



ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΧΗΜΕΙΟΔΙΑΒΡΩΣΕΩΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΣΠΗΛΑΙΩΝ*

Από τους

Γ. ΚΑΛΠΑΚΗ, Β. ΣΑΜΠΩ**

ΣΚΟΠΟΣ

Τό άρθρο αυτό έχει σαν σκοπό νά έκθέσει τούς διάφορους τύπους τών Χημειοδιαβρωτικῶν διεργασιῶν καθώσ καί τούς κινδύνους πού διατρέχουν τά σπήλαια ἀπό αὐτές. Ἀναφέρονται ἐπίσης οἱ κυριώτερες προληπτικές ἐργασίες πού σκοπεύουν στήν ἀντιμετώπιση τών παραπάνω κινδύνων.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ἀπό τή στιγμή πού ἕνα σπήλαιο ἀρχίζει νά ἀξιοποιεῖται γιά ὁποιαδήποτε ἐκμετάλλευση (τουριστική, ὑδρολογική, στρατιωτική κλπ.) ἐμφανίζονται διάφοροι κίνδυνοι καταστροφῶν τών σπηλαιοαποθέσεων καθώσ ἐπίσης καί γενικώτερες ἀλλοιώσεις τών φυσικῶν περιβαλλοντολογικῶν (μικροκλιματικῶν) του συνθηκῶν.

Τό άρθρο αὐτό δέν ἀσχολεῖται μέ τήν κατηγορία τών καταστροφῶν, πού ὀνομάζεται "ἀνθρωπογενεῖς" (π.χ. καταστροφή σταλακτιτικοῦ ὑλικοῦ ἀπό διάφορους "συλλέκτες" κλπ, εἰκ.1) οὔτε μέ τίς μολύνσεις πού μποροῦν νά προκαλέσουν τά περιττώματα τών νυκτερίδων, ἀλλά μέ τίς καταστροφές πού προέρχονται ἀπό διάφορες φυσικές μολύνσεις.

Οἱ φυσικές αὐτές μολύνσεις εἶναι ἀποτέλεσμα διαβρωτικῆς ἐργασίας, πού ὀφείλεται σέ φυσικούς, χημικούς ἢ καί βιοχημικούς παράγοντες καί ἡ ὁποία ὀνομάζεται χημειοδιάβρωση (corrosion).

Πρίν ἀπό τήν ὁποιαδήποτε ἀξιοποίηση καί ἐκμετάλλευση ἑνός σπηλαίου πρέπει νά προηγεῖται προκαταρκτική μελέτη, μέ τήν ὁποία θά εἴμαστε σέ θέση νά ἐντοπίσουμε τίς πιθανές ἐστίες μολύνσεως, πού μποροῦν νά καταστρέψουν τό σπήλαιο, τουλάχιστο τοπικά, καί ἐπί πλέον νά πάρουμε ὅλα

* Processus de corrosion en milieux cavernaux.

** G.KALPAKIS, Laboratoire de Geologie et Paléontologie d'Université d'Athènes.
V.SABOT, Laboratoire de Géographie Physique d'Université d'Athènes.



Εικ. 1: Παράδειγμα άνθρωπογενούς ρυπάνσεως. (Σπήλαιο 'Αλιετρότης Σερρών, φωτ. Γ. Καλιακῆ)

τά κατάλληλα μέτρα για τή διατήρησή του στίς καλύτερες δυνατές συνθήκες. Σε πολλά σπήλαια μετά τήν έναρξη τών εργασιών αξιοποιήσεως άρχιζουν νά δημιουργούνται έστίες μόλυνσεως μέ αποτέλεσμα τή χημειοδιάβρωση, άκριβώς γιατί δέν πάρθηκαν οι στοιχειώδεις προφυλάξεις. 'Υπάρχουν επίσης καί φορές, όταν στήν σπηλιά υπάρχουν βραχογραφίες, πού ή καταστροφή μπορεί νά πάρει δραματικές διαστάσεις.

Η Χημειοδιάβρωση (X/Δ) μπορεί νά προέρχεται από τρεις ανεξάρτητες αίτιες, πού πολλές φορές πρακτικά είναι δύσκολο νά διακριθούν με ταξύ τους, έπειδή ή μόλυνση μπορεί νά προέρχεται από συνδυασμό τών διαφόρων τύπων.

Οί κυριώτεροι τύποι μόλυνσεως καί X/Δ είναι:

1. Φυσικοχημικός
2. Βιοχημικός λόγω μεταφοράς όργανικών ούσιων
3. Βιοχημικός λόγω παρουσίας χλωροφυλλούχων φυτών.

1. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΗ X/Δ

1.1. ΑΙΤΙΕΣ

Ο τύπος αυτός τής μόλυνσεως έξαρτιέται από τό ποσόν του CO_2 πού υπάρχει σέ κάθε σπήλαιο καί πού προέρχεται είτε από τό νερό πού κατεισ-

δύει και δημιουργεί σπηλαιοποθέσεις είτε από την άναπνοή των έπισκεπτών.

Στό δίκτυο των έπιφανειών άσυνεχείας των πετρωμάτων (έπιφάνειες διακλάσεων, ρηγμάτων, στρώσεων, κλπ) μέσα από τό όποιο κυκλοφορεί τό νερό, τό CO_2 βρίσκεται διαλυμένο και σε ύψηλή πίεση. Ή μερική πίεση του CO_2 έλαττώνεται σε συνάρτηση με τό βάθος κυκλοφορίας και γίνεται ίση με την άτμοσφαιρική, όταν τό νερό άρχίζει νά έκρέει από την όροφή των σπηλαίων. Συνέπεια της διαφυγής του CO_2 είναι ό σχηματισμός των διαφόρων σπηλαιοποθέσεων. Άρα σε κάθε σχηματισμό σπηλαιοποθέσεων άντιστοιχεί πάντα κάποια διαφυγή CO_2 . Άν λοιπόν ό έξαερισμός του σπηλαίου δέν είναι ικανοποιητικός, τότε τό CO_2 δέν άπομακρύνεται από την άτμόσφαιρα, αλλά μπαίνει στό νερό πού πιθανόν νά ύπάρχει σε κάποιο ή κάποια σημεία του σπηλαίου είτε αυτό είναι στάσιμο είτε ρέει σε σημεία του τοιχώματος. Ή είσοδος όμως αυτή αύξάνει τή διαλυτική ικανότητα του νερού άπέναντι στό $CaCO_3$. Έτσι, άν ή κυκλοφορία του άέρα μέσα στό σπήλαιο είναι ικανοποιητική (καλός άερισμός), τότε τό CO_2 παρασύρεται και δέν διαλύεται μέσα στό νερό.

Τό φαινόμενο είσόδου-διαλύσεως του CO_2 στό νερό δέν παρουσιάζει κίνδυνο χημειοδιαβρώσεως προκειμένου για κάποιο τοίχωμα του σπηλαίου (ή και σπηλαιοπόθεση) όπου ή ροή του νερού είναι συνεχής. Και αυτό γιατί ή συνεχής ροή του νερού περιορίζει τό φαινόμενο της είσόδου του CO_2 στό νερό πού θά προκαλέσει τοπικές διαλύσεις. Έξάλλου τά μικρο-ίχνη διαβρώσεως θά περιορίζονται ή και θά έξαφανίζονται από τή συνεχή απόθεση σπηλαιοποθέσεων πού πιθανόν νά δημιουργούνται στό σημείο αυτό.

Σε τοίχωμα (ή και σπηλαιοπόθεση) όμως πού είναι έντονα ύγρό (χωρίς νά ύπάρχει ροή νερού) ή είσοδος του CO_2 στό νερό μπορεί νά οδηγήσει σε τοπική διάλυση του άνθρακικού ύποβάθρου και στό σχηματισμό λευκής, λεπτής πούδρας, πού είναι εύκολη στη παρατήρηση και διάγνωση.

1.2. ΚΙΝΔΥΝΟΙ

Ό κίνδυνος της χημειοδιαβρώσεως του τύπου αυτού άφορά τοιχώματα σπηλαίων πού άπλως είναι ύγρά, ένω στά σημεία πού τό νερό ρέει, ό κίνδυνος γίνεται μικρότερος. Στη περίπτωση πού ό άερισμός του σπηλαίου δέν είναι ικανοποιητικός ό κίνδυνος αύξάνει πάρα πολύ. Ή διαγνωστική εικόνα της X/Δ του τύπου αυτού είναι ή λευκή ψιλή μικροκρυσταλλική πούδρα πού καλύπτει τις έπιφάνειες.

1.3. ΠΡΟΛΗΨΗ

Συνήθως δέν υπάρχουν δυσκολίες στη πρόληψη της μόλυνσεως του τύπου αυτού. Οι μικροδιαβρώσεις που έχουν ήδη συμβεί, διαρθώνονται, διακόπτονται και προλαμβάνονται:

- α. με τη διόρθωση της κυκλοφορίας του αέρα προς τό καλύτερο
- β. με παγίδες * CO₂ προκειμένου για τοπικές (μικρής έκτάσεως) μόλυνσεις.

2. ΒΙΟΧΗΜΙΚΗ Χ/Δ ΛΟΓΩ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

2.1. ΑΙΤΙΕΣ

Ο δεύτερος τύπος της Χ/Δ όφείλεται σέ όργανοασβεστιτικής συστάσεως ένώσεις που μπαίνουν στό σπήλαιο είτε από τήν έπιφάνεια του έδάφους μέσα από τά δίκτυα άσυνεχείας των πετρωμάτων είτε από τούς έπισκέπτες των σπηλαίων. Η αίτία του τύπου αυτού της Χ/Δ έντοπίζονται στις ζυμώσεις που πραγματοποιούνται στις μεταφερμένες αυτές ούσιες.

Οι όργανικές ύλες που μπαίνουν στό σπήλαιο μέσα από μιá φυσική όδό, προέρχονται από τίς δράσεις μικροοργανισμών που υπάρχουν στα στρώματα του έδάφους (που βρίσκονται πάνω από τό σπήλαιο) και μπαίνουν στα σπήλαια μέσα από τά δίκτυα άσυνεχείας των πετρωμάτων μαζί με τό νερό της ύπόγειας κυκλοφορίας. Οι ζυμώσεις των όργανικών ούσιων πάνω στις διάφορες σπηλαιοαποθέσεις (ή και στα φυσικά τοιχώματα) οδηγούν στό σχηματισμό γκρι-χούμου τσβ τύπου των ρεντζινών, που γρήγορα όρυκτοποιείται στις σταθερές συνθηκές pH, θερμοκρασίας και ύγρασίας του σπηλαίου. Ο χούμος αυτός είναι πλούσιος σέ άμινοξέα και χαρακτηρίζεται από τή παρουσία δύο όργανικών ριζών:

1. του NH₂, που "έξελίσσεται" σέ άμμώνιο και
2. του COOH, που διαλύει τό άνθρακικό ύπόστρωμα.

Οι δύο αυτές ρίζες συμμετέχουν σέ όρισμένες διαδικασίες μετασηματισμού, που οι κυριώτερες είναι οι ακόλουθες:

1. Στην έπιφάνεια των σπηλαιοαποθέσεων ή "άποδιοργάνωση" του άσβεστίτη και όλων των όρυκτων που τον συνοδεύουν (πρακτικά οι άσβεστιτικές αποθέσεις ποτέ δέν αποτελούνται 100% από CaCO₃) καταλήγει στό σχηματισμό σπηλαιογάλακτος (είκ.2) (lait lune, ποσηmilck). Όποιες και άν

* Οι παγίδες αυτές είναι όρισμένες χημικές ένώσεις που έχουν τήν ιδιότητα να άπορροφούν τό CO₂.

** Έδώ έννοείται ή μετριοπή άδροκρυσταλλικού ίστού σέ μικρο- ή κρυστοκρυσταλλικό.



Είκ. 2: Ίχνη χημειοδιαβρωμένων γκούρ. Τό προΐόν τής Χ/Δ εΐναι λευκό σπηλαιό-
γαλα (laite de lune, pondmilck). (Σπήλαιο Άλιστραΐτης Σερρών, φωτ. Γ.
Καλακῆ).

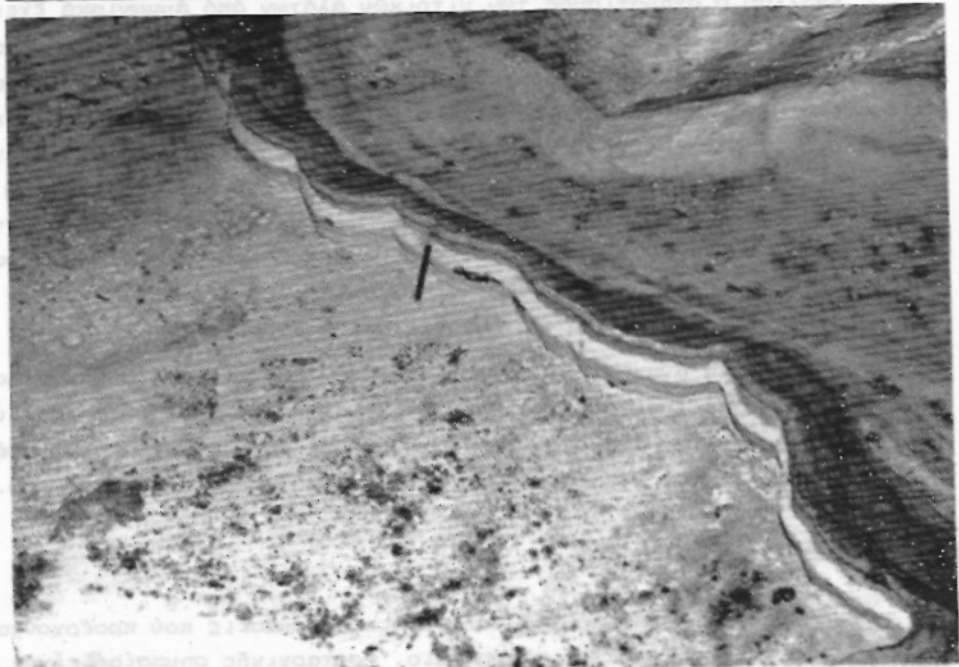
εΐναι οΐ θεωΐρίες καΐ ὑποθέσεις πού άσχολοῦνται μέ τήν ἐρμηνεία καΐ τό μηχανισμό τοῦ μετασχηματισμοῦ (καΐ πού ἡ κριτική τους δέν ἔχει θέση ἐ-
δῶ), τό γεγονός εΐναι ὅτι οΐ σταλακτιτικές ἀποθέσεις καταστρέφονται
καΐ ἀντικαθιστῶνται ἀπό σπηλαιόγαλα.

Πρέπει λοιπόν νά ἔχουμε πάντα ὑπ' ὄψη ὅτι ἡ ἐμφάνιση σπηλαιο-
γάλακτος μαρτυροῦ τό ἀποτέλεσμα καταστροφῆς σταλακτιτῶν, στα-
λαγμιτῶν ἢ καΐ ἄλλων σπηλαιοαποθέσεων.

2. Τά ὀξειδία τῶν μετάλλων, κυρίως τοῦ Fe καΐ τοῦ Mn ἀνάγονται (π.χ.
ὁ δυσδιάλυτος Fe^{3+} ἀνάγεται σέ εὐδιάλυτο Fe^{2+} , παρουσία CO_2
στίς συνθήκες τῶν σπηλαίων) μέ ἀποτέλεσμα τή διάλυση καΐ ἐξαφάνιση
τῶν τυχόντων προϊστορικῶν χρωμάτων τῶν βραχογραφιῶν. Ἡ διάλυση δι-
ευκολύνεται περισσότερο ἀπό τή δράση ἀναγωγικῆς σκόνης πού προέρ-
χεται ἀπό τήν ἴδια τήν ἐστία μόλυνσεως ἢ ἀπό ἄλλες ἐστίες. Ὁ πα-
ράγοντας αὐτός τής Χ/Δ συχνά δέν λαμβάνεται ὑπ' ὄψη.

3. Σέ περιοχές πού ὑπάρχει νερό τά ἀμμωνιακά ἄλατα πού μπορεΐ νά ὑπάρ-
χουν πέφτουν σέ νιτρικά μέ βλαβερές γιά τό σπήλαιο συνέπειες.

Ἐξέλλου οΐ ἄνθρωποι καΐ τά ζῶα ἀναφέρονται σάν πηγές μόλυνσεως
ἀπό τή σκόνη καΐ τίς ἀπίστευτου εΐδους ἀκαθαρσίες πού σχεδόν πάντα ἀ-
φήνουν πίσω τους.



Εικ. 3,4 : Τό άλλοτε λευκό υπόβαθρο τῶν γκοῦρ ἔχει μολυνθεῖ ἀπό ἀποικίες βακτηρίων ἢ μυκήτων. (Σπήλαιο Ἀλιστράτης, φωτογραφία Γ.Καλπακῆ)

2.2. ΚΙΝΔΥΝΟΙ

Ο πρώτος μεγάλος κίνδυνος μόλυνσεως είναι ότι πέρα από τη Χ/Δ που προκαλείται από τις ζυμώσεις των οργανικών στοιχείων αυτών καθ' εαυτών, υπάρχει και η δυνατότητα ότι πάνω στις μολύνσεις αυτές μπορούν να βρουν πρόσφορο έδαφος οι βιοχημικές μολύνσεις που προκαλούνται από την ανάπτυξη της χλωροφυλλούχου χλωρίδας και που κατά κανόνα είναι σοβαρότερες.

Άλλος κίνδυνος από τον ίδιο τύπο μόλυνσεως είναι η δυνατότητα να μεταφέρονται και να μπαίνουν διάφορα υλικά μέσα στο σπήλαιο με την υπόγεια κυκλοφορία του νερού. Στις Εηρές λοιπόν εποχές του χρόνου τα μεταφερόμενα υλικά (όποια και αν είναι) μετά την αποξήρανση του τοιχώματος παραμένουν πάνω στις επιφάνειες και καλύπτουν ή απλώς "λερώνουν" επιφάνειες με σταλακτιτικό διάκοσμο ή βραχογραφίες. Έτσι πολλές φορές βλέπουμε σε τοιχώματα, θραύσματα οστράκων αρτιγόνων οργανισμών και άλλες αποθέσεις που δεν έχουν καμιά σχέση με την εξέλιξη του σπηλαίου από παράγοντες που δρουν μέσα σε αυτό.

Εξάλλου ο σχηματισμός των νιτρικών αλάτων από άμμωνιακά έχει σαν συνέπεια τη προσβολή των γκούρ και των άλλων φυσικών λιμνών του σπηλαίου, που οφείλουν τη στεγανότητά τους σε ένα άσβεστιτικό αδιάπεραστο στρώμα. Με τη μετατροπή λοιπόν των άμμωνιακών αλάτων σε νιτρικά έχουμε απώλεια της στεγανότητας των γκούρ κ.λ.π. λόγω του ότι γίνονται πορώδη με συνέπεια την απώλεια του νερού που είχαν έγκλωβίσει. Η απώλεια όμως αυτή αφαιρεί από το σπήλαιο ένα μέρος από το χαρακτήρα του και έναν ενδιαφέροντα ρυθμιστή υγρασίας και θερμοκρασίας, με άλλα λόγια αλλοιώνονται οι υδρομετρικές και θερμοκτικές συνθήκες που συντηρούνται από τα αποθέματα του νερού.

Η παρουσία αναγωγικών μικροκλιματικών συνθηκών σε σπήλαια που έχουν βραχογραφίες είναι πάρα πολύ επικίνδυνη. Με κάθε μέσο πρέπει να επέμβουμε και να ανατρέψουμε τις συνθήκες αυτές, αν μας ενδιαφέρει ή συντήρηση των εικάστικων έκδηλώσεων του πρωτόγονου ανθρώπου.

2.3. ΠΡΟΛΗΨΗ

Για τη προφύλαξη από τις μολυσματικές ζυμώσεις που προέρχονται από το έδαφος που καλύπτει το σπήλαιο, πρωταρχικής σημασίας είναι η παρατήρηση και η τοπογραφική απεικόνιση της θέσεως και της φύσεως

της ζυμώσεως, καθώς επίσης και η πορεία που ακολουθεί μέχρι να εμφανιστεί στο έσωτερικό του σπηλαίου. Μια καλή μέθοδος παρατηρήσεως είναι οι παγίδες γλυκερίνης, που αποτελούνται από γυάλινα πλακίδια βουτηγμένα σε γλυκερίνη. Τα πλακίδια αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ασφάλεια. Η επιτυχία είναι εξασφαλισμένη καθώς οι τυχόντες μικροοργανισμοί και χημικές ουσίες θα προσκολληθούν εύκολα πάνω στα πλακίδια, που πρέπει να παρατηρούνται μία φορά το μήνα.

Η τεχνητή πλήρωση του δικτύου τροφοδοσίας (μέ τσιμέντο κλπ) με σκοπό τη διακοπή της τροφοδοσίας της μολύνσεως είναι ένα δύσκολο έγχειρημα που και αν άκωχη ήταν οικονομικά έφικτό θα είχε σαν αποτέλεσμα τη διακοπή της ροής του νερού δηλ. τη νέκρωση κάθε διεργασίας σπηλαιοαποθέσεως. Έξάλλου τό να καταστρέφεται ο μικροοργανικός κόσμος και να καθαρίζονται περιοδικά οι κάθε λογής "άκαθαρσίες" δεν κρίνεται πρακτικό, επειδή η προσφορά του υλικού μολύνσεως είναι συνεχής και η (οί) καταστροφή (ές) του για μία ή περισσότερες φορές δεν αποτελεί ουσιαστικά μόνιμη λύση στο πρόβλημα. Έτσι στη περίπτωση αυτή τό πιο συνετό είναι η απομόνωση με κάθε τρόπο (άκωχη και αποκλεισμό) της έστιας μολύνσεως άκριβώς για να βγει έξω από τό κύκλωμα κυκλοφορίας του άερα όποιοδήποτε στοιχείο που εκ τών προτέρων κρίνεται σαφώς ύποπτο.

Στό σημείο αυτό πρέπει για μία άκωχη φορά να επιμείνουμε στον κίνδυνο που παραμονεύει από τήν άλλόγιστη έκμετάλλευση του σπηλαίου και τή σημασία τών μελετών που πρέπει να προηγούνται πριν από τήν κάθε μορφής έκμετάλλευση. Η μελέτη, η διατήρηση και η βελτίωση του άερα που κυκλοφορεί πρέπει να αντιμετωπίζονται σοβαρά και με πρόβλεψη για τό άπώτερο μέλλον του σπηλαίου. Είδικά για τή περίπτωση σπηλαίου με βραχογραφίες, έκτός από τά προηγούμενα επιβάλλεται και η περιοδική επίβλεψη τους από έντεταλμένο προσωπικό.

Όσον άφορα τίς άνθρωπογενούς προελεύσεως X/Δ του τύπου αυτού πρέπει μετά από κάθε επίσκεψη, ένα άτομο (ή συνεργείο αν χρειάζεται) να έποπτεύει και να καθορίζει τούς χώρους που δέχθηκαν τήν επίθεση της άνθρώπινης άγνοιας ή άσυνειδησίας. Περιττό να τονίσουμε ότι η έλσοδος στα σκυλιά ή άλλα ζώα πρέπει να είναι άυστηρά άπαγορευμένη.

Ο τύπος αυτός της X/Δ είναι επίσης εύκολος (όπως και του προηγούμενου τύπου) στη παρατήρηση και διάγνωση. Προδίδεται εύκολα από τήν ιδιαίτερη όσμή που αναδίδεται (όσμή σήψεως), από τήν ιδιάζουσα όψη της σταγονορροής (σταγόνες έγχρωμες και λαμπυρίζουσες) καθώς έπίσης και από τή παρουσία λευκών φυλκταινών, που μπορεί μόν να δια-

κρίνονται δύσκολα στο λευκωπό περιβάλλον των σπηλαιοαποθέσεων, αλλά πού στά περιθώριά τους υπάρχει σχεδόν πάντα ένας σκούρος άργιλλικός δακτύλιος. Πρέπει νά σημειωθεί ότι οι καταστροφές του σταλακτιτικού διακόσμου, πού δημιουργούνται όταν διακοπεί ή τροφοδοσία νερού (στίς ξηρές περιόδους) σκεπάζονται καί διορθώνονται όταν επαναληφθεί ή ροή. Πολλές φορές σέ τομή σταλακτιτών παρατηρούνται λεπτά στρώματα πού νομίζει κανείς ότι πρόκειται γιά αποθέσεις λεπτοκόκκου άνθρακικού ύλικού ένω στή πραγματικότητα τά στρώματα αυτά άντιστοιχοϋν σέ παλιές Χ/Δ πού παρεμβάλλονται μέσα σέ ζώνες προερχόμενες σαφώς από κρυστάλλωση. CaCO_3 .

3. ΒΙΟΧΗΜΙΚΗ Χ/Δ ΛΟΓΩ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΟΥΧΩΝ ΦΥΤΩΝ

3.1. ΑΙΤΙΕΣ

Τό τρίτο είδος τής Χ/Δ συνδέεται στενά μέ τή παρουσία χλωροφυλλούχων φυτών καί μέ τήν επί τόπου χουμποποίηση των νεκρών ιστών τους. Από τίς αντιπροσωπευτικότερες περιπτώσεις είναι ή ανάπτυξη χλωροφυκών είτε πάνω στά τοιχώματα είτε πάνω στίς σπηλαιοαποθέσεις είτε ακόμη καί στίς βραχογραφίες. Στή τελευταία περίπτωση ή προσβολή καί καταστροφή των βραχογραφιών από τά χλωροφύκη καλεΐται "πράσινη άσθένεια" (maladie verte).

3.1. ΑΙΤΙΕΣ

Ο τύπος αυτός τής Χ/Δ παρουσιάζει μιá αυξουσα μολυσματική εξέλιξη πού περιλαμβάνει τρία στάδια:

- α. Κατά τό πρώτο έχουμε ανάπτυξη κατωτέρων χλωροφυλλούχων φυτών (κυρίως χλωροφυκών) πού αναπτύσσονται μέ τή παρουσία του φωτός πάνω στό λεπτό στρώμα νερού πού πιθανόν νά καλύπτει τά τοιχώματα ή τίς σπηλαιοαποθέσεις. Τό νερό αυτό προσλαμβάνει από τό στερεό υπόβαθρο όρυκτά στοιχεία πού χρησιμεύουν γιά τήν ανάπτυξη των φυτικών όργανισμών. Έτσι σάν συνέπεια έχουμε μιá Χ/Δ κατά τήν όποία γίνεται μετανάστευση όρυκτων ύλικών από τό υπόβαθρο πρós τά χλωροφύκη.
- β. Τό δεύτερο στάδιο συνδέεται μέ τά νεκρά κύτταρα των όργανισμών αυτών πού χουμποποιούνται επί τόπου. Η χουμποποίηση των νεκρών κυττάρων προκαλεί διάβρωση του 2ου τύπου (πού αναπτύχθηκε έκτενέστερα στά προηγούμενα).

Μετά τό πρώτο καί δεύτερο στάδιο, έκτός από τή Χ/Δ πού ήδη έχει

δημιουργηθεί, εμφανίζεται και όλη ή μικροχλωρίδα της χουμοποίησης και όρυκτοποίησης. Κάτω από τό πολύπλοκο στρώμα της χλωρίδας, τών βακτηρίων, άκτινομηκύτων κλπ. ένα λεπτό στρώμα στερεού ύποβάθρου (τοίχωμα ή σπηλαιοαπόθεση) έχει άποσαθρωθεί και έχει σχηματιστεί ένα ύπόστρωμα μέ γαιώδη όψη.

Κατά τό τρίτο στάδιο (συνέχεια τών δύο προηγούμενων) πάνω στό στρώμα του χούμου και του γαιώδους ύποστρώματος έγκαθίστανται μήκυτες και μερικά άνώτερα φυτά πού οί ρίζες τους δημιουργούν σχισμές, οί όποτες φυσικά θά έπιτείνουν τίς διεργασίες της Χ/Δ.

3.2. ΚΙΝΔΥΝΟΙ

Κατά τό α'στάδιο όπου έχουμε τήν έγκατάσταση χλωροφυκών, ό κίνδυνος έξαπλώσεως της μόλυνσεως ειαγράφεται μεγάλος. Καί αυτό γιατί οί μονοκύτταροι (κυρίως) αυτοί όργανισμοί έχουν ταχύτατο άναπαραγωγικό κύκλο και συνεπώς γρήγορη επέκταση τών άποικιών τους. Έτσι ό κίνδυνος καλύψεως έπιφανείων από τούς όργανισμούς αυτούς είναι μεγάλος, τόσο από άποψη μεγέθους καλυπτόμενης έπιφάνειας όσο και από άποψη ταχύτητας έξαπλώσεως του όλου φαινομένου. Στή περίπτωση τών βραχογραφιών ό κίνδυνος είναι ακόμη μεγαλύτερος. Οί βραχογραφίες καλύπτονται και κάτω από τή πράσινη κάλυψη δημιουργείται μιά φθοροποιός χημειοδιαβρωτική διεργασία κατά τήν όποία τά κύτταρα τών φυτικών όργανισμών προσβάλλουν τήν χρωστική τών βραχογραφιών. Έξάλλου ό χούμος πού έχει δημιουργηθεί προκαλεί άνεπανόρθωτες βλάβες.

Η έμφάνιση του γ'σταδίου μας έχει φέρει μπρόστά σέ τετελεσμένα γεγονότα. Η καταστροφή τών σπηλαιοαποθέσεων και τών τοιχωμάτων είναι άνεπανόρθωτη τών δέ βραχογραφιών λόγω της σπανιότητάς τους δραματική.

3.3. ΠΡΟΛΗΨΗ

Τό πρώτο μέλημα για τή πρόληψη είναι ή άποφυγή τών φθοροποιών έκδηλώσεων τών όργανισμών αυτών και ή παρεμπόδιση της άναπαραγωγικής τους έξελίξεως. Ο τρόπος παραγωγής, κυρίως μέ σπόρια, δίνει τή δυνατότητα στή ταχύτατη και σέ μεγάλες έπιφάνειες έξάπλωση της μόλυνσεως. Έτσι μιά πρώτη πρόληψη είναι ό φωτισμός πού θά έπιλεγεί και θά πρέπει νά είναι ό κατάλληλος, δηλ. μέ μήκη κύματος πού νά βρίσκονται έξω από τό φωτεινό φάσμα πού έπιτρέπει τήν έκδήλωση της φωτοσυνθέσεως.

Κατά τό α'στάδιο ή Χ/Δ μπορεί νά είναι όπτικά έντυπωσιακή άλ-

λά ουσιαστικά είναι πολύ περιορισμένη. Στη περίπτωση αυτή συνιστάται τό ήπιο καί προσεκτικό πλύσιμο με νερό του ίδιου του σπηλαίου καί με μαλακό σφουγγάρι. Οι ζημιές θά διορθωθούν με τήν επανάληψη τής αποδέσεως του σταλακτιτικού υλικού. Μερικές φορές ή πλαστικοποίηση τής μολυσμένης επιφάνειας δίνει καλά αποτελέσματα, αρκεί ή επιφάνεια νά είναι καλά σφουγγισμένη καί τό πλαστικό νά είναι διαφανές καί όπωσδήποτε ούδέτερο. Με τό στρώμα του διαφανούς πλαστικού διακόπτονται οι όποιεσδήποτε ανταλλαγές μεταξύ επιφάνειας ύποστρώματος-άτμόσφαιρας, τά δέ φύκη πού δυνατόν νά αναπτυχθούν πάνω στη πλαστική κάλυψη, αν δέν διορθωθεί ό φωτισμός, μπορούν εύκολα νά αποκολληθούν.

Στό στάδιο εκείνο πού έχουμε τόν σχηματισμό του χούμου καί τήν εμφάνιση σπηλαιογάλακτος οι μολυσματικές εξέλιξεις είναι θεαματικές. Τό θέμα σέ αυτό τό στάδιο δέν είναι ή προστασία των τοπικών σπηλαιοαποθέσεων ή βραχογραφιών, πού θά έχουν ήδη εξαφανιστεί, αλλά ή απομόνωση του μολυσμένου χώρου από τή γύρω περιοχή. Η επέμβαση πρέπει νά εμποδίζει τή διάδοση των έστιών μόλυνσεως (π.χ. αναπαραγωγικών σπορίων) πού καί αν ακόμη δέν εξελίσσονται, συνιστούν μιá οργανική προσφορά Χ/Δ.

Στη περίπτωση αυτή ένδεικνυται ή χρήση άντισηπτικών άφου ή προσβληθείσα επιφάνεια είναι ήδη μολυσμένη. Άπαγορεύεται άπόλυτα ή χρήση άναγωγικών ούσιων πού κινδυνεύουν νά μπούν στη κυκλοφορία του άέρα του σπηλαίου. Δέν πρέπει νά λησμονούμε ποτέ ότι στη Χ/Δ των σπηλαίων υπεισέρχεται πάντα μιá άναγωγή, πού δέν πρέπει νά τήν έπιτείνουμε. Ό κατάλογος των άντισηπτικών είναι μέγάλος. Αυτό όμως πού θά έπιλεγεί τελικά πρέπει νά είναι άχρωμο μή πτητικό καί κατά τή στιγμή τής δράσεώς του δέν πρέπει νά έκλύει κανένα άέριο ούτε κανένα χημικό στοιχείο πού μπορεί νά προκαλέσει Χ/Δ. Τέλος τό κατιόν, αν υπάρχει, πρέπει νά είναι έποκλειστικά τό Ca.

Έδω πρέπει νά σημειωθεί ότι τά διάφορα στάδια Χ/Δ αυτού του τριτου τύπου είναι εύκολα στη διάγνωση. Τό α'στάδιο παρουσιάζει τό γνωστό πράσινο χρώμα των χλωροφυκών, τό β'στάδιο δίνει καστανωπή όψη στις προσβλημένες επιφάνειες, στό τελευταίο γ'στάδιο έχουμε τήν εμφάνιση των άνωτέρων φυτών.

Στήν έργασία αὐτή τονίζονται :

1. Ἡ ἀναγκαιότητα τῆς μελέτης πού πρέπει νά προηγεῖται ἀπό τήν ὁποιαδήποτε ἀξιοποίηση καί ἐκμετάλλευση κάθε σπηλαίου, γιατί αὐτό πιθανόν νά ἔχει μιὰ ἐγγενή μόλυνση, πού ἢ θά ἐπιταχυνθεῖ μετά ἀπό ἀλλοίωση "ἀξιοποίηση" ἢ θά προκαλέσει καί ἄλλες μολύνσεις βαρύτερης μορφῆς, μέ συνέπεια τίς σοβαρές καταστροφές τόσο στό σπηλαιοβίωμα - κοσμο, ὅσο καί στίς εἰκαστικές ἐκδηλώσεις τοῦ πρωτόγονου ἀνθρώπου πού πιθανόν νά ὑπάρχουν.
2. Ἡ βαθύτερη αἰτία τῶν καταστροφῶν πού προέρχονται ἀπό χημειοδιαβρώσεις ξεκινάει ἀπό τίς ἀναγωγικές συνθήκες τοῦ περιβάλλοντος πού τίς συντηροῦν καί τίς εὐνοοῦν.
3. Οἱ περιοχές πού εἶναι ἐπικίνδυνες γιά μόλυνση, ἐντοπίζονται στά ὑγρά σημεῖα τοῦ σπηλαίου, (μητρικό πέτρωμα ἢ καί σπηλαιοαπόθεση), στά ὁποῖα τό νερό νά μὴν ρέει ἀλλά νά εἶναι στάσιμο, ὄχι μέ τήν ἔννοια τοῦ νεροῦ πού λιμνάζει ἀλλά σάν μόνιμη ἐντονη ὑγρασία.
4. Τά δύο κυριώτερα σημεῖα προλήψεως ἐντοπίζονται :
 - α. στόν ἱκανοποιητικό ἀερισμό (πού νά μὴν εὐνοεῖ τήν ὑπαρξη ἀναγωγικῶν συνθηκῶν)
 - β. στόν κατάλληλο φωτισμό, πού θά πρέπει νά ἔχει μήκος κύματος ἔξω ἀπό τό φάσμα πού εὐνοεῖ τήν ἐκδήλωση τοῦ φαινομένου τῆς φωτοσυνθέσεως, κυρίως στίς ὑγρές περιοχές.
5. Ἡ χημειοδιαβρωση κλιμακώνεται ἀπό τήν ἀπλή παρουσία σπηλαιογάλακτος μέχρι καί τήν ἐμφάνιση ἀνωτέρων φυτῶν. Στήν ὅλη αὐτή κλίμακα ὑπάρχει ἓνα κριτικό σημεῖο πρὶν ἀπό τό ὅποιο οἱ βλάβες εἶναι μικρῆς κλίμακας καί μποροῦν νά διορθωθοῦν. Μετά ὅμως ἀπ'αὐτό οἱ βλάβες ἀποκτοῦν καταστροφικό χαρακτήρα, ἔτσι ὥστε ἡ προσπάθεια μας εἶναι ὄχι πιά ἡ διάσωση τῆς σπηλαιοαποθέσεως ἢ τῆς βραχογραφίας ἀλλά ἡ μὴ ἐπέκταση τοῦ φαινομένου στόν ὑπόλοιπο χῶρο τοῦ σπηλαίου. Τό κριτικό αὐτό σημεῖο βρίσκεται μεταξύ β'καί γ'σταδίου τοῦ τρίτου τύπου χημειοδιαβρώσεως.

Resumé

Cet article a comme but d'exposer les types divers des processus de corrosion, ainsi que les risques des cavernes qui en résultent. Par ailleurs y sont mentionnés les principaux travaux de préservation qu'il faut exécuter afin d'affronter les risques ci-dessus et sauve -

garder le milieu caverneux.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to present as well as the risks that the caves run by them. Furthermore, the most important tasks are mentioned in order to confront the above risks.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- CAUMARTIN, V., RENAULT, Ph. 1958 - La corrosion biochimique dans un réseau Karstique et la genèse du mondmilch. *Notes biospeleol.* XIII, 2, 87-110.
- CAUMARTIN, V. 1964 - Spéléologie physique Biospéologie et Conservation des grottes. Application au cas particulier de Lascaux. *Spelunca*, IV, 5-15.
- CAUMARTIN, V. 1968 - Les corrosions de Cavernes. Quelques principes de conservation des cavernes aménagées. *Spelunca*, VIII, 5-12.
- CLAUS, G. 1955 - Algae and thier mode of life in the Baradla Cave at Aggletek. *Acta Bot. Acad. Sci. Hung.*, 2, 1-26.
- FRIEDMAN, I. 1964 - Progress in the biological exploration of caves und subterranean waters in Istraël. *Int. J. Speleol.*, 1, 29-33.
- JONES, J. H., 1965 - Algological investigations in Mammoth Cave, Kentucky. *Int. J. Speleol.*, 1, 491-516.
- NAGY, J. P. 1965 - Preliminary note on the algae of Crystal Cave, Kentucky. *Int. J. Speleol.*, 1, 479-490.
- THRAILKILL, J. 1968 - Dolomite deposits from Carlsbad Caverns. *J. Sedin. Petrol.*, 38, 141-145.
- THRAILKILL, J. 1971 - Carbonate deposition in Carlsbad Caverns. *J. Geol.* 79, 683-695.
- THRAILKILL, J. 1976 - Speleothemes. In: *Stromatolites* (WALTER ed). *Elsevier Publ. Co.*, 73-86.