του ρυθμού καταβύθισης συναρτήσει του σχετικού υπερκορεσμού έδειξε ότι η φαινόμενη τάξη ήταν υψηλή (5^{ου} βαθμού), η

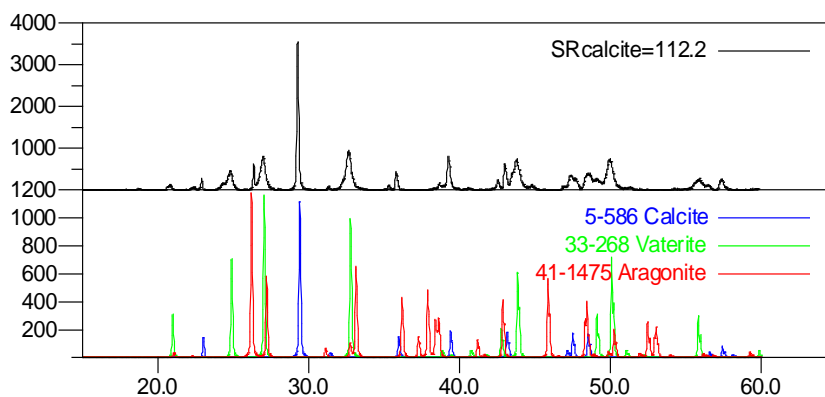
οποία παραπέμπει σε πολυπυρηνικό μηχανισμό επιφανειακής διάχυσης. Η τιμή της διεπιφανειακής ενέργειας του σχηματιζόμενου βατερίτη βάσει του μοντέλου αυτού, υπολογίσθηκε ίση με $150 \text{ mJ}\cdot\text{m}^{-2}$, η οποία είναι της αναμενόμενης τάξης μεγέθους για δυσδιάλυτα ανόργανα άλατα [6].

Η παρουσία ψευδαργύρου σε διαλύματα στα οποία λαμβάνει χώρα αυθόρμητη καταβύθιση επηρέασε, το διάγραμμα σταθερότητας και τους ρυθμούς καταβύθισης. Η περιοχή σταθερότητας των υπέρκορων διαλυμάτων παρουσία συγκεντρώσεως ψευδαργύρου 20μM μετατοπίστηκε σε μεγαλύτερο εύρος τιμών υπερκορεσμού, μεταξύ $\sigma_c=0-5.9$, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα σταθερότητας του Σχήματος 2. Οι τιμές των ταχυτήτων, παρουσία ψευδαργύρου, δεδομένου ότι ο μηχανισμός παρέμεινε αμετάβλητος, ήταν σημαντικά μικρότερες των αναμενόμενων.



Σχήμα 2: Διάγραμμα σταθερότητας του συστήματος του ανθρακικού ασβεστίου: Γραφική παράσταση της μεταβολής του χρόνου επαγωγής συναρτήσει του λόγου υπερκορεσμού ως προς βατερίτη (η καταβυθιζόμενη αρχικά φάση) . $\text{pH}8.50$, 25°C , 0.15M NaCl . Εστιγμένη γραμμή: κατάσταση κορεσμού ($\text{SR}_{\text{vaterite}}=1$). (■) μετρήσεις σε συνθήκες free-drift (▲) Μετρήσεις σε συνθήκες σταθερού υπερκορεσμού (●) μετρήσεις παρουσία 20 μM ψευδαργύρου.

Στο σχηματιζόμενο κατά την αυθόρμητη καταβύθιση στερεό παρουσία συγκεντρώσεως ψευδαργύρου 20μM ταυτοποιήθηκαν οι φάσεις του ασβεστίτη, του βατερίτη αλλά και του αραγωνίτη, όπως φαίνεται και από το περιθλασιόγραμμα ακτίνων Χ του Σχήματος 3, στο οποίο το διάγραμμα του καταβυθιζόμενου στερεού, είναι δυνατό να συγκριθεί με τα πρότυπα των πολυμορφικών φάσεων του ανθρακικού ασβεστίου, υποδηλώνοντας ότι η παρουσία ψευδαργύρου σταθεροποιεί και τις τρεις φάσεις του CaCO_3 , επιβραδύνοντας τη μετατροπή του βατερίτη προς το θερμοδυναμικά σταθερότερο ασβεστίτη.

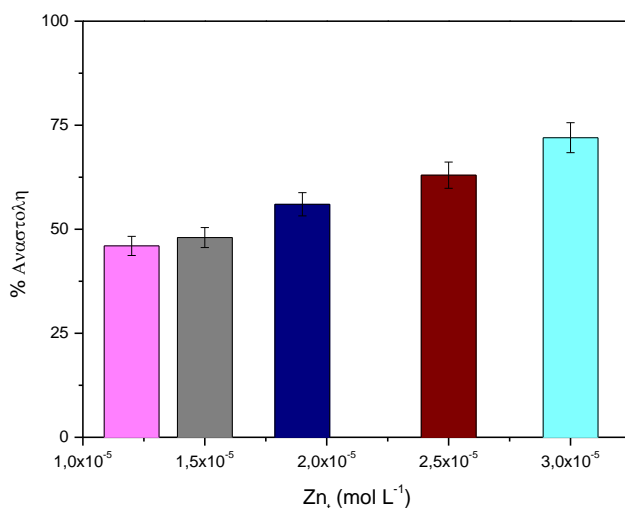


Σχήμα 3. Περιθλασιόγραμμα ακτίνων-Χ (XRD) κρυσταλλικού στερεού, αυθόρμητης καταβύθισης ανθρακικού ασβεστίου σε υπέρκορα διαλύματά του παρουσία ψευδαργύρου.

Προκειμένου να αποτιμηθεί ποσοτικά η σημασία της παρουσίας ψευδαργύρου κατά την κρυσταλλική ανάπτυξη του ανθρακικού ασβεστίου, έγιναν μετρήσεις του ρυθμού κρυσταλλικής

ανάπτυξης φύτρων ασβεσίτη, σε σταθερά υπέρκορα διαλύματα ανθρακικού ασβεστίου απουσία και παρουσία συγκέντρωσης ψευδαργύρου 12.0-30.0 μΜ. Παρουσία των συγκεντρώσεων Zn οι οποίες επελέγησαν, φάνηκε, ότι δεν υπήρξε συγκαταβύθιση κάποιας φάσης του Zn και το στερεό αποτελείτο αποκλειστικά από ασβεσίτη.

Η κρυσταλλική ανάπτυξη φύτρων ασβεσίτη παρουσία ψευδαργύρου στα υπέρκορα διαλύματα, μειώθηκε και η μείωση ήταν μεγαλύτερη αυξανόμενης της συγκέντρωσεως του ψευδαργύρου. Η αποτελεσματικότητα της παρουσίας ψευδαργύρου στην αναστολή της κρυσταλλικής ανάπτυξης του ανθρακικού ασβεστίου φαίνεται στο Σχήμα 4. Όπως φαίνεται συγκέντρωση ψευδαργύρου 30μΜ είχε ως αποτέλεσμα την κατά 70% περίπου μείωση του ρυθμού κρυσταλλικής ανάπτυξης σε σύγκριση με την αντίστοιχη απουσία του.

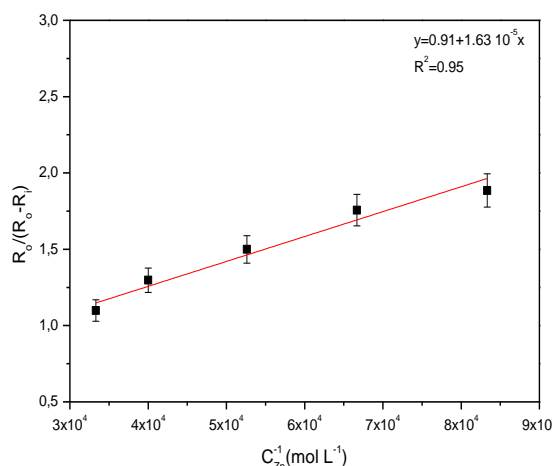


Σχήμα 4. Αποτελεσματικότητα αναστολής του ρυθμού κρυσταλλικής ανάπτυξης φύτρων ασβεσίτη παρουσία διαφόρων συγκεντρώσεων Zn σε υπέρκορα διαλύματά του (pH 8.50, 25°C, 0.15M NaCl).

Η δράση των επιμολύνσεων, εντοπίζεται ως επί το πλείστον στην προσρόφησή τους στην κρυσταλλική επιφάνεια. Η σχέση μεταξύ των ρυθμών κρυσταλλικής ανάπτυξης του ασβεσίτη απουσία, R_o , και παρουσία, R_i , ψευδαργύρου, συναρτήσεως της συγκέντρωσης του ψευδαργύρου στα διαλύματα, C , δίνεται από την Εξίσωση 4, η οποία βασίζεται ότι ο ψευδάργυρος ροφείται στην επιφάνεια των κρυστάλλων του ασβεσίτη κατά τρόπο, ο οποίος περιγράφεται από την ισόθερμο Langmuir [7]:

$$\frac{R_o}{R_o - R_i} = \frac{1}{1-b} + \frac{1}{K_i(1-b)} \frac{1}{C} \quad (4)$$

Όπου K_i , b σταθερές. Η σταθερά K_i , αποτελεί τη σταθερά συνάφειας του ψευδαργύρου με τον ασβεσίτη. Η γραφική παράσταση του αριστερού μέλους της Εξ. 4, συναρτήσεως του $1/C$ φαίνεται στο Σχήμα 5. Από την προσαρμογή των δεδομένων σε ευθεία υπολογίσθηκε για τη σταθερά συνάφειας, $K_i=5.54 \cdot 10^4$, η οποία φανερώνει υψηλή συνάφεια [8] μεταξύ ψευδαργύρου και ασβεσίτη.



Σχήμα 5. Γραφική παράσταση του δεξιού μέλους της Εξίσωσης 4, συναρτήσεως του $1/C_{Zn}$, για τη κρυσταλλική ανάπτυξη του ασβεστίτη παρουσία Zn. pH 8.50, 25°C, 0.15M NaCl.

Τέλος διερευνήθηκε η ρόφηση του ψευδαργύρου σε κρυσταλλικά φύτρα ασβεστίτη στους 25°C, 0.1M NaCl, pH 8.50 και επαληθεύθηκε η προσρόφηση από μετρήσεις σε ισορροπία. Τα δεδομένα της προσρόφησης έδωσαν ικανοποιητική προσαρμογή στο μοντέλο της ισόθερμου Langmuir.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά την αυθόρμητη καταβύθιση ανθρακικού ασβεστίου σε pH 8.50, 25°C, 0.1M NaCl καταβυθίστηκε μείγμα ασβεστίτη και βατερίτη. Η παρουσία ψευδαργύρου σε ασταθή υπέρκορα διαλύματα είχε ως αποτέλεσμα τη μετατόπιση την περιοχή αστάθειας των αντιστοίχων διαλυμάτων σε υψηλότερες τιμές υπερκορεσμού και τη σταθεροποίηση αραγωνίτη. Τα αποτελέσματα της μελέτης της κινητικής της κρυσταλλικής ανάπτυξης παρουσία Zn έδειξαν ότι η αναστολή οφείλεται σε προσρόφηση του Zn στα ενεργά κέντρα κρυστάλλωσης των φυτρών του ασβεστίτη. Παρουσία 30μM Zn η ταχύτητα κρυσταλλικής ανάπτυξης μειώθηκε κατά 70%. Η προσαρμογή των μετρήσεων σε κινητικό μοντέλο Langmuir έδειξε υψηλή συνάφεια του Zn για τον ασβεστίτη. Η ρόφηση Zn σε κρυστάλλους ασβεστίτη επιβεβαιώθηκε από τη μελέτη της ισόθερμου δέσμευσης του Zn από κρυστάλλους ασβεστίτη, τα δεδομένα της οποίας προσαρμόστηκαν ικανοποιητικά στο μοντέλο (ισορροπίας) προσρόφησης Langmuir.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το έργο αυτό υποστηρίχθηκε από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ) και το Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας και Καινοτομίας (ΕΛ.Ι.Δ.Ε.Κ.) στο πλαίσιο της δράσης «1^η Προκήρυξη Υποτροφιών Υποψηφίων Διδακτόρων από την ΕΛΙΔΕΚ» (Κωδικός Υποτροφίας: 1576).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] J.C. Cowan, D.J. Weintritt, Gulf publ. Co. (1976).
- [2] M. Negraard, C. Grimholt, "An Introduction to Scaling causes, problems and solutions", Ph.D. Thesis, NTNU-Trondheim, (2010).
- [3] L. Dmitry, Q. Yang, D. Hasson, R. Semiat, Desalination, 183 (2005) 289–300
- [4] D. Rothenstein, J. Baier, T.D. Schreiber, V. Barucha, J. Bill, Aquatic Biosystems 8 (2012) 31
- [5] P.P. Coetzee, M. Yacoby, S. Howell, S. Mubenga, Water SA 24 (1998) 77-84.
- [6] O. Söhnel, J. Garside, Oxford [England] ; Boston : Butterworth-Heinemann, (1992)
- [7] N. Spanos, P.G. Koutsoukos, Langmuir 17 (2001) 866–872.
- [8] P.G. Klepetsanis, A. Kladi., T. Østvold, C.G. Kontoyannis, P.G. Koutsoukos, Z. Amjad, M.M. Reddy, In Advances in Crystal Growth Technologies, (Z. Amjad Ed.) Kluwer acad. Publ., New York, (2002) 123-138.