ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΝΕΕΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ»

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

« ΟΤΑΝ ΤΟ ΝΕΡΟ ΑΓΚΑΛΙΑΣΕ ΤΗΝ ΠΕΤΡΑ» ΜΙΑ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΤΑΣΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΣΠΗΛΑΙΟΥ ΣΤΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

ΚΑΛΛΙΟΠΗ Γ. ΛΑΜΠΡΙΝΑΚΟΥ

ΑΘΗΝΑ 2013

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΝΕΕΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΕΣ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ»

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

« ΟΤΑΝ ΤΟ ΝΕΡΟ ΑΓΚΑΛΙΑΣΕ ΤΗΝ ΠΕΤΡΑ» ΜΙΑ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΤΑΣΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΣΠΗΛΑΙΟΥ ΣΤΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

ΚΑΛΛΙΟΠΗ Γ. ΛΑΜΠΡΙΝΑΚΟΥ

ΑΘΗΝΑ 2013

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΝΕΕΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ»

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

« ΟΤΑΝ ΤΟ ΝΕΡΟ ΑΓΚΑΛΙΑΣΕ ΤΗΝ ΠΕΤΡΑ» ΜΙΑ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΤΑΣΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΣΠΗΛΑΙΟΥ ΣΤΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

Μεταπτυχιακή φοιτήτρια: **Καλλιόπη Γ. Λαμπρινάκου**

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: **Χρ. Τζουγκράκη** **[4/2/2011- 8/3/2013]**

Μ. Παπαρρηγοπούλου **[18/6/2009-4/2/2011]**

Τριμελής εξεταστική επιτροπή: **Χρ. Τζουγκράκη**
Καθηγήτρια
Τμήματος Χημείας, ΕΚΠΑ

Ε. Βερυκίου-Παπασπυριδάκου
Αναπλ. Καθηγήτρια
Τμήματος Γεωλογίας, ΕΚΠΑ

Π. Παρασκευοπούλου
Λέκτορας
Τμήματος Χημείας, ΕΚΠΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα σπήλαια είναι χώροι ιδιαίτερης σημασίας και απαράμιλλης ομορφιάς, που κεντρίζουν το ενδιαφέρον και την προσοχή των μαθητών και μπορούν μετατραπούν σε δίαυλο επικοινωνίας για την εξοικείωση των μαθητών με την διδασκαλία της Χημείας. Τους δίνει την δυνατότητα να γνωρίσουν τον «άγνωστο κόσμο» των σπηλαίων κι ότι αυτός περιλαμβάνει (εντυπωσιακά σπηλαιοθέματα και διάκοσμο, σπηλαιόβιους οργανισμούς, ίχνη ανθρώπινης παρουσίας). Να κατανοήσουν ότι τα σπήλαια είναι ένα κλειστό κι ευαίσθητο οικοσύστημα που κινδυνεύει από κάθε είδους ανθρώπινες επεμβάσεις και παρεμβάσεις. Να εκτιμήσουν την αξία του κλειστού οικοσυστήματος του σπηλαίου και να κατανοήσουν την ανάγκη διαφύλαξης και προστασίας του. Ερωτήματα όπως, πώς δημιουργούνται τα σπήλαια, πώς σχηματίζεται ο σπηλαιοδιάκοσμος, ποιοι και πώς επιζούν οργανισμοί, ποια είναι τα διαφορετικά είδη σπηλαίων, ποιοι είναι οι κίνδυνοι στα σπήλαια, υπάρχει ραδιενέργεια στα σπήλαια, πώς προστατεύουμε τα σπήλαια, μπορεί μόνο η Χημεία να «απαντήσει». Η Χημεία δεν είναι απλά ένα σύνολο ορισμών, χημικών τύπων και διεργασιών, αλλά μια κοινωνικά αμφίδρομη και εξελίξιμη πολυδιάστατη επιστήμη, που συμβάλλει στην ευημερία και ανάπτυξη της ανθρωπότητας, καθώς και στην προώθηση αξιών και στάσεων ζωής. Οι μαθητές ζητείται να μελετήσουν με διερευνητικό τρόπο την διαδικασία σχηματισμού των σπηλαίων και των σπηλαιοθεμάτων, να συσχετίσουν τις ενδοσχολικές τους γνώσεις τόσο στον τομέα της επιστήμης της Χημείας, όσο και διαθεματικά και να την αναγνωρίσουν ως μια γέφυρα για την εξέλιξη του ανθρώπινου είδους και την κατανόηση ότι η Φύση «κάνει» Χημεία. Με ερέθισμα τις παραπάνω σκέψεις σχεδιάσαμε και υλοποιήσαμε την εκπαιδευτική αυτή πρόταση έχοντας ως αφετηρία την παραδοσιακή επιστημονική γνώση της χημείας στο σχολείο και προέκταση το χώρο του σπηλαίου, υιοθετώντας καινοτόμες διδακτικές παρεμβάσεις, αποφεύγοντας την παθητική έκθεση των μαθητών στη νέα γνώση με τη μορφή ξενάγησης στο σπήλαιο και πιστεύοντας ότι πετύχαμε την δημιουργία κατάλληλου περιβάλλοντος έτσι ώστε να μετασχηματισθεί η τυπική χημική γνώση στο σχολείο και η άτυπη γνώση στην επίσκεψη στο σπήλαιο, για να έχουμε άμεση σύνδεση σχολείου-σπηλαίου.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Διδακτική Χημείας στο σπήλαιο

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Χημεία, σπήλαια, εκπαιδευτική πρόταση, επίσκεψη πεδίου, διαθεματικότητα

ABSTRACT

Caves are areas of remarkable interest from an ethnological and anthropological, as well as an environmental and aesthetic point of view. They may attract the attention of students and become a stimular that will familiarize them with the teaching theory of chemistry. Cave studies give them the opportunity to experience the “unknown world" such as the speleothems and their impressive decor, the cave-dweller organisms and various traces of the past human presence.

Cave research helps students to understand that they are a self-replenishing and fragile ecosystem in danger from any human intervention and interference. It also urges students to appreciate the value of their closed ecosystem and understand the need to preserve and protect them. Chemistry can answer questions such as, how caves were created, how was the inner formation drafted, which organisms and how have survived, which are the different types of caves that exist, what are the “risks” the caves do have, is there any radioactivity, what measures of protection have to be taken. Chemistry is not just a set of theory, definitions, formulas and processes, but also a socially interactive and progressive multidisciplinary science that contributes to the prosperity and development of humanity, and promotes values and attitudes in life.

The students are not only asked, in an exploratory way, to study the process of cave formation, but also to correlate their knowledge both within schools in chemistry science and also cross curricular thematic approach with other sciences, in order to recognize chemistry as a “bridge” to the evolution of human kind and understand that Nature "makes" Chemistry.

Having in mind all the considerations mentioned above as an additional motive, we designed and implemented an educational proposal that overcomed the typical approach of science in school, by gradually leading to a more realistic experience with in situ activities and innovative didactic interventions, avoiding all boring teaching tacts, and believing that we created an alive observatory-laboratory in place of the typical knowledge of chemistry.

SUBJECT AREA: Cave formation and its Chemistry

KEYWORDS: chemistry, caves, educational proposal, field trips, cross curricular thematic approach.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Τμήματος Χημείας του ΕΚΠΑ, διδάσκουσα στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα Διδακτική της Χημείας και Νέες Εκπαιδευτικές Τεχνολογίες και επιβλέπουσα καθηγήτρια κ. Μαίρη Παπαρρηγοπούλου, η οποία συνέβαλε καθοριστικά στη διεξαγωγή της εργασίας αυτής. Οι πολύτιμες παρατηρήσεις και υποδείξεις της σχετικά με το ερωτηματολόγιο της έρευνας, συνέτειναν στο να αποκτήσει την τελική του μορφή και την απαιτούμενη εγκυρότητα περιεχομένου. Η βοήθεια και η στήριξη της ήταν πολύτιμη, καθώς παρακολουθούσε την πορεία της διπλωματικής εργασίας, έδινε λύσεις στις οποιεσδήποτε δυσκολίες αντιμετώπιζα, μου παρείχε εύστοχες ιδέες και γενικά μου προσέφερε τη βοήθεια της και την αμέριστη συμπαράσταση της οποιαδήποτε στιγμή τη χρειαζόμουν.

Την κ. Χρύσα Τζουγκράκη, Καθηγήτρια του Τμήματος Χημείας του ΕΚΠΑ και διευθύντρια του μεταπτυχιακού προγράμματος, για τη μεγάλη τιμή που μου έκανε να συμμετέχει στην τριμελή επιτροπή και για τις πολύτιμες υποδείξεις σχετικά με την διπλωματική αυτή εργασία, αλλά κυρίως για την ευκαιρία που μου έδωσε να συμμετάσχω στο μεταπτυχιακό αυτό πρόγραμμα.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στα άλλα δύο μέλη της τριμελούς επιτροπής, την κ. Ευθ. Βερυκίου-Παπασπυριδάκου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Γεωλογικού Τμήματος του ΕΚΠΑ και την κ. Πατρίνα Παρασκευοπούλου, Λέκτορα του Χημικού Τμήματος του ΕΚΠΑ για τις εύστοχες παρατηρήσεις και τις πολύτιμες επισημάνσεις τους.

Την κ. Ντία Γαλανοπούλου, την κ. ΄Αντα Καραλιώτα, την κ. Δέσποινα Σταμπάκη, τον κ. Ηλία Ματσαγγούρα, την κ. Αλεξάνδρα Κουλουμπαρίτση, την κ. Αναστασία Γεωργιάδου, την κ. Μαργαρίτα Κουσαθανά, τον κ. Ηλία Μπεζεβέγκη, τον κ. Μιρτάτ Μπουρουσιάν, την κ. Αικατερίνη Σάλτα, τον κ. Γιάννη Τζιγκουνάκη, την κ. Γραμματική Τσαγγάνου, τον κ. Βασίλη Παυλόπουλο, τον κ. Μιχάλη Σκούλλο, διδάσκοντες στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών, για τις γνώσεις και την υποστήριξη που μου παρείχαν κατά τη φοίτησή μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών ΔιΧηΝΕΤ. Επίσης ευχαριστώ την κ. Εσθήρ Σακκή και την κ. Κατερίνα Πασχαλίδου, για την πολύτιμη βοήθειά τους στην παρουσίαση της εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες……. σελ.5

Εισαγωγή……...…σελ.18

ΜΕΡΟΣ Α΄: ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΣΠΗΛΑΙΑ

1.1 Σπηλαιολογία «η επιστήμη των σπηλαίων»……....σελ.19

1.2 Αρχές Στρωματογραφίας-Παλαιοντολογίας…...……σελ.23

1.3 Η Παλαιοντολογία στον Ελλαδικό χώρο…….…...σελ.29

1.4 Ελληνικά σπήλαια……...…σελ.34

1.5 Χαρτογράφηση σπηλαίων……...σελ.37

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΠΗΛΑΙΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ

2.1 Μη πυριτικά ορυκτά ……..…….σελ.40

2.2 Πολυμορφισμός ανθρακικού ασβεστίου ...……...…….σελ.45

2.3 Σπηλαιογένεση ..…….....σελ.46

2.3.1 Θεωρίες σπηλαιογένεσης …….....σελ.50

2.3.2 Παράγοντες σπηλαιογένεσης ……..……..σελ.53

2.4 Τύποι σπηλαίων ……σελ.54

2.5 Καρστικά σπήλαια και χημεία…….....σελ.56

2.6 Σπηλαιοθέματα……..……..……σελ.59

2.7 Σπηλαιοκλίμα ……..…..……...……..σελ.80

2.8 Σπήλαια και ραδιενέργεια……..……..……σελ.83

2.8.1 Φυσικές ραδιενεργές σειρές στα σπήλαια …….σελ.85

2.8.2 Επίδραση υγρασίας στη ραδιενέργεια των σπηλαίων.. σελ.88

2.8.3 Ανομοιογένεια ραδιενεργών στοιχείων στα περιβάλλοντα ιζήματα ……..σελ. 88

2.8.4 Φαινόμενο “plate out” …….....σελ. 89

2.8.5 Ραδιενεργός ανισορροπία ……..…σελ.91

2.8.6 Κλαστικά ιζήματα ……σελ.92

2.8.7 Λευκά ασβεστιτικά σπηλαιοθέματα …….…σελ.93

2.9 Σπηλαιοθεραπεία ……...σελ.95

2.10 Βιοσπηλαιολογία …….....σελ.98

2.10.1 Πανίδα ……σελ.98

2.10.2 Χλωρίδα ……σελ.103

2.11 Ασθένειες σπηλαίων ……...σελ.104

2.11.1 Έμμεσοι και Άμεσοι Μέθοδοι Αντιμετώπισης της ανεπιθύμητης μικροχλωρίδας ……σελ.107

2.12 Διαχείριση και προστασία σπηλαίων ……σελ.108

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ο ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΣ ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΣΠΗΛΑΙΩΝ

3.1 Η ισχύς του παιδαγωγικού ρόλου των σπηλαίων.....σελ.111

3.2 Διδακτική της Χημείας ……σελ. 114

3.3 Κοινωνικοπολιτισμική προσέγγιση του χώρου των σπηλαίων.σελ.118

3.4 Βιωματικές εκπαιδευτικές τεχνικές ……..σελ.119

3.5 Βιωματική μάθηση & Ευέλικτη Ζώνη καινοτόμων δράσεων ..σελ.123

3.6 Αναλυτικά Προγράμματα Σπουδών & Διαθεματικότητα …….σελ.125

3.7 Μεθοδολογία προγραμμάτων Π.Ε. στον χώρο των σπηλαίων..σελ.126

3.8 Περιβαλλοντική εκπαίδευση & Αναλυτικά Προγράμματα στην εκπαίδευση……..……σελ.128

3.9 Προτάσεις ενσωμάτωσης της Π.Ε. στο εκπαιδευτικό σύστημα της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης…….σελ.130

3.9.1 Εθνικό Θεματικό Δίκτυο για τα σπήλαια …….σελ.133

ΜΕΡΟΣ Β΄: ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ ΠΡΟΤΑΣΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΤΟΥ ΣΠΗΛΑΙΟΥ ΣΤΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

4.1 Πρόταση εφαρμογής …….….....σελ.135

4.2 Θεωρητικό πλαίσιο της πρότασης ……σελ.136

4.3 Μέθοδος ανάπτυξης πρότασης εφαρμογής…….....σελ. 140

4.3.1Προβληματισμός……...σελ.141

4.3.2 Στόχοι πρότασης…….σελ.141

4.4 Διδάσκω Χημεία στο σπήλαιο(δειγματική πρόταση

και εφαρμογή) ……σελ.143

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΠΡΟΤΑΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

5.1 Επεξεργασία αποτελεσμάτων ……..σελ.162

5.2 Δραστηριότητες…….σελ.185

5.3 Γενικά συμπεράσματα-Πρόταση εφαρμογής ……...σελ.196

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....σελ.199

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α….……σελ.206

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Διάγραμμα συστήματος $CaCO_3$…..……...…..……43

Διάγραμμα 2: Σχέση δημιουργίας ασβεστίτη-αραγωνίτη με το πηλίκο του κλάσματος Mg/Ca ……..……46

Διάγραμμα 3: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 1 και τα αντίστοιχα υποερωτήματα της στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης……...……165

Διάγραμμα 4: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 3 στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ανά τάξη Λυκείου ….…….…….. 167

Διάγραμμα 5: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 4 στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ανά τάξη Λυκείου ……..…….. 168

Διάγραμμα 6: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 5 στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ανά τάξη Λυκείου …….…..…..… 169

Διάγραμμα 7: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 6 στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ανά τάξη Λυκείου …….……... 170

Διάγραμμα 8: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 7 στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ανά τάξη Λυκείου…..……..……..171

Διάγραμμα 9: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 8 στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ανά τάξη Λυκείου……..……172

Διάγραμμα 10: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 9 στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ανά τάξη Λυκείου……..……173

Διάγραμμα 11: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 10 στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ανά τάξη Λυκείου 174

Διάγραμμα 12: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 11 στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ανά τάξη Λυκείου……..…176

Διάγραμμα 13: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 12 στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ανά τάξη Λυκείου…….177

Διάγραμμα 14: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 13 στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ανά τάξη Λυκείου……...……178

Διάγραμμα 15: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 14 στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ανά τάξη Λυκείου……..179
Διάγραμμα 16: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 15 στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ανά τάξη Λυκείου..……180
Διάγραμμα 17: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 16 στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ανά τάξη Λυκείου .182
Διάγραμμα 18: Απαντήσεις μαθητών/τριων στην ερώτηση 17……....……183
Διάγραμμα 19: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών/τριων στην ερώτηση 18……..……..184
Διάγραμμα 20: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών/τριων στην ερώτηση 19……....……...185

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Η σχέση της παλαιοντολογίας με διάφορες συγγενικές επιστήμες……24
Εικόνα 2: Οι ηλικίες της Γης ……27
Εικόνα 3: Στρωματογραφική κλίμακα ……28
Εικόνα 4: Φωτογραφία από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης κρυστάλλων ασβεστίτη ……41
Εικόνα 5: Φωτογραφία από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης κρυστάλλων αραγωνίτη ……42
Εικόνα 6: Φωτογραφία από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης κρυστάλλων βατερίτη 44
Εικόνα 7: Τμήμα Σπηλαίου Βλυχάδας Διρού 2004 – Γ. Τριανταφύλλου ……46
Εικόνα 8: Αναπαράσταση των σταδίων δημιουργίας ρωγμών από την επίδραση του νερού στον ασβεστόλιθο……47
Εικόνα 9: Σχηματισμός σπηλαίων μεγάλου ύψους……48
Εικόνα 10: Σχηματισμός σπηλαίων μεγάλου μήκους ……48
Εικόνα 11: Ιδεατή κατάσταση ανθρακικού πετρώματος στη μάζα του οποίου παρατηρούνται υπογενή, φρεατικά καθώς και σπήλαια δημιουργημένα στη ζώνη κατείσδυσης ……55
Εικόνα 12: Σπηλαιοθέματα (σταλακτίτες και σταλαγμίτες) από το σπήλαιο Lapa Sao Mateus III στη Βραζιλία ……59
Εικόνα 13: Σπηλαιοθέματα σε μορφή πέρλας από το σπήλαιο της Postojna στη Σλοβενία……60
Εικόνα 14: Σχηματική απεικόνιση της αλληλεπίδρασης $CaCO_3$-CO_2-H_2O (ασβεστόλιθου, δολομίτη) καθώς και της δράσης των ιόντων που συμμετέχουν στο σύστημα ……64
Εικόνα 15: Μοντέλο απόθεσης καρστικών σπηλαιοθεμάτων ……64
Εικόνα 16: Σταλαγμίτης από γύψο (photo by J. Les)……65
Εικόνα 17: Τεράστιοι κρύσταλλοι γύψου ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), στο σπήλαιο Cueva de los Cristales (Σπήλαιο των Κρυστάλλων) της περιοχής Naica στο Μεξικό (από το National Geographic, Νοεμβρίου 2008: άρθρο "Crystal Palace")…….66
Εικόνα 18: Δημιουργία κι αύξηση σταλακτίτη ……67
Εικόνα 19: Εμβρυακοί σταλακτίτες του σπηλαίου ……68

Εικόνα 20: Σχηματική αναπαράσταση δημιουργίας και αύξησης σταλαγμιτών και σταλακτιτών …….……...69
Εικόνα 21: Παραπετασματοειδείς σταλακτίτες …….……...……...70
Εικόνα 22: Κεκλιμένος σταλαγμίτης, λόγω μετατόπισης του σημείου της σταγονορροής ……..71
Εικόνα 23: Κολώνα…….. ……...……72
Εικόνα 24: Ρεόλιθος με παραπετασματοειδείς σταλακτίτες στις απολήξεις του……72
Εικόνα 25: Ανάπτυξη κοραλλιών σε σπήλαιο …….……...……73
Εικόνα 26: Κοραλλοειδή και ανάπτυξη ελικτίτη……..……...……74
Εικόνα 27: Βελόνες από αραγωνίτη …….……...……75
Εικόνα 28: Νυχτερίδα κρεμασμένη από προεξοχή διακλασίτη ….....……..75
Εικόνα 29: Κλιμακωτές λίμνες υπερχείλισης ……..……...……...……76
Εικόνα 30: Σπηλαιοφλύκταινες……77
Εικόνα 31α. Μαργαριτάρια σε φυσική θέση και 31β. Τομή μαργαριταριού .....…77
Εικόνα 32: Σπηλαιόσκονη …..……79
Εικόνα 33: Σπηλαιόσκονη …..……79
Εικόνα 34: Κινήσεις αερίων μαζών σε σπήλαια...……80
Εικόνα 35: Τιμές CO_2 στο σπήλαιο βάραθρο Mathurin..……82
Εικόνα 36: Διαγραμματική παράσταση της ραδιενεργού διάσπασης K-40, Rb-87 και C-14…….……86
Εικόνα 37: Σειρά ραδιενεργών διασπάσεων του U-235, U-238, Th-232, αντίστοιχα…….87
Εικόνα 38: Ο ρόλος της υγρασίας στη διακίνηση ραδονίου μέσα σε πορώδη σπηλαιοθέματα…….90
Εικόνα 39: Διάγραμμα διακίνησης των χερσαίων υδάτων μέσω επιφανειών ασυνέχειας πετρωμάτων και δημιουργίας σπηλαιοθεμάτων με ελάχιστες ποσότητες UO_2^{2+}..…….……93
Εικόνα 40: Τρωγλόβιοι οργανισμοί……99
Εικόνα 41: Προσαρμογές τρωγλόβιων οργανισμών στα σπήλαια …….100
Εικόνα 42: *Tadaria brasiliensis Mexicana,* είδος νυχτερίδας συχνά απαντώμενης στα σπήλαια……..……100
Εικόνα 43: Τρωγλόξενα……...……..101

Εικόνα 44: Ορισμένες προσαρμογές που παρατηρούνται σε τρωγλόβια καρκινοειδή είδη…….…….……..…101
Εικόνα 45: Τροφική πυραμίδα σε σπήλαια……...102
Εικόνα 46: Ανάπτυξη της μικροχλωρίδας (πράσινης νόσου) στο σταλακτιτικό διάκοσμο του χερσαίου τμήματος του σπηλαίου "Γλυφάδα" του Διρού Κ. Μερδενισιάνος, Αύγουστος 1987..…….……104
Εικόνα 47: Κυανοβακτήρια που αναπτύσσονται στην εξωτερική κι εσωτερική επιφάνεια νεαρού σταλακτίτη ……...105
Εικόνα 48: Θραύσματα σταλακτιτών: Κυανοβακτήρια μεταξύ των κρυστάλλων στην εσωτερική επιφάνεια (δεξιά) και εντυπωσιακές αναπτύξεις κυανοβακτηρίων και βρύων στην εξωτερική επιφάνεια (αριστερά)……...106
Εικόνα 49: Ευενδολιθικά κυανοβακτήρια: Μικροσήραγγες σε κατακόρυφη και οριζόντια άποψη……..……...106
Εικόνα 50: Ανάπτυξη της πράσινης νόσου στο σταλακτιτικό διάκοσμο του χερσαίου τμήματος του σπηλαίου Κουτούκι, Παιανίας ……...107
Εικόνα 51: Τρίγωνο των τριών επιπέδων των χημικών αναπαραστάσεων του Johnstone ……...114
Εικόνα 52: Μοντέλο επεξεργασίας πληροφοριών ……...116
Εικόνα 53: Η οικοδόμηση νοήματος είναι μια κυκλική διαδικασία που εμπλέκει το όλον με το μέρος και το παρόν με το παρελθόν …….……...119
Εικόνα 54: Παράκτιο σπήλαιο ……..……...149
Εικόνα 55: Σπήλαιο λάβας ……...……149
Εικόνα 56: Σπήλαιο πάγων ……...150
Εικόνα 57: Πείραμα επίδειξης δημιουργίας σταλακτίτη-σταλαγμίτη…….…….159
Εικόνα 58: Τοποθέτηση του πειράματος ...……..……160
Εικόνα 59: Μετά από 2 βδομάδες ……...…160
Εικόνα 60: Ενδεικτική απάντηση μαθητή στην ερ.10 του ερωτηματολογίου προελέγχου ……...175
Εικόνα 61: Ενδεικτικές απαντήσεις μαθητών στην ερ.10 του ερωτηματολογίου τελικής αξιολόγησης ……...…….....…175
Εικόνα 62: Ενδεικτική απάντηση μαθητή στην ερ.15 του ερωτηματολογίου προελέγχου ……..…….181

Εικόνα 63: Ενδεικτικές απαντήσεις μαθητών στην ερ.15 του ερωτηματολογίου τελικής αξιολόγησης ……...…….....181

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Ενεργά σπήλαια και σπήλαια που αξιοποιούνται.……32
Πίνακας 2: Τα βαθύτερα και μακρύτερα ελληνικά σπήλαια.……..35
Πίνακας 3: Βροχοπτώσεις και διάλυση πετρώματος ..…….…...82
Πίνακας 4: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 1 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ……...……164
Πίνακας 5: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 2 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ……...……166
Πίνακας 6: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 3 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης …….……..167
Πίνακας 7: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 4 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ……...168
Πίνακας 8: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 5 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ……...……169
Πίνακας 9: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 6 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ……..….……170
Πίνακας 10: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 7 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ……...……171
Πίνακας 11: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 8 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ……...……....172
Πίνακας 12: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 9 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης …..…….173
Πίνακας 13: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 10 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ……...……174
Πίνακας 14: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 11 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ……...176
Πίνακας 15: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 12 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ……...……177
Πίνακας 16: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 13 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ……...……178
Πίνακας 17: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 14 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ……...…179

Πίνακας 18: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 15 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ……...180
Πίνακας 19: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 16 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ……..…….182
Πίνακας 20: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 17 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ……...…183
Πίνακας 21: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 18 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ……...……184
Πίνακας 22: Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 19 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ……...……185

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ελλάδα, ως χώρα ορεινή (καλύπτεται κατά 65% από ασβεστολιθικά πετρώματα) χαρακτηρίζεται από πλήθος μικρών και μεγάλων σπηλαίων, βαράθρων και υπόγειων ποταμών που διανοίχτηκαν κατά την τριτογενή και τεταρτογενή εποχή [1]. Η Ελληνική Σπηλαιολογική Εταιρεία (ΕΣΕ) που ιδρύθηκε το 1950, κατέγραψε μέσα σε 35 χρόνια στα μητρώα της πάνω από 7600 καρστικές μορφές [2]. Είναι γνωστό ότι ο χώρος των σπηλαίων και τα ευρήματα τους αποτελούν αντικείμενο επιστημονικών μελετών, παιδαγωγικών δραστηριοτήτων και ψυχαγωγικών ενασχολήσεων παρέχοντας ευρύ πεδίο για την ανάπτυξη της έρευνας και της εκπαίδευσης στα γνωστικά αντικείμενα τόσο των φυσικών όσο και των ανθρωπιστικών επιστημών.

Ως κύριοι κλάδοι των φυσικών επιστημών που ασχολούνται με τα σπήλαια μπορούν να αναφερθούν η χημεία, η γεωλογία, η ορυκτολογία, η παλαιοντολογία, η βιολογία, η ζωολογία, η βοτανική, η ανθρωπολογία κτλ, ενώ εκ μέρους των ανθρωπιστικών επιστημών αντίστοιχοι κλάδοι είναι η αρχαιολογία, η κοινωνιολογία, η ιστορία της τέχνης και του πολιτισμού κτλ. Η διαπλοκή όλων των παραπάνω πεδίων επιτρέπει τη δημιουργία διεπιστημονικών ομάδων εργασίας που σε συνεργασία με εκπαιδευτικούς, μαθητές και σπουδαστές να προσεγγίζουν, να μελετούν και να διαπαιδαγωγούνται στον περιβάλλον των σπηλαίων. Ο ψυχαγωγικός χαρακτήρας των σπηλαίων είναι έκδηλος και μπορεί να πραγματοποιηθεί, κυρίως μέσα από τις ποικίλες μορφές του αθλητισμού και της εξερεύνησης ή και ακόμη μέσα από απλές επισκέψεις. Η διεπιστημονική προσέγγιση των σπηλαίων συμβάλλει στην μελέτη του περιβάλλοντος και των ευρημάτων τους από την σκοπιά της Χημείας. Η Περιβαλλοντική Εκπαίδευση (Π.Ε.) μπορεί να εφαρμοσθεί στο περιβάλλον των σπηλαίων, δεδομένου ότι εξ ορισμού αποτελεί εκπαιδευτική διαδικασία, με διαρκή χαρακτήρα, που προάγει τη γνώση της αλληλοσυσχέτισης του ανθρώπου με το βιοφυσικό, πολιτιστικό και κοινωνικό του περιβάλλον. Η παρούσα εργασία διαπραγματεύεται την εκπαιδευτική διάσταση που μπορεί να έχει η σπηλαιολογική δράση κάτω από το πρίσμα της διδασκαλίας της χημείας με στόχο την πλήρη αξιοποίηση των γνωστικών δυνατοτήτων που παρέχουν τα σπήλαια σε μαθητές και μαθήτριες της Μέσης Εκπαίδευσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΣΠΗΛΑΙΑ

1.1 ΣΠΗΛΑΙΟΛΟΓΙΑ «Η ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΩΝ ΣΠΗΛΑΙΩΝ»

Ως σπήλαιο χαρακτηρίζεται κάθε φυσική υπόγεια κοιλότητα που επικοινωνεί με την επιφάνεια και έχει τέτοιες διαστάσεις, ώστε να επιτρέπεται η είσοδος του ανθρώπου[1]. Τα σπήλαια οφείλουν τη γένεσή τους στην παρουσία αδιάλυτων πετρωμάτων που διαρρέονται από τα όμβρια ύδατα και σχηματίζουν αρχικά ρωγμές, οι οποίες με το χρόνο διευρύνονται και συνδέονται μεταξύ τους επιτρέποντας την κυκλοφορία υπογείων ποταμών. Η επίδραση των ποταμών δημιουργεί την κοιλότητα της σπηλιάς. Η δημιουργία της κοιλότητας του σπηλαίου επιτρέπει το σχηματισμό των σταλακτιτών και των σταλαγμιτών που παίρνουν διάφορες μορφές και αποτελούν πολλές φορές εντυπωσιακό θέαμα [3].

Η μελέτη των σπηλαίων είναι η επιστήμη της **Σπηλαιολογίας** (ο όρος χρησιμοποιείται διεθνώς και προέρχεται από την αρχαία ελληνική λέξη "σπήλαιο"). Κατ' επέκταση, σπηλαιολογία είναι η επιστήμη που ασχολείται με την έρευνα των καρστικών μορφών και μελετά τη δυνατή οικονομική χρησιμότητά τους. Μελετά λεπτομερέστερα τη γένεση και το παρελθόν των σπηλαίων, τις διάφορες μορφές τους και τις γενετικές αιτίες τους. Επίσης, μελετά το περιεχόμενο των σπηλαίων, δηλ. τα ανόργανα και τα οργανικά συστατικά, τους σταλακτίτες, τις υδρογραφικές συνθήκες των υδάτινων σπηλαίων, τις μετεωρολογικές συνθήκες του αέρα των σπηλαίων, τη φυσική και χημική τους σύνθεση, τα απολιθώματα των ζωικών και φυτικών μορφών, τα φυτά και τα ζώα που επισκέπτονται τα σπήλαια. Τέλος, η σπηλαιολογία ασχολείται με τις σχέσεις των καρστικών φαινομένων και κυρίως των σπηλαίων με τον άνθρωπο. Με τον όρο Καρστ, ονομάζουμε τα τοπία - οικοσυστήματα, (επιφανειακά ή υπόγεια) που προκύπτουν από την αποσάθρωση - διάλυση των πετρωμάτων και κυρίως αυτών που έχουν στρωματώδη δομή [4].

Η θεμελιώδης άποψη της σπηλαιολογίας είναι η γεωχημεία, συμπεριλαμβανομένης της χημείας, γεωλογίας, υδρολογίας, αλλά και μετεωρολογίας (σύγχρονης και παλαιο-μετεωρολογίας) και μικροβιολογίας σε κάποιες περιπτώσεις. Βεβαίως, μεγάλη

σημασία για την σπηλαιολογία έχουν και πολλές άλλες επιστήμες όπως η βιοσπηλαιολογία (βιολογία), η αρχαιολογία (σε ορισμένες περιπτώσεις).

Αν και τα σπήλαια έχουν διαδραματίσει σπουδαιότατο ρόλο στην ανθρώπινη ιστορία π.χ. παραδείγματα ζωγραφικής σε σπήλαια της Ευρώπης και της Κίνας με ηλικία έως και 30.000 χρονών, η επιστήμη της σπηλαιολογίας διαμορφώνει τις θεμελιώδης αρχές της στα μέσα του 20ου αιώνα. Η αιτία για αυτήν την καθυστέρηση στην εμφάνιση της σπηλαιολογίας αλλά και της αργής προόδου της σε σχέση με άλλες επιστήμες είναι το γεγονός του ότι τα σπήλαια δεν μπορούν να μελετηθούν χωρίς προηγούμενη εξερεύνηση και χαρτογράφησή τους. Έτσι μέχρι να εξερευνηθεί ικανός αριθμός σπηλαίων σε ολόκληρο τον κόσμο δεν μπορούσαν να βγουν σαφή συμπεράσματα για την δομή και την γένεση των σπηλαίων. Πολλοί θεωρούν την σπηλαιολογία περισσότερο ως ένα σπορ παρά ως μια επιστήμη. Στην πραγματικότητα οι περισσότεροι σπηλαιολόγοι απολαμβάνουν και τις δύο αυτές πλευρές της σπηλαιολογίας [4]. Μπορούμε να πούμε λοιπόν ότι πρόκειται για ένα "επιστημονικό άθλημα"...

Είναι γνωστό πως ο άνθρωπος άρχισε να επισκέπτεται τα σπήλαια από πολύ παλιά. Ήδη από την Κατώτερη Παλαιολιθική περίοδο υπάρχουν ενδείξεις για ανθρώπινη παρουσία μέσα σε αυτά. Η πρώτη επίσκεψη του ανθρώπου σε αυτούς τους σκοτεινούς και υγρούς χώρους είναι για την προστασία του ανθρώπου από τα άγρια θηρία. Όμως, πώς λειτούργησε ο άνθρωπος μέσα στα σπήλαια, τα χρησιμοποίησε ως απλό κατάλυμα, ως χώρο εργασίας, ως χώρο λατρείας ή μήπως ως χώρο ταφής των νεκρών του; Πρόκειται για ερωτήματα τα οποία οι αρχαιολόγοι προσπαθούν να απαντήσουν εδώ και αρκετές δεκαετίες. Ακόμη όμως δεν είναι σε θέση να δώσουν σαφείς απαντήσεις. Ένα ερώτημα που τίθεται είναι αν ο πρώτος άνθρωπος που επισκέφθηκε τα σπήλαια μπορεί να χαρακτηριστεί ως ο πρώτος σπηλαιολόγος; Και αν όχι, τότε πότε ξεκινάει η επιστήμη της σπηλαιολογίας; Ήδη από τους ιστορικούς χρόνους έχουμε τα πρώτα στοιχεία για τους πρώτους σπηλαιολόγους. Μια επιγραφή του 1100 π.Χ. μαζί με το πορτραίτο του Ασσύριου βασιλιά Tiglath Pileser στην είσοδο ενός βραχώδους τούνελ που σχηματίζεται από τον ποταμό Ευφράτη, μας πληροφορεί για την επίσκεψη του βασιλιά στο χώρο. Είναι η πρώτη καταγεγραμμένη σπηλαιολογική αποστολή. Μια δεύτερη πραγματοποιήθηκε από τον βασιλιά Shalmaneser το 853 ή 852 π.Χ. Λίγους αιώνες αργότερα στο πεδίο της

σπηλαιολογικής έρευνας εισήλθαν και οι Κινέζοι, οι οποίοι είχαν ως σκοπό τους όχι μόνο να ικανοποιήσουν την εξερευνητική τους περιέργεια, αλλά και να εκμεταλλευτούν τα σπήλαια που εξερευνούσαν. Από διάφορα εγχειρίδια πληροφορούμαστε ότι στην Κίνα αποτελεί παράδοση να χρησιμοποιούν το σταλακτιτικό υλικό και τα απολιθώματα ζώων στην φαρμακολογία μέχρι και σήμερα [5].

Κατά τη ρωμαϊκή εποχή πολλοί ήταν αυτοί που επισκέφθηκαν τα σπήλαια και έδωσαν πολλές πληροφορίες, ένα από τα ακριβέστερα και πιο ενδιαφέρον σε πληροφόρηση έργο είναι το βιβλίο του Titus Lucretius Carus, De rerum natura. Με την επικράτηση του χριστιανισμού το ενδιαφέρον για τα σπήλαια χάθηκε, καθώς αυτά σχετίστηκαν με τις δυνάμεις του σκότους. Έπρεπε να περάσουν πολλοί αιώνες για να αρχίσει και πάλι η σπηλαιολογία να αναπτυχθεί. Πατέρας της σύγχρονης σπηλαιολογίας θεωρείται ο Γάλλος Eduard Alfred Martel, ο οποίος με τα συγγράμματά του και την έρευνά του στο πεδίο ουσιαστικά θεμελιώνει για πρώτη φορά την σπηλαιολογία ως επιστήμη λίγο πριν τις αρχές του 20ου αιώνα. Έζησε τον 19^{ο} αι. επισκέφθηκε δεκάδες σπήλαια σε όλο τον κόσμο και δημοσίευσε αρκετές αναφορές κάνοντας την σπηλαιολογία παγκοσμίως γνωστή. Κατάφερε να πείσει τη γαλλική κυβέρνηση να ψηφίσει το 1902 νόμο με τον οποίο προστατεύονται οι φυσικές κοιλότητες και απαγορεύεται να χρησιμεύουν ως χώροι συγκέντρωσης απορριμμάτων. Επίσης, οργάνωσε την κυκλοφορία εντύπων αφιερωμένων στη σπηλαιολογία, με σπουδαιότερο το Memoires de la Societe de Speleologie, το οποίο αργότερα μετονομάστηκε σε Spelunga και με αυτό το όνομα κυκλοφορεί μέχρι και σήμερα. Παράλληλα, άρχισαν να ιδρύονται σπηλαιολογικά σωματεία και τον 20^{ο} αι. Εθνικές Σπηλαιολογικές Εταιρείες, ενώ ξεκίνησαν και οι διεθνείς σπηλαιολογικές συνεργασίες. Η επιστημονική έρευνα που σχετίζεται με τα σπήλαια γνώρισε μεγάλη άνθηση τα τελευταία χρόνια με πιο σημαντικούς τους κλάδους της παλαιοντολογίας για την έρευνα των απολιθωμάτων, της αρχαιολογίας για την έρευνα των καταλοίπων της ανθρώπινης δραστηριότητας και της μελέτης των βραχογραφιών, της χημείας για την έρευνα της δημιουργίας, μελέτης και αξιοποίησης των σπηλαίων, της βιολογίας για την έρευνα του μικροπεριβάλλοντος, της φυσικής με την έρευνα του κλίματος και της μετεωρολογίας, της γεωφυσικής με την έρευνα τη σεισμολογίας και της χρονολόγησης των αποθεμάτων, της γεωλογίας με την έρευνα της στρωματογραφίας,

της ιζηματολογίας και της γεωμορφολογίας, της μηχανικής με την έρευνα πάνω σε πετρελαϊκά αποθέματα και τουριστικά αξιοποιημένα σπήλαια, της ιατρικής με τη σπηλαιοθεραπεία κ.α. Σχεδόν όλοι οι κλάδοι έχουν συμβάλει ώστε σήμερα τα σπήλαια να αποτελούν έναν σημαντικό οικονομικό παράγοντα εσόδων των κρατών που τα έχουν αξιοποιήσει [6].

Στην Ελλάδα η εξέλιξη της σπηλαιολογίας ήταν διαφορετική. Την εποχή που στη Δύση ξεκινούσαν οι πρώτες σπηλαιολογικές εξερευνήσεις, στη χώρα μας γινόταν εκμετάλλευση ορισμένων σπηλαίων για την εξαγωγή νίτρου που χρησίμευε στην παρασκευή της πυρίτιδας, αναγκαίας για την απελευθέρωση της χώρας. Μετά την απελευθέρωση και με την ευκαιρία της αποστράγγισης της Κωπαΐδας και τμημάτων του οροπεδίου της Τρίπολης έγινε το πρώτο βήμα για την καταγραφή σπηλαίων και καταβοθρών.

Η σχέση της αρχαιολογίας με τα σπήλαια εγκαινιάστηκε με τις ανασκαφές που έγιναν σε αυτά από τις αρχές του 20^{ου} αι. Παράλληλα, δημιουργήθηκαν και διάφοροι σύλλογοι που είχαν ως σκοπό και την εξερεύνηση των σπηλαίων. Το 1950 ιδρύθηκε η Ελληνική Σπηλαιολογική Εταιρεία από τους Γιάννη και Άννα Πετροχείλου και η σπηλαιολογία καταγράφηκε πλέον ως επιστήμη στη χώρα μας [7]. Το 1977 ιδρύθηκε η Εφορία Παλαιοανθρωπολογίας και Σπηλαιολογίας που έχει νομική αρμοδιότητα για την έρευνα, ανασκαφή, μελέτη και προστασία των ελληνικών σπηλαίων.

Στον Ελλαδικό χώρο υπάρχουν κάποια σπήλαια που έχουν ιζήματα αρχαιολογικού ενδιαφέροντος. Αρχαιολογικό ίζημα είναι η απόθεση, η οποία είναι άμεσα ή έμμεσα συνδεδεμένη με την ανθρώπινη δραστηριότητα. Εκτός από τα λίθινα και οστέινα εργαλεία, τα ανθρώπινα και ζωικά οστά, τις εστίες, τα αντικείμενα κόσμησης και τα κινητά έργα τέχνης, οι βραχοσκεπές επιτρέπουν τη διατήρηση και άλλων ευαίσθητων καταλοίπων, όπως βραχογραφιών, ιχνών βημάτων, προπλασμάτων από άργιλο κ.α.

Μέχρι σήμερα μόνο τα σπήλαια έχουν παρουσιάσει διαδοχική στρωματογραφία που να καλύπτει και τις τρεις εποχές στις οποίες υποδιαιρούνται οι ελληνικοί προϊστορικοί χρόνοι. Αυτό στην πράξη σημαίνει πως μόνο από τα σπήλαια μπορούμε να λάβουμε στοιχεία μέχρι στιγμής για τη μετάβαση από τη μια χρονική περίοδο στην άλλη (ανασκαφή και μελέτη από το υλικό στο Φράγχθι τη Αργολίδας)[4].

1.2 ΑΡΧΕΣ ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑΣ – ΠΑΛΑΙΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ

Η Παλαιοντολογία είναι η επιστήμη που ασχολείται με τη μελέτη των όντων, τα οποία έζησαν στη γήινη επιφάνεια πριν από την παρούσα γεωλογική εποχή, δηλαδή τουλάχιστον πριν από 10.000 χρόνια μέχρι πολλά εκατομμύρια χρόνια πίσω. Τα λείψανα αυτών κλείστηκαν μέσα στα στρώματα της Γης που σχηματίστηκαν πριν από την παρούσα γεωλογική εποχή, και λέγονται «Απολιθώματα». «Απολιθώματα είναι τα γράμματα, με τα οποία ο πλανήτης μας έγραψε την Ιστορία του, ενώ οι σελίδες είναι τα στρώματα (πετρώματα) της Γης»[4].

Τα απολιθώματα έχουν μεγάλη σημασία για τη Γεωλογία, διότι παρέχουν το μοναδικό μέσο με το οποίο μπορούμε να διαρθρώσουμε τα διάφορα στάδια της εξέλιξης του πλανήτη μας. Από την προϋπάρχουσα ζωή διατηρείται ως απολιθώματα ένα πολύ μικρό ποσοστό. Τα απολιθώματα, ζώα ή φυτά, μπορούν να μελετηθούν κατόπιν συγκρίσεως της μορφής τους ή του οργανισμού τους με τους σήμερα ζώντες οργανισμούς. Είναι γνωστό ότι τα εξαφανισμένα ζώα και φυτά δεν είναι τα ίδια σε όλα τα στρώματα και όσο πιο παλαιά είναι τα στρώματα, τόσο η ζωή που έχει εγκλεισθεί στα στρώματα αυτά είναι διαφορετική από τα σημερινά ζώντα ζώα και φυτά, και όσο προχωρούμε στα νεώτερα στρώματα, τόσο η ζωή μοιάζει με τα σημερινά ζώα και φυτά. Φθάνουμε έτσι στη γνώση μιας διαδοχής των διαφόρων μορφών, οι οποίες δείχνουν την εξέλιξη της ζωής στην επιφάνεια της Γης. Η ανακάλυψη ορισμένων απολιθωμάτων επιτρέπει να βρούμε τη σχετική ηλικία του στρώματος που τα περικλείει (δηλαδή εάν είναι νεώτερο ή αρχαιότερο ενός άλλου).

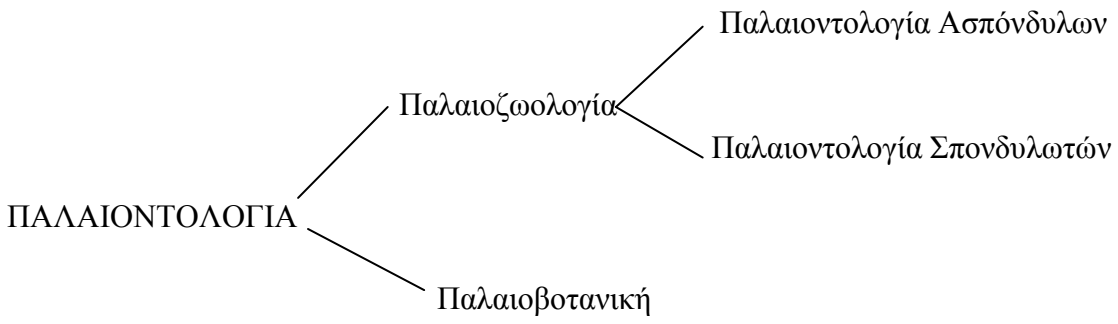
Η Παλαιοντολογία συνδέει το παρελθόν με το παρόν, προσπαθεί να εξηγήσει τους συνδέσμους του ζωικού και φυτικού κόσμου, αλλά και την εξέλιξη των μορφών που ανακαλύπτονται. Το όνομα Παλαιοντολογία προέρχεται από τρεις λέξεις Ελληνικές, παλαιός-όντα-λόγος, και έχει επικρατήσει ο όρος αυτός διεθνώς[4].

Η Παλαιοντολογία διαιρείται κυρίως σε δύο κλάδους:

1) Παλαιοφυτολογία ή Παλαιοβοτανική και

2) την Παλαιοζωολογία.

Φυσικά μέσα σ' αυτούς τους 2 κυρίως κλάδους υπάρχουν πολλοί άλλοι κλάδοι, όπως η Μικροπαλαιοντολογία κ.λπ.



Η Παλαιοντολογία βοηθάει και έχει σχέση με διάφορες επιστήμες, όπως οι Βιοεπιστήμες (Ζωολογία, Βοτανική Ανθρωπολογία), οι Γεωεπιστήμες (Γεωλογία, Πετρολογία, Γεωφυσική, Φυσική Γεωγραφία, Βιοστρωματογραφία, Ιζηματολογία, Παλαιοκλιματολογία, Παλαιογεωγραφία, Σπηλαιολογία), οι Φυσικές Επιστήμες (Χημεία, Φυσική, Αστρονομία) και οι Θεωρητικές Επιστήμες (Προϊστορία, Αρχαιολογία) κ.λπ.

Εικ. 1: Η σχέση της παλαιοντολογίας με διάφορες συγγενικές επιστήμες

Η ζωή στον πλανήτη μας έχει διάρκεια 3.700 εκατομμυρίων ετών. Τα πρώτα ίχνη ζωής είναι βακτήρια και φύκη που βρέθηκαν σε πετρώματα Προκάμβριου της Αφρικής και της Βόρειας Αμερικής. Όλα τα μαλακά και τρυφερά μέρη του οργανισμού διαλύονται με την παρέλευση των χιλιετηρίδων και ως εκ τούτου ως απολιθώματα, πλην ελαχίστων εξαιρέσεων, μόνο τα σκληρά μέρη του οργανισμού

μπορούμε να συναντήσουμε. Έτσι, από την κατηγορία των φυτών είναι δυνατό να διατηρηθούν κορμοί, κλώνοι, πυρήνες, σκληροί καρποί, ενίοτε φύλλα κ.λπ., ενώ από την κατηγορία των ζώων κελύφη, σκελετοί κοραλλιών (απ' αυτούς μάλιστα έχουν σχηματιστεί ολόκληροι όγκοι), όστρακα μαλακίων (κογχυλιάτης λίθος), φολίδες, λέπια, οστά, οδόντες, ακόμη και κόπρανα. Σε σχεδόν σπάνιες περιπτώσεις είναι δυνατό να διατηρηθούν τα μαλακά μέρη π.χ. στα δάση της Βαλτικής υπήρχαν κατά την Ολιγόκαινο περίοδο κωνοφόρα ρητινοφόρα δένδρα μέσα στη ρητίνη των οποίων εγκλείσθηκαν διάφορα έντομα που μεταβλήθηκαν σε απολιθώματα όταν η ρητίνη έγινε ήλεκτρο. Επίσης διατηρήθηκαν μέδουσες, τα πτώματα των Μαμούθ (Elephas primigenius), τα οποία έπεσαν σε παγίδες των παγετώνων, δηλαδή ρήγματα που πληρώθηκαν με χιόνι. Το κρέας αυτών των Μαμούθ είναι τόσο καλά διατηρημένο μέχρι σήμερα, που είναι κατάλληλο προς βρώση (κατεψυγμένο κρέας χιλιάδων ετών). Επίσης έχουμε άριστα διατηρημένο έναν Ρινόκερο (Rhinocerus antiquitatus), ο οποίος καθώς προχωρούσε έπεσε μέσα σε μια λίμνη λιωμένου οζοκηρίτη και διατηρήθηκε έως σήμερα άριστα[4].

Εκείνο το οποίο ενδιαφέρει τη Γεωλογία από τα πορίσματα της Παλαιοντολογίας είναι η εύρεση της γεωλογικής ηλικίας των πετρωμάτων. Έτσι, λέμε ότι το στρώμα Β είναι νεώτερο του Γ και αρχαιότερο του Α βάσει των χαρακτηριστικών ή καθοδηγητικών απολιθωμάτων που υπάρχουν σε κάθε στρώμα. Απολιθωμένες μορφές παρελθουσών γεωλογικών εποχών χαρακτηρίζονται πάντοτε ως απολιθώματα ανεξαρτήτως του αν τα είδη στα οποία ανήκουν υπάρχουν και σήμερα. Αντίθετα, υπάρχουν μορφές που έζησαν σε ιστορικούς χρόνους και εξαφανίστηκαν από το πρόσωπο της Γης καίτοι κατά την περίοδο εκείνη επικρατούσαν οι σημερινές κλιματολογικές συνθήκες. Οι μορφές αυτές (ζώα ή φυτά) λέγονται υποαπολιθώματα (subfossile), όπως π.χ. η Epiornis maximus που εξαφανίστηκε κατά τους ιστορικούς χρόνους. Όλοι οι τύποι οι οποίοι ζουν σήμερα καλούνται αρτίγονοι (recens).

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι κατά τους οποίους γίνεται η απολίθωση. Οι παράγοντες οι οποίοι δρουν κατά την απολίθωση είναι α) μηχανικής και β) χημικής φύσης. Η απολίθωση λαμβάνει χώρα με αντικατάσταση των παλαιών οργανικών συστατικών των απολιθωμένων μερών του οργανισμού από ανόργανων, μέχρι το οργανικό λείψανο να αποκτήσει τελείως ανόργανη σύσταση.

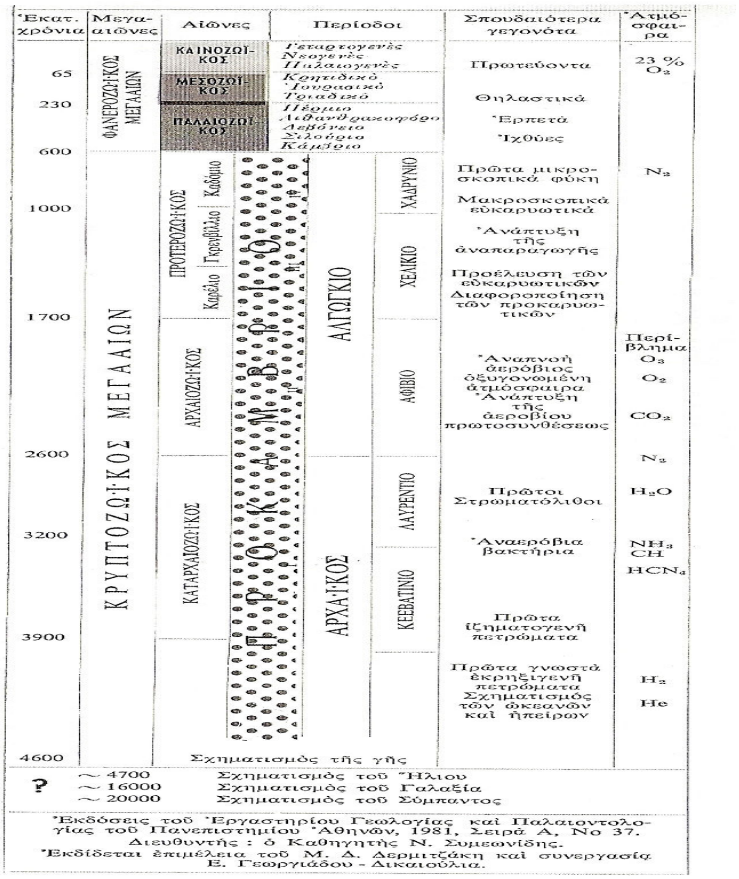
Πολλές φορές στη φύση συναντάμε σχηματισμούς όμοιους με απολιθώματα. Οι χαρακτηριστικές αυτές μορφές καλούμενες Ψευδοαπολιθώματα ουδεμία σχέση έχουν με τον οργανικό κόσμο, αλλά είναι σχηματισμοί εντελώς ανόργανης προέλευσης. Ένα τέτοιο Ψευδοαπολίθωμα κλασσικής μορφής είναι οι δενδρίτες, σχηματισμοί που μοιάζουν με κλαδίσκους και φύλλα φυτού. Σχηματίζονται μεταξύ δύο σχισμογενών επιφανειών που ανήκουν σε ασβεστολιθικά συνήθως πετρώματα, όπου διέρχεται νερό που περιέχει διαλυμένα διάφορα ανόργανα υλικά, όπως οξείδια του Fe (π.χ. πυρολουσίτης) ή του Mn. Το νερό αυτό αναπτύχθηκε δενδροειδής, λόγω της διαφορετικής ταχύτητας διάλυσης των ασβεστολιθικών πετρωμάτων, μετά από την εξάτμισή του παρέμειναν οι εν διαλύσει ουσίες σχηματίζοντας έτσι ομοίωμα απολιθωμένου φυτού. Υπάρχουν πολλά παραδείγματα Ψευδοαπολιθωμάτων, τα οποία όλα είναι σχηματισμοί ανόργανης προέλευσης[4].

Τα απολιθώματα δίδουν την ευκαιρία να μελετήσουμε την επαλληλία των στρωμάτων της Λιθόσφαιρας. Παρατηρούμε ότι κάθε στρώμα εγκλείει έναν ιδιαίτερο οργανικό κόσμο, ο οποίος είναι διαφορετικός από τον κόσμο των άλλων στρωμάτων, όσο δε παλαιότερος είναι ο γεωλογικός ορίζων, τόσο περισσότερο διαφέρουν οι οργανισμοί του από τους αρτίγονους του. Καθοδηγητικό ή χαρακτηριστικό απολίθωμα είναι το απολίθωμα εκείνο του τύπου ο οποίος έζησε επί βραχύ χρονικό διάστημα και είχε μεγάλη γεωγραφική εξάπλωση ή θα μπορούσαμε να πούμε είναι εκείνο το απολίθωμα το οποίο έχει μικρή κατακόρυφη και μεγάλη οριζόντια ανάπτυξη, τέτοια απολιθώματα είναι οι Ιππουρίτες. Επίσης οι Γραπτόλιθοι, οι Τριλοβίτες, οι Αμμωνίτες οι οποίοι έζησαν επί μεγάλο χρονικό διάστημα, αλλά παρέχουν εκάστοτε είδη με μικρό χρόνο ζωής και μεγάλη εξάπλωση. Ο γεωλόγος προκειμένου να καθορίσει την ηλικία ενός στρώματος πρέπει να βρει τους καθοδηγητικούς τύπους, διότι τότε μόνο τα αποτελέσματά του θα μπορούν να θεωρηθούν ακριβή.

Εκτός των καθοδηγητικών απολιθωμάτων υπάρχουν και άλλοι τύποι, οι οποίοι, παρ' όλες τις μεταβολές των συνθηκών του περιβάλλοντος, κατόρθωσαν να επιζήσουν διατηρώντας την ίδια μορφή για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Οι τύποι αυτοί είναι όπως φαίνεται προικισμένοι με αντοχή και ικανότητα προσαρμογής προς τις εκάστοτε συνθήκες των διαφόρων γεωλογικών εποχών και ονομάζονται

συντηρητικοί ή συντηρητικά απολιθώματα. Τα απολιθώματα αυτά δεν έχουν τόσο μεγάλη αξία για τον γεωλόγο, διότι βρίσκονται σε περισσότερα του ενός στρώματα.

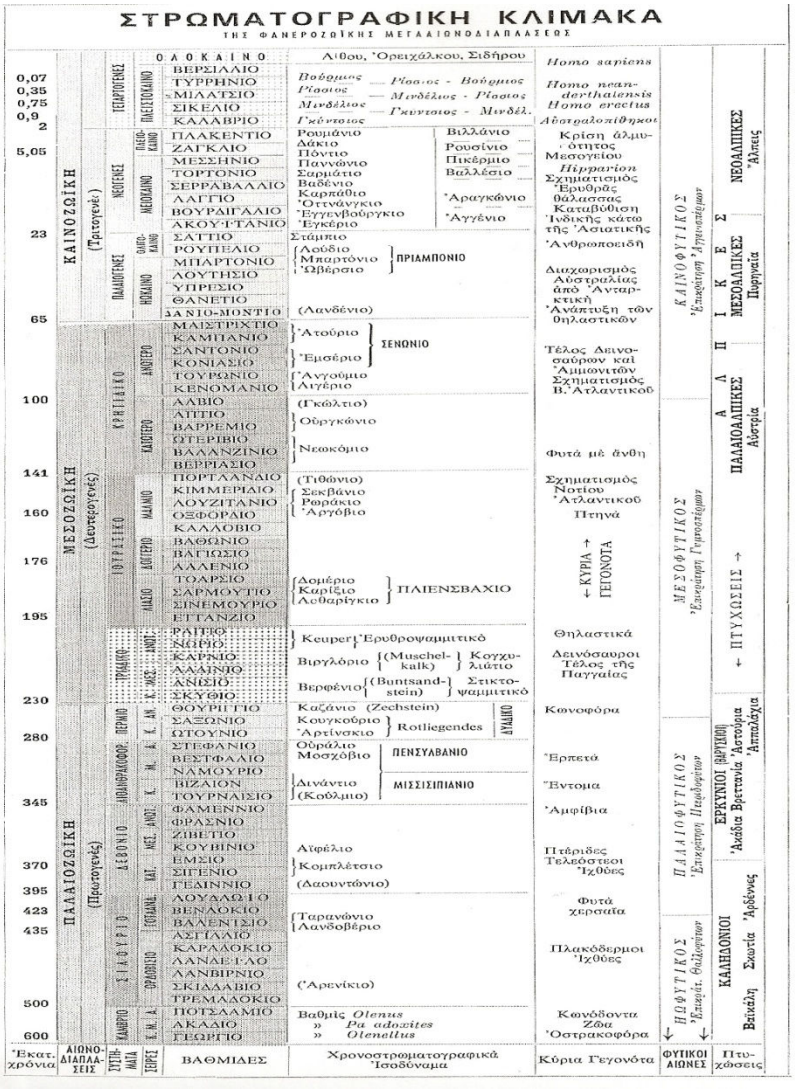
Επίσης ως απολιθώματα θεωρούμε όχι μόνο τα απολιθωμένα κατάλοιπα οργανισμών (φυτών και ζώων), αλλά και τα απολιθωμένα ίχνη της παρουσίας τους πάνω στη Γη, που τα άφησαν πάνω στα πετρώματα και που ονομάζονται ιχνοαπολιθώματα (Βιοδηλωτικά ίχνη). Με τη μελέτη και έρευνα των απολιθωμένων ιχνών της ζωής ή αλλιώς ιχνοαπολιθωμάτων ασχολείται η Ιχνολογία ή ακριβέστερα η Παλαιοϊχνολογία που αποτελεί κλάδο της Παλαιοντολογίας. Τέτοια ιχνοαπολιθώματα είναι: πατήματα ζώων, ίχνη κατοίκησης, ίχνη ερπυσμού, κοπρόλιθοι, αυγά κ.λπ.



Εικ. 2 Οι ηλικίες της Γης

Η Παλαιοντολογία βοηθάει στη διάρθρωση των γεωλογικών εποχών. Για τον χωρισμό των γεωλογικών εποχών ελήφθησαν υπόψη οι επικρατούσες εκάστοτε βιολογικές, γεωλογικές και κλιματολογικές συνθήκες, καθώς και η ασύμφωνη απόθεση των στρωμάτων. Έτσι, στις βιολογικές συνθήκες λαμβάνεται υπόψη ο χαρακτήρας πανίδας και χλωρίδας εκάστης ζώνης, καθόσον η πλειονότητα των

οργανικών όντων μιας εποχής αντικαθίσταται στην επόμενη. Κατ' αρχήν γίνεται διαίρεση σε μεγάλα χρονικά διαστήματα, τους Αιώνες. Αυτοί κατά σειράν είναι: Αρχαιοζωϊκός, Προτεροζωϊκός, Παλαιοζωϊκός, Μεσοζωϊκός και Καινοζωϊκός. Μετά, κάθε Αιώνας διαιρείται σε Περιόδους και κάθε Περίοδος σε Εποχές, Βαθμίδες κ.λπ. (Εικ. 2).



Εικ. 3 Στρωματογραφική κλίμακα[4]

Η Παλαιοντολογία συνδέει το παρελθόν με το παρόν, προσπαθεί να εξηγήσει τους συνδέσμους του ζωικού και φυτικού κόσμου, καθώς και την εξέλιξη των μορφών που ανακαλύπτονται από τους παλαιοντολόγους και είναι σχετικά νεότατη επιστήμη, μόλις περίπου 203 ετών. Η Στρωματογραφική Παλαιοντολογία μελετά την ηλικία των διαφόρων στρωμάτων και τη διαδοχή των διαφόρων πανίδων από τους αρχαιοτέρους

χρόνους. Βλέπουμε λοιπόν ότι οι αρχαιότερες πανίδες ήταν και οι λιγότερο πλήρεις. Μεταξύ των Σπονδυλωτών, οι Ιχθύες εμφανίζονται πρώτοι, μετά τα Αμφίβια, μετά τα Ερπετά, μετά τα Πτηνά και τέλος τα Θηλαστικά (Εικ. 3).

1.3 Η ΠΑΛΑΙΟΝΤΟΛΟΓΙΑ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

Η χώρα μας είναι περίφημη για τον πλούτο της σε παλαιοντολογικά ευρήματα και αυτό λόγω της πλούσιας παλαιογεωγραφικής της ιστορίας. Στην Ελλάδα μέχρι τώρα έγιναν πολλές παλαιοντολογικές ανασκαφές από ξένους και από Έλληνες παλαιοντολόγους και ήλθαν στο φως απολιθώματα υψίστης επιστημονικής αξίας. Στον Ελλαδικό χώρο οι οργανωμένες παλαιοντολογικές ανασκαφές έχουν ιστορία σχεδόν 176 χρόνων. Οι παλαιότερες παλαιοντολογικές ανασκαφές στον τόπο μας πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή Πικερμίου (σε απόσταση 20 Km περίπου από την Αθήνα) το 1836-1978. Τα απολιθωμένα αυτά ζώα ανήκουν στη νεώτερη Μειόκαινο εποχή, έχουν ζήσει δηλαδή στην περιοχή της Αττικής προ 6,5-5 εκατομμυρίων ετών. Από τις ανασκαφές αυτές χιλιάδες απολιθωμένα τμήματα ζώων έχουν εξαχθεί και σήμερα κοσμούν τις βιτρίνες διαφόρων Ελληνικών και ξένων Μουσείων.

Μέχρι σήμερα έχουν περιγραφεί περισσότερα από σαράντα διαφορετικά είδη, όπως προγονικές μορφές Προβοσκιδωτών (ύψους 4m), ρινόκεροι, άλογα τριδάκτυλα, χαλικοθήρια, ύαινες, πίθηκοι, καμηλοπαρδάλεις κ.λπ. Επίσης τα Ερπετά παρουσιάζονται στην Πικερμική πανίδα με έναν ιδιαίτερα ενδιαφέροντα αντιπρόσωπο την Testudo cf. schafferi, που είναι η μεγαλύτερη χερσαία χελώνα που έχει βρεθεί μέχρι σήμερα σε ευρωπαϊκό έδαφος, αν όχι και σε παγκόσμιο έδαφος, που είχε μήκος περίπου 3 μέτρα. Στην Πικερμική πανίδα περιλαμβάνονται και πτηνά, καθώς και μια στρουθοκάμηλος. Όλα αυτά τα ζώα βρέθηκαν σε στρώματα ερυθρά αργιλικά του Πικερμίου κατά φακοειδείς μάζες (δηλαδή πολλά συσσωρευμένα οστά από ετερόκλητα ζώα), πράγμα που σημαίνει ότι τα ζώα πέθαναν από έλλειψη νερού (ξηρασία), όταν συγκεντρώθηκαν αναγκαστικά στις τελευταίες εστίες νερού από διάφορους βιοτόπους. Παλαιοντολογικές ανασκαφές επίσης έγιναν το 1903 στη λεκάνη της Μεγαλόπολης κι έφεραν στο φως μεγάλη ποσότητα απολιθωμένων μεγάλων Θηλαστικών (Πλειστοκαινικής ηλικίας), όπως ελέφαντες (οστά και χαυλιόδοντες μήκους 3,20m), ρινόκεροι, ιπποπόταμοι, επίσης μαμούθ (το νοτιότερο σημείο ευρέσεως στη Γη), καθώς και άλλα ζώα[4].

Στη Σάμο επίσης από το 1887-1976 πολλοί ξένοι και Έλληνες παλαιοντολόγοι πραγματοποίησαν ανασκαφές, από τις οποίες ήλθε στο φως πλουσιότατη απολιθωμένη πανίδα ηλικίας Ανωτέρου Μειόκαινου, όπως μεγάλα σαρκοφάγα ζώα, προβοσκιδωτά, άλογα, χαλικοθήρια, ύαινες, ρινόκεροι, καμηλοπαρδάλεις, χελώνες μεγάλες μήκους 3m, πτηνά και πάρα πολλά άλλα ζώα, όπως και στο Πικέρμι. Όλα αυτά τα ζώα έβοσκαν και ζούσαν στην τότε μεγάλη ξηρά που ήταν το σημερινό Αιγαίο.

Το 1972 ο Ν. Συμεωνίδης ανακάλυψε στη νήσο Τήλο (στα Δωδεκάνησα) στο σπήλαιο "Χαρκαδιό" νάνους ελέφαντες. Με συνεχείς ανασκαφές που έγιναν στο σπήλαιο αυτό ήλθαν στο φως χιλιάδες οστά και δόντια από νάνους ελέφαντες ηλικίας από 10.000-50.000 ετών. Οι ανασκαφές συνεχίζονται και το σπήλαιο αυτό σήμερα είναι το πλουσιότερο σε ευρήματα νάνων ελεφάντων σ' όλο τον κόσμο. Επίσης σε αυτό το σπήλαιο βρέθηκαν ελάφια και χελώνες. Τέτοια σπήλαια αποτελούν «περιλήψεις» της τοπικής γεωλογικής ιστορίας.

Το 1976 έγιναν επίσης από το παλαιοντολογικό Μουσείο του Πανεπιστημίου Αθηνών οργανωμένες παλαιοντολογικές ανασκαφές στη Σπηλαιοδολίνη Βραυρώνας Αττικής (που συνεχίζονται μέχρι σήμερα) και ήλθαν στο φως μεγάλα Θηλαστικά (ηλικίας μόλις 10.000 ετών περίπου), βρέθηκε μεγάλος αριθμός απολιθωμένων ζώων, όπως πάνθηρες, αρκούδες, ελάφια, λιοντάρια, φίδια, χελώνες, βίσωνες, εξαφανισμένα είδη αλόγων και μεγάλα πτηνά (π.χ. χρυσαετοί του είδους *Otis tarda*), ηλικίας 10.000 - 25.000 ετών[4].

Επίσης στα Τουρκοβούνια Αθηνών έχουν γίνει ανασκαφές μέσα στα ασβεστολιθικά χάσματα και βρέθηκαν Θηλαστικά Πλειστοκαινικής ηλικίας όπως πίθηκοι, ρινόκεροι, μεγάλα αιλουροειδή κ.λπ. Επίσης στη λεκάνη του Σέσκλου (Βόλου) πραγματοποιήθηκαν ανασκαφές το 1982 από μέλη του Παλαιοντολογικού Μουσείου του Πανεπιστημίου Αθηνών, και ήλθαν στο φως μεγάλα Θηλαστικά (κάτω Πλειστοκαινικής ηλικίας), όπως προβοσκιδωτά (Mastodon), ύαινες, άλογα, ελάφια κ.λπ. Μια επίσης ενδιαφέρουσα θέση παλαιοντολογικών ευρημάτων είναι το σπήλαιο «Κόκκινες Πέτρες» Πετραλώνων Χαλκιδικής. Σ' αυτό το σπήλαιο το 1960 χωρικοί της περιοχής βρήκαν ένα απολιθωμένο κρανίο ανθρώπου, που όπως αποδείχθηκε εκ των υστέρων από ειδικούς επιστήμονες είναι υψίστης επιστημονικής αξίας

(Πλειστοκαινικής ηλικίας). Είναι ο πιο παλαιός άνθρωπος που βρέθηκε στην Ελλάδα και είναι μια μεταβατική μορφή από τον Homo erectus προς τον Homo sapiens. Από το 1960 έως σήμερα έχουν γίνει πολλές ανασκαφές στο σπήλαιο αυτό και έχουν έλθει στο φως εκτός του ανθρώπινου υλικού και άλλα ζώα, όπως αρκούδες των σπηλαίων, ύαινες, άλογα, πάνθηρες κ.λπ. Όλο το υλικό είναι κατατεθειμένο στο Εργαστήριο Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, καθώς επίσης και στο Τοπικό Μουσείο των Πετραλώνων.

Άλλα σημαντικά, από άποψη ευρημάτων, σπήλαια είναι το σπήλαιο «Περάματος» Ιωαννίνων στο οποίο βρέθηκαν αρκούδες των σπηλαίων, το σπήλαιο «Λιμνών» Καλαβρύτων όπου βρέθηκαν ιπποπόταμοι, ελάφια κ.λπ., το σπήλαιο «Γλυφάδα» Διρού όπου βρέθηκαν ιπποπόταμοι, πάνθηρες κ.λπ.. το σπήλαιο «Λαδικό» της νήσου Ρόδου όπου βρέθηκαν νάνοι ελέφαντες [2].

Στη Κρήτη, σε σπήλαια και καρστικά έγκοιλα, έχουν βρεθεί απολιθωμένα Θηλαστικά Πλαστοκαινικής ηλικίας, όπως νάνοι και κανονικοί ελέφαντες, νάνοι ιπποπόταμοι, νάνοι ελάφια, ενυδρίδες κ.ά.

Τα σπήλαια που προαναφέρθηκαν είναι ενδεικτικά, γιατί στον Ελλαδικό χώρο υπάρχουν ακόμη 500 (μέχρι σήμερα διαπιστωμένα) σπήλαια που στα ιζήματα τους εγκλείουν παλαιοντολογικούς θησαυρούς. Πολλά ελληνικά σπήλαια έδωσαν, κατά την εξερεύνηση τους, στοιχεία που συνέβαλαν στη μελέτη του Αρχαίου Ελληνικού Πολιτισμού και της Νεώτερης Ελληνικής Ιστορίας. Υπάρχουν, όμως και σπήλαια που χρησιμοποιήθηκαν κατά καιρούς ως τόποι λατρείας και φιλοξενούν χριστιανικά μοναστήρια και εκκλησίες.

Κατά την εξερεύνηση των ελληνικών σπηλαίων διευκολύνθηκε η εκμετάλλευση των υπόγειων νερών, ενώ από βιοσπηλαιολογικές μελέτες ανακαλύφθηκαν νέοι σπηλαιόβιοι οργανισμοί, άγνωστοι μέχρι σήμερα στην επιστήμη, καθώς και το ότι στα ελληνικά σπήλαια ζουν τουλάχιστον 20 είδη νυκτερίδων.

Αξιοποιημένα τουριστικά σπήλαια Στον ελλαδικό χώρο, όπως προαναφέρθηκε, έχουν καταγραφεί περισσότερες από 3.000 καρστικές μορφές. Στο σύνολο αυτό περιλαμβάνονται έντεκα (11) ενεργά σπήλαια, από τα οποία τρία (3) εκμεταλλεύεται ο ΕΟΤ, ενώ τα υπόλοιπα διαχειρίζονται τοπικοί φορείς (βλ. Πίνακα 1). Υπάρχουν και

πολλά άλλα, ποικίλου βάθους και μήκους (βλ. Πίνακα 2), που είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν, λόγω μεγέθους, στολισμού, ιστορίας και δυνατότητας προσπέλασης.

Πίνακας 1: Ενεργά σπήλαια και σπήλαια που αξιοποιούνται

Σπήλαια	Νομοί	έκταση (m^2)
Ενεργά σπήλαια		
Παιανίας (Κουτούκι)	Αττικής	3.000
Περάματος	Ιωαννίνων	14.800
Δρογγοράτη	Κεφαλονιάς	1.700
Μελισσάνη	Κεφαλονιάς	3.000
Δικταίον Άντρον	Λασιθίου	2.200
Αντιπάρου	Κυκλάδων	5.600
Γλυφάδα	Λακωνίας	33.200
Αλεπότρυπα	Λακωνίας	6.500
Πετραλώνων	Χαλκιδικής	10.400
Αγίου Γεωργίου	Κιλκίς	1.500
Λιμνών	Αχαΐας	> 15.000
Σύνολο	11	
Σπήλαια που αξιοποιούνται		
Άγιας Σοφίας	Αττικής	2.000
Ανεμότρυπος	Ιωαννίνων	1.360
Αλιστράτης	Σερρών	25.000
Μαάρά	Δράμας	> 15.000
Μελιδονίου	Ρεθύμνου	3.000-5.000
Μιλάτου	Λασιθίου	2.100
Σφεντονίου	Ρεθύμνου	3.400
Σύνολο	7	

Πριν από οποιαδήποτε αξιοποίηση και εκμετάλλευση ενός σπηλαίου πρέπει να καταρτίζονται προκαταρκτικές μελέτες και να εφαρμόζονται με σχολαστικότητα, ώστε να διατηρήσουμε όσο μπορούμε τις αρχικές συνθήκες ή να τις διαταράσσουμε σε όσο το δυνατόν μικρότερο βαθμό. Απαιτείται η συνεργασία πολλών επιστημόνων και τεχνικών: κλιματολόγων, βιολόγων, σπηλαιολόγων, ηλεκτρολόγων κ.ά., καθώς και πολλών δημόσιων φορέων (υπουργεία, πανεπιστήμια, δασαρχεία, σπηλαιολογική εταιρεία κ.λπ.). Το ισχύον καθεστώς, όσον αφορά στην προστασία των σπηλαίων, καθορίζεται ουσιαστικά από μια απόφαση του υπουργείου Πολιτισμού και Επιστημών (ΥΠΠΕ/ΑΡΧ/Α1/Φ45/18378/650/7-4-83), η οποία εντάσσει τα σπήλαια στην κατηγορία των μνημείων, υπάγοντας τα έτσι στον ισχύοντα αρχαιολογικό Νόμο 5351/32: Το 1977 ιδρύθηκε η Εφορία Παλαιοανθρωπολογίας - Σπηλαιολογίας στο Υπουργείο Πολιτισμού, η οποία παρεμβαίνει σε θέματα που αφορούν στα

αρχαιολογικά ευρήματα σε σπήλαια και καθίσταται υπεύθυνος φορέας για τα σπήλαια συνολικά. Επίσης, το Παλαιοντολογικό Μουσείο του Πανεπιστημίου Αθηνών με τον Νόμο 5343/32 δικαιούται να παρεμβαίνει σε θέματα που αφορούν σε παλαιοντολογικά ευρήματα και, τέλος, ο ΕΟΤ έχει δικαίωμα να παρεμβαίνει σε θέματα προστασίας των ενεργών σπηλαίων. Πάντως, υπάρχει επιτακτική ανάγκη νομοθετικής ρύθμισης των θεμάτων που συνδέονται με τα σπήλαια, καθώς η υπάρχουσα νομοθεσία εμφανίζεται ελλιπής, δημιουργώντας επικαλύψεις αρμοδιοτήτων.

« **Ζώνη Β4** (τοπίο αρχαιολογικών χώρων και σπηλαίων).

Περιοχή **«Προστατευόμενων Φυσικών Σχηματισμών»** και **«Προστατευόμενου Τοπίου». Στη Ζώνη Β4** επιτρέπονται:

1. Η επιστημονική έρευνα που σχετίζεται με την παρακολούθηση, προστασία και διαχείριση του προστατευταίου φυσικού σχηματισμού, της πολιτιστικής κληρονομιάς, σύμφωνα με τις διατάξεις της κείμενης νομοθεσίας [όπως: Υ.Α. 34593/1108/23.6.83 «Προστασία σπηλαίων» και ν. 3028/2002 «Για την προστασία των Αρχαιοτήτων και εν γένει της Πολιτιστικής Κληρονομιάς» (ΦΕΚ 153/Α/28.06.2002)].

2. Τα αναγκαία μέτρα, δράσεις, έργα και προγράμματα, που προβλέπονται στο εγκεκριμένο πενταετές σχέδιο διαχείρισης της περιοχής, καθώς και στα εγκεκριμένα εξειδικευμένα προγράμματα δράσης που το συνοδεύουν και αποσκοπούν στη αναβάθμιση, διατήρηση ή και αποκατάσταση των προστατευόμενων φυσικών σχηματισμών του σπηλαίου, των στοιχείων και χώρων της πολιτιστικής μας κληρονομιάς, σύμφωνα με τις διατάξεις της κείμενης νομοθεσίας [όπως: Υ.Α. 34593/1108/23.6.83 «Προστασία σπηλαίων» και ν. 3028/2002 «Για την προστασία των Αρχαιοτήτων και εν γένει της Πολιτιστικής Κληρονομιάς» (ΦΕΚ 153/Α/28.06.2002)].

3. Η επίσκεψη με σκοπό την περιβαλλοντική εκπαίδευση, την παρατήρηση, την αναψυχή, και την εγκατάσταση της απαραίτητης υποδομής, όπως: βελτίωση μονοπατιών, στέγαστρα – παρατηρητήρια, πινακίδες πληροφόρησης, υπαίθριοι χώροι περιβαλλοντικής εκπαίδευσης, , καθώς και η συντήρηση – βελτίωση της, για την οργάνωση και εξυπηρέτηση των προαναφερθέντων δράσεων, βάσει της κείμενης νομοθεσίας, σύμφωνα με τα αναφερόμενα στην υποπαράγραφο Ι.2.1 του παρόντος.

4. Η συντήρηση, βελτίωση και επέκταση των υφιστάμενων έργων και δικτύων υποδομής. »

1.4 ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΣΠΗΛΑΙΑ

Στον Ελλαδικό χώρο υπάρχουν πολλά σπήλαια (πάνω από 400) που στα ιζήματά τους υπάρχουν παλαιοντολογικοί θησαυροί, που όμως αυτά τα πολύ ενδιαφέροντα επιστημονικά αρχεία της φύσης πρέπει να ερευνηθούν για να φωτίσουν ακόμη περισσότερο την προϊστορία της Ελλάδας κατά το ανώτατο Πλειστόκαινο. Τα Ελληνικά σπήλαια διανοίχθηκαν κατά την Τριτογενή και την Τεταρτογενή εποχή σε συμπαγή Κρητιδικό ασβεστόλιθο ή Ηώκαινο, σε συμπαγή Ιουρασικό ή Τριαδικό ασβεστόλιθο, σε νεώτερο Αργιλικό ασβεστόλιθο ή σε νεώτερα κροκαλοπαγή πετρώματα, κι έχουν υποστεί μέχρι σήμερα πολλές μεταβολές στη συμπεριφορά και την δράση τους.

Τα Ελληνικά σπήλαια, είναι μοναδικά, σπάνια και πλουσιότατα υπαρκτά μουσεία και ίσως δεν υπάρχουν αντίστοιχα σε αριθμό και σε πλούτο σε κάποιο άλλο μέρος της Γης. Χρησιμοποιήθηκαν πριν από την Παλαιολιθική εποχή (πάνω από 500.000 χρόνια) από διάφορα ζώα (αρκούδα, τίγρη, ύαινα, λύκο κ.λπ.) [«Κόκκινες Πέτρες» Πετραλώνων Χαλκιδικής, «Αλεπότρυπα» Διρού, «Περάματος» Ιωαννίνων, «Των Λιμνών» Καλαβρύτων κλπ] και οπωσδήποτε αποτέλεσαν προστατευτικά καταφύγια-κατοικίες των πρωτόγονων ανθρώπων (του Έλληνα Αρχανθρώπου) της Παλαιολιθικής και Νεολιθικής περιόδου [«Κόκκινες Πέτρες» Πετραλώνων Χαλκιδικής, «Αλεπότρυπα» Διρού, «Φυτίδι» Κεφαλονιάς, «Ασφέντου» Σφακιών Κρήτης, «Διός» Νάξου, κτλ].

Από την Παλαιολιθική εποχή έως και σήμερα χρησιμοποιήθηκαν και ως τόποι λατρείας. Αξιόλογοι είναι οι θρύλοι και οι παραδόσεις για τα σπήλαιά μας, αφού μέσα σε σπηλιές κτίστηκαν μοναστήρια και εκκλησίες για τη λατρεία του Χριστού, όπως η σπηλιά της Αποκαλύψεως στην Πάτμο. Ακόμα, πολλές κοιλότητες σε απόκρημνες πλαγιές χρησιμοποιήθηκαν από μοναχούς για ασκητήρια. Αμέτρητα είναι και αυτά που έπαιξαν ρόλο στους αγώνες υπέρ της ανεξαρτησίας του γένους (κρυφά σχολειά, καταφύγια, κρησφύγετα αρματολών, νοσοκομεία, εργαστήρια κλπ) [4].

Πίνακας 2: Τα βαθύτερα και μακρύτερα ελληνικά σπηλαία

Τα βαθύτερα ελληνικά σπήλαια (τουλάχιστον 100 μέτρα)

Ονομασία σπηλαίου	Χωριό-Τοποθεσία	Νομός	Περιοχή	Βάθος σε μέτρα
1.Έπος	Όρος Πίνδος	Ιωαννίνων	Ήπειρος	455
2. Προβατίνα	Όρος Πίνδος	Ιωαννίνων	Ήπειρος	405
3. Τρύπα λυγερής	Όρος Πίνδος	Ιωαννίνων	Ήπειρος	386
4. Μαύρο Σκιάδι	Λευκά Όρη	Χανίων	Κρήτη	360
5. Πρόπαντες	Παλιοχώρι Λεωνιδίου	Αρκαδίας	Πελοπόννησος	315
6. Αγία Τριάδα	Όρος Ελικώνας	Βοιωτίας	Στερεά Ελλάδα	300
7. Τρύπα Νύφης	Όρος Πίνδος	Ιωαννίνων	Ήπειρος	299
8. Τζανή Σπήλιος	Οροπέδιο Ομαλού	Χανίων	Κρήτη	290
9. Άγιος Ματθαίος	Ματθαίος	Κέρκυρας	Επτάνησα	250
10. Δρακολίμνης	Όρος Πίνδος	Ιωαννίνων	Ήπειρος	250
11. Οδυσσέα	Όρος Πίνδος	Ιωαννίνων	Ήπειρος	250
12. Ελαφοτόπου	Όρος Πίνδος	Ιωαννίνων	Ήπειρος	250
13. Βιρές	Όρος Πίνδος	Ιωαννίνων	Ήπειρος	230
14. Σπηλιάρο	Τσεπέλοβο	Ιωαννίνων	Ήπειρος	228
15. Στυχειωμένη	Όρος Ερύμανθος	Ηλείας	Πελοπόννησος	220
16. Σκορπιών	Λεωνίδιο Κυνουρίας	Αρκαδίας	Πελοπόννησος	208
1Τ. Νεραϊδότρυπα	Πόρτες Πατρών	Αχαΐας	Πελοπόννησος	200
18. Αγκάθι	Χαλκιόπουλοι	Απολλωνίας	Στερεά Ελλάδα	188
19. Φωλιά	Καβάλα	Καβάλας	Μακεδονία	175
20. Δερδεβίτσας	Δερδεβίτσα	Πρέβεζας	Ήπειρος	160
21. Γκοϊλότρυπα	Όρος Πίνδος	Ιωαννίνων	Ήπειρος	159
22. Λάπαθο	Όρος Πίνδος	Ιωαννίνων	Ήπειρος	155
23. Ολυσις	Όρος Πίνδος	Ιωαννίνων	Ήπειρος	152
24. Γκαμήλας	Όρος Πίνδος	Ιωαννίνων	Ήπειρος	150
25. Άγιος Ηλίος	Ελληνίτσα	Αρκαδίας	Πελοπόννησος	150
27. Οιδίπους	Όρος Πίνδος	Ιωαννίνων	Ήπειρος	136
28. Σπηλιάρα	Αστυράκι (Ψηλορείτης)	Ηρακλείου	Κρήτης	135
29. Ρεπετίνα	Όρος Πίνδος	Ιωαννίνων	Ήπειρος	120
30. Βερζοβά	Τρίπολη	Αρκαδίας	Πελοπόννησος	120
31. Εφτάστομο	Όρος Παρνασσός	Φωκίδος	Στερεά Ελλάδα	117
32. Παρεξήγηση	Όρος Υμηττός	Αττικής	Στερεά Ελλάδα	115
33. Άνω Βάθειας	Αμάρυνθος	Εύβοιας	Εύβοια	110
34. Τρύπα Γερμανικά	Βουλιαγμένη	Αττικής	Στερεά Ελλάς	100
35. Τρύπα Αηλιάς	Όρος Πίνδος	Ιωαννίνων	Ήπειρος	100
36. Νεβιάστας	Τσεπέλοβο	Ιωαννίνων	Ήπειρος	100
37. Κάρκαρος	Λιλαία	Φθιώτιδας	Στερεά Ελλάς	100

Τα μακρύτερα ελληνικά σπήλαια (τουλάχιστον 500 μέτρα)

Ονομασία σπηλαίου	Χωριό-Τοποθεσία	Νομός	Περιοχή	Μήκος σε μέτρα
1. Γλυφάδα	Πύργος Διρού	Λακωνίας	Πελοπόννησος	4.600
2. Τζανή Σπήλιος-Χώνος	Ομαλός (Λευκά Όρη]	Χανίων	Κρήτη	2.900
3. Αλιστράτη	Αλιστράτη	Σερρών	Μακεδονία	2.500
4. Λιμνών	Κοστριά Καλαβρύτων	Αχαΐας	Πελοπόννησος	2.000
5. Αγίου Δημητρίου	Σελινΐτιαα	Μεσσηνίας	Πελοπόννησος	2.000
6. Κύκλωπος *Πολυφήμου*	Μαρώνεια	Κομοτηνής	Θράκη	1.800
7. Πέρατος	Πέραμα	Ιωαννίνων	Ήπειρος	1.700
8. Κόκκινες Πέτρες	Πετράλωνα	Χαλκιδικής	Μακεδονία	1.680
9. Μεγάλη Καταβόθρα	Νευροκόπι	Δράμας	Μακεδονία	760
10. Αγία Τριάδα	Κάρυστος	Εύβοιας	Εύβοια	750
11. Αστυρακίου	Αστυράκι Μαλεβιζίου	Ηρακλείου	Κρήτη	730
12. Όξω Λατοίδι	Σπίνο	Λασιθίου	Κρήτη	700
13. Πελεκητά	Ζάκρος Σητείας	Λασιθίου	Κρήτη	700
14. Καταφύγι	Πύργος Διρού	Λακωνίας	Πελοπόννησος	600
15. Κσταφύκι	Δρυοπίδα	Κυκλάδων	Κύθνος	500
16. Αλεπότρυπα	Πύργος Διρού	Λακωνίας	Πελοπόννησος	600
17. Γκιάλπιδων	Κάρυστος	Εύβοιας	Εύβοια	600
18. Εφταμύλων	Σέρρες	Σερρών	Μακεδονία	600
19. Δρακότρυπα	Αναβρυτή	Αιτωλ/νίας	Στερεά Ελλάδα	550
20. Αη Γιώργη-. Μπουλοσίκη	Κιλκίς	Κιλκίς	Μακεδονία	550
21. Δράκου	Καστοριά	Καστοριάς	Μακεδονία	546
22. Σφεντόνη	Ζωνιανά	Ρεθύμνου	Κρήτη	530
23. Αγία Ελένη	Ζυγός	Καβάλας	Μακεδονία	500
24. ΑγίαΣοφία	Μυλοπόταμος	Πειραιά	Κύθηρα	500
25. Μελιδονίου	Μελιδόνη	Ρεθύμνου	Κρήτη	500
26. Αγιογαλούσαινας	Άγιος Γόλας	Χίου	Χίος	500
27. Περιστέρι	Μεγαλοχώριο	Πειραιά	Μέθανα	500
28. Αγία Παρασκευή	Σκοτεινό	Ηρακλείου	Κρήτη	500

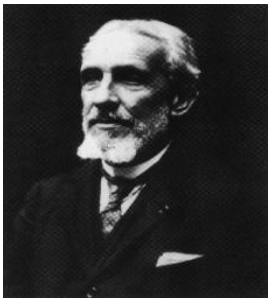
Αλλά και τα νερά των σπηλαίων, από την αρχαιότητα ακόμη, χρησιμοποιούνται για υδρευτικούς [«Αγίας Ελένης» Ζυγού Καβάλας], αρδευτικούς και ιαματικούς σκοπούς [«Υπάτης» Αγίου Κηρυκίου Ικαρίας, Μήλου, Καμένων Βούρλων, κτλ], ενώ οι κάτοικοι πολλών ορεινών περιοχών προμηθεύονται πάγο από τα σπήλαια και σε αυτά ωριμάζουν και διατηρούν τα τυριά τους. Η Ελλάδα, εξαιτίας των πλούσιων ασβεστολιθικών πετρωμάτων της (περίπου 65% της έκτασής της καλύπτεται από

ασβεστολιθικά πετρώματα), διαθέτει τεράστιο αριθμό σπηλαίων που υπολογίζεται, με τις μετριότερες εκτιμήσεις, ότι πρέπει να ξεπερνά τις 15.000. Απ' αυτά έχουν επισημανθεί και καταγραφεί μέχρι σήμερα πάνω από 10.000, αριθμός αρκετά μεγάλος, που δίκαια τοποθετεί τη χώρα μας σαν μια από τις πλουσιότερες σε σπήλαια στον κόσμο[6].

Στα πετρώματα αυτά, που είναι επιδεκτικά στη διάβρωση και στις χημικές διεργασίες, αναπτύσσονται κατ' εξοχήν τα σπήλαια, καθώς και άλλες υπόγειες καρστικές μορφές (πόλγες, δολίνες, βάραθρα, καταβόθρες κ.λπ.). Τα περισσότερα είναι καρστικά (διαβρωσιγενή), που χαρακτηρίζονται από πλούσιο διάκοσμο (σπηλαιοαποθέσεις : σταλαγμίτες-σταλακτίτες - ελικτίτες- κυματοειδή - δίσκοι - μαργαριτάρια σπηλαίων - ασπίδες κ.α.) και απαντούν στις περισσότερες περιοχές με πετρώματα διαλυτά από τα φυσικά νερά, όπως είναι οι ασβεστόλιθοι, τα μάρμαρα, οι δολομίτες κ.ά. Όμως παρ' όλο αυτόν τον καρστικό πλούτο, οι συστηματικές εξερευνήσεις στην Ελλάδα άργησαν να αρχίσουν. Αιτία, η μακροχρόνια σκλαβιά και οι μετέπειτα συνεχείς πόλεμοι. Οι πρώτες καταγεγραμμένες έρευνες σπηλαίων στη χώρα μας ξεκίνησαν από ξένους επιστήμονες όπως τον Γερμανό Frendler, το 1841, που επισκέφθηκε και μελέτησε το σπήλαιο "Καταφύκι" της Κύθνου, τον Ελληνογάλλο μηχανικό Ν. Σιδερίδη που μαζί με τον Γάλλο Ι. Καππές και τους Ε. Martel- C. Gadoulen-J. Valiche, το 1891-1892 μελέτησαν τις περίφημες καταβόθρες στην περιοχή Κάψια Τριπόλεως, τον Άγγλο R. Cole, το 1910, που εξερεύνησε τις καταβόθρες της Κωπαΐδας και τον Αυστριακό γιατρό, σπηλαιολόγο και ανθρωπολόγο Adalbert Markovitz που από το 1928 μέχρι το 1939 εξερεύνησε πλήθος σπηλαίων της Αττικής με μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον από παλαιοανθρωπολογικής πλευράς και τα ευρήματα του είναι κατατεθειμένα στο Ανθρωπολογικό Μουσείο της Ιατρικής Σχολής του Πανεπιστημίου Αθηνών. Οι αρχαιολόγοι Α. Σκιάς (1900-1901) και ο Σ. Αρβανιτόπουλος (1910) διεξήγαγαν αρχαιολογικές ανασκαφές στην Πάρνηθα, την Αγιά και στην Όσσα.

Η πρώτη συστηματική προσπάθεια επιστημονικής εξερεύνησης των ελληνικών σπηλαίων έγινε από το ζεύγος Ιωάννη και Άννας Πετροχείλου που το 1950 ίδρυσε την Ελληνική Σπηλαιολογική Εταιρεία, με 31 ιδρυτικά μέλη, στα αρχεία της οποίας είχαν καταγραφεί μέχρι το 1980 7.500 περίπου σπήλαια, κάνοντας την Ελλάδα την πρώτη χώρα στον κόσμο σε αριθμό σπηλαίων. Από τα σπήλαια αυτά αρκετές χιλιάδες

έχουν εξερευνηθεί, χαρτογραφηθεί και αξιοποιηθεί τουριστικά και επιστημονικά, ενώ περισσότερα από 100 τυγχάνουν διεθνούς τουριστικής προβολής. Συνολικά μέχρι σήμερα έχουν ανακαλυφθεί, καταγραφεί ή εξερευνηθεί από την ΕΣΕ περισσότερες από 8.500 καρστικές μορφές (σπήλαια, βάραθρα, δολίνες, καταβόθρες κ.λπ.). Σημαντική συγκέντρωση τέτοιων μορφών παρατηρείται στην Κρήτη και την περιφέρεια του Νότιου Αιγαίου, καθώς και στα Ιόνια νησιά, στην Πελοπόννησο και στην Αττική [7].



ÉDOUARD-ALFRED MARTEL

(1859-1938)

ΙΩΑΝΝΗΣ ΠΕΤΡΟΧΕΙΛΟΣ

(1901 -1960)

ΑΝΝΑ ΠΕΤΡΟΧΕΙΛΟΥ

(1910-2001)

Ενδεικτικά αναφέρουμε το σπήλαιο "Γλυφάδα" στο Διρό της Μάνης, που θεωρείται ως ένα από τα ωραιότερα λιμναία σπήλαια του κόσμου, το σπήλαιο Περάματος στα Ιωάννινα, από τα καλύτερα των Βαλκανίων, το σπήλαιο "Των Λιμνών" στα Καλάβρυτα, με τις 13 κλιμακωτές λίμνες του, το σπήλαιο "Αλιστράτης" στις Σέρρες, το σπήλαιο "Κουτούκι" Παιανίας στην Αττική και τόσα άλλα που παρουσιάζουν έναν ανεπανάληπτο σε ομορφιά σταλακτιτικό στολισμό. Επίσης, τα προϊστορικά σπήλαια Πετραλώνων Χαλκιδικής, Αλεπότρυπα Διρού και Ιδαίον Άντρο στην Κρήτη, αποτελούν μικρό μόνο δείγμα τεράστιου αρχαιολογικού και ανθρωπολογικού ενδιαφέροντος[7].

1.5 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΣΠΗΛΑΙΩΝ

Τα σπήλαια είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με την ιστορία του ανθρώπου. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν ως καταλύματα, μετά ως αποθηκευτικοί χώροι ή και τόποι λατρείας, ή ως καταφύγια κατά τις περιόδους πολέμων, μέχρι και στις μέρες μας όπου στη χώρα μας η υπάρχουσα νομοθεσία καθιστά τα σπήλαια προστατευόμενα μνημεία φυσικής κληρονομιάς και ο καθένας έχει τη δυνατότητα να τα επισκεφθεί. Η

συνολική εμφάνιση ενός σπηλαίου, παραμένει αμετάβλητη για χιλιάδες και σε μερικές περιπτώσεις και εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια.

Το σπήλαιο είναι ένας πολύ ιδιαίτερος γεωλογικός σχηματισμός που έχει ως βάση της δημιουργίας του το νερό. Μπορεί να βρεθεί οπουδήποτε, σε σημεία αποστράγγισης υδάτων, στο βουνό, στο δάσος, δίπλα στη θάλασσα, μέσα σ' αυτή και ως εκ τούτου οι μορφές που μπορεί να πάρει το εσωτερικό του ποικίλουν.

Μπορεί να είναι προσπελάσιμο πολύ εύκολα με μεγάλες και επίπεδες αίθουσες, ή να είναι δύσβατο, να έχει πολύ στενά περάσματα, καταρράκτες, σιφόνια, να είναι κατακόρυφο, βαθμιδωτό, να το διαρρέει κάποιο υπόγειο ποτάμι ή να είναι εξολοκλήρου ή κομμάτι αυτού βυθισμένο σε νερό, να είναι σχηματισμένο σε πάγο ή σε ηφαιστειακό πέτρωμα. Να έχει μήκος μόλις μερικά μέτρα ή να εκτείνεται σε στοές εκατοντάδων χιλιομέτρων.

Αυτή του η αναπόφευκτη ιδιομορφία μας επιτρέπει να χρησιμοποιήσουμε διάφορες μεθόδους αποτύπωσης αλλά και μας απαγορεύει κάποιες άλλες. Η χρήση GPS δεν είναι εφικτή διότι στο εσωτερικό του σπηλαίου οι συσκευές δεν μπορούν να εντοπίσουν το σήμα (κύμα) που εκπέμπουν οι δορυφόροι αφού αυτό δεν είναι σε θέση να διαπεράσει τα πετρώματα του σπηλαίου. Μπορεί παρόλα αυτά να χρησιμοποιηθεί για την εύρεση συντεταγμένων της εισόδου της σπηλιάς, όπου είναι εφικτό[8].

Η τηλεπισκόπηση επίσης δεν είναι δυνατή για τον ίδιο περίπου λόγο με το GPS. Οι δορυφορικές φωτογραφίες αποτυπώνουν την εικόνα του σημείου της Γης που ζητάμε όπως φαίνεται από τον δορυφόρο αλλά όχι οτιδήποτε βρίσκεται κάτω από αυτή.

Εν τούτοις υπάρχουν μέθοδοι που μπορούν να λειτουργήσουν ικανοποιητικά στην αποτύπωση σπηλαίου. Η επίγεια φωτογραμμετρία όπου με τη χρήση φωτογραφιών μπορούμε να αποτυπώσουμε με ακρίβεια σημεία ενδιαφέροντος του σπηλαίου (π.χ. σταλακτιτικούς σχηματισμούς). Εν συνεχεία η τοπογραφία, όπου με τη χρήση ταχυμέτρου (γαιοδετικού σταθμού) και με τη μέθοδο αποτύπωσης συντεταγμένων σε σύστημα αναφοράς, μπορεί να μας δώσει αποτυπώσεις του σπηλαίου με τη μέγιστη ακρίβεια των αποτυπωμένων σημείων. Οι τρισδιάστατοι laser σαρωτές, η χρήση των οποίων μας επιστρέφει νέφος σημείων που αντιπροσωπεύει την καθολική επιφάνεια

του σπηλαίου σε τρεις διαστάσεις. Κλείνοντας η απλή μέθοδος της χαρτογράφησης με χρήση μετροταινίας ή αποστασιομέτρου και πυξίδας δημιουργεί κατόψεις σπηλαίου μερικής ακρίβειας. Τέλος για εργασίες κατά βάση εντοπισμού εγκοίλων μπορεί να χρησιμοποιηθεί η φασματοσκόπηση και ο ραδιοεντοπισμός. Η «χαρτογράφηση» είναι η συνηθέστερη μέθοδος αποτύπωσης που χρησιμοποιείται από τους σπηλαιολόγους για την χαρτογραφική τεκμηρίωση του σπηλαίου και αυτό λόγω της ευκολίας της χρήσης των μηχανημάτων και του λιγοστού βάρους και όγκου τους.

Η ιδιαιτερότητα της μορφολογίας του σπηλαίου είναι και το βασικότερο -εάν όχι το μόνο- στοιχείο επιλογής μεθόδου αποτύπωσής του. Σε ένα υποθαλάσσιο, λόγου χάριν σπήλαιο, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ευκολία ηλεκτρονικά όργανα. Σε ένα βάραθρο 200 μέτρων βάθους δεν είναι και το πιο εύκολο πράγμα να κατέβει στον πάτο του ένα βαρύ όργανο για να γίνουν οι μετρήσεις και πόσο μάλλον να ξανανέβει πάνω.

Μία ακόμα σημαντική παράμετρος είναι τα επίπεδα υγρασίας στο σπήλαιο που συνήθως αγγίζουν το 100% με αποτέλεσμα όργανα που χρησιμοποιούν δεσμίδες φωτός για μετρήσεις, να έχουν μεγάλα σφάλματα εξαιτίας της διάθλασης των δεσμίδων από τα μόρια νερού του περιβάλλοντος[8].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΠΗΛΑΙΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ

2.1 ΜΗ ΠΥΡΙΤΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ

Σε μεγάλη συχνότητα στο φυσικό περιβάλλον, καθώς και στους ζωντανούς οργανισμούς απαντάται το ανθρακικό ασβέστιο. Συνολικά υπάρχουν έξι διαφορετικές μορφές του, ενώ η άμορφη κι οι δύο ένυδρες (διένυδρη - εξαένυδρη) αποτελούν τις πιο σπάνιες μορφές, λόγω κυρίως της χημικής τους αστάθειας [9]. Οι υπόλοιπες τρεις μορφές ασβεστίτης, αραγωνίτης, βατερίτης είναι άνυδρες κρυσταλλικές και χαρακτηρίζονται από την συχνή τους εμφάνιση στην φύση καθώς και στους ζωντανούς οργανισμούς.

Κυριότερα ορυκτά του ασβεστίου είναι ο **ασβεστίτης**, $CaCO_3$ **[F01]**, **αραγωνίτης**, $CaCO_3$ **[F02]**, ο **γύψος**, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ **[F03]**, ο **φωσφορίτης**, $Ca_3(PO_4)_2$ **[F04]**, ο **φθορίτης**, CaF_2 **[F05]**, ο **δολομίτης**, $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ **[F06]** κ.α.

F01. Ασβεστίτης, $CaCO_3$ **F02.** Αραγωνίτης, $CaCO_3$ **F03.** Γύψος, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$

F04. Φωσφορίτης, $Ca_3(PO_4)_2$ **F05.** Φθορίτης, CaF_2 **F06.** Δολομίτης, $CaCO_3 \cdot MgCO_3$

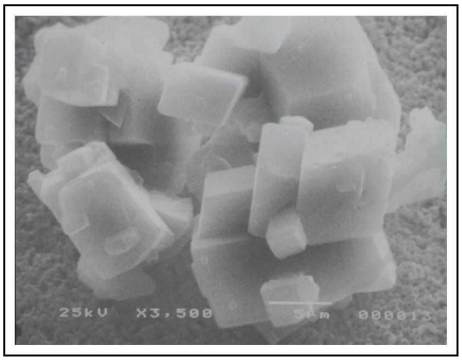
Η θερμοδυναμικά σταθερότερη φάση του άνυδρου κρυσταλλικού $CaCO_3$, ο ασβεστίτης αποτελεί περίπου το 7% του γήινου φλοιού είτε με την μορφή του μάργαρου, είτε με την μορφή ορυκτών ασβεστολιθικών πετρωμάτων και συναντάται στον πυθμένα λιμνών - θαλασσών λόγω διαλυτοποίησης ασβεστιτικών πετρωμάτων και ως αποτέλεσμα εξαιρετικά μακρόχρονων διεργασιών στα σπήλαια με την μορφή

σταλαγμιτών – σταλακτιτών[11]. Είναι άχρωμος, διαυγής και έχει ειδικό βάρος 27,2 KN/m^3, ενώ παρουσιάζει σκληρότητα 3 της κλίμακας Mohs και ελάχιστα διαλυτός σε κανονικές τιμές θερμοκρασίας, ενώ κρυσταλλώνεται στο ρομβοεδρικό σύστημα [12]. Επίσης περιέχεται σε σημαντική ποσότητα στις μάργες, στους ασβεστολιθικούς ψαμμίτες και τα ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή και λατυποπαγή, ενώ και οι σταλακτίτες, οι σταλαγμίτες και οι επιφλοιώσεις των σπηλαίων αποτελούνται από ασβεστίτη. Η παρουσία CO_2 στο νερό που κατεισδύει στις ασβεστολιθικές μάζες, διαλύει τον ασβεστίτη και δημιουργεί καρστικά κενά στην ασβεστολιθική μάζα. Με πύρωση στους περί 900°C ο ασβεστίτης διασπάται και δημιουργείται ασβέστης που με την επιπλέον παρουσία νερού δίνει το «σβησμένο ασβέστη» που είναι κατάλληλο υλικό για ασβεστοκονιάματα:

$$CaCO_3 \xrightarrow{900\,^{\circ}C} CO_2 + CaO$$

$$CaO + H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2$$

Προσβάλλεται από το H_2SO_4 και μετατρέπεται σε γύψο[12]. Τα χλωριούχα και θειικά άλατα του Mg, Na κ.α. που βρίσκονται στο θαλασσινό νερό αποσυνθέτουν τον ασβεστίτη και συνεπώς χρειάζεται προσοχή στην επιλογή δομικών λίθων των λιμενικών έργων έτσι ώστε να μην περιέχουν ασβεστίτη. Έχει διαπιστωθεί ότι σε τιμές θερμοκρασίας μικρότερες των 35°C το τελικό προϊόν είναι καθαρός ασβεστίτης [11]. Φωτογραφία από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης κρυστάλλων ασβεστίτη φαίνεται στην εικ.4.

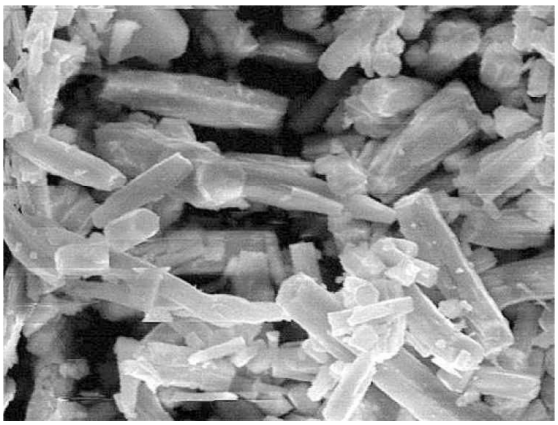


Εικ. 4: Φωτογραφία από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης κρυστάλλων ασβεστίτη.

Σε αρκετές περιπτώσεις έχει παρατηρηθεί το φαινόμενο μερικής ή ολικής υποκατάστασης των ιόντων ασβεστίου από άλλα ιόντα. Συχνά απαντώμενη υποκατάσταση είναι αυτή των ιόντων του μαγνησίου (Mg^{2+}) στον σκελετό

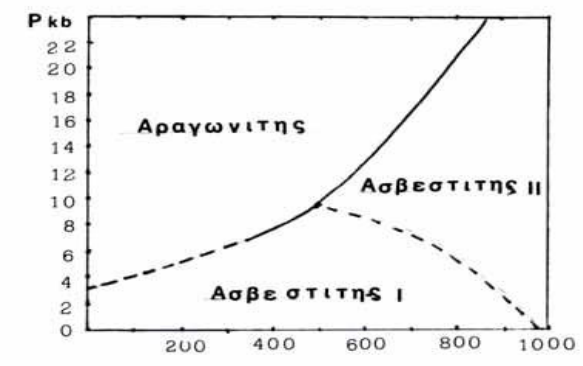
των ζωντανών θαλάσσιων οργανισμών, όπου και συνυπάρχει εκτός του ασβεστίτη ένα σημαντικό ποσοστό ανθρακικού μαγνησίου ($MgCO_3$). Πιο σπάνια εμφανιζόμενες υποκαταστάσεις τόσο σε συνθετικά παρασκευαζομένους ασβεστίτες όσο και σε φυσικά δείγματα, είναι αυτές με ιόντα βαρίου (Ba^{2+}), στροντίου (Sr^{2+}), σιδήρου (Fe^{2+}) και μαγγανίου (Mn^{2+}).

Ο αραγωνίτης αποτελεί την δεύτερη κατά σειρά, από άποψη θερμοδυναμικής σταθερότητας, κρυσταλλική μορφή του ανθρακικού ασβεστίου. Η ονομασία του προέρχεται από την Ισπανική επαρχία Aragon στην οποία για πρώτη φορά εντοπίστηκε ως ορυκτό ενώ από κρυσταλλογραφικής άποψης κατατάσσεται στο ορθορομβικό σύστημα[13]. Αναβράζει ζωηρά σε ψυχρό και αραιό HCl. Έχει σκληρότητα 3,5 - 4 στην κλίμακα Mohs και ειδικό βάρος 29 - 30 KN/m^3 [13]. Ο αραγωνίτης μπορεί να σχηματισθεί είτε με δράση ζωντανών οργανισμών (όστρακα που περιέχουν εν μέρει αραγωνίτη και εν μέρει ασβεστίτη) είτε με καθίζηση υδατικών διαλυμάτων $Ca(HCO_3)_2$ σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από 29° C. Πάνω από τη θερμοκρασία αυτή αποτίθεται περισσότερο αραγωνίτης και λιγότερο ασβεστίτης, ενώ κάτω από αυτή συμβαίνει το αντίθετο. Ο αραγωνίτης είναι ασταθές ορυκτό και μετατρέπεται βαθμιαία σε ασβεστίτη.



Εικ. 5: Φωτογραφία από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης κρυστάλλων αραγωνίτη.

Αξιοσημείωτο ενδιαφέρον, στις μεθόδους παρασκευής αραγωνίτη, εμφανίζει η παρουσία ιόντων μαγνησίου (Mg^{2+}) στο διάλυμα, η οποία ευνοεί τον σχηματισμό και την σταθεροποίηση του[12]. Φωτογραφία από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης κρυστάλλων αραγωνίτη φαίνεται στο εικ.5.

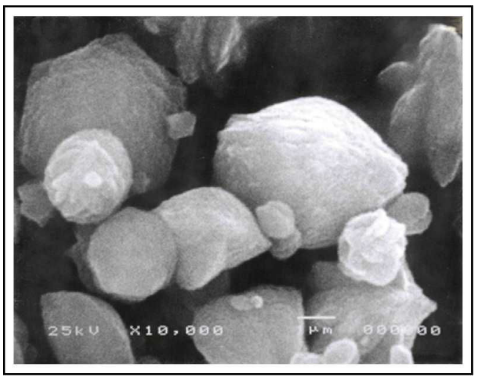


Διάγραμμα 1: Διάγραμμα συστήματος $CaCO_3$ (κατά Boettcher A.L., Wyllie P.J.,1968)[14]

Στο παραπάνω διάγραμμα συνθηκών ισορροπίας συστήματος ασβεστίτη-αραγωνίτη σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση (διάγραμμα 1) φαίνεται ότι στην ίδια θερμοκρασία ο ασβεστίτης είναι η σταθερά φάση χαμηλής πίεσης, ενώ ο αραγωνίτης είναι η σταθερά φάση υψηλής πίεσης. Η δομική διαφορά μεταξύ ασβεστίτη-αραγωνίτη έγκειται κυρίως στο ότι στον ασβεστίτη το ιόν ασβεστίου περικλείεται από οξυγόνα δύο ομάδων CO_3 (διάταξη 6), ενώ ο αραγωνίτης περικλείεται από οξυγόνα τριών ομάδων CO_3 (διάταξη 9). Η δομή των δύο φάσεων είναι πολύ διαφορετική και η μετάβαση προϋποθέτει την διάσπαση των εσωτερικών δεσμών μεταξύ των πολυέδρων, που είναι πολύ αργή και παίρνει μεγάλα ποσά ενέργειας. Γι'αυτό το λόγο η ασταθής μορφή του αραγωνίτη μπορεί να υπάρξει και σε χαμηλή θερμοκρασία και πίεση για μεγάλα χρονικά διαστήματα [14].

Όπως και στην περίπτωση του ασβεστίτη, έτσι και στον αραγωνίτη η υποκατάσταση των ιόντων ασβεστίου από ξένα ιόντα αποτελεί συχνό φαινόμενο. Σαν πιο συχνές υποκαταστάσεις αναφέρουμε αυτές των ιόντων μολύβδου (Pb^{2+}), στροντίου (Sr^{2+}), βαρίου (Ba^{2+}) και σε ελάχιστες περιπτώσεις ιόντων μαγγανίου (Mn^{2+}).

Ο βατερίτης ($CaCO_3$), αποτελεί την ασταθέστερη θερμοδυναμικά φάση του κρυσταλλικού ανθρακικού ασβεστίου. Η ονομασία του προέρχεται από τον H. Vater, ο οποίος τον παρασκεύασε για πρώτη φορά. Από κρυσταλλογραφικής άποψης κατατάσσεται στο εξαγωνικό σύστημα [15].



Εικ. 6: Φωτογραφία από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης κρυστάλλων βατερίτη.

Η θερμοδυναμική αστάθεια σε υδατικά υπέρκορα διαλύματα στα οποία σχηματίζεται ο βατερίτης ευνοεί την μετατροπή του στις υπόλοιπες, περισσότερες σταθερές φάσεις του $CaCO_3$ και αποτελεί μια εξήγηση της σπανιότητας εμφάνισης του στα φυσικά συστήματα καθώς και στους βιολογικούς οργανισμούς. Φωτογραφία από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης κρυστάλλων βατερίτη φαίνεται στην εικ.6. Η σχετικά ταχεία μετατροπή του βατερίτη στις σταθερότερες φάσεις, αποτελεί πρόβλημα στις μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί για την παρασκευή του. Υψηλές συγκεντρώσεις των ιόντων καθώς και υψηλές τιμές pH, σε χαμηλές θερμοκρασίες, ευνοούν τον σχηματισμό και την σταθεροποίηση βατερίτη.

Ο *δολομίτης* ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$) κρυσταλλώνεται στο τριγωνικό σύστημα και έχει σκληρότητα 3,5-4,5 στην κλίμακα Mohs και ειδικό βάρος 29 KN/m^3. Αναβράζει ασθενώς σε ψυχρό και ζωηρά σε θερμό αραιό διάλυμα HCl. Ο όρος δολομίτης δε χαρακτηρίζει μόνο το ορυκτό αλλά και το πέτρωμα που περιέχει 50 - 100% το ορυκτό αυτό και το υπόλοιπο αποτελείται από ασβεστίτη και άλλα συστατικά [12]. Πειραματικά έχει βρεθεί ότι ο δολομίτης παρουσιάζει τρεις φορές μικρότερη διαλυτότητα στο νερό από ότι ο ασβεστίτης με συνέπεια τα δολομιτικά πετρώματα να παρουσιάζουν ασθενέστερα φαινόμενα καρστικής διάβρωσης. Με πύρωση στους 600 °C ο δολομίτης διασπάται σε MgO, $CaCO_3$ και CO_2.

Ο *ανυδρίτης* ($CaSO_4$) κρυσταλλώνεται στο ρομβικό σύστημα και είναι άχρωμος και διαυγής. Έχει σκληρότητα 3 – 3,5 στην κλίμακα Mohs και ειδικό βάρος 28 - 30

KN/m^3. Μοιάζει με τον ασβεστίτη όμως δεν αναβράζει υπό την επίδραση αραιού HCl. Προσλαμβάνει εύκολα δύο μόρια νερού και μετατρέπεται σε γύψο με ταυτόχρονη απελευθέρωση θερμότητας και αύξηση του όγκου. Έτσι τα κοιτάσματα του ανυδρίτη παρουσιάζουν ένα λεπτό φλοιό από γύψο. Η μετατροπή αυτή απαιτεί χρόνο και σε συνθήκες πίεσης μεγαλύτερης από την ατμοσφαιρική πραγματοποιείται με δυσκολία. Όταν όμως ο ανυδρίτης βρίσκεται σε λεπτά στρώματα, τότε η μετατροπή γίνεται εύκολα και γρήγορα μέχρι και τα 100 – 150m βάθος. Σε μεγαλύτερα βάθη και λόγω των υπερκειμένων η μετατροπή γίνεται πολύ πιο δύσκολα γιατί δεν είναι εύκολη η αύξηση του όγκου. Η αύξηση του όγκου μπορεί να φθάσει και μέχρι το 40% με συνέπεια να παρατηρούνται παραμορφώσεις στον περιβάλλοντα χώρο. Έτσι όταν μια κατασκευή θεμελιώνεται πάνω σε ανυδρίτη μπορεί να παρουσιάσει αρνητικές καθιζήσεις, ή μια σήραγγα να υποστεί πολύ μεγάλες συγκλίσεις και για το λόγο αυτό απαιτούνται πολύ βαριά μέτρα υποστήριξης [10].

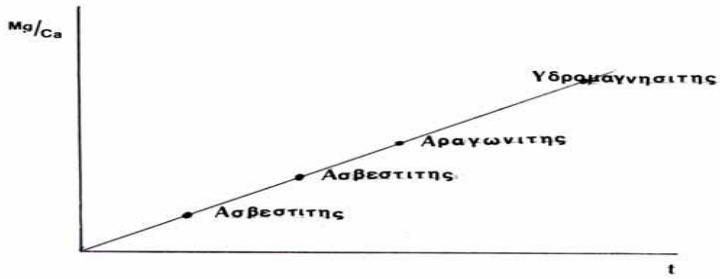
Η *γύψος* ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) *είναι* άχρωμη. Έχει σκληρότητα 2 στην κλίμακα Mohs και χαράσσεται εύκολα με το νύχι. Το ειδικό της βάρος είναι περίπου 23 KN/m^3. Είναι μαλακό ορυκτό με πολύ πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά, ενώ είναι ευδιάλυτο από το νερό. Έτσι αν συνυπάρχει σε πετρώματα και διαλυθεί από το νερό δημιουργεί κενά. Χρησιμοποιείται κυρίως στην κατασκευή γυψοκονιαμάτων.

2.2 ΠΟΛΥΜΟΡΦΙΣΜΟΣ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΥ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ

Σε μια πολύμορφη ουσία, οι επιμέρους φάσεις παρουσιάζουν μια διαφορετική κατανομή των ατόμων στο πλέγμα κι έχουν διαφορετική ενέργεια και σταθερότητα. Τα ξένα ιόντα, στην υπάρχουσα ισορροπία φαίνεται να συντελούν στην δημιουργία του πολυμορφισμού κατά την κρυστάλλωση του ανθρακικού ασβεστίου. Τα ιόντα που κυριαρχούν στην δημιουργία του ασβεστίτη ή του αραγωνίτη είναι το μαγνήσιο, ο σίδηρος και το στρόντιο[16].

Το μαγνήσιο βρίσκεται συνήθως στους δολομιτικούς λιθότυπους και παίζει πρωταρχικό ρόλο στην κρυστάλλωση. Η πυκνότητά του καθορίζεται από το πηλίκο του κλάσματος Mg/Ca, όσο μεγαλύτερο είναι το πηλίκο, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα δημιουργίας αραγωνίτη (διάγραμμα 2). Σε μερικές ακραίες περιπτώσεις

με πηλίκο πολύ μεγαλύτερο, δημιουργείται υδρομαγνησίτης [$Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$].

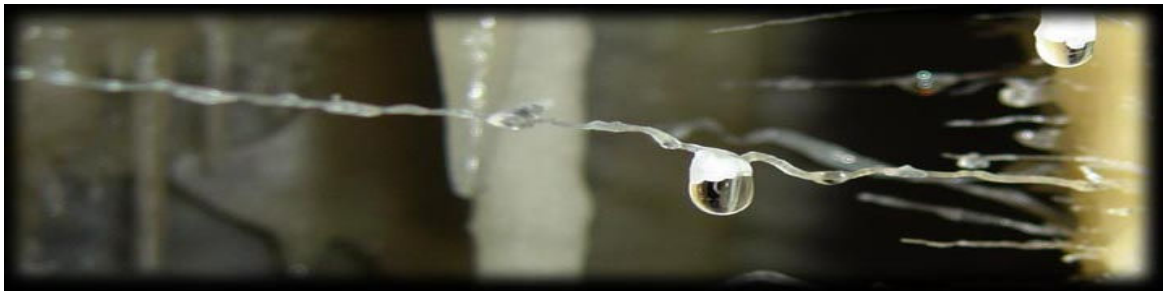


Διάγραμμα 2: Σχέση δημιουργίας ασβεστίτη-αραγωνίτη με το πηλίκο του κλάσματος Mg/Ca (P. Cabrol, 1978)[16]

Συχνά διαπιστώνεται παρουσία σιδήρου στο κρυσταλλικό πλέγμα του ασβεστίτη και του αραγωνίτη. Η παρουσία του Fe ευνοεί την δημιουργία του αραγωνίτη, αν και το κρυσταλλικό πλέγμα του $FeCO_3$ είναι ίδιο με αυτό του ασβεστίτη.

Ο ρόλος του στροντίου είναι αμφιλεγόμενος. Οι περισσότεροι μελετητές πιστεύουν ότι η παρουσία ορισμένου ποσοστού στροντίου ευνοεί την δημιουργία του αραγωνίτη. Άλλοι όμως πιστεύουν ότι η παρουσία του στοιχείου αυτού δεν είναι η αιτία της δημιουργίας του αραγωνίτη, αλλά ότι ο αραγωνίτης έλκει το ιόν στροντίου. Φαίνεται ότι σημαντικό ρόλο στην δημιουργία του τύπου κρυστάλλωσης του $CaCO_3$ παίζουν κι άλλα στοιχεία όπως το μαγγάνιο, ο χαλκός και ο ψευδάργυρος[15].

2.3 ΣΠΗΛΑΙΟΓΕΝΕΣΗ



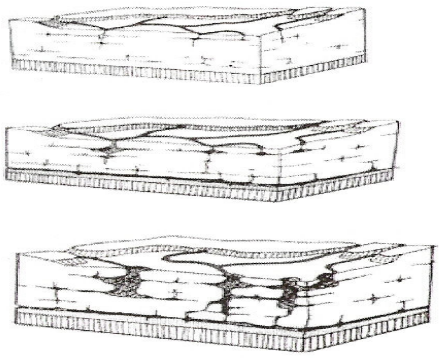
Εικ. 7 Τμήμα Σπηλαίου Βλυχάδας Διρού 2004 – Γ. Τριανταφύλλου

Τα σπήλαια φιλοξενούνται στα πετρώματα του ανώτερου στερεού φλοιού της Γης (8-80Km) και ο σχηματισμός τους είναι αποτέλεσμα κυρίως της διάλυσης

ασβεστολιθικών πετρωμάτων εξαιτίας της χημικής δράσης του μετεωρικού νερού. Με τον όρο σπήλαιο χαρακτηρίζεται κάθε έγκοιλο της γης που χωράει έναν άνθρωπο και δημιουργείται από τη διάβρωση του νερού στο πέτρωμα με μηχανικό (λόγω της τριβής) ή με χημικό τρόπο (τα χημικά στοιχεία που περιέχονται στο νερό λειτουργούν ως οξέα για την πέτρα). Όταν το σπήλαιο έχει κατακόρυφη μορφή λέγεται βάραθρο, όταν δέχεται μέσα του χειμάρρους ή ποτάμια λέγεται καταβόθρα, όταν έχει μεγάλο ύψος, μεγάλο πλάτος και μικρό βάθος λέγεται στέγαστρο (π.χ. αυτά που χρησιμοποιούνται σαν μαντριά)[8].

Ο συνηθέστερος τρόπος δημιουργίας σπηλαίων είναι η διαλυτική δράση των υπόγειων νερών πάνω σε μεγάλου πάχους ασβεστόλιθους που ονομάζεται καρστική διάβρωση. Οι καρστικές μορφές είναι χαρακτηριστικές μορφές οι οποίες σχηματίζονται σε ανθρακικά κυρίως πετρώματα (ασβεστόλιθοι και δολομίτες). Δολίνες, γλυφές, συμπλέγματα σπηλαίων αποτελούν στοιχεία του καρστ [17].
Τα ασβεστούχα πετρώματα είναι ελάχιστα διαλυτά στο καθαρό νερό, όμως το υπόγειο νερό περιέχει οργανικά οξέα ή κυρίως διοξείδιο του άνθρακα που το κάνουν να δρα ως οξύ και να διαλύει εύκολα τα πετρώματα αυτά. Η δράση του νερού είναι κυρίως μηχανική και χημική (διάλυση, υδρόλυση, ενυδάτωση-αφυδάτωση, οξείδωση και αναγωγή) [18]. Η καρστική διάβρωση των ασβεστόλιθων οφείλεται στην διαλυτική δράση που έχει το νερό όταν περιέχει CO_2, αλλά και με H_2S:

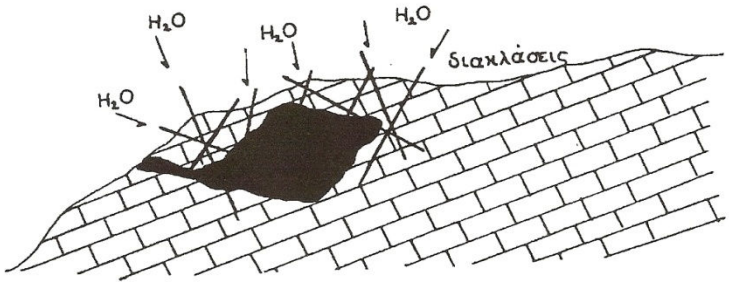
$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightleftharpoons Ca(HCO_3)_2$$



Εικ. 8 Αναπαράσταση των σταδίων δημιουργίας ρωγμών από την επίδραση του νερού στον ασβεστόλιθο.

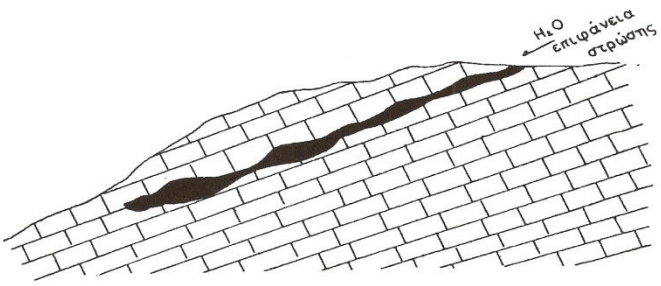
Η διαλυτική αυτή δράση του νερού (εικ. 8) δρα κυρίως κατά μήκος των ρηγμάτων του πετρώματος, τόσο κατακόρυφα, καθώς κατεβαίνει λόγω της βαρύτητας, όσο και

οριζόντια (υπόγεια ποτάμια). Για το λόγο αυτό οι διάδρομοι των σπηλαίων ανήκουν σε δύο τύπους, ο ένας ακολουθεί τα κατακόρυφα ρήγματα και ο άλλος τα οριζόντια στρώματα [19]. Στη πρώτη περίπτωση οι διάδρομοι είναι στενοί και μεγάλου ύψους (εικ.9) και στη δεύτερη μεγάλου μήκους και σχετικά μικρού ύψους (εικ.10).



Εικ. 9 Σχηματισμός σπηλαίων μεγάλου ύψους.

Τα περισσότερα εκτεταμένα σπήλαια εμφανίζονται σε περιοχές με παχείς και σχετικά καθαρούς ασβεστόλιθους. Οι συμπαγείς και ογκώδεις ασβεστόλιθοι είναι αδιαπέρατα από το νερό πετρώματα, που όμως παρουσιάζουν τη μέγιστη συγκέντρωση σπηλαίων. Η περαιτέρω ανάπτυξη των σπηλαίων διευκολύνεται από τις διακλάσεις και τα επίπεδα στρώσεως. Με την βοήθεια των διόδων αυτών το νερό εισέρχεται μέσα στο πέτρωμα και η διαλυτική του ενέργεια συγκεντρώνεται σε ορισμένες θέσεις, με αποτέλεσμα την δημιουργία μεγάλων κοιλοτήτων στα σπήλαια. Σε αντίθεση με τα παραπάνω, οι πορώδεις ασβεστόλιθοι που επιτρέπουν στο νερό να διέρχεται ελεύθερα στο εσωτερικό τους, δεν σχηματίζουν σπήλαια[19].



Εικ. 10 Σχηματισμός σπηλαίων μεγάλου μήκους.

Και στις δύο περιπτώσεις όμως με το πέρασμα του χρόνου οι μορφές των σχηματισμών αυτών μεταβάλλονται. Όταν ολοκληρώνεται η διάνοιξη των σπηλαίων

και σταματά το μεγάλωμά τους, αρχίζουν οι δευτερογενείς αποθέσεις ανθρακικού ασβεστίου που είναι ο τραβερτίνης (ασβεστολιθικό πέτρωμα που περιέχει κυρίως $CaCO_3$, $MgCO_3$ και έχει αρκετές προσμίξεις) και οι χαρακτηριστικοί σταλακτίτες και σταλαγμίτες (πέτρινα στολίδια). Τα χρώματα αυτών των σχηματισμών είναι συνήθως το καθαρό άσπρο, διάφορες αποχρώσεις του κόκκινου, του μοβ ή του πράσινου. Το υλικό που σχηματίζει τους σταλακτίτες και σταλαγμίτες προέρχεται από το υλικό της οροφής και μεταφέρεται με το μετεωρικό νερό.

Η απόθεση του ανθρακικού ασβεστίου ($CaCO_3$) γίνεται με την εξάτμιση του νερού και κυρίως με την αποβολή διοξειδίου του άνθρακα (CO_2). Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι κατά το χειμώνα το νερό που διαπερνά τα στρώματα της οροφής είναι ψυχρό και γι' αυτό διαλύει περισσότερο $CaCO_3$ (περιέχει μάλιστα και αυξημένη ποσότητα CO_2)[18]. Όσο όμως κατεβαίνει προς τα κάτω γίνεται θερμότερο, κυρίως λόγω της θερμότητας της Γης και χάνει μέρος του CO_2, με συνέπεια να αποβάλλεται καθαρό $CaCO_3$ τόσο σε ρωγμές από την οροφή, όσο και αντίστροφα στο δάπεδο όπου πέφτουν σταγόνες τέτοιου νερού:

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \underset{\text{σε υψηλή T}}{\overset{\text{σε χαμηλή T}}{\rightleftharpoons}} Ca(HCO_3)_2$$

Πολλές φορές σταλακτίτες και σταλαγμίτες σχηματίζουν μεγάλους όγκους που φράσσουν τους διαδρόμους και τις εισόδους των σπηλαίων. Σειρές από κολώνες που σχηματίζονται με αυτό το τρόπο δημιουργούν τοιχώματα που χωρίζουν τα σπήλαια σε θαλάμους.

Με το ίδιο υλικό σκεπάζονται και τα τοιχώματα των θαλάμων, με αποτέλεσμα να μη φαίνεται το αρχικό πέτρωμα στα περισσότερα σπήλαια. Εκτός από αυτόν τον «κλασσικό» τρόπο δημιουργίας σπηλαίων υπάρχουν περιπτώσεις δημιουργίας μεγάλων κοιλοτήτων σε παράκτια πετρώματα με την ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας ή μέσα σε λάβες. Ο σχηματισμός των τελευταίων γίνεται όταν μερικές φορές τα επιφανειακά στρώματα της λάβας ψύχονται πιο γρήγορα απ' ότι τα εσωτερικά. Έτσι είναι δυνατό η εσωτερική λάβα να συνεχίσει να κινείται και εφόσον απομακρύνεται, δημιουργεί κοιλότητες. Ακόμη σπήλαια μπορεί να δημιουργηθούν από τεκτονικά αίτια, λόγω μετακίνησης μεγάλων τμημάτων πετρωμάτων.

2.3.1 ΘΕΩΡΙΕΣ ΣΠΗΛΑΙΟΓΕΝΕΣΗΣ

Οι σημαντικότερες θεωρίες ανάπτυξης των σπηλαίων είναι:

– **Θεωρία ζώνης κατείσδυσης**: τα σπήλαια σχηματίζονται στη ζώνη αερισμού κατά την καθοδική πορεία του νερού. Οι Dwerryhouse (1907), Greene (1908), Matson (1909) και Malott (1937) ισχυρίστηκαν ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της σπηλαιογένεσης γίνεται πάνω από το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα, όπου οι ταχύτητες του νερού είναι σαφώς πιο μεγάλες. Υπόγειοι ποταμοί, χαρακτηριζόμενοι από υψηλές ταχύτητες ροής, προκαλούν ισχυρή μηχανική διάβρωση στα πετρώματα και ταυτόχρονη διάλυση του ανθρακικού πετρώματος ώστε να δημιουργούνται οι μεγάλες σπηλαιώδεις μορφές. Ο Martel (1921) σημείωσε ότι η ροή μέσα στα σπήλαια και τους αγωγούς είναι τόσο μεγάλη έτσι ώστε το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα, ως κορεσμένης επιφάνειας, να μη παίζει τόσο σημαντικό ρόλο στο σχηματισμό των καρστικών σπηλαίων[20].

Σήμερα όμως γνωρίζουμε ότι μικρό ποσοστό σπηλαίων δημιουργείται στη ζώνη κατείσδυσης. Σπήλαια σε αυτή τη ζώνη δημιουργούνται, ιδιαίτερα, σε περιοχές έντονης ανύψωσης και η δημιουργία τους σχετίζεται κυρίως με τη διείσδυση σε αυτά ποταμών.

– **Βαθεία Φρεατική Ζώνη** όπου τα καρστικά σπήλαια μπορούν να σχηματιστούν κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Ο W. Davis (1930) υποστήριξαν ότι η έναρξη της δημιουργίας και η αύξηση του μεγέθους των σπηλαιωμάτων, γίνεται σε τυχαίο βάθος κάτω από την επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα, κυρίως στη βαθειά φρεατική ζώνη [21]. Η αύξηση του μεγέθους τους οφείλεται στη διάβρωση του αργά κινούμενου νερού της φρεατικής ζώνης. Ακολουθεί ένας δεύτερος κύκλος σπηλαιογένεσης όταν ταπεινώνεται ο υδροφόρος ορίζοντας και επιτρέπεται στο νερό της κατείσδυσης και στον αέρα να εισέλθει στα σπηλαιώματα. Σε αυτόν το δεύτερο κύκλο είναι δυνατό ποταμοί επιφανειακοί να εισέλθουν στα σπήλαια και να αλλάξουν τη μορφολογία του σπηλαίου με διάβρωση και απόθεση.

Το μοντέλο αυτό της σπηλαιογένεσης στηριζόταν κυρίως σε εμπειρικές παρατηρήσεις σπηλαιολόγων, μιας και πλήθος σπηλαίων εμφάνιζαν μορφές δημιουργημένες στη βαθειά φρεατική ζώνη. Συνολικά κατά τον Davis η εξέλιξη της καρστικής διάβρωσης μπορεί να περιγραφεί σαν ένας κύκλος που περιλαμβάνει τρία στάδια. Τα στάδια νεότητας, ωριμότητας και γήρατος.

Το στάδιο νεότητας αρχίζει με την εμφάνιση των πρώτων τοπογραφικών καρστικών χαρακτηριστικών. Αν τα ευδιάλυτα πετρώματα καλύπτονται από αδιάλυτα, το στάδιο νεότητας μπορεί να αρχίσει πριν απομακρυνθεί τελείως το αδιάλυτο κάλυμμα. Το στάδιο νεότητας περιλαμβάνει την εμφάνιση καρστικών φαινομένων στα πετρώματα, όπως αμαξοτροχιών, καταβόθρων (υπόγειος φυσικός οχετός ή βάραθρο, από το οποίο εξαφανίζονται τα νερά των ποταμών ή των λιμνών από την επιφάνεια της ξηράς και μεταφέρονται είτε στη θάλασσα είτε παρουσιάζονται σε άλλο σημείο της ξηράς), δολινών (είναι βαθιές λακκούβες ή τρύπες, που σχηματίζονται, κατά κανόνα, από την υπονόμευση του εδάφους σε κάποια σημεία). Οι δολίνες αυξάνουν σε μέγεθος και αριθμό, κάθε μια χωριστά και κάθε επιφανειακό ρεύμα αποκτά υπόγειο ροή. Το στάδιο αυτό τελειώνει όταν οι κλιτύες των δολινών γίνουν ομαλές πλευρές κοιλάδας και οι κοιλάδες μετατραπούν σε κοιλάδες καταβύθισης.

Το στάδιο ωριμότητας περιλαμβάνει τη δημιουργία ουβαλών, δηλαδή τη συνένωση των δολινών. Η μορφολογία της πόλγης παραμένει σχεδόν αμετάβλητη από την έλλειψη επιφανειακής απορροής. Η διάβρωση έχει φθάσει στο υποκείμενο αδιάλυτο υποκείμενο πέτρωμα, ενώ παραμένουν υπολειμματικοί σχηματισμοί του καρστικοποιημένου πετρώματος.

Το στάδιο γήρατος περιλαμβάνει τη σμίκρυνση των ράχεων μεταξύ των ουβαλών. Η διάβρωση έχει φθάσει στο βασικό επίπεδο, που είναι η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα ή το υποκείμενο αδιάλυτο πέτρωμα. Στο τέλος του σταδίου αυτού αρχίζει η επιφανειακή ροή των ρευμάτων[21]. Η επιφάνεια στην περιοχή είναι σχεδόν επίπεδη και υψώνονται μερικοί υπολειμματικοί σχηματισμοί που ονομάζονται hums. Παράδειγμα hums στην Αττική αποτελεί η Ακρόπολη και ο Λυκαβηττός[18].

– **<u>Θεωρία επιφάνειας υδροφόρου ορίζοντα-Ρηχή Φρεατική Ζώνη</u>**: η μέγιστη διάλυση γίνεται στο επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα (A.C. Swinnerton, 1932)[22]. Αμφότερες οι προηγούμενες θεωρίες δεν έλαβαν υπόψη τους τη σημασία του εμπλουτισμένου σε διάφορες ενώσεις νερού. Οι Swinnerton (1932) και Rhoades υποστήριξαν την ιδέα ότι το ταχέως κινούμενο ύδωρ στην επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία των περισσότερων καρστικών σπηλαίων[23]. Η διακύμανση του υδροφόρου ορίζοντα κυμαίνεται ανάλογα με τον όγκο του υπογείου νερού και η κύρια σπηλαιογένεση γίνεται σε αυτή τη ζώνη με

μικρότερες ζώνες πάνω και κάτω από την επιφάνεια του υδροφόρου. Ωστόσο η επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα θα πρέπει να μένει σχετικά στο ίδιο επίπεδο για αρκετό χρονικό διάστημα. Στη ζώνη κατείσδυσης η σπηλαιογένεση είναι μικρότερου βαθμού και απλά τροφοδοτεί με νερό τη φρεατική.

Παρόλο που οι περισσότεροι σπηλαιοεξερευνητές θα δέχονταν και τις τρεις θεωρίες ως εφαρμόσιμες σε διάφορα σπήλαια, καμία θεωρία δεν είναι δυνατό να είναι εφαρμόσιμη σε όλα τα σπήλαια. Αφού οι γεωλογικές παράμετροι δεν μπορεί να είναι απολύτως ίδιες σε δύο διαφορετικές περιοχές, τότε δεν είναι δυνατό να υπάρξει μια γενική θεωρία σπηλαιογένεσης. Παρά το γεγονός ότι πολλοί παράγοντες μπορεί να ομοιάζουν σε πολλές περιοχές ή και να είναι ακριβώς ίδιοι, η σπηλαιογενετική ιστορία θα εξαρτηθεί από το πόσο επηρεάζει ο καθένας τους τη σπηλαιογένεση.

Ωστόσο, κάποια γενικευμένα μοντέλα για περιοχές με ίδιες γεωλογικές παραμέτρους είναι δυνατό να δημιουργηθούν.

Ο Ford (2003) προτείνει ένα πολυφασικό μοντέλο σπηλαιογένεσης είναι δυνατό να εφαρμοστεί για υδροφόρους ορίζοντες σε ασβεστόλιθους, δολομίτες, γύψο και ανυδρίτη όπου η διαπερατότητα και το πορώδες είναι κυρίαρχα πριν από τη δημιουργία ευμεγεθών καρστικών αγωγών[24]. Όταν οι ασυνέχειες του πετρώματος είναι μεγάλες αλλά αραιές, τότε τα υπόγεια συστήματα υποχρεώνονται να ακολουθήσουν βαθιές διαδρομές κάτω από το επίπεδο των καρστικών πηγών. Όταν η συχνότητα των ασυνεχειών αυξάνεται, το εύρος των αγωγών μειώνεται. Η στρώση του πετρώματος, οι διακλάσεις και τα ρήγματα είναι αυτά που ορίζουν γενικά τις ασυνέχειες και παίζουν σημαντικό ρόλο στη σπηλαιογένεση. Με αύξηση του πορώδους το επίπεδο της φρεατικής σπηλαιογένεσης συμπίπτει σε πολλούς αγωγούς με το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα. Στην ιδεατή περίπτωση η σπηλαιογένεση συμπίπτει πλήρως με τον υδροφόρο ορίζοντα εξαιτίας του υπερβολικά μεγάλου αριθμού ασυνεχειών. Κατά τη φάση της καρστικής διεύρυνσης πλήθος αγωγών θα δημιουργηθούν, θα ενωθούν μεταξύ τους και θα δημιουργήσουν ένα σύμπλεγμα, η διαμόρφωση του οποίου θα εξαρτηθεί από το υδρολογικό και γεωλογικό καθεστώς της περιοχής του καρστ[24].

2.3.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΣΠΗΛΑΙΟΓΕΝΕΣΗΣ

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη σπηλαιογένεση σε μια καρστική περιοχή είναι οι *υδρογεωλογικές συνθήκες* που επικρατούν, η *λιθολογία* του πετρώματος και η *τεκτονική διαμόρφωση*. Τελευταία ερευνάται η συμβολή της συμπύκνωσης στη γένεση των σπηλαίων, δηλαδή του ποσοστού των υδρατμών του αέρα που συμπυκνώνεται μέσα στο σπήλαιο οδηγώντας σε διάλυση και απόθεση του $CaCO_3$.

1) Υδρογεωλογικές Συνθήκες. Το ποσό των κατακρημνισμάτων που κατεισδύουν στο υπόγειο καρστικό σύστημα ελέγχεται από τις υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Τόσο η κατανομή του καρστικού υδροφόρου όσο και η γειτνίασή του με άλλους υδροφόρους αποτελεί σημαντικό παράγοντα της εξέλιξης και επέκτασης του υπογείου καρστ. Ο ρόλος του επικάρστ είναι βασικός στη γένεση σπηλαίων στη ζώνη κατείσδυσης αλλά και στη τροφοδοσία των φρεατικών αγωγών. Ο τρόπος που θα κινηθεί το υπόγειο νερό ελέγχεται από την υδρογεωλογία του ευρύτερου καρστ, αλλά και από τη λιθολογία και την τεκτονική δομή της περιοχής.

2) Λιθολογία. Η σύσταση του μητρικού πετρώματος αποτελεί βασικό παράγοντα στη σπηλαιογένεση. Η διάλυση είναι πιο έντονη στους ασβεστόλιθους με υψηλά ποσοστά σε $CaCO_3$ σε σύγκριση με άλλα ανθρακικά πετρώματα. Ο δολομίτης ($CaMg(CO_3)_2$) είναι λιγότερο διαλυτός από τον ασβεστίτη. Έτσι, η παρουσία του είναι δυνατό να περιορίσει τη σπηλαιογένεση ή ακόμα και να τη σταματήσει (Klimchouk & Ford 2000)[25]. Επίσης η παρουσία ορυκτών της αργίλου στον ασβεστόλιθο σε ποσοστά πάνω από 20 με 30% διαμορφώνουν μικρές υπόγειες καρστικές μορφές. Γενικά η απουσία αργίλου ή κλαστικών υλικών στον ασβεστόλιθο και η συνεχής στρωμάτωση του από 10 έως 100m σχετίζεται με τη δημιουργία μεγάλων σπηλαίων. Ο βαθμός κρυσταλλικότητας του πετρώματος είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει τη σπηλαιογένεση. Έχει παρατηρηθεί ότι ο κρυσταλλικός ασβεστίτης σε μάρμαρα διαλύεται πιο δύσκολα απ΄ ότι ο ασβεστόλιθος[25].

3) Τεκτονικές Συνθήκες. Εκτός από τη λιθολογία, η σπηλαιογένεση επηρεάζεται από το ολικό πορώδες του πετρώματος, έναν παράγοντα που καθορίζει το βαθμό και την ένταση των κενών στη μάζα του πετρώματος. Για τα ρωγμώδη πετρώματα, όπως είναι τα ανθρακικά, το πορώδες ρυθμίζεται από την πυκνότητα των ρωγμών, το άνοιγμά τους καθώς και από την πυκνότητα και το μέγεθος εγκοίλων στη μάζα τους [26]. Το

πορώδες και ειδικά το ενεργό πορώδες παίζει σημαντικό ρόλο στην κίνηση του υπογείου νερού.

2.4 ΤΥΠΟΙ ΣΠΗΛΑΙΩΝ

Τα σπήλαια ανάλογα με τον τρόπο που δημιουργήθηκαν διακρίνονται σε σπήλαια που σχηματίσθηκαν μαζί με τα πετρώματα, που τα περιέχουν (ηφαιστειογενή) και σε άλλα, που αναπτύχθηκαν αργότερα με την επίδραση διαφόρων ξένων παραγόντων (αιολικά, τεκτονικά, καρστικά).

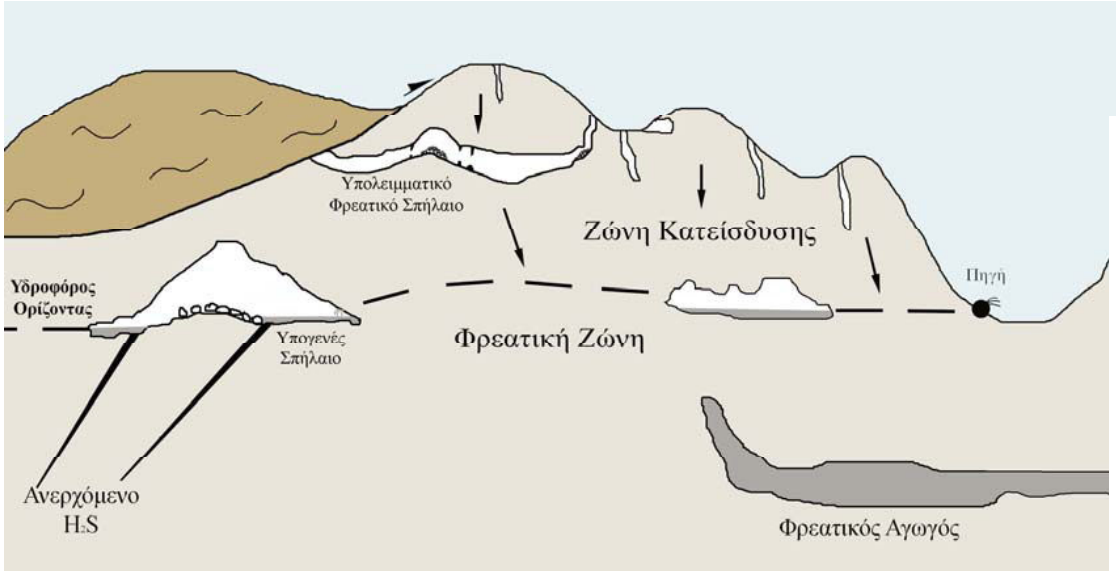
Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα ηφαιστειογενή, τα σπήλαια που υπάρχουν μέσα σε κοραλλιογενείς σχηματισμούς και τα κοιλώματα των τόφων (λιθωμάτων που σχηματίσθηκαν από την καταβύθιση ανθρακικού ασβεστίου που περιέχουν τα νερά των κεφαλαριών, δηλαδή των εκβολών των υπόγειων ποταμών). Τέτοια χαρακτηριστικά Ελληνικά σπήλαια υπάρχουν στα κεφαλάρια των Πενταγιών Δωρίδος κτλ.

Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα αιολικά, τα τεκτονικά και τα καρστικά σπήλαια. Τα Αιολικά σχηματίζονται από την ενέργεια των ανέμων. Τα Τεκτονικά οφείλονται σε ορεογενετικές κινήσεις. Τα Καρστικά σπήλαια διανοίγονται από την διαβρωτική ενέργεια των νερών. Αυτά διαιρούνται σε τρεις τύπους: οριζόντια, κατακόρυφα και λιμναία.

Μια δεύτερη διάκριση των σπηλαίων τα κατατάσσει σε ηπειρωτικά, ενάλια και αγχιάλια. Τα ηπειρωτικά βρίσκονται σε βουνά μικρού ή μεγάλου υψομέτρου. Τα ενάλια είναι σπήλαια που μπορεί να βρίσκονται μερικώς ή εξ ολοκλήρου μέσα στη θάλασσα και δημιουργήθηκαν όταν η θαλάσσια στάθμη ήταν χαμηλότερη από τη σημερινή, οπότε αφορούσαν και αυτά ηπειρωτικά σπήλαια. Τέλος τα αγχιάλια είναι αυτά που βρίσκονται σε ακτές, αλλά σε υψόμετρο λίγο μεγαλύτερο από την επιφάνεια της θάλασσας[26].

Μια σημαντική κατηγορία σπηλαίων είναι τα υπογενή σπήλαια, στα οποία η παρουσία H_2S ισχυροποιεί τη διαλυτική δράση ανερχομένων διαλυμάτων, που είναι υπεύθυνα για τη δημιουργία μιας σειράς καρστικών σπηλαίων. Υπογενή ονομάζονται τα σπήλαια που δημιουργούνται από τη δράση διαλυμάτων των οποίων η διαβρωτική δράση αποκτήθηκε στο βάθος του ανθρακικού πετρώματος

(Palmer in Klimchouk et al 2000)[27]. Στα διαλύματα που προέρχονται από το εσωτερικό του πετρώματος και όχι από την κατείσδυση όμβρου περιέχεται σε αέρια φάση H_2S και CO_2. Το H_2S προκαλεί απανωτές φυσικοχημικές διαδικασίες διάβρωσης του πετρώματος και απόθεσης του διαβρωμένου υλικού, σε αντίθεση με το CO_2 που διαβρώνει μόνο σε μικρή κλίμακα. Συνήθως δεν έχουν σχέση με τη διάλυση που πραγματοποιεί το εμπλουτισμένο σε CO_2 νερό στη ζώνη κατείσδυσης αλλά κυρίως στη φρεατική ζώνη. Τις περισσότερες φορές η δημιουργία των υπογενών σπηλαίων εντοπίζεται στην επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα όπου το νερό της κατείσδυσης αναμιγνύεται με το πλούσιο σε H_2S διάλυμα (εικ.11). Η παρουσία αυτού του είδους των σπηλαίων είναι συχνή σε περιοχές με ενεργές ορογενετικές διαδικασίες[26].

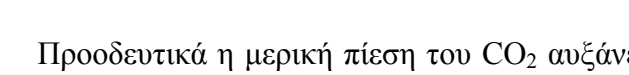


Εικ. 11 Ιδεατή κατάσταση ανθρακικού πετρώματος στη μάζα του οποίου παρατηρούνται υπογενή, φρεατικά καθώς και σπήλαια δημιουργημένα στη ζώνη κατείσδυσης.

Η πηγή του S^{2-} μπορεί να είναι ένα κοίτασμα σουλφιδίων, υδρογονανθράκων ή πιο συχνά η παρουσία γύψου στο μητρικό πέτρωμα. Από το H_2S παράγεται με οξείδωση H_2SO_4:

$$H_2S + 2O_2 \rightarrow H_2SO_4$$

Στη συνέχεια το θειικό οξύ διαβρώνει το μητρικό ανθρακικό πέτρωμα:



$$CaCO_3 + H_2SO_4 \rightleftharpoons CaSO_4 + CO_2 + H_2O$$

Προοδευτικά η μερική πίεση του CO_2 αυξάνεται ενώ σε αργές ροές καθιζάνει γύψος:

$$CaSO_4 + 2H_2O \rightleftharpoons CaSO_4 \cdot 2H_2O$$

Εξαιτίας της αντίδρασης των οξέων, το pH συνήθως παραμένει ουδέτερο (pH=6-7).

Κύριο χαρακτηριστικό των υπογενών σπηλαίων είναι η λαβυρινθώδης δομή τους, η οποία συνοδεύεται από έναν κύριο αγωγό. Στον τελευταίο πραγματοποιείται η κυρίως διάλυση λόγω H_2S. Ταυτόχρονα πραγματοποιείται διάλυση από τους υδρατμούς, που συγκρατούν CO_2 του αέρα και διαβρώνουν τα τοιχώματα του σπηλαίου. Η πιο χαρακτηριστική μορφή διάλυσης είναι οι θόλοι που δημιουργούνται στις οροφές των υπογενών σπηλαίων. Επιπλέον, το $CaCO_3$ της διάλυσης των τοιχωμάτων μεταφέρεται προς τα κάτω με το τριχοειδές νερό και δημιουργεί σπηλαιοθέματα, κυρίως κοραλλοειδή.
Η παραγωγή H_2S από θειικές ενώσεις είναι δυνατή σε θερμοκρασίες άνω των 85°C. Επειδή στις περισσότερες περιπτώσεις υπογενών σπηλαίων απουσιάζουν τα υδροθερμικά διαλύματα, η αντίδραση συντελείται με τη βοήθεια βακτηριδίων (Desulfovibrio, Thiothrix)[26].

2.5 ΚΑΡΣΤΙΚΑ ΣΠΗΛΑΙΑ & ΧΗΜΕΙΑ

Οι διαλυσιγενείς σχηματισμοί γεωλογικών σχηματισμών – κυρίως ανθρακικών αλλά και εβαποριτών ονομάζεται κάρστ. Ο όρος ΚΑΡΣΤ προέρχεται από τη σλαβική λέξη “Krs”, η οποία είναι το γεωγραφικό όνομα ασβεστολιθικής περιοχής της Σλοβενίας και σημαίνει βραχώδη περιοχή ή πέτρωμα. Κατά άλλους ο όρος ΚΑΡΣΤ προέρχεται από την γερμανική λέξη “Karr” ή την ιταλική “Carso”, η οποία χρησιμοποιήθηκε κατ’ αρχήν, για να χαρακτηρίσει την γυμνή ή φτωχή σε βλάστηση περιοχή των λευκών ασβεστόλιθων, ΒΑ της Τεργέστης (A. Grund, A. Penck και J. Cvijic)[28]. Τα περισσότερα σπήλαια που έχουν ανακαλυφθεί εντοπίζονται σε

πετρώματα όπως ο ασβεστόλιθος, το μάρμαρο, ο δολομίτης και γενικά στα λεγόμενα ανθρακικά πετρώματα.

Το ΚΑΡΣΤ αναφέρεται σε οποιοδήποτε τοπίο έχει σχηματισθεί όχι μόνο από την μηχανική δράση του νερού, αλλά ουσιαστικά από τη διαδικασία της χημικής διάλυσης του πετρώματος, σύμφωνα με την αντίδραση:

$$CaCO_3(s) + 2H^+(aq) + CO_3^{2-}(aq) \rightleftarrows Ca^{2+}(aq) + 2HCO_3^-(aq) \quad K_4=K_1xK_2xK_3 \quad (1)$$

$$CaCO_3(s) \rightleftarrows Ca^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq) \qquad K_1=K_{sp,CaCO_3}$$

$$H^+(aq) + CO_3^{2-}(aq) \rightleftarrows HCO_3^-(aq) \qquad K_2=1/K_{a,HCO_3^-}$$

$$2H^+(aq) + CO_3^{2-}(aq) \rightleftarrows H^+(aq) + HCO_3^-(aq) \qquad K_3=K_{a,H_2CO_3}$$

Όπου $k_4= (6.0 \times 10^{-9})(1/4.8 \times 10^{-11})(4.2 \times 10^{-11})=5.3 \times 10^{-5}$

Το ανθρακικό ασβέστιο έχει χαμηλή διαλυτότητα $K_{sp}=6\cdot10^{-9}$ στους 25 ^{0}C, αλλά καθώς το pH πέφτει, το ανθρακικό ασβέστιο γίνεται αρκετά διαλυτό. Το μετεωρικό νερό έχει pH 5,6 έως 10,5 και είναι ασθενώς όξινο μέχρι αλκαλικό, όμως στις φρεάτιες ζώνες η οξύτητα κυμαίνεται από 5,6 μέχρι 6,4, δηλαδή είναι ασθενώς όξινο (Ford & Williams,1989)[27]. Η αντίδραση (1) είναι υπεύθυνη για τον σχηματισμό των σπηλαίων σε καρστικές περιοχές για χιλιάδες χρόνια. Η αιτία για το γεγονός αυτό εντοπίζεται στη σύσταση των πετρωμάτων αυτών, η οποία επιτρέπει τη διάλυση από το μετεωρικό νερό, όταν αυτό δεσμεύσει από την ατμόσφαιρα και το έδαφος διοξείδιο του άνθρακα, δηλαδή την καρστική διάβρωση. Το αποτέλεσμα αυτής της αντίδρασης είναι η δημιουργία ασθενούς ανθρακικού οξέος, ικανού να διαλύσει τα ανθρακικά πετρώματα. Το αποσταγμένο νερό σε συνήθη θερμοκρασία διαλύει 16mg/L $CaCO_3$, ενώ όταν είναι εμπλουτισμένο σε CO_2 αυξάνεται η διαλυτική του ικανότητα αφού μετατρέπεται σε H_2CO_3, ένα ισχυρό διαλυτικό μέσο. Σε συνήθεις συνθήκες τα νερά με πρόσληψη CO_2 πενταπλασιάζουν τη διαλυτική τους ικανότητα, λόγω σχηματισμού του ευδιάλυτου όξινου ανθρακικού ασβεστίου[20].

Οι σημαντικότεροι παράγοντες καρστικοποίησης είναι το νερό, η θερμοκρασία ατμόσφαιρας (το κλίμα κι οι κλιματικές αλλαγές κατά την μεταλπική περίοδο περίπου τα τελευταία 20 εκ. χρόνια), το διοξείδιο του άνθρακα, η κατάλληλη τεκτονική κατασκευή της περιοχής, η κλίση της επιφάνειας του εδάφους, η χημική σύσταση των ασβεστόλιθων, η υδροστατική πίεση (επηρεάζεται έμμεσα από την

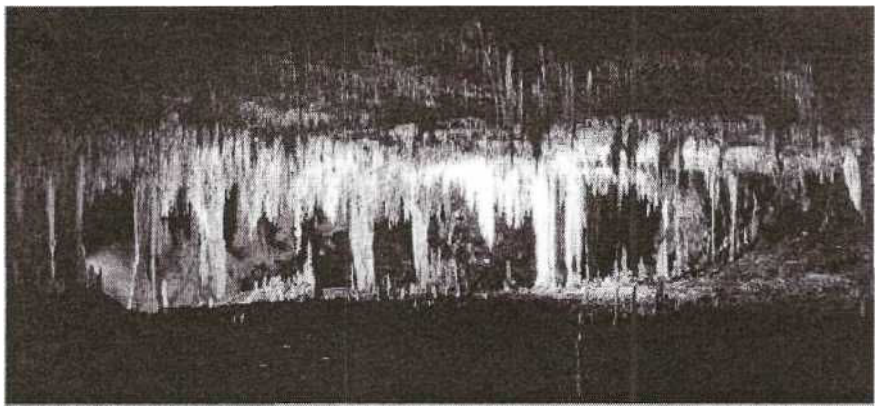
λιθοστρωματογραφία), το πορώδες (τόσο το πρωτογενές που επηρεάζει την λιθολογία, όσο και το δευτερογενές που επηρεάζει εκτός από την λιθολογία και την τεκτονική), την επίδραση ανάμιξης και τέλος την επίδραση ταχύτητας ροής. Έτσι, με την παρουσία του ανθρακικού οξέος στο νερό ο ασβεστόλιθος (ανθρακικό ασβέστιο) μετατρέπεται σε όξινο δισανθρακικό ασβέστιο κατά την αντίδραση (1).

Η αντίδραση (1) μετατοπίζεται, σε περίπτωση περίσσειας CO_2 προς τα προϊόντα ή όταν υπάρχει έλλειψη, προς τα αντιδρώντα, οπότε έχουμε διάλυση ή καθίζηση $CaCO_3$ ανάλογα με την περίπτωση. Είναι πολύ σημαντικό, το ότι σε μικρό όγκο όλα αυτά τα πετρώματα είναι πρακτικά αδιαπέραστα από το νερό, όμως στο συνολικό τους όγκο, λόγω των πολλών ρωγμών που παρουσιάζουν (οι ρωγμές αυτές μπορεί να είναι διακλάσεις, ρήγματα), τελικά επιτρέπουν τη διέλευση του νερού. Με τον τρόπο αυτό το νερό διευρύνει τις αρχικά μικρές ρωγμές έως ότου δημιουργήσει μεγάλους χώρους και δαιδαλώδη συστήματα υπογείων διαδρόμων, δηλαδή τα σπήλαια. Η διαδικασία αυτή είναι συνεχής μέχρι γεωλογικές ανακατατάξεις να δημιουργήσουν νέες συνθήκες. Στις νέες συνθήκες το σύστημα σπηλαίων μίας περιοχής μπορεί να αποκτήσει μία νέα δομή ή να περάσει σε μία κατάσταση όπου η περαιτέρω διεύρυνσή του σχεδόν να σταματήσει και ο χώρος του να αρχίσει να γεμίζει με αποθέσεις, κυρίως ασβεστίτη, που συνθέτουν το διάκοσμό του. Με τον όρο διάκοσμος γίνεται αναφορά στα ονομαζόμενα σπηλαιοθέματα, από τα οποία τα πιο κοινά είναι οι σταλακτίτες, οι σταλαγμίτες, οι κολώνες κ.α.

Η δημιουργία αυτών των αποθέσεων οφείλεται σε αντιστροφή της διαδικασίας διάλυσης του πετρώματος λόγω του ότι οι φυσικές και χημικές συνθήκες έχουν μεταβληθεί. Ως συνέπεια αυτής της αλλαγής, όταν το νερό φτάσει μέσω των ρωγμών στο χώρο του σπηλαίου αποθέτει την ποσότητα ανθρακικού ασβεστίου (το οποίο προέρχεται από τη διάλυση του ασβεστολιθικού πετρώματος) που μεταφέρει υπό διάλυση. Κάθε μία σταγόνα μεταφέρει πολύ μικρή ποσότητα διαλυμένου ανθρακικού ασβεστίου και «χτίζει» σιγά σιγά ένα σπηλαιόθεμα. Εάν τύχει η απόθεση να συμβεί στην οροφή διαμορφώνει σταλακτίτες ή κουρτίνες σε επιφάνειες με κλίση. Όταν η σταγόνα καταλήξει στο δάπεδο, δημιουργεί σταλαγμίτες, ενώ όταν αποθέτει στα τοιχώματα και μικρές λίμνες, μπορεί να σχηματίσει μία πολύ μεγάλη ποικιλία σπηλαιοθεμάτων. Η διαδικασία αυτή είναι πολύ αργή και μπορεί να διαρκέσει χιλιάδες χρόνια.

2.6 ΣΠΗΛΑΙΟΘΕΜΑΤΑ

Στα σπήλαια υπάρχουν ιζηματογενείς αποθέσεις που κατατάσσονται σε δυο διαφορετικές κατηγορίες:



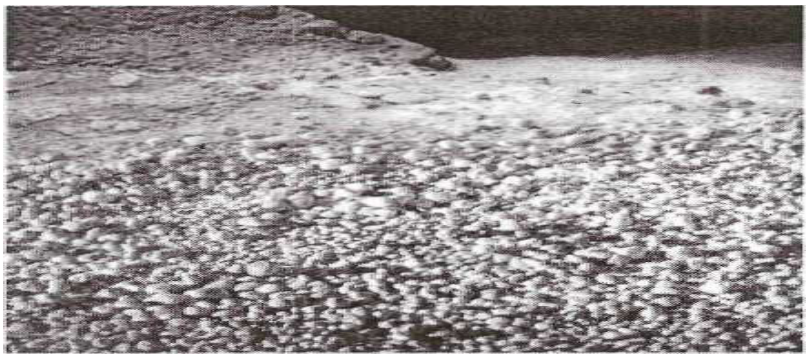
Εικ. 12 Σπηλαιοθέματα (σταλακτίτες και σταλαγμίτες) από το σπήλαιο Lapa Sao Mateus III στη Βραζιλία.

1. τα σπηλαιοθέματα που είναι ασβεστιτικής ή αραγωνιτικής χημικής προέλευσης εναποθέσεις που δημιουργούνται στην οροφή ή στο δάπεδο των σπηλαίων, όπως οι σταλακτίτες (βλέπε σελ.69), οι σταλαγμίτες (βλέπε σελ.70), το σπηλαιόσκονη (βλέπε σελ.78), οι ελικτίτες (βλέπε σελ.74) και οι εκκεντρίτες (εικ. 12 και εικ.13) και

2. τα δετριτικά (detrital) ιζήματα. Τα δετριτικά ιζήματα των σπηλαίων αποτελούνται από λιθογενή υλικό (χαλίκια, άμμος, πηλός, ιλύς) κυρίως ασβεστολιθικής προέλευσης, που προέρχονται από τα τοιχώματα των σπηλαίων ή από υλικά που έχουν μεταφερθεί από τον εξωτερικό χώρο, μέσω της δράσης του ανέμου ή του νερού. Τα ιζήματα αυτά περιλαμβάνουν επίσης υλικά οργανικής προέλευσης από γύρη, φυτικά κατάλοιπα, μικροπανίδα, κοπρόλιθους ή οστά ανθρώπων και ζώων.

Τα σπηλαιοθέματα δίνουν σημαντικές πληροφορίες για την ανασύσταση του μικροκλίματος των σπηλαίων. Μπορούν να χρονολογηθούν με ακρίβεια, κυρίως μέσω της μεθόδου των σειρών του ουρανίου/θορίου και έτσι να δώσουν και ακριβείς χρονολογήσεις για τα αρχαιολογικά ευρήματα του χώρου[18]. Επίσης, δίνουν στοιχεία για την υδρολογική κατάσταση του σπηλαίου, δηλαδή πολλών

παλαιοπεριβαλλοντικών συνθηκών, όπως η τεκτονική δραστηριότητα, οι κλιματικές μεταβολές και οι μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης [18]. Ο λευκός ή ανοικτόχρωμος λιθωματικός διάκοσμος των σπηλαιοθεμάτων υποδηλώνει πλήρη απουσία αργιλικών φάσεων. Η διατήρηση τους στο εσωτερικό των σπηλαίων συχνά είναι εξαιρετική, λόγω της σταθερής θερμοκρασίας και του υψηλού pH [17]. Η ανάλυση των σπηλαιοιζημάτων από γεωλόγους και βιολόγους, μπορεί επομένως να αποφέρει σημαντικές πληροφορίες για το παλαιοπεριβάλλον[17].



Εικ. 13 Σπηλαιοθέματα σε μορφή πέρλας από το σπήλαιο της Postojna στη Σλοβενία.

Η διαμόρφωσή τους οφείλεται στην κίνηση του νερού το οποίο, διεισδύοντας στα πετρώματα, τα διαβρώνει και έτσι σχηματίζονται οριζόντια σπήλαια, βάραθρα (κατακόρυφα πηγάδια), υπόγειοι ποταμοί, πηγές, καταβόθρες κλπ. Σ' αυτήν ακριβώς τη διαβρωτική κίνηση του νερού οφείλεται η δημιουργία του διακόσμου των σπηλαίων: των σπηλαιοθεμάτων. Η ροή των σταγόνων, είναι διαδικασία αργή μα σταθερή, αφήνει κατάλοιπα ασβεστίου, εξαιτίας του οποίου δημιουργούνται οι σταλακτίτες, που κρέμονται από την οροφή του σπηλαίου και οι σταλαγμίτες, που υψώνονται από το δάπεδο του.

Συχνά, μετά από αιώνες, οι σταλακτίτες ενώνονται με τους σταλαγμίτες σχηματίζοντας κολόνες, που προκαλούν δέος στον επισκέπτη. Για τη δημιουργία των σπηλαιοθεμάτων χρειάστηκαν δεκάδες ή και εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια. Ειδικότερα, το σπήλαιο είναι μια μεγάλη κοιλότητα στο πέτρωμα πάνω ή κάτω από την επιφάνεια της Γης. Τα σπήλαια σχηματίζονται συνήθως σε ασβεστολιθικά πετρώματα, οπότε είναι διακοσμημένα με σταλακτίτες και σταλαγμίτες, δεν

αποκλείεται όμως ο σχηματισμός τους και σε άλλα πετρώματα, όπως σε λάβα, ψαμμίτες και μάργες.

Οι πιο χαρακτηριστικές καρστικές μορφές που δημιουργούνται κατανέμονται σε επιφανειακές και υπόγειες [18]. Οι επιφανειακές διαχωρίζονται σε μεγάλες και μικρές ενώ οι μικρές διακρίνονται παραπέρα σε ελεύθερες εδαφικού καλύμματος και ημιελεύθερες. Συγκεκριμένα κατανέμονται ως εξής:

Επιφανειακές Καρστικές Μορφές

Α) Μεγάλες Καρστικές Μορφές

- Δολίνες (χοανοειδής μορφή),
- Ουβάλες (πολλές δολίνες ενωμένες),
- Πόλγες (πολύ μεγάλα έγκοιλα, πεδιάδες)

Β) Μικρές Καρστικές μορφές

1. Ελεύθερες (Δακτυλιογλυφές, Αμαξοτροχιές, Ίχνη Βροχής, Τεκτονικές Αυλακώσεις)
2. Ημιελεύθερες (Επιφανειακές Χύτρες, Σπηλαιώδεις Μορφές Διάλυσης, Καρστικές Οπές, Υπόγειες Τεκτονικές Αυλακώσεις)

Υπόγειες Καρστικές Μορφές

• Καρστικά φρέατα-Βάραθρα

• Σπήλαια

• Έγκοιλα

• Καταβόθρες

Οι ιζηματογενείς αποθέσεις, οι συσσωρεύσεις ορυκτών και ο σχηματισμός νέων σε υπόγεια έγκοιλα, κοιλότητες, καθώς και στις εισόδους αυτών καλούνται σπηλαιοαποθέσεις. Διακρίνονται όπως και στην επιφάνεια της γης σε τρεις κύριες κατηγορίες:

- Κλαστικά Ιζήματα (Άργιλος, ιλύς, σπηλαιοάμμος, χάλικες, ογκόλιθοι

κλαστικών υλικών, Ερυθρά Γη «terra rossa»)

- Οργανικά Ιζήματα

  Α. Φυτογενή

  Β. Κοπρογενή (περιττώματα νυχτερίδων, νιτρικές γαίες)

  Γ. Φωσφορίτες σπηλαίων

- Χημικά Ιζήματα

  Α. Ασβεστιτικοί σχηματισμοί

  Β. Γύψος

  Γ. Άλλα ορυκτά σπηλαίων (οπάλιος λίθος)

  Δ. Σχηματισμοί πάγου σε σπήλαια

Οι κλαστικές ιζηματογενείς αποθέσεις των σπηλαίων διαφέρουν ελάχιστα από αυτές που παρατηρούνται στην επιφάνεια. Το πιο χαρακτηριστικό και συνηθισμένο κλαστικό χημικό ίζημα είναι η Ερυθρά Γη γνωστή ως «terra rossa». Ο Giuliano Perna (1984) το περιέγραψε ως προϊόν αποσάθρωσης και διάλυσης των ασβεστόλιθων και δολομιτών. Αποτελείται κυρίως από υδροξείδια του αλουμινίου που συνυπάρχουν σχεδόν πάντα με υδροξείδια του σιδήρου κι έτσι το πέτρωμα αποκτά κόκκινο χρώμα. Οι πρώτες παρατηρήσεις αυτού του πετρώματος έγιναν στην περιοχή Carso της Γιουγκοσλαβίας και συγκεκριμένα εντός των δολινών όπου βρισκόταν.

Τα οργανικά και χημικά ιζήματα διακρίνονται περισσότερο χημικά παρά γεωμορφολογικά από αντίστοιχους επιφανειακούς σχηματισμούς (Bogli 1978)[29]. Τα χημικά ιζήματα αποτελούν τον διάκοσμο των σπηλαίων, που προέρχεται από την εναπόθεση υλικών που έχουν διαλυθεί στο νερό και καθιζάνουν σε κρυσταλλική μορφή ή σπανιότερα σε άμορφη, όπως στην περίπτωση του «οπάλιου λίθου», που είναι άμορφο ένυδρο διοξείδιο του πυριτίου, [SiO_2 x H_2O], με περιεκτικότητα σε νερό που ποικίλλει από 1-5 % και φτάνει μέχρι το 34 %. Παρουσιάζει διάφορα χρώματα και ο σχηματισμός του είναι κυρίως βιογενής και ιζηματογενής. Τα κελύφη των διατόμων και οι σκελετοί των ακτινόζωων αποτελούνται από οπάλιο και με την

συσσώρευσή τους σχηματίζεται η ιλύς των διατόμων και ακτινόζωων και με διαγένεση η γη των διατόμων και ραδιολαρίτης. Επίσης σε ηφαιστειακές περιοχές αποτίθεται οπάλιος (άμορφο ένυδρο διοξείδιο του πυριτίου, SiO_2xH_2O) από υδροθερμικές πηγές[20].

Τα χημικά ιζήματα αποτελούνται από δευτερογενείς αποθέσεις ορυκτών, κυρίως του $CaCO_3$. Αναφέρονται συχνά ως σπηλαιοθέματα, αλλά ο όρος χρησιμοποιείται περισσότερο ως περιγραφικός της μορφολογίας τους παρά της κρυσταλλικής τους δομής. Η απόθεση $CaCO_3$ είναι αντίδραση υγρής-στερεάς φάσης του συστήματος $CaCO_3$-CO_2-H_2O (εικ.14)[20]. Το CO_2 της ατμόσφαιρας εισέρχεται στο νερό και στη συνέχεια παρασύρεται στο έδαφος, μαζί με το CO_2 που παράγεται μέσω της αναπνοής των μικροοργανισμών του εδάφους. Οι προκαρυωτικοί οργανισμοί που ζουν στις ρίζες των φυτών εκλύουν CO_2, σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση:

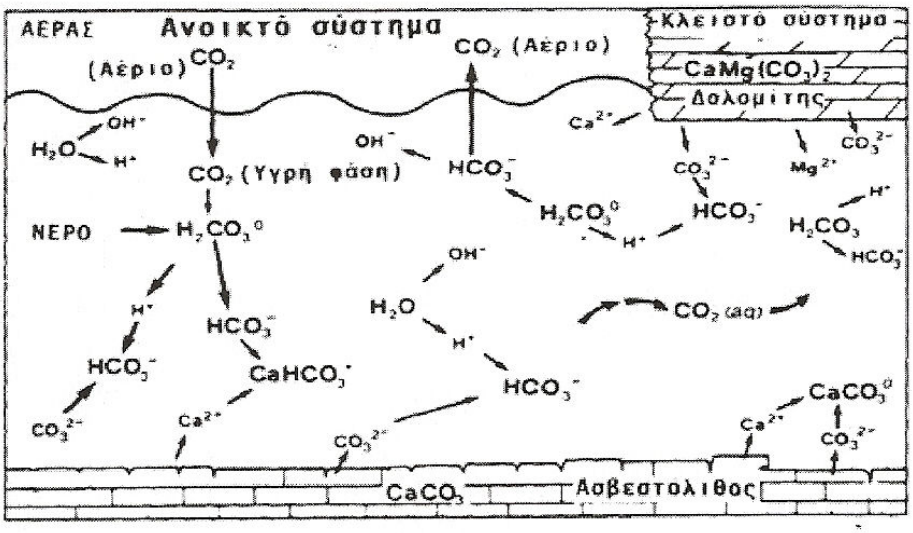
$$CH_2O + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O$$

Που συνεπάγεται αύξηση του CO_2 και ταπείνωση του pH και επομένως αύξηση της διαλυτικής ικανότητας του νερού ως προς $CaCO_3$. Συνεισφορά σε αυτό το φαινόμενο έχουν τα χουμικά οξέα του εδάφους (μεγαλομοριακές ενώσεις με Mr>10000) που απελευθερώνουν CO_2 σύμφωνα με την αντίδραση:

$$2(R\text{-}COOH) + CaCO_3 \longrightarrow (R\text{-}COO)_2Ca + H_2O + CO_2$$

Το οργανικό τμήμα του μορίου των χουμικών οξέων εισέρχεται στα υπόγεια νερά κι όταν συναποτίθεται με το $CaCO_3$ των σπηλαιοθεμάτων συμμετέχει στον χρωματισμό τους (Lauritzen et al, 1986)[18].

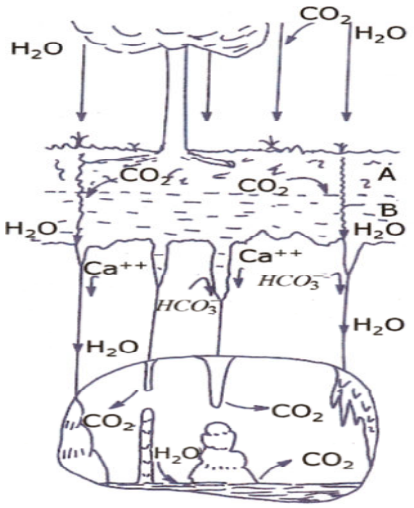
Η απόθεση $CaCO_3$ οποιασδήποτε μορφής συνοδεύεται με απώλεια CO_2. Αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε υπερκορεσμό και ταυτόχρονη απόθεση $CaCO_3$. Στο ίδιο αποτέλεσμα οδηγείται η αντίδραση λόγω εξάτμισης. Η αντίδραση δεν είναι μονόδρομη, αλλά υπάγεται σε ένα μεγάλο αριθμό ισορροπιών. Κάθε μεταβολή της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης των συστατικών της οδηγεί σε μία νέα κατάσταση ισορροπίας.



Εικ. 14 Σχηματική απεικόνιση της αλληλεπίδρασης $CaCO_3$-CO_2-H_2O (ασβεστόλιθου, δολομίτη) καθώς και της δράσης των ιόντων που συμμετέχουν στο σύστημα (Ford &Williams, 1989)[29].

Πρακτικά η μεταβολή της P_{CO_2} με σταθερή θερμοκρασία είναι η σημαντικότερη αιτία για τη διατάραξη της ισορροπίας και κατ' επέκταση για απόθεση $CaCO_3$ ή χημική διάβρωση. Η συνολική αντίδραση έχει τη μορφή:

$$Ca^{2+}(aq) + 2HCO_3^-(aq) \longleftrightarrow CaCO_3 \downarrow + CO_2\uparrow + H_2O$$



ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ, $P_{CO_2} \sim 10^{-3,5}$

ΔΙΗΘΗΣΗ CO_2, $P_{CO_2} \sim 10^{-1}$

ΔΙΑΛΥΣΗ $CaCO_3$

ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΡΩΓΜΩΝ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

ΑΠΟΘΕΣΗ $CaCO_3$ ΣΤΑ ΣΠΗΛΑΙΑ ΜΕ ΑΠΩΛΕΙΑ CO_2, $P_{CO_2} \sim 10^{-2,5}$

Εικ. 15 Μοντέλο απόθεσης καρστικών σπηλαιοθεμάτων.

Το $CaCO_3$ είναι τετράμορφο και συναντάται ως ασβεστίτης (τριγωνικό σύστημα κρυστάλλωσης), αραγωνίτης (ρομβικό), βατερίτης (εξαγωνικό) και άμορφο $CaCO_3$ (εικ.15).

Στη φύση συναντάται πρακτικά μόνο ως ασβεστίτης και αραγωνίτης. Με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται η τάση προς σχηματισμό αραγωνίτη. Είναι το κυριότερο χημικό ίζημα στο εσωτερικό των σπηλαίων και επικαλύπτει πολλά σπηλαιοθέματα με πολυκρυσταλλικά συσσωματώματα. Τα ασβεστολιθικά συγκρίματα συνήθως μέσα στα σπήλαια είναι συμπαγή σε αντίθεση με τον ασβεστολιθικά πετρώματα που δημιουργούνται στην επιφάνεια της Γης[26].

Εικ. 16 Σταλαγμίτης από γύψο (photo by J. Les)

Επίσης η παρουσία του πτητικού H_2S που απελευθερώνεται από θερμές πηγές σε φυσαλίδες και αντιδρά με το οξυγόνο, οπότε σχηματίζεται θειικό οξύ, δημιουργεί ισχυρές διαβρωτικές συνθήκες. Προοδευτικά η μερική πίεση του CO_2 αυξάνεται ενώ σε αργές ροές καθιζάνει γύψος:

$$Ca^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq) + 2H_2O(aq) \rightleftharpoons CaSO_4 \cdot 2H_2O$$

Συνήθως η γύψος απομακρύνεται από τη ροή του νερού λόγω της μεγάλης διαλυτότητας (εικ.16)[30].

Στην περίπτωση του σπηλαίου Lower Kane στο Wyoming, το οποίο θεωρούνταν ανέκαθεν κλασικό παράδειγμα ενός τέτοιου σπηλαίου, σχηματισμένου με τη «βοήθεια» του θειικού οξέος. Το σπήλαιο Lower Kane όντως περιλαμβάνει μια θερμή πηγή, το νερό της οποίας είναι πλούσιο σε υδρόθειο. Όμως πολύ μικρό μέρος από τη συγκεκριμένη χημική ένωση καταφέρνει να βρει το δρόμο του προς την ατμόσφαιρα εντός του σπηλαίου. Αντιθέτως, όπως παρατήρησαν οι ερευνητές, το θειικό οξύ

χρησιμοποιείται από τα μικρόβια, τα οποία σχηματίζουν μια άσπρη επικάλυψη στο δάπεδο του θαλάμου της σπηλιάς.

Εικ. 17 Τεράστιοι κρύσταλλοι γύψου ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), στο σπήλαιο Cueva de los Cristales (Σπήλαιο των Κρυστάλλων) της περιοχής Naica στο Μεξικό (από το National Geographic, Νοεμβρίου 2008: άρθρο "Crystal Palace").

Τα βακτηρίδια Thiobacillus thioparus λειτουργούν ως «βιολογικοί ανθρακωρύχοι» χρησιμοποιούν τις χημικές ενώσεις σαν πηγές ενέργειας, καταναλώνοντάς τις, όπως ακριβώς εμείς καταναλώνουμε τους υδρογονάνθρακες. Το θειικό οξύ είναι ένα από τα ενδιάμεσα υποπροϊόντα αυτής της διαδικασίας του μεταβολισμού τους, σύμφωνα με την αντίδραση :

$$H_2S + 2O_2 \longrightarrow H_2SO_4$$

Με άλλα λόγια, τα χημειοαυτότροφα αυτά βακτήρια είναι εκείνα που ευθύνονται για την μετατροπή του ανθρακούχου πετρώματος σε γύψο. Λίγο-λίγο, τα μικροβιακά απορρίμματα σχηματίζουν αρχικά μικροσκοπικές ρωγμές στους βράχους, οι οποίες σταδιακά γίνονται σπήλαια τόσο μεγάλα ώστε να μπορεί κανείς να περιηγηθεί μέσα τους (Vlasceanu et al 1997)[31]. Το σπήλαιο Lower Kane εκτιμάται ότι σχηματίσθηκε περίπου πριν από 10.000 χρόνια. Αυτό σημαίνει ότι το σπήλαιο είναι σχετικά «νεαρό»: τα σπήλαια που σχηματίζονται από την πιο συνήθη δράση του ανθρακικού οξέος μεγαλώνουν σε μέγεθος με αρκετά πιο αργούς ρυθμούς. Για παράδειγμα, το Άνδρο Carlsbad είναι 10-14 εκατομμυρίων ετών. Ίσως αποτελεί μια μονάχα απόδειξη των θαυμάτων που μπορούν να επιτύχουν τα βακτήρια -αρκεί να τους δοθεί αρκετός χρόνος.

Στην βιβλιογραφία σημαντικό ρόλο στην καθίζηση του διαλυμένου $CaCO_3$ στα καρστικά νερά παίζουν τα βακτήρια και η μικροχλωρίδα των σπηλαίων, ιδιαίτερα στα υγρά τους τμήματα[20]. Οι αντιδράσεις που πραγματοποιούνται μέσω της βακτηριακής οδού είναι οι ακόλουθες:

$(NH_4)_2CO_3 + CaSO_4 \rightarrow (NH_4)_2SO_4 + CaCO_3$

$Ca(NO_3)_2 + 3H_2 + C \rightarrow 3H_2O + N_2 + CaCO_3$

$Ca(HCO_3)_2 + 2NH_4OH \rightarrow (NH_4)_2CO_3 + 2H_2O + CaCO_3$

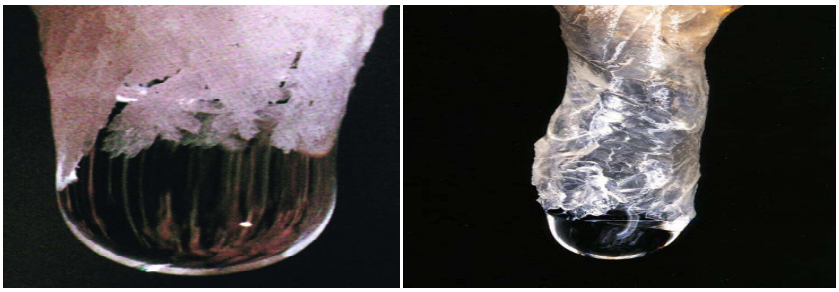
$Ca(COOCH_3)_2 + 4O_2 \rightarrow 3CO_2 + 3H_2O + CaCO_3$

$CaS + CO_2 + H_2O \rightarrow H_2S + CaCO_3$

Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά μερικά σπηλαιοθέματα:

1. **Καρστικά σπήλαια** (συνήθως με **σταλακτίτες**)

Πρόκειται για αποθέσεις του υπό μορφής σταγόνας νερού. Έτσι τα σχήματα αυτών ορίζονται μερικώς από το σχήμα των σταγόνων και από την επιρροή της βαρύτητας σ' αυτές πριν πέσουν. Οι περισσότεροι σταλακτίτες είναι κωνικοί και μερικοί είναι πολύ μεγάλοι. Όμως όλοι ξεκινούν από μικρές σωληνοειδείς μορφές σταλακτιτών. Αυτοί είναι λεπτοί, σωληνοειδείς σχηματισμοί στις οροφές των σπηλαίων, στα τοιχώματα ή σε άλλα σπηλαιοθέματα (εικ.18). Όταν η σταγόνα που κρέμεται χάσει CO_2 αποθέτει κρυσταλλική μεμβράνη $CaCO_3$ που οφείλεται στον παλμό που δημιουργεί η αύξηση του όγκου της σταγόνας με αποτέλεσμα την προοδευτική άνοδο του $CaCO_3$. Η απόθεση προϋποθέτει ότι το διάλυμα της σταγόνας είναι υπέρκορο σε $CaCO_3$. Η αδιάκοπη συσσώρευση κρυστάλλων $CaCO_3$ θα οδηγήσει στο σχηματισμό ενός λεπτού σωληνίσκου, του εμβρυακού σταλακτίτη (εικ. 18). Έχει αποδειχθεί ότι οι εμβρυακοί σταλακτίτες δημιουργούνται σε σημεία μικρής σχετικά σταγονορροής[26].

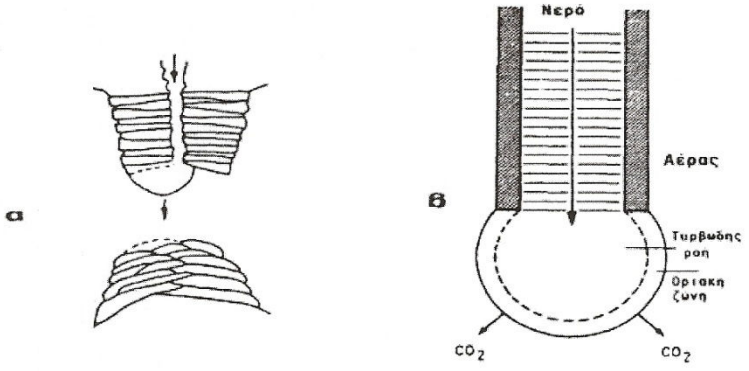


Εικ. 18 Δημιουργία κι αύξηση σταλακτίτη

Η συχνότητα της σταγονορροής κυμαίνεται από 1-0,001 σταγόνες/δευτερόλεπτο. Οι σταγόνες στην οροφή προέρχονται από ροή νερού μέσω ασυνέχειας του πετρώματος ή από συμπύκνωση υδρατμών. Δηλαδή σε πολλά σημεία της οροφής παρά την απουσία διακλάσεων ή άλλων ασυνεχειών παρατηρούνται ομάδες, ομοιόμορφα κατανεμημένες, εμβρυακών σταλακτιτών από συμπύκνωση (εικ.19).

Εικ. 19. Εμβρυακοί σταλακτίτες του σπηλαίου

Απόδειξη αυτής της πρώιμης ιστορίας αποτελεί μια ζώνη από καθαρό ασβεστίτη ή ένας κεντρικός σωλήνας διαμέτρου 5mm που μπορεί να βρεθεί σε κάποια σπασμένα δείγματα και αντιπροσωπεύει ένα σχηματισμένο σωλήνα που έχει γεμίσει. Τα εξωτερικά μέρη ενός κωνικού σταλακτίτη σχηματίζονται όχι από το νερό που στάζει αλλά από το νερό που ρέει. Όταν το νερό κινείται κατά μήκος της οροφής αρχίζει να ρέει προς τα κάτω γύρω από ένα σωληνοειδή σταλακτίτη, το νερό αποθέτει ανθρακικό ασβέστιο στην επιφάνεια με μεγαλύτερη αφθονία στην κορυφή. Με αυτόν τον τρόπο όχι μόνο μεγεθύνει τον σταλακτίτη αλλά του δίνει κι ένα σχήμα κώνου του οποίου η άκρη είναι στραμμένη προς τα κάτω. Οι αποθέσεις στο εξωτερικό των σταλακτιτών είναι σε στρώματα σχεδόν παράλληλα στην επιφάνεια. Σε κάθετη τομή αυτά τα στρώματα φαίνονται σαν ομόκεντροι κύκλοι. Οι αποθέσεις στο εξωτερικό των σταλακτιτών δεν ακολουθούν την κρυσταλλική κατασκευή του κεντρικού σωλήνα. Αντίθετα αυτοί οι κρύσταλλοι μεγαλώνουν σε όλη την εξωτερική επιφάνεια του σωλήνα (εικ.20)[20].

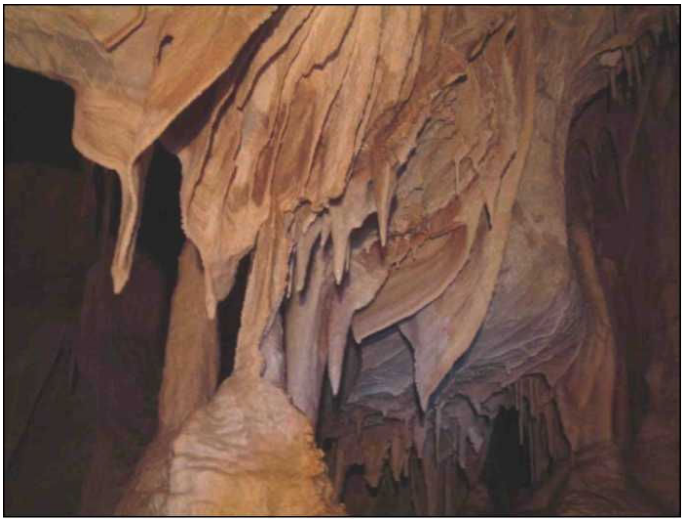


Εικ. 20 Σχηματική αναπαράσταση δημιουργίας και αύξησης σταλαγμιτών και σταλακτιτών (κατά Καλπάκη, 1981-82)[32]

Η μορφή, το μέγεθος, η σύσταση και η υφή του σταλακτίτη εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως ρυθμός σταγονορροής, ρεύματα αέρος, απώλεια CO_2, εξάτμιση, καθώς και από τη θερμοκρασία, την υγρασία, τη συγκέντρωση σε $CaCO_3$, την υδροστατική πίεση και τις προσμείξεις του διαλύματος. Τα χρώματά τους ποικίλλουν, το πιο συνηθισμένο είναι ανοιχτόχρωμοι ασβεστόλιθοι, οι μαύροι ασβεστόλιθοι σχηματίστηκαν σε αβαθή νερά, κοντά σε παράκτιες ζώνες όπου παρασύρθηκαν διάφοροι χερσαίοι οργανισμοί. Οι κόκκινοι και ροδόχρωμοι οφείλουν το χρώμα τους σε οξείδια του σιδήρου (αιματίτη). Τα οξείδια αυτά για να σχηματιστούν προϋποθέτουν έντονη οξείδωση που απαιτεί περίσσεια οξυγόνου, η οποία υπήρχε μόνο σε βαθιές θάλασσες και μάλιστα πολικές, γι' αυτό και οι ασβεστόλιθοι αυτοί υποστηρίζεται ότι σχηματίστηκαν σε βαθιές θάλασσες και τέλος οι γκριζοκύανοι ασβεστόλιθοι οφείλουν το χρώμα τους στην παρουσία διθειούχου σιδήρου σε λεπτότατο διαμερισμό, γεγονός που υποδηλώνει ότι η ιζηματογένεσή τους έλαβε χώρα σε αβαθή νερά, αφού ο διθειούχος σίδηρος προέρχεται από την αποσύνθεση οργανικών ουσιών με την περαιτέρω οξείδωσή τους[20].

♦ Σε σημεία της οροφής που έχουν κλίση δημιουργείται **παραπετασματοειδής σταλακτίτης ή κουρτίνες** (εικ. 21). Οι μεγάλοι άξονες των κρυστάλλων του $CaCO_3$ είναι κάθετοι στο κατώτερο άκρο του παραπετάσματος. Αρχικά η απόθεση και η δημιουργία του ασβεστιτικού συγκρίματος γίνεται σε μια ευθεία που ακολουθεί η σταγόνα που ρέει σε κεκλιμένη οροφή. Κατά την πορεία της το υπέρκορο διάλυμα

της σταγόνας αποθέτει $CaCO_3$. Μικρά εξογκώματα από την επιφάνεια του πετρώματος οδηγούν στην καμπυλωτή ανάπτυξη του σπηλαιοθέματος, δίνοντας την εντύπωση παραπετάσματος.



Εικ. 21 Παραπετασματοειδείς σταλακτίτες.

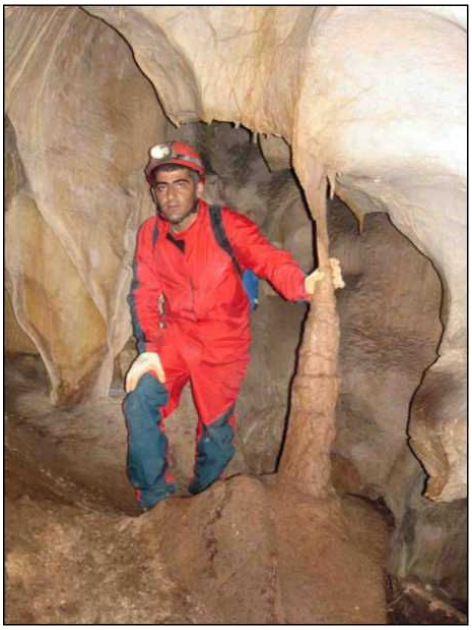
Οι κουρτίνες είναι λεπτά, ημιδιάφανα φύλλα ασβεστίτη τα οποία κρέμονται από την οροφή των σπηλαίων συνήθως 3 m ψηλά ή και παραπάνω. Κατά τη διάρκεια κάποιων περιόδων οξείδια μπορεί να χρωματίσουν τους σχηματισμούς αυτούς. Μερικές φορές μπορεί να δημιουργηθούν κουρτίνες με οδοντωτές άκρες (σαν πριόνι) όπου κάθε δόντι αποτελεί έναν κρύσταλλο ασβεστίτη[26].

♦**Σταλαγμίτες** και σχετικά σπηλαιοθέματα.

Οι αποθέσεις στις σπηλιές που σχηματίζονται από το νερό που ρέει και πέφτει στο δάπεδο της σπηλιάς όπου υπάρχει αέρας είναι περισσότερο άφθονα από όλα τ' άλλα σπηλαιοθέματα. Πολλά σπήλαια περιέχουν τόνους απ' αυτό το υλικό και άλλα έχουν σχεδόν γεμίσει απ' αυτό. Οι σταλαγμίτες μοιάζουν πολύ με τους σταλακτίτες.

Αποτελούν στηλοειδείς σχηματισμούς στο δάπεδο των σπηλαίων. Συνήθως ακριβώς πάνω από το σταλαγμίτη υφίσταται ο τροφοδότης με υπέρκορο διάλυμμα σταλακτίτης. Οι σταλαγμίτες δημιουργούνται όταν στο διάλυμα που στάζει από τον υπερκείμενο σταλακτίτη υπάρχει αρκετή ποσότητα $CaCO_3$ για να αποτεθεί. Διαμορφώνουν μεγάλες και ογκώδεις στήλες ασβεστιτικών συγκριμάτων, χωρίς την

παρουσία σωληνοειδούς αγωγού στο εσωτερικό τους, όπως στους σταλακτίτες. Επίσης, η επιφάνεια και το κορυφαίο τμήμα των σταλαγμιτών είναι σχετικά ομαλά σε αντίθεση με το αιχμηρό τμήμα των σταλακτιτών. Όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος της σταγονορροής τόσο μεγαλύτερος γίνεται ο σταλαγμίτης (Gams 1981). Κεκλιμένοι σταλαγμίτες ή σταλαγμίτες πάνω σε πεσμένα τμήματα κατάρρευσης δίνουν χρήσιμα στοιχεία σεισμικότητας και αποτελούν παλαιοσεισμικούς δείκτες.



Εικ.22 Κεκλιμένος σταλαγμίτης, λόγω μετατόπισης του σημείου της σταγονορροής.

Πάντως πρέπει να μη γίνεται σύγχυση κεκλιμένων σταλαγμιτών από σεισμικό γεγονός με σταλαγμίτες που αποκτούν κλίση λόγω μετατόπισης του σημείου της σταγονορροής (εικ.22)[26].

♦ Ένας σταλαγμίτης μεγαλώνει προς τα πάνω, κάτω από ένα σταλακτίτη που μεγαλώνει προς τα κάτω. Μπορεί οι δυο να συναντηθούν και να σχηματίσουν μια **κολώνα**. Η ένωση ενός σταλακτίτη κι ενός σταλαγμίτη οδηγεί στη δημιουργία κολώνας. Η στοίχιση συνήθως των κολώνων καθοδηγείται από τις διευθύνσεις των κύριων διακλάσεων (εικ.23).

Εικ.23 Κολώνα.

♦ **Ρεόλιθοι (Flowstone)**

Όταν το νερό κυλά στα τοιχώματα και το δάπεδο αποτίθενται φύλλα ασβεστίτη που ονομάζονται **ρεόλιθοι (Flowstone)**. Έχουν λεία επιφάνεια και οι κρύσταλλοι αποκαλύπτονται μόνο από τον τρόπο με τον οποίο λάμπουν. Σχηματίζονται από αποθέσεις λεπτών κρυσταλλικών στρωμάτων πάνω σε μητρικό πέτρωμα ή σε άλλα σπηλαιοθέματα (εικ.24, εικ.25). Οι κρύσταλλοι τοποθετούνται με τον μεγάλο τους άξονα κάθετο στη ροή του νερού και αποτίθενται με ασβεστιτικά συγκρίματα, ακόμη και στο δάπεδο του σπηλαίου, όπου τελικά σχηματίζονται στρώματα ρεόλιθου πάχους μέχρι και 5 m.

Εικ. 24 Ρεόλιθος με παραπετασματοειδείς σταλακτίτες στις απολήξεις του.

Κάποιες φορές οι ρεόλιθοι σχηματίζονται πάνω σε χαλίκια ή στρώματα λάσπης. Όταν το υπόβαθρο είναι ένα τέτοιο ίζημα μπορεί με την αλλαγή των συνθηκών να μεταφερθούν και να μείνουν οι ρεόλιθοι σχεδόν αιωρούμενοι δημιουργώντας τελείως διαφορετικές μορφές, που μοιάζουν με γέφυρες ή πατάρια και περιγράφονται σαν ψευδοδάπεδα ή παλαιοδάπεδα[26].

♦ **Κοράλλια των σπηλαίων**.

Εικ. 25 Ανάπτυξη κοραλλιών σε σπήλαιο

Τα κοραλλοειδή (εικ.25) είναι τα πιο διαδεδομένα σπηλαιοθέματα μετά τους σταλακτίτες, σταλαγμίτες και τους ρεόλιθους[34]. Τα κοραλλοειδή είναι βοτρυοειδή, σφαιρικά ασβεστιτικά συγκρίματα που μοιάζουν με κοράλλια. Ποικίλλουν σε μέγεθος από μικρά σφαιρίδια μέχρι μεγάλες μάζες με διάμετρο 1m. Τα κοραλλοειδή παρουσιάζουν συγκεντρική ανάπτυξη δακτυλίων στους οποίους οι κρύσταλλοι είναι κάθετοι και ακτινωτά γύρω από το κοραλλοειδές (Hill & Forti 1997)[33]. Τα συγκεντρικά στρώματα είναι δυνατό να έχουν διαφορετικό χρώμα, λάμψη, μέγεθος και σχήμα κρυστάλλων ή σύσταση. Τα κοραλλοειδή έχουν συνήθως λευκό χρώμα, αλλά πολλές φορές και σκούρο καστανοκόκκινο, καστανό, κίτρινο, υπόλευκο.

Παλαιότερες θεωρίες τοποθετούσαν τη δημιουργία των κοραλλοειδών υπό το νερό. Πέραν μιας μικρής ομάδας των κοραλλοειδών που δημιουργείται κατ' αυτόν τον τρόπο, οι κυριότερες θεωρίες υποστηρίζουν ότι προέρχονται από εξάτμιση νερού που ρέει είτε ανέρχεται τριχοειδής στις επιφάνειες του σπηλαίου. Επίσης η εκτίναξη στα τοιχώματα σταγόνων που πέφτουν στο δάπεδο του σπηλαίου οδηγεί στη δημιουργία κοραλλιών. Το υλικό τους είναι κυρίως ασβεστίτης και πολλές φορές παρουσιάζονται κοντά στις επιφάνειες λιμνών όπου και η εξάτμιση παρουσιάζει ένα

μέγιστο (εικ 25). Ο σχηματισμός τους πραγματοποιείται στον αέρα ή και κάτω από το νερό. Τα ρεύματα αέρος είναι αυτά που καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την ανάπτυξη και το μέγεθος των κοραλλοειδών.

Ένα άλλο είδος κοραλλίων που συναντάται στα σπήλαια είναι οι κοραλλίτες (tower coral), οι οποίοι δημιουργούνται σε ρηχές λίμνες λόγω ισχυρής εξάτμισης του νερού και απόθεσης.

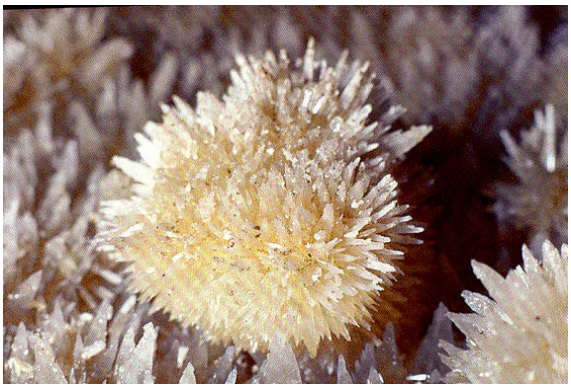
Εικ. 26 Κοραλλοειδή και ανάπτυξη ελικτίτη.

♦ **Ελικτίτες (helictites)**

Οι ελικτίτες οφείλουν το όνομά τους στην ελικοειδή γενικά εμφάνισή τους που δείχνει να αψηφά το νόμο της βαρύτητας (εικ. 26). Άλλα ονόματα που έχουν δοθεί στο συγκεκριμένο σπηλαιόθεμα είναι εκκεντρίτες. Οι εκκεντρίτες αναφέρονται στις ευθύγραμμες κυρίως μορφές ελικτίτη που αναπτύσσονται εκκεντρικά. Ο ελικτίτης που δημιουργείται στο δάπεδο του σπηλαίου καλείται ελιγμίτης. Αναπτύσσονται στα τοιχώματα και στις οροφές των σπηλαίων αλλά και σε άλλα σπηλαιοθέματα. Είναι λεπτοί ινώδεις συνήθως σχηματισμοί με διάμετρο από 0,5 έως μερικά mm. Το μεγαλύτερο ποσοστό ελικτιτών δημιουργείται από την ανώμαλη κίνηση του $CaCO_3$ μέσα στη σταγόνα εξαιτίας της έλξης της υδροστατικής πίεσης. Παρά την ανομοιομορφία μεγεθών και σχημάτων, στους ελικτίτες υπάρχει ένα κοινό χαρακτηριστικό, η ύπαρξη κεντρικού αγωγού-σωληνίσκου (διάμετρος: 0,008-0,5mm). Πολλές φορές ο σωληνίσκος αυτός καλύπτεται από ασβεστιτικό σύγκριμα ακολουθώντας τον τρόπο ανάπτυξης των σταλακτιτών. Οι ανωμαλίες κατά την απόθεση του $CaCO_3$ είναι

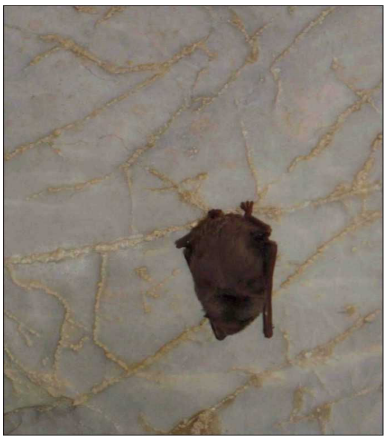
δυνατό να οφείλονται ακόμη σε μικροβιακή δράση, ρεύματα αέρα, προσμείξεις διαλύματος, ενδοκρυσταλλικές αλλαγές. Επίσης, εναλλαγές ξηρών και θερμών περιόδων επηρεάζουν την ανάπτυξη των ελικτιτών[26].

♦ **Βελόνες (Frostwork)**



Εικ.27 Βελόνες από αραγωνίτη

Οι βελόνες αποτελεί ένα κοινό σπηλαιόθεμα στα σπήλαια της Ελλάδας το οποίο σχηματίζει ινώδη συσσωματώματα (εικ.29). Οι βελόνες σχηματίζουν ακτινωτές ομάδες κρυστάλλων κυρίως από αραγωνίτη ή αραγωνίτη και ασβεστίτη. Το χρώμα τους συνήθως είναι λευκό μέχρι και γαλάζιο. Το μήκος των βελονών γενικά κυμαίνεται από μερικά mm μέχρι και 55cm και η σύστασή τους είναι αραγωνιτική. Η δημιουργία του σχετίζεται με την τριχοειδή κίνηση του νερού στις επιφάνειες του σπηλαίου[34]. Η απόθεση του $CaCO_3$ οφείλεται στη συνεχή συμπύκνωση και εξάτμιση του νερού.



Εικ. 28 Νυχτερίδα κρεμασμένη από προεξοχή διακλασίτη

♦ **Διακλασίτης (Boxwork)**

Ένα ιδιότυπο σπηλαιόθεμα είναι ο διακλασίτης, ο οποίος συναντάται στα τοιχώματα και στις οροφές των σπηλαίων γενικά. Αποτελείται κυρίως από κρυσταλλικό $CaCO_3$, το οποίο πληρώνει αρχικά διακλάσεις (συστηματικές και μη) μικρού σχετικά ανοίγματος δημιουργώντας ένα σύστημα φλεβών τύπου λαβυρίνθου. Η προοδευτική διάβρωση του μητρικού πετρώματος και η μικρότερου βαθμού των φλεβών θα οδηγήσει στη δημιουργία του διακλασίτη. Αυτός δίνει την εντύπωση πολυάριθμων πολυγωνικών κουτιών, οι πλευρές των οποίων προεξέχουν (εικ.28).

♦ **Κλιμακωτές Λίμνες Υπερχείλισης (Gour) – Χείλη Λιμνών**

Οι κλιμακωτές λίμνες υπερχείλισης δημιουργούνται κυρίως σε περιοχές του σπηλαίου όπου παρατηρείται ροή νερού και απόθεση $CaCO_3$ σε μορφή φραγμάτων (εικ.29). Τα φράγματα αυτά δημιουργούν λίμνες και δρουν υπερχειλιστικά όταν αυξάνεται η ροή. Πολλές φορές εναλλάσσονται με ρεόλιθους. Όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση της επιφάνειας ροής τόσο ψηλότερα γίνονται τα συστήματα των λιμνών, ενώ όταν η κλίση είναι μικρή αποκτούν μεγαλύτερη έκταση. Επίσης όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση τόσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των φραγμάτων και συνεπώς των λιμνών. Πολλές φορές στα περιθώρια των λιμνών γίνεται απόθεση $CaCO_3$ και δημιουργείται ένα ιδιότυπο σπηλαιόθεμα καλούμενο ως χείλη λιμνών. Πρόκειται για ασβεστιτική κρούστα η οποία περιβάλλει ως χείλος τη λίμνη[26].

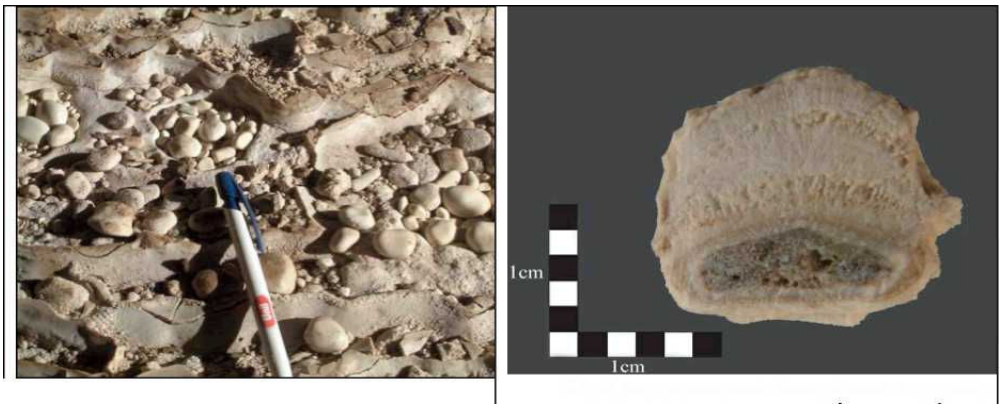
Πολλές φορές αυτή η κρούστα περιβάλλει κολώνες που βρίσκονται μέσα σε λίμνη και δημιουργεί τα σιντριβάνια, δηλαδή κολώνες με περιμετρικό ασβεστιτικό χείλος που φέρει σταλακτίτες και σταλαγμίτες δίνοντας την εντύπωση σιντριβανιού[34].

Εικ. 29 Κλιμακωτές λίμνες υπερχείλισης

♦ **Σπηλαιοφλύκταινες (Cave Blisters)**

Αποτελούν ημισφαιρικές ασβεστιτικές αποθέσεις συνήθως πληρωμένες με αργιλικό ή αμμώδες υλικό. Αποτελούν εξογκώματα του πετρώματος και συνήθως εφάπτονται σε ασβεστιτική κρούστα. Πολλές φορές χαρακτηρίζονται από ποικιλία ορυκτών συστατικών όπως γύψος και οπάλιος. Η σύστασή τους είναι συνήθως ασβεστιτική, αποτελούμενη από μικροκρυσταλλικό ασβεστίτη. Η ασβεστιτική κρούστα εξέρχεται από διάκλαση του μαρμάρου και σχηματίζει φλυκταινοειδείς απολήξεις με τη βοήθεια του τριχοειδούς νερού. Τα εξογκώματα είναι λευκού χρώματος, ασβεστιτικά με προσμείξεις γύψου και σχηματίζονται σε σειρά ανάλογα με τη διεύθυνση της διάκλασης. Το εσωτερικό της φούσκας είναι κενό και έχει διάμετρο μέχρι και 6cm. Κατά την ανάπτυξή όμως το εσωτερικό κενό πληρώνεται με κρυσταλλικό ασβεστίτη (εικ.30).

Εικ. 30 Σπηλαιοφλύκταινες



Εικ. 31α. Μαργαριτάρια σε φυσική θέση Εικ. 31β. Τομή μαργαριταριού

Μαργαριτάρια Σπηλαίων (Cave Pearls)

Τα μαργαριτάρια των σπηλαίων είναι ασβεστιτικά συγκρίματα συγκεντρικής ανάπτυξης που αναπτύσσονται σε ρηχές σπηλαιολίμνες (εικ.31α). Ποικίλουν τόσο στο σχήμα όσο και σε μέγεθος. Συνήθως είναι σφαιρικά, κυλινδρικά, ακανόνιστα, κυβικά ή και εξαγωνικού σχήματος που περιβάλλονται από ακανθοειδείς ασβεστίτες. Το μέγεθός τους μπορεί να είναι μικρότερο ενός κόκκου άμμου μέχρι και 20cm διάμετρο. Γενικά περιέχουν πυρήνα από κάποιο ξένο σώμα όπως κόκκο άμμου. Εμφανίζονται πολυκρυσταλλικά ή και μονοκρυσταλλικά, με τον άξονα ανάπτυξης των κρυστάλλων κάθετο στη στρωμάτωση γύρω από τον πυρήνα.

Εμφανίζονται πολύ συχνά μέσα σε ρηχές κλιμακωτές λίμνες υπερχείλισης (γκουρς). Σε εγκάρσια τομή σε μαργαριτάρι από το σπήλαιο παρατηρείται πυρήνας από θραύσμα μαρμάρου περιβαλλόμενο από ομόκεντρες επιφλοιώσεις ασβεστίτη με ακτινωτά προσανατολισμένους τους κρυσταλλικούς άξονες (εικ.31β).

Η δημιουργία τους συνδέεται με το στάξιμο σταγόνων ακριβώς πάνω από ρηχές λίμνες και την αργή ροή του νερού σε αυτές. Η διαρκής κίνηση είναι απαραίτητη, ώστε να διαφύγει το CO_2 από το διάλυμα και το $CaCO_3$ να αποτεθεί γύρω από κλαστικό υλικό. Το στάξιμο αναταράσσει αλλά δεν περιστρέφει τα μαργαριτάρια, τα στρογγυλοποιεί και τα στιλβώνει. Το σφαιρικό σχήμα προκαλείται από την απόθεση $CaCO_3$ σε όλη την επιφάνεια του υλικού λόγω των αναταράξεων. Η έλλειψη ανατάραξης οδηγεί στη συγκόλληση των μαργαριταριών με το δάπεδο της λίμνης[34].

♦ Σπηλαιόσκονη (Cave Powder)

Η σπηλαιόσκονη αποτελεί ένα ασύνδετο σπηλαιόθεμα που συστατικά του είναι κόκκοι κρυστάλλων διαφόρων ορυκτών με μέγεθος από 10 έως 50μm. Στην σπηλαιόσκονη εμφανίζονται πάνω από 100 ορυκτά με κύριο χαρακτηριστικό το μικρό μέγεθός τους. Το χρώμα της ποικίλει ανάλογα με τη σύστασή της (εικ. 32).

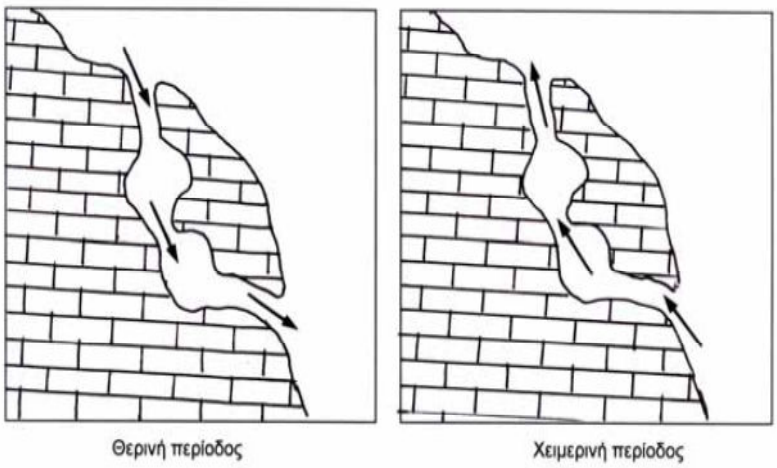
Εικ. 32 Σπηλαιόσκονη

Το πιο κοινό αίτιο δημιουργίας της είναι η αφυδάτωση ένυδρων ενώσεων ορυκτών (κυρίως από $CaCO_3$ αλλά και από $CaSO_4 \cdot 2H_2O$) και η απώλεια κρυσταλλικού νερού[26]. Επίσης η παρουσία ενός ισχυρού οξέος είναι δυνατό να δημιουργήσει σπηλαιόσκονη, όπως του H_2SO_4 με απόθεση $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (εικ.33).

Εικ. 33 Σπηλαιόσκονη

2.7ΣΠΗΛΑΙΟΚΛΙΜΑ

Στα σπήλαια και κυρίως στα ελληνικά σπήλαια η θερμοκρασία κυμαίνεται από 5-20 ^{0}C. Η σχετική υγρασία είναι πάντα πολύ υψηλή, συχνά ξεπερνά το 90 %. Στα σπήλαια που έχουν βάθος οι συνθήκες αυτές είναι ανεξάρτητες του εξωτερικού περιβάλλοντος. Αντίθετα, στα σπήλαια με μικρό βάθος ή τις βραχοσκεπές, η θερμοκρασία αυξομειώνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και εξαρτάται από τον προσανατολισμό του σπηλαίου και το μέγεθος της εισόδου του. Ο ανατολικός ή νότιος προσανατολισμός του σπηλαίου συντελεί στην αύξηση της θερμοκρασίας του, γιατί οι ακτίνες του ήλιου φτάνουν για αρκετές ώρες στη διάρκεια της ημέρας ακόμα και στο εσωτερικό του. Μπορεί επίσης να συμβάλλει στη μεταβολή των συνθηκών του εξωτερικού περιβάλλοντος, εξαιτίας της ικανότητος διατήρησης της θερμοκρασίας, που εμφανίζουν τα πετρώματα των πορειών του[19]. Εάν το σπήλαιο δεν υφίσταται την επίδραση ανέμων, η θερμοκρασία του μπορεί να διατηρηθεί υψηλότερη από την εξωτερική κατά τη διάρκεια του χειμώνα και χαμηλότερη το καλοκαίρι. Σε αυτού του είδους τις συνθήκες ελάχιστοι οργανισμοί μπορούν να επιβιώσουν, κυρίως μύκητες, η ανάπτυξη των οποίων ευνοείται από την αυξημένη υγρασία.

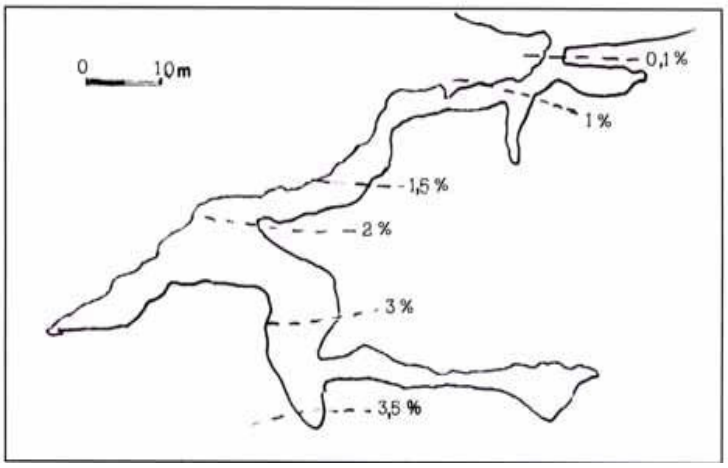


Εικ.34 Κινήσεις αερίων μαζών σε σπήλαια

Το κλίμα των σπηλαίων διαφέρει από το κλίμα της γύρω περιοχής έτσι όταν στο σπήλαιο υπάρχουν δύο οπές σε διαφορετικά υψόμετρα κατά το χειμώνα, που η θερμοκρασία του σπηλαίου είναι μεγαλύτερη του περιβάλλοντος ο

εισερχόμενος από την κάτω οπή αέρας, θερμαινόμενος, ανέρχεται και εξέρχεται από την πάνω οπή παρασύροντας και υγρό αέρα. Κατά την καλοκαιρινή περίοδο η θερμοκρασία της αέριας μάζας του σπηλαίου είναι χαμηλότερη της εξωτερικής και ο αέρας, που μπαίνει από την υψηλότερη οπή ψύχεται, κατέρχεται και διαφεύγει από τη χαμηλότερη οπή (εικ.34)[19]. Όταν υπάρχει μια οπή ο εισερχόμενος αέρας θερμαινόμενος ανέρχεται, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται εντός του σπηλαίου δύο κλιματικές ζώνες. Όσο μεγαλύτερη είναι η υψομετρική διαφορά μεταξύ των δύο εισόδων του σπηλαίου, τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα κίνησης της αέριας μάζας, όπως συμβαίνει στην περίπτωση του «Σπηλαίου των Ανέμων» στην Τουρκία, όπου σε ένα στενό σημείο του σπηλαίου ο άνεμος έχει ταχύτητα 160 km/h. Εάν η θερμοκρασία που δημιουργείται στο σπήλαιο από τον εισερχόμενο αέρα, εποχιακά τουλάχιστον, είναι αρνητική, δημιουργείται ιδιόμορφος σπηλαιολιθωματικός διάκοσμος από πάγο[35]. Το μεγαλύτερο σπήλαιο αυτού του είδους είναι το «Σπήλαιο των Παγωμένων γιγάντων» στην Αυστρία με 10.000 km^2 επιφάνεια επί πάγου και 42 km μήκος διαδρομών.

Όσον αφορά τις τιμές της μερικής πίεσης του CO_2 στον αέρα των σπηλαίων συνήθως είναι από 30 έως 100 φορές περισσότερο από αυτές του ατμοσφαιρικού αέρα. Το ποσοστό CO_2 της γήινης ατμόσφαιρας ως γνωστό είναι περίπου 0,03 %, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό CO_2 στην ατμόσφαιρα του σπηλαίου κυμαίνεται από 1-3%. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται κυρίως σε φυτικούς οργανισμούς που βρίσκονται στην επιφάνεια πάνω από το σπήλαιο. Η μεταφορά του CO_2 γίνεται μέσω του νερού, που διαπερνώντας αυτά τα στρώματα εμπλουτίζεται με CO_2 και όταν βρεθεί στο έγκοιλο, λόγω μικρότερης πίεσης και μεγαλύτερης θερμοκρασίας ελευθερώνει ένα μεγάλο ποσοστό του αερίου, που εξαιτίας του ειδικού του βάρους καταλαμβάνει τα χαμηλότερα επίπεδα του σπηλαίου (εικ.35).



Εικ.35 Τιμές CO_2 στο σπήλαιο βάραθρο Mathurin (Renault,1972)

Άλλα αίτια δημιουργίας CO_2 σε ένα έγκοιλο είναι το ηφαιστειακό πέτρωμα, όπου παρατηρούνται αυξημένα ποσοστά CO_2.

Τέλος σημαντικό ρόλο διαδραματίζει στην εξέλιξη του καρστικού φαινομένου η τιμή της βροχόπτωσης στην συγκεκριμένη περιοχή, μια και η διάλυση του πετρώματος εξαρτάται άμεσα από την ποσότητα νερού που το διαπερνά (Πίνακας 3). Όσο χαμηλότερη θερμοκρασία έχει το μετεωρικό νερό, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα CO_2 μπορεί να διαλύσει[19].

Πίνακας 3 *Βροχοπτώσεις και διάλυση πετρώματος*

Περιοχή	Βροχόπτωση (mm/έτος)	Διάλυση πετρώματος (mm/1000έτη)
Λαπωνία	7000	400
Βέρκορς	1700	120
Νέα Γουϊνέα	6000	320
Μαδαγασκάρη	1430	110

2.8 ΣΠΗΛΑΙΑ ΚΑΙ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η ραδιενέργεια των σπηλαίων είναι αυξημένη, πιθανότατα λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης αργίλου, η οποία επειδή προέρχεται από εκρηξιγενή πετρώματα έχει αρκετή ραδιενέργεια. Για το λόγο αυτό τα σπήλαια χρησιμοποιούνται και από την Ιατρική στις σπηλαιοθεραπείες.

Στα πετρώματα που δομούν το γήινο φλοιό υπάρχουν περίπου πενήντα φυσικώς ραδιενεργά στοιχεία (^{238}U, ^{235}U, ^{232}Th, ^{40}K, ^{210}Rb, ^{14}C και τα ασταθή προϊόντα της διάσπασής τους) τα οποία, κατά τις διαδικασίες των αυθόρμητων διασπάσεων (ή και σχάσεων) εκπέμπουν στο άμεσο περιβάλλον τους ακτινοβολίες είτε σωματιδιακές (όπως οι ακτίνες α και β) είτε ηλεκτρομαγνητικές (όπως οι ακτίνες γ). Στους φυσικούς ραδιενεργούς πυρήνες, η ενέργεια των ακτίνων α (~2-7,5 MeV) είναι περίπου δεκαπλάσια της ενέργειας των ακτίνων β (μερικά KeV μέχρι 15 MeV) και περίπου εκατονταπλάσια των ακτίνων γ (μερικών eV μέχρι 3 MeV). Οι ακτινοβολίες αυτές καθώς και η κοσμική, η οποία αποτελεί μια ροή φορτισμένων σωματιδίων, αλλά και φωτονίων υψηλών ενεργειών εξωγήινης (αρχικώς) προέλευσης, συνθέτουν ένα συνεχές και αέναο φαινόμενο το οποίο εννοούμε ως "φυσική ραδιενέργεια"[20].

Στη διάρκεια δισεκατομμυρίων χρόνων που υπάρχει ζωή στη Γη, ο έμβιος κόσμος είναι συμβατός με τη φυσική ραδιενέργεια. Ωστόσο, ο καθένας από τους παραπάνω συντελεστές αυτού του φυσικού φαινομένου έχει διαφορετική ενέργεια, μετρούμενη σε 'ηλεκτρονιοβόλτ' (eV), και διεισδυτικότητα που μπορούν να καταμετρηθούν με ακρίβεια. Για παράδειγμα, οι ακτίνες α μπορεί να διεισδύσουν μόνο 20-40 μm σε συνήθη πετρώματα, οι ακτίνες β περίπου 2 mm , οι ακτίνες γ περίπου 30 cm και οι κοσμικές ακτινοβολίες μέχρι 15m σε πέτρωμα πυκνότητάς $\rho=2\ g/cm^3$ και μικραίνουν όταν τα πετρώματα είναι υγρά. Θα μπορούσε, συνεπώς, να ισχυρισθεί κανείς πως όταν βρισκόμαστε μέσα σε μια σπηλιά με πάχος πετρωμάτων υπερκείμενων της οροφής μεγαλύτερο των 15 m, τότε 'προστατευόμαστε' από την κοσμική ακτινοβολία, η οποία για τα Ελληνικά πετρώματα αντιστοιχεί περίπου με το 50% της ολικής φυσικής ραδιενέργειας που δεχόμαστε.

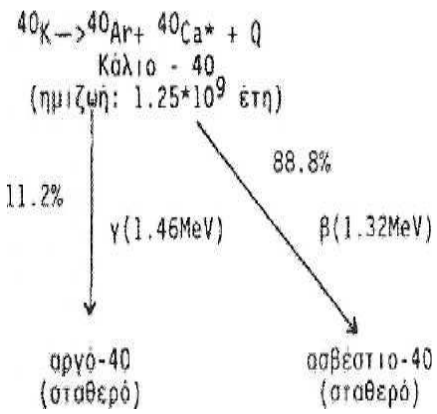
Είναι γνωστό ότι στην Ελλάδα, ποσοστό περίπου 55% των υπαρχόντων πετρωμάτων (συνεπώς και των βουνών) έχουν 'ανθρακική' σύσταση, συνίστανται δηλαδή από ασβεστόλιθους, μάρμαρα και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, σχηματισμούς που έχουν

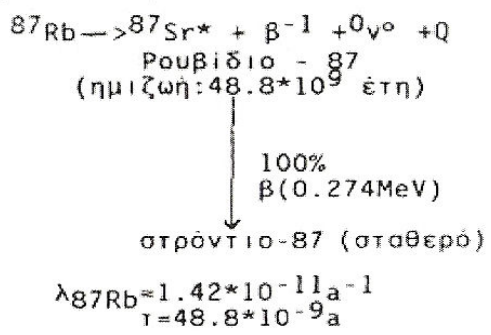
σαν αποκλειστικό ή κύριο συστατικό το ανθρακικό ασβέστιο ($CaCO_3$). Έτσι, όλοι οι υπόλοιποι γεωλογικοί σχηματισμοί που υπάρχουν στην Ελλάδα (γρανίτες, γνεύσιοι, ηφαιστειακές λάβες, λοιπά πλουτώνεια, σχιστόλιθοι, ψαμμίτες, φλύσχες, γύψοι, αλλούβια κλπ) 'μοιράζονται' το υπόλοιπο 45%. Από ραδιομετρική και γεωχημική άποψη, το χαρακτηριστικό αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό: Οι 'ανθρακικοί' γεωλογικοί σχηματισμοί θεωρούνται 'κακοί ξενιστές' του ουρανίου και του θορίου, στοιχεία δηλαδή που όταν υπάρχουν στα πετρώματα συνεισφέρουν με ραδιενέργεια σ' αυτά και στο άμεσο περιβάλλον τους. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι τα μάρμαρα, συνιστάμενα σχεδόν αποκλειστικά από ασβεστίτη έχουν τυπική περιεκτικότητα ουρανίου 0,5-1 ppm (μέρη στο εκατομμύριο ή μg/g) και ακόμη μικρότερη περιεκτικότητα θορίου. Αντίθετα, ο γρανίτης, με κύρια ορυκτολογικά συστατικά το χαλαζία, τους άστριους και τους μαρμαρυγίες, συνήθως περιέχει στο πλέγμα του 3-5 ppm ουρανίου και 8-12 ppm θορίου, συνεπώς ένας γρανιτικός όγκος θα συνεισέφερε στο περιβάλλον με ραδιενέργεια τουλάχιστον 5 φορές περισσότερο από ότι θα συνεισέφερε ο αντίστοιχος όγκος μαρμάρου. Συγκρίσιμα με αυτά του γρανίτη είναι τα επίπεδα φυσικής ραδιενέργειας που εκλύονται και από άλλα αργιλοπυριτικά πετρώματα, π.χ. σχιστόλιθοι, ηφαιστειακά, πυριτικοί ψαμμίτες και μερικές άργιλοι. Τα ανθρακικά πετρώματα, με τη σειρά τους είναι εκείνα στα οποία κυρίως εμφανίζεται η 'καρστικοποίηση', δηλαδή η φυσική διεργασία διάλυσής τους με αποτέλεσμα τη δημιουργία υπόγειων ή επιφανειακών εγκοίλων και σπηλαίων. Ο μέσος ρυθμός δόσης που καταγράφεται στα Ελληνικά πετρώματα αντιστοιχεί περίπου με το 50% του αντίστοιχου της κεντρικής και βόρειας Ευρώπης. Τούτο οφείλεται στο γεγονός ότι στα πετρώματα που δομούν γεωλογικώς την Κ-Β. Ευρώπη οι ανθρακικοί σχηματισμοί είναι λιγοστοί σε σύγκριση με την Ελλάδα, δεδομένου ότι εκεί επικρατούν οι σχιστόλιθοι, οι συμπαγείς πυριτικοί ψαμμίτες τα 'πυριγενή' πετρώματα και τα ιζηματογενή που έχουν προκύψει από την αποσάθρωση, διάβρωση και εναπόθεση των προηγούμενων. Έχουμε συνεπώς, στην Ελλάδα συγκριτικά χαμηλότερη φυσική ραδιενέργεια από την αντίστοιχη της υπόλοιπης Ευρώπης, και ακόμη χαμηλότερη στα σπήλαιά μας, χωρίς τούτο να σημαίνει ότι τα ευρωπαϊκά πετρώματα είναι 'ραδιενεργά', απλά ταξινομούνται στις υψηλότερες βαθμίδες των αναμενόμενων για τον καθένα γεωλογικό σχηματισμό επιπέδων φυσικής ραδιενέργειας.

Δεν λείπουν, ωστόσο από την Ελλάδα οι μικρές και μεγάλες 'ραδιενεργές ανωμαλίες', δηλαδή περιοχές ή σημεία με φυσική ραδιενέργεια μεγαλύτερη κατά 2,5 -και πάνω- φορές από την εκάστοτε αναμενόμενη τιμή φυσικής ραδιενέργειας του γεωλογικού σχηματισμού από τον οποίο δομείται η καθεμιά περιοχή. Έχουν, άλλωστε, εντοπισθεί και χαρτογραφηθεί οι περιοχές αυτές, όπως προαναφέρθηκε. Και ακόμη, από υγειοφυσική άποψη, έχει εκτιμηθεί ότι, γενικά, δεν είναι επικίνδυνη για τον ανθρώπινο οργανισμό η έκθεσή μας σ' αυτές [36].

2.8.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΣ ΣΕΙΡΕΣ ΣΤΑ ΣΠΗΛΑΙΑ

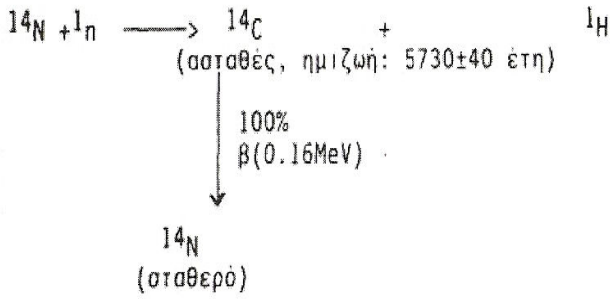
Το μεγαλύτερο ποσοστό της φυσικής ραδιενέργειας του γεωλογικού σχηματισμού προέρχεται από το κάλιο, θόριο και το ουράνιο. Το υπόλοιπο ποσοστό προέρχεται από το ρουβίδιο, το ραδιενεργό άνθρακα και τις κοσμικές ακτινοβολίες. Η ραδιενέργεια του καλίου οφείλεται στο ισότοπο ^{40}K , το οποίο αποτελεί το 0,0117% του συνολικού υπάρχοντος καλίου στα πετρώματα. Κατά την διάσπαση του ^{40}K , εκπέμπονται ακτινοβολίες β και γ και παράγονται τα σταθερά ισότοπα ^{40}Ca και ^{40}Ar. Ενώ η ραδιενέργεια του ρουβιδίου οφείλεται στο ισότοπο ^{87}Rb, το οποίο αποτελεί το 27,8 % του συνολικού υπάρχοντος ρουβιδίου στα πετρώματα. Κατά την διάσπαση του ^{87}Rb, εκπέμπονται μόνο μικρής ενέργειας ακτίνες β και παράγεται το σταθερό ισότοπο ^{87}Sr.



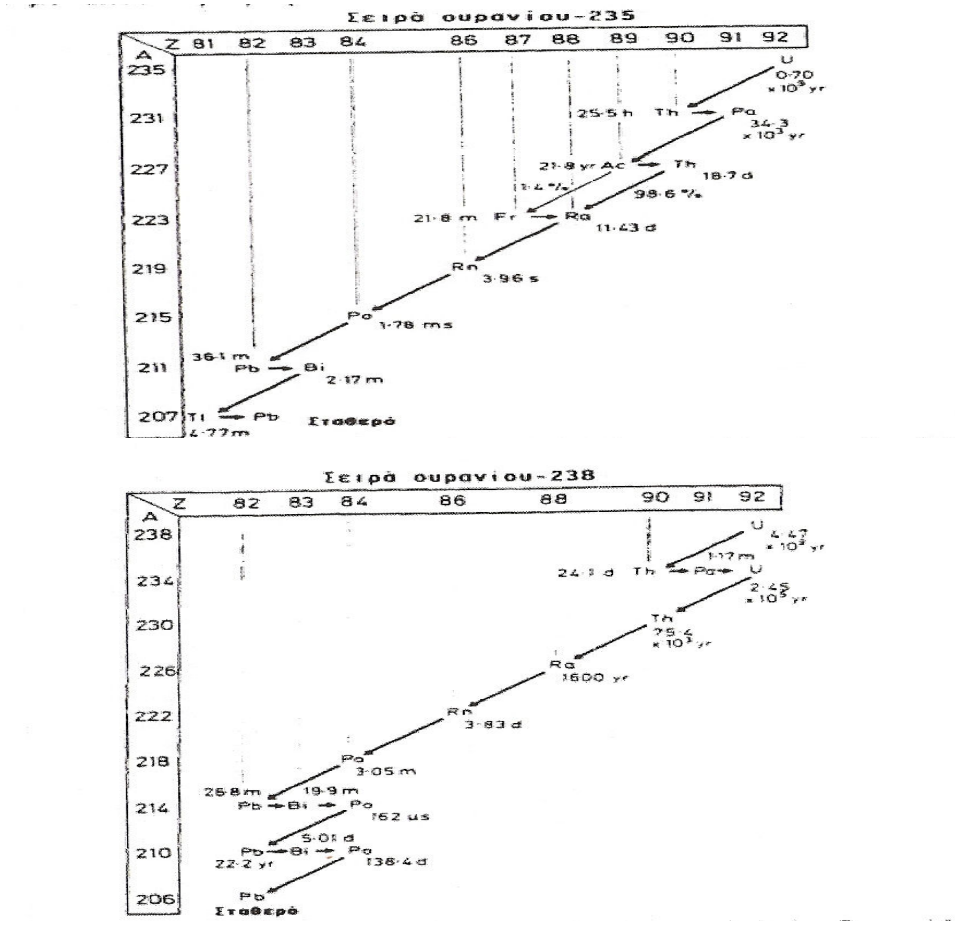


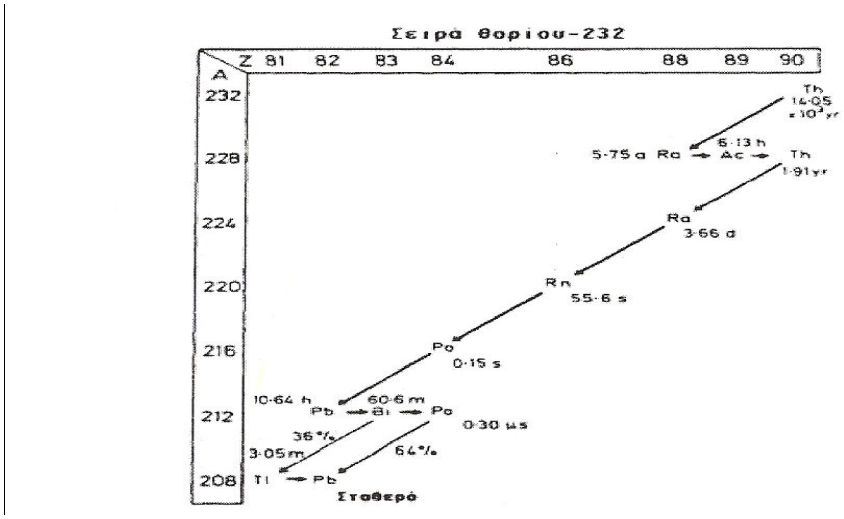
Εικ.36 Διαγραμματική παράσταση της ραδιενεργού διάσπασης K-40, Rb-87 και C-14.

Ο ραδιοάνθρακας παράγεται στη φύση από μία πυρηνική αντίδραση κατά την οποία το ατμοσφαιρικό άζωτο βομβαρδίζεται από νετρόνια που παράγονται από την πρόσπτωση της κοσμικής ακτινοβολίας στις ανώτερες στιβάδες της ατμόσφαιρας. Ο σχηματισμός και η ραδιενεργός διάσπαση του ^{14}C παριστάνονται σχηματικά ως εξής:



Ο ρυθμός φυσικής παραγωγής C-14 είναι χαμηλός περίπου 7,5 kg C-14 που παράγονται ετησίως σε παγκόσμια κλίμακα. Οι χαμηλής ενέργειας ακτίνες β που εκλύονται από την διάσπαση του συνεισφέρουν μόνο 0,03 mGy ανά έτος σε συνηθισμένης ανθρακικής σύστασης σπηλαιοθέματα, συνεπώς η ετήσια δόση που οφείλεται σε C-14 είναι αμελητέα. Το ρουβίδιο συνεισφέρει στο ρυθμό δόσης με 46,8 μGy ανά έτος, συνεπώς η ετήσια δόση που οφείλεται σε Rb-87 είναι αμελητέα. Οι τιμές του ρυθμού δόσης σε συνήθη σπηλαιοθέματα κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 0,12 και 0.85 mGy ανά έτος[20].





Εικ.37 Σειρά ραδιενεργών διασπάσεων του U-235, U-238, Th-232, αντίστοιχα. Τα μεγάλα βέλη αντιστοιχούν με εκπομπές ακτίνων α, τα μικρά με ακτίνες β

Η συμμετοχή του U στο στερεό φλοιό είναι 0,0004% και η μέση περιεκτικότητα του στο θαλασσινό νερό είναι 1 ppb, αποτελείται από δύο φυσικά ισότοπα U-238 και U-

235 που διαφέρουν μόνο κατά τον μαζικό αριθμό Z. Το U-238 είναι το συνηθέστερο στη φύση και αποτελεί το 99,28% του συνολικού ποσού ουρανίου, ενώ το U-235 συμμετέχει με ποσοστό μόνο 0,72%. Ο σταθερός λόγος U-238/U-235 στη φύση είναι ίσος με 137,89.

Στα παραπάνω σχήματα παρουσιάζονται οι σειρές των ραδιενεργών διασπάσεων του U-235, U-238, Th-232 με τα ενδιάμεσα στοιχεία που παράγονται και τις εκλυόμενες ακτινοβολίες α, β, γ, μέχρι την παραγωγή του τελικού σταθερού προϊόντος.

2.8.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΩΝ ΣΠΗΛΑΙΩΝ

Στο εσωτερικό των σπηλαίων η υγρασία του αέρα είναι σχεδόν πάντα αυξημένη σε σχέση με την υγρασία του αέρα της ατμόσφαιρας, ακόμα και σε σπήλαια όπου δεν παρατηρείται σταγονορροή από την οροφή τους. Η υγρασία αυτή είναι αυξημένη σε σπήλαια με σταγονορροή και ακόμη μεγαλύτερη σε λιμναία σπήλαια.

Το νερό προερχόμενο από την τροφοδοσία της οροφής ή από τα λιμναία τμήματά του διεισδύει στους πόρους των τραβερτινωδών σπηλαιοθεμάτων σε ποσοστά που κυμαίνονται από 5 μέχρι 30% και καταλαμβάνει τους πόρους των σπηλαιοθεμάτων απορροφώντας ένα ποσοστό των ακτινοβολιών α, β και γ, είτε αυτές προέρχονται από το γύρω περιβάλλον, είτε από το ίδιο το σπηλαιόθεμα, επειδή λειτουργεί ως φίλτρο για την ακτινοβολία. Αυτό έχει ως συνέπεια η ανθρακικής σύστασης ύλη να ακτινοβολεί τελικά λιγότερο απ' ότι εάν η ίδια και το περιβάλλον της ήταν εντελώς ξηρό[20].

2.8.3 ΑΝΟΜΟΙΟΓΕΝΕΙΑ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΙΖΗΜΑΤΑ

Πολύ συχνά οι ασβεστιτικές διαστρώσεις εναλλάσσονται με στρώσεις αργίλου στους ροόλιθους ή τους τραβερτίνες σπηλαίων. Ακόμη συχνότερα εμφανίζονται εναλλαγές λευκών και σκοτεινόχρωμων ασβεστιτικών διαστρώσεων ποικίλλοντος πάχους που μπορεί να ξεκινάει από δέκατα του χιλιοστού. Οι σκοτεινόχρωμες αυτές διαστρώσεις οφείλουν το χρώμα τους σε οξείδια ή υδροξείδια του Fe και σε

αργιλοπυριτικά ορυκτά, τα οποία περιέχουν ουράνιο και θόριο σε υψηλότερες περιεκτικότητες απ' ότι ο ασβεστίτης (Liritzis, 1989)[37]. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται συνήθης περιεκτικότητα U σε αργίλους 2-12 ppm, ενώ η αντίστοιχη περιεκτικότητα σε U σε μια σειρά λευκών ελληνικών σπηλαιοθεμάτων δεν ξεπερνά τα 0,6 ppm U. Επομένως μια λευκή ασβεστιτική διάστρωση θα έχει δεχτεί ακτινοβολία γ από την γειτονική αργιλική διάστρωση (πλουσιότερη σε U και Th) μεγαλύτερης έντασης απ' ότι εάν η γειτονική διάστρωση να ήταν λευκή.

2.8.4 ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ "plate out"

Το φαινόμενο της διαφυγής ραδονίου και της επαναπόθεσης των ακίνητων θυγατρικών προϊόντων (P, Bi, Po) στις επιφάνειες των κλειστών χώρων αποδίδεται επιστημονικά με τον όρο "plate out" και εξηγεί την αύξηση της ραδιενεργής περιεκτικότητας στην επιφανειακές στιβάδες των σπηλαιοθεμάτων και κυρίως αυτών που βρίσκονται υπό λεπτό διαμερισμό (εκκεντρίτες, ελικτρίτες, σπηλαιοσκόνη, κτλ).

Στη σειρά ραδιενεργών διασπάσεων των στοιχείων U-238, U-235 και U-232 και Th-232 εμφανίζεται και ενδιάμεσο ραδιενεργό στοιχείο ραδόνιο (Rn) (εικ.39), το οποίο είναι αέριο[20]. Στη φύση εμφανίζονται τρία ισότοπα του Rn:

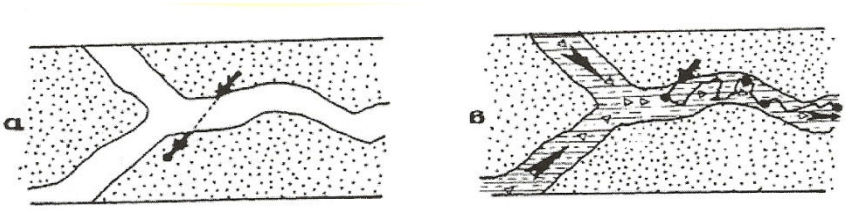
Α) Το Rn-220 που προέρχεται από τη σειρά του Th-232, έχει χρόνο ημιζωής 55,6 s και μεταστοιχειώνεται σε στερεό Po-216 με εκπομπή ενός σωματιδίου α.

Β) Το Rn-219 που προέρχεται από τη σειρά του U-235, έχει χρόνο ημιζωής 3,96 s και μεταστοιχειώνεται σε στερεό Po-215 με εκπομπή ενός σωματιδίου α.

Γ) Το Rn-222 που προέρχεται από τη σειρά του U-238, έχει χρόνο ημιζωής 3,83 s και μεταστοιχειώνεται σε στερεό Po-218, με εκπομπή επίσης ενός σωματιδίου α.

Το τρίτο ισότοπο (Rn-222) ενδιαφέρει επειδή έχει σχετικά μεγάλο χρόνο ημιζωής, 3,83 ημέρες και επειδή προέρχεται από το κύριο ισότοπο του U-238 (99,3%). Το ραδόνιο, ως αέριο, είναι ικανό να διαφεύγει μέσω των πόρων των πετρωμάτων και να

αιωρείται στην ατμόσφαιρα μέχρις ότου μεταστοιχειωθεί στο επόμενο στερεό στοιχείο. Σε περιπτώσεις κλειστών ή μετρίως αεριζόμενων χώρων όπως είναι τα καρστικά έγκοιλα το φαινόμενο αυτό ακολουθείται και από επικάθηση του θυγατρικού στοιχείου πολωνίου στην επιφάνεια των τοιχωμάτων του έγκοιλου και συνέχιση της ραδιενεργού διάσπασης, από Po-218 μέχρι Po-206 σε άλλη θέση από αυτή του μητρικού πυρήνα. Το ποσοστό διαφυγής του Rn είναι συνάρτηση του πορώδους και του πληθυσμού των μικρορωγμών κι εξαρτάται σημαντικά από το ποσοστό της υγρασίας του πετρώματος που εμπεριέχει τους πυρήνες ουρανίου (εικ.38).



Εικ. 38 Ο ρόλος της υγρασίας στη διακίνηση ραδονίου μέσα σε πορώδη σπηλαιοθέματα. α. Ξηρό πορώδες σπηλαιόθεμα, όπου οι πυρήνες του αερίου ραδονίου που εκλύονται κοντά στην εσωτερική επιφάνεια των πόρων (μέχρι βάθους 0,02m) αποτίθενται στην απέναντι επιφάνεια του σπηλαιοθέματος και συνεχίζουν την ραδιενεργό διάσπαση.

β. Υγρό πορώδες σπηλαιόθεμα, όπου το ραδόνιο εισέρχεται στο νερό που πληροί τον πόρο και το ραδόνιο πιθανά παρασύρεται έξω από τον πόρο και διαφεύγει στον αέρα.

Το παράδοξο φαινόμενο ότι στα υγρά πορώδη σπηλαιοθέματα η διαφυγή του Rn είναι εντονότερη απ' ότι όταν τα υλικά είναι ξηρά, εξηγείται ως εξής:

Κατά τον σχηματισμό του Rn η κινητική ενέργεια είναι μικρή και του επιτρέπει να κινηθεί κατά 0,05 μm μέσα σε αργιλούχα στερεά ύλη και μερικές χιλιάδες φορές περισσότερο μέσα στον αέρα. Οι πυρήνες Rn που θα σχηματισθούν στην εσωτερική επιφάνεια των πόρων ενός σπηλαιοθέματος (μέχρι βάθους 0,05μm) θα κινηθούν στο χώρο του πόρου και εάν ο χώρος περιέχει αέρα (ξηρό σπηλαιόθεμα), τότε το Rn

λόγω αρχικής κινητικής ενέργειας θα εκτοξευτεί και θα ενσφηνωθεί στην απέναντι επιφάνεια του πόρου και θα συνεχίσει την ραδιενεργό του διάσπαση, μεταστοιχειωμένου προς Po-218 υπό ταυτόχρονη εκπομπή ενός ακόμη σωματιδίου α. Εάν ο πόρος είναι γεμάτος με νερό (υγρό σπηλαιόθεμα), τότε το Rn θα κινηθεί αργά μέχρι την έξοδο του πόρου και θα διαφύγει στον αέρα του σπηλαίου ως αέριο[20].

2.8.5 ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟΣ ΑΝΙΣΟΡΡΟΠΙΑ

Στα σπήλαια η ραδιενέργεια είναι κατά κανόνα ανομοιογενώς κατανεμημένη μεταξύ ασβεστιτικής σύστασης σπηλαιοθεμάτων και κλαστικών ιζημάτων (αργίλων, άμμων κ.λ.π.). Η ραδιενέργεια των ασβεστιτικών σπηλαιοθεμάτων είναι κατά πολύ μικρότερη της ραδιενέργειας των κλαστικών υλικών, ενώ τα επίπεδα της ακτινοβολίας γ των κλαστικών είναι πολύ υψηλότερα απ' ότι στους ασβεστίτες.

Όταν στο διάκοσμο του σπηλαίου επικρατούν τα λευκά ασβεστιτικής σύστασης πετρώματα, τότε αναμένονται χαμηλά επίπεδα ραδιενέργειας. Ενώ όταν στα πληρώματα επικρατούν τα κλαστικά ιζήματα αργιλοπυριτικής σύστασης {π.χ. ιλύς, ερυθρά γη-terra rossa), τα οξείδια και υδροξείδια (συνήθως Mn και Fe όπως π.χ. ο λειμωνίτης) και τα οργανικής προέλευσης υλικά. (π.χ. γκουανό-περιττώματα νυχτερίδων), τότε αναμένεται σχετικά υψηλότερα επίπεδα ραδιενέργειας, συγκρίσιμα με το επίπεδο ραδιενέργειας των συνήθων, εκτεθειμένων στον αέρα, αργιλούχων εδαφών. Η παραπάνω διαφοροποίηση αυτών των δύο κατηγοριών πληρωμάτων σπηλαίων, έγκειται στην διαφορετική περιεκτικότητα των ραδιοστοιχείων. Η περιεκτικότητα σε ουράνιο των καθαρών ασβεστιτικών σπηλαίων είναι συνήθως κάτω από 1 ppm (η διακύμανση της είναι από 0,005 μέχρι και άνω των 5 ppm (Schwarcz, 1989)[38]. Συστηματικά χαμηλότερη του ουρανίου είναι η περιεκτικότητα του θορίου Th στους ασβεστίτες αυτούς ενώ η συγκέντρωση του K-40 είναι σχεδόν αμελητέα. Η συνήθης περιεκτικότητα ουρανίου σε ελληνικούς χερσογενείς ασβεστίτες κυμαίνεται περί το 0,1 ppm ενώ η περιεκτικότητα του θορίου είναι συνήθως κάτω των 0,05 ppm. Αντίθετα, η συνήθης περιεκτικότητα των ανωτέρω ραδιοστοιχείων είναι σε αργιλούχα ιζήματα σπηλαίων είναι 3 ppm U, 9 ppm Th και 1 % K (Grun, 1989a)[39]. Το αίτιο αυτών των διαφορών στις ανωτέρω περιεκτικότητες είναι καθαρά γεωχημικό και οφείλεται κατά ένα μέρος και στη ραδιενεργό ανι-

σορροπία. Πιο κάτω γίνεται μια πιο διεξοδική ανάλυση της ραδιενέργειας που εμφανίζουν τα κλαστικά ιζήματα έναντι των λευκών ασβεστιτικών ιζημάτων[20].

2.8.6 ΚΛΑΣΤΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ

Αργιλοπυριτικής σύστασης κλαστικά ιζήματα συμπαρασύρονται με το νερό που καταδύεται μέσω των επιφανειών ασυνέχειας των καρστικοποιημένων σχηματισμών και αποτίθενται σε διαστρώσεις, αναμείξεις με ασβεστίτες ή σε έγκοιλα του εκάστοτε πυθμένα των καρστικών εγκοίλων. Έτσι ένα ποσοστό U και K είναι δυνατό να διακινηθεί λόγω απόπλυσης και να μετακινηθεί σε βαθύτερους ορίζοντες. Επίσης, υλικά οργανικής προέλευσης, π.χ, ρίζες φυτών ή ξύλα που βρίσκονται σε σήψη και μέσα σε αργιλούχα ιζήματα σπηλαίων, δημιουργούν τοπικά αναγωγικές συνθήκες και προσροφούν εκλεκτικά U από το διαλυμένο στο υπόγειο νερό (Schwarcz, 1989)[38]. Εκλεκτική προσρόφηση ουρανίου παρουσιάζουν και τα οργανικής προέλευσης φωσφορούχα ιζήματα, π.χ. γκουανό από περιττώματα νυχτερίδων σε σπήλαια και τα σκελετικά στοιχεία σπονδυλωτών (οστά, οδόντες) που συχνά φιλοξενούνται σε αργιλούχα ιζήματα και στη δομή τους συμμετέχει ο υδροξυαπατίτης $Ca_5(PO_4)_3(OH)$. Το ράδιο αποτελεί ενδιάμεσο προϊόν στις τρεις φυσικές ραδιενεργές σειρές, υπόκειται επίσης σε φαινόμενα έκπλυσης και είναι δυνατό να παρασυρθεί και να αποτεθεί σε βαθύτερους ορίζοντες. [20]

Το φαινόμενο "περίσσειας U-234" εμφανίζεται συχνά στα αργιλούχα κλαστικά ιζήματα επειδή το U-234 παράγεται, από τη ραδιενεργό διάσπαση της σειράς του U-238, αφού έχει μεσολαβήσει η εκπομπή ενός σωματιδίου α ενέργειας 4,19 MeV και δύο άλλων βραχύβιων ισοτόπων ως εξής:

$$\text{U-238} \xrightarrow[-\alpha]{4.47 * 10^9 \text{ έτη}} \text{Th-234} \xrightarrow[-\beta]{24.1 \text{ ημέρες}} \text{Pα-234} \xrightarrow[-\beta]{1.17 \text{ λεπτά}} \text{U-234}$$

Ύστερα από δύο μεταστοιχειώσεις βραχύβιων ραδιοϊσοτόπων (Th-234 και Pα-234) οι οποίες συνοδεύονται και από δύο αβλαβείς για το πλέγμα εκπομπές ακτινών β δημιουργείται το θυγατρικό πλέον άτομο U-234. Το ισότοπο αυτό όμως φιλοξενείται, ύστερα από την αποδιοργάνωση της κρυσταλλικής δομής του ξενιστή-ορυκτού σε νέα θέση με χαλαρότερες δυνάμεις συνοχής. Για το λόγο αυτό, το U-234 υφίστανται οξείδωση από τετρασθενές δυσδιάλυτο σε εξασθενές ευδιάλυτο. Τα διαλελυμένα

ιόντα ουρανυλίου UO_2^{2+} στα φυσικά ύδατα περιέχουν κυρίως ισότοπα U-234 που έχουν μεταναστεύσει κι όχι από μητρικά ιόντα με U-238. Έτσι, το ουράνιο απομακρύνεται από ορισμένους αργιλούχους σχηματισμούς και εναποτίθεται, συνήθως σε βαθύτερους ορίζοντες των ίδιων κλαστικών ιζημάτων οπότε εμφανίζεται περίσσεια U-234.

Το ραδόνιο εξ άλλου, όπως προαναφέρθηκε, είναι δυνατό να διαφύγει μέσω των πόρων των πετρωμάτων στα οποία φιλοξενούνται τα μητρικά στοιχεία των σειρών με συνεπεία να δημιουργηθεί το φαινόμενο "plate out" και να ελαττωθεί η ακτινοβολία που εκπέμπεται από αυτά τα πετρώματα-ξενιστές.

2.8.7 ΛΕΥΚΑ ΑΣΒΕΣΤΙΤΙΚΑ ΣΠΗΛΑΙΟΘΕΜΑΤΑ

Το πετρώματα της κατηγορίας αυτής σχηματίζονται όπως είναι γνωστό στις οροφές, τα τοιχώματα και τα δάπεδα των καρστικών εγκοίλων και υπεύθυνα για τη δημιουργία τους είναι τα υπόγεια νερά με τα ιόντα ουρανίου που κυκλοφορούν στις επιφάνειες ασυνέχειας των πετρωμάτων (εικ.39)[40].

Εικ. 39 Διάγραμμα διακίνησης των χερσαίων υδάτων μέσω επιφανειών ασυνέχειας πετρωμάτων και δημιουργίας σπηλαιοθεμάτων με ελάχιστες ποσότητες UO_2^{2+}(Λυριτζή, 1986)

Το ουράνιο βρίσκεται στα πετρώματα του φλοιού υπό μορφή ορυκτών (κυρίως πυριτικών ενώσεων και οξειδίων), είτε υπό στερεά διάλυση σε μη κρυσταλλικά ορυκτά στην υαλώδη μάζα ηφαιστειτών ή σε ομογενείς κατανομές λιγνιτών. Το ουράνιο απαντάται ενωμένο με τα άλλα στοιχεία με σθένος 4 και υπό την τετρασθενή μορφή του είναι αδιάλυτο. Με την πάροδο του γεωλογικού χρόνου όμως και μέσω διαδικασιών αποσάθρωσης των πετρωμάτων στα οποία φιλοξενείται, το ουράνιο οξειδώνεται σε εξασθενές και υπό τη μορφή αυτή σχηματίζει σύμπλοκα ιόντα με ανθρακικά άλατα που είναι διαλυτά στα χερσαία ύδατα. Η συνηθέστερη ευδιάλυτη ένωση του εξασθενούς ουρανίου είναι το ιόν του ουρανυλίου UO_2^{2+} και τα ιοντικά του σύμπλοκα αποδίδονται με τις μορφές $UO_2(CO_3)_2^{2-}$ και $UO_2(CO_3)_3^{4-}$. Παρακάτω δίνονται μερικές τυπικές χημικές αντιδράσεις του U και του Ra που είναι δυνατό να δεσμευτούν σε οξειδωτικά χερσαία περιβάλλοντα ώστε να επιτείνουν φαινόμενα ραδιενεργού ανισορροπίας[20].

$$UO_2 + H_2O + O \longrightarrow UO_2^{2+} + 2(OH)^-$$
$$UO_2^{2+} + H_2O \longrightarrow UO_2OH^+ + H^+$$
$$UO_2^{2+} + 2CO_3^{2-} \longrightarrow UO_2(CO_3)_2^{2-}$$
$$UO_2^{2+} + 2SO_4^{2-} \longrightarrow UO_2(SO_4)_2^{2-}$$
$$UO_2^{2+} + SiO_3^{2-} + H_2O = UO_2(OH)HSiO_3$$
$$Ra^{2+} + CO_3^{2-} \longrightarrow RaCO_3 \text{ (s)}$$
$$Ra^{2+} + SO_4^{2-} \longrightarrow RaSO_4 \text{ (s)}$$

(Κατά Meakins et al., 1978)

Το αποτέλεσμα των παραπάνω γεωχημικών μεταβολών είναι ότι το ουράνιο μπορεί να αποχωρισθεί από τα θυγατρικά του ραδιοϊσότοπα τα οποία χαρακτηρίζονται από χαμηλότερη διαλυτότητα και από διαφορετική χημική συμπεριφορά. Υπό τη μορφή αυτή τελικά ενσωματώνεται στο πλέγμα του ανθρακικού ασβεστίου, όταν το τελευταίο κατακρημνίζεται από την υγρή φάση κατά το σχηματισμό των ανθρακικής σύστασης σπηλαιοθεμάτων. Δεν συμβαίνει όμως το ίδιο με το θόριο, το οποίο απαντάται ως θυγατρικό των δυο φυσικών ραδιενεργών σειρών του ουρανίου (U-238, U-235), είτε ως μητρικό στοιχείο της σειράς του βορίου (Th-232). Το θόριο εμφανίζεται με σθένος +4, οι ενώσεις του είναι δυσδιάλυτες, δεν οξειδώνεται περαιτέρω και γι'αυτό χαρακτηρίζεται σαν γεωχημικά δυσκίνητο στοιχείο, σε αντίθεση με το γεωχημικά ευκίνητο ουράνιο. Έτσι οι εναποτιθέμενοι λευκοί

ασβεστιτικοί σχηματισμοί σε σπήλαιο (ή τα σπηλαιοθέματα) έχουν μεν μια αρχική μικρή, περιεκτικότητα σε ουράνιο αλλά όχι και σε θόριο. Τέτοιοι σχηματισμοί εμφανίζουν ισχυρή ραδιενεργό ανισορροπία επειδή περιέχουν U-238, U-235, U-234 και αμελητέα περιεκτικότητα σε Th-232. Οι ραδιενεργές σειρές που θα σχηματισθούν από τους μητρικούς πυρήνες U-238 και U-235 θα βρίσκονται επί αρκετές εκατοντάδες χιλιάδες ετών υπό καθεστώς ραδιενεργού ανισορροπίας η οποία θεωρείται ότι μεταπίπτει σταδιακά σε καθεστώς ραδιενεργού ισορροπίας, πάντως μετά την πάροδο 500.000 ετών. Επειδή τα λευκά σπηλαιοθέματα φιλοξενούν κυρίως στη δομή τους το μητρικό στοιχείο U-238 στου οποίου τη σειρά το μακροβιότερο ενδιάμεσο ραδιοϊσότοπο είναι το U-234 με ημιζωή 245000 χρόνια, θα απαιτηθούν 2.5 εκατομμύρια χρόνια για να αποκατασταθεί πλήρης ραδιενεργός ισορροπία στα πετρώματα αυτά.

2.9 ΣΠΗΛΑΙΟΘΕΡΑΠΕΙΑ

Ήδη τα τελευταία χρόνια μεγαλώνει το ενδιαφέρον του κόσμου και σχετικά με την αξιοποίηση των χώρων μέσα στα σπήλαια για τη διατήρηση και ανανέωση της υγείας του ανθρώπινου οργανισμού. Ο άνθρωπος βεβαίως, πριν από πολλά χρόνια, είχε γνωρίσει, ότι ορισμένοι υπόγειοι χώροι διαθέτουν τέτοιες φυσικοχημικές ιδιότητες, που στο σύνολο τους επιδρούν θεραπευτικά σε μία σειρά από ασθένειες του ανθρώπινου οργανισμού. Στη σημερινή εποχή, οι επιστημονικές έρευνες και η ανάλυση των επιστημονικών γνώσεων, ερμηνεύουν βαθμιαία τις συγκεκριμένες ευεργετικές ιατρικές τους επιδράσεις. Αυτήν την στιγμή πλέον γνωρίζουμε ότι οι κυριότεροι παράγοντες είναι οι παρακάτω:

1. Η θερμότητα του αέρος και τα ρεύματα που δημιουργεί

2. Οι αλλαγές και η σχετική υγρασία

3. Η μη παρουσία όζοντος στους χώρους των σπηλαίων

4. Το χαμηλό ή και μηδενικό περιεχόμενο μικροοργανισμών

5. Σωματίδια ραδιενεργά (προϊόντα ραδίου και ακτίνες γ)

6. Η μη παρουσία σκόνης, ενώ υπάρχουν τα μικρά σταγονίδια υγρασίας

7. Το όξινο περιβάλλον και η παρουσία ασβεστίου και μαγνησίου επιδρούν θετικά στην Κλιματοθεραπεία.

Οι σύγχρονες επιστημονικές έρευνες σχετικές με την επίδραση του σπηλαιολογικού περιβάλλοντος στον άνθρωπο, ξεκάθαρα αποδεικνύουν ότι τα σπήλαια εύκολα μπορούν να μετατραπούν σε υπόγεια αναρρωτήρια, όπου θα θεραπεύονται ασθένειες και με την αυξημένη ικανότητα αναζωογόνησης του οργανισμού, όλοι οι παραπάνω παράγοντες επιδρούν θετικά στην υγεία, ανεβάζοντας την φυσική κατάσταση του ατόμου. Και βεβαίως οι παράγοντες αυτοί έχουν ακόμη πιο εξαιρετική σημασία, εφόσον η χρήση τους γίνεται σαν σύνολο. Δεν πρόκειται για τεχνητούς, αλλά για φυσικούς παράγοντες.

Στο σπήλαιο υπάρχει μια ατμόσφαιρα με χαμηλή δυναμική, σε σύγκριση με την εξωτερική, δηλαδή ουσιαστικά ο στατικός αερισμός δεν δημιουργεί αλλαγές οπότε και αρνητικές επιδράσεις στον οργανισμό. Στο περιβάλλον του σπηλαίου υπάρχει υψηλή περιεκτικότητα CO_2, απ' ότι στην εξωτερική ατμόσφαιρα που διεγείρει τα αναπνευστικά κέντρα και ωθεί σε βαρύτερες αναπνοές έτσι ώστε ο ασθενής να εισπνέει μεγαλύτερες ποσότητες θεραπευτικών στοιχείων που υπάρχουν μέσα στο σπήλαιο.

Σημαντικός θεραπευτικός παράγοντας είναι και τα σωματίδια που είναι φορτισμένα με αρνητικό ηλεκτρισμό (γεννιούνται με την επίδραση της Βαλλοηλεκτρικής του Lenard). Τα σωματίδια αυτά κυκλοφορούν στο περιβάλλον του σπηλαίου και κατά την επαφή με τις βλέννες του ανθρώπινου οργανισμού, συγκρούονται με το θετικό ηλεκτρισμό των πυρήνων στις μεμβράνες. Επίσης η υψηλή συγκέντρωση ιόντων ασβεστίου επηρεάζει θετικά την σταθερότητα των κυττάρων του οργανισμού. Και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις γίνεται σημαντική θεραπεία των αλλεργικών ασθενειών όπως είναι το Άσθμα. Το υψηλό περιεχόμενο μαγνησίου φέρνει επιπλέον ευεργετικά αποτελέσματα. Στα φαινόμενα που μέχρι στιγμής ανεπαρκώς έχουν ερευνηθεί και στα οποία δίνεται ιδιαίτερη σημασία ανήκει και η σταθερότητα του ηλεκτρικού πόλου, διότι ο πετρώδης όγκος επιδρά σαν κλωβός Faraday, μη επιτρέποντας αστάθειες ηλεκτρομαγνητικές της εξωτερικής ατμόσφαιρας.

Σχετικά λίγο γνωστή είναι και η σημασία της ραδιενέργειας που ανακαλύφθηκε, αν και σε ελάχιστες δόσεις, στα περισσότερα σπήλαια. Το υγρό και όξινο περιβάλλον στους χώρους των σπηλαίων από πλευράς μικροβιολογικής σημαίνει ότι οι χώροι των σπηλαίων είναι απολύτως ακατάλληλοι για πολλαπλασιασμό και ανάπτυξη βακτηριδίων. Οι κλινικές μελέτες που έγιναν, απέδειξαν ότι αυτοί οι παράγοντες επιδρούν στην αναζωογόνηση του ανθρώπινου οργανισμού. Μελέτες απέδειξαν, ότι οι παράγοντες αυτοί έχουν και επιδρούν θεραπευτικά, βοηθούν στην άμυνα του οργανισμού. Η σπηλαιοθεραπεία μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις παρακάτω περιπτώσεις:

1. Στην θεραπεία χρόνιων βρογχοασθενειών του αναπνευστικού συστήματος - Άσθμα.
2. Αναζωογόνηση ανθρώπινων οργανισμών που εκτίθενται στις εκπομπές ρύπανσης, καυσαερίων και άλλων επιζήμιων παραγόντων των βιομηχανικών περιοχών και νέφος που δημιουργείται στις μεγαλουπόλεις που ζουν.

3. Στη σταθεροποίηση της φυσικής κατάστασης των οργανισμών με χρόνιες παθήσεις, μείωση των προβλημάτων κατά 60-70%.

4. Στη θεραπεία δερματολογικών ασθενειών που προέρχονται από μολύνσεις, αλλεργικής μορφής.

Η μέθοδος μέτρησης των Σπηλαιοθεραπευτικών παραγόντων επεξεργάσθηκε από τη Διεθνή Επιτροπή της UNESCO και δεν διαφέρει από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στην κλιματολογία και στην έρευνα καθαρότητας της ατμόσφαιρας, ραδιομέτρησης και σε παρόμοιες έρευνες. Στην Τσεχία η σπηλαιοθεραπεία εφαρμόζεται 30 χρόνια, ενώ επίσης χρησιμοποιείται και στις παρακάτω χώρες: Ουγγαρία, Ρωσία, Αυστρία, Γερμανία, Ιταλία, Πολωνία, Γαλλία, Ρουμανία. Στην Τσεχία η σπηλαιοθεραπεία εφαρμόζεται επιτυχώς, κυρίως επειδή υπάρχει αρμονική συνεργασία μεταξύ Πανεπιστημίου, Πανεπιστημιακής Κλινικής, Σπηλαιολογικής Εταιρείας, Υπουργείου Πολιτισμού και Υγειονομικών οργάνων. Η σπηλαιοθεραπεία εκεί εφαρμόζεται σε παιδιά με άσθμα ηλικίας 5 έως 15 ετών. Η διάρκεια της θεραπείας είναι 21 ημέρες για 4 ώρες ημερησίως. Η θεραπεία αυτή γίνεται σε ορυχεία και σε αλατωρυχεία[42].

2.10 ΒΙΟΣΠΗΛΑΙΟΛΟΓΙΑ

Τα σπήλαια αποτελούν ένα άγνωστο κόσμο για τους περισσότερους από εμάς. Είναι ένα καλλιτέχνημα της Μητέρας Φύσης που οι άνθρωποι καλούμαστε να το προστατεύσουμε, μαζί με όλα αυτά που μας προσφέρει. Στις επόμενες ενότητες θα γνωρίσουμε μια μεγάλη ποικιλία ζωικών και φυτικών οργανισμών που αναπτύσσονται, συντηρούνται, πολλαπλασιάζονται και πεθαίνουν στο «ιδιαίτερο» περιβάλλον των σπηλαίων.

2.10.1 ΠΑΝΙΔΑ

Τα σπήλαια αποτελούν ιδιόμορφα, κλειστά και σταθερά οικοσυστήματα, στα οποία οι τροφικές αλυσίδες είναι απλές και μικρές. Οι εν λόγω ζωντανοί οργανισμοί έχουν μεγάλο βαθμό προσαρμογής στο υπόγειο περιβάλλον. Είδη που τυχαία (π.χ. πτώση, παγίδευση) βρέθηκαν στο περιβάλλον του σπηλαίου δεν επιζούν για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Τα ζώα αυτά είτε επανέρχονται στο αρχικό τους βιότοπο είτε πεθαίνουν παρέχοντας στα σπήλαια σημαντική πηγή θρεπτικών για την κοινωνία των σπηλαίων[43].

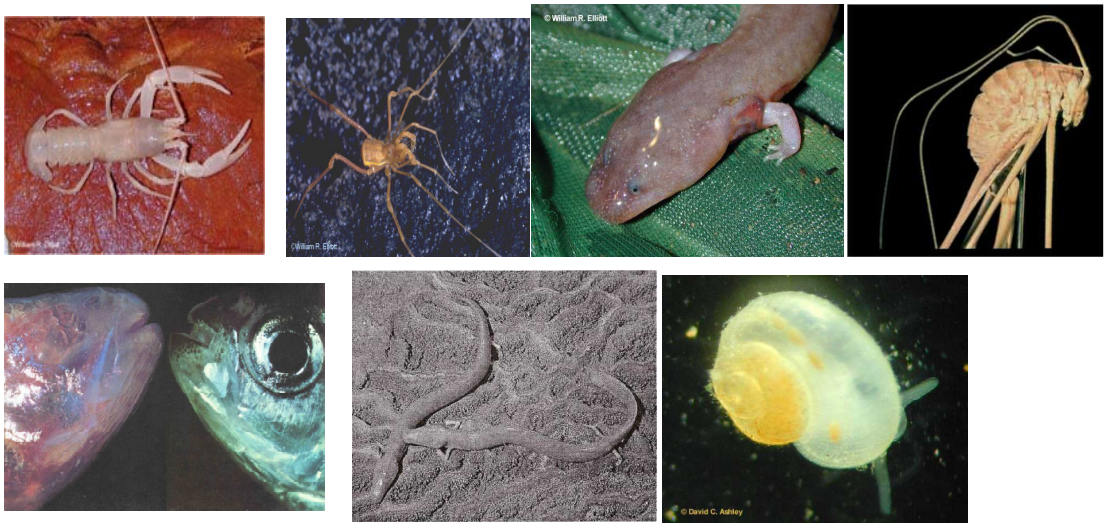
Για να μπορέσουμε να μελετήσουμε αυτή την ιδιαίτερη κατηγορία ζώντων οργανισμών, τα έχουμε χωρίσει στις παρακάτω ομάδες:

- Τρωγλόξενα: είδη που ζουν και στην επιφάνεια της γης αλλά μπορούν να ζήσουν ευκαιριακά στα σπήλαια (νυχτερίδες, ποντίκια, έντομα, διάφορες αράχνες).

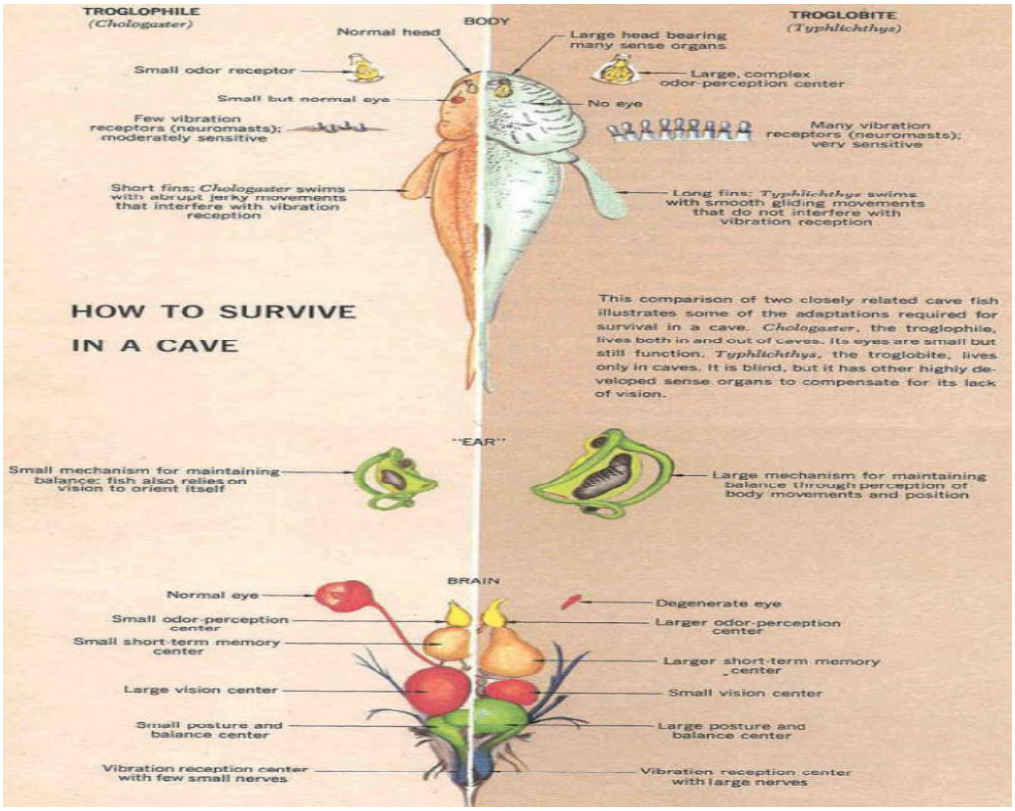
- Τρωγλόφιλα: είδη που με επιτυχία ζουν και αναπαράγονται σε σπήλαια, παραμένοντας σε αυτά από σύμπτωση ή από αδυναμία αντιμετώπισης του αγώνα της ζωής. Τα είδη αυτά, εκτός σπηλαίων, συχνά βρίσκονται σε παρόμοιους βιοτόπους.

- Τρωγλόβια: είδη που αποκλειστικά ζουν σε σπήλαια και χαρακτηρίζονται από ειδικές μορφολογικές και φυσιολογικές προσαρμογές – έχουν προσαρμοστεί πλήρως στο υπόγειο περιβάλλον (Κολεόπτερα, Αραχνίδια, Καρκινοειδή, Σαλαμάνδρες).

- Οι τυχαίοι επισκέπτες είναι τα είδη που μπαίνουν σε υπόγειες κοιλότητες τυχαία. Αυτά, δεν μπορούν να επιβιώσουν στο σπηλαιόβιο περιβάλλον και είτε βγαίνουν, είτε παγιδεύονται εκεί και πεθαίνουν προσφέροντας οργανική ύλη στο οικοσύστημα.



Εικ. 40 Τρωγλόβιοι οργανισμοί και πάνω δεξιά ένας από τους ελάχιστους τρωγλόβιους ζωικούς οργανισμούς που περνά όλη τη διάρκεια της ζωής του σε σπήλαιο είναι ο πρωτέας *(Proteus anguinus),* χαρακτηριστική της προσαρμογής του στο απόλυτο σκοτάδι, είναι η απουσία οφθαλμών. Το συγκεκριμένα είδος ζει στο σπήλαιο της Postojna στη Σλοβενία. Σπηλαιόβιο έντομο της τάξης των Ορθοπτέρων, του γένους Δολιχοπόδων και του είδους Πετροχειλόζι, όνομα που του δόθηκε από τους μελετητές βιοσπηλαιολόγους Lindberg και Chopard το 1953 προς τιμή του ζεύγους Πετροχείλου που πρώτοι το εντόπισαν. Κατοικεί στο βάθος των περισσότερων καρστικών ελληνικών σπηλαίων και κινείται στο απόλυτο σκοτάδι με τη βοήθεια των μεγάλου μήκους λεπτών κεραιών του οι οποίες λειτουργούν σαν εξειδικευμένα όργανα αφής και οσφρήσεως σε αντικατάσταση των υποπλασθέντων οφθαλμών του.



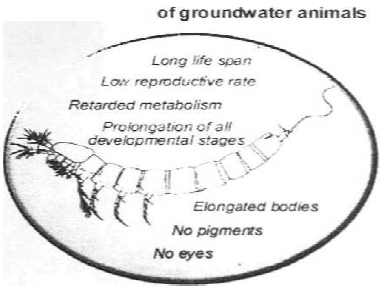
Εικ.41 Προσαρμογές τρωγλόβιων οργανισμών στα σπήλαια

Εντυπωσιακή είναι η ιδιαιτερότητα που ανάπτυξαν οι τρωγλόβιοι οργανισμοί για να επιβιώσουν στις ακραίες συνθήκες του εσωτερικού των σπηλαίων (το φως της ημέρας δε φτάνει ποτέ και η υγρασία είναι μόνιμη). Οι αλλαγές που παρατηρούνται σε σχέση με τους οργανισμούς εκείνους που γνωρίζουμε εκτός σπηλαίων, αφορούν τη δραστηριότητά τους, την ανάπτυξή τους, τη θερμοκρασία, τα αισθητήρια όργανα κ.α.

Εικ.42 *Tadaria brasiliensis Mexicana,* είδος νυχτερίδας συχνά απαντώμενης στα σπήλαια.

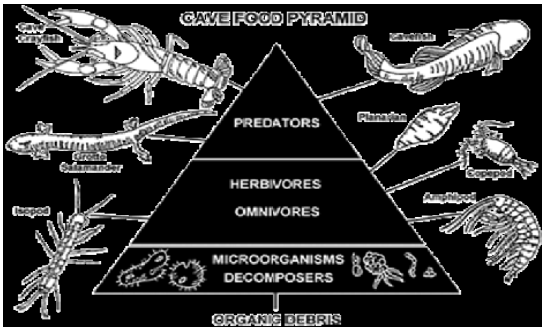
Εικ.43 Τρωγλόξενα

Παρατηρείται οι οργανισμοί αυτοί να έχουν μικρά έως και καθόλου μάτια, να φαίνεται το σώμα τους διάφανο (απουσία χρωστικών), να έχουν λεπτότερο σώμα και άκρα, μακρύτερες κεραίες και ιδιαίτερα ανεπτυγμένους μηχανισμούς ηχο-εντόπισης επιμήκυνση του κύκλου ζωής τους, χαμηλός ρυθμός αναπαραγωγής, επίμηκες σώμα, έλλειψη χρωστικών (εικ.46). Αυτά είναι μερικά από τα χαρακτηριστικά που μπορεί κάποιος να παρατηρήσει[44].



Εικ.44 Ορισμένες προσαρμογές που παρατηρούνται σε τρωγλόβια καρκινοειδή είδη

Παραδείγματα Τρωγλόβιων ειδών: Κολεόπτερα, Αραχνίδια, Καρκινοειδή, Σαλαμάνδρες.



Εικ.45 Τροφική πυραμίδα σε σπήλαια

Παραδείγματα Τρωγλόξενων ειδών των νυχτερίδων είναι:

Tadaria brasiliensis Mexicana: Τα ενήλικα άτομα των νυκτερίδων αυτών είναι καφετιά, τα νεαρά γκρίζα. Οι μητέρες βγαίνουν τη νύκτα από το σπήλαιο για να τραφούν βρίσκουν τα μικρά τους ανάμεσα σε χιλιάδες άλλα επειδή διαθέτουν μνήμη του χώρου, προσωπικές οσμές και ήχους. Τα μικρά γεννιούνται Μάιο-Ιούνιο και μεταναστεύουν τον Οκτώβριο (εικ.42).

Macroderma gigas: Απειλούμενο με εξαφάνιση είδος νυχτερίδας, σήμερα επιβιώνουν περί τα 2000 άτομα. Ζει στην Αυστραλία και έχει σώμα μήκους 20 cm.. Είναι είδος σαρκοφάγο και καννιβαλιστικό, τρέφεται με μικρά βατράχια, σαύρες, νυκτερίδες και μικρά πουλιά.

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες επίσης (εισαγωγή θηρευτών, ρύπανση κ.α.), τείνουν να αλλάξουν την οικολογική σταθερότητα ή προάγουν τον κατακερματισμό φυσικών οικοσυστημάτων και της ζωής που υποστηρίζουν. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την επικράτηση μικρών απομονωμένων πληθυσμών που είναι περισσότερο ευαίσθητοι σε δημογραφικά και περιβαλλοντικά προβλήματα.

Πολλά υδρόβια (αμφίβια, ψάρια, καρκινοειδή) των σπηλαίων έχουν περιορισμένες ευκαιρίες εξάπλωσης (ενδημικά). Η επιβίωση τους επηρεάζεται από τις περιβαλλοντικές αλλαγές (συγκέντρωση νιτρωδών, νιτρικών, θειικών αμμωνιακών ιόντων στο νερό).

Εξαιτίας της απομόνωσης, της μοναδικότητας και των ακραίων συνθηκών που επικρατούν σε ηπειρωτικά όσο και σε παράκτια σπήλαια (αγχίαλα) τα στυγγόβια είδη είναι σπάνια, ενδημικά, και απειλούνται από τη μείωση της στάθμης του νερού και

την υποβάθμιση του. Στην Ιταλία 60 στυγγόβια είδη που ζουν σε υπόγεια ύδατα (σπήλαια και φρέατα-όχι απλά αποθήκες νερού) κατατάσσονται στα απειλούμενα με εξαφάνιση είδη.

Από τα μέσα του 19ου αιώνα έχουν δημοσιευθεί δεδομένα για πάνω από 600 είδη ζώων σε περίπου 280 σπηλιές του Ελλαδικού χώρου. Από αυτά, τα 230 είδη ήταν νέα για την επιστήμη[43]!

2.10.2 ΧΛΩΡΙΔΑ

Η σπηλαιοχλωρίδα απαρτίζεται κυρίως από τρωγλόφιλους φυτικούς οργανισμούς, είτε από ετερότροφους οργανισμούς (περιοριστικός παράγοντας είναι η οργανική ύλη), είτε αυτότροφους οργανισμούς (περιοριστικός παράγοντας είναι το φως). Παραδείγματα τέτοιων οργανισμών που ζουν στα σπήλαια είναι:

- Βακτήρια, ακτινοβακτήρια
- Κυανοβακτήρια (Κυανοφύκη)
- Φύκη (χλωροφύκη, διάτομα)
- Μύκητες
- Βρυόφυτα
- Πτεριδόφυτα
- Ανώτερα φυτά (σπάνια)

Φανερόφυτα, κρυπτόφυτα και λειχήνες εμφανίζονται συνήθως στις εισόδους των σπηλαίων. Ο Lammermayr (1916) τοποθέτησε μερικά βρυόφυτα και πτεριδόφυτα στα τρωγλόβια, θεωρώντας τα «υποχρεωτικά σπηλαιόφυτα».

2.11 ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ ΣΠΗΛΑΙΩΝ

Τα σπήλαια αποτελούν ιδιόμορφα, κλειστά και σταθερά οικοσυστήματα με ποικιλία βιοτόπων (είσοδος σπηλαίου, εσωτερικό, σταλακτιτικός διάκοσμος κ.α.). Οι αβιοτικοί παράγοντες (θερμοκρασία, υγρασία, φως κ.α.) είναι σχετικά σταθεροί. Ο βιοτικός παράγοντας (οργανισμοί) ανάλογα με την μεταβολική ομάδα διακρίνεται σε:

Παραγωγούς: Φυτικοί, φωτοσυνθετικοί μικροοργανισμοί

Καταναλωτές: Φυτοφάγα ή σαρκοφάγα ζώα.

Αποικοδομητές: Βακτήρια, μύκητες και ορισμένα ζώα που αποικοδομούν την οργανική ύλη.

Εικ.46 Ανάπτυξη της μικροχλωρίδας (πράσινης νόσου) στο σταλακτιτικό διάκοσμο του χερσαίου τμήματος του σπηλαίου "Γλυφάδα" του Διρού Κ. Μερδενισιάνος, Αύγουστος 1987

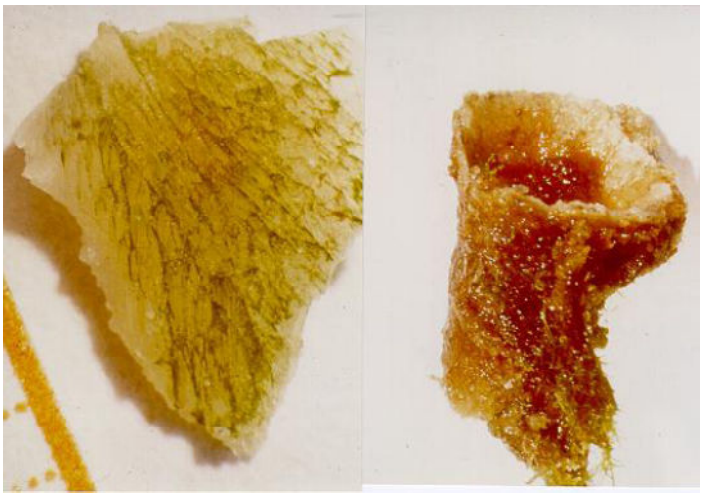
Οι ανθρώπινες επεμβάσεις για τουριστική αξιοποίηση όπως, φωτιστικά σώματα, τσιμεντένιοι διάδρομοι κ.α. επιφέρουν αλλαγές στην οικολογική σταθερότητα των σπηλαίων. Αυτό έχει ως συνέπεια να επηρεάζονται οι αβιοτικοί και βιοτικοί παράγοντες που χαρακτηρίζουν κάθε σπήλαιο. Η ανάπτυξη της μικροχλωρίδας (πράσινης νόσου) στο σταλακτιτικό διάκοσμο προσβάλλει, με καταστρεπτικές συνέπειες το μεγαλύτερο τμήμα του σπηλαίου. Τα αίτια για το «το πρασίνισμα των σπηλαίων» είναι η οργανική ύλη, το φως, οι κατασκευές των ανθρώπινων παρεμβάσεων. Το διαθέσιμο φως αυξάνεται πέρα από το φυσικό φως που εισέρχεται από τα ανοίγματα σπηλαίου και σε συνδυασμό με τον τεχνητό φωτισμό στα

αξιοποιημένα σπήλαια κι αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εγκατάσταση και ανάπτυξη φωτοσυνθετικών οργανισμών γύρω από την φωτεινή πηγή.

Εικ.47 Κυανοβακτήρια που αναπτύσσονται στην εξωτερική κι εσωτερική επιφάνεια νεαρού σταλακτίτη

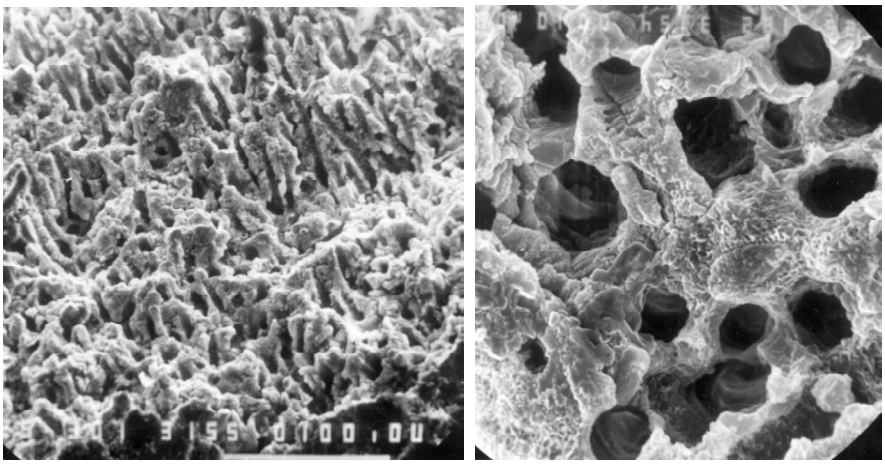
Επιπλέον η οργανική ύλη από τα περιττώματα ζωικών οργανισμών, νεκρών οργανισμών και φερτών υλικών από την ανθρωπογενή επίδραση (κατασκευές, επισκεψιμότητα χιλιάδων ανθρώπων, απορρίμματα) συμβάλλει στην παραπέρα εποίκηση των σπηλαίων και την ανάπτυξη εντυπωσιακής μορφής βλάστησης σε όλη την έκταση του σπηλαίου. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στο σπήλαιο «Γλυφάδα» Διρού εκεί που άλλοτε υπήρχε λευκός διάκοσμος σπηλαιοθεμάτων έχει αντικατασταθεί από ανοιχτόχρωμο λαμπυρίζον χρώμα, κυρίως στα σημεία έντονου φωτισμού και οι τοποθετημένες λυχνίες ψυχρού φωτισμού φαίνεται ότι δεν έχουν περιορίσει την έκταση της αλλοίωσης. Η ανθρωπογενής ρύπανση είναι τόσο προχωρημένη, ώστε το καλοκαίρι του 1986 είχε φυτρώσει κι αναπτυχθεί μέχρι ύψους 8 cm ένα πλατύφυλλο ανώτερο φυτό[20]!

Αλλαγές, σταδιακές ή απότομες των συνθηκών, επιδρούν στον εγκατεστημένο βιολογικό παράγοντα. Είναι φανερό ότι, το πρασίνισμα των σπηλαίων οφείλεται στην μαζική ανάπτυξη φωτοσυνθετικών οργανισμών. Επικρατούν τα κυανοβακτήρια, συμμετέχουν επίσης και άλλα φύκη καθώς και βρύα, όπου αυξάνουν σε έκταση και καλύπτουν αρχικά τις περιοχές του σπηλαίου γύρω από τα φωτιστικά σώματα και στην συνέχεια επεκτείνονται και καλύπτουν και τα γειτονικά σπηλαιοθέματα.



Εικ.48 Θραύσματα σταλακτιτών: Κυανοβακτήρια μεταξύ των κρυστάλλων στην εσωτερική επιφάνεια (δεξιά) και εντυπωσιακές αναπτύξεις κυανοβακτηρίων και βρύων στην εξωτερική επιφάνεια (αριστερά)

Τα κυανοβακτήρια είναι προκαρυωτικοί, φωτοσυνθετικοί μικροοργανισμοί. Στα σπήλαια αναπτύσσονται τόσο επιλιθικά πάνω στην πέτρα, όσο και ενδολιθικά μέσα στην πέτρα. Μια χαρακτηριστική κατηγορία ενδολιθικών κυανοβακτηρίων, τα ευενδολιθικά, διεισδύουν στο εσωτερικό της πέτρας ενεργητικά με χημική διάλυση και σχηματίζουν χαρακτηριστικές μικροσκοπικές σήραγγες και κοιλότητες που προκαλούν απώλεια συνοχής και συνέχειας του δομικού υλικού, καθώς επίσης προκαλούν και χρωματικές αλλοιώσεις των σπηλαιοθεμάτων, λόγω των χρωστικών που περιέχουν[43].



Εικ.49 Ευενδολιθικά κυανοβακτήρια: Μικροσήραγγες σε κατακόρυφη και οριζόντια άποψη

Οι επιπτώσεις όμως στο σπήλαιο είναι δραματικές:

i. Αισθητική υποβάθμιση αφού προκαλείται πρασίνισμα του σπηλαίου.

ii. Αλλαγές στο οικοσύστημα μια και αυξάνεται η θερμοκρασία και επομένως αυξάνονται οι σύνθετες τροφικές αλυσίδες.

iii. Υποβαθμίζεται το σπήλαιο ως μνημείο της φύσης και του πολιτισμού. Παρουσιάζεται διάβρωση και φθορά του φυσικού διακόσμου των σπηλαίων, καθώς και των ανάγλυφων απεικονίσεων σε σπήλαια με αρχαιολογική, θρησκευτική και ιστορική αξία. Χαρακτηριστικές είναι οι περιπτώσεις των ανάγλυφων γλυπτών και επιγραφών του 5^{ου} αιών. π.Χ. στο σπήλαιο Νυμφόληπτου, Βάρης και στην περίπτωση του σπηλαίου Αγ. Σοφία Μυλοποτάμου, όπου οι σταλαγμιτικές επιφάνειες χρησιμοποιήθηκαν ως τέμπλο εκκλησίας.

Εικ.50 Ανάπτυξη της πράσινης νόσου στο σταλακτιτικό διάκοσμο του χερσαίου τμήματος του σπηλαίου Κουτούκι, Παιανίας

2.11.1 ΕΜΜΕΣΟΙ ΚΑΙ ΑΜΕΣΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΕΠΙΘΥΜΗΤΗΣ ΜΙΚΡΟΧΛΩΡΙΔΑΣ

Οι περισσότεροι μέθοδοι για την αντιμετώπιση της ανεπιθύμητης μικροχλωρίδσς περιλαμβάνουν δύο φάσεις:

α) ανάσχεση της ανάπτυξης ή θανάτωση της μικροχλωρίδας και

β) απομάκρυνση της ζωντανής και νεκρής οργανικής ύλης.

Εφαρμόζονται έμμεσοι μέθοδοι που αφορούν στη διαμόρφωση εισόδου σπηλαίου, έλεγχος φωτισμού, καθώς και άμεσοι τρόποι όπως ο καθαρισμός των επιφανειών με χημικά με βιοκτόνες ουσίες (υποχλωριώδες νάτριο σε συνδυασμό με υπεροξείδιο του υδρογόνου σε συγκέντρωση μεγαλύτερη των 30%, χρήση βουτυλικής αλκοόλης) μηχανικά με χρήση χαμηλής πίεσης ζεστού νερού ή ατμού και περιοδική έκθεση σε θερμοκρασίες 70 ^{0}C (Aley, 1972) ή περιοδική έκθεση σε εντάσεις 150-250 W/cm^2 και μήκη κύματος 200-300 nm (Kermode,1975)[43]. Για την αντιμετώπιση της ανεπιθύμητης μικροχλωρίδας την προστασία και τον καθαρισμό των επιφανειών απαιτείται εξειδικευμένη διεπιστημονική γνώση, διεξοδική μελέτη όλων των παραμέτρων, ευαισθησία, προσοχή και συνεχής παρακολούθηση. Οι μέθοδοι που θα επιλεγούν προς εφαρμογή δεν πρέπει να επιβαρύνουν το σπήλαιο ούτε τον περιβάλλοντα χώρο.

Σε τουριστικά αξιοποιημένα σπήλαια πρέπει να γίνονται ορθολογικές παρεμβάσεις και να αποφεύγεται η χρήση υλικών που πιθανά επιφέρουν μη αναστρέψιμες αλλαγές στο οικοσύστημα και ευνοούν την εγκατάσταση και μαζική ανάπτυξη μικροχλωρίδας.

2.12 ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΣΠΗΛΑΙΩΝ

Η προστασία της φυσικής μας κληρονομιάς φτάνει και στην προστασία της βιοποικιλότητας αυτού του ιδιαίτερα ευάλωτου περιβάλλοντος των Σπηλαίων. Η επιβίωση του οικοσυστήματος ενός σπηλαίου έρχεται σε άμεση σύνδεση με τη διατήρηση της βιοποικιλότητάς του και με τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Έτσι η ανθρώπινη επέμβαση θα πρέπει να είναι η λιγότερο δυνατή σε αυτό το κλειστό – απομονωμένο οικοσύστημα του σπηλαίου, με σκοπό την διατήρηση του σπηλαίου κατά το δυνατόν στις φυσικές του συνθήκες. Ο σεβασμός σε αυτό το ιδιαίτερο περιβάλλον θα πρέπει να εκφράζεται σε κάθε επίσκεψη τουριστικού σπηλαίου, αλλά και με ενημέρωση και σωστή πληροφόρηση από τους ανθρώπους που ασχολούνται με την προστασία του.

Οι πιθανότητες μαζικής καταστροφικής "τουριστικής" αξιοποίησης των σπηλαίων μειώνονται δραστικά και με τον τρόπο αντιμετώπισης των θεμάτων προστασίας κατά την διαδικασία της μετατροπής του σπηλαίου σε τουριστικό προϊόν, κατά την

διαδικασία διευθέτησης του δηλαδή, έτσι ώστε να είναι σε θέση να δεχθεί τους τουρίστες.

Η διαδικασία αυτή της αξιοποίησης απαιτεί εξερεύνηση, ακριβή και λεπτομερειακή αποτύπωση κάτοψης του σπηλαίου, ακριβή χαρτογράφηση του εσωτερικού του, διαμόρφωσή του έτσι ώστε να είναι δυνατή η ξενάγηση, εξωραϊσμό του περιβάλλοντος χώρου, πιθανή ανέγερση και λειτουργία τουριστικού περιπτέρου, δημιουργία χώρων στάθμευσης αυτοκινήτων, πιθανή ανέγερση και λειτουργία ξενώνα κλπ.

Όλη αυτή η διαδικασία θα πρέπει να προσχεδιάζεται έτσι ώστε να προκαλεί την μικρότερη δυνατή ζημιά στο σπήλαιο. Καθώς κάθε σπήλαιο έχει ιδιαίτερο τύπο, δεν μπορεί να γίνεται αντιγραφή διευθέτησης για όλα τα σπήλαια, ενώ θα πρέπει να μελετηθούν όλα τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν τα ήδη αξιοποιημένα σπήλαια, ώστε να μην επαναληφθούν τα ίδια λάθη.

Θα πρέπει να διερευνηθεί εάν υπάρχουν αποφάσεις χαρακτηρισμού των σπηλαίων ως αρχαιολογικών χώρων ή χώρων άλλων επιστημονικών ερευνών, ώστε να επιτευχθεί εναρμόνιση της αξιοποίησης και με αυτές τις δραστηριότητες[41].

Σημαντικά θέματα όπως ο κατάλληλος φωτισμός, κυρίως ψυχρός φωτισμός 520-583 nm για την αποφυγή ανάπτυξης μυκήτων και βακτηριδίων, λόγω φωτοσύνθεσης, στους σταλαγμίτες και σταλακτίτες με αποτέλεσμα την τελική καταστροφή τους, η διευθέτηση της τουριστικής διαδρομής και η διαμόρφωση της εισόδου του σπηλαίου, έτσι ώστε να αποφευχθούν ουσιαστικές καταστροφές του διακόσμου και της δόμησης του σπηλαίου, η αποφυγή συνωστισμού για την προστασία της ισορροπίας του ζωντανού οικοσυστήματος και του μικροκλίματος του σπηλαίου και της καταστροφής του διακόσμου, κλπ. Όλα τα παραπάνω μπορούν να επιλυθούν με την χρήση ειδικών λαμπτήρων, ή ακόμη και με την χρήση αν το επιτρέπουν οι συνθήκες, ειδικών ατομικών λαμπτήρων για κάθε επισκέπτη, με τον περιορισμό των τεχνητών διαβάσεων και την χρησιμοποίηση των φυσικών διαδρόμων μέσα στο σπήλαιο - με ελαφρές τροποποιήσεις - με την διευθέτηση του σπηλαίου σε χώρους διαφόρων χρήσεων (τουριστική χρήση, επιστημονική-εκπαιδευτική χρήση, πραγματοποίηση αθλητικής σπηλαιολογίας)[45].

0 συνωστισμός μπορεί να αποφευχθεί επίσης με την οργάνωση των επισκεπτών σε γκρουπ ατόμων περιορισμένου αριθμού, και με την χρήση ειδικών ξεναγών. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η χρήση εξειδικευμένων και κατάλληλα επιμορφωμένων ατόμων, γενικότερα στις θέσεις απασχόλησης που θα δημιουργηθούν από την τουριστική αξιοποίηση κάθε σπηλαίου, θα συμβάλει ουσιαστικά όχι μόνο στην προστασία του από πιθανές βλάβες που μπορεί να προξενήσει ένα "απαίδευτο" τουριστικό πλήθος, αλλά και στην ανάδειξη κάθε επίσκεψης στο σπήλαιο σε μορφωτική δραστηριότητα η οποία συντελεί στην ανύψωση του πνευματικού επιπέδου του κάθε επισκέπτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ο ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΣ ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΣΠΗΛΑΙΩΝ

3.1 Η ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟΥ ΡΟΛΟΥ ΤΩΝ ΣΠΗΛΑΙΩΝ

Τα σπήλαια αποτελούν τα «ζωντανά μουσεία» της φύσης. Τα μνημεία αυτά είναι μοναδικά κι αυθεντικά και επιπλέον αποτελούν πειστική μαρτυρία του παρελθόντος με την παρουσία τους στο παρόν, αναδεικνύοντας έτσι την αιώνια σχέση με το συνεχώς απομακρυνόμενο παρελθόν (Pearce, 2000)[46].

Προσελκύουν το ενδιαφέρον των μαθητών, κεντρίζουν την φυσική τους περιέργεια, ενισχύουν την διάθεση για εξερεύνηση και εμπλουτίζουν την φαντασία τους ανεξάρτητα από ηλικία, καταγωγή και μορφωτικό επίπεδο. Παρέχουν την δυνατότητα να τα βλέπουμε, να τα αγγίζουμε, συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στην βιωματική προσέγγιση της μάθησης. Αποτελούν δίαυλο για την προσέγγιση της ανθρώπινης σκέψης και πράξης, καθώς και των αλλαγών που έχει επιφέρει το πέρασμα του χρόνου σε αυτές, μέσα σε ένα πλέγμα επιστημονικών, κοινωνικών και πολιτισμικών μεταβολών.

Συνδέονται με την καθημερινότητα του ανθρώπου, αντανακλούν με έναν έμμεσο τρόπο τις δραστηριότητές του, τις εμπειρίες και λειτουργούν ως μαρτυρίες της προϊστορικής ανθρώπινης ζωής. Έτσι λοιπόν, πέρα από την καλλιτεχνική ή υλική τους αξία, εμπεριέχουν συναισθήματα αγαλλίασης και προκαλούν το αίσθημα του έντονου θαυμασμού. Οι φευγαλέες εικόνες μέσω των ντοκιμαντέρ, ή μέσω των ηλεκτρονικών υπολογιστών και των φωτογραφικών συλλογών-λευκωμάτων, που αδρανοποιούν την σκέψη και καλλιεργούν την παθητική στάση στο θεατή, έρχονται σε αντίθεση με την επίσκεψη σε ένα σπήλαιο, που δίνει την ευκαιρία σε έναν επισκέπτη, να μελετήσει και να αποκωδικοποιήσει τα πολλαπλά μηνύματα που παρέχουν, δίνοντας έναυσμα και ιδέες για κριτική σκέψη και ανατροφοδότηση. Η μελέτη αντικειμένων βοηθά τους μαθητές να δώσουν τις δικές τους ερμηνείες και να μαθαίνουν, «πώς να μαθαίνουν και να δραστηριοποιούνται», έτσι ενισχύεται ο ρόλος της μεταγνώσης των μαθητών. Η ερμηνεία όμως ενός εκθέματος στο σπήλαιο καθορίζεται από την πρωταρχική γνώση του επισκέπτη, τα πιστεύω και τις ανάγκες του και από ερμηνευτικά στοιχεία που παρέχουν οι ξεναγοί. Τα αντικείμενα δεν «μιλάνε» από μόνα τους, αλλά μόνο σε αυτούς που έχουν την ικανότητα να αποκρυπτογραφούν τα μηνύματά τους.

Οι άτυπες μορφές εκπαίδευσης μπορούν να λειτουργήσουν, είτε συνδεδεμένα με τη σχολική γνώση, είτε ανεξάρτητα από αυτή «παράλληλα» και επικουρικά ως εργαλείο της «δια βίου εκπαίδευσης». Μπορούν συστηματικά να εμπλουτίσουν και να αναβαθμίσουν την ποιότητα εκπαίδευσης και ελεύθερου χρόνου των μαθητών που συμμετέχουν σε αυτές, παρέχοντας τους την δυνατότητα να αποκτήσουν δεξιότητες για τη μελέτη και ερμηνεία του υλικού κόσμου των σπηλαίων, συνδέοντας τον με όλους τους τομείς της ανθρώπινης γνώσης. Με αυτό τον τρόπο συμβάλλουν στον εμπλουτισμό της εκπαιδευτικής γνώσης, πέρα από τα στενά όρια του σχολικού περιβάλλοντος και με διεπιστημονικές προσεγγίσεις εμπλουτίζουν με νέου τύπου γνώσεις, διαμορφώνοντας την προσωπικότητα των νέων και την ευαισθησία και οπτική τους για την φύση.

Σύμφωνα με τον Kuhn (2004) η επιστημονική αλήθεια και η γνώση της πραγματικότητας μπορεί να είναι πολλαπλή, διότι διαμορφώνεται με βάση τη διασύνδεση και διάδραση των σκεπτόμενων ατόμων με το αντικείμενο που μελετούν και με βάση τα ερωτήματα που θέτουν και το εννοιολογικό σύστημα που χρησιμοποιούν[47]. Μέσα σ' αυτό το πλαίσιο η αλήθεια και η πραγματικότητα θεωρούνται σύνθετες έννοιες και η γνώση μια διαδικασία διασύνδεσης των ατόμων με τη πολυσύνθετη πραγματικότητα. Επομένως η γνώση δομείται μέσα από ενεργητικές διεργασίες διερεύνησης, κατανόησης και ερμηνείας. Κατά συνέπεια οι μοντέρνες εκπαιδευτικές μέθοδοι, συνδεόμενες με την αρχή ότι η γνώση, αν και σχετική, αναφέρεται σε μια "απόλυτη αλήθεια", συμβάλλουν στην άσκηση της κριτικής μελέτης και αξιολόγησης των διαφορετικών ερμηνειών της. Οι ερμηνείες αυτές εξαρτώνται από την ίδια την πραγματικότητα αλλά και από το κοινωνικο-ιστορικό πλαίσιο των ανθρώπων και ειδικότερα από τα ερωτήματα που θέτουν. Μέσα σ' αυτό το σύστημα οι μοντέρνες προσεγγίσεις της εκπαίδευσης αποσκοπούν στην ενεργοποίηση όλων των δυνατοτήτων όπου οι νέοι μαθαίνουν «πώς να μαθαίνουν» και «πώς» να δομούν τη γνώση και να ερμηνεύουν την πραγματικότητα μέσα από κριτικό διάλογο. Παράλληλα οι παιδαγωγικές αντιλήψεις και πρακτικές μετατοπίζουν το κέντρο του ενδιαφέροντος τους από το αντικείμενο στο άτομο και στη μαθησιακή διαδικασία όπου κυριαρχεί η ιδέα της διασύνδεσης και της διάδρασης.

Για την γνώση του φυσικού κόσμου κυριαρχούν δύο ρεύματα ο Ρεαλισμός και ο Εμπειρισμός. Σύμφωνα με τον Ρεαλισμό η δομή στον κόσμο είναι ανεξάρτητη από τις ανθρώπινες γνωστικές δυνατότητες (φιλοσοφική προσέγγιση), γι αυτό γνωρίζουμε ή μπορούμε να γνωρίζουμε πίσω από τα φαινόμενα την αληθινή φύση των πραγμάτων (τις οντότητες και τους νόμους σύμφωνα με τους οποίους αυτά αλληλεπιδρούν). Αντίθετα το ρεύμα του Εμπειρισμού υποστηρίζει την χρησιμοποίηση εννοιών από το ανθρώπινο εννοιολογικό οικοδόμημα στη μελέτη του φυσικού κόσμου και γι' αυτό, ακόμα και με τη χρήση πειραματικών διατάξεων, δεν αποκτούμε την αληθινή γνώση, αλλά πρόσκαιρες θεωρίες που στη συνέχεια αλλάζουμε μένοντας εγκλωβισμένοι σε ένα κόσμο εμπειριών που συνεχώς διευρύνεται. Συνεπώς κατά τον Wheatly (1991), όπως αναφέρει ο Matthews (1994) "..δεν ανακαλύπτουμε την αλήθεια, αλλά οικοδομούμε βιώσιμες εξηγήσεις των εμπειριών μας". Είναι λοιπόν φανερό ότι υπάρχει διαφορά εάν πιστεύουμε ότι η γνώση και επομένως η φύση και οι νόμοι, σύμφωνα με τους οποίους λειτουργεί, υπάρχουν ανεξάρτητα από τα υποκείμενα (Ρεαλισμός) από το ότι η γνώση στο νου οικοδομείται από το ίδιο το υποκείμενο (Εμπειρισμός)[48].

Η μάθηση είναι το αθροιστικό αποτέλεσμα ποικίλων ερεθισμάτων και αντιδράσεων και ότι η γνώση ως αποτέλεσμα είναι απλά το σύνολο αυτών των απλών βημάτων (μπιχεβιοριστική προσέγγιση). Στο πλαίσιο της εκπαιδευτικής θεωρίας του συμπεριφορισμού, ο νους είναι ένας άγραφος χάρτης πάνω στον οποίο σχηματίζονται ιδέες μέσω της αισθητηριακής εμπειρίας (Βοσνιάδου Σ. 2002)[49]. Διαφοροποιείται με την αντίστοιχη θεωρία του διδακτισμού, στη θεωρία της γνώσης (εναλλακτικοί τύποι γνώσης της πραγματικότητας), δίνει έμφαση στη διδακτική μέθοδο που ακολουθείται, καθώς υποστηρίζει ότι κάθε ερέθισμα της διδασκαλίας προκαλεί αντίστοιχη αντίδραση στο μαθητή ανεξάρτητα από τις ιδιαιτερότητες του και τη δομή του αντικειμένου της μάθησης. Η διδακτική μέθοδος στην παραδοχή ότι κατάλληλα ερεθίσματα της διδασκαλίας προκαλούν τις αντιδράσεις των μαθητών.

Η θεωρία της ανακάλυψης, μολονότι, συμφωνεί με την παραδοσιακή αρχή του Ρεαλισμού, υποστηρίζει ότι η μάθηση είναι μια ενεργητική διαδικασία. Κατά συνέπεια το ενδιαφέρον της στρέφεται στην παραγωγή κατάλληλου υλικού με σχεδιασμό δραστηριοτήτων και ασκήσεων δράσης έτσι οι μαθητές να ανακαλύπτουν την αντικειμενική γνώση.

Ο εποικοδομητισμός μπορεί να εφαρμοστεί στο χώρο του σπηλαίου, αφού βασίζεται στην εμπειρία, ως δράση και επίλυση προβλήματος, καθώς και οικοδόμησης της γνώσης με σχεδιασμό των κατάλληλων δραστηριοτήτων.

3.2 ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

Για την κατανόηση της «χημικής γνώσης» εντοπίζονται εμπόδια και αναρίθμητες δυσκολίες που οφείλονταν κυρίως στην αφηρημένη φύση της (έννοιες, δομή της ύλης, χρήση συμβολικής γλώσσας, ποσοτικός και μαθηματικός χαρακτήρας). Παράλληλα ο αφαιρετικός τρόπος της χημικής σκέψης, τα διαφορετικά υλικά και γενικά η πολύπλοκη δομή του επιστημονικού είναι λόγοι που καθιστούν το μάθημα, ακόμη και σήμερα, λιγότερο επιθυμητό και δημοφιλές σε σχέση με τα άλλα μαθήματα σε όλο σχεδόν τον μαθητικό πληθυσμό.

Η πολυπλοκότητα του φαινομένου της ανάπτυξης των χημικών εννοιών και φαινομένων όταν τη διδασκαλία οφείλεται στην ανάγκη σύνδεσης της μακροσκοπικής μορφής της ύλης με την μικροσκοπική, (Johnstone,1991)[50] μέσω της χρήσης συμβόλων και συμβολικών αναπαραστάσεων(εικ.51).

Εικ. 51 Τρίγωνο των τριών επιπέδων των χημικών αναπαραστάσεων του Johnstone[51]

Πρόκειται στην πραγματικότητα για μια πολύμορφη διαδικασία, για ένα μηχανισμό μεταφοράς από το συγκεκριμένο ή αισθητηριακά αντιληπτό στο αφηρημένο που καθιστά το μάθημα της Χημείας ιδιαίτερα απαιτητικό και δυσνόητο. Αυτή που δημιουργείται μεταξύ του αισθητηριακά αντιληπτού και των διαφόρων αναπαραστάσεων, συμβάλλει στο να χάνεται η επαφή με τη συγκεκριμένη χημική

έννοια και επομένως να επηρεάζεται η κατανόησή της και να δικαιολογούνται οι παρανοήσεις.

Στο πλαίσιο διερεύνησης του αποτελεσματικότερου τρόπου μάθησης επικράτησαν δύο μοντέλα: α)το εποικοδομητικό (Bodner, 1986)[27] και β) το μοντέλο της επεξεργασίας της πληροφορίας (Johnstone, 1997)[50].

Η θεωρία του εποικοδομητισμού ως μια θεωρία για την ανθρώπινη γνώση και εναρμονισμένη με θέσεις που έχουν αναπτυχθεί στα πεδία διαφόρων επιστημών όπως Γλωσσολογία, Γνωστική Ψυχολογία κ.ά. μπορεί, κατά τον ισχυρισμό αρκετών ερευνητών, να λειτουργήσει ως πλαίσιο μελέτης πολλών πτυχών της εκπαίδευσης της Χημείας. Η γνώση κατασκευάζεται και δεν αφομοιώνεται από τον διδασκόμενο, ένας εκπαιδευτικός είναι ανάγκη να λαμβάνει υπόψη την προϋπάρχουσα γνώση των μαθητών (εναλλακτικές ιδέες και τυχόν παρανοήσεις για το συγκεκριμένο θέμα που μελετάται), να την αξιολογεί και να ερευνά τους τρόπους σύνδεσης της με αυτή που προτείνει το Αναλυτικό πρόγραμμα δημιουργώντας έτσι το κατάλληλο περιβάλλον εμπλοκής των μαθητών με τη νέα γνώση.

Αντίθετα, το μοντέλο επεξεργασίας της πληροφορίας [51] εφάρμοσε τη διαδικασία της μάθησης στηριζόμενο σε δύο βασικά στοιχεία που αποτελούν τον πυρήνα της: α)την επιλεκτική διήθηση της νέας πληροφορίας που προσλαμβάνεται αισθητηριακά, γεγονός που καθορίζεται από την προϋπάρχουσα πληροφορία για το δεδομένο θέμα και β)την αλληλεπίδραση της επιλεγμένης νέας πληροφορίας (κωδικοποιημένη οπτική παράσταση) με την αρχική γνώση που ανασύρεται από την μακροπρόθεσμη μνήμη, στον περιορισμένο χώρο της βραχύχρονης μνήμης. Πληροφορίες από το περιβάλλον με τη μορφή ερεθισμάτων εισέρχονται στο γνωστικό σύστημα και γίνονται αντικείμενο επεξεργασίας από μια σειρά επιμέρους συστημάτων, όπως η αντίληψη και η μνήμη (εικ.54). Η αντίληψη είναι μια διαδικασία ερμηνείας των πληροφοριών που εισέρχονται στον εγκέφαλο, μέσω των αισθητηρίων οργάνων, για την σχηματοποίηση αντικειμένων, εικόνων, ήχων, προτάσεων. Ενώ η μνήμη θεωρείται μια λειτουργία που αποτελείται από τρία στάδια: την κωδικοποίηση, την αποθήκευση και την ανάσυρση.

Εικ. 52 Μοντέλο επεξεργασίας πληροφοριών

Σημαντικό επίσης είναι να αναφερθούν δύο διεθνείς τάσεις στην διδακτική των Φυσικών Επιστημών, τον «επιστημονικό αλφαβητισμό» και την «επιστημονική καλλιέργεια». Ο όρος "επιστημονικός αλφαβητισμός" (UNESCO 2000, OECD 2000, AAAS 1990, Χατζηγεωργίου & Έξαρχος, 2004) [53] η τάση αυτή φαίνεται να οδηγεί σε μια νέα αντίληψη για τη διδακτική των Φυσικών Επιστημών, εφόσον διαφαίνεται μια μετακίνηση από τον καθαρά ακαδημαϊκό προσανατολισμό της σε μια νέα προοπτική που λαμβάνει υπόψη της την χρησιμότητα της γνώσης στην καθημερινή ζωή. Ένα άτομο επιστημονικά εγγράμματο μπορεί και χρησιμοποιεί την επιστημονική γνώση στη μελέτη και κατανόηση επιστημονικών άρθρων, στη λύση πρακτικών θεμάτων προσωπικού ενδιαφέροντος από την καθημερινή ζωή και στη λήψη αποφάσεων για θέματα που εμπλέκουν την επιστήμη. Ο Επιστημονικός και Τεχνολογικός Αλφαβητισμός (Ματσαγγούρας Ηλ., 2004)[53] συσχετίζει με οργανικό τρόπο τρία τουλάχιστον στοιχεία:

1. Τις προσωπικές εμπειρίες που συγκροτούν την βιωματική γνώση των μαθητών, τα ενδιαφέροντα τους και τις δυνατότητες τους.

2. Την επιστημονική γνώση, την επιστημονική μεθοδολογία και επιστημονικό λόγο, μέσα από την διαμεσολαβητική παρέμβαση του Αναλυτικού προγράμματος, του σχολικού εγχειριδίου και της διδασκαλίας, ώστε να είναι νοητικά προσπελάσιμη στους μαθητές.

3. Τις κοινωνικές διαστάσεις και τα πολιτικο-ηθικά ζητήματα, που ανακύπτουν μέσα από τις τεχνολογικές εφαρμογές της επιστήμης.

Η «επιστημονική καλλιέργεια» είναι ένας κοινωνικός και εκπαιδευτικός μελλοντικός στόχος. Η επιστημονική γνώση αποτελεί βασική συνιστώσα του πολιτισμού μας και στηρίζεται περισσότερο σε ανθρωπιστικές αξίες, παρά σε οικονομικές και κοινωνικές αξίες (Fourez, 1997, όπως αναφέρει ο Κολιόπουλος Δ. 2004)[54]. Είναι σαφές ότι παρατηρείται μια προσπάθεια αλλαγών σε πολλές χώρες του κόσμου για να καλλιεργηθεί μια γενικότερη επιστημονική παιδεία περισσότερο ρεαλιστική και εφαρμόσιμη μέσα στις σχολικές τάξεις που δίνουν προτεραιότητα στους παρακάτω σκοπούς (Κόκκοτας Π. & Πήλιουρας Π., 2005, σ. 19-20)[48, 55]:

1. Όλοι οι πολίτες είναι ανάγκη να κατέχουν τις Φυσικές Επιστήμες.
2. Τα αναλυτικά προγράμματα θα πρέπει να εντάξουν εκτός από το γνωστικό μέρος και τη διαφορετική φιλοσοφία που αντιπροσωπεύουν οι Φυσικές Επιστήμες (ανθρώπινη, πολιτισμική και ιστορική διάσταση).
3. Ανάπτυξη προγραμμάτων που επιδιώκουν διασύνδεση των Φυσικών Επιστημών με την Κοινωνία, την Τεχνολογία και το Περιβάλλον.
4. Έμφαση στην ποιότητα και όχι στην ποσότητα της ύλης που πρέπει να διδαχθεί.
5. Ανάπτυξη της ικανότητας των μαθητών για τη διά βίου μάθηση.
6. Άνοιγμα του σχολείου στην κοινωνία.

Στην επιστημονική γνώση είναι χρήσιμοι και αναγκαίοι οι ορισμοί, επειδή ταυτοποιούν την εμπειρική και νοητική πραγματικότητα και με αυτόν τον τρόπο διευκολύνουν την ταξινόμησή τους, που είναι βασική λειτουργία της επιστήμης (Halliday & Martin,2004)[56].

3.3 ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΠΟΛΙΤΙΣΜΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΤΩΝ ΣΠΗΛΑΙΩΝ

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρήθηκε μια στροφή στις θέσεις για τη μάθηση υιοθετώντας την αντίληψη πως η μάθηση εμπεριέχει κοινωνικές και πολιτισμικές διεργασίες, θέσεις που απορρέουν από το έργο σπουδαίων θεωρητικών όπως ο Vygotsky και ο Bruner J., (όπως αναφέρουν οι Κόκκοτας και Πήλιουρας, 2005)[55]. Συγκεκριμένα ο Vygotsky υποστήριξε ότι η μάθηση και η γνωστική εξέλιξη του ατόμου είναι κοινωνικά προσδιορισμένες διαδικασίες, ενώ ο Bruner ισχυρίζεται ότι η ανθρώπινη φύση είναι αδιαχώριστη από τον πολιτισμό. Οι θέσεις αυτές ενισχύουν την άποψη ότι τα σπήλαια μπορούν να λειτουργήσουν ως μαθησιακά περιβάλλοντα δίνοντας έμφαση στην αλληλεπιδραστική διάσταση της μαθησιακής διαδικασίας.

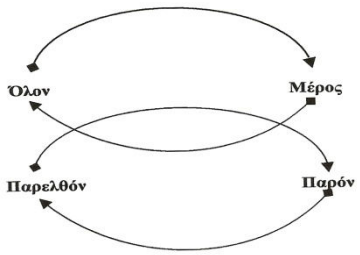
Δεδομένου ότι η κοινωνικο-πολιτισμική προοπτική στο χώρο του σπηλαίου δίνει έμφαση στη δημιουργία νοημάτων, οι Falk και Dierking ανέπτυξαν το αλληλεπιδραστικό εμπειρικό μοντέλο, γνωστό ως πλαισιακό μοντέλο μάθησης (contextual model of learning), ενώ στο χώρο της αγωγής έχει αναδυθεί ένα νέο μοντέλο μάθησης το "Παράδειγμα οικοδόμησης Νοήματος" – “meaning making paradigm”, (Κόκκοτας και Πήλιουρας, 2005)[55].

Σύμφωνα με το πρώτο μοντέλο η μάθηση λαμβάνει χώρα πάντα σε ένα πολυσύνθετο πλαίσιο (πολιτισμικό, κοινωνικό, γνωστικό), με βάση τις προοπτικές και τις αλληλεπιδράσεις μιας κοινωνικής ομάδας με τη χρήση εργαλείων και μέσων που προσφέρει ο πολιτισμός (Vygotsky, 1978)[57]. Παράλληλα η κατασκευή λειτουργικής γνώσης είναι αποτελεσματική σε πολιτισμικό πλαίσιο με αυθεντικές δραστηριότητες και απαιτεί μια σε βάθος χρόνου θεώρηση των πραγμάτων.

Από την άλλη το δεύτερο μοντέλο μάθησης «παραδείγματος οικοδόμησης νοήματος» που έχει αρκετά κοινά με τις εποικοδομητικές και κοινωνικο-πολιτισμικές προσεγγίσεις ισχυρίζεται ότι κατά την αλληλεπίδραση επισκέπτη με το έκθεμα η δραστηριότητα του δεν κατευθύνεται προς την απόκτηση πληροφορίας, αλλά προς μια διαδικασία οικοδόμησης νοήματος. Σύμφωνα με την άποψη αυτή τα άτομα οικειοποιούνται την κουλτούρα αλλά δεν την εσωτερικεύουν όλα με τον ίδιο τρόπο. Η οικοδόμηση νοήματος είναι δηλαδή μια σύνθετη νοητική διαδικασία, η οποία εξαρτάται από την πρωταρχική γνώση του εμπλεκόμενου, τα πιστεύω και τις αξίες

του, αλλά και από τα διερμηνευτικά στοιχεία (συγκεκριμένη εκθεσιακή λογική, ειδικές γνώσεις νοηματοδότησης των αντικειμένων κ.ά.), τα οποία παρέχει το σπήλαιο (εικ.53)[48].

"Βλέπουμε " σύμφωνα με αυτό που "γνωρίζουμε " και "αποκτούμε νόημα " σύμφωνα με ότι "βλέπουμε ".



Εικ.53 Η οικοδόμηση νοήματος είναι μια κυκλική διαδικασία που εμπλέκει το όλον με το μέρος και το παρόν με το παρελθόν.

Η προσέγγιση οικοδόμησης νοήματος μέσω της ερμηνείας ενισχύεται από τη θεωρία της Ερμηνευτικής (η έννοια ερμηνεία χρησιμοποιείται για να δηλώσει την κατασκευή νοήματος ενός ατόμου από την εμπειρία του, κατά Hooper-Greenhill), απαιτεί προσωπική προσπάθεια αλλά είναι μια κοινωνική εμπειρία. Συσχετίζεται στενά συγκρινόμενη με την εποικοδομητική προσέγγιση. Και οι δύο θεωρίες υποστηρίζουν ότι η γνώση αναδύεται μέσω της διερμηνείας της εμπειρίας αυτού που μαθαίνει και δεν μεταφέρεται ως αντικειμενικό σώμα γεγονότων και πληροφορίας[48].

3.4 ΒΙΩΜΑΤΙΚΕΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

Στο χώρο της εκπαίδευσης εφαρμόζονται στις μέρες μας ποικίλες εκπαιδευτικές τεχνικές από τις οποίες μερικές θεωρούνται ιδιαίτερα αποτελεσματικές, όπως η τεχνική της βιωματικής μάθησης, η οποία επικεντρώνεται στο ρόλο που διαδραματίζει η εμπειρία στη διαδικασία της μάθησης. Η παιδαγωγική της βιωματικής εμπειρίας στοχεύει στη διαμόρφωση ενός περιβάλλοντος που δίνει τη δυνατότητα εμπειριών που θα διευκολύνουν τις ενδοψυχικές διεργασίες ιδιοποίησης και διαμόρφωσης του ψυχικού κόσμου, της προσωπικότητας και των επιθυμιών,

αναγκών, κινήτρων και ενδιαφερόντων (Μπακιρτζής, 2000)[58]. Με τον όρο βιωματική μάθηση, εννοούμε τη διαδικασία οικειοποίησης της γνώσης μέσω της εμπειρίας και της αναζήτησης προσωπικού νοήματος που να προωθεί παράλληλα την προσωπική ανάπτυξη των μαθητών, καθώς και την ευαισθητοποίησή τους σε κοινωνικά προβλήματα και σε θέματα ανθρώπινων σχέσεων.

Η βιωματική μάθηση είναι μια διαδικασία μετάδοσης γνώσης μέσω της εμπειρίας, που προωθεί παράλληλα και την ανάπτυξη της προσωπικότητας αυτού που μαθαίνει καθώς και την καλλιέργεια της ευαίσθητης πλευράς του σε κοινωνικά ζητήματα και σε θέματα διαπροσωπικών σχέσεων. Έτσι η βιωματική μάθηση δεν αναφέρεται μόνο σε παιδιά αλλά και σε ενήλικες, ανεξάρτητα από την ηλικία τους. Μέσα από τη συμμετοχή του ατόμου σε διάφορες δραστηριότητες όπως είναι η εργασία, η έρευνα, η παρατήρηση, οι προσομοιώσεις, οι συνεντεύξεις κ.α. επιτυγχάνεται η διανοητική και συναισθηματική εγρήγορση, με απώτερο σκοπό την κατανόηση και την διευκόλυνση της διεργασίας της μάθησης (Κλεάνθους-Παπαδημητρίου, 1980)[59].

Η βιωματική μάθηση είναι σαφώς πιο αποτελεσματική από την κλασσική μάθηση που συνδέεται με την αποστήθιση μακροσκελών κειμένων, την στασιμότητα και τη συμβατικότητα που εύκολα μπορεί να οδηγήσει τον μαθητή σε ανία και σε έλλειψη ενδιαφέροντος. Μέσω της βιωματικής μάθησης ο ενδιαφερόμενος δοκιμάζει έμπρακτα το αντικείμενο και βιώνει ο ίδιος το περιεχόμενό του. Μαθαίνει να σκέφτεται και να συμμετέχει ενεργά στη διαδικασία της μάθησης, να ανακαλύπτει, να ερευνά και θέτει σε ισχύ την φαντασία και τη δημιουργικότητά του. Παράλληλα αξιοποιεί τα βιώματα του μαθητευόμενου κινητοποιώντας τον διανοητικά και συναισθηματικά και τον βοηθά να αντιληφθεί τον εαυτό του και τις δυνατότητες του (Χρυσαφίδης, 1994)[60]. Ο Dewey επισημαίνει τη σχέση ανάμεσα στην εκπαίδευση και τη εμπειρία και αναφέρει χαρακτηριστικά ότι κάθε γνήσια μορφή εκπαίδευσης γεννιέται μέσα από την εμπειρία.

Κάθε βιωματική μαθησιακή δραστηριότητα απαιτεί την ύπαρξη ενός εκπαιδευτικού που θα έχει την ικανότητα να ενεργοποιεί τους μαθητές, να συντονίζει τη διαδικασία της γνώσης και που θα έχει πρότερη εμπειρία σε τέτοιου είδους δραστηριότητες. Έναν εκπαιδευτικό καταρτισμένο και εφοδιασμένο με γνώσεις και δεξιότητες που θα τον βοηθήσουν να κάνει το μάθημα πιο ενδιαφέρον και πιο ευχάριστο εισάγοντας

νέες τεχνικές και που θα είναι έτοιμος να απαγκιστρωθεί από τις παλαιωμένες τεχνικές και να δοκιμάσει νέες ιδέες και πρακτικές (Χρυσαφίδης, 1994)[60].

Η βιωματική μάθηση είναι σίγουρα πολύ πιο αποτελεσματική από την κλασσική εκμάθηση γνωστικής ύλης και δεξιοτήτων καθώς οι μαθητευόμενοι αναλαμβάνουν ενεργό ρόλο σε διάφορες δραστηριότητες ενισχύοντας την ικανότητα τους να λύνουν προβλήματα, να παίρνουν αποφάσεις, να συνεργάζονται και να εκφράζουν ελεύθερα τις ιδέες τους. Δε θα πρέπει όμως σε καμία περίπτωση οι βιωματικές τεχνικές να χρησιμοποιούνται από τους εκπαιδευτικούς σαν μέσο για να εντυπωσιάσουν τους μαθητές ή για να προσελκύσουν το ενδιαφέρον τους, αλλά μονάχα ως βοήθημα για την απόκτηση γνώσεων και ικανοτήτων (Boud, Cohen, & Walker, 1993)[61]. Ο Piaget υποστηρίζει ότι η βιωματική μάθηση δημιουργεί σχέσεις αλληλεπίδρασης μεταξύ του προσώπου και του εξωτερικού περιβάλλοντος (Δεδούλη, 2002)[62].

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι οι μαθητές αναλαμβάνουν να φέρουν εις πέρα απλούστερες ή συνθετότερες διδακτικές δραστηριότητες, όπως οι εξής:

- Προσομοίωση, όπου οι μαθητές προσπαθούν να μιμηθούν μια κατάσταση από την καθημερινή ζωή.
- Υπόδυση ρόλου, όπου ζητείται από τους μαθητές να διαδραματίσουν ένα ρόλο σε μια δεδομένη κατάσταση και συνηθέστερα αξιοποιείται η αντιστροφή των ρόλων.
- Συγκρουσιακή ιδεοθύελλα, που χωρίζει τους μαθητές σε δύο ομάδες και τους καλεί να υπερασπιστούν δύο αντίθετες θέσεις, προβάλλοντας επιχειρήματα.
- Δραματοποίηση, όπου οι μαθητές καλούνται να χρησιμοποιήσουν την υποκριτική τους ικανότητα για την επεξεργασία ενός αφηγηματικού κειμένου.
- Οργάνωση συζήτησης στρογγυλής τραπέζης, όπου κάποιοι μαθητές αναλαμβάνουν ένα θέμα να αναλύσουν και να συζητήσουν από όλες τις πιθανές οπτικές πλευρές, ενώ κάποιοι άλλοι καταθέτουν τις απόψεις ή τις απορίες τους.
- Επισκέψεις σε χώρους πολιτισμικής αναφοράς, όπου οι μαθητές επισκέπτονται μουσεία, σπήλαια, αρχαιολογικούς χώρους και αποκτούν

βιωματική εμπειρία και επιπλέον εάν τους δίνεται η ευκαιρία προχωρούν και σε κριτικό στοχασμό (Δεδούλη, 2002)[62].

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η βιωματική διδασκαλία ικανοποιεί την φυσική ορμή των μαθητών για δράση και δημιουργικότητα, αλλά και ασκείται η παρατηρητικότητα, ενισχύεται η προσοχή, πλουτίζεται η φαντασία, οξύνεται η διάνοια (καταστάσεις που εμπλουτίζουν τον πνευματικό τους κόσμο), ενισχύεται η βούληση και η κοινωνική αγωγή, ενώ παράλληλα διευρύνεται ο συναισθηματικός τους ορίζοντας. Οι κυριότερες αρχές της βιωματικής μάθησης θα μπορούσαν να συνοψιστούν ως εξής[62]:

1. Η βιωματική μάθηση αξιοποιεί τα βιώματα των μαθητών ή προκαλεί νέα βιώματα.

2. Ενθαρρύνει το μαθητή να συμμετέχει ενεργητικά στη διαδικασία της μάθησης και να οικειοποιείται το θέμα που προσεγγίζει, μέσω της επένδυσης προσωπικού ενδιαφέροντος σε αυτό.

3. Τον προτρέπει να ερευνά, να ανακαλύπτει, να ενεργοποιεί τη φαντασία του και τη δημιουργικότητά του.

4. Προωθεί την αυτογνωσία του μαθητή.

5. Προτείνει την αναζήτηση ή τη δημιουργία νοήματος αντί της απομνημόνευσης πληροφοριών.

6. Βοηθά το μαθητή να αντιληφθεί το ρόλο των κοινωνικών, οικονομικών, ιστορικών και πολιτισμικών παραγόντων στη διαμόρφωση του κοινωνικού γίγνεσθαι και να συνειδητοποιήσει τον τρόπο που οι κοινωνικές συνιστώσες συναντώνται με την προσωπική του ιστορία (Postle, 1993)[63].

7. Στοχεύει στην απαρτίωση της νοητικής και συγκινησιακής διαδικασίας, κινητοποιώντας το μαθητή διανοητικά και συναισθηματικά, αφού είναι παραδεκτό ότι η μάθηση βασίζεται στη σχέση και την αλληλεπίδραση γνώσης και συναισθηματικών διεργασιών.

3.5 ΒΙΩΜΑΤΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ ΚΑΙ ΕΥΕΛΙΚΤΗ ΖΩΝΗ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ

Η σύγχρονη αντίληψη πρεσβεύει ότι, για να γίνουν κατανοητά η φύση, το περιεχόμενο και η οργάνωση της σχολικής γνώσης, καθώς και η διαδικασία κατάκτησης της από τους μαθητές, πρέπει η σχολική γνώση να συσχετισθεί όχι μόνο με την επιστημονική, αλλά και με την εμπειρικο-βιωματική γνώση. Μαζί και οι τρεις συγκροτούν, στην προβληματική της διδακτικής, ένα ιεραρχικά οργανωμένο «τριεπιπεδικό σχήμα» μορφών γνώσης, το πρώτο επίπεδο του οποίου απαρτίζει η εμπειρικο-βιωματική, το δεύτερο η σχολική και το τρίτο η επιστημονική γνώση (Κουζέλης 1991, Κουλαϊδής 1995, Κόκκοτας 2002)[53].

Οι διαφορετικές επιστήμες έχουν ως πρώτιστο σκοπό τους, μέσα από τη συστηματική μελέτη του πεδίου τους, να περιγράψουν και, ανάλογα, να εξηγήσουν ή να ερμηνεύσουν τον τομέα της πραγματικότητας που μελετούν. Όταν, όμως, μεταφέρονται στην εκπαίδευση και καθίστανται διδακτικά αντικείμενα του αναλυτικού προγράμματος, πρέπει να προσαρμόσουν τους σκοπούς τους, τόσο στη φύση των μαθητών, όσο και στις γενικότερες επιδιώξεις και τους ρόλους της εκπαίδευσης. Έτσι διατηρούν ως σχολικά μαθήματα μέρος από τους αρχικούς τους σκοπούς, όπως είναι, για παράδειγμα, η κατανόηση γεγονότων ή φαινομένων και των αιτίων που τα προκάλεσαν και, ταυτόχρονα, προσθέτουν νέους σκοπούς που σχετίζονται με τις γενικότερες παιδευτικές επιδιώξεις της εκπαίδευσης, όπως είναι, για παράδειγμα, η ανάπτυξη τρόπων σκέψεως και μεθόδων έρευνας (Καλκάνης 2002)[64], αλλά και η διαμόρφωση συνειδήσεων (Φλουρής και Πασιάς 1997)[65].

Επιπλέον, ενώ στον επιστημονικό χώρο γίνεται λόγος για παραγωγή νέας γνώσης, στην εκπαίδευση οι δυνατότητες των μαθητών περιορίζουν τους γνωστικούς στόχους κάθε γνωστικού αντικειμένου στην επεξηγηματική κατανόηση της γνώσης ή, στην καλύτερη των περιπτώσεων, στη διερευνητική κατανόηση, κατά την οποία οι μαθητές, μέσα από διαδικασίες καθοδηγούμενης διερεύνησης, επανανακαλύπτουν τη γνώση (Ματσαγγούρας, 2000)[66].

Ο πρώτιστος σκοπός της σχολικής γνώσης δεν πρέπει να είναι η προσωπική επανανακάλυψη της γνώσης, αλλά η συστηματική μελέτη του τρόπου με τον οποίο διαφορετικοί επιστήμονες, παλιότεροι και σύγχρονοι, έχουν προσεγγίσει τα διδασκόμενα θέματα (Sutton, 2002)[67]. Η μελέτη των νοηματικών συστημάτων που έχουν δημιουργήσει τα ανθρώπινα όντα είναι σπουδαιότερη για τη σχολική γνώση (των φυσικών επιστημών) απ' ότι είναι η μελέτη της ίδιας της φύσης[53].

Πέρα από τα παραπάνω, η εκπαίδευση ευελπιστεί μέσα από την ποικιλία των διδακτικών αντικειμένων να προωθήσει γενικότερες παιδευτικές επιδιώξεις, όπως είναι, για παράδειγμα, η ανάπτυξη τρόπων σκέψης, η καλλιέργεια της δημιουργικότητας, η ανάπτυξη κοινωνικής και εθνικής συνείδησης, η ανάπτυξη δεξιοτήτων επικοινωνίας και συνεργασίας, η ευαισθητοποίηση σε τοπικά και παγκόσμια προβλήματα, η ανάπτυξη ενός συστήματος αξιών, η κοινωνικοποίηση και η προώθηση των μαθητικών ενδιαφερόντων, η προετοιμασία του μαθητή για τις απαιτήσεις της ζωής, η έμπνευση στους μαθητές οικουμενικών οραμάτων για ισότητα, δικαιοσύνη, ελευθερία, μόρφωση, ειρήνη, οικολογική ισορροπία, αλληλεγγύη και η ανάπτυξη του αισθήματος της κοινωνικής αλλαγής και της αποδοχής του διαφορετικού.

Όλα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω παραπέμπουν, μέσω της Βιωματικής διδασκαλίας, σε ανοιχτές διδακτικές διαδικασίες και σε ανοικτά Προγράμματα σπουδών, όπως είναι η Ευέλικτη Ζώνη δημιουργικών δραστηριοτήτων-καινοτόμων δράσεων. Η πιλοτική της δράση ξεκίνησε κατά το σχολικό έτος 2001-2002 και όπως δηλώνεται στο Βιβλίο του καθηγητή «επιδιώκει την σύνδεση της σχολικής γνώσης με τα ενδιαφέροντα του παιδιού και τις πραγματικές καταστάσεις της ζωής… που στοχεύει στην ανάπτυξη της κριτικής σκέψης και την ενεργοποίηση της δημιουργικότητας των μαθητών,… στην ανάπτυξη στάσεων και δεξιοτήτων που απαιτεί η αυτορυθμιζόμενη μάθηση». « Έχει ελεύθερη θεματική και ενδιαφέρεται για τον εμπλουτισμό της σχολικής ζωής με συναίσθημα, ρυθμό και φαντασία». Το προτεινόμενο σχήμα εργασίας είναι η μέθοδος project που σύμφωνα με αρκετούς παιδαγωγούς σχεδόν ταυτίζεται με τη βιωματική μάθηση. «Τα σχέδια εργασίας-project θεωρούνται ιδανικό πλαίσιο κοινωνικο-πολιτικής ανάπτυξης του παιδιού, λειτουργικός τρόπος μετάβασης από την εννοιοκεντρική διδασκαλία στη διεπιστημονική σύμπραξη, που θεωρούμε

αναγκαία για την κατανόηση πολύπλοκων θεμάτων και τη διαχείριση προβληματικών καταστάσεων με τη βοήθεια της επιστημονικής γνώσης» (Ματσαγγούρας, 2002)[68].

Έχει μεγάλο ενδιαφέρον να δημιουργηθούν δίαυλοι επικοινωνίας μεταξύ των εκπαιδευτικών, ώστε να επιτραπεί η ανταλλαγή απόψεων και εμπειριών, η ανατροφοδότηση, ο αναστοχασμός, η ανανέωση και η θεωρητική στήριξη, όπως επίσης και η διαρκής επιμόρφωση των εκπαιδευτικών με βιωματικό τρόπο. Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε πως η Ευέλικτη Ζώνη δημιουργικών δραστηριοτήτων-καινοτόμων δράσεων, αξιοποιώντας τα βιώματα των μαθητών, ενθαρρύνει τη δημιουργική τους έκφραση, τους εμπλέκει στη διεργασία αναζήτησης νοήματος και προωθεί ένα ζωντανό τρόπο σύνδεσης με τη γνώση[53].

3.6 ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ

Ένα αποτελεσματικό Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από ευελιξία, εύρος, διαθεματική και ολιστική προσέγγιση της γνώσης, αποτελεσματικότητα στην εξοικείωση και χρήση των νέων τεχνολογιών, μεθόδους καλλιέργειας της κριτικής σκέψης και την τάση για παροχή γενικής παιδείας. Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων προτάθηκαν διεθνώς σαφή κριτήρια επιλογής και οργάνωσης της σχολικής γνώσης. Προσπάθεια καταβάλλεται για τη δημιουργία σχημάτων με συνδυασμούς διεπιστημονικών και διαθεματικών προσεγγίσεων και την εξεύρεση του αποτελεσματικότερου τρόπου για την προώθηση τους αν και δεν υπάρχει ακόμη συστηματική έρευνα από την εφαρμογή τους.

Με βάση τους παραπάνω προβληματισμούς και για την ποιοτική αναβάθμιση του εκπαιδευτικού συστήματος, καθιερώθηκε ένα νέο ενιαίο πρόγραμμα σπουδών όπου βασίζεται στη διαθεματική προσέγγιση της γνώσης με την εκπόνηση του Διαθεματικού Ενιαίου Πλαισίου Προγράμματος Σπουδών (Δ.Ε.Π.Π.Σ., Φ.Ε.Κ.1373/18-10-2001). Στη σύνταξη του Δ.Ε.Π.Π.Σ. και των Α.Π.Σ. όλων των μαθημάτων εισάγονται αρκετές καινοτομίες, νέα αντίληψη και φιλοσοφία σχετικά με τη μεθοδολογία της διδακτικής-μαθησιακής διαδικασίας, ενώ προωθούνται οι γενικοί σκοποί της εκπαίδευσης και οι αναδυόμενες από αυτούς αξίες. Ο συνδυασμός των

γνωστικών αντικειμένων με έναν τρόπο που το ένα να αποκαλύπτει τις αθέατες πλευρές του άλλου και ο κοινός τόπος στον οποίο συναντώνται οι θετικές, ανθρωπιστικές και εικαστικές επιστήμες, συμβάλλουν ώστε ο μαθητής να εμπεδώσει το αδιαίρετο της γνώσης[53].

Βασική παραδοχή του Δ.Ε.Π.Π.Σ. είναι ότι η σχολική γνώση πρέπει να διδάσκεται σε ενιαιοποιημένη μορφή για να προσφέρει ολιστικές εικόνες της πραγματικότητας, να συνδέεται με τις εμπειρίες των μαθητών για να είναι κατανοητή και ενδιαφέρουσα και να προσεγγίζεται με διερευνητικές μεθόδους ώστε η γνώση να οικοδομείται σταδιακά. Σύμφωνα με τη φιλοσοφία του ΔΕΠΠΣ, ενώ διατηρούνται τα διακριτά τμήματα, γίνεται προσπάθεια υπέρβασης των ορίων και αναζήτησης "κοινών τόπων" με αφετηρία το περιεχόμενο και την εννοιολογική δομή της ενδοκλαδικής γνώσης του κάθε μαθήματος εμπλουτισμένο με διεπιστημονικές γνώσεις που συναντώνται σε όλους τους επιστημονικούς κλάδους. Προωθώντας τη διαθεματική προσέγγιση, άρα την ολιστική αντίληψη για τη γνώση και την οριζόντια συνοχή των επιμέρους επιστημών, στρέφει τους εκπαιδευτικούς στη χρήση ποικίλων και πολλαπλών πηγών, ενσωματώνει τις αρχές που συνδέονται με την εποικοδομητική μάθηση με ενεργητικό τρόπο, αφήνει περιθώρια πρωτοβουλιών και επινοήσεων και υποστηρίζει την αναφορά σε πολιτισμικές διαστάσεις.

3.7 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ Π.Ε. ΣΤΟΝ ΧΩΡΟ ΤΩΝ ΣΠΗΛΑΙΩΝ

Η μελέτη πεδίου στα σπήλαια είναι ένα βιωματικό «σχολείο» γεωχημείας και βιοποικιλότητας. Ο χώρος των σπηλαίων και τα ευρήματα τους αποτελούν αντικείμενο επιστημονικών μελετών, παιδαγωγικών δραστηριοτήτων και ψυχαγωγικής ενασχολήσεων, παρέχοντας ευρύ πεδίο για την ανάπτυξη της έρευνας και της εκπαίδευσης στα γνωστικά αντικείμενα τόσο των φυσικών, όσο και των ανθρωπιστικών επιστημών (Trimmel 1968)[69].

Στον χώρο των σπηλαίων, η διαπλοκή της γεωλογίας, της ορυκτολογίας, της παλαιοντολογίας, της χημείας, της βιολογίας, της φυσικής ανθρωπολογίας, της αρχαιολογίας, της κοινωνιολογίας, της ιστορίας της τέχνης και του πολιτισμού

επιτρέπει τη δημιουργία διεπιστημονικών ομάδων εργασίας που σε συνεργασία με εκπαιδευτικούς και μαθητές θα προσεγγίσουν, μελετήσουν και διαπαιδαγωγηθούν στο περιβάλλον των σπηλαίων.

Η ανάγκη για περιβαλλοντική εκπαίδευση (Π.Ε.) αναδύθηκε στις περισσότερες δυτικοευρωπαϊκές χώρες και στις Η.Π.Α. κατά την δεκαετία του ΄60 για να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα της εκπαίδευσης ειδικών στα αυξημένα προβλήματα περιβάλλοντος που προέκυψαν εξαιτίας της οικολογικής κρίσης. Στο συνέδριο της Στοκχόλμης (1971) που είχε ως θέμα το ανθρώπινο περιβάλλον επισημάνθηκε ο ιδιαίτερα σημαντικός ρόλος της εκπαίδευσης στην αντιμετώπιση των απειλών του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος. Υπογραμμίστηκε επίσης ότι, όλα τα επίπεδα της εκπαιδευτικής δραστηριότητας πρέπει να προσανατολισθούν σε ένα κοινό στόχο ώστε να συνειδητοποιήσουν τα νεαρά άτομα και οι ενήλικες το επείγον των σύγχρονων περιβαλλοντικών προβλημάτων και να αναλάβουν ατομικά ή συλλογικά πρωτοβουλίες και δράσεις προς την κατεύθυνση της προστασίας του περιβάλλοντος (UNESCO - UNEP 1983, no 1, no 2)[70],[71].

Οι γενικές αρχές για την Π.Ε. ήταν το αντικείμενο του πρώτου διακρατικού συνεδρίου που έγινε στην Τιφλίδα της Γεωργίας το 1977 και οργανώθηκε από την UNESCO σε συνεργασία με την UNEP. Το συνέδριο της Τιφλίδας υιοθέτησε 41 εισηγήσεις με ευρύ φάσμα θεμάτων σχετικά με τις εθνικές και παγκόσμιες όψεις του περιβαλλοντικού προβλήματος. Μεταξύ άλλων αναφέρθηκαν οι σκοποί και το αντικείμενο της Π.Ε, οι κατευθυντήριες αρχές στον σχεδιασμό των προγραμμάτων, η μεθοδολογία ενσωμάτωσης και υλοποίησης της Π.Ε. στα αναλυτικά προγράμματα της γενικής εκπαίδευσης κ.α. Επιπρόσθετα, διεθνείς ομάδες εργασίας συγκροτήθηκαν και στο Βελιγράδι το 1975 όπου συγγράφεται η «Χάρτα του Βελιγραδίου», όπου διατυπώνονται οι στόχοι της Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης. Στην Ελλάδα η Π.Ε. άρχισε να απασχολεί τους κρατικούς φορείς μετά το 1977. Το άνοιγμα του σχολείου στην κοινωνική πραγματικότητα μέσα από νέους θεσμούς και ο προβληματισμός τόσο για το εκπαιδευτικό υλικό στήριξης των προγραμμάτων όσο και για την πολυεπιστημονική και διεπιστημονική προσέγγιση των θεμάτων οδήγησε στο νόμο 1982/90 όπου η Π.Ε. αναγνωρίστηκε ως τμήμα των αναλυτικών προγραμμάτων τον σχολείων και θεσμοθετήθηκε ή λειτουργία του θεσμού του υπεύθυνου Π.Ε. σε κάθε νομό καθώς και δημιουργία Κέντρου Π.Ε. Προς το παρόν

λειτουργεί ένα μόνο κέντρο που βρίσκεται στην Κλειτορία του νομού Αχαΐας, ενώ προγραμματίζεται η λειτουργία και άλλων. Στα πλαίσια των δραστηριοτήτων αυτών έχουν διεξαχθεί στα σχολεία της Πρωτοβάθμιας αλλά κυρίως της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης μεγάλος αριθμός προγραμμάτων Π.Ε[69].

3.8 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

Στα σχολικά προγράμματα οι αρχές, οι στόχοι και η προβληματική της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης Π.Ε. μπορούν να εισαχθούν και να λειτουργήσουν αποδοτικά με την εξής μεθοδολογία (Γεωργόπουλος & Τσαλίκη 1993, Φλογαίτη 1993, UNESCO-UNEP 1985, no 17,19) να αποτελέσουν ένα νέο ανεξάρτητο τομέα με αυτοτελές μάθημα (διεπιστημονικό μοντέλο)[72],[73],[74].

- Να ενσωματωθεί με τη μέθοδο της διάχυσης στο γνωστικό αντικείμενο των ήδη υπαρχόντων μαθημάτων (πολυεπιστημονικό μοντέλο).
- Να υλοποιηθεί μέσω προγραμμάτων (μέθοδος project)
- Να αποτελέσει το αντικείμενο εκπαίδευσης στα Περιβαλλοντικά κέντρα.

Οι δύο τελευταίες στρατηγικές αφορούν μία περισσότερο ενεργητική εκπαιδευτική διαδικασία που χαρακτηρίζεται από δραστηριότητες που διεξάγονται κατά κανόνα εκτός σχολείου γεγονός που διευκολύνει την ανάπτυξη δεξιοτήτων από τους μαθητές.

Επισημαίνεται ότι, η μέθοδος διεκπεραίωσης προγραμμάτων (μέθοδος project), αποτελεί την ευρύτερα διαδεδομένη και την περισσότερο ευέλικτη μέθοδο εφαρμογής στην δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Η διεκπεραίωση ενός προγράμματος εξελίσσεται μέσα από τα παρακάτω στάδια (Γεωργόπουλος & Τσαλίκη 1993)[72].

- Γνωριμία της μαθητικής κοινότητας με την ΠΕ.
- Επισήμανση ενός περιβαλλοντικού θέματος.

- Συζήτηση και ενημέρωση από τους εκπαιδευτικούς για τους στόχους του προγράμματος.
- Οργάνωση της τάξης, σε ομάδες.
- Χωρισμός του θέματος σε υποθέματα.
- Οι μαθητές επιλέγουν το υπόθεμα που επιθυμούν να επεξεργασθούν.
- Αρχή της έρευνας και αναζήτηση πηγών πληροφόρησης.
- Ταξινόμηση των πληροφοριών.
- Προτάσεις και Επεξεργασία πιθανών λύσεων (συνεργασία μεταξύ των ομάδων).
- Παρουσίαση του προγράμματος, με επισήμανση πιθανών στρατηγικών για κοινωνική δράση.
- Αξιολόγηση του προγράμματος από την παιδαγωγική ομάδα και τους μαθητές.

Οι αρχές της Π.Ε. ενσωματώνονται σε όλο το σύστημα της εκπαίδευσης και σε όλα τα επίπεδα από την πρωτοβάθμια έως και την τριτοβάθμια, μάλιστα σε πολλές χώρες η περιβαλλοντική διάσταση έχει εισαχθεί και στο νηπιαγωγείο. Η διεπιστημονική προσέγγιση υιοθετείται κυρίως στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση ενώ, η πολυεπιστημονική στην δευτεροβάθμια. Έχει υιοθετηθεί η ολιστική άποψη για το περιβάλλον και εξετάζονται οι φυσικές, οικολογικές, οικονομικές, κοινωνικές και πολιτιστικές όψεις των περιβαλλοντικών προβλημάτων.

Παράλληλα με την απόκτηση γνώσεων (νοητική σφαίρα) αναγνωρίζεται η ανάγκη και επιδιώκεται η ανάπτυξη δεξιοτήτων (ψυχοκινητική σφαίρα), στάσεων ζωής και νέων αξιών (συναισθηματική σφαίρα).

Εκπαιδευτικοί που διεξάγουν έρευνα πάνω στην κατεύθυνση της υλοποίησης της Π.Ε., στο εκπαιδευτικό σύστημα, ιδιαίτερα των αναπτυσσόμενων χωρών, αντιμετωπίζουν αρκετές δυσκολίες αφενός επειδή προβληματική της Π.Ε. είναι σχετικά νέα και όχι επαρκώς καθορισμένη, αφετέρου διότι ο τρόπος και ο βαθμός ένταξης της Π.Ε. στα σχολικά προγράμματα ποικίλλει.

Συχνά κάτω από την γενική ομπρέλα της Π.Ε. εντάσσεται ένα ευρύ φάσμα γνώσεων και εμπειριών που ελάχιστα σχετίζονται με το αντικείμενο της Π.Ε. Αυτό μερικώς δικαιολογείται επειδή η Π.Ε. αποτελεί πολυδιάστατο και ταυτόχρονα ευέλικτο πεδίο που διαρκώς εμπλουτίζεται με θέματα από τα παραδοσιακά μαθήματα του σχολικού προγράμματος. Δύσκολος όμως είναι ο προσδιορισμός στα μαθήματα αυτά των στοιχείων εκείνων που αφορούν τις περιβαλλοντικές αρχές αφού αυτά είναι διασκορπισμένα και συχνά ασαφή.

Για να επιτύχουμε στα πλαίσια της Π.Ε., αλλαγή συμπεριφοράς και στάσης ζωής εκτός από την ευαισθητοποίηση, απαιτείται επιστημονική γνώση, ενθάρρυνση για την ανάπτυξη δεξιοτήτων και επιθυμία για συμμετοχή σε ομάδες εργασίας. Τέτοιες δραστηριότητες πρέπει να ενισχυθούν και να ενθαρρυνθούν και μετά τις βασικές σπουδές δηλαδή κατά την διάρκεια της τεχνικής και επαγγελματικής εκπαίδευσης ώστε να εξασφαλισθεί η συνέχεια της Π.Ε. και μετά την γενική εκπαίδευση και μάλιστα να σχεδιασθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να περιέχει εξειδικευμένες γνώσεις και πληροφορίες, σχετικές με το εκάστοτε αντικείμενο (UNESCO-UNEP 1986, no 22, 24)[74],[75].

3.9 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ ΤΗΣ Π.Ε. ΣΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

Στην δευτεροβάθμια εκπαίδευση είναι δυνατή η ευαισθητοποίηση των μαθητών σχετικά με το περιβάλλον των σπηλαίων μέσα από επισκέψεις καθώς και ψυχαγωγικές ή και αθλητικές δραστηριότητες. Οι μαθητές μπορούν να γνωρίσουν, να ευαισθητοποιηθούν, να αναπτύξουν δεξιοτεχνίες αλλά και να αναλάβουν πρωτοβουλίες σχετικά με το περιβάλλον και ειδικότερα με το περιβάλλον των σπηλαίων.

Οι μαθητές με την καθοδήγηση και την επίβλεψη των καθηγητών τους μπορούν να αναπτύξουν ευχάριστες και παιδαγωγικές ενασχολήσεις εκτός σχολείου. Η επίσκεψη και η επαφή με ένα διαφορετικό περιβάλλον όπως αυτό των σπηλαίων μπορεί να αποτελέσει έναυσμα στους καθηγητές για την ανάπτυξη επιμέρους θεμάτων όπως: Η θέση των σπηλαίων στην μυθολογία. Η ζωή στο

περιβάλλον του σπηλαίου. Η προστασία και η αξιοποίηση των σπηλαίων. Ιστορία και τρόπος γένεσης των σπηλαίων. Τα σπήλαια ως χώροι λατρείας στην αρχαιότητα, εκκλησίες σε σπήλαια κ.α. Επίσης μπορούν να οργανωθούν παράλληλες επισκέψεις σε μουσεία για να γνωρίσουν και να θαυμάσουν οι μαθητές τον πλούτο των ευρημάτων που προέρχονται αλλά και διασώθηκαν σε σπήλαια.

Στο επίπεδο αυτό εκπαίδευσης η ΠΕ μπορεί να εισαχθεί και να υλοποιηθεί από την μαθητική και την εκπαιδευτική κοινότητα με την μέθοδο των προγραμμάτων (μέθοδος project), την μέθοδο την διάχυσης, καθώς και τις δραστηριότητες στα πλαίσια ενός περιβαλλοντικού κέντρου του ΥΠΕΠΘ.

Η διάχυση των αρχών της ΠΕ στο πεδίο ενός σπηλαίου μπορεί να πραγματοποιηθεί στα πλαίσια πολλών και διαφορετικών γνωστικών αντικειμένων. Έναυσμα μπορεί να είναι κείμενα της μυθολογίας, της λογοτεχνίας, κεφάλαια της χημείας, της βιολογίας και της οικολογίας σε ότι αφορά την πανίδα και χλωρίδα των σπηλαίων αλλά και την ορθή διαχείριση τέτοιων οικοσυστημάτων, θέματα από την γεωλογία και τις φυσικές επιστήμες βοηθούν για την κατανόηση του τρόπου δημιουργίας των σπηλαίων, του ρόλου του νερού και των χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στην διάνοιξη κοιλοτήτων και διόδων σε ασβεστολιθικό πέτρωμα κ.α.

Η μέθοδος των προγραμμάτων όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω εφαρμόζεται ευρύτατα στην δευτεροβάθμια εκπαίδευση και αποτελεί εκπαιδευτική διαδικασία μέρος της οποίας διεξάγεται εκτός σχολείου όπου οι μαθητές σε ομάδες προσεγγίζουν το προς μελέτη θέμα σφαιρικά ακολουθώντας τις φάσεις που ήδη περιγράψανε συνοπτικά στην αντίστοιχη ενότητα.

Στο υποθετικό θέμα : ΤΟ ΣΠΗΛΑΙΟ Χ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Α. Οι μαθητές με την καθοδήγηση των εκπαιδευτικών τους αναγνωρίζουν στο θέμα υποθέματα, χωρίζονται σε ομάδες και από κοινού επεξεργάζονται τις επιμέρους ενότητες. Για την καλλίτερη επεξεργασία και υλοποίηση του προγράμματος πραγματοποιούνται επισκέψεις στον χώρο του σπηλαίου και στην ευρύτερη περιοχή. Καταρτίζεται ερωτηματολόγιο που απευθύνεται στους κατοίκους της

περιοχής και αφορά την θέση του σπηλαίου στην κοινωνική και οικονομική ζωή της περιοχής, την ιστορία του σπηλαίου κ.α. Συλλέγουν πληροφορίες από έντυπο υλικό και προσωπικές μαρτυρίες, υπολογίζουν και καταγράφουν τις συνθήκες μέσα στο σπήλαιο παρατηρούν την υπάρχουσα χλωρίδα και πανίδα αξιολογούν την κατάσταση του σπηλαίου και διατυπώνουν προτάσεις[77].

Στα πλαίσια διεξαγωγής ενός παρόμοιου προγράμματος αναφέρονται μερικά ενδεικτικά υποθέματα ώστε να γίνει αντιληπτό το ευρύ φάσμα πεδίων μελέτης και έρευνας που προσφέρουν τα σπήλαια στους εκπαιδευτικούς όλων των ειδικοτήτων στα πλαίσια της Π.Ε. [69].

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΥΠΟΘΕΜΑΤΑ

- Το σπήλαιο ως φυσικός βιότοπος
- Το σπήλαιο και η γεωλογική του ιστορία.
- Χρήσεις του σπηλαίου στην ιστορική του διαδρομή.
- Ευρήματα του σπηλαίου.
- Διαμόρφωση του σπηλαίου για τουριστική αξιοποίηση
- Επεμβάσεις στον εσωτερικό και εξωτερικό χώρο του σπηλαίου.
- Προβλήματα από τις επεμβάσεις στο σπήλαια.
- Οικονομική και κοινωνική σημασία του σπηλαίου.
- Περιβάλλον σπηλαίου - παιχνίδι και αθλητισμός.
- Τα σπήλαια στη λογοτεχνία και την ποίηση τους θρύλους και τις παραδόσεις.

Τα σπήλαια προσφέρονται για Π.Ε. εφόσον οι δραστηριότητες που σχετίζονται με αυτά πληρούν τους στόχους της Π.Ε. οι οποίοι εκτός από γνωστικοί, επιστημονικοί και παιδαγωγικοί είναι πρακτικοί και κοινωνικοί[77]. Μεταξύ των άλλων η Π.Ε. επιδιώκει την ευαισθητοποίηση και την ενασχόληση ατόμων και κοινωνικών ομάδων με θέματα περιβάλλοντος, την απόκτηση εμπειρίας και

ανάπτυξη δεξιοτήτων στον προσδιορισμό και την επίλυση περιβαλλοντικών προβλημάτων, την συνειδητοποίηση της ατομικής υπευθυνότητας τη διατήρηση του περιβάλλοντος και τη διαμόρφωση αξιών και ενδιαφέροντος για ενεργό συμμετοχή στη βελτίωση και προστασία του.

Επισημαίνεται ότι για την αρτιότερη και αποτελεσματικότερη διεξαγωγή και υλοποίηση παρόμοιων προγραμμάτων θεωρείται απαραίτητη και πολύ σημαντική η δημιουργικότητα και το ενδιαφέρον των εκπαιδευτικών αλλά και των μαθητών και μαθητριών. Με τον τρόπο αυτό θα εμπλουτισθεί η υπάρχουσα γνώση για τα σπήλαια και τις δυνατότητες τους, ενώ παράλληλα θα επιτευχθούν οι στόχοι της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης[31].

3.9.1 ΕΘΝΙΚΟ ΘΕΜΑΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΓΙΑ ΤΑ ΣΠΗΛΑΙΑ

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει προσπάθεια δημιουργίας ενός Εθνικού Θεματικού Δικτύου για τα σπήλαια[78]. Η ιδέα της δημιουργίας εθνικού θεματικού δικτύου για τα σπήλαια ωρίμαζε εδώ και καιρό. Η ανάγκη και η επιθυμία να φέρουμε τους μαθητές κοντά στα σπήλαια και να τους τα γνωρίσουμε είναι ουσιαστική για μία χώρα σαν την Ελλάδα με ένα τέτοιο πλούτο σπηλαίων[79]. Γιατί σε μια χώρα με τόσο μικρή έκταση, όπως είναι η Ελλάδα, είχαν καταγραφεί μέχρι το 1980 πάνω από 7.000 σπήλαια, ένας αριθμός που την κάνει την πρώτη χώρα σε αριθμό σπηλαίων (Πετροχείλου 1985)[2]. Σήμερα, ύστερα από τις συστηματικές έρευνες των τελευταίων 30 χρόνων, λόγω του αυξανόμενου ενδιαφέροντος για την σπηλαιολογία, όπως διαφαίνεται μέσα από την ίδρυση όλο και περισσότερων σπηλαιολογικών συλλόγων και την εκπαίδευση περισσότερων σπηλαιολόγων, ο αριθμός των σπηλαιωδών κοιλοτήτων ανά την Ελλάδα έχει ξεπεράσει τις 10.000 *(http://www.ese.edu.gr)*. Επειδή λοιπόν διαθέτουμε πολλά και αξιόλογα σπήλαια σε όλο τον Ελλαδικό χώρο και ένας σημαντικός αριθμός σπηλαίων είναι προσπελάσιμος στο ευρύ κοινό, πρέπει να διευκολύνεται με αυτό τον τρόπο η πραγματοποίηση σχετικών σχολικών προγραμμάτων Π.Ε (Πετροχείλου 1985)[2]. Ένας επιπλέον λόγος είναι η σχετική άγνοια και φοβία που επικρατεί για τα σπήλαια. Με το Δίκτυο αυτό επιδιώκεται να έρθουν σε επαφή σχολεία, εκπαιδευτικοί και μαθητές από όλη την Ελλάδα και να ανταλλάξουν πληροφορίες για τα σπήλαια του τόπου τους[80].

Βασικός στόχος μέσα από αυτήν τη συνεργασία, αλλά και από το κάθε είδους υποστηρικτικό εκπαιδευτικό υλικό που θα παραχθεί και θα δοθεί προς χρήση στα σχολεία που θα συμμετάσχουν στο δίκτυο είναι η γνωριμία με το κλειστό αυτό οικοσύστημα, η κατανόηση της ιδιαιτερότητας του και η ευαισθητοποίηση σχετικά με την προστασία του από τις λάθος ανθρώπινες παρεμβάσεις και επεμβάσεις.

Μέσα στα πλαίσια των δραστηριοτήτων που εκπονεί ένα Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης για την προώθηση της γνώσης για το περιβάλλον, την ευαισθητοποίηση πάνω σε περιβαλλοντικά ζητήματα, τη δημιουργία των προϋποθέσεων για τη διαμόρφωση υπεύθυνης και κριτικής στάσης από τους μαθητές και κατ' επέκταση τη δημιουργία μίας κοινωνίας υπεύθυνων πολιτών είναι και η ίδρυση Θεματικών Δικτύων σε τοπικό, περιφερειακό, εθνικό ή διεθνές επίπεδο. Τα Εθνικά Θεματικά Δίκτυα Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης σύμφωνα με τον Θ. Σμπαρούνη «παρέχουν τα μέσα στις περιβαλλοντικές ομάδες των σχολείων που εντάσσονται σε αυτά, ώστε να εμβαθύνουν στα περιβαλλοντικά θέματα και να προσεγγίσουν τόσο τους ειδικότερους στόχους του κάθε δικτύου, όσο και τους γενικούς στόχους της Π.Ε.» (Σμπαρούνης 2007)[81]. Κύριος στόχος σύμφωνα με την Β. Τσαλίκη της λειτουργίας ενός Δικτύου είναι «να δώσει τη δυνατότητα σε ένα σύνολο μαθητικών ομάδων από διαφορετικές περιοχές να εργαστούν πάνω σε μια κοινή θεματική ενότητα με στόχο να επικοινωνήσουν, να ανταλλάξουν τις εμπειρίες τους, να δώσουν ιδέες και να υποστηρίξουν η μία την άλλη, να βρουν κοινές μεθόδους προσέγγισης, να διατηρήσουν τη διαφορετικότητα και την ποικιλομορφία τους, να αναδείξουν τα κοινά ζητήματα, να εντοπίσουν τις διαφορές, να νιώσουν ενδυνάμωση μέσα από τη συμμετοχή σε κάτι κοινό, να συνεργαστούν στην ανάπτυξη δράσεων σε τοπικό, εθνικό ή διεθνές επίπεδο» (Τσαλίκη, 2005)[82].

ΜΕΡΟΣ Β΄: ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ ΠΡΟΤΑΣΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ΠΡΟΤΑΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Από το εκπαιδευτικό μας σύστημα λείπει το ενδιαφέρον, η πνοή, το μεράκι, η σύνδεση της καθημερινότητας με τις μαθησιακές διαδικασίες, η συμμετοχή των μαθητών στους διδακτικούς σχεδιασμούς, η άποψη των εκπαιδευτικών από την διαδικασία λήψης αποφάσεων, καθώς και η συμμετοχή της κοινωνίας στη σχολική ζωή. Χρειάζεται ένα νέο κλίμα σε όλες τις βαθμίδες, που δεν μπορεί να το προσφέρει κανενός είδους μεταρρύθμιση, είτε εσωτερική, είτε εξωτερική. Χρειάζεται νέα αντίληψη γύρω από τη μάθηση και το ρόλο του σχολείου. Το σχολείο αποτελεί ζωντανό τμήμα της κοινωνίας, και μόνο μέσα σε αυτή μπορεί να πετύχει την ολοκλήρωσή του.

Η παρούσα εργασία διαπραγματεύεται την εκπαιδευτική διάσταση που μπορεί να έχει η σπηλαιολογική δράση κάτω από το πρίσμα της μελέτης πεδίου και της διδακτικής της Χημείας, με στόχο την πλήρη αξιοποίηση των γνωστικών δυνατοτήτων που παρέχουν τα σπήλαια σε μαθητές και μαθήτριες της Μέσης Εκπαίδευσης. Προσπαθήσαμε να διερευνήσουμε και να εφαρμόσαμε μια διδακτική πρόταση για μαθητές και των τριών τάξεων του Λυκείου, αξιοποιώντας τον χώρο των σπηλαίων και εστιάζοντας το ενδιαφέρον μας στη διδασκαλία της Χημείας.

Πιστεύουμε ότι τα σπήλαια είναι χώροι ιδιαίτερης σημασίας και απαράμιλλης ομορφιάς, που κεντρίζουν το ενδιαφέρον και την προσοχή των μαθητών και μπορούν μετατραπούν σε δίαυλο επικοινωνίας για την εξοικείωση των μαθητών με την διδασκαλία της Χημείας. Τους δίνει την δυνατότητα να γνωρίσουν τον «άγνωστο κόσμο» των σπηλαίων κι ότι αυτός περιλαμβάνει (εντυπωσιακά σπηλαιοθέματα και διάκοσμο, σπηλαιόβιους οργανισμούς, ίχνη ανθρώπινης παρουσίας). Να κατανοήσουν ότι τα σπήλαια είναι ένα κλειστό κι ευαίσθητο οικοσύστημα που κινδυνεύει από κάθε είδους ανθρώπινες επεμβάσεις και παρεμβάσεις. Να εκτιμήσουν την αξία του κλειστού οικοσυστήματος του σπηλαίου και να κατανοήσουν την

ανάγκη διαφύλαξης και προστασίας του. Ερωτήματα όπως, πώς δημιουργούνται τα σπήλαια, πώς σχηματίζεται ο σπηλαιοδιάκοσμος, ποιοι και πώς επιζούν οργανισμοί, ποια είναι τα διαφορετικά είδη σπηλαίων, ποιοι είναι οι κίνδυνοι στα σπήλαια, υπάρχει ραδιενέργεια στα σπήλαια, πώς προστατεύουμε τα σπήλαια, μπορεί μόνο η Χημεία να «απαντήσει».

Η Χημεία δεν είναι απλά ένα σύνολο ορισμών, χημικών τύπων και διεργασιών, αλλά μια κοινωνικά αμφίδρομη και εξελίξιμη πολυδιάστατη επιστήμη, που συμβάλλει στην ευημερία και ανάπτυξη της ανθρωπότητας, καθώς και στην προώθηση αξιών και στάσεων ζωής (γενικός σκοπός πρότασης). Οι μαθητές ζητείται να μελετήσουν με ενεργητικό και διερευνητικό τρόπο την διαδικασία σχηματισμού των σπηλαίων και των σπηλαιοθεμάτων, να συσχετίσουν τις ενδοσχολικές τους γνώσεις τόσο στον τομέα της επιστήμης της Χημείας, όσο και διαθεματικά και να την αναγνωρίσουν ως μια γέφυρα για την εξέλιξη του ανθρώπινου είδους και την κατανόηση ότι η Φύση «κάνει» Χημεία. Η εξοικείωση των μαθητών με τον εντυπωσιακό χώρο των σπηλαίων και τις πληροφορίες που παρέχει, κεντρίζει την φαντασία και την ευαισθησία, συμβάλλοντας στην αναζωπύρωση του ενδιαφέροντος των παιδιών για το μάθημα της Χημείας.

4.2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΠΡΟΤΑΣΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Αξιοποιώντας τα απαράμιλλης ομορφιάς σπήλαια με προσανατολισμό το συμπληρωματικό ρόλο τους στη λειτουργία του σχολείου, επιχειρούμε μια διδακτική πρόταση διδασκαλίας της Χημείας με επιστημονικές και διαθεματικές προεκτάσεις λαμβάνοντας υπόψη στο σχεδιασμό και τις σύγχρονες παιδαγωγικές θέσεις και αντιλήψεις. Βασική μας ιδέα αποτελεί η θεωρία του Εποικοδομητισμού που βασίζεται στο ότι η μάθηση συντελείται μέσα σε αυθεντικές καταστάσεις (situated learning) (Billett, 1996)[83]. Αυτό απαιτεί την οργάνωση και τον εμπλουτισμό του αναλυτικού προγράμματος με θέματα προσωπικού ενδιαφέροντος, πρακτική που προωθούν τα διαθεματικά αναλυτικά προγράμματα. Μια δεύτερη βασική ιδέα του εποικοδομισμού είναι ότι η γνώση δεν μεταβιβάζεται από τον εκπαιδευτικό στο μαθητή, αλλά «οικοδομείται» από αυτόν, όχι με διαδικασίες άθροισης πληροφοριακών δεδομένων, αλλά με διαδικασίες ένταξης των νέων πληροφοριακών στοιχείων στα προϋπάρχοντα

νοητικά οχήματα και την τροποποίηση των σχημάτων αυτών, που επιφέρει η ένταξη νέων δεδομένων. Αυτή η διαδικασία διευκολύνεται μέσα από την κοινωνική διαμεσολάβηση. Μέσα από την «ενιαιοποίηση» (integration) και τη διαθεματική προσέγγιση εντάσσονται οι νέες πληροφορίες στα προϋπάρχοντα σχήματα (Gallagher, 1993)[84] και έτσι προωθείται η μάθηση. Εμπειρίες και γνώσεις ενιαιοποιούνται χωρίς στεγανά, αλλά μέσα από διεπιστημονικές συναρτήσεις, τις οποίες αποθαρρύνει ο πολυμερισμός και ο κατακερματισμός του περιεχομένου του αναλυτικού προγράμματος σε ανεξάρτητα και αυτοτελή διδακτικά αντικείμενα.

Η εφαρμογή των παραπάνω θέσεων στη διδακτική πράξη οδήγησε στην ανάπτυξη «βιωματικών», «συλλογικών» και «ολιστικών» προσεγγίσεων. Οι διδακτικές προσεγγίσεις καθίστανται βιωματικές, όταν οι μαθητές (α) έχουν την ευκαιρία και τις δυνατότητες να συσχετίζουν τις νέες εμπειρίες τους με την προηγούμενη γνώση τους, (β) θεωρούν ότι το αντικείμενο της διδασκαλίας συσχετίζεται με τα ενδιαφέροντα τους και (γ) διανοίγουν το δικό τους «μονοπάτι» προς τη μάθηση, πειραματιζόμενοι και επιλέγοντας (Harrison& Knights, 1993)[85].

Οι διδακτικές προσεγγίσεις καθίστανται ολιστικές, όταν ξεκινούν από τις εμπειρίες των μαθητών και στοχεύουν στη σύλληψη της ευρύτερης εικόνας (Big picture) των πραγμάτων που μελετούν. Όσο πιο ενταγμένη είναι η μάθηση μέσα σε αυθεντικά πλαίσια (situated learning), όσο πιο πλούσιες είναι οι θεματικές και γνωστικές συναρτήσεις, και όσο πιο προσωπική και ενεργός είναι η εμπλοκή των μαθητών, τόσο μεγαλύτερη είναι η κατανόηση της νέας γνώσης και ευχερέστερη η συγκράτηση της και η μεταφορά της σε νέες καταστάσεις (Iran-Nejad et al., 1990)[86].

Επιπλέον η διαθεματικότητα επιχειρεί το άνοιγμα προς όλους τους τύπους της νοημοσύνης, το σχολείο πρέπει να απευθύνεται σε όλους τους τύπους νοημοσύνης και να μην περιορίζεται στη γλωσσική και στη λογικο-μαθηματική νοημοσύνη, όπως συνήθως πράττει (Gardner, 1993)[87]. Αυτό είναι σημαντικό, διότι η πολλαπλότητα των μεθόδων, μέσων, διαδικασιών και εκφράσεων, τις οποίες συνεπάγονται οι διαθεματικές προσεγγίσεις, ανταποκρίνεται καλύτερα στις ατομικές και πολιτιστικές διαφοροποιήσεις, που χαρακτηρίζουν τα άτομα και τις πολιτιστικές κοινότητες. Επιπλέον, η πολυτροπικότητα της μάθησης διευκολύνει τη συσχέτιση του εαυτού με τη γνώση και την πραγματικότητα[88]. Οι συσχετίσεις που επιδιώκουν οι

διεπιστημονικές και οι διαθεματικές προσεγγίσεις, κατά την σύγχρονη αντίληψη (O' Sullivan, 1999)[89], δεν πρέπει να περιορίζονται μεταξύ των γνωστικών πεδίων, αλλά να επεκτείνονται και προς τη συσχέτιση του εαυτού με τη γνώση και την πραγματικότητα. Παράλληλα ο Dilthey θεωρεί ότι η οικοδόμηση του νοήματος εξαρτάται από την προηγούμενη γνώση του ατόμου, από τα πιστεύω και τις αξίες του[90].

Η υλοποίηση των διαδικασιών γίνεται στα πλαίσια μιας επικοινωνιακής σχέσης ανάμεσα στα μέλη της διδακτικής ομάδας (εκπαιδευτικοί-μαθητές). Ένας εναλλακτικός τρόπος μάθησης που φέρνει το μαθητή σε άμεση επαφή με το αντικείμενο, που χρειάζεται να κατανοήσει και τον βοηθά να επεξεργασθεί αυτήν την εμπειρία. Στη βιωματική μάθηση δεν χρησιμοποιείται συγκεκριμένη διδακτική ύλη, ούτε απαραίτητα βιβλία, επειδή εκπαιδευτικοί και μαθητές συμμετέχουν ενεργητικά σε καινοτόμες δραστηριότητες και στη συνέχεια τις αναστοχάζονται με στόχο τον εμπλουτισμό των γνώσεων τους, την ανάπτυξη των ικανοτήτων τους, και την διαμόρφωση ηθικών αξιών. Η βιωματική μάθηση αντιμετωπίζει το μαθητή ως ενεργό ερευνητή, ως δημιουργό κι όχι ως καταναλωτή μιας προαποφασισμένης και ετοιμοπαράδοτης γνώσης. Η υλοποίηση του προγράμματος πραγματοποιείται με τη συμμετοχή δημιουργικών εκπαιδευτικών, που είναι ερευνητές της εκπαιδευτικής πράξης τους και προσπαθούν να δημιουργούν μαθησιακές ευκαιρίες με καινοτόμες προσεγγίσεις. Δεν είναι δέσμιοι του αναλυτικού προγράμματος. Ο σχεδιασμός των διδακτικών δραστηριοτήτων μπορεί να καταστήσει τα βιώματα αντικείμενο αναζήτησης και διδακτικής δράσης και αυτό πρέπει να είναι η βασική επιδίωξη του σχολείου.

Ως προς τη μεθοδολογία προσέγγισης η πρόταση οργανώνεται σύμφωνα με τα νέα προγράμματα σπουδών (Δ.Ε.Π.Π.Σ.) και εναρμονίζεται με το διαδικαστικό μέρος των προσεγγίσεων [68] καθώς η πολυσημία των σπηλαίων επιβάλλει τη διεπιστημονική τους προσέγγιση με σύμπραξη γνώσεων από διαφορετικούς επιστημονικούς χώρους. Επιστημονικά πεδία οργανώνονται γύρω από ευρύτερες ακαδημαϊκές περιοχές (φυσικές επιστήμες, κοινωνικές επιστήμες) με την πεποίθηση ότι ένα θέμα μπορεί να φωτισθεί καλύτερα εφαρμόζοντας πρίσματα από πολλαπλές επιστήμες. Επιπλέον προωθούνται μακρο-έννοιες όπως η μεταβολή (μετασχηματισμός της ύλης), η αλληλεπίδραση (σχέση Επιστήμης και

Τεχνολογίας) και ο πολιτισμός (πολιτισμικό γίγνεσθαι του ανθρώπου) και αναπτύσσονται μακρο-δεξιότητες αναζήτησης, εντοπισμού και επεξεργασίας πληροφοριών, δεξιότητες κριτικής σκέψης και συλλογικής δράσης που προάγουν τη μάθηση και ευνοούν την ψυχοκινητική, συναισθηματική και κοινωνική ωρίμανση των μαθητών.

Ως **διδακτικές στρατηγικές** χρησιμοποιούνται η χαρτογράφηση εννοιών (Κουλουμπαρίτση Α., 1997)[91] η παρατήρηση, η συζήτηση, το πείραμα και στο σπήλαιο ο καταιγισμός ιδεών, η έρευνα πεδίου και η εργασία σε ομάδες που στοχεύουν στην αναπαραγωγή του λόγου και του δημιουργικού έργου στα πλαίσια του κοινωνικού διαλόγου και της επικοινωνίας[66]. Παράλληλα συνδέεται η τυπική εκπαίδευση που προσφέρει το σχολείο με τις νέες καινοτόμες μορφές που προσφέρει ο χώρος των σπηλαίων. Η δημιουργία ενιαίων και σαφών πνευματικών παραστάσεων αποτελεί ακόμα μια θετική πτυχή της χρήσης της επίσκεψης στα σπήλαια κατά την μαθησιακή πράξη. Ο συνδυασμός της εποπτείας και της πληροφόρησης οδηγεί στην κατανόηση της διδασκόμενης ύλης και στην κατευθυνόμενη παρατήρηση (Ζευκιλής, 1950)[92]. Μέσω των έντονων παραστάσεων οι μαθητές ταυτίζουν την περιγραφή του εκπαιδευτικού με την ρεαλιστική εικόνα του περιγραφόμενου αντικειμένου. Σωστά ο Ηράκλειτος είχε παρατηρήσει ότι «τα μάτια είναι οι καλύτεροι και ακριβέστεροι μάρτυρες στα αυτιά». Άλλωστε σύμφωνα με τις απόψεις των ειδικών, από όσα διαβάζουν οι άνθρωποι συγκρατούν ελάχιστα. Από όσα βλέπουν συγκρατούν το 20%, ενώ από όσα βλέπουν και ακούν το 55 % [92]. Βέβαια αυτό που προέχει είναι ο μαθητής να μη μένει παθητικός δέκτης των οπτικοακουστικών μηνυμάτων και πληροφοριών, αλλά να ενεργοποιείται συμμετέχοντας δυναμικά κατά την παρουσίαση και επεξεργασία των γνώσεων που διδάσκεται. Έτσι η εκπαίδευση εκσυγχρονίζεται και διευκολύνεται η μάθηση, η διδασκαλία παύει να είναι θεωρητική, μονότονη και αφηρημένη και γίνεται πιο ρεαλιστική, παραστατική και αποδοτική.

Η συγκεκριμένη πρόταση απευθύνεται σε μαθητές Λυκείου και των τριών τάξεων, για μια δομημένη σειρά δραστηριοτήτων που υποστηρίζονται από την εκπαιδευτική επίσκεψη και ξενάγηση στον χώρο του σπηλαίου με τη συμμετοχή των μαθητών στο εκπαιδευτικό πρόγραμμα στο σπήλαιο ή στο Αρχαιολογικό Μουσείο του σπηλαίου.

Σχετίζεται με το γνωστικό αντικείμενο της Χημείας, συγκεκριμένα με τις ενότητες «Χημική Ισορροπία-Αρχή Le Chatelier», «οξέα-βάσεις-άλατα-διαλυτότητα», «η Χημεία μελετά τη φύση και διδάσκεται από αυτήν» και «σταλαγμίτες και σταλακτίτες» με προεκτάσεις στη βιωματική εκπαίδευση. Προτείνεται να πραγματοποιηθεί ύστερα από την διδασκαλία των παραπάνω ενοτήτων σύμφωνα με το ισχύον αναλυτικό πρόγραμμα, αντικαθιστώντας την περιβαλλοντική δραστηριότητα επίσκεψης σε σπήλαιο με μια περισσότερο εποικοδομητική δραστηριότητα. Οι επισκέψεις σε σπήλαια αποτελούν το εύνασμα για την απόκτηση μιας βιωματικής εμπειρίας, η οποία συμπληρώνεται και δυναμώνεται με τον κριτικό στοχασμό του μαθητή. Η καθημερινότητα και η κοινωνική πραγματικότητα συνδέονται άρρηκτα με τις μαθησιακές διαδικασίες, με αποτέλεσμα οι μαθητές να αποκτούν γνώσεις και δεξιότητες σχετιζόμενες με την χημεία και τις εμπειρίες τους (Καμαρινού Δ., 2000)[93].

4.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΠΡΟΤΑΣΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Κατά την βιωματική διαδικασία μάθησης ο μαθητής καλείται να εστιάσει την προσοχή του στην επίσκεψη στο σπήλαιο, αυτή την εμπειρία του θα αναλύσει, θα προβληματισθεί και θα στοχασθεί κριτικά. Όταν τα βιώματα γίνονται αντικείμενο αναζήτησης και διδακτικής δράσης και ο προβληματισμός τους αποτελεί το επίκεντρο της συζήτησης, τότε αυτές οι συζητήσεις αποτελούν το ερέθισμα για παραπέρα αναζητήσεις και δραστηριοποιήσεις. Όλες αυτές οι δραστηριότητες έχουν ως αποτέλεσμα την νοητική και συγκινησιακή κινητοποίηση του μαθητή και την ολόπλευρη ανάπτυξη της προσωπικότητάς του. Επιπρόσθετα, οι δραστηριότητες στα πλαίσια της βιωματικής διδασκαλίας θα πρέπει συλλογικά να αξιοποιούν την νόηση, την αίσθηση, την μνήμη και την φαντασία και κατ' επέκταση μέσω των δραστηριοτήτων αυτών να προωθείται η δημιουργικότητα και η διερεύνηση των θεμάτων (Δεδούλη, 2002).

Πιο συγκεκριμένα οι βασικές φάσεις της διδασκαλίας αυτής της πρότασης είναι:

α. προβληματισμός

β. προγραμματισμός των διδακτικών δραστηριοτήτων

γ. διεξαγωγή των δραστηριοτήτων

δ. Αξιολόγηση

4.3.1 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟΣ

Ο προβληματισμός μας επικεντρώθηκε στην προσπάθειά μας να συνδέσουμε το γνωστικό περιεχόμενο της Χημείας στην ενότητα «Χημική Ισορροπία-Οξέα-Βάσεις-Άλατα-Διαλυτότητα» με μια διαφορετική προσέγγιση, που να κινητοποιεί το ενδιαφέρον του μαθητή και τα βιώματα που αποκτά να προκαλούν ερεθίσματα για περαιτέρω αναζητήσεις και δραστηριότητες. Συνδυάσαμε ένα περιβάλλον τυπικής εκπαίδευσης, το σχολείο, με ένα περιβάλλον άτυπης εκπαίδευσης, το σπήλαιο, έτσι ώστε να αναδείξουμε το ρόλο της Χημείας στην αναζήτηση απαντήσεων σε εντυπωσιακά δημιουργήματα της φύσης (σταλαγμίτες-σταλακτίτες). Επιπλέον δώσαμε στους μαθητές την δυνατότητα να αντιληφθούν την αξία της γνώσης των χημικών διεργασιών, των παραγόντων που επιδρούν στο σπήλαιο και της διάδρασης της επιστήμης της Χημείας με τις άλλες επιστήμες. Δημιουργήσαμε ερωτήματα για προβληματισμό και παρόρμηση ώστε να μάθουν περισσότερα οι μαθητές και να εκδηλώσουν περιέργεια κι ενδιαφέρον για φαινόμενα φυσικά που συμβαίνουν μέσα στο σπήλαιο και να τα συνδυάσουν με τις γνώσεις που αποκτούν μέσα από την διδασκαλία της χημείας. Βέβαια δεν παραλείψαμε να μελετήσουμε τους παράγοντες που επηρεάζουν την εξέλιξη και προστασία αυτών των ζωντανών μνημείων της φύσης, αλλά και την σχέση τους με την καθημερινότητα των ανθρώπων από την αρχαιότητα μέχρι και σήμερα. Με ερέθισμα τις παραπάνω σκέψεις σχεδιάσαμε την εκπαιδευτική πρόταση έχοντας ως αφετηρία την παραδοσιακή επιστημονική γνώση της χημείας στο σχολείο και προέκταση το χώρο του σπηλαίου, υιοθετώντας καινοτόμες διδακτικές παρεμβάσεις, αποφεύγοντας την παθητική έκθεση των μαθητών στη νέα γνώση με τη μορφή ξενάγησης στο σπήλαιο.

4.3.2 ΣΤΟΧΟΙ ΠΡΟΤΑΣΗΣ

Οι στόχοι της πρότασης χωρίζονται σε **γνωστικούς,** που αποβλέπουν στη γνώση του περιεχομένου και της μεθοδολογίας της επιστήμης της Χημείας για το συγκεκριμένο θέμα, σε **μεταγνωστικούς,** που αποβλέπουν στη γνώση της αλληλεπίδρασης της

Χημείας με τη τεχνολογία και τον πολιτισμό και σε **συναισθηματικούς,** που αποσκοπούν στη διάρθρωση στάσεων και συναισθημάτων των μαθητών για την επιστημονική διδασκαλία και γνώση.

Συγκεκριμένα:

Α) Οι γνωστικοί στόχοι (Bloom B.S.& Krathwohl D.R, 2000)[94] που τίθενται για τους μαθητές/τριες είναι:

- να έρθουν σε επαφή με την έννοια του υπόγειου νερού, τους αθέατους δρόμους του και την συνάντησή του με τα ασβεστολιθικά πετρώματα
- να παρατηρήσουν και να καταγράψουν την βιοποικιλότητα των σπηλαίων
- να κατανοήσουν την έννοια της αμφίδρομης αντίδρασης και της χημικής ισορροπίας
- να διακρίνουν τους παράγοντες που επηρεάζουν την χημική ισορροπία
- να συσχετίσουν την έννοια της διαλυτότητας με τα οξέα και με τα άλατα, κυρίως τα ασβεστολιθικά άλατα, καθώς και τους παράγοντες που επηρεάζουν την διάλυση τους
- να επεξηγήσουν τον σχηματισμό και την διατήρηση των σταλαγμιτών και των σταλακτικών
- να συνειδητοποιήσουν ότι τα χρώματα και οι σχηματισμοί των σπηλαίων οφείλονται στον σχηματισμό του στερεού $CaCO_3$ και ενώσεων μετάλλων στα πετρώματα ή που ήταν διαλυμένες στο νερό
- να κατανοήσουν την έννοια της φυσικής ραδιενέργειας, από πού προέρχεται και πως μπορεί να την διαχειρισθεί ο άνθρωπος

Β) Οι μεταγνωστικοί στόχοι (Ματσαγγούρας Η., 1999)[95] επιδιώκουν:

- οι μαθητές να συνδυάσουν τις σχολικές τους γνώσεις για τα άλατα και τη διαλυτότητα για να περιγράψουν και εξηγήσουν τη δημιουργία και γεωχημεία των σταλακτιτών και των σταλαγμιτών

- να διερευνήσουν τους αθέατους δρόμους του νερού-υπόγεια νερά
- να προβληματισθούν για τη "χημική γνώση" στην φυσική κληρονομιά και τις χημικές διεργασίες που συμβαίνουν στα σπήλαια
- να δουν ότι η Χημεία είναι βασικός παράγοντας της εξέλιξης του ανθρώπου
- να κατανοήσουν ότι η Φύση «κάνει» Χημεία

Γ) Οι συναισθηματικοί στόχοι (Krathwohl D.R., et al, 2000)[94] αποβλέπουν στην:

- Ανάπτυξη ενδιαφέροντος για νέα πεδία σχολικής έρευνας στο μάθημα της Χημείας (μουσείο-σπήλαια)
- να κεντρίσει τη φαντασία, την ευαισθησία και τον προβληματισμό των μαθητών του για τους χώρους των σπηλαίων
- να δράσουν στην καθημερινότητά τους υπεύθυνα και συνειδητά για τη χρήση των σπηλαίων, την εκμετάλλευσή τους και την προστασία τους
- Ανάπτυξη θετικών στάσεων για την πολιτιστική κληρονομιά
- Καλλιέργεια σχέσεων συνεργασίας και κριτικής ικανότητας.

4.4 ΔΙΔΑΣΚΩ ΧΗΜΕΙΑ ΣΤΟ ΣΠΗΛΑΙΟ (ΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΤΑΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ)

Τα σύγχρονα εκπαιδευτικά προγράμματα αντικατέστησαν την ξενάγηση, τη μοναδική μορφή επίσκεψης στα σπήλαια, στα αρχαιολογικά μνημεία και μουσεία, που στηριζόταν στην αποκλειστικά στη μέθοδο της αφήγησης κι επομένως στην παθητική αποδοχή πληροφοριών και περιγραφών, με οργανωμένες ενεργητικές μορφές μάθησης, που προϋποθέτουν την ουσιαστική εμπλοκή του επισκέπτη μέσα από την ενεργοποίηση της σκέψης των αισθήσεων και της φαντασίας. Για την πραγματοποίηση των οποίων απαιτούνται καινοτόμες παιδαγωγικές πρακτικές, που

δίνουν έμφαση στην ενεργητική απόκτηση της γνώσης στοχεύοντας στην δημιουργία νοημάτων κι όχι στην μόνο στην απόκτηση εγκυκλοπαιδικών γνώσεων.

Ως βάση προβληματισμού λειτούργησε η διερεύνηση των παραμέτρων των εκπαιδευτικών θεσμών της αγωγής και της εκπαίδευσης, όπως του σχολείου, του μουσείου και άλλων παιδευτικών θεσμών, καθώς και παραμέτρων που σχετίζονται με την επιστημολογική και επικοινωνιακή βάση της εκπαίδευσης. Στην προοπτική αυτή θέματα όπως η φύση της μαθησιακής διαδικασίας, ο ρόλος των εκπαιδευτικών και των μαθητών στη διαδικασία αυτή, το περιεχόμενο, οι στόχοι και ο επαναπροσδιορισμός των γενικών αρχών για τις διδακτικές μεθόδους και τις τεχνικές αξιολόγησης συνεξετάζονται και μελετώνται σε βάθος. Πιο συγκεκριμένα με βάση τις νέες προτεινόμενες αρχές και αμφισβητώντας την παραδοσιακή ξενάγηση ως μέθοδο προσέγγισης των επισκεπτόμενων χώρων (σπηλαίων, αρχαιολογικών χώρων, μουσείων) προτείνουμε εναλλακτικές μεθόδους όπου ενισχύουν το διάλογο και την αυτενέργεια του ατόμου, εκλαμβάνουν τη μάθηση ως διανοητική, ψυχική και πρακτική δραστηριότητα με κοινωνικό χαρακτήρα, αλλά συγχρόνως και με εξατομικευμένο χαρακτήρα. Η γνώση δεν ταυτίζεται, παρά το γεγονός ότι τα άτομα μπορεί και να προέρχονται από το ίδιο κοινωνικό, πολιτισμικό και εκπαιδευτικό περιβάλλον. Αυτό συμβαίνει επειδή ο άνθρωπος καθορίζεται από τις σχέσεις του με τους άλλους ανθρώπους και λαμβάνει υπόψη τη ψυχική και την κοινωνική του υπόσταση και ισορροπία.

Στην παρούσα εργασία θεωρήθηκε σκόπιμο να συμμετέχουν μαθητές Λυκείου από όλες τις τάξεις, χωρίς εξειδικευμένες γνώσεις χημείας (μαθητές θετικής κατεύθυνσης). Χρησιμοποιήθηκαν ερωτηματολόγια προελέγχου και τελικής αξιολόγησης, επειδή συγκεντρώνουν αποτελέσματα και δεδομένα σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα και με μικρό κόστος. Η πρόταση αυτή εφαρμόσθηκε σε όλες τις τάξεις του ΓΕΛ Λ. Χερσονήσου κατά το σχολικό έτος 2010-11, είχαν διδαχθεί χημεία και πραγματοποίησαν πειράματα από τον ίδιο καθηγητή αν και ανήκαν σε διαφορετικές κατευθύνσεις (θεωρητική-τεχνολογική-θετική). Επίσης όλοι οι παραπάνω μαθητές/τριες συμμετείχαν σε μια εκπαιδευτική επίσκεψη στο χώρο του σπηλαίου των Ζωνιανών, αφού πρώτα είχε προηγηθεί διδασκαλία δύο ωρών στο σχολείο της ενότητας «χημική ισορροπία-αρχή Le Chatelier-οξέα-βάσεις-άλατα-διαλυτότητα» με τα αντίστοιχα πειράματα. Η προετοιμασία αυτή αποσκοπούσε:

- στην σύνδεση της ήδη υπάρχουσας γνώσης με νέες γνώσεις
- στην ανάπτυξη γνωστικών δεξιοτήτων για την ερμηνεία φαινομένων και στοιχείων κατά την επίσκεψη στο σπήλαιο
- στη σύνδεση της Χημείας με άλλα θεματικά πεδία (Βιολογία, Γεωλογία, Αρχαιολογία)
- στην διαμόρφωση δεξιοτήτων και κριτικής στάσης για την επιστήμη της Χημείας
- στην δημιουργία κατάλληλου περιβάλλοντος έτσι ώστε να μετασχηματισθεί η τυπική γνώση στο σχολείο και η άτυπη γνώση στην επίσκεψη στο σπήλαιο για να πετύχουμε άμεση σύνδεση σχολείου-σπηλαίου

Αναλυτικά περιγράφονται οι φάσεις που ακολουθήθηκαν για την εφαρμογή της πρότασης:

ΦΑΣΗ 1 Ενημέρωση και συμπλήρωση ερωτηματολογίου προελέγχου (παράρτημα Α1)

Δόθηκε ερωτηματολόγιο προελέγχου για τον εντοπισμό γενικών γνώσεων χημείας και για να διερευνήσουμε εάν οι μαθητές/τριες συνδέουν το μάθημα Χημείας με το σπήλαιο και όπως επίσης εάν επιθυμούν να συμμετέχουν ενεργά σε ένα μάθημα Χημείας που σχετίζεται με το σπήλαιο (έλεγχος στάσεων).

ΦΑΣΗ 2 Παρακολούθηση μαθήματος «Χημική ισορροπία- Αρχή Le Chatelier - Οξέα-Βάσεις-Άλατα-Διαλυτότητα»

Οι στόχοι της 1ης διδακτικής ώρας:

1. Πώς σχηματίζονται οι σταλακτίτες και σταλαγμίτες; Ποια ισορροπία περιγράφει το φαινόμενο αυτό;
2. Η Αρχή Le Chatelier μπορεί να εξηγήσει τον σχηματισμό των σταλαγμιτών και των σταλακτιτών;
3. Πώς προκύπτουν τα έγχρωμα σπηλαιοθέματα;

4. Ποιοι είναι οι σημαντικότεροι τύποι σπηλαίων και πώς σχηματίζονται τα γύψινα σπηλαιοθέματα;

ΣΤΟΧΟΣ 1

Το μάθημα ξεκινά με το ερώτημα, έχετε επισκεφτεί ένα σπήλαιο;

Εάν ναι, τότε έχετε παρατηρήσει μια χημική ισορροπία!

Οι σταλακτίτες και οι σταλαγμίτες σχηματίζονται πολύ αργά με ταχύτητα περίπου 1 cm κάθε 100 έτη. Οι σταλακτίτες δημιουργούνται στην οροφή του σπηλαίου, ενώ οι σταλαγμίτες στο δάπεδο του σπηλαίου. Η συνεχής επιμήκυνση του ενός ή και των δυο, μπορεί τελικά να οδηγήσει και στον σχηματισμό μιας κολώνας (εικ.23). Σε ένα σπήλαιο στην Σλοβακία εντοπίστηκε ο μεγαλύτερου μήκους σταλαγμίτης που είναι 32.6 m. Η χώρα μας διαθέτει πολλά εντυπωσιακά και πανέμορφα σπήλαια. Η Αρχή Le Chatelier μας βοηθά να εξηγήσουμε γιατί σχηματίζονται οι σταλακτίτες και οι σταλαγμίτες.

Το νερό εμπλουτίζεται κυρίως σε CO_2, που προέρχεται από την ατμόσφαιρα και το έδαφος (από την σήψη των φυτικών και των ζωικών οργανισμών). Το μετεωρικό νερό αντιδρά με το διοξείδιο του άνθρακα και σχηματίζει ανθρακικό οξύ, σύμφωνα με την αντίδραση:

$$2H_2O(l) + CO_2(g) \rightleftharpoons HCO_3^-(aq) + H_3O^+(aq)$$

$$HCO_3^-(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons CO_3^{2-}(aq) + H_3O^+(aq)$$

Το ανθρακικό οξύ αν και ασθενές οξύ, είναι ικανό να διαλυτοποιήσει μερικά ορυκτά και κυρίως ασβεστολιθικά πετρώματα. Τα ασβεστολιθικά πετρώματα αποτελούνται από ανθρακικό ασβέστιο, $CaCO_3(s)$. Παρότι το ανθρακικό οξύ είναι ασθενές οξύ, έχει σημαντικότερη διαλυτική δράση στα πετρώματα από το καθαρό νερό της βροχής. Έτσι το ανθρακικό οξύ αντιδρά με το ασβεστολιθικό πέτρωμα σύμφωνα με την αντίδραση:

$$CaCO_3(s) + 2H_3O^+(aq) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + CO_2(g) + 3H_2O(l)$$

Έτσι με την παρουσία του ανθρακικού οξέος στο νερό ο ασβεστόλιθος (ανθρακικό ασβέστιο) μετατρέπεται σε όξινο ανθρακικό ασβέστιο κατά την παραπάνω

αντίδραση. Το ανθρακικό οξύ έχει την ιδιότητα να διαβρώνει με πολύ αργούς ρυθμούς τον ασβεστόλιθο ($CaCO_3$) και η διαδικασία αυτή ονομάζεται χημική διάβρωση. Με τον τρόπο αυτό το νερό διευρύνει τις αρχικά μικρές ρωγμές έως ότου σχηματισθεί τελικά ένα ευρύ κάθετο πέρασμα, ένα βάραθρο και θα συνεχίσει να πηγαίνει προς τα κάτω, και να διαπλατύνεται έτσι το σπήλαιο, μέχρι να συναντήσει άλλα πετρώματα που δεν αφήνουν το νερό να περάσει μέσα από αυτά. Τότε θα αρχίσει να κινείται πλέον οριζόντια και θα σχηματίσει τις μεγάλες οριζόντιες αίθουσες και θα δημιουργήσει μεγάλους χώρους και δαιδαλώδη συστήματα υπόγειων διαδρόμων, δηλαδή τα σπήλαια.

Ο σχηματισμός των σταλαγμιτών και σταλακτιτών οφείλεται στην χημική ισορροπία! Καθώς το νερό ρέει ανάμεσα στα ασβεστολιθικά πετρώματα περνά από κοιλότητες με αέρα και το νερό απελευθερώνει το διοξείδιο του άνθρακα στον αέρα του σπηλαίου. Αυτό συμβαίνει επειδή η μερική πίεση του διοξειδίου του άνθρακα στον αέρα του σπηλαίου είναι μικρότερη από την μερική πίεση του διοξειδίου του άνθρακα στο νερό, οπότε το διοξείδιο του άνθρακα στον αέρα του σπηλαίου αυξάνει, για να επέλθει ισορροπία. Η παρακάτω αντίδραση τείνει προς τα δεξιά, οπότε έχουμε απόθεση ανθρακικού ασβεστίου:

$$Ca^{2+}(aq) + 2\ HCO_3^-\ (aq) \rightleftharpoons CaCO_3(s) + H_2O(l) + CO_2(g)$$

Ευδιάλυτο άλας ίζημα

Καθώς το διοξείδιο του άνθρακα απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα του σπηλαίου, αποτίθεται στερεό ανθρακικό ασβέστιο, για να αναιρέσει την επιφερόμενη μεταβολή με βάσει την αρχή Le Chatelier. Το ίζημα σχηματίζει σταγόνες και η βαρύτητα εξαιρετικά αργά τις οδηγεί στο χαμηλότερο σημείο, οπότε και σχηματίζονται οι σταλακτίτες (εικ.18). Οι παγόμορφοι κρυσταλλικοί σχηματισμοί (σταλακτίτες-σταλαγμίτες) μέσα στα σπήλαια δημιουργούνται από την επανακαθίζηση ανθρακικού ασβεστίου, καθώς το διοξείδιο του άνθρακα του διαλύματος διαφεύγει στον περιβάλλοντα αέρα.

ΣΤΟΧΟΣ 2

Η διαλυτότητα του ανθρακικού ασβεστίου είναι πολύ μικρή $K_{sp}=6\cdot10^{-9}$ στους 25 ^0C και υπολογίζεται ως εξής:

$$CaCO_3(s) + 2H^+(aq) + CO_3^{2-}(aq) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + 2HCO_3^-(aq) \quad K_4=K_1xK_2xK_3 \quad (1)$$

$$CaCO_3(s) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq) \qquad K_1=K_{sp,CaCO_3}$$

$$H^+(aq) + CO_3^{2-}(aq) \rightleftharpoons HCO_3^-(aq) \qquad K_2=1/K_{a,HCO_3^-}$$

$$2H^+(aq) + CO_3^{2-}(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + HCO_3^-(aq) \qquad K_3=K_{a,H_2CO_3}$$

Όπου $K_4= (6.0 \times 10^{-9})(1/4.8 \times 10^{-11})(4.2 \times 10^{-11})=5.3 \times 10^{-5}$

Το ανθρακικό ασβέστιο έχει χαμηλή διαλυτότητα $K_{sp}=6\cdot10^{-9}$ στους 25 ^{0}C, όπως προαναφέραμε, αλλά καθώς το pH πέφτει, το ανθρακικό ασβέστιο γίνεται αρκετά διαλυτό. Το μετεωρικό νερό έχει pH 5,6 έως 10,5 και είναι ασθενώς όξινο μέχρι αλκαλικό, όμως στις φρεάτιες ζώνες η οξύτητα κυμαίνεται από 5,6 μέχρι 6,4, δηλαδή είναι ασθενώς όξινο. Η αντίδραση (1) είναι υπεύθυνη για τον σχηματισμό των σπηλαίων σε καρστικές περιοχές για χιλιάδες χρόνια.

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη παραπάνω χημική ισορροπία είναι η θερμοκρασία και η πίεση. Η διαλυτότητα των στερεών στο νερό συνήθως αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας. Αυτό δεν ισχύει σε όλες τις περιπτώσεις. Έχουμε ενδόθερμες και εξώθερμες διαλύσεις αλάτων στο νερό. Για παράδειγμα, η διαλυτότητα του $CaCO_3$ μεταβάλλεται ελάχιστα με την αύξηση της θερμοκρασίας ή ο γύψος και ο κοινός ασβέστης διαλύονται πιο εύκολα στο *ψυχρό* νερό. Η διαλυτότητα αυξάνεται με την μείωση της θερμοκρασίας. Η μερική πίεση του CO_2 όταν αυτή αυξάνεται στο νερό τότε αυξάνει και τη διαλυτική του ικανότητα. Έτσι το κρύο νερό χειμερινών βροχοπτώσεων είναι πλουσιότερο σε διοξείδιο του άνθρακα και συνεπώς η επιφανειακή διάλυση των ασβεστόλιθων είναι μεγαλύτερη στις ψυχρές περιοχές παρά στις θερμές.

ΣΤΟΧΟΣ 3

Όταν το $CaCO_3$ έχει προσμίξεις οξειδίων οι σπηλαιολιθωματικοί σχηματισμοί έχουν αποχρώσεις π.χ. τα οξείδια του Fe προκαλούν χρώμα ερυθρό μέχρι καστανό χρώμα λόγω της οξείδωσης (μετατροπή του Fe^{2+} σε Fe^{3+}), ενώ τα οξείδια του μαγγανίου ανάλογα με τον αριθμό οξείδωσης του μαγγανίου έχουν χρώμα καφέ Mn_2O_3, γκρι MnO, καφέ Mn_3O_4 και μαύρο MnO_2. Οι οξειδώσεις σιδηρούχων ορυκτών που μετατρέπονται τελικά σε οξείδια περιγράφονται στις παρακάτω αντιδράσεις:

Fe_2SiO_4 (φαϋαλίτης) + $1/2O_2$ + $2H_2O \longrightarrow Fe_2O_3 + H_4SiO_4$

$2FeCO_3$ (σιδηρίτης) + $1/2O_2 \longrightarrow Fe_2O_3 + 2CO_2$

Τα θειούχα ορυκτά, όταν οξειδώνονται, μετατρέπονται στα αντίστοιχα οξείδια[96]:

$2FeS_2^*$ (σιδηροπυρίτης) + $15/2O_2 + 4H_2O \longrightarrow Fe_2O_3 + 4SO_4^{2-} + 8H^+$

ΣΤΟΧΟΣ 4

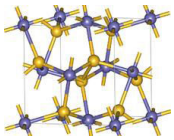
Υπάρχουν πολλοί τύποι ορυκτών πετρωμάτων που παρατηρούνται στα σπήλαια (εικ. 12, 13, 16, 17) και κάθε κατηγορία ορυκτών (ασβεστόλιθοι, ψαμμίτες, γρανίτες, γύψος) δίνει μοναδικές ιδιότητες. Υπάρχουν σπήλαια που βρίσκονται κοντά στην ακτή και τα οποία έχουν δημιουργηθεί με την ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας. Αυτά ονομάζονται παράκτια.

Εικ.54 Παράκτιο σπήλαιο

Ακόμα υπάρχουν σπήλαια σε λάβες που σχηματίζονται σε περιοχές με ηφαίστεια. Καθώς βγαίνει η λάβα από το ηφαίστειο, κυλάει σαν ποτάμι. Η εξωτερική της επιφάνεια αρχίζει να παγώνει και να στερεοποιείται. Όταν θα σταματήσει να ρέει η λάβα στο εσωτερικό, θα έχει μείνει ένας αγωγός, το σπήλαιο λάβας.

Εικ.55 Σπήλαιο λάβας

---

*  Τα σιδηροπυρητικά υλικά είναι $Fe^{2+}(S_2)^{2-}$ και περιέχουν χαμηλού spin Fe(II) σε μια παραμορφωμένη δομή NaCl («ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΒΡΩΜΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ (ΙΙΙ) ΜΕ ΤΟ ΒΕΝΖΟΤΡΙΑΖΟΛΙΟ» Δ. ΜΕΣΣΑΡΗ, ΣΠ.ΠΕΡΛΕΠΕΣ,ΠΑΤΡΑ,2012)

Υπάρχουν επίσης σπήλαια που διανοίγονται στους πάγους, όταν κινείται νερό μεγαλύτερης θερμοκρασίας από αυτήν του πάγου στο εσωτερικό του, με αποτέλεσμα να τον λιώνει.

Εικ.56 Σπήλαιο πάγων

Υπάρχουν και σπήλαια με γύψινα σπηλαιοθέματα! Πώς όμως δημιουργούνται αυτά τα σπήλαια; Η παρουσία του ισχυρού πτητικού H_2S που απελευθερώνεται από θερμές πηγές σε φυσαλίδες και αντιδρά με το οξυγόνο, οπότε σχηματίζεται θειικό οξύ, δημιουργεί ισχυρές διαβρωτικές συνθήκες. Προοδευτικά η μερική πίεση του CO_2 αυξάνεται ενώ σε αργές ροές καθιζάνει γύψος:

$$2H_2S + O_2 \rightleftarrows H_2SO_4 \qquad (2)$$

$$H_2SO_4 + CaCO_3 + H_2O \rightleftarrows CaSO_4\,2H_2O + CO_2 \qquad (3)$$

Συνήθως η γύψος απομακρύνεται από τη ροή του νερού λόγω της μεγάλης διαλυτότητας (εικ.16,17). Το σπήλαιο Lower Kane περιλαμβάνει μια θερμή πηγή, το νερό της οποίας είναι πλούσιο σε υδρόθειο. Όμως πολύ μικρό μέρος από τη συγκεκριμένη χημική ένωση καταφέρνει να βρει το δρόμο του προς την ατμόσφαιρα εντός του σπηλαίου. Αντιθέτως, όπως παρατήρησαν οι ερευνητές, το θειικό οξύ χρησιμοποιείται από τα μικρόβια, τα οποία σχηματίζουν μια άσπρη επικάλυψη στο δάπεδο του θαλάμου της σπηλιάς. Τα βακτηρίδια Thiobacillus thioparus λειτουργούν ως «βιολογικοί ανθρακωρύχοι» χρησιμοποιούν τις χημικές ενώσεις σαν πηγές ενέργειας, καταναλώνοντάς τις, όπως ακριβώς εμείς καταναλώνουμε τους υδρογονάνθρακες. Το θειικό οξύ είναι ένα από τα ενδιάμεσα υποπροϊόντα αυτής της διαδικασίας του μεταβολισμού τους, σύμφωνα με την αντίδραση (2). Με άλλα λόγια, αυτά τα βακτήρια είναι εκείνα που ευθύνονται για την μετατροπή του ανθρακούχου πετρώματος σε γύψο. Λίγο-λίγο, τα μικροβιακά απορίμματα σχηματίζουν αρχικά μικροσκοπικές ρωγμές στους βράχους, οι οποίες σταδιακά γίνονται σπήλαια τόσο

μεγάλα ώστε να μπορεί κανείς να περιηγηθεί μέσα τους (Vlasceanu et al 1997). Το σπήλαιο Lower Kane εκτιμάται ότι σχηματίσθηκε περίπου πριν από 10.000 χρόνια. Αυτό σημαίνει ότι το σπήλαιο είναι σχετικά «νεαρό»: τα σπήλαια που σχηματίζονται από την πιο συνήθη δράση του ανθρακικού οξέος μεγαλώνουν σε μέγεθος με αρκετά πιο αργούς ρυθμούς. Για παράδειγμα, το Άνδρο Carlsbad είναι 10-14 εκατομμυρίων ετών. Ίσως αποτελεί μια μονάχα απόδειξη των θαυμάτων που μπορούν να επιτύχουν τα βακτήρια-αρκεί να τους δοθεί αρκετός χρόνος.

<u>ΦΑΣΗ 3</u> Διαθεματική διδασκαλία στο σπήλαιο

Τα βασικά ερωτήματα-στόχοι που θα απαντηθούν σε αυτήν τη φάση είναι:

1. Ποια είναι τα σημαντικότερα σπηλαιοθέματα;
2. Ποιοι οργανισμοί φυτικοί ή ζωικοί ζουν στα σπήλαια και πώς επιβιώνουν;
3. Ποια είναι τα επίπεδα φυσικής ραδιενέργειας στα σπήλαια;
4. Ποιοι είναι οι κυριότεροι παράγοντες καταστροφής του σπηλαίου και πώς μπορούμε να τα προστατέψουμε;
5. Ποιες είναι οι σχέσεις των καρστικών φαινομένων και κυρίως των σπηλαίων με τον άνθρωπο από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα;

ΣΤΟΧΟΣ 1

Κατά την διδακτική αυτή ώρα προβάλλονται σε βιντεοπροβολέα τα κυριότερα σπηλαιοθέματα (κουρτίνες, ελικτίτες, κολώνες, μαργαριτάρια, σπηλαιόσκονη, ρεόλιθοι, γκούρ, διακλασίτες, κοράλλια, βελόνες, σπηλαιοφλύκταινες κ.α.), καθώς και πώς σχηματίζονται και αυξάνονται οι σταλαγμίτες-σταλακτίτες (εικ.15, εικ.20, εικ.22).

ΣΤΟΧΟΣ 2

Αναφέρονται τα είδη φυτικών και ζωικών οργανισμών που επιβιώνουν μέσα σε ένα σπήλαιο (Τρωγλόφιλοι-Τρωγλόξενοι-Τρωγλόβιοι) και παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι οργανισμοί σε βιντεοπροβολέα (εικ.40-45). Τονίζονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτών των οργανισμών και η ικανότητα επιβίωσής τους σε αυτές τις συνθήκες της υψηλής υγρασίας και του απόλυτου σκότους. Εντυπωσιακή είναι η

ιδιαιτερότητα που ανάπτυξαν οι τρωγλόβιοι οργανισμοί για να επιβιώσουν στις ακραίες συνθήκες του εσωτερικού των σπηλαίων (το φως της ημέρας δε φτάνει ποτέ και η υγρασία είναι μόνιμη).

Οι αλλαγές που παρατηρούνται σε σχέση με τους οργανισμούς εκείνους που γνωρίζουμε εκτός σπηλαίων, αφορούν τη δραστηριότητά τους, την ανάπτυξή τους, τη θερμοκρασία, τα αισθητήρια όργανα κ.α.

Παρατηρείται οι οργανισμοί αυτοί να έχουν μικρά έως και καθόλου μάτια, να φαίνεται το σώμα τους διάφανο (απουσία χρωστικών), να έχουν λεπτότερο σώμα και άκρα, μακρύτερες κεραίες και ιδιαίτερα ανεπτυγμένους μηχανισμούς ηχο-εντόπισης επιμήκυνση του κύκλου ζωής τους, χαμηλός ρυθμός αναπαραγωγής, επίμηκες σώμα, έλλειψη χρωστικών (εικ.44). Αυτά είναι μερικά από τα χαρακτηριστικά που μπορεί κάποιος να παρατηρήσει.

ΣΤΟΧΟΣ 3

Η ραδιενέργεια των σπηλαίων είναι αυξημένη, πιθανότατα λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης αργίλου, η οποία επειδή προέρχεται από εκρηξιγενή πετρώματα έχει αρκετή ραδιενέργεια. Για το λόγο αυτό τα σπήλαια χρησιμοποιούνται και από την Ιατρική στις σπηλαιοθεραπείες. Στα πετρώματα που δομούν το γήινο φλοιό υπάρχουν περίπου πενήντα φυσικώς ραδιενεργά στοιχεία (^{238}U, ^{235}U, ^{232}Th, ^{40}K, ^{210}Rb, ^{14}C , και τα ασταθή προϊόντα της διάσπασής τους) τα οποία, κατά τις διαδικασίες των αυθόρμητων διασπάσεων (ή και σχάσεων) εκπέμπουν στο άμεσο περιβάλλον τους ακτινοβολίες είτε σωματιδιακές (όπως οι ακτίνες α και β) είτε ηλεκτρομαγνητικές (όπως οι ακτίνες -γ). Στους φυσικούς ραδιενεργούς πυρήνες, η ενέργεια των ακτίνων α (~2-7,5 MeV) είναι περίπου δεκαπλάσια της ενέργειας των ακτίνων β (μερικά KeV μέχρι 15 MeV) και περίπου εκατονταπλάσια των ακτίνων γ (μερικών eV μέχρι 3 MeV). Οι ακτινοβολίες αυτές καθώς και η κοσμική, η οποία αποτελεί μια ροή φορτισμένων σωματιδίων, αλλά και φωτονίων υψηλών ενεργειών εξωγήινης (αρχικώς) προέλευσης, συνθέτουν ένα συνεχές και αέναο φαινόμενο το οποίο εννοούμε ως "φυσική ραδιενέργεια".

Στα σπήλαια η ραδιενέργεια είναι κατά κανόνα ανομοιογενώς κατανεμημένη μεταξύ ασβεστιτικής σύστασης σπηλαιοθεμάτων και κλαστικών ιζημάτων (αργίλων,

άμμων κ.λ.π,). Η ραδιενέργεια των ασβεστιτικών σπηλαιοθεμάτων είναι κατά πολύ μικρότερη της ραδιενέργειας των κλαστικών υλικών, ενώ τα επίπεδα της ακτινοβολίας γ των κλαστικών είναι πολύ υψηλότερα απ' ότι στους ασβεστίτες.

Όταν στο διάκοσμο του σπηλαίου επικρατούν τα λευκά ασβεστιτικής σύστασης πετρώματα, τότε αναμένονται όπως προαναφέραμε χαμηλά επίπεδα ραδιενέργειας. Ενώ όταν στα πληρώματα επικρατούν τα κλαστικά ιζήματα αργιλοπυριτικής σύστασης {π.χ. ιλύς, ερυθρά γη- terra rossa), τα οξείδια και υδροξείδια (συνήθως Mn και Fe όπως π.χ. ο λειμωνίτης) και τα οργανικής προέλευσης υλικά (π.χ. γκουανό), τότε αναμένεται σχετικά υψηλότερα επίπεδα ραδιενέργειας, συγκρίσιμα με το επίπεδο ραδιενέργειας των συνήθων, εκτεθειμένων στον αέρα, αργιλούχων εδαφών. Η παραπάνω διαφοροποίηση αυτών των δύο κατηγοριών πληρωμάτων σπηλαίων, έγκειται στην διαφορετική περιεκτικότητα των ραδιοστοιχείων».

Στη σειρά ραδιενεργών διασπάσεων των στοιχείων U-238, U-235 και U-232 και Th-232 εμφανίζεται και ενδιάμεσο ραδιενεργό στοιχείο ραδόνιο (Rn) (εικ.39), το οποίο είναι αέριο. Στη φύση εμφανίζονται τρία ισότοπα του Rn:

Α) Το Rn-220 που προέρχεται από τη σειρά του Th-232, έχει χρόνο ημιζωής 55,6 s και μεταστοιχειώνεται σε στερεό Po-216 με εκπομπή ενός σωματιδίου α.

Β) Το Rn-219 που προέρχεται από τη σειρά του U-235, έχει χρόνο ημιζωής 3,96 s και μεταστοιχειώνεται σε στερεό Po-215 με εκπομπή ενός σωματιδίου α.

Γ) Το Rn-222 που προέρχεται από τη σειρά του U-238, έχει χρόνο ημιζωής 3,83 s και μεταστοιχειώνεται σε στερεό Po-218, με εκπομπή επίσης ενός σωματιδίου α.

Το τρίτο ισότοπο (Rn-222) ενδιαφέρει επειδή έχει σχετικά μεγάλο χρόνο ημιζωής, 3,83 ημέρες και επειδή προέρχεται από το κύριο ισότοπο του U-238 (99,3%). Το ραδόνιο, ως αέριο, είναι ικανό να διαφεύγει μέσω των πόρων των πετρωμάτων και να αιωρείται στην ατμόσφαιρα μέχρις ότου μεταστοιχειωθεί στο επόμενο στερεό στοιχείο. Σε περιπτώσεις κλειστών ή μετρίως αεριζόμενων χώρων όπως είναι τα καρστικά έγκοιλα το φαινόμενο αυτό ακολουθείται και από επικάθηση του

θυγατρικού στοιχείου πολωνίου στην επιφάνεια των τοιχωμάτων του έγκοιλου και συνέχιση της ραδιενεργού διάσπασης, από Po-218 μέχρι Po-206 σε άλλη θέση από αυτή του μητρικού πυρήνα. Το ποσοστό διαφυγής του Rn είναι συνάρτηση του πορώδους και του πληθυσμού των μικρορωγμών κι εξαρτάται σημαντικά από το ποσοστό της υγρασίας του πετρώματος που εμπεριέχει τους πυρήνες ουρανίου (εικ.38).

Το παράδοξο φαινόμενο ότι στα υγρά πορώδη σπηλαιοθέματα η διαφυγή του Rn είναι εντονότερη απ' ότι όταν τα υλικά είναι ξηρά, εξηγείται ως εξής:

«Κατά τον σχηματισμό του Rn η κινητική ενέργεια είναι μικρή και του επιτρέπει να κινηθεί κατά 0,05 μm μέσα σε αργιλούχα στερεά ύλη και μερικές χιλιάδες φορές περισσότερο μέσα στον αέρα. Οι πυρήνες Rn που θα σχηματισθούν στην εσωτερική επιφάνεια των πόρων ενός σπηλαιοθέματος (μέχρι βάθους 0,05μm) θα κινηθούν στο χώρο του πόρου και εάν ο χώρος περιέχει αέρα (ξηρό σπηλαιόθεμα), τότε το Rn λόγω αρχικής κινητικής ενέργειας θα εκτοξευτεί και θα ενσφηνωθεί στην απέναντι επιφάνεια του πόρου και θα συνεχίσει την ραδιενεργό του διάσπαση, μεταστοιχειωμένου προς Po-218 υπό ταυτόχρονη εκπομπή ενός ακόμη σωματιδίου α. Εάν ο πόρος είναι γεμάτος με νερό (υγρό σπηλαιόθεμα), τότε το Rn θα κινηθεί αργά μέχρι την έξοδο του πόρου και θα διαφύγει στον αέρα του σπηλαίου ως αέριο».

ΣΤΟΧΟΣ 4

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η διαφάνεια (εικ.52) και αναφέρεται η πράσινη νόσος των σπηλαίων. Οι ανθρώπινες επεμβάσεις για τουριστική αξιοποίηση όπως, φωτιστικά σώματα, τσιμεντένιοι διάδρομοι κ.α. επιφέρουν αλλαγές στην οικολογική σταθερότητα των σπηλαίων. Αυτό έχει ως συνέπεια να επηρεάζονται οι αβιοτικοί και βιοτικοί παράγοντες που χαρακτηρίζουν κάθε σπήλαιο. Η ανάπτυξη της μικροχλωρίδας (πράσινης νόσου) στο σταλακτιτικό διάκοσμο προσβάλλει, με καταστρεπτικές συνέπειες το μεγαλύτερο τμήμα του σπηλαίου. Τα αίτια για το «το πρασίνισμα των σπηλαίων» είναι η οργανική ύλη, το φως, οι κατασκευές των ανθρώπινων παρεμβάσεων. Το διαθέσιμο φως αυξάνεται πέρα από το φυσικό φως που εισέρχεται από τα ανοίγματα σπηλαίου και σε συνδυασμό με τον τεχνητό φωτισμό στα αξιοποιημένα σπήλαια κι αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εγκατάσταση και ανάπτυξη φωτοσυνθετικών οργανισμών γύρω από την φωτεινή πηγή (εικ.46-49).

Επιπλέον η οργανική ύλη από τα περιττώματα ζωικών οργανισμών, νεκρών οργανισμών και φερτών υλικών από την ανθρωπογενή επίδραση (κατασκευές, επισκεψιμότητα χιλιάδων ανθρώπων, απορρίμματα) συμβάλλει στην παραπέρα εποίκηση των σπηλαίων και την ανάπτυξη εντυπωσιακής μορφής βλάστησης σε όλη την έκταση του σπηλαίου. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στο σπήλαιο «Γλυφάδα» Διρού εκεί που άλλοτε υπήρχε λευκός διάκοσμος σπηλαιοθεμάτων έχει αντικατασταθεί από ανοιχτόχρωμο λαμπυρίζον χρώμα, κυρίως στα σημεία έντονου φωτισμού και οι τοποθετημένες λυχνίες ψυχρού φωτισμού φαίνεται ότι δεν έχουν περιορίσει την έκταση της αλλοίωσης. Η ανθρωπογενής ρύπανση είναι τόσο προχωρημένη, ώστε το καλοκαίρι του 1986 είχε φυτρώσει κι αναπτυχθεί μέχρι ύψους 8 cm ένα πλατύφυλλο ανώτερο φυτό!

Οι επιπτώσεις στο σπήλαιο είναι δραματικές:

i. Αισθητική υποβάθμιση αφού προκαλείται πρασίνισμα του σπηλαίου.

ii. Αλλαγές στο οικοσύστημα μια και αυξάνεται η θερμοκρασία και επομένως αυξάνονται οι σύνθετες τροφικές αλυσίδες.

iii. Υποβαθμίζεται το σπήλαιο ως μνημείο της φύσης και του πολιτισμού. Παρουσιάζεται διάβρωση και φθορά του φυσικού διακόσμου των σπηλαίων, καθώς και των ανάγλυφων απεικονίσεων σε σπήλαια με αρχαιολογική, θρησκευτική και ιστορική αξία.

Στην συνέχεια αναφέρεται πώς μπορούμε να προστατέψουμε τα τουριστικά αξιοποιημένα σπήλαια με τους εξής τρόπους:

Α. Απομόνωση του σπηλαίου από το εξωτερικό περιβάλλον με έλεγχο των συνθηκών στο σπήλαιο (φως, υγρασία, θερμοκρασία, φερτά υλικά, οργανική ύλη).

Β. Ορθολογικές επεμβάσεις ως προς τις κατασκευές.

Γ. Αντικατάσταση του θερμού φωτισμού με ψυχρό μήκους κύματος 520-583 nm, ώστε να μην ευνοείται η φωτοσύνθεση και η ανάπτυξη των κυανοβακτηρίων, μείωση της έντασης των φωτιστικών σωμάτων και περιοδικός φωτισμός του σπηλαίου.

Δ. Ελεγχόμενες επισκέψεις.

Ε. Τακτικός έλεγχος από ειδικούς της κατάστασης του σπηλαίου.

ΣΤΟΧΟΣ 5

Η Σπηλαιολογία είναι η επιστήμη που ασχολείται με την μελέτη των σπηλαίων και τις σχέσεις των καρστικών φαινομένων και κυρίως των σπηλαίων με τον άνθρωπο. Κατ' επέκταση, σπηλαιολογία είναι η επιστήμη που ασχολείται με την έρευνα των καρστικών μορφών και μελετά τη δυνατή οικονομική χρησιμότητά τους. Μελετά λεπτομερέστερα τη γένεση και το παρελθόν των σπηλαίων, τις διάφορες μορφές τους και τις αιτίες δημιουργίας τους. Επίσης, μελετά το περιεχόμενο των σπηλαίων, δηλ. τα ανόργανα και τα οργανικά συστατικά, τους σταλακτίτες, τις υδρογραφικές συνθήκες των υδάτινων σπηλαίων, τις μετεωρολογικές συνθήκες του αέρα των σπηλαίων, τη φυσική και χημική τους σύνθεση, τα απολιθώματα των ζωικών και φυτικών μορφών, τα φυτά και τα ζώα που επισκέπτονται τα σπήλαια. διάλυση των πετρωμάτων και κυρίως αυτών που έχουν στρωματώδη δομή.

Είναι γνωστό πως ο άνθρωπος άρχισε να επισκέπτεται τα σπήλαια από πολύ παλιά. Ήδη από την Κατώτερη Παλαιολιθική περίοδο υπάρχουν ενδείξεις για ανθρώπινη παρουσία μέσα σε αυτά. Η πρώτη επίσκεψη του ανθρώπου σε αυτούς τους σκοτεινούς και υγρούς χώρους είναι για την προστασία του ανθρώπου από τα άγρια θηρία. Όμως, πώς λειτούργησε ο άνθρωπος μέσα στα σπήλαια, άλλοτε τα χρησιμοποίησε ως απλό κατάλυμα, άλλοτε ως χώρο εργασίας, ως χώρο λατρείας, ως σχολείο (κρυφό σχολείο επί τουρκοκρατίας) ή και ως χώρο ταφής των νεκρών του. Η επιστημονική έρευνα που σχετίζεται με τα σπήλαια γνώρισε μεγάλη άνθηση τα τελευταία χρόνια με πιο σημαντικούς τους κλάδους αυτούς της παλαιοντολογίας για την έρευνα των απολιθωμάτων, της αρχαιολογίας για την έρευνα των καταλοίπων της ανθρώπινης δραστηριότητας και της μελέτης των βραχογραφιών, της χημείας για την έρευνα της δημιουργίας, μελέτης και αξιοποίησης των σπηλαίων, της βιολογίας για την έρευνα του μικροπεριβάλλοντος, της φυσικής με την έρευνα του κλίματος και της μετεωρολογίας, της γεωφυσικής με την έρευνα τη σεισμολογίας και της χρονολόγησης των αποθεμάτων, της γεωλογίας με την έρευνα της στρωματογραφίας, της ιζηματολογίας και της γεωμορφολογίας, της μηχανικής με την έρευνα πάνω σε πετρελαϊκά αποθέματα και τουριστικά αξιοποιημένα σπήλαια, της ιατρικής με τη σπηλαιοθεραπεία κ.α. Σχεδόν όλοι οι κλάδοι έχουν συμβάλει ώστε σήμερα τα

σπήλαια να αποτελούν έναν σημαντικό οικονομικό παράγοντα εσόδων των κρατών που τα έχουν αξιοποιήσει.

Στην Ελλάδα η εξέλιξη της σπηλαιολογίας ήταν διαφορετική. Την εποχή που στη Δύση ξεκινούσαν οι πρώτες σπηλαιολογικές εξερευνήσεις, στη χώρα μας γινόταν εκμετάλλευση ορισμένων σπηλαίων για την εξαγωγή νίτρου που χρησίμευε στην παρασκευή της πυρίτιδας, αναγκαίας για την απελευθέρωση της χώρας. Μετά την απελευθέρωση και με την ευκαιρία της αποστράγγισης της Κωπαΐδας και τμημάτων του οροπεδίου της Τρίπολης έγινε το πρώτο βήμα για την καταγραφή σπηλαίων και καταβοθρών. Η σχέση της αρχαιολογίας με τα σπήλαια εγκαινιάστηκε με τις ανασκαφές που έγιναν σε αυτά από τις αρχές του 20ου αι. Παράλληλα, δημιουργήθηκαν και διάφοροι σύλλογοι που είχαν ως σκοπό και την εξερεύνηση των σπηλαίων. Το 1950 ιδρύθηκε η Ελληνική Σπηλαιολογική Εταιρεία από τους Γιάννη και Άννα Πετροχείλου και η σπηλαιολογία καταγράφηκε πλέον ως επιστήμη στη χώρα μας. Στον Ελλαδικό χώρο υπάρχουν κάποια σπήλαια που έχουν ιζήματα αρχαιολογικού ενδιαφέροντος. Αρχαιολογικό ίζημα είναι η απόθεση, η οποία είναι άμεσα ή έμμεσα συνδεδεμένη με την ανθρώπινη δραστηριότητα. Εκτός από τα λίθινα και οστέινα εργαλεία, τα ανθρώπινα και ζωικά οστά, τις εστίες, τα αντικείμενα κόσμησης και τα κινητά έργα τέχνης, οι βραχοσκεπές επιτρέπουν τη διατήρηση και άλλων ευαίσθητων καταλοίπων, όπως βραχογραφιών, ιχνών βημάτων, προπλασμάτων από άργιλο κ.α.

Μέχρι σήμερα μόνο τα σπήλαια έχουν παρουσιάσει διαδοχική στρωματογραφία που να καλύπτει και τις τρεις εποχές στις οποίες υποδιαιρούνται οι ελληνικοί προϊστορικοί χρόνοι. Αυτό στην πράξη σημαίνει πως μόνο από τα σπήλαια μπορούμε να λάβουμε στοιχεία μέχρι στιγμής για τη μετάβαση από τη μια χρονική περίοδο στην άλλη (ανασκαφή και μελέτη από το υλικό στο Φράγχθι τη Αργολίδας).

Η Παλαιοντολογία είναι η επιστήμη που ασχολείται με τη μελέτη των όντων, τα οποία έζησαν στη γήινη επιφάνεια πριν από την παρούσα γεωλογική εποχή, δηλαδή τουλάχιστον πριν από 10.000 χρόνια μέχρι πολλά εκατομμύρια χρόνια πίσω. Τα λείψανα αυτών κλείστηκαν μέσα στα στρώματα της Γης που σχηματίστηκαν πριν από την παρούσα γεωλογική εποχή, και λέγονται «Απολιθώματα». «Απολιθώματα είναι τα γράμματα, με τα οποία ο πλανήτης μας έγραψε την Ιστορία του, ενώ οι σελίδες

είναι τα στρώματα (πετρώματα) της Γης». Τα απολιθώματα έχουν μεγάλη σημασία για τη Γεωλογία, διότι παρέχουν το μοναδικό μέσο με το οποίο μπορούμε να διαρθρώσουμε τα διάφορα στάδια της εξέλιξης του πλανήτη μας. Από την προϋπάρχουσα ζωή διατηρείται ως απολιθώματα ένα πολύ μικρό ποσοστό. Τα απολιθώματα, ζώα ή φυτά, μπορούν να μελετηθούν κατόπιν συγκρίσεως της μορφής τους ή του οργανισμού τους με τους σήμερα ζώντες οργανισμούς. Είναι γνωστό ότι τα εξαφανισμένα ζώα και φυτά δεν είναι τα ίδια σε όλα τα στρώματα και όσο πιο παλαιά είναι τα στρώματα, τόσο η ζωή που έχει εγκλεισθεί στα στρώματα αυτά είναι διαφορετική από τα σημερινά ζώντα ζώα και φυτά, και όσο προχωρούμε στα νεώτερα στρώματα, τόσο η ζωή μοιάζει με τα σημερινά ζώα και φυτά. Φθάνουμε έτσι στη γνώση μιας διαδοχής των διαφόρων μορφών, οι οποίες δείχνουν την εξέλιξη της ζωής στην επιφάνεια της Γης. Η ανακάλυψη ορισμένων απολιθωμάτων επιτρέπει να βρούμε τη σχετική ηλικία του στρώματος που τα περικλείει (δηλαδή εάν είναι νεώτερο ή αρχαιότερο ενός άλλου). Η Παλαιοντολογία λοιπόν συνδέει το παρελθόν με το παρόν, προσπαθεί να εξηγήσει τους συνδέσμους του ζωικού και φυτικού κόσμου, αλλά και την εξέλιξη των μορφών που ανακαλύπτονται.

<u>ΦΑΣΗ 4</u> Εκπαιδευτική επίσκεψη στο χώρο του σπηλαίου

Σε αυτήν την φάση πραγματοποιείται επίσκεψη στο χώρο του σπηλαίου όλων των μαθητών και μαθητριών του σχολείου στα πλαίσια της μονοήμερης εκπαιδευτικής εκδρομής. Οι μαθητές και οι μαθήτριες χωρίστηκαν σε τέσσερις 4 ομάδες των εικοσιέξι 26 ατόμων και ανά 20 min ενημερώθηκαν με μια διεξοδική επίσκεψη-ξενάγηση στους χώρους του σπηλαίου των Ζωνιανών.

Η κάθε ομάδα περιηγείται στους χώρους του σπηλαίου και παρατηρεί από κοντά τα εντυπωσιακά σπηλαιοθέματα (σταλαγμίτες, σταλακτίτες, μαργαριτάρια, κολώνες, παραπετάσματα), καθώς και τους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς που ζουν κι αναπτύσσονται μέσα σε αυτό το σπήλαιο.

<u>ΦΑΣΗ 5</u> Πείραμα επίδειξης «Δημιουργία σταλακτίτη-σταλαγμίτη»

Πραγματοποιείται πείραμα επίδειξης <u>δημιουργίας σταλακτίτη-σταλαγμίτη</u>. Το συγκεκριμένο πείραμα επίδειξης είναι εύκολο και με μη τοξικά αντιδραστήρια, μια και χρησιμοποιείται μαγειρική σόδα (εικ.55). Επίσης οι κρύσταλλοι που

δημιουργούνται στο συγκεκριμένο πείραμα είναι τέτοιου μεγάλου μήκους, όπως και ο σταλαγμίτης που βρέθηκε στην Σλοβακία, αλλά στο δικό μας πείραμα χρειάστηκαν μόνο δύο εβδομάδες για να σχηματισθούν, αντί για χιλιάδες χρόνια! Εναλλακτικά στην παράγραφο 5.2 υπάρχουν και άλλα πειράματα με τα φύλλα αξιολόγησης τους:

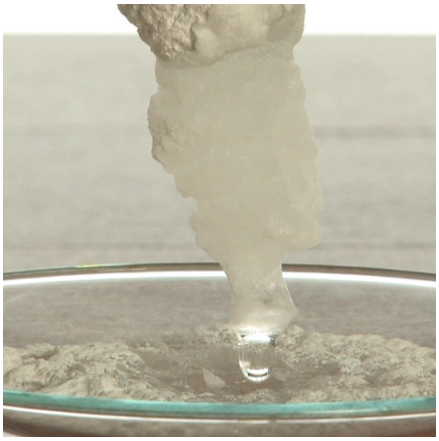
1. Παρασκευή διοξειδίου του άνθρακα και ανίχνευση του

2. Θερμική διάσπαση ανθρακικού ασβεστίου

3. Αντίδραση μαρμάρου με υδροχλωρικό οξύ (Οξέα-Ανθρακικά άλατα-Διοξείδιο του άνθρακα)

Υλικά

2 ποτήρια ζέσεως ίδιου μεγάλου μεγέθους
βαμβακερή χοντρή κλωστή και μια μικρή βαμβακερή πετσέτα
1 ύαλο ωρολογίου
Όξινο ανθρακικό νάτριο σε σκόνη
θερμό νερό



Εικ. 57 Πείραμα επίδειξης δημιουργίας σταλακτίτη-σταλαγμίτη

Εκτέλεση

Παίρνεις τα ποτήρια ζέσεως και τα τοποθετείς σε επίπεδη επιφάνεια, από την οποία δε θα χρειάζεται να τα μετακινείς, σε απόσταση 10 εκατοστών μεταξύ τους. Γεμίζεις και τα δύο ποτήρια ζέσεως με ζεστό νερό μέχρι λίγο κάτω από το χείλος (περίπου 3-4 εκατοστά, ανάλογα με το μέγεθος του ποτηριού ζέσεως). Ρίχνεις αρκετή ποσότητα $NaHCO_3$ και στα δύο ποτήρια ζέσεως, περίπου 1/2 κούπα στο καθένα. Ανακατεύεις

το ζεστό νερό μέχρι να διαλυθεί τελείως. Τοποθετείς τη βαμβακερή πετσέτα με την κάθε άκρη μέσα σε καθένα από τα ποτήρια ζέσεως και δένεις μια βαμβακερή κλωστή (εικ.59), ώστε να κάνει μία μικρή κοιλότητα στο σημείο που κρέμεται ανάμεσα στα δύο ποτήρια ζέσεως. Βάζεις την ύαλο ωρολογίου ανάμεσα στα δύο ποτήρια ζέσεως, για να στάζει το νερό εκεί. Όταν γεμίζει, το αδειάζεις και το επανατοποθετείς.

Και στη συνέχεια περιμένεις….

Θα δεις να ξεκινά πρώτα η σταγονορροή. Η βαμβακερή πετσέτα και η κλωστή απορροφά νερό από τα ποτήρια ζέσεως, το οποίο αρχίζει να στάζει λόγω της βαρύτητας, μόλις φτάσει στο κέντρο της κλωστής, στο σημείο της κοιλότητας. Επειδή στο νερό υπάρχει διαλυμένο $NaHCO_3$, όσο παραμένει πάνω στην κλωστή, προτού να στάξει, εξατμίζεται και έτσι κατακάθεται ένα μέρος του $NaHCO_3$. Μέσα σε 1-2 βδομάδες θα δεις να εμφανίζονται τα πρώτα ίχνη του σταλακτίτη. Σε ένα μήνα θα αρχίσει να σχηματίζεται και σταλαγμίτης μέσα στην ύαλο ωρολογίου. Η ταχύτητα της δημιουργίας εξαρτάται από την ποσότητα του διαλυμένου $NaHCO_3$ μέσα στο νερό και από τη συχνότητα της σταγονορροής.

Μπορείς να διατηρήσεις το πείραμα για περισσότερους μήνες, και έτσι θα δεις να μεγαλώνουν ακόμα περισσότερο οι σταλακτίτες σου.

Προσοχή, είναι πολύ εύθραυστοι, γι' αυτό δεν πρέπει να μετακινείς τα ποτήρια ζέσεως, ούτε να τα αφήνεις σε δυνατά ρεύματα αέρα.

Εικ.58 Τοποθέτηση του πειράματος

Εικ.59 Μετά από 2 βδομάδες

Συμβουλή: Μην παραλείπεις να γεμίζεις ξανά τα ποτήρια ζέσεως με το νερό που χάνεται και να συμπληρώνεις με $NaHCO_3$ κάθε 2 εβδομάδες.

<u>ΦΑΣΗ 6</u> Συμπλήρωση ερωτηματολογίου τελικής αξιολόγησης (παράρτημα Α2)

Αμέσως μετά το πείραμα επίδειξης της δημιουργίας σταλακτίτη-σταλαγμίτη δόθηκε ερωτηματολόγιο τελικής αξιολόγησης για την μελέτη και την αξιολόγηση της όλης διαδικασίας. Στόχος του ερωτηματολογίου ήταν για να αξιολογήσουμε την πρόταση με την ανίχνευση βελτιώσεων στο γνωστικό και συναισθηματικό πεδίο που προκάλεσε η εκπαιδευτική επίσκεψη στο χώρο του σπηλαίου σε συνδυασμό με τη διδασκαλία της ενότητας «Χημική ισορροπία-Αρχή Le Chatelier-οξέα-βάσεις-άλατα-διαλυτότητα». Δηλαδή τα ερωτηματολόγια τελικής αξιολόγησης ελέγχονται αν αποτέλεσαν πηγή ανατροφοδότησης και διορθωτικών κινήσεων ολόκληρης της εκπαιδευτικής διαδικασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΠΡΟΤΑΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

5.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε κατά το σχολικό έτος 2010-11 και συμμετείχαν συνολικά 104 μαθητές και μαθήτριες λυκείου, εκ των οποίων 50 ήταν μαθήτριες και 54 μαθητές, από όλες τις κατευθύνσεις (θεωρητικής-τεχνολογικής-θετικής). Τα ερωτηματολόγια προελέγχου και τελικής αξιολόγησης συμπληρώθηκαν από 42 μαθητές/τριες της Α΄ Λυκείου, 53 μαθητές/τριες της Β΄ Λυκείου και 9 μαθητές/τριες της Γ΄ Λυκείου. Το μάθημα της Χημείας είχε διδαχθεί από τον ίδιο καθηγητή και οι μαθητές ανήκαν σε διαφορετικές κατευθύνσεις.

Τα ερωτηματολόγια που δόθηκαν αποτελούνταν από ερωτήσεις κλειστού ή αντικειμενικού τύπου (κυρίως πολλαπλής επιλογής και αντιστοίχησης) και μερικές ανοικτού τύπου ή σύντομης ανάπτυξης. Χρησιμοποιήθηκε ένα ερωτηματολόγιο για προέλεγχο και κατόπιν το ίδιο ερωτηματολόγιο για την τελική αξιολόγηση. Στο ερωτηματολόγιο προελέγχου ανιχνεύτηκαν αρχικές γνώσεις και αντιλήψεις των μαθητών για τα σπήλαια (ερωτήσεις γνωστικού τομέα 4, 13, 14, 15) και την σχέση τους με το μάθημα της Χημείας (ερωτήσεις γνωστικού τομέα 1, 2, 3, 8), κάποιες απλές γνώσεις Χημείας σε σχέση με τον σχηματισμό σταλακτιτών-σταλαγμιτών (ερωτήσεις γνωστικού περιεχομένου 5, 6, 7), αλλά και κάποιες ερωτήσεις γνωστικού τύπου που απαιτούσαν πιο σύνθετες γνώσεις Χημείας (ερωτήσεις 7, 8, 9, 10, 11, 12). Διερευνήσαμε τις αντιλήψεις των μαθητών για τα σπήλαια και τη συσχέτισή τους με το μάθημα της Χημείας (ερωτήσεις συναισθηματικού τύπου 16, 17). Επίσης τέθηκαν ερωτήσεις για να διερευνήσουμε το ενδιαφέρον των μαθητών για τα σπήλαια και συγκεκριμένα για την προοπτική ενεργούς συμμετοχής τους σε αυτό το πλαίσιο εφαρμογής της διδασκαλίας Χημείας (ερωτήσεις συναισθηματικού τύπου 18, 19).

Ο στόχος του ερωτηματολογίου τελικής αξιολόγησης ήταν να διερευνήσουμε την οικοδόμηση συγκεκριμένων γνώσεων των μαθητών σε βασικά στοιχεία επιστημονικού περιεχομένου με την Χημεία και τα σπήλαια, μετά βέβαια από τις δύο διδακτικές ώρες, καθώς και την επίσκεψη στο χώρο του σπηλαίου. Επιλέξαμε τις ίδιες ερωτήσεις με το ερωτηματολόγιο προέλεγχου έτσι ώστε να αξιολογήσουμε την

εκπαιδευτική μας πρόταση, ανιχνεύοντας τα γνωστικά και συναισθηματικά οφέλη που κέρδισαν οι μαθητές από την συνεργασία της Χημείας με τα σπήλαια. Η επανάληψη των ερωτήσεων ανάμεσα στα δύο ερωτηματολόγια έγινε για να ανιχνεύσουμε την οικοδόμηση νέων γνώσεων, την ανατροφοδότηση και τις μεταβολές σε θέματα γνωστικού και συναισθηματικού περιεχομένου Χημείας που σχετίζεται με τον χώρο του σπηλαίου.

1η ΕΡΩΤΗΣΗ

Η ερώτηση 1 (γνωστικού τύπου) με επτά (7) υποερωτήματα τέθηκε με σκοπό να ανιχνεύσει γενικές πληροφορίες των μαθητών για τα σπήλαια (υποερωτήματα Α, Β, Γ, Δ), καθώς και απαραίτητες γνώσεις Χημείας άμεσα σχετιζόμενες με το χώρο των σπηλαίων (υποερωτήματα Ε, ΣΤ, Ζ, Η).

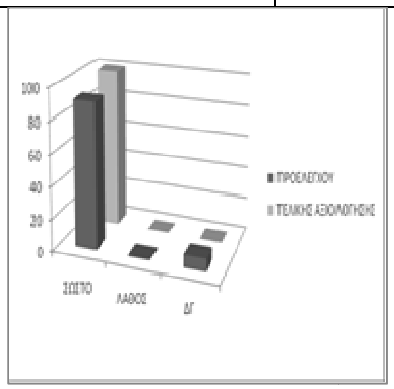
Όπως προκύπτει από την μελέτη των αποτελεσμάτων που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4 ένας περιορισμένος αριθμός μαθητών ανακάλεσαν κάποιες βασικές γνώσεις χημείας άμεσα σχετιζόμενες με τα σπήλαια στο ερωτηματολόγιο προελέγχου, αν και είχαν διδαχθεί τις αντίστοιχες ενότητες μέσα στα πλαίσια της ύλης του μαθήματος «οξέα-βάσεις-άλατα-διαλυτότητα» στην Α΄ και Β΄ Λυκείου δεν μπόρεσαν να αναγνωρίσουν την σημασία της αντίδρασης σχηματισμού των σταλακτιτών-σταλαγμιτών (ερ.1Ε), ενώ μετά την εφαρμογή της διδακτικής πρότασης (φάση 2-5) οι απαντήσεις των μαθητών στο ερωτηματολόγιο της τελικής αξιολόγησης δείχνουν εξαιρετικά υψηλά ποσοστά βελτίωσης ~97-100% κυρίως στις ερωτήσεις 1Ε-Η.

Από τα διαγράμματα 3Α-Η είναι έκδηλη η παρατηρούμενη αισθητή βελτίωση των προσλαμβανόμενων γνώσεων των μαθητών στο μάθημα της Χημείας μετά την εφαρμογή της διδακτικής πρότασης. Τα υψηλότερα ποσοστά βελτίωσης παρατηρούνται στις ερωτήσεις 1Ε, 1ΣΤ, 1Η, όπου οι αρχικές σωστές απαντήσεις ήταν αντίστοιχα 18.27%, 8.65%, 14.42% και μετά έφτασαν σε ποσοστά αντίστοιχα 100%, 98.08% και 97.12%.

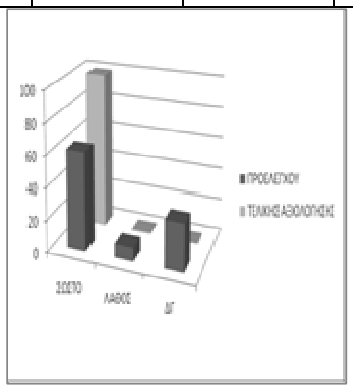
Πίνακας 4: *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 1 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης*

Ερώτηση 1	*Σωστή*		*Λάθος*		*Δεν γνωρίζω*	
	Προελέγχου	*Τελικής αξιολόγησης*	*Προελέγχου*	*Τελικής αξιολόγησης*	*Προελέγχου*	*Τελικής αξιολόγησης*
Α. Τα σπήλαια αποτελούν μνημεία απαράμιλλης φυσικοχημικής κληρονομιάς που χρειάζονται την προσοχή μας και την προστασία μας.	91,35	100	0,96	0	7,69	0
Β. Ο κύκλος του νερού έχει άμεση σχέση με την δημιουργία των σπηλαίων.	61,54	99,04	8,65	0,96	29,81	0
Γ. Τα σπήλαια είναι χώροι αρχαιολογικών ευρημάτων, αφού η παρουσία του ανθρώπου μέσα σε αυτά είναι έντονη σε όλη την πορεία και εξέλιξή του.	80,77	99,04	6,73	0	12,5	0,96
Δ. Σήμερα τα σπήλαια συμβάλλουν στην οικονομική ανάπτυξη της ευρύτερης περιοχής;	60,57	99,04	23,08	0,96	16,35	0
Ε. Η αντίδραση σχηματισμού των σταλαγμιτών/σταλακτιτών είναι $CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightleftharpoons Ca(HCO_3)_2$	18,27	100	11,54	0	70,19	0
ΣΤ. Ένας κόκκος ασβεστολιθικής άμμου διαλύεται από το νερό σε πέντε μήνες.	8,65	98,08	17,31	0,96	74,04	0,96
Ζ. Το κρύο νερό των χειμερινών βροχοπτώσεων είναι πλουσιότερο σε διοξείδιο του άνθρακα και συνεπώς η επιφανειακή διάλυση των ασβεστόλιθων είναι μεγαλύτερη.	29,81	97,12	13,46	1,92	56,73	0,96

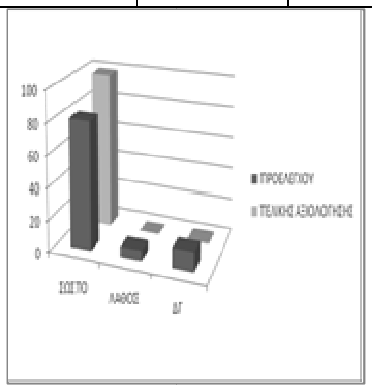
Η. Όταν το $CaCO_3$ έχει προσμίξεις οξειδίων οι σπηλαιολιθωματικοί σχηματισμοί έχουν αποχρώσεις π.χ. τα οξείδια του Fe προκαλούν χρώμα ερυθρό μέχρι καστανό χρώμα λόγω της οξείδωσης (μετατροπή του Fe^{2+} σε Fe^{3+}), ενώ τα οξείδια του μαγγανίου παίρνουν κυρίως μαύρο χρώμα.	14,42	97,12	7,69	0	77,89	2,88



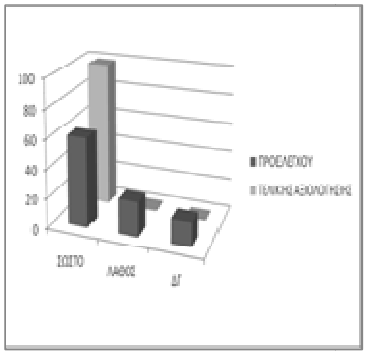
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3Α



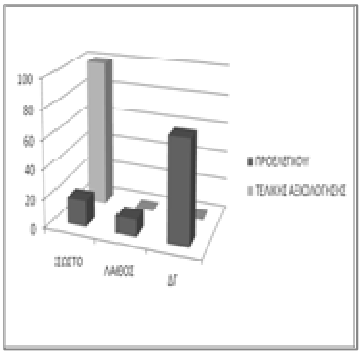
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3Β



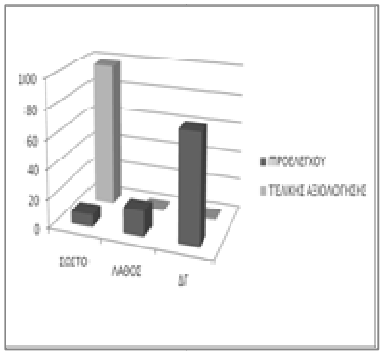
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3Γ



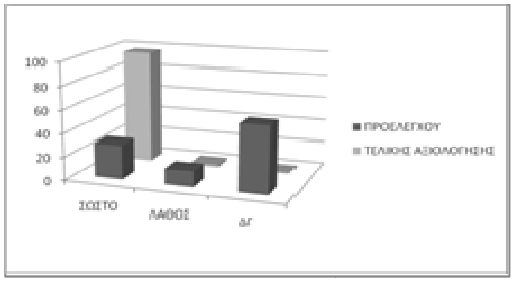
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3Δ



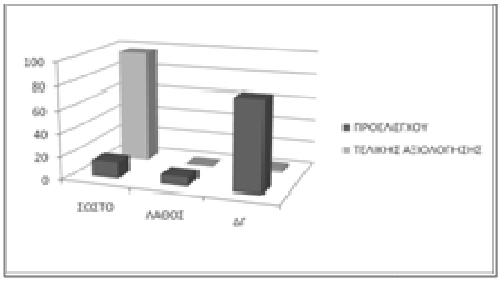
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3Ε



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3ΣΤ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3Ζ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3Η

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3: *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 1 και τα αντίστοιχα υποερωτήματα της στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης*

2η ΕΡΩΤΗΣΗ

Η ερώτηση αυτή διερευνά το ενδιαφέρον των μαθητών για τα σπήλαια, την ανίχνευση στάσεων και προοπτικής ενεργής συμμετοχής με την εφαρμοζόμενη διδακτική πρόταση. Είναι σημαντικό και αξιοσημείωτο να αναφερθεί ότι παρότι στον Ελλαδικό χώρο υπάρχουν χιλιάδες σπήλαια, μεγάλο ποσοστό μαθητών δεν είχαν επισκεφτεί κανέναν ~3% ή και μόνο ένα σπήλαιο ~26%! Παρόλα αυτά συμμετείχαν στην συγκεκριμένη εκπαιδευτική πρόταση, ξεπερνώντας ίσως τις προσωπικές τους φοβίες για τον άγνωστο κόσμο των σπηλαίων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5 *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών/τριων στην ερώτηση 2 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης*

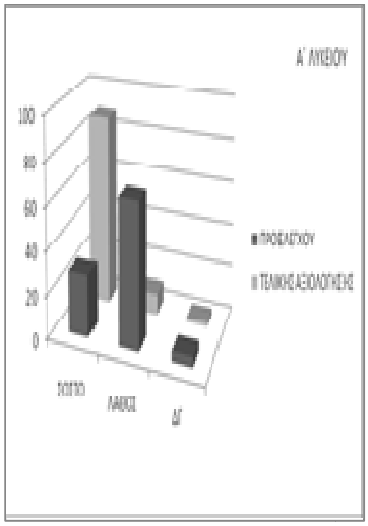
Ερώτηση 2	***Έναν***		***Κανέναν***		***Περισσότερους από έναν***	
Πόσους σπηλαιολογικούς χώρους στην Ελλάδα και στο εξωτερικό έχετε μέχρι σήμερα επισκεφθεί;	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***
	25,96	7,69	2,88	0	66,35	92,31

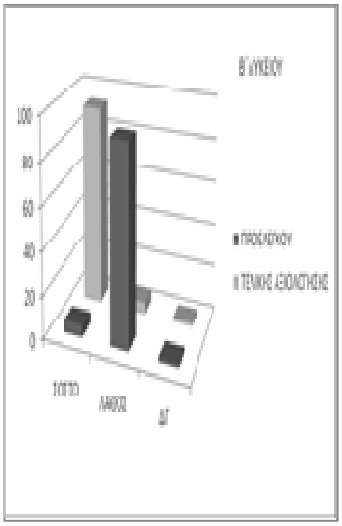
3η ΕΡΩΤΗΣΗ

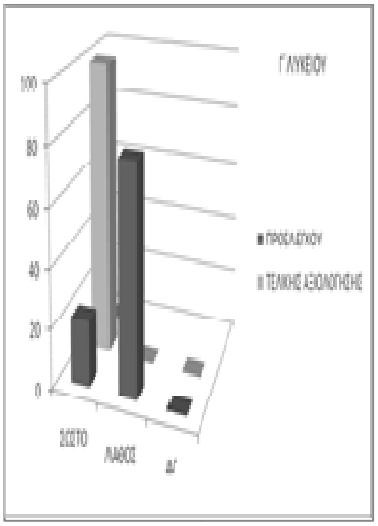
Στην ερώτηση αυτή διερευνούμε την ικανότητα των μαθητών να κατανοήσουν την διαθεματικότητα του χώρου των σπηλαίων και την συνάφεια της εκάστοτε επιστήμης με το χώρο αυτό. Μετά την εφαρμογή αυτής της διδακτικής προσέγγισης βλέπουμε ότι οι περισσότεροι μαθητές απαντούν σωστά σε αυτό το ερώτημα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6 *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών/τριων στην ερώτηση 3 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης*

Ερώτηση 3	***Σωστή***		***Λάθος***		***Δεν γνωρίζω***	
	Προελέγχου	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***
Ποιες επιστήμες θεωρείτε ότι σχετίζονται με τα σπήλαια; (Μπορείτε να επιλέξετε περισσότερες από μία απαντήσεις.) Α. Αρχαιολογία Β. Γεωλογία Γ. Χημεία Δ. Βιολογία Ε. Φυσική	16,35	91,35	80,77	6,73	2,88	1,92







ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4Α **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4Β** **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4Γ**

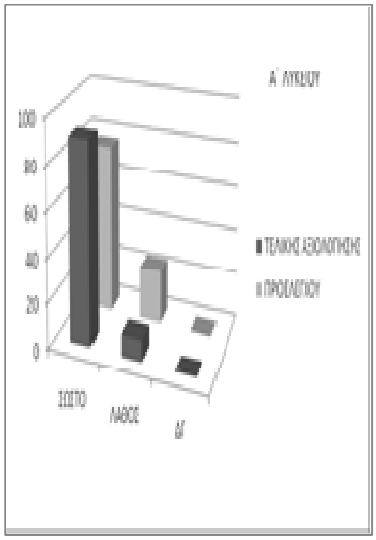
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4: *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 3 στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ανά τάξη Λυκείου*

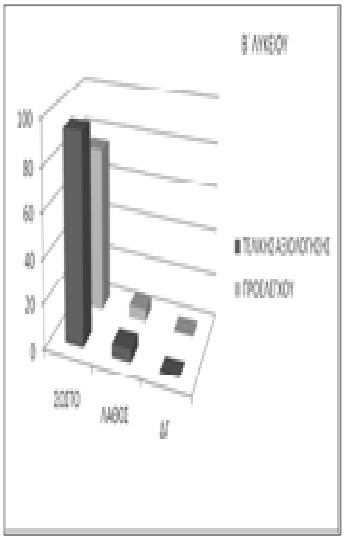
4η ΕΡΩΤΗΣΗ

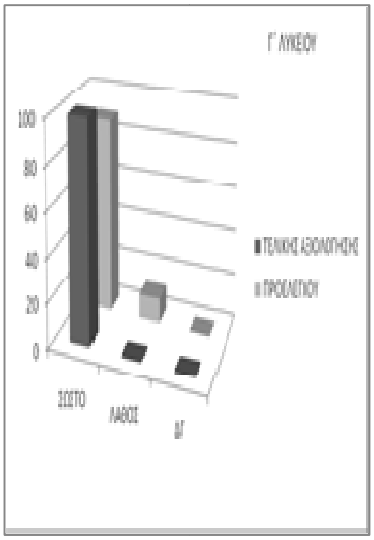
Στο κρυπτόλεξο που ακολουθεί παρατηρούμε ότι οι μαθητές όλων των τάξεων προσπαθούν να ανακαλύψουν τις λέξεις, με μεγαλύτερη επιτυχία όταν γνωρίζουν και κατανοούν την κάθε έννοια-λέξη που ψάχνουν, γιαυτό και στα ερωτηματολόγια τελικής αξιολόγησης έχω ιδιαίτερα υψηλά ποσοστά.

***ΠΙΝΑΚΑΣ** 7 Ποσοστά απαντήσεων μαθητών/τριων στην ερώτηση 4 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης*

Ερώτηση 4	***Σωστή***		***Λάθος***		***Δεν γνωρίζω***	
	Προελέγχου	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***
Βρείτε και κυκλώστε τις λέξεις-κλειδιά για τα σπήλαια: ΚΡΥΟ-ΣΤΟΑ-ΑΡΑΧΝΗ-ΣΠΗΛΑΙΟ-ΣΚΟΤΑΔΙ-ΝΥΧΤΕΡΙΔΑ-ΑΣΠΟΝΔΥΛΑ-ΚΑΤΑΒΟΘΡΑ-ΚΟΛΟΝΕΣ-ΤΡΩΓΛΟΒΙΑ-ΣΤΑΛΑΚΤΙΤΕΣ-ΣΤΑΛΑΓΜΙΤΕΣ	76,92	93,27	23,08	6,73	0	0







ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5Α **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5Β** **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5Γ**

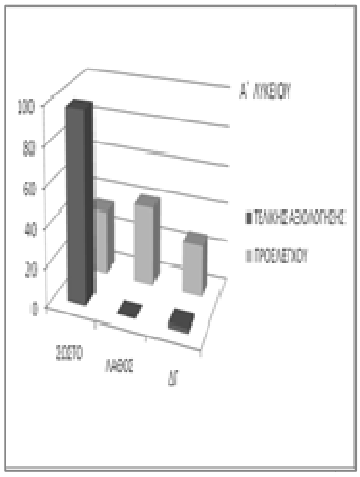
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5: *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 4 στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ανά τάξη Λυκείου*

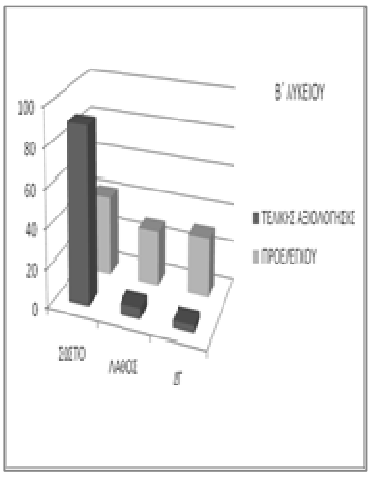
5η ΕΡΩΤΗΣΗ

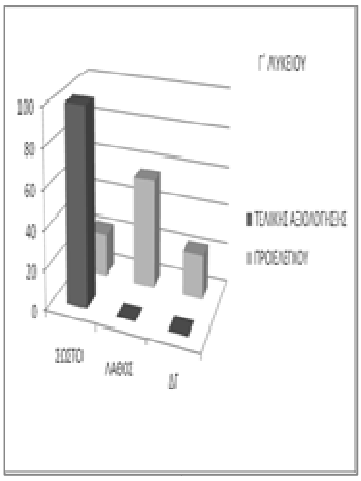
Η ερώτηση αυτή είναι αντικειμενικού τύπου και αφορά βασικές γνώσεις χημείας για το σπήλαιο. Οι μαθητές απάντησαν λάθος σε υψηλά ποσοστά στο ερωτηματολόγιο προελέγχου, αλλά στο ερωτηματολόγιο τελικής αξιολόγησης τροποποιήθηκαν θετικά οι απαντήσεις τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8 *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών/τριων στην ερώτηση 5 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης*

Ερώτηση 5	***Σωστή***		***Λάθος***		***Δεν γνωρίζω***	
	Προελέγχου	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***
Ο σχηματισμός σταλακτιτών-σταλαγμιτών είναι: Α. εξαιρετικά αργή διαδικασία Β. διαδικασία που οφείλεται στη μετατροπή του όξινου ανθρακικού ασβεστίου, που είναι διαλυμένο στο νερό, σε ανθρακικό ασβέστιο κατά την εξάτμιση του νερού Γ. όλα τα παραπάνω Δ. δεν γνωρίζω	36,54	94,24	35,58	2,88	27,88	2,88







ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6Α **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6Β** **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6Γ**

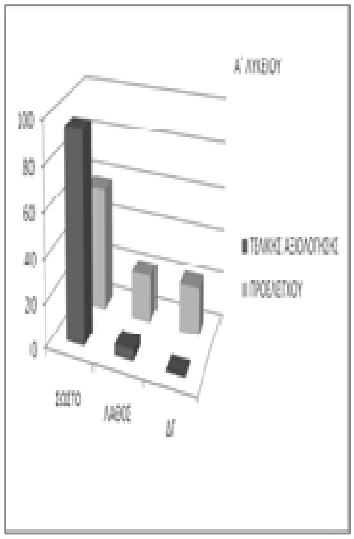
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6: *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 5 στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ανά τάξη Λυκείου*

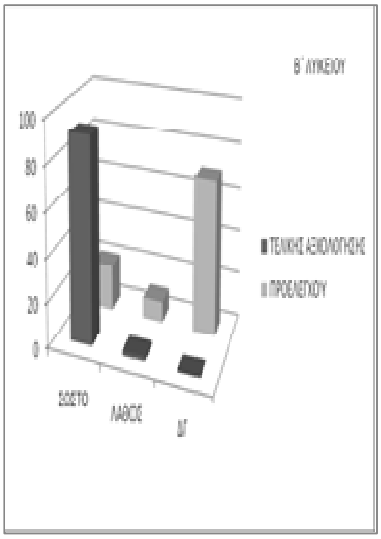
6η ΕΡΩΤΗΣΗ

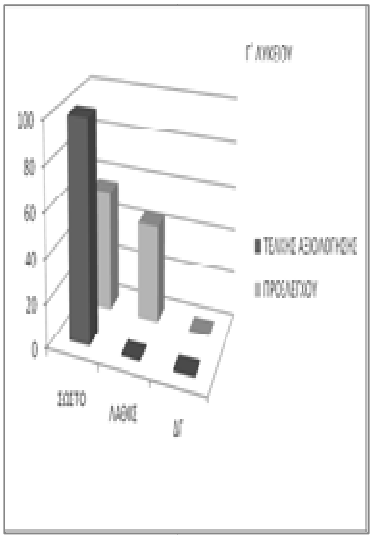
Στην ερώτηση αυτή οι μαθητές απάντησαν σωστά σε σημαντικό ποσοστό από την πρώτη φάση ~38%, κυρίως οι μαθητές της Α΄ Λυκείου και της Γ΄ Λυκείου, ενώ στην τελική φάση το ποσοστό των σωστών απαντήσεων αυξήθηκε αρκετά και στις τρεις τάξεις του Λυκείου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 9 *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών/τριων στην ερώτηση 6 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης*

Ερώτηση 6	***Σωστή***		***Λάθος***		***Δεν γνωρίζω***	
	Προελέγχου	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***
Ο σχηματισμός σταλαγμίτη-σταλακτίτη είναι μια διεργασία: Α. σχηματισμού άλατος Β. σχηματισμού οξέος Γ. δεν γνωρίζω	38,46	94,24	13,46	2,88	48,08	2,88







ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7Α **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7Β** **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7Γ**

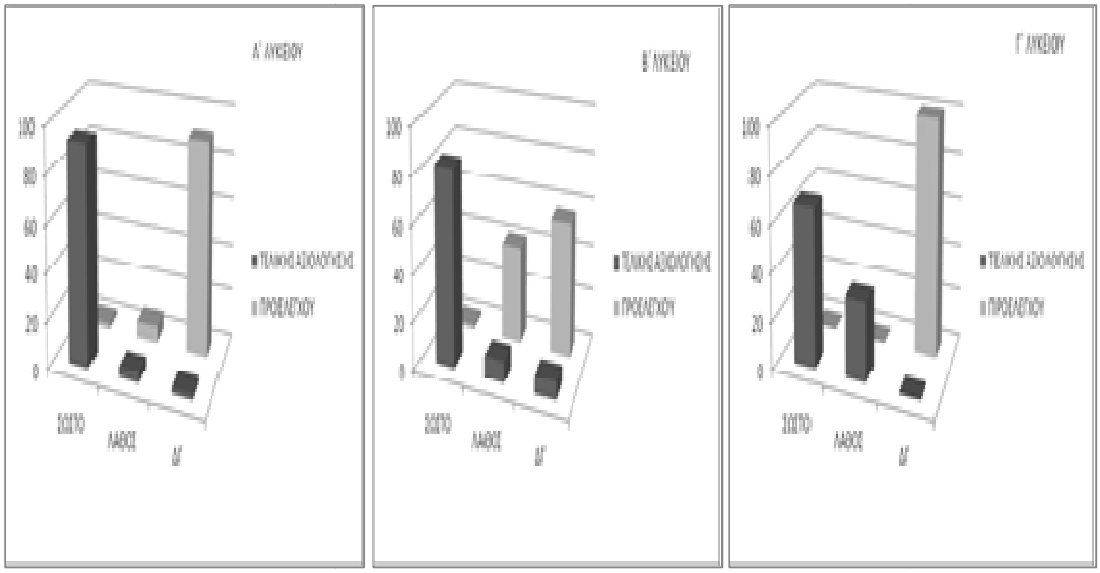
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7: *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 6 στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ανά τάξη Λυκείου*

7η ΕΡΩΤΗΣΗ

Στην ερώτηση αυτή οι βασικές γνώσεις χημείας που ζητούνται δυσκολεύουν τους μαθητές στην πρώτη φάση, ενώ στην τελική φάση παρατηρούμε αισθητή βελτίωση των ορθών απαντήσεων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 10 *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών/τριων στην ερώτηση 7 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης*

Ερώτηση 7	***Σωστή***		***Λάθος***		***Δεν γνωρίζω***	
	Προελέγχου	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***
Μπορείτε να αναφέρετε με ποιες χημικές αντιδράσεις μπορεί να προκύψουν τα άλατα; Α. δεν γνωρίζω Β. ναι,……	1,92	85,57	24,04	9,62	74,04	4,81



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8Α **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8Β** **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8Γ**

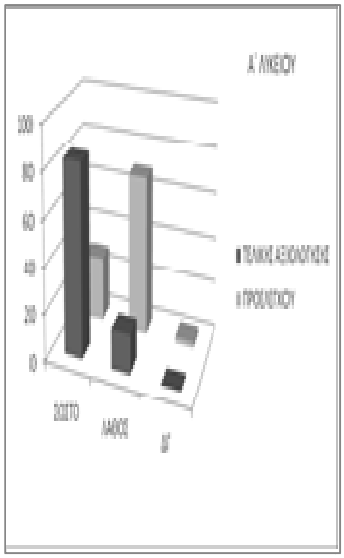
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8: *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 7 στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ανά τάξη Λυκείου*

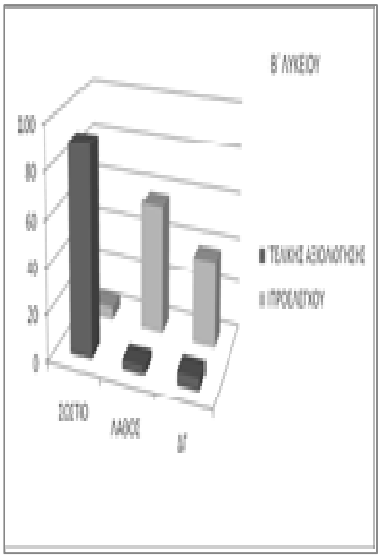
8η ΕΡΩΤΗΣΗ

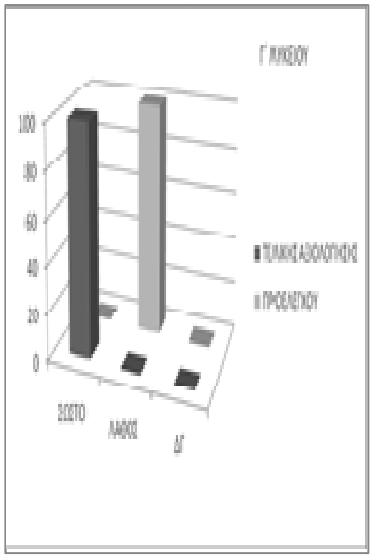
Στην ερώτηση αυτή οι μαθητές απάντησαν σωστά στην τελική φάση και στις τρεις τάξεις του Λυκείου. Βέβαια ικανοποιητικός αριθμός μαθητών της Α΄ Λυκείου απάντησε σωστά σε αυτήν την ερώτηση από την πρώτη φάση, μια και τα είχαν πρόσφατα διδαχθεί.

ΠΙΝΑΚΑΣ 11 *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών/τριων στην ερώτηση 8 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης*

Ερώτηση 8	***Σωστή***		***Λάθος***		***Δεν γνωρίζω***	
	Προελέγχου	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***
Ποιες από τις παρακάτω έννοιες θα πρέπει να αναφερθούν κατά την διδασκαλία του σχηματισμού των σταλακτιτών-σταλαγμιτών; Α. κύκλος νερού Β. διάλυση (ευδιάλυτα/ δυσδιάλυτα άλατα) Γ. εξάτμιση νερού Δ. ασβεστολιθικά πετρώματα Ε. σχηματισμός αλάτων	14,42	88,46	65,39	8,65	20,19	2,88







ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9Α **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9Β** **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9Γ**

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9: *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 8 στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ανά τάξη Λυκείου*

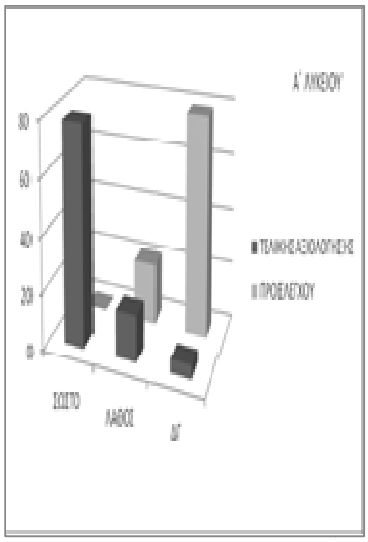
9η ΕΡΩΤΗΣΗ

Στην ερώτηση αυτή γνωστικού περιεχομένου και σύντομης ανάπτυξης όλοι οι μαθητές και των τριών τάξεων έδωσαν λάθος απαντήσεις ή οι περισσότεροι απάντησαν «δεν γνωρίζω» στο ερωτηματολόγιο προελέγχου, αν και είχαν διδαχθεί

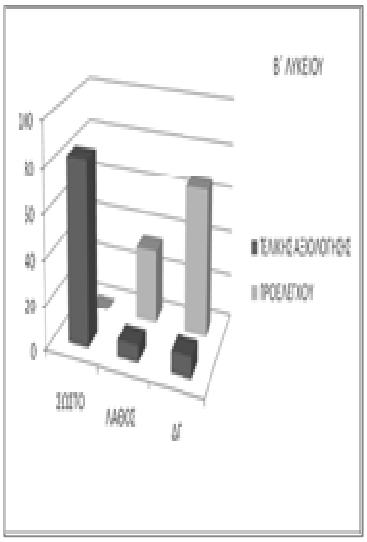
στα πλαίσια του σχολικού προγράμματος τις ενότητες «χημική ισορροπία-αρχή Le Chatelier-οξέα-βάσεις-άλατα-διαλυτότητα» (κυρίως Α΄ Λυκείου και Β΄ Λυκείου). Μετά την διδακτική αυτή εφαρμογή οι μαθητές βελτίωσαν ικανοποιητικά τις απαντήσεις τους όπως φαίνεται και στα διαγράμματα 10Α, 10Β και 10Γ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 12 *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών/τριων στην ερώτηση 9 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης*

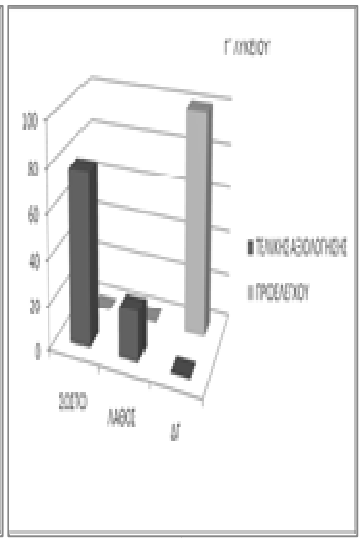
Ερώτηση 9	***Σωστή***		***Λάθος***		***Δεν γνωρίζω***	
	Προελέγχου	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***
Γιατί όταν διαβιβάζουμε CO_2 στο ασβεστόνερο αρχικά είναι θολό κι όταν συνεχίσουμε να διαβιβάζουμε CO_2 αυτό ξεθολώνει; Ποια χημική εξίσωση περιγράφει το φαινόμενο αυτό; …… …… Ποιο σύμβολο της παραπάνω χημικής αντίδρασης παίζει σημαντικό ρόλο στο συγκεκριμένο φαινόμενο; …… ……	0	80,77	25,96	12,5	74,04	6,73



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10Α



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10Β



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10Γ

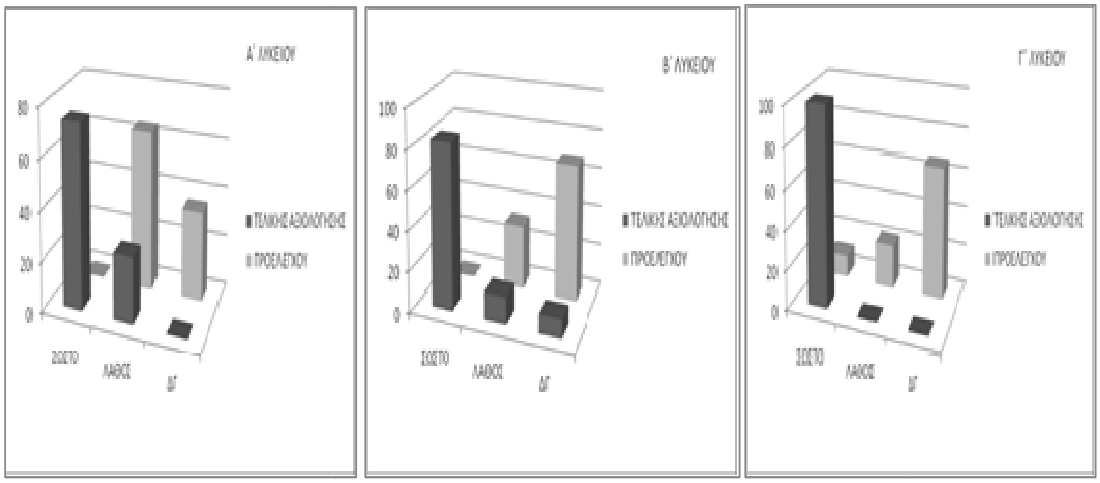
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10: *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 9 στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ανά τάξη Λυκείου*

10η ΕΡΩΤΗΣΗ

Επίσης στην ερώτηση 10 που είναι γνωστικού περιεχομένου και σύντομης ανάπτυξης όλοι οι μαθητές και των τριών τάξεων έδωσαν λάθος απαντήσεις ή οι περισσότεροι απάντησαν «δεν γνωρίζω» στο ερωτηματολόγιο προελέγχου (εικ.62), αν και είχαν διδαχθεί στα πλαίσια του σχολικού προγράμματος την ενότητα «οξέα-βάσεις-άλατα-διαλυτότητα» (κυρίως οι μαθητές της Α΄ Λυκείου και της Β΄ Λυκείου). Μετά την διδακτική αυτή εφαρμογή οι μαθητές βελτίωσαν ικανοποιητικά τις απαντήσεις τους όπως φαίνεται και στα διαγράμματα 11Α, 11Β και 11Γ (εικ.63)

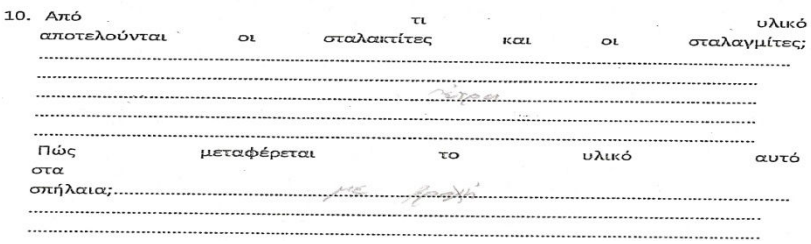
ΠΙΝΑΚΑΣ 13 *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών/τριων στην ερώτηση 10 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης*

Ερώτηση 10	***Σωστή***		***Λάθος***		***Δεν γνωρίζω***	
	Προελέγχου	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***
Από τι υλικό αποτελούνται οι σταλακτίτες και οι σταλαγμίτες; …… …… Πώς μεταφέρεται το υλικό αυτό στα σπήλαια;…… … ……..	0,96	79,81	44,23	14,42	54,81	5,77



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11Α ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11Β ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11Γ

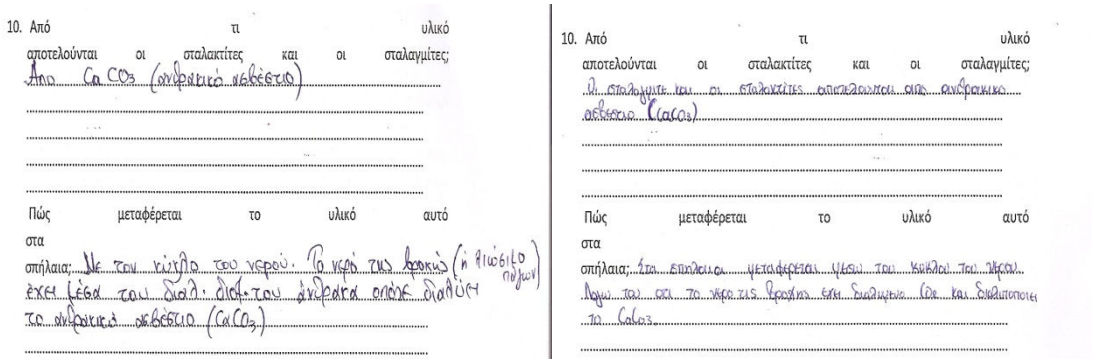
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11: *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 10 στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ανά τάξη Λυκείου*



10. Από τι υλικό αποτελούνται οι σταλακτίτες και οι σταλαγμίτες;

Πώς μεταφέρεται το υλικό αυτό στα σπήλαια;

Εικ.60 Ενδεικτική απάντηση μαθητή στην ερ.10 του ερωτηματολογίου προελέγχου



10. Από τι υλικό αποτελούνται οι σταλακτίτες και οι σταλαγμίτες;

Πώς μεταφέρεται το υλικό αυτό στα σπήλαια;

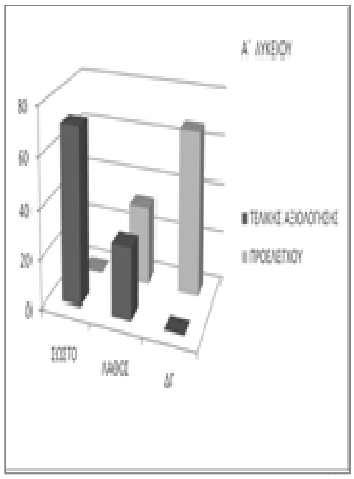
Εικ.61 Ενδεικτικές απαντήσεις μαθητών στην ερ.10 του ερωτηματολογίου τελικής αξιολόγησης

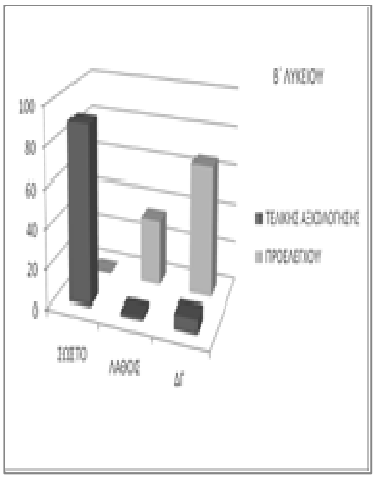
11η ΕΡΩΤΗΣΗ

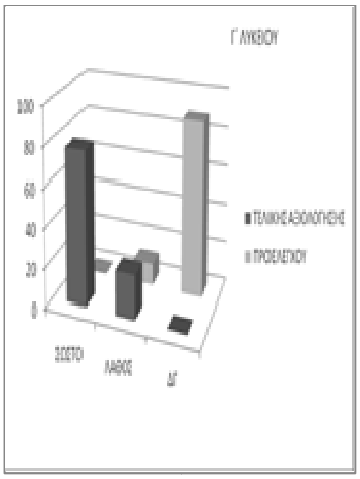
Η ερώτηση 11 είναι γνωστικού περιεχομένου και αφορά τους παράγοντες που επηρεάζουν την διαλυτότητα του ασβεστόλιθου. Οι περισσότεροι μαθητές απαντούν στο ερωτηματολόγιο προελέγχου ότι δεν γνωρίζουν, αλλά μετά την επίσκεψη στο σπήλαιο και τις δραστηριότητες που προβλέπονται σε αυτήν την πρόταση οι σωστές απαντήσεις των μαθητών είναι ικανοποιητικές της τάξης του ~81%, με εξαίρεση τους μαθητές της Α΄ Λυκείου που δίνουν λάθος απάντηση σε ποσοστό ~28.5% (διαγράμματα 12Α, 12Β, 12Γ).

ΠΙΝΑΚΑΣ 14 *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών/τριων στην ερώτηση 11 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης*

Ερώτηση 11	***Σωστή***		***Λάθος***		***Δεν γνωρίζω***	
Η διαλυτική δράση του ασβεστόλιθου αυξάνεται με: (Μπορείτε να σημειώσετε περισσότερες από μία απαντήσεις.) Α. τον εμπλουτισμό του ασβεστόλιθου σε $CaCO_3$ Β. αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος Γ. μείωση της θερμοκρασίας Δ. αύξηση της μερικής πίεσης του CO_2 σε νερό Ε. μείωση της μερικής πίεσης του CO_2 σε νερό ΣΤ. δεν γνωρίζω	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***
	0	81,73	31,73	14,42	68,27	3,85







ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12Α **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12Β** **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12Γ**

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12: *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 11 στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ανά τάξη Λυκείου*

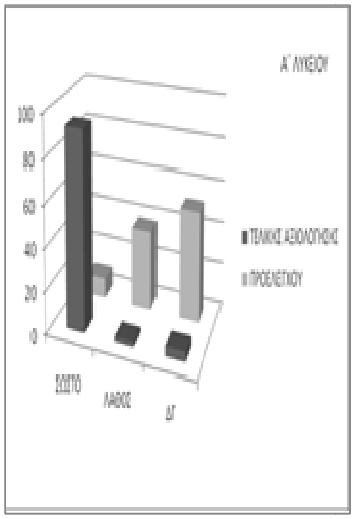
12η ΕΡΩΤΗΣΗ

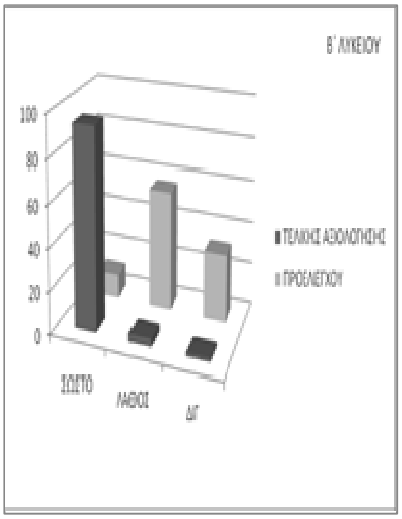
Η ερώτηση αυτή είναι αντικειμενικού τύπου γνωστικού περιεχομένου και αφορά βασικές γνώσεις χημείας για το σπήλαιο και τους χρωματισμούς των σπηλαιοθεμάτων. Οι μαθητές απάντησαν λάθος σε υψηλά ποσοστά στο

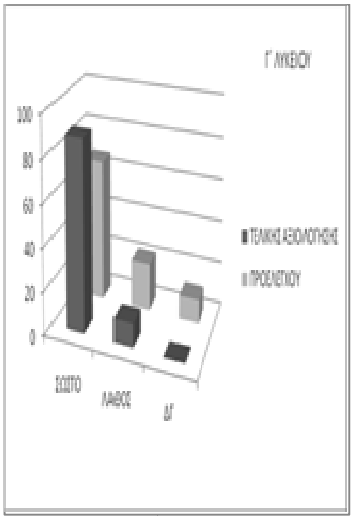
ερωτηματολόγιο προελέγχου, αλλά στο ερωτηματολόγιο τελικής αξιολόγησης τροποποιήθηκαν θετικά οι απαντήσεις τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 15 *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών/τριων στην ερώτηση 12 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης*

Ερώτηση 12	***Σωστή***		***Λάθος***		***Δεν γνωρίζω***	
	Προελέγχου	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***
Αντιστοιχείστε την πρώτη Α' στήλη με την δεύτερη Β΄ στήλη: **Α'** **Β΄** 1. κυανοβακτήρια α. ερυθρός μέχρι καστανός 2. οξείδια κι υδροξείδια. του σιδήρου β.πρασίνισμα σπηλαίων 3. οξείδια μαγγανίου γ. μαύρος χρωματισμός 4.ασβεστίτης δ.λευκός χρωματισμός &χαμηλά επίπεδα φυσικής ραδιενέργειας	15,38	93,27	38,46	3,85	46,16	2,88







ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13Α **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13Β** **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13Γ**

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13: *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 12 στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ανά τάξη Λυκείου*

13η ΕΡΩΤΗΣΗ

Η ερώτηση αυτή είναι αντικειμενικού τύπου και αφορά γενικές γνώσεις για τα σπήλαια. Οι μαθητές απάντησαν λάθος σε υψηλά ποσοστά στο ερωτηματολόγιο προελέγχου, αλλά μετά την επίσκεψη στο σπήλαιο στο ερωτηματολόγιο τελικής

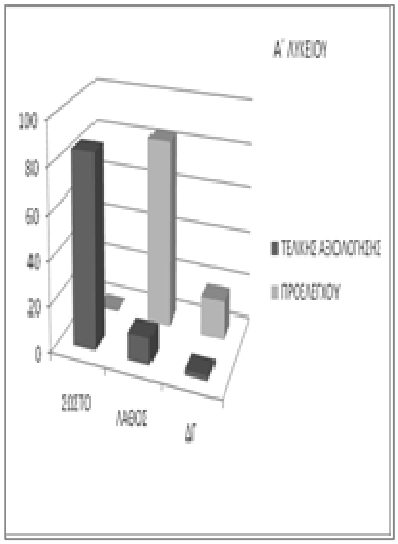
αξιολόγησης τροποποιήθηκαν θετικά οι απαντήσεις τους (διαγράμματα 14Α,14Β,14Γ).

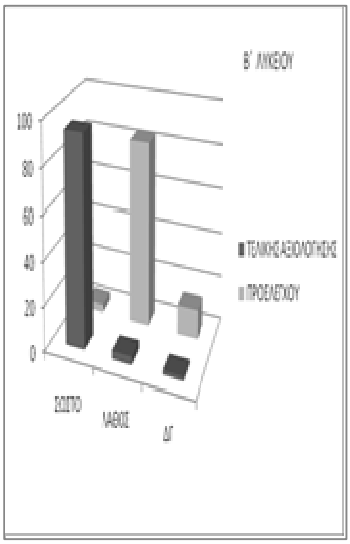
ΠΙΝΑΚΑΣ 16 *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών/τριων στην ερώτηση 13 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης*

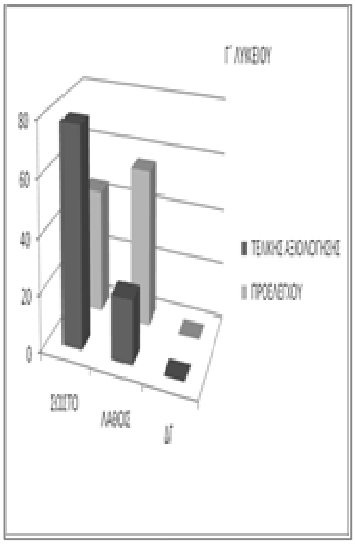
Ερώτηση 13	***Σωστή***		***Λάθος***		***Δεν γνωρίζω***	
	Προελέγχου	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***
5,77	89,43	80,77	8,65	13,46	1,92	

Αντιστοιχείστε την πρώτη Α' στήλη με την δεύτερη Β΄ στήλη:

Α΄	Β΄
1. Σπήλαιο	α. Κάθε φυσική κοιλότητα του εδάφους, αρκετά μεγάλη, ώστε να χωράει ένας άνθρωπος
2. Σπήλαια λάβας	β. έγκοιλα που ανεβαίνουν μέχρι την επιφάνεια του εδάφους κατακόρυφα ή με μεγάλη κλίση
3. Παράκτια σπήλαια	γ. βρίσκονται σε χαμηλά υψόμετρα κατακλύζονται από νερά και μετατρέπονται σε λίμνες και έλη
4. Σπήλαια πάγου	δ. σχηματίζονται κατά μήκος των οροφών και μπορεί να φθάσουν στο δάπεδο παίρνοντας τη μορφή τειχών
5. Σταλακτίτες	ε. κρέμονται από την οροφή σαν παγοκρύσταλλοι
6.Σταλαγμίτες	στ. σχηματίζονται μέσα στις βραχώδεις ακτές
7.Κολόνα	ζ. σχηματίζονται μέσα σε παγετώνες
8. Πόλγες	η. δημιουργούνται από την ένωση ενός σταλαγμίτη με έναν σταλακτίτη
9. Καταβόθρες	θ. στύλοι που υψώνονται από το δάπεδο
10. Ελικτίτες	ι. σχηματίζονται από τη διάπυρη λάβα των ηφαιστείων
11. μαργαριτάρια	κ. σχηματίζονται στα βυθίσματα του δαπέδου των σπηλαίων κι έχουν τη μορφή σφαιρών
12.παραπετάσματα	λ. που αναπτύσσονται στα τοιχώματα, στα δάπεδα και στις οροφές των σπηλαίων με τη μορφή ελικοειδώς διακλαδιζόμενων δομών







ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14Α **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14Β** **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14Γ**

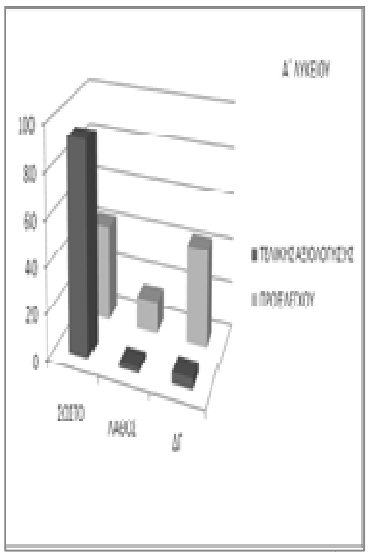
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14: *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 13 στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ανά τάξη Λυκείου*

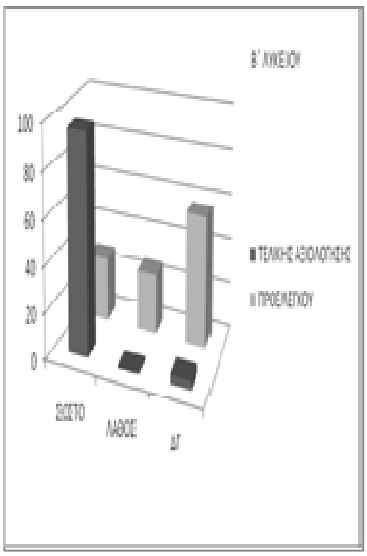
14η ΕΡΩΤΗΣΗ

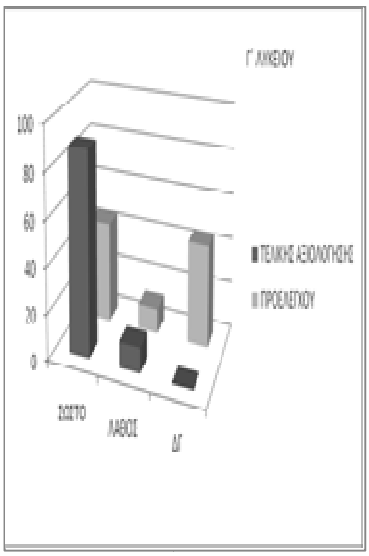
Η ερώτηση αυτή είναι συναισθηματικού τύπου και αφορά την ευαισθησία των μαθητών για το χώρο του σπηλαίου. Οι μαθητές απάντησαν σωστά σε υψηλά ποσοστά στο ερωτηματολόγιο προελέγχου, ενώ μετά την εφαρμογή της συγκεκριμένης πρότασης έδειξαν να συνειδητοποιούν ότι η ορθολογική χρήση των σπηλαίων, η εκμετάλλευσή τους και η προστασία τους, είναι πια προσωπικό τους ζήτημα (διαγράμματα 15Α, 15Β, 15Γ).

ΠΙΝΑΚΑΣ 17 *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών/τριων στην ερώτηση 14 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης*

Ερώτηση 14	***Σωστή***		***Λάθος***		***Δεν γνωρίζω***	
	Προελέγχου	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***
Ποιοι είναι οι κύριοι παράγοντες καταστροφής του σπηλαίου: Α. ο θερμός φωτισμός των αξιοποιημένων τουριστικά σπηλαίων Β. το παραγόμενο CO_2 Γ. όλα τα παραπάνω Δ. δεν γνωρίζω	35,58	94,23	20,19	1,92	44,23	3,85







ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15Α **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15Β** **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15Γ**

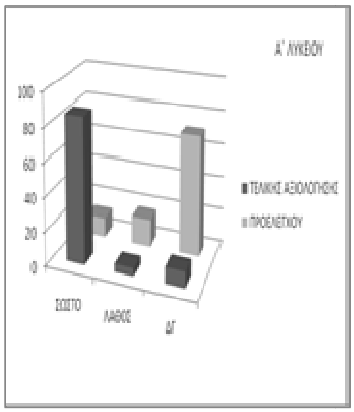
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15: *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 14 στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ανά τάξη Λυκείου*

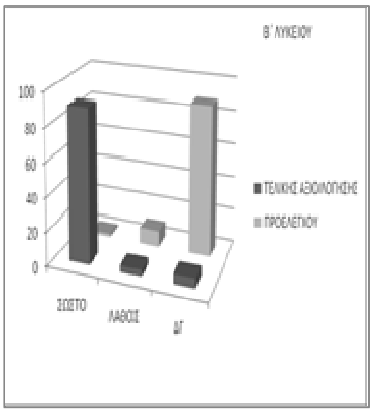
15η ΕΡΩΤΗΣΗ

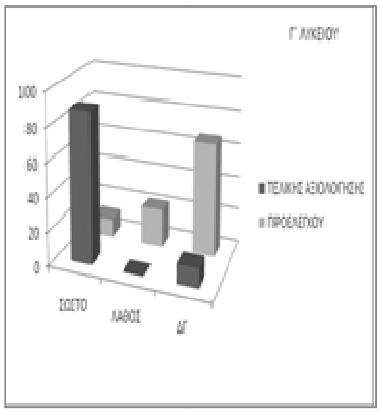
Η ερώτηση 15 δείχνει την ευαισθησία και τον προβληματισμό των μαθητών για το σπήλαιο. Αρχικά οι μαθητές έδειξαν αδιαφορία και άγνοια για τους χώρους των σπηλαίων (εικ.62), ενώ μετά την εφαρμογή της συγκεκριμένης πρότασης έδειξαν να προσπαθούν να δράσουν στην καθημερινότητά τους υπεύθυνα και συνειδητά για τη χρήση των σπηλαίων, την εκμετάλλευσή τους και την προστασία τους. Ενδεικτικά φαίνονται μερικές προτάσεις που ανέφεραν στα ερωτηματολόγια τελικής αξιολόγησης (εικ.63).

ΠΙΝΑΚΑΣ 18 *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών/τριων στην ερώτηση 15 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης*

Ερώτηση 15	***Σωστή***		***Λάθος***		***Δεν γνωρίζω***	
Μπορείτε να αναφέρετε πώς μπορούμε να προστατέψουμε τα τουριστικά αξιοποιημένα σπήλαια; Α. δεν γνωρίζω Β. ναι, δώστε τουλάχιστον δύο παραδείγματα. ……	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***
	6,73	88,46	13,46	3,85	79,81	7,69

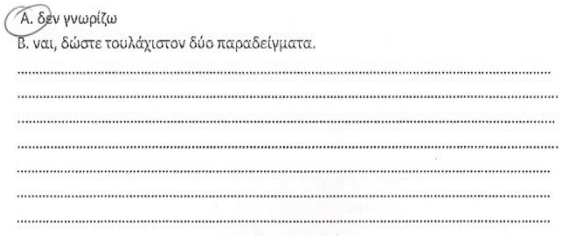




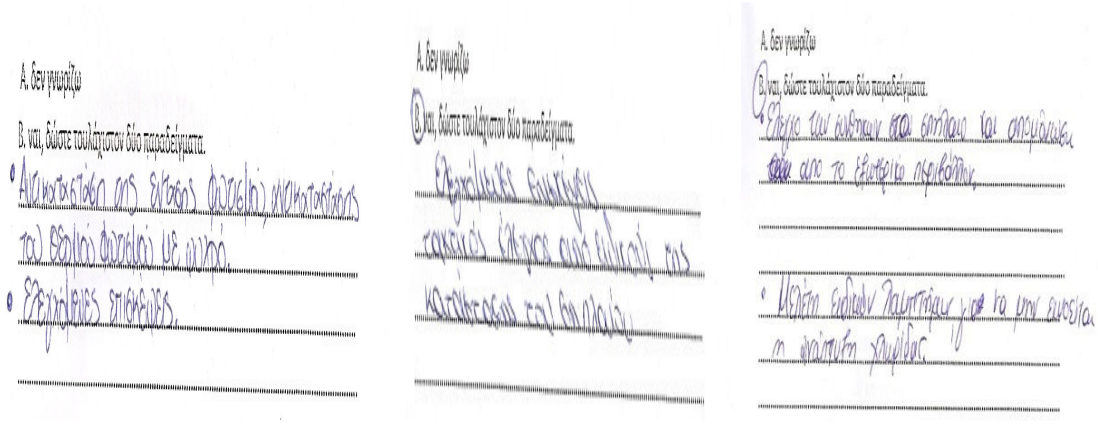


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 16Α **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 16Β** **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 16Γ**

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 16: *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών στην ερώτηση 15 στο ερωτηματολόγιο προελέγχου και τελικής αξιολόγησης ανά τάξη Λυκείου*


Α. δεν γνωρίζω
Β. ναι, δώστε τουλάχιστον δύο παραδείγματα.

Εικ.62 Ενδεικτική απάντηση μαθητή στην ερ.15 του ερωτηματολογίου προελέγχου



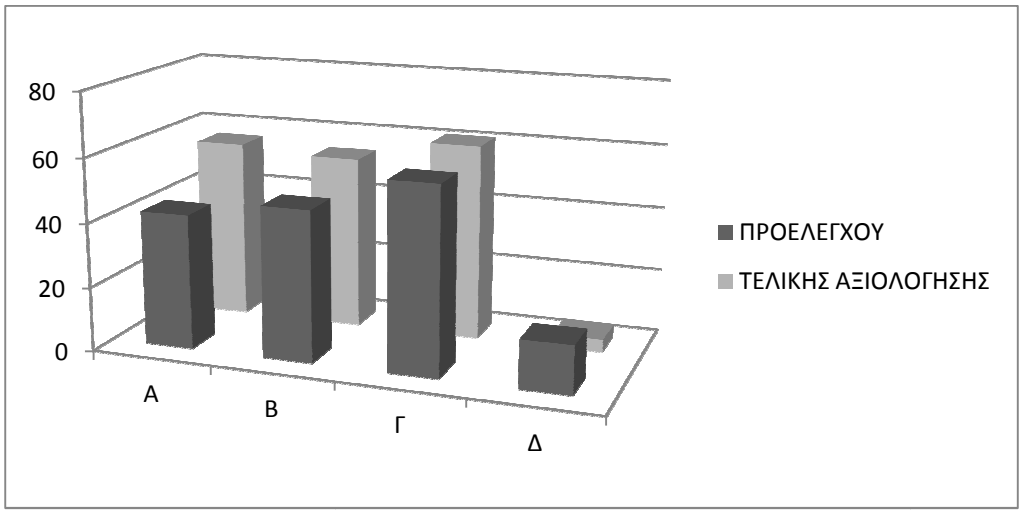
Εικ.63 Ενδεικτικές απαντήσεις μαθητών στην ερ.15 του ερωτηματολογίου τελικής αξιολόγησης

16η ΕΡΩΤΗΣΗ

Αυτή η ερώτηση είναι συναισθηματικού περιεχομένου και έδωσε την ευκαιρία στους μαθητές να εκφράσουν την γνώμη τους και να δηλώσουν κατά σειρά προτίμησης τι τους επηρέασε περισσότερο για την συμμετοχή τους και το ενδιαφέρον τους για αυτήν την διδακτική πρόταση. Σημαντική είναι η επιλογή τους να συνδυάσουν τη χημική γνώση με τις βιωματικές πληροφορίες και εμπειρίες της επίσκεψής τους στο σπήλαιο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 19 *Απαντήσεις μαθητών/τριων στην ερώτηση 16 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης. «Κατά τη διάρκεια του προγράμματος τι σας άρεσε περισσότερο; (Μπορείτε να σημειώσετε περισσότερες από μία απαντήσεις)»*

Ερώτηση 16	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***
Α. Το ότι συνεργάστηκα με τους συμμαθητές μου	42	56
Β. Το ότι η συμμετοχή μου στο πρόγραμμα δεν συνδυάστηκε με βαθμολογία	47	54
Γ. Το ότι μπόρεσα να αναπτύξω τις γνώσεις μου συνδυάζοντας τη σχολική εμπειρία (γνώση) με τις επί τόπου πληροφορίες της επίσκεψης στο σπήλαιο	58	61
Δ. Δεν γνωρίζω	15	4



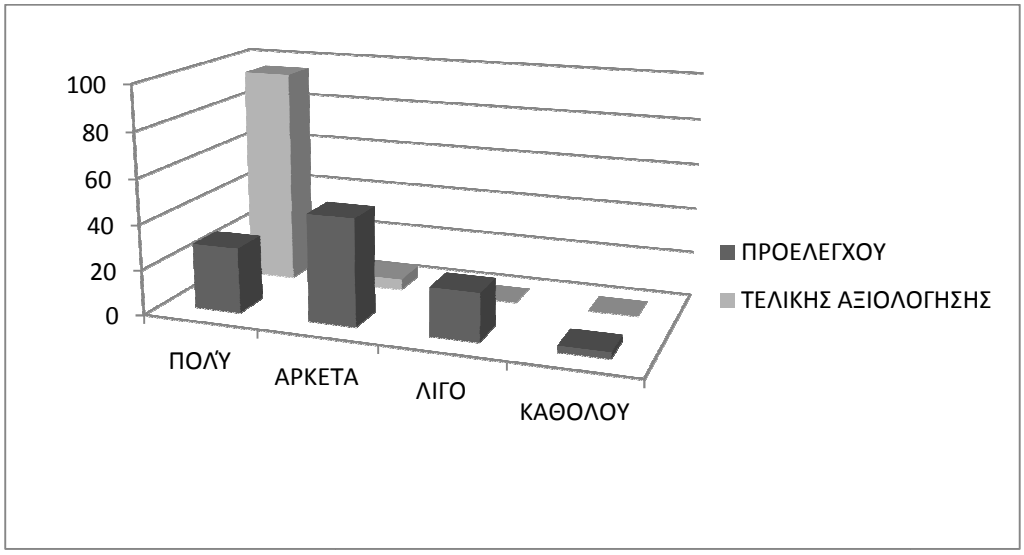
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 17 *Απαντήσεις μαθητών/τριων στην ερώτηση 16*

17η ΕΡΩΤΗΣΗ

Στην ερώτηση αυτή οι μαθητές προβληματίσθηκαν, βρήκαν ενδιαφέρουσα την επίσκεψη στο σπήλαιο και εξαιρετικά αποτελεσματική για την βελτίωση των γνώσεών τους στο μάθημα της Χημείας. Το ποσοστό αυτό, μετά την επίσκεψη στο σπήλαιο έφτασε το ~95%.

ΠΙΝΑΚΑΣ 20 *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών/τριων στην ερώτηση 17 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης.*

Ερώτηση 17	***Πολύ σημαντική***		***Αρκετά σημαντική***		***Λίγο σημαντική***		***Καθόλου σημαντική***	
Πόσο σημαντική είναι η χημεία για τον σχηματισμό των σπηλαίων και του σπηλαιοδιακόσμου;	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***
	28,85	95,19	47,12	4,81	21,15	0	2,88	0



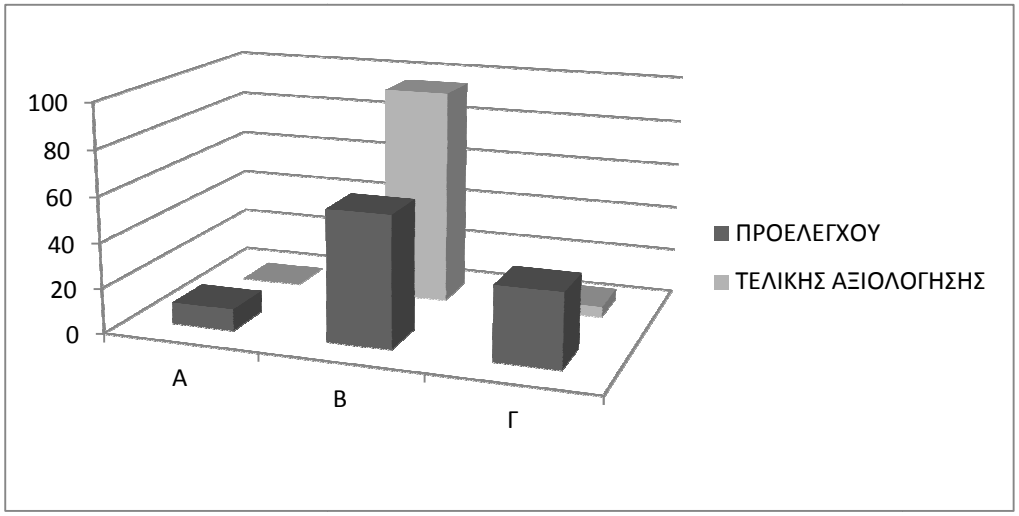
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 18 *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών/τριων στην ερώτηση 17*

18η ΕΡΩΤΗΣΗ

Στην ερώτηση αυτή, συναισθηματικού τύπου, ανιχνεύσαμε την προοπτική ενασχόλησης των μαθητών με το σπήλαιο συμμετέχοντας σε ένα μάθημα χημείας ενεργά. Από την μελέτη του διαγράμματος 20 προκύπτει η φανερή επιθυμία των μαθητών να συμμετέχουν σε ένα μάθημα χημείας στο χώρο του σπηλαίου αρχικά ~58% και μετά την εφαρμογή ~95%.

ΠΙΝΑΚΑΣ 21 *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών/τριων στην ερώτηση 18 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης. «Θα επιθυμούσατε ένα μάθημα Χημείας, σχετικό με το σχηματισμό αλάτων, να γίνει μέσα σε ένα σπήλαιο;»*

Ερώτηση 18	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***
Α. Όχι, δεν θα επιθυμούσα	9,62	0
Β. Ναι, θα επιθυμούσα να συμμετέχω ενεργά σε ένα μάθημα Χημείας στο χώρο του σπηλαίου	57,69	95,19
Γ. Θα ήθελα απλώς να παρακολουθήσω μια ξενάγηση στο χώρο αυτό	32,69	4,81



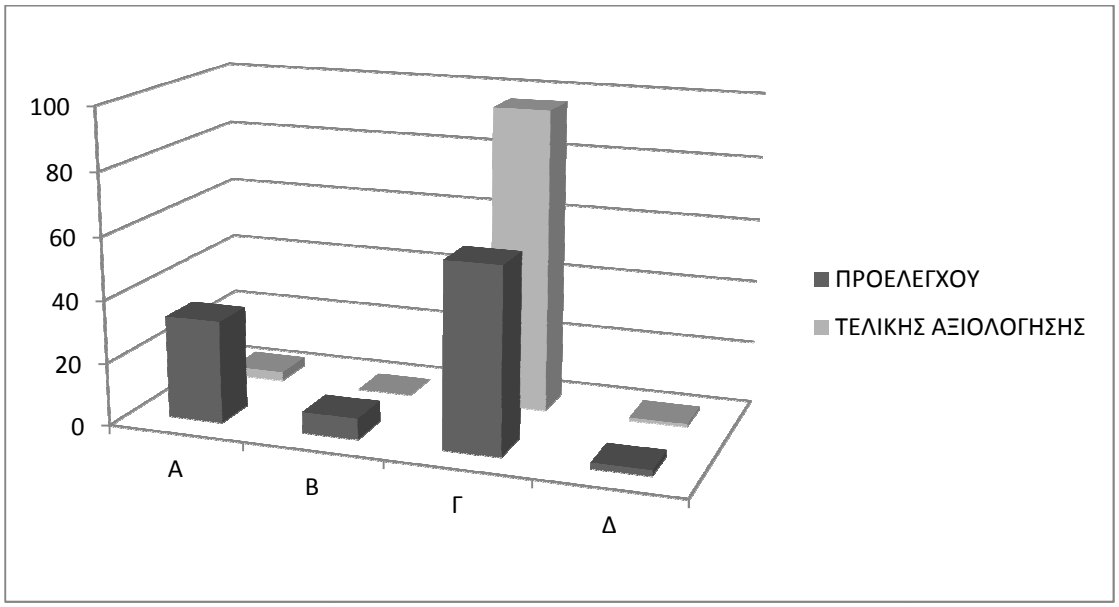
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 19 *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών/τριων στην ερώτηση 18*

19η ΕΡΩΤΗΣΗ

Οι μαθητές δεν θα επισκέπτονταν εύκολα ένα σπήλαιο, ωστόσο βρήκαν ενδιαφέρουσα την επίσκεψη στο σπήλαιο και αρκετά αποτελεσματική. Προβληματίστηκαν και επηρεάσθηκαν θετικά, τόσο ώστε το ποσοστό των μαθητών που επιθυμούν να επισκεφθούν ένα σπήλαιο να φθάσει στην τελική φάση το ~96%.

ΠΙΝΑΚΑΣ 22 *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών/τριων στην ερώτηση 19 του ερωτηματολογίου προελέγχου και τελικής αξιολόγησης. «Αν είχατε στη διάθεσή σας τρεις ώρες ελεύθερες σε μια περιοχή με τουριστικά αξιοποιημένο σπήλαιο, πώς θα περνούσατε το χρόνο σας εκεί;»*

Ερώτηση 19	***Προελέγχου***	***Τελικής αξιολόγησης***
Α. Θα περιπλανιόμουν στην περιοχή για να τη γνωρίσω	32,69	2,88
Β. Θα προσπαθούσα να γνωρίσω παιδιά της ηλικίας μου	6,73	0
Γ. Θα επισκεπτόμουν το σπήλαιο της περιοχής	58,65	96,15
Δ. Θα περνούσα τον ελεύθερο χρόνο μου σε μια καφετέρια	1,92	0,96



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 20 *Ποσοστά απαντήσεων μαθητών/τριων στην ερώτηση 19*

5.2 ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

Απαραίτητες δραστηριότητες είναι τα παρακάτω πειράματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βελτιώσουν ακόμα περισσότερο την συγκεκριμένη εκπαιδευτική πρόταση[97]. Ενδεικτικά αναφέρονται τα παρακάτω πειράματα με τα αντίστοιχα φύλλα εργασίας[98].

1. ΠΕΙΡΑΜΑ 1

ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΚΑΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΟΥ

ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος αυτού του πειράματος θα πρέπει ο μαθητής:

1. Να μπορεί να παρασκευάζει διοξείδιο του άνθρακα στο εργαστήριο.
2. Να μπορεί να ανιχνεύει το διοξείδιο του άνθρακα στο εργαστήριο.

ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

Η σόδα είναι μια λευκή σκόνη που χρησιμοποιείται συνήθως στη μαγειρική. Τόσο στη μαγειρική όσο και στο εργαστήριο τη χρησιμοποιούμε ως πρώτη ύλη για να παρασκευάσουμε διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Στη μαγειρική το CO_2 είναι διογκωτικό για διάφορα παξιμάδια, ζύμες κτλ. Ο χημικός τύπος της σόδας είναι $NaHCO_3$ και η επίσημη ονομασία της είναι όξινο ανθρακικό νάτριο.

Όταν επιδράσουμε στη σόδα με ένα άλλο υλικό της μαγειρικής, το ξίδι, ελευθερώνεται διοξείδιο του άνθρακα. Η εξίσωση για αυτή την αντίδραση περιγράφεται με απλά λόγια ως εξής:

σόδα + ξίδι —> οξικό νάτριο + διοξείδιο του άνθρακα + νερό

Ή με χημικούς τύπους:

$NaHCO_3 + CH_3COOH \longrightarrow CH_3COONa + CO_2 + H_2O$

Η ανίχνευση του διοξειδίου του άνθρακα γίνεται όταν αυτό διοχετευθεί σε ασβεστόνερο. Το ασβεστόνερο είναι το διάφανο υγρό που υπάρχει πάνω από το «σβησμένο ασβέστη». Όταν διοχετευθεί το διοξείδιο του άνθρακα σε ασβεστόνερο, το διαυγές ασβεστόνερο γίνεται θολό. Το θόλωμα αυτό έχει την ίδια χημική σύσταση με τον ασβεστόλιθο. Πρόκειται για το ανθρακικό ασβέστιο. Η εξίσωση γι αυτή την αντίδραση γράφεται με απλά λόγια ως εξής:

Διοξείδιο του άνθρακα + ασβεστόνερο $\longrightarrow$ ανθρακικό ασβέστιο + νερό

Ή με χημικούς τύπους:

$CO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΣΚΕΥΗ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ

Όργανα – Συσκευές	**Αντιδραστήρια – Υλικά**
1. Φιάλη κενού	7. Δύο κουταλιές σόδα ($NaHCO_3$)
2.Πώμα φιάλης με τρύπα	8. 50 ml ξίδι
3. Διαχωριστική χοάνη	9. 100 ml ασβεστόνερο
4. Λαστιχένιος σωλήνας	
5. Γυάλινο ακροφύσιο	
6.Ποτήρι ζέσης των 250 ml	

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Τοποθέτησε στο εσωτερικό της φιάλης κενού τη σόδα. Πωμάτισε τη φιάλη με το τρυπημένο πώμα. Εφάρμοσε στην τρύπα του πώματος τη διαχωριστική χοάνη. Κλείσε τη στρόφιγγα. Εφάρμοσε στο πλαϊνό στόμιο της φιάλης το λαστιχένιο σωλήνα. Την άλλη άκρη του τοποθέτησε τη στο εσωτερικό του ποτηριού ζέσεως Έχεις συναρμολογήσει τη συσκευή που φαίνεται στη παραπάνω φωτογραφία

- Ρίξε το ασβεστόνερο στο ποτήρι ζέσεως.
- Ρίξε το ξίδι στη διαχωριστική χοάνη.
- Άνοιξε τη στρόφιγγα της διαχωριστικής χοάνης, ώστε να αρχίσει να ρέει σταθερά στο εσωτερικό της φιάλης το ξίδι.

2. ΠΕΙΡΑΜΑ ΕΠΙΔΕΙΞΗΣ 2

ΠΕΙΡΑΜΑ: ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΥ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ

ΣΚΟΠΟΣ

Διάσπαση του ανθρακικού ασβεστίου με θέρμανση σε υψηλή θερμοκρασία προς οξείδιο του ασβεστίου και διοξείδιο του άνθρακα.

ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος αυτού του πειράματος θα πρέπει ο μαθητής:

 Να αποκτήσει κάποια εξοικείωση με τη χρήση των εργαστηριακών οργάνων Χημείας και με τη χρήση βασικών εργαστηριακών τεχνικών όπως η θέρμανση.
 Να χρησιμοποιεί μερικά από τα πιο κοινά όργανα μιας χημικής πειραματικής διαδικασίας (Μικρός pyrex δοκιμαστικός σωλήνας - Ξύλινη λαβίδα- Μεταλλικό στήριγμα – Λύχνος υγραερίου)
 Να αντιλαμβάνεται τις μεταβολές που παρατηρούνται στα χημικά φαινόμενα Π.χ. έκλυση αερίου
 Να καταλάβει τη σημασία της θέρμανσης στη διεξαγωγή χημικών αντιδράσεων.
 Να παριστάνει τα συγκεκριμένα χημικά φαινόμενα, τα οποία μελετάει, με χημικές αντιδράσεις.
 Να μπορεί να εξηγεί τις αλλαγές που παρατηρούνται κατά τη διάρκεια μιας χημικής αντίδρασης όπως: σχηματισμός αερίου.
 Να ταυτοποιεί τα προϊόντα της αντίδρασης.
 Να ταξινομεί τις χημικές αντιδράσεις σε κατηγορίες και να αναγνωρίζει από ένα σύνολο αντιδράσεων σε ποια κατηγορία ανήκει η καθεμιά.

<u>ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ</u>

Θα πρέπει ο μαθητής να έρθει στο εργαστήριο προετοιμασμένος και να έχει διαβάσει καλά την ενότητα που αναφέρεται στις χημικές αντιδράσεις και ειδικότερα στις οξειδοαναγωγικές. Στο πείραμα που ακολουθεί θα δείξουμε τη θερμική διάσπαση του $CaCO_3$. (ανθρακικό ασβέστιο-ασβεστόλιθος) $CaCO_3$.
Αυτό θα υποστεί με θέρμανση ένα σύνολο μεταβολών. Θα ανιχνεύσουμε το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και το οξείδιο του ασβεστίου (CaO) που παράγεται (CO_2).

$CaCO_3(s) \xrightarrow{\text{θέρμανση}} CaO(s) + CO_2(g)$

$CO_2(g) + Ca(OH)_2(l) \rightarrow CaCO_3(s) + H_2O(l)$

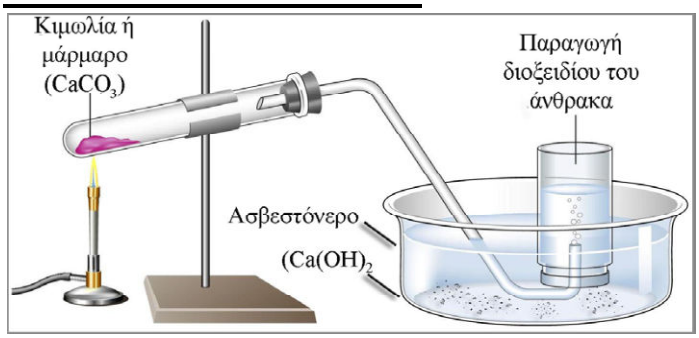
<u>ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΣΚΕΥΗ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ</u>

Όργανα – Συσκευές	**Αντιδραστήρια – Υλικά**
1. Μεγάλος pyrex δοκιμαστικός σωλήνας	7. Κιμωλία, μάρμαρο, πέτρα - $CaCO_3(s)$
2. Μεγάλος Κοινός δοκιμαστικός σωλήνας	8. Διάλυμα υδροξειδίου του ασβεστίου - $Ca(OH)_2(l)$
3. ποτήρι ζέσεως των 250 mL	9. Δείκτης: Φαινολοφθαλεΐνη
4. Ξύλινη λαβίδα – ελαστικό πώμα –κεκ. σωλήνας	
5. Μεταλλικό στήριγμα – Λύχνος υγραερίου	
6.Ποτήρι ζέσης των 250 ml	

<u>ΥΠΟΔΕΙΞΕΙΣ-ΠΡΟΦΥΛΑΞΕΙΣ</u>

1. Ανθρακικό ασβέστιο. (CAS No. 471-34-1) Το ανθρακικό ασβέστιο δεν θεωρείται γενικά επικίνδυνη ένωση, εν τούτοις, πρέπει να λαμβάνονται μέτρα ασφαλείας. ORL-RAT LD50: 6450 mg/Kg.
2. Οξείδιο του ασβεστίου. (CAS No. 1305-78-8) σ.τ. 2570°C. Προκαλεί ερεθισμό στις αναπνευστικές οδούς, ερεθισμό στο δέρμα, εγκαύματα και ερεθισμό στα μάτια.
3. Διοξείδιο του άνθρακα. (CAS No. 124-38-9).

<u>ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ</u>



Σε μεγάλο pyrex (καθαρό και στεγνό) δοκιμαστικό σωλήνα τοποθετούμε μικρή ποσότητα σπασμένης κιμωλίας $CaCO_3(s)$ (6-7 g) και τη ζυγίζουμε μαζί με το δοκιμαστικό σωλήνα.

Προσαρμόζουμε στο δοκιμαστικό σωλήνα κατάλληλο πώμα το οποίο έχουμε τρυπήσει με φελλοτρυπητήρα ώστε να περάσουμε με καλή εφαρμογή γυάλινο σωλήνα. Πρέπει η εφαρμογή του πώματος στο δοκιμαστικό σωλήνα αλλά και η εφαρμογή του κεκκαμμένου σωλήνα στο πώμα να είναι πολύ καλή για να μην έχουμε απώλειες σε αέριο. Αν δεν είναι βάζουμε λίγη βαζελίνη ή τυλίγουμε με χαρτοταινία ή ταινία teflon.

Κατεργαζόμαστε με το λύχνο το λεπτό γυάλινο σωλήνα ώστε να του δώσουμε το κατάλληλο σχήμα, το προσαρμόζουμε στο πώμα του γυάλινου δοκιμαστικού σωλήνα και το οδηγούμε σε γυάλινη λεκάνη που έχουμε βάλει πρόσφατα παρασκευασμένο ασβεστόνερο (διάλυμα $Ca(OH)_2$).

Θερμαίνουμε ισχυρά απ' ευθείας σε φλόγα λύχνου αφού στερεώσουμε το δοκιμαστικό σωλήνα σε μεταλλικό στήριγμα ανακινώντας το λύχνο όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Η θέρμανση πρέπει να είναι ομοιόμορφη ώστε να αποφύγουμε τοπική υπερθέρμανση .

Μετά από λίγο παρατηρούμε ότι το $CaCO_3(s)$ διασπάται. Η διάσπαση γίνεται περίπου στους 1000°C.(Σ.τ.=825°C)

Παρατηρούμε έκλυση διοξειδίου του άνθρακα το ασβεστόνερο στη γυάλινη λεκάνη θολώνει.

Προσοχή! Μη ξεχνάτε ότι το θερμό γυαλί δεν ξεχωρίζει οπτικά από το κρύο για αυτό ποτέ δεν πιάνουμε με γυμνά χέρια σκεύη που έχουμε θερμάνει.

Προσοχή! Κατά τη θέρμανση αντιδραστηρίων με δοκιμαστικούς σωλήνες πρέπει να είμαστε ιδιαίτερα προσεκτικοί για να αποφύγουμε ατυχήματα από την εκτίναξη σταγονιδίων από το σωλήνα. Ποτέ δε στρέφουμε το στόμιο του σωλήνα στο πρόσωπό μας ή στο πρόσωπο άλλου. Το καλύτερο που μπορούμε να κάνουμε κατά τη διάρκεια μιας θερμικής επεξεργασίας είναι να προστατεύσουμε τα μάτια μας, φορώντας προστατευτικά γυαλιά.

ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΕΡΙΟΥ Ζυγίζουμε το δοκιμαστικό σωλήνα 1 μετά τη θέρμανση και αφού κρυώσει.
Αφού κρυώσει ο δοκιμαστικός σωλήνας 1 μετά τη θέρμανση και το ζύγισμα, προσθέτουμε νερό μέχρι το μισό του, στη συνέχεια προσθέτουμε 2-3 σταγόνες δείκτη φαινολοφθαλεΐνης. Παρατηρούμε ότι το διάλυμα χρωματίζεται ιώδες. Διαπιστώνουμε έτσι ότι με τη πύρωση της κιμωλίας αυτή αλλάζει χημική σύσταση και δίνει μια ένωση (CaO) που αντιδρά με το νερό δίνοντας τελικά ένωση με βασικές ιδιότητες ($Ca(OH)_2$) και ένα αέριο (**CO_2**) που θολώνει το ασβεστόνερο.
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΙΜΩΛΙΑΣ Γεμίζουμε το δοκιμαστικό σωλήνα με νερό μέχρι τη μέση και προσθέτουμε 3-4 σταγόνες δείκτη φαινολοφθαλεΐνης. Ρίχνουμε στο δοκιμαστικό σωλήνα μικρή ποσότητα κιμωλίας σε σκόνη. Παρατηρούμε ότι η κιμωλία μένει αναλλοίωτη και το χρώμα του δείκτη δεν αλλάζει. Αυτό σημαίνει ότι η κιμωλία δεν έχει βασικές ιδιότητες και δεν διαλύεται στο νερό αλλά ούτε αντιδρά με αυτό.

3. ΠΕΙΡΑΜΑ ΕΠΙΔΕΙΞΗΣ 3

Αντίδραση μαρμάρου με υδροχλωρικό οξύ (Οξέα - Ανθρακικά άλατα -Διοξείδιο του άνθρακα)

Σκοπός

Να δείξουμε: α) ότι τα ανθρακικά άλατα διασπώνται από τα οξέα, β) την ανίχνευση του διοξειδίου του άνθρακα, γ) ότι το διοξείδιο του άνθρακα είναι όξινο οξείδιο, δ) τη χρήση του ασβέστη στα κονιάματα και ε) τον τρόπο που σχηματίζονται οι σταλακτίτες και οι σταλαγμίτες.

<u>*Αντιδράσεις*</u>

$CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + CO_2 + H_2O$

$CO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$

$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightleftarrows Ca(HCO_3)_2$

Προαπαιτούμενες γνώσεις

Οι μαθητές/τριες πρέπει να γνωρίζουν τη σχετική θεωρία σχηματισμός CO_2 από επίδραση οξέος σε ανθρακικά άλατα.

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΣΚΕΥΗ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ

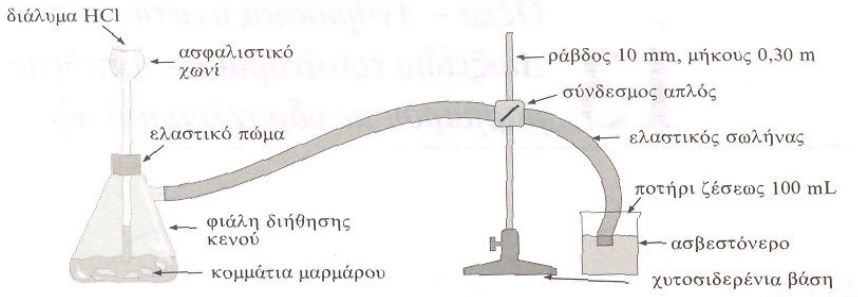
Όργανα – Συσκευές	**Αντιδραστήρια – Υλικά**
1. φιάλη διήθησης κενού 2. ασφαλιστικό χωνί 3. ποτήρι ζέσεως των 100 mL 4. ελαστικό πώμα – ελαστικός σωλήνας 5. βάση χυτοσιδερένια – σύνδεσμος απλός 6. ράβδος 10mm μήκους 0,30m	7. μάρμαρο $CaCO_3(s)$ 8. Διάλυμα υδροξειδίου του ασβεστίου - $Ca(OH)_2(l)$ 9. πυκνό διάλυμα HCl

Υποδείξεις- Προφυλάξεις

1. Είναι απαραίτητο κατά την ώρα της πραγματοποίησης του πειράματος να χρησιμοποιηθούν προστατευτικά γυαλιά και γάντια.
2. Λόγω της χρήσης πυκνού διαλύματος HCl προτείνεται το πείραμα να γίνει υπό μορφή επίδειξης.

Διαδικασία

Στη φιάλη διήθησης κενού ρίχνουμε μερικά κομμάτια μαρμάρου και τοποθετούμε το ελαστικό πώμα με το ασφαλιστικό χωνί. Η άκρη του σωλήνα του χωνιού πρέπει ν' απέχει από τον πάτο της φιάλης περίπου 1cm. Ρίχνουμε νερό μέχρι να καλυφθεί το άκρο του σωλήνα, του ασφαλιστικού χωνιού. Στη φιάλη διήθησης κενού προσαρμόζουμε πλαστικό σωλήνα, που τον οδηγούμε σε ποτήρι ζέσεως 100ml, που περιέχει περίπου 40ml ασβεστόνερο. Η τοποθέτηση του σωλήνα πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο, ώστε να μην ασκεί δυνάμεις στο ποτήρι, που είναι ικανές να το ανατρέψουν. Για ν' αποφύγουμε τον κίνδυνο αυτό, καλό είναι να στερεώσουμε το σωλήνα μ' έναν απλό σύνδεσμο σε ράβδο με χυτοσιδερένια βάση.



Προσθέτουμε λίγο πυκνό υδροχλωρικό οξύ στη φιάλη από το ασφαλιστικό χωνί, ώστε ν' αρχίσει η αντίδραση. Η προσθήκη αυτή συνεχίζεται με μικρές ποσότητες ικανές να διατηρούν την αντίδραση, ενώ καλούμε τους μαθητές να παρατηρούν τις αλλαγές στο ποτήρι με το ασβεστόνερο. Αρχικά θολώνει από το $CaCO_3$ που σχηματίζεται και κατόπιν αρχίζει να ξεθολώνει, γιατί σχηματίζεται το ευδιάλυτο $Ca(HCO_3)_2$. Για να δείξουμε ότι το θόλωμα οφείλεται σε δυσδιάλυτο στερεό μπορούμε να προσθέσουμε λίγη σκόνη κιμωλίας σε ποτήρι ζέσεως 100ml που περιέχει 40ml, νερό και ν' ανακινήσουμε, ώστε να δημιουργηθεί θόλωμα.

Με το πείραμα αυτό μπορούμε να δείξουμε:

i) τη χρήση του ασβεστόνερου για την ανίχνευση του CO_2 (θόλωμα),

ii) τη χρήση του σβησμένου ασβέστη στα κονιάματα (θόλωμα),

iii) τον τρόπο σχηματισμού των σταλακτιτών και σταλαγμιτών (ξεθόλωμα).

Επιπλέον, το ίδιο πείραμα μπορεί να γίνει και στα οξέα, για να δείξουμε ότι αυτά διασπούν τα μάρμαρα (ανθρακικά άλατα) και παράγουν CO_2. Σ την περίπτωση αυτή θα το σταματήσουμε, μόλις θολώσει το ασβεστόνερο.

4. ΠΕΙΡΑΜΑ ΕΠΙΔΕΙΞΗΣ 4

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΤΑΛΑΚΤΙΤΗ-ΣΤΑΛΑΓΜΙΤΗ

ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος αυτού του πειράματος θα πρέπει ο μαθητής:

1. Να μπορεί να παρασκευάζει σταλακτίτες-σταλαγμίτες στο εργαστήριο.

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΣΚΕΥΗ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ

Όργανα – Συσκευές	**Αντιδραστήρια – Υλικά**
2 ποτήρια ζέσεως ίδιου μεγάλου μεγέθους 1 ύαλο ωρολογίου βαμβακερή χοντρή κλωστή μια μικρή βαμβακερή πετσέτα	Όξινο ανθρακικό νάτριο σε σκόνη θερμό νερό

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Παίρνεις τα ποτήρια ζέσεως και τα τοποθετείς σε επίπεδη επιφάνεια, από την οποία δε θα χρειάζεται να τα μετακινείς, σε απόσταση 10 εκατοστών μεταξύ τους. Γεμίζεις

και τα δύο ποτήρια ζέσεως με ζεστό νερό μέχρι λίγο κάτω από το χείλος (περίπου 3-4 εκατοστά, ανάλογα με το μέγεθος του ποτηριού ζέσεως). Ρίχνεις αρκετή ποσότητα $NaHCO_3$ και στα δύο ποτήρια ζέσεως, περίπου 1/2 κούπα στο καθένα. Ανακατεύεις το ζεστό νερό μέχρι να διαλυθεί τελείως. Τοποθετείς τη βαμβακερή πετσέτα με την κάθε άκρη μέσα σε καθένα από τα ποτήρια ζέσεως και δένεις μια βαμβακερή κλωστή (εικ.58), ώστε να κάνει μία μικρή κοιλότητα στο σημείο που κρέμεται ανάμεσα στα δύο ποτήρια ζέσεως. Βάζεις την ύαλο ωρολογίου ανάμεσα στα δύο ποτήρια ζέσεως, για να στάζει το νερό εκεί. Όταν γεμίζει, το αδειάζεις και το επανατοποθετείς. Ξεκινά πρώτα η σταγονορροή (εικ.57). Η βαμβακερή πετσέτα και η κλωστή απορροφά νερό από τα ποτήρια ζέσεως, το οποίο αρχίζει να στάζει λόγω της βαρύτητας, μόλις φτάσει στο κέντρο της κλωστής, στο σημείο της κοιλότητας. Επειδή στο νερό υπάρχει διαλυμένο $NaHCO_3$, όσο παραμένει πάνω στην κλωστή, προτού να στάξει, εξατμίζεται και έτσι κατακάθεται ένα μέρος του $NaHCO_3$. Μέσα σε 1-2 βδομάδες θα δεις να εμφανίζονται τα πρώτα ίχνη του σταλακτίτη. Σε ένα μήνα θα αρχίσει να σχηματίζεται και σταλαγμίτης μέσα στην ύαλο ωρολογίου. Η ταχύτητα της δημιουργίας εξαρτάται από την ποσότητα του διαλυμένου $NaHCO_3$ μέσα στο νερό και από τη συχνότητα της σταγονορροής.

Μπορείς να διατηρήσεις το πείραμα για περισσότερους μήνες, και έτσι θα δεις να μεγαλώνουν ακόμα περισσότερο οι σταλακτίτες σου (εικ.59).

Προσοχή, είναι πολύ εύθραυστοι, γι' αυτό δεν πρέπει να μετακινείς τα ποτήρια ζέσεως, ούτε να τα αφήνεις σε δυνατά ρεύματα αέρα.

Συμβουλή: Μην παραλείπεις να γεμίζεις ξανά τα ποτήρια ζέσεως με το νερό που χάνεται και να συμπληρώνεις με $NaHCO_3$ κάθε 2 εβδομάδες.

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 1^{ου} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Ονοματεπώνυμο…….

Τάξη……..

Τμήμα……..

Ημερομηνία……..

Παρασκευή διοξειδίου του άνθρακα και ανίχνευση του

1. Καταγράψτε τι παρατηρήσατε στο εσωτερικό της φιάλης και δώστε μια σύντομη εξήγηση.

   ……

   ……

   ……

   Καταγράψτε επίσης τι παρατηρήσατε στο εσωτερικό του ποτηριού ζέσεως και δώστε μια σύντομη εξήγηση.

   ……

   ……

   ……

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 2ου, 3 ου και 4ου ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Ονοματεπώνυμο…….

Τάξη……..

Τμήμα……..

Ημερομηνία……..

1. Ποιες είναι οι χημικές εξισώσεις των αντιδράσεων που πραγματοποιούνται και σε ποιες κατηγορίες αντιδράσεων μπορούμε να τις κατατάξουμε;

   ……

   ……

   ……

2. Γιατί όταν διαβιβάζουμε CO_2 στο ασβεστόνερο, αρχικά θολώνει, και αν συνεχίσουμε να διαβιβάζουμε CO_2, αυτό ξεθολώνει;

   ……

   ……

   ……

……..

3. Γιατί δεν πρέπει να πέφτουν ξίδι και χυμοί από λεμόνι ή πορτοκάλι στους μαρμάρινους πάγκους και στα μαρμάρινα πατώματα;

……

……

……

4. Γιατί χρησιμοποιούμε HCl για να διαλύσουμε το πουρί στις τουαλέτες;

……

……

……

5. Πώς σχηματίζεται το πουρί στις οικιακές συσκευές που θερμαίνουν νερό της βρύσης, π.χ. σίδερο ατμού, καφετιέρα, βραστήρας. Τι πρέπει να περιέχει και γιατί, ένα προϊόν που έχει φτιαχτεί για να διαλύει το πουρί αυτό;

……

……

……..

6. Αφού σκεφτείτε τις αντιδράσεις οι οποίες κάνουν το ασβεστόνερο πρώτα να θολώνει και στη συνέχεια να ξεθολώνει, απαντήστε τις παρακάτω ερωτήσεις: α) από τι υλικό αποτελούνται οι σταλακτίτες και οι σταλαγμίτες και β) πώς μεταφέρεται το υλικό αυτό στα σπήλαια με το νερό της βροχής;

……

……

……

5.3 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΠΡΟΤΑΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Η εκπαιδευτική αυτή πρόταση έδωσε τη δυνατότητα για εξειδικευμένη προσέγγιση των σπηλαίων σε μαθητές διαφόρων κατευθύνσεων συνδυάζοντας τη χημική γνώση και την επίσκεψη στο πεδίο. Παράλληλα, επιτυγχάνεται η διάχυση των επιστημονικών δεδομένων μεταξύ διαφορετικών επιστημονικών κλάδων που έχει ως αποτέλεσμα την μέγιστη διάσωση και αξιολόγηση πληροφοριών σχετικά με τις χημικές γνώσεις μέσα από το περιβάλλον των σπηλαίων. Έννοιες όπως η χημική ισορροπία, η Αρχή Le Chatelier, η διαλυτότητα και οι παράγοντες που την επηρεάζουν, δυσκολεύουν τους μαθητές για την αφομοίωση τους, όμως μέσα από το βιωματικό χώρο του σπηλαίου μπόρεσαν εύκολα να γίνουν κατανοητές.

Στα πλαίσια της πρότασης αυτής παρατηρήσαμε ότι βελτιώθηκαν αισθητά οι προσλαμβανόμενες γνώσεις των μαθητών στο μάθημα της Χημείας, τόσο στο γνωστικό όσο και στο συναισθηματικό πεδίο. Τα ενθαρρυντικά αυτά αποτελέσματα μας οδήγησαν στον προγραμματισμό αυτής της δειγματικής διδασκαλίας με θέμα «χημική ισορροπία-οξέα-βάσεις-άλατα-διαλυτότητα» με αντικείμενο το σπήλαιο. Θεωρούμε ότι κατορθώσαμε να επιτύχουμε μια γόνιμη συνεργασία σχολείου-σπηλαίου, που να μας δίνει την δυνατότητα να καλλιεργήσουμε την χημική γνώση και σκέψη μέσα από την μελέτη και ερμηνεία του φυσικού μας κόσμου. Το σχολείο αποτελεί ζωντανό τμήμα της κοινωνίας, και μόνο μέσα σε αυτή μπορεί να πετύχει την ολοκλήρωσή του.

Η παρούσα πρόταση διαπραγματεύεται την εκπαιδευτική διάσταση που μπορεί να έχει η σπηλαιολογική δράση κάτω από το πρίσμα της μελέτης πεδίου και της διδακτικής της Χημείας, με στόχο την πλήρη αξιοποίηση των γνωστικών δυνατοτήτων που παρέχουν τα σπήλαια σε μαθητές και μαθήτριες της Μέσης Εκπαίδευσης. Η επίσκεψη των μαθητών στο σπήλαιο οδήγησε

- στην εξοικείωση των μαθητών με τον εντυπωσιακό χώρο των σπηλαίων και τις πληροφορίες που παρέχει, κεντρίζει την φαντασία και την ευαισθησία, συμβάλλοντας στην αναζωπύρωση του ενδιαφέροντος των παιδιών για το μάθημα της Χημείας.

- Παράλληλα συνδέεται η τυπική εκπαίδευση που προσφέρει το σχολείο με τις νέες καινοτόμες μορφές που προσφέρει ο χώρος των σπηλαίων. Ο συνδυασμός της εποπτείας και της πληροφόρησης οδηγεί στην κατανόηση της διδασκόμενης ύλης και στην κατευθυνόμενη παρατήρηση. Μέσω των έντονων παραστάσεων οι μαθητές ταυτίζουν την περιγραφή του εκπαιδευτικού με την ρεαλιστική εικόνα του περιγραφόμενου αντικειμένου και αναδεικνύουμε το ρόλο της Χημείας στην αναζήτηση απαντήσεων σε εντυπωσιακά δημιουργήματα της φύσης (σταλαγμίτες-σταλακτίτες).

- Οι μαθητές μπορούν να αντιληφθούν την αξία της γνώσης των χημικών διεργασιών, των παραγόντων που επιδρούν στο σπήλαιο και της διάδρασης της επιστήμης της Χημείας με τις άλλες επιστήμες.

- Δημιουργήσαμε ερωτήματα για προβληματισμό και παρόρμηση ώστε να μάθουν περισσότερα οι μαθητές και να εκδηλώσουν περιέργεια κι ενδιαφέρον για φαινόμενα φυσικά που συμβαίνουν μέσα στο σπήλαιο και να τα συνδυάσουν με τις γνώσεις που αποκτούν μέσα από την διδασκαλία της χημείας.

- Παράλληλα μελετήσαμε τους παράγοντες που επηρεάζουν την εξέλιξη και προστασία αυτών των ζωντανών μνημείων της φύσης, αλλά και την σχέση τους με την καθημερινότητα των ανθρώπων από την αρχαιότητα μέχρι και σήμερα.

- ενίσχυσε την θετική άποψη των μαθητών για την συμβολή της Χημείας στην Φύση και τις διεργασίες που την διέπουν, καθώς και στην διαμόρφωση δεξιοτήτων και κριτικής στάσης για την επιστήμη της Χημείας,

- ενίσχυσε επίσης τη σύνδεση της Χημείας με άλλα θεματικά πεδία (Βιολογία, Γεωλογία, Αρχαιολογία),

- καθώς και στην δημιουργία κατάλληλου περιβάλλοντος έτσι ώστε να μετασχηματισθεί η τυπική γνώση στο σχολείο και η άτυπη γνώση στην επίσκεψη στο σπήλαιο για να πετύχουμε άμεση σύνδεση σχολείου-σπηλαίου.

Τέλος διαπιστώσαμε ότι στο γόνιμο παιδευτικό περιβάλλον του σπηλαίου η πλειοψηφία των μαθητών, ακόμα και αυτών που ενδιαφέρονται για άλλες κατευθύνσεις (θεωρητικές-τεχνολογικές), πέραν των φυσικών επιστημών, καλλιέργησαν δεξιότητες εξοικείωσης με τις έννοιες της Χημείας και τις πρακτικές για την μελέτη και ερμηνεία των φυσικών φαινομένων που συμβαίνουν μέσα στο σπήλαιο. Με ερέθισμα τις παραπάνω σκέψεις σχεδιάσαμε και υλοποιήσαμε την εκπαιδευτική αυτή πρόταση έχοντας ως αφετηρία την παραδοσιακή επιστημονική γνώση της χημείας στο σχολείο και προέκταση το χώρο του σπηλαίου, υιοθετώντας καινοτόμες διδακτικές παρεμβάσεις, αποφεύγοντας την παθητική έκθεση των μαθητών στη νέα γνώση με τη μορφή ξενάγησης στο σπήλαιο και πιστεύοντας ότι πετύχαμε την δημιουργία κατάλληλου περιβάλλοντος έτσι ώστε να μετασχηματισθεί η τυπική χημική γνώση στο σχολείο και η άτυπη γνώση στην επίσκεψη στο σπήλαιο, για να έχουμε άμεση σύνδεση σχολείου-σπηλαίου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Δερμιτζάκης Μ., *Ο θαυμαστός κόσμος των σπηλαίων*, Περιοδικό Ιστορία, Τομ. 6, 1994, 82-98.

2. Πετροχείλου Α., *Τα κυριότερα Ελληνικά Σπήλαια και ο τρόπος εξερεύνησης τους,* Περιοδικό Αρχαιολογία, Τόμ. 15, 1985, 83-86.

3. Παπαναστασοπούλου Β., *Άνθρωπος και Σπηλαιοπεριβάλλον,* Α΄ Πανελλήνιο Σπηλαιολογικό Συνέδριο, 26-29 Νοεμβρίου 1992, Αθήνα 1998.

4. Νικ. Συμεωνίδης, *Αρχές Στρωματογραφίας – Παλαιοντολογίας*, Εκπαιδευτικό Πρόγραμμα Επιστημονικής & Αθλητικής Σπηλαιολογίας, Μάρτιος-Ιούνιος 2007.

5. J.M.Wickens, *The Archaeology and History of Cave use in Attika*, *Greece from Prehistoric through Late Roman Times*, Indiana USA, 1986.

6. Πετροχείλου Α., *Τα σπήλαια της Ελλάδος*, Εκδοτική Αθηνών Α.Ε., 2004.

7. Μερδενισιάνος Κ., *Συνοπτική περιγραφή της ιστορίας της σπηλαιολογίας στην Ελλάδα και του έργου της ελληνικής σπηλαιολογικής εταιρείας*, Εκπαιδευτικό Πρόγραμμα Επιστημονικής & Αθλητικής Σπηλαιολογίας, Μάρτιος – Ιούνιος 2007.

8. Ζούπης Δ., *Σπήλαια-Μέθοδοι αποτύπωσης-Σχηματισμός σπηλαίων*, Περιοδικό Γεωτοπολόγιο, Α΄ εξάμηνο 2010, τεύχος 1, σελ 14-17

9. Lowenstam H. and Weiner S., "Biomineralization", Oxford Univ. Press, New York, 1989.

10. Lippmann F., *"Sedimentary Carbonate Materials"*, Springer, New York, 1973.

11. Cowan J. and Weintritt D., *"Water-Formed Scale Deposits"*, Gulf Publishing Co., Houston, 1976.

12. Bragg W.L., *Proc. Roy. Soc. London Ser. A*, 89, 1914, 468.

13. Bragg W.L., *Proc. Roy. Soc. London Ser. A*, 105, 1924, 16.

14. Boettcher A.L., Wyllie, P.J., *Journal of Geology*, vol. 76, pp. 314-330. Chicago, 1968.

15. Heide F., *Mineral.*, 23, 1924, 641.

16. Cabrol, P., *Contribution a l' etude du concretionnement carbonates des grottes du Sud de la France, morphologie, genese, diagenese*, Univ. Montpellier, Mem. Centre Etud. Recherch. Geol.Hydrog. XII, 1978, pp 275.

17. Παπαδοπούλου-Βρυνιώτη Κ., *Καρστικά φαινόμενα & Γένεση Σπηλαίων*, Εκπαιδευτικό Πρόγραμμα Επιστημονικής & Αθλητικής Σπηλαιολογίας, Μάρτιος-Ιούνιος 2007.

18. Γκιώνη Μ., *Το Παλαιοπεριβάλλον των σπηλαίων της Ελλάδας από την Παλαιολιθική μέχρι το τέλος της Νεολιθικής Εποχής*, Διδακτ. Διατριβή, Τμήμα Ιστορίας & Αρχαιολογίας, Φιλοσοφικής Σχολής ΕΚΠΑ, Αθήνα, 2005.

19. Γιαννόπουλος Β. Ι., *Συμβολή στη μελέτη Σύγχρονων και Παλαιών Περιβαλλόντων των πλέον σημαντικών Ελληνικών Σπηλαίων*, Διδακτ. Διατριβή, Τομέας Ιστορικής Γεωλογίας & Παλαιοντολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, ΕΚΠΑ, Αθήνα, 2000.

20. Μπασιάκος Π. Ι., *Χρονολόγηση απολιθωμάτων σπηλαίων και σπηλαιοαποθεμάτων με τη μέθοδο του συντονισμού της ηλεκτρονικής στροφορμής και μελέτη μορφολογίας υπόγειου καρστ και των σχετικών ραδιομετρικών και γεωλογικών συνθηκών σε σπηλαιοπεριβάλλοντα της περιοχής Διρού Μάνης*, Διδακτ. Διατριβή, Τομέας Ιστορικής Γεωλογίας & Παλαιοντολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, ΕΚΠΑ, Αθήνα, 1993.

21. Davis, N. S., De Wiest, M. J. R., *Hydrogeology*, John Wiley & Sons, Inc, 1980.

22. Swinnerton A.C., *Origin of limestone caverns*, Geological Society of America Bulletin 43, 1932, 662-93.

23. Rhoades R. and Sinacori M.N. *The pattern of ground-water flow and solution*. Journal of Geology 49, 1941, 785-94.

24. Ford, D. C., *Perspectives in karst hydrogeology and cavern genesis, Speleogenesis and evolution of Karst Aquifers 1*(1), Virtual Scientific Journal, www.speleogenesis.info, January, 2003, p.2.

25. Klimchouk, A. B., & Ford., C., *Lithologic and structural controls of dissolutional cave development*, In: Klimchouk, A., B., Ford, D., C., Palmer, A., N., Deybrodt, W., Eds. *Speleogenesis,* Evolution of karst aquifers, National Speleological Society. Huntsville, Alabama, 2000, 54-64.

26. Βαξεβανόπουλος Μ., *Τεκτονικές συνθήκες σπηλαιογένεσης στο σπήλαιο Μελισσότρυπα Κεφαλοβρύσου Ελασσόνας*, Διατριβή Ειδικ., Τομέας Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ, 2006.

27. Ford, D. C.& Wiliams P., *Karst Hydrogeology and Geomorphology,* Wiley& Sons, England, 1989.

28. Cvijic, J., *Hydrographie souterraine et evolution morphologique du karst,* Receuilles Travaux de l'Institute de Geographic Alpine 6(4), 1918, 375-426.

29. Bögli, A., *Karsthydrographie und physische Speläologie*: Springer, Berlin, 1978, 292 p.

30. Pulido-Bosch A., Calaforra J. M., Pulido-Leboeuf P., Torres-Garcıa S., *Impact of quarrying gypsum in a semidesert karstic area (Sorbas, SE Spain),* Environmental Geology (2004) 46:583–590.

31. Vlasceanu, L.; Popa, R. and Kinkle, B.K., *Characterization of Thiobacillus thioparus LV43 and Its distribution in a chemoautotrophically based groundwater ecosystem.* Applied and Environmental Microbiology, vol. 63, no. 8, 1997, p. 3123-3127.

32. Καλπάκης Γ., *Η κρυστάλλωση του ανθρακικού ασβεστίου: Γενική θεώρηση-βιβλιογραφία,* Δελτ.ΕΣΕ, XVII/1,2,1981-82, 259-300.

33. Hill, C.A., & Forti, P., *Cave minerals of the world*, (2nd ed.): National Speleological Society, Huntsville, Alabama, 1997,463 p.

34. Charles A. Self and Carol A. Hill, *How speleothems grow: An introduction to the ontogeny of cave minerals,* Journal of Cave and Karst Studies 65(2), August 2003, 130-151.

35. Andreas Pflitsch and Jacek Piasecki, *Detection of an airflow system in Niedzwiedzia (Bear) Cave, Kletno, Poland*, *Journal of Cave and Karst Studies 65*(3):160-173.

36. Ιωάννης Ε. Μπασιάκος, Διευθυντής Ερευνών Εργαστήριο Αρχαιομετρίας, Ινστιτούτο Επιστήμης Υλικών, ΕΚΕΦΕ "Δημόκριτος" *«Εκδρομικά Χρονικά» Ιούλιος 2011, τ.8*

37. Liritzis, Y.**,** *Greek archaeomagnetic intensities; some aspects of reliability and geophysical implications*, Earth, Moon and Planets 47(1), 1989, 1-13.

38. Schwarcz H., *Uranium Series dating,* Quat. Intern., 1, 1989, 7-17.

39. Grun R., *ESR dating*, Quat. Intern., 1, 1989, 65-109.

40. Λυριτζή, Ι., *Αρχαιομετρία: Μέθοδοι χρονολόγησης στην Αρχαιολογία,* Εκδ. Καρδαμίτσα, Αθήνα, 1986, 259.

41. Μ. Β. Τριαντάφυλλου, *Ελληνικά σπήλαια και Τουριστική ανάπτυξη.* Δελτίο ΕΣΕ XX, Αθήνα (1989-1992).

42. Μερδενισιάνος Κ., *Η Σπηλαιοθεραπεία και οι προεκτάσεις της*, Περιοδικό Αρμονία, Νοέμβριος 2009.

43. Πανταζίδου Α., *Βιοσπηλαιολογία*, Εκπαιδευτικό Πρόγραμμα Επιστημονικής & Αθλητικής Σπηλαιολογίας, Μάρτιος-Ιούνιος 2007.

44. Ognjen Bonacci, Tanja Pipan, David C. Culver, *A framework for karst ecohydrology*, Environ. Geol., vol 56, 2009, p.891-900.

45. Δημητρέλος Π. Γ., *Αιτίες καταστροφών στα σπήλαια,* Δελτίο Ελληνικής Σπηλαιολογικής Εταιρείας, Τομ.XXII, 1995-2000.

46. Pearce Susan M., *Μουσεία, αντικείμενα και συλλογές*, Εκδ. Βάνιας, Θεσ/κη 2000.

47. Kuhn T., *Η δομή των επιστημονικών επαναστάσεων*, Επιμέλεια Κάλφας Β., Εκδ. Σύγχρονα Θέματα, 2004.

48. Μπαράτση Α., *Αξιοποίηση Μουσειακών Εκθεμάτων στη διδασκαλία της Χημείας*, Ερευνητική Εργασία Διπλώματος Ειδίκευσης, Διαπανεπιστημιακό Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών ΔιΧηΝΕΤ, Τμήμα Χημείας, Σχολής Θετικών Επιστημών ΕΚΠΑ, Αθήνα 2005.

49. Βοσνιάδου Σ., *Γνωσιακή Επιστήμη: Ψυχολογικές μελέτες και δοκίμια*, μτφ Κύρκος Χ., Εκδόσεις: Gutenberg, 2002.

50. Johnstone, A. H., *Why is science difficult to learn? Things are seldom like they seem*, Journal of Computer Assisted Learning, 7, 1991, 75–83.

51. Σάλτα Κ., *Θέματα Διδακτικής της Χημείας ΙΙ,* Σημειώσεις μαθήματος Διδακτικής της Χημείας, ΔιΧηΝΕΤ, ΕΚΠΑ, Αθήνα, 2007-8.

52. Χατζηγεωργίου & Έξαρχος, *Προς μια λειτουργική έννοια του επιστημονικού αλφαβητισμού*, τόμος Α, 4^{ο} Πανελλήνιο Συνέδριο, Νοέμβριος, 2004.

53. Ματσαγγούρας Η., *Η διαθεματικότητα στη σχολική γνώση: Εννοιοκεντρική Αναπλαισίωση και Σχέδια Εργασίας*, Αθήνα, Εκδ. Γρηγόρη, 2004.

54. Κολιόπουλος Δ., *Η διδακτική προσέγγιση του μουσείου των Φυσικών Επιστημών,* Εκδ. Μεταίχμιο, Αθήνα, 2004.

55. Κόκκοτας Π. & Πήλιουρας Π., *Μουσειοπαιδαγωγική και Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες Θεωρία και Πράξη,* Εκδ. Πατάκη, 2005, σ. 19-20

56. Halliday, M.A.K. & Martin, J.R., *Η Γλώσσα της Επιστήμης*, Εκδ. Μεταίχμιο, 2004.

57. Vygotsky, L. S., *Mind in society: The development of higher psychological processes,* (M. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner, & E. Souberman, Eds.). Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1978.

58. Μπακιρτζής, *Βιωματική εμπειρία και κίνητρα μάθησης,* Παιδαγωγική Επιθεώρηση, 2000.

59. Κλεάνθους-Παπαδημητρίου, Μ., *Η Νέα Αγωγή*, τόμος Ι-ΙΙΙ, Αθήνα, 1980.

60. Χρυσαφίδης, Κ., *Βιωματική-Επικοινωνιακή Διδασκαλία. Η εισαγωγή της μεθόδου project στο σχολείο,* Εκδ. Gutenberg, 1994.

61. Boud, D., Cohen, R., & Walker, D., *Using Experience for Learning,* Buckingham: Open University Press, 1993.

62. Δεδούλη, Μ., *Βιωματική μάθηση-Δυνατότητες αξιοποίησης της στο πλαίσιο της Ευέλικτης Ζώνης*, Επιθεώρηση Εκπαιδευτικών θεμάτων, 2002.

63. Postle, D., *Putting the heart back into learning*, In D. Boud, R. Cohen, D.Walker, (Eds), *Using experience for learning*, 1993.

64. Καλκάνης Γ., *ΕκΠαιδευτική Φυσική,* Αθήνα, 2002.

65. Φλουρής Γ., *Η αρχιτεκτονική της διδασκαλίας και η διαδικασία της μάθησης*, Εκδόσεις: Γρηγόρης, Αθήνα, 2000.

66. Ματσαγγούρας, Η.Γ., *Στρατηγικές διδασκαλίας: Η κριτική σκέψη στη διδακτική πράξη*, Εκδόσεις: Gutenberg, Αθήνα, 2000.

67. Sutton C., *Οι Λέξεις, οι Φυσικές Επιστήμες και η Μάθηση*, 2002.

68. Ματσαγγούρας Η., *Η εξέλιξη της Διδακτικής*, Εκδόσεις: Gutenberg, Αθήνα, 2002.

69. Παναγιάρης Γ., & Πανταζίδου Α., *Σπήλαια και περιβαλλοντική εκπαίδευση*, 5th International Congress of Hellenic Speleological Society, Cave development, Evolution and Environment, European conference, Sub-surface waters development, uses and protection, Athens – Crete, 7-11 November 1994.

70. UNESCO- UNEP., International Environmental Education Program, *Trends in Environmental Education since the Tbilisi Conference,*1983, No 1.

71. UNESCO- UNEP., International Environmental Education Program, *Guide on Gaming and Simulation for Environmental Education,*1983, No 2.

72. Γεωργόπουλος Α & Ε. Τσαλίκη Ε., *Περιβαλλοντική εκπαίδευση (Αρχές, Φιλοσοφία, Μέθοδοι, Παιχνίδια και Ασκήσεις)*, Εκδ. Gutenberg 1993, σελ 1-164.

73. UNESCO-UNEP., International Environmental Education Program, *A comparative Servey of the Incorportion of Environmental Education into School Curricula,*1985, No 17.

74. UNESCO- UNEP., International Environmental Education Program, Analysis of Results of *Environmental Education Pilot Projects ,*1985, No 19.

75. UNESCO- UNEP., International Environmental Education Program, *Procedures for developing an Environmental Education Curriculum,*1986, No 22.

76. UNESCO-UNEP., International Environmental Education Program, *Environmental Education in Technical and Vocational Education ,*1986, No 24.

77. Φλογαίτη Ε., Περιβαλλοντική Εκπαίδευση, Ελληνικές Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, 1993, σελ.1-318.

78. Αρετάκη Κ., *Πρόταση δημιουργίας ενός Εθνικού Θεματικού Δικτύου για τα σπήλαια*, 4° Συνέδριο ΠΕΕΚΠΕ, Ναύπλιο, 12-14/12/2008.

79. Μ. Δ. Δερμιτζάκης - Γ. Παπαδόπουλος - Λ. Πετροχείλου - Θ. Σκούρας, *Ιστορικό της σπηλαιολογίας στην Ελλάδα και συμβολή της στην Επιστήμη και την Εθνική Οικονομία,* Δελτίο ΕΧΕ XVIII, Αθήνα, 1981-1982.

80. Τριανταφύλλου Μ.Β., *Ελληνικά Σπήλαια και Τουριστική Ανάπτυξη*, Ινστιτούτο Περιφερειακής Ανάπτυξης, Πάντειο Παν/μιο Κοινωνικών και Πολιτικών Επιστημών, Αθήνα, Ιανουάριος 1992.

81. Σμπαρούνης Θ., *Η συμβολή των Εθνικών Θεματικών Δικτύων Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης που συντονίζονται από ΚΠΕ στην προαγωγή της Εκπαίδευσης για την Αειφορία*, 3° Πανελλήνιο Συνέδριο ΠΕΕΚΠΕ, Νοέμβριος, 2007.

82. Τσαλίκη Β., *Κέντρα Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης: Πολυτέλεια ή αναγκαιότητα;, Περιβαλλοντική Εκπαίδευση, Ο νέος πολιτισμός που αναδύεται,* Αθήνα, 2005.

83. Billett, S., *Situated Learning*, Learning and Instruction, vol. 6(3), September, 1996.

84. Gallagher, J., *Secondary Teachers Constructivism Practice*, in K. Tobin (ed), Constructivism. Hillsdale, N.J: Erlbaum, 1993.

85. Harrison, S., & Knights, G., *Cross-Curricularity*, David Fulton Publishers, 1993.

86. Iran-Nejad A., McKeachie, W. J., & Berliner D.C., *The multisource nature of learning: An Introduction*, Review of Educational Research, 60(4), 1990, p.509-515.

87. Gardner, H., *Multiple Intelligences Theory: The Theory Into Practice*, New York: Basic Books, 1993.

88. Ματσαγγούρας Η., *Ομαδοσυνεργατική διδασκαλία και μάθηση: για το καθημερινό μάθημα, το ολοήμερο σχολείο και για τα περιβαλλοντικά, τα πολιτιστικά και Ευρωπαϊκής συνεργασίας προγράμματα*, Εκδόσεις: Γρηγόρης, Αθήνα, 2004.

89. O' Sullivan, E., *Transformative Learning*, New York: Zed Books, 1999.

90. Dilthey W., *Selected Works, Volume I: Introduction to the Human Sciences*, Edited by Rudolf A. Makkreel & Frithjof Rodi, 1991.

91. Κουλουμπαρίτση Α., *Γραφικές Αναπαραστάσεις-Εννοιολογικός Χάρτης: Όταν οι Γνώσεις Γίνονται Ευέλικτα Νοητικά Σχήματα*, Σύγχρονη Εκπαίδευση, τ. 95, 1997.

92. Ζευκιλής Α., *Τα εποπτικά μέσα διδασκαλίας,* εκδ. Γρηγόρης, Αθήνα, 1989.

93. Καμαρινού Δ., *Η Βιωματική μάθηση στο σχολείο*, Γ΄ Έκδοση, 2000.

94. Bloom B.S. & Krathwohl D.R, *Ταξινομία διδακτικών στόχων*, τομ. Α΄-Γνωστικός τομέας, μτφ Α.Λαμπράκη-Παγανού, Εκδ. Κώδικας, Αθήνα, 2000.

95. Ματσαγγούρας, Η., *Θεωρία της Διδασκαλίας*, Εκδόσεις: Gutenberg, Αθήνα, 1999.

96. Μεσσάρη Δ. , Περλεπές Σπ., *Αντιδράσεις του βρωμιδίου του σιδήρου (ΙΙΙ) με το βενζοτριαζόλιο*, Πάτρα, 2012.

97. Μητσιάδη Σ., *Οδηγός πειραμάτων Χημείας*, Εκδόσεις Σαββάλας, Αθήνα, 1994.

98. Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, Εργαστηριακές ασκήσεις, Αθήνα, 2006.

99. http://www.ssrvideo.com/vol40.html#
http://chemistry.about.com/od/crystalrecipes/a/sodacrystals.htm

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΠΡΟΕΛΕΓΧΟΥ/ΤΕΛΙΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

ΣΧΟΛΕΙΟ…….

ΤΑΞΗ……. ΤΜΗΜΑ……..

ΜΑΘΗΤΗΣ……. ΜΑΘΗΤΡΙΑ……..

1. Ποια από τις παρακάτω προτάσεις θεωρείτε ότι είναι σωστές;

Α. Τα σπήλαια αποτελούν μνημεία απαράμιλλης φυσικοχημικής κληρονομιάς που χρειάζονται την προσοχή μας και την προστασία μας.

Σωστή ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω ☐

Β. Ο κύκλος του νερού έχει άμεση σχέση με την δημιουργία των σπηλαίων.

Σωστή ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω ☐

Γ. Τα σπήλαια είναι χώροι αρχαιολογικών ευρημάτων, αφού η παρουσία του ανθρώπου μέσα σε αυτά είναι έντονη σε όλη την πορεία και εξέλιξή του.

Σωστή ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω ☐

Δ. Σήμερα τα σπήλαια συμβάλλουν στην οικονομική ανάπτυξη της ευρύτερης περιοχής;

Σωστή ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω ☐

Ε. Η αντίδραση σχηματισμού των σταλαγμιτών/σταλακτιτών είναι

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightleftharpoons Ca(HCO_3)_2$$

Σωστή ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω ☐

ΣΤ. Ένας κόκκος ασβεστολιθικής άμμου διαλύεται από το νερό σε πέντε μήνες.

Σωστή ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω ☐

Ζ. Το κρύο νερό των χειμερινών βροχοπτώσεων είναι πλουσιότερο σε διοξείδιο του άνθρακα και συνεπώς η επιφανειακή διάλυση των ασβεστόλιθων είναι μεγαλύτερη.

Σωστή ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω ☐

Η. Όταν το $CaCO_3$ έχει προσμίξεις οξειδίων οι σπηλαιολιθωματικοί σχηματισμοί έχουν αποχρώσεις π.χ. τα οξείδια του Fe προκαλούν χρώμα ερυθρό μέχρι καστανό

χρώμα λόγω της οξείδωσης (μετατροπή του Fe^{2+} σε Fe^{3+}), ενώ τα οξείδια του μαγγανίου παίρνουν κυρίως μαύρο χρώμα.

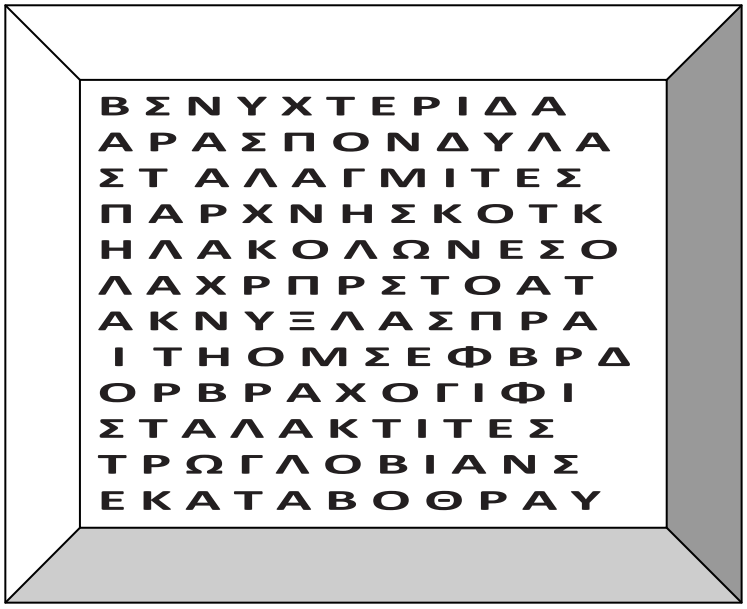
Σωστή ☐ Λάθος ☐ Δεν γνωρίζω ☐

2. Πόσους σπηλαιολογικούς χώρους στην Ελλάδα και στο εξωτερικό έχετε μέχρι σήμερα επισκεφθεί;
   Α. έναν Β. κανέναν Γ. περισσότερους από έναν

3. Ποιες επιστήμες θεωρείτε ότι σχετίζονται με τα σπήλαια; (Μπορείτε να επιλέξετε περισσότερες από μία απαντήσεις.)
   Α. Αρχαιολογία
   Β. Γεωλογία
   Γ. Χημεία
   Δ. Βιολογία
   Ε. Φυσική

4. Βρείτε και κυκλώστε τις λέξεις-κλειδιά για τα σπήλαια:

ΚΡΥΟ	**ΣΤΟΑ**	**ΑΡΑΧΝΗ**	**ΣΠΗΛΑΙΟ**
ΣΚΟΤΑΔΙ	**ΝΥΧΤΕΡΙΔΑ**	**ΑΣΠΟΝΔΥΛΑ**	**ΚΑΤΑΒΟΘΡΑ**
ΚΟΛΟΝΕΣ	**ΤΡΩΓΛΟΒΙΑ**	**ΣΤΑΛΑΚΤΙΤΕΣ**	**ΣΤΑΛΑΓΜΙΤΕΣ**



5. Ο σχηματισμός σταλακτιτών-σταλαγμιτών είναι:
   Α. εξαιρετικά αργή διαδικασία
   Β. διαδικασία που οφείλεται στη μετατροπή του όξινου ανθρακικού ασβεστίου, που είναι διαλυμένο στο νερό, σε ανθρακικό ασβέστιο κατά την εξάτμιση του νερού
   Γ. όλα τα παραπάνω
   Δ. δεν γνωρίζω

6. Ο σχηματισμός σταλαγμίτη-σταλακτίτη είναι μια διεργασία:
   Α. σχηματισμού άλατος Β. σχηματισμού οξέος Γ. δεν γνωρίζω

7. Μπορείτε να αναφέρετε με ποιες χημικές αντιδράσεις μπορεί να προκύψουν τα άλατα;
   Α. δεν γνωρίζω
   Β.ναι,……
   ……..
   ……..
   ……..
   ……

8. Ποιες από τις παρακάτω έννοιες θα πρέπει να αναφερθούν κατά την διδασκαλία του σχηματισμού των σταλακτιτών-σταλαγμιτών;
   Α. κύκλος νερού
   Β. διάλυση (ευδιάλυτα/δυσδιάλυτα άλατα)
   Γ. εξάτμιση νερού
   Δ. ασβεστολιθικά πετρώματα
   Ε. σχηματισμός αλάτων

9. Γιατί όταν διαβιβάζουμε CO_2 στο ασβεστόνερο αρχικά είναι θολό κι όταν συνεχίσουμε να διαβιβάζουμε CO_2 αυτό ξεθολώνει;
   Ποιες χημικές εξισώσεις περιγράφουν το φαινόμενο αυτό;
   ……
   ……
   ……
   ……

10. Από τι υλικό αποτελούνται οι σταλακτίτες και οι σταλαγμίτες;
   ……
   ……
   ……
   ……
   ……
   Πώς μεταφέρεται το υλικό αυτό στα σπήλαια;……
   ……..
   ……..
   ……..

11. Η διαλυτική δράση του ασβεστόλιθου αυξάνεται με: (Μπορείτε να σημειώσετε περισσότερες από μία απαντήσεις.)
Α. τον εμπλουτισμό του ασβεστόλιθου σε $CaCO_3$
Β. αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος
Γ. μείωση της θερμοκρασίας
Δ. αύξηση της μερικής πίεσης του CO_2 σε νερό
Ε. μείωση της μερικής πίεσης του CO_2 σε νερό
ΣΤ. δεν γνωρίζω

12. Αντιστοιχείστε την πρώτη Α' στήλη με την δεύτερη Β΄ στήλη:

Α'	**Β'**
1. κυανοβακτήρια	α. ερυθρός μέχρι καστανός χρωματισμός
2. οξείδια κι υδροξείδια του σιδήρου	β. πρασίνισμα σπηλαίων
3. οξείδια μαγγανίου	γ. μαύρος χρωματισμός
4.ασβεστίτης	δ. λευκός χρωματισμός και χαμηλά επίπεδα φυσικής ραδιενέργειας

13. Αντιστοιχείστε την πρώτη Α' στήλη με την δεύτερη Β΄ στήλη:

Α'	**Β'**
1. Σπήλαιο	α. Κάθε φυσική κοιλότητα του εδάφους, αρκετά μεγάλη, ώστε να χωράει ένας άνθρωπος
2. Σπήλαια λάβας	β. έγκοιλα που ανεβαίνουν μέχρι την επιφάνεια του εδάφους κατακόρυφα ή με μεγάλη κλίση
3. Παράκτια σπήλαια	γ. βρίσκονται σε χαμηλά υψόμετρα κατακλύζονται από νερά και μετατρέπονται σε λίμνες και έλη
4. Σπήλαια πάγου	δ. σχηματίζονται κατά μήκος των οροφών και μπορεί να φθάσουν στο δάπεδο παίρνοντας τη μορφή τειχών
5. Σταλακτίτες	ε. κρέμονται από την οροφή σαν παγοκρύσταλλοι
6.Σταλαγμίτες	στ. σχηματίζονται μέσα στις βραχώδεις ακτές
7.Κολόνα	ζ. σχηματίζονται μέσα σε παγετώνες
8. Πόλγες	η. δημιουργούνται από την ένωση ενός σταλαγμίτη με έναν σταλακτίτη
9. Καταβόθρες	θ. στύλοι που υψώνονται από το δάπεδο
10. Ελικτίτες	ι. σχηματίζονται από τη διάπυρη λάβα των ηφαιστείων
11. μαργαριτάρια σπηλαίων	κ. σχηματίζονται στα βυθίσματα του δαπέδου των σπηλαίων κι έχουν τη μορφή σφαιρών
12.παραπετάσματα Σπηλαίων	λ. που αναπτύσσονται στα τοιχώματα, στα δάπεδα και στις οροφές των σπηλαίων με τη μορφή ελικοειδώς διακλαδιζόμενων δομών

14. Ποιοι είναι οι κύριοι παράγοντες καταστροφής του σπηλαίου:
Α. ο θερμός φωτισμός των αξιοποιημένων τουριστικά σπηλαίων
Β. το παραγόμενο CO_2
Γ. όλα τα παραπάνω

Δ. δεν γνωρίζω

15. Μπορείτε να αναφέρετε πώς μπορούμε να προστατέψουμε τα τουριστικά αξιοποιημένα σπήλαια;
    Α. δεν γνωρίζω
    Β. ναι, δώστε τουλάχιστον δύο παραδείγματα.
    ……
    ……..
    ……
    ……..
    ……
    ……
    ……

16. Κατά τη διάρκεια του προγράμματος τι σας άρεσε περισσότερο; (Μπορείτε να σημειώσετε περισσότερες από μία απαντήσεις.)
    Α. Το ότι συνεργάστηκα με τους συμμαθητές μου
    Β. Το ότι η συμμετοχή μου στο πρόγραμμα δεν συνδυάστηκε με βαθμολογία
    Γ. Το ότι μπόρεσα να αναπτύξω τις γνώσεις μου συνδυάζοντας τη σχολική εμπειρία (γνώση) με τις επί τόπου πληροφορίες της επίσκεψης στο σπήλαιο
    Δ. Άλλο (Παρακαλώ διευκρινίστε)…….
    ……
    …….

17. Πόσο σημαντική είναι η χημεία για τον σχηματισμό των σπηλαίων και του σπηλαιοδιακόσμου;
    Α. Πολύ σημαντική
    Β. Αρκετά (σημαντική)
    Γ. Λίγο σημαντική
    Δ. Καθόλου σημαντική

18. Θα επιθυμούσατε ένα μάθημα Χημείας, σχετικό με το σχηματισμό αλάτων, να γίνει μέσα σε ένα σπήλαιο;
    Α. Όχι, δεν θα επιθυμούσα
    Β. Ναι, θα επιθυμούσα να συμμετέχω ενεργά σε ένα μάθημα Χημείας στο χώρο του σπηλαίου
    Γ. Θα ήθελα απλώς να παρακολουθήσω μια ξενάγηση στο χώρο αυτό

19. Αν είχατε στη διάθεσή σας τρεις ώρες ελεύθερες σε μια περιοχή με τουριστικά αξιοποιημένο σπήλαιο, πώς θα περνούσατε το χρόνο σας εκεί;
    Α. Θα περιπλανιόμουν στην περιοχή για να τη γνωρίσω
    Β. Θα προσπαθούσα να γνωρίσω παιδιά της ηλικίας μου
    Γ. Θα επισκεπτόμουν το σπήλαιο της περιοχής
    Δ. Θα περνούσα τον ελεύθερο χρόνο μου σε μια καφετέρια