



Η φυσική αποθήκευση του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) σε ορυκτολογικούς σχηματισμούς βασικών (βασάλτης, γάββρος, διαβάσης) και υπερβασικών (περιδοτίτης, δουνίτης) εκρηξιγενών πετρωμάτων αλλά και των ορυκτών τους (ολιβίνη, φορσερίτης, σερπεντίνη, τάλκης, βολλαστονίτης) είναι γνωστή στους γεωχημικούς ως μια φυσική διαδικασία εκατομμυρίων ετών.

Σήμερα, με το αυξανόμενο πρόβλημα συσσώρευσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα και της υπερθέρμανσης του πλανήτη, το θέμα της ορυκτολογικής δέσμευσης (mineral sequestration) έχει αποτελέσει αντικείμενο μελετών και προτάσεων που αφορούν ακόμα και την Ελλάδα, η οποία διαθέτει τέτοια πετρώματα και ορυκτά.

Σύμφωνα με ερευνητές του Παρατηρητηρίου της Γης, στο πανεπιστήμιο Κολούμπια των ΗΠΑ, ένας βράχος από περιδοτίτη στο Ουμάν της Αραβικής Χερσονήσου, όταν έρθει σε επαφή με το CO₂, το μετατρέπει σε στερεά ορυκτά, όπως ασβεστόλιθο ή μάρμαρο. Οι ερευνητές εκτιμούν ότι ο περιδοτίτης του Ουμάν απορροφά με φυσικό τρόπο από την ατμόσφαιρα μέχρι και 100 χιλιάδες τόνους CO₂ ετησίως.

Φυσικά δεν πρόκειται για κάτι καινούριο. Ο περιδοτίτης είναι το πιο κοι-

νό πέτρωμα στο «μανδύα» της Γης, το στρώμα ακριβώς κάτω από τον επιφανειακό φλοιό (αρχίζει σε βάθος 20 χλμ., περίπου). Όμως, μετά από συγκρούσεις των τεκτονικών πλακών, εμφανίζεται και στην επιφάνεια, όπως στην περίπτωση του Ουμάν, στα νησιά

Παπούα, Νέα Γουινέα και Καληδονία του Ειρηνικού ωκεανού, καθώς και κατά μήκος των ακτών της Αδριατικής, της δυτικής Ελλάδας και της Καλιφόρνιας των ΗΠΑ.

Η παραπάνω φυσική διαδικασία προσαρμοζόμενη σε μια ενδεχόμενη πρακτική εφαρμογή CCS, θα πρέπει να περιλαμβάνει διοχέτευση νερού που έχει θερμανθεί και περιέχει συμπιεσμένο CO₂ στο υπέδαφος και εκεί, μετά τη φυσική αντίδραση του διαλύματος με το βασικό ή υπερβασικό πέτρωμα, να «ενσωματωθεί» χημικά στα ορυκτά του υπεδάφους. Εκτιμάται ότι μια τέτοια πρακτική θα μπορούσε να αποθηκεύει σε μόνιμη βάση πάνω από 2 δισ. τόνους CO₂ ετησίως από τους, περίπου, 25-30 δισ. τόνους που εκλύονται συνολικά κάθε χρόνο στην ατμόσφαιρα λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Μια απλοποιημένη μορφή της αντίδρασης δέσμευσης («carbonation») είναι:



Όπου το Μ μπορεί να είναι ασβέ-

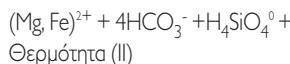
σιο, μαγνήσιο ή/και σίδηρος.

Σε υδατικό περιβάλλον, για την περιπτώση του ορυκτού ολιβίνη (Mg, Fe)₂SiO₄, olivine, η προτεινόμενη αντίδραση είναι (R.D.Schilling):



επιτάχυνσή της, εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία, το είδος του ορυκτού, την προεπεξεργασία του και την επιφάνεια διάσπρωσής του, τα χρησιμοποιούμενα πρόσθετα και τις επιμέρους συνθήκες (π.χ. βροχώπτωση, έδαφος, πίεση CO₂ κλπ.). Επιπλέον, το

Ορυκτολογική Δέσμευση του CO₂:



Η αντίδραση είναι εξώθερμη και για τον ολιβίνη η παραγόμενη θερμότητα είναι 89 kJ/mol CO₂, για τον σερπεντίνη 64 kJ/mol CO₂ και για τον βολλαστονίτη 90 kJ/mol CO₂.

Με τον τρόπο αυτό το CO₂ δεσμεύεται μόνιμα με τη μορφή στερεών ανθρακικών ορυκτών (π.χ. MgCO₃), σε αδρανή μορφή, με παράλληλη δυνατότητα ανάκτησης της παραγόμενης θερμότητας, χωρίς κίνδυνο να υπάρξει διαρροή αλλά και χωρίς την ανάγκη για επίβλεψη της διαδικασίας μετά τη δέσμευσή του (απαραίτητη στην τεχνολογία CCS που περιλαμβάνει γεωλογική αποθήκευση).

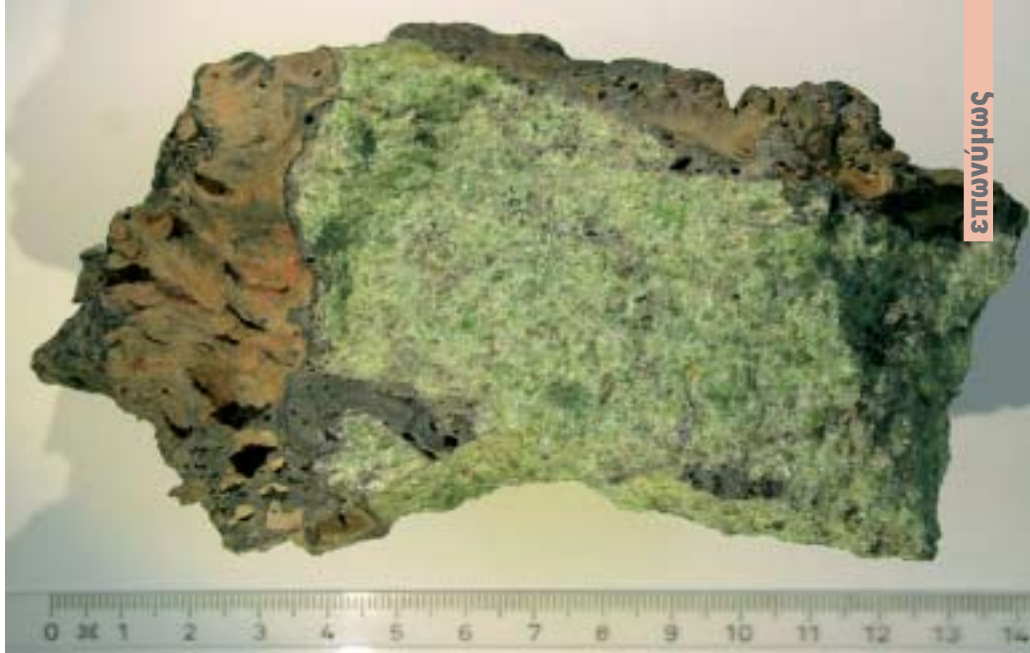
Πρόκειται για μια ενδιαφέρουσα ιδέα που έχει ανάγκη πολύ περισσότερη έρευνα, κυρίως σε τεχνικοοικονομικό επίπεδο, πριν εφαρμοστεί στην πράξη. Η κινητική μιας τέτοιας δράσης (II) είναι εξαιρετικά αργή και απαιτεί σημαντικά ποσά ενέργειας για την

κόστος είναι μεγάλο και ποικίλλει ευρέως (με ελάχιστο τα 40 ευρώ/t CO₂). Σε κάθε περίπτωση, όμως, εκτιμάται σημαντικά μεγαλύτερο από εκείνο της γεωλογικής αποθήκευσης σε υπόγειους ή υποθαλάσσιους γεωταμιευτήρες.

Πάντως, η ορυκτολογική δέσμευση CO₂ από τις επιφανειακές εμφανίσεις περιδοτίτη ή βασάλτη, αν κι εφόσον καταστεί τεχνικά εφικτή, ενδέχεται να έχει μεγαλύτερες ελπίδες ως ασφαλέστερη και ίσως υπό προϋποθέσεις φθηνότερη μέθοδος από άλλες εναλλακτικές λύσεις, όσον αφορά τουλάχιστον τις χώρες εκείνες που διαθέτουν τέτοιες εμφανίσεις κατάλληλων πετρωμάτων ή εκεί όπου δεν υφίστανται διαθέσιμα «ρεζερβουάρ» για γεωλογική αποθήκευση.

Στην Ελλάδα, πέρα από τις εμφανίσεις του περιδοτίτη σε αβαθή στρώματα, υπάρχουν σημαντικά αποθέματα του ορυκτού ολιβίνη, που συνήθως απαντά σε φλέβες εξαλλοιώσεων υπερβασικών και άλλων πετρωμάτων πλούσιων σε μαγνήσιο. Ο ολιβίνης αποτελεί ισόμορφο παράμειξη του

* Δρ. μηχανικός ΕΜΠ, συγγραφέας, <http://elladitsamas.blogspot.com/>



φορστερίτη και του φαυλίτη και είναι το κύριο συστατικό του δουνίτη και του χαρζβουργίτη. Το πολύ υψηλό σημείο τήξης 1.800°C, η μεγάλη σκληρότητα, το μεγάλο ειδικό βάρος, η έλλειψη από το πλέγμα τοξικών μετάλλων, προσδίδουν στον ολιβίνη ένα

εκμετάλλευση, αν κατασκευαστούν μικρές τεχνητές λίμνες ή πίδακες απ' όπου θα αναβλύζει ζεστό νερό πάνω στις υπάρχουσες τεχνητές νησίδες του ολιβίνη.

Δεδομένου ότι τόσο το Πρωτόκολλο του Κιότο όσο και οι απορρέ-

ών, όπου τα βεβαιωμένα αποθέματα ολιβίνη (της εταιρείας) στην περιοχή Ξεπερνούν τα 20 εκατ. τόνους.

Στη χερσόνησο της Χαλκιδικής υπάρχουν επίσης σημαντικές ποσότητες (εκατ. τον.) στείρων της εκμετάλλευσης του λευκολίθου (Γερακινή, Βά-

δέσμευση CO₂ αποτελεί μια χρήσιμη ιδέα, με προοπτική, στην πρόκληση της κλιματικής αλλαγής, που, όμως, βρίσκεται ακόμη σε εμβρυακή ηλικία, απαιτώντας σημαντική βασική έρευνα αλλά και δοκιμές σε ημιβιομηχανική κλίμακα ώστε να αξιολογηθούν τα θέ-

Τα ορυκτά έχουν τη λύση για την κλιματική αλλαγή;

του **ΠΕΤΡΟΥ ΤΖΕΦΕΡΗ***

ευρύ πεδίο εφαρμογών στους τομείς των πυριμάχων, των λειαντικών/αποξεστικών, της χαλυβουργίας, της διαχείρισης όξινων αποβλήτων κ.ά.

Ηδη, όμως, η χημική δραστηριότητα του ολιβίνη σε όξινο περιβάλλον, όπως αυτό του CO₂, του έχει προσθέσει και μια νέα σημαντική ιδιότητα που σχετίζεται με τις κλιματικές αλλαγές, όπως απεικονίζεται με σαφήνεια στη χημική αντίδραση (I).

Ο καθηγητής Γεωχημείας R. D.Schuiling του Πανεπιστημίου Ουτρέχτης, έχει προτείνει τη χρήση τεχνητών νησίδων από ολιβίνη για την παγίδευση του CO₂ σε ελλαδικές περιοχές όπου αυτό εκλύεται με φυσικό τρόπο λόγω της ηφαιστειακής δραστηριότητας, π.χ., στο Παλαιοχώρι της νήσου Μήλου είτε στη Νίσυρο της Δωδεκανήσου. Επιπλέον, ο Ολλανδός καθηγητής υποδεικνύει τη χρήση της παραγόμενης θερμότητας λόγω της εξωθερμικής αντίδρασης μεταξύ CO₂, νερού και ολιβίνη για τουριστική

ουσες από αυτό εθνικές διατάξεις, δεν διακρίνουν μεταξύ φυσικών και ανθρωπογενών εκπομπών CO₂, η ενδεχόμενη υλοποίηση μιας τέτοιας πρότασης θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι εκπληρώνει μέρος των υποχρεώσεων της Ελλάδας στο πλαίσιο του πρωτοκόλλου. Εντούτοις, πέραν των τεχνικών προβλημάτων που αφορούν μια τέτοια εφαρμογή, θα πρέπει να αναζητηθούν πρόσθετα δεδομένα σχετικά με τις ποσότητες του CO₂ που εκλύονται ετησίως λόγω ηφαιστειακής δραστηριότητας στις προαναφερθείσες θέσεις (και γενικότερα στον ελλαδικό χώρο) και με ποιο βαθμό κινητικής απόδοσης μπορεί να λειτουργήσει η προτεινόμενη μέθοδος σε συνάρτηση φυσικά και με την εφαρμοζόμενη κλίμακα, στοιχεία που μέχρι σήμερα δεν είναι διαθέσιμα.

Επίσης, θα πρέπει να αναζητηθούν στοιχεία διαθεσιμότητας του ορυκτού ολιβίνη. Στο αντικείμενο αυτό δραστηριοποιείται η εταιρεία «Ολιβίνιτες Μακεδονίας ΕΠΕ» (από το 2001) η οποία εξορύσσει και επεξεργάζεται ολιβίνη στην περιοχή της Σκούμτσας Γρεβε-

βδος, Πολύγωνο κλπ.) που περιέχουν πλούσια σε ολιβίνη ορυκτά (κυρίως δουνίτη και σερπεντίνη) και τα οποία μάλιστα αποκτούν ιδιαίτερο ενδιαφέρον από περιβαλλοντική άποψη, ειδικά μετά το κλείσιμο των μεταλλείων της Βάβδου, όπου, σημειωτέον, βρίσκεται το μεγαλύτερο κοίτασμα λευκολίθου της Ελλάδας.

Στις περιοχές αυτές θα μπορούσε, σύμφωνα με τον καθηγητή R.D. Schuiling, μετά από τεχνητή διάσπρωση των πλούσιων σε ολιβίνη «στείρων» σε σωρούς, να εισαχθεί το διοξείδιο του άνθρακα, με σκοπό την ορυκτολογική του δέσμευση από τον ολιβίνη. Η μέθοδος θα μπορούσε να εφαρμοστεί και κατόπιν μεταφοράς «στείρων» σε άλλη θέση, αν αυτό εξυπηρετεί και υπαγορεύεται από την οικονομοτεχνική μελέτη που θα προηγηθεί. Στην περίπτωση που η κινητική της δράσης είναι ταχεία και το σύστημα επιτύχει «θερμική ισορροπία» είναι δυνατή η ανάκτηση και της παραγόμενης θερμότητας από την αντίδραση (II) με τη χρήση εναλλακτικών θερμότητας.

Συμπερασματικά, η ορυκτολογική

ματα ενεργειακής κατανάλωσης και συμπίεσης του απαιτούμενου κόστους. Κοντολογίς, θα 'λεγε κανείς πως αποτελεί πρόκληση για τον σύγχρονο άνθρωπο να καταφέρει να αναπαράγει, επιταχύνει και αριστοποιήσει μια δράση που στη φύση λαμβάνει χώρα σε γεωλογική κλίμακα (εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια), χωρίς, όμως, να αυξήσει απαγορευτικά το κόστος της.

Τέλος, σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να εξεταστεί σοβαρά και το περιβαλλοντικό κόστος τόσο από την ενδεχόμενη αύξηση της εξορυκτικής δραστηριότητας για την παραγωγή ολιβίνη ή άλλων κατάλληλων ορυκτών (1 kg CO₂ απαιτεί τουλάχιστον 2 kg ορυκτού) και τη μεταφορά τους στους τόπους εφαρμογής της μεθόδου, καθώς και από τη διαχείριση των στερεών «αποβλήτων», δηλ. των παραγόμενων μετά τη δέσμευση («carbonation») ανθρακικών ορυκτών, τα οποία χαρακτηρίζονται μεν ως αδρανή αλλά θα αποβάλλονται σε μεγάλες ποσότητες, σε περίπτωση που η διαδικασία εφαρμοστεί σε ευρεία κλίμακα.