



Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



## ***ΤΟ ΚΑΡΣΤ ΤΗΣ ΝΙΔΑΣ***



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΓΟΥΛΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

**2014**



Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



## ΤΟ ΚΑΡΣΤ ΤΗΣ ΝΙΔΑΣ

### ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*ΓΟΥΛΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ*

**Επιβλέπουσα :**

*Δρ. Κόκκινου Ελένη*

*Αναπληρώτρια Καθηγήτρια*

**Επιτροπή Αξιολόγησης:**

1. Δρ. Κόκκινου Ελένη
2. Δρ. Σουπιός Παντελής
3. Δρ. Σάλτας Βασίλης

**Ημερομηνία Παρουσίασης :**

**Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας :**

## Ευχαριστίες

Μέσα από αυτό το σημείωμα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτριά μου, κυρία Ελένη Κόκκινου, για όλη την βοήθεια που μου προσέφερε στο διάστημα της επιμέλειας της πτυχιακής μου εργασίας. Αρχικά θέλω να την ευχαριστήσω για την επιλογή του θέματος, γιατί παρόλο που στην αρχή μου φάνηκε δύσκολο τελικά αποδείχθηκε αρκετά ενδιαφέρον. Χωρίς όμως την υπομονή, την κατανόηση, την διάθεσή της να μοιράζεται τις γνώσεις και την ικανότητά της να εξηγεί τους πιο σύνθετους όρους με τις πιο απλές λέξεις, δεν θα μπορούσα να καταφέρω τίποτα.

Για αυτούς τους λόγους λοιπόν, όπως και για πολλούς άλλους, θέλω να της εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου και να της πω ένα μεγάλο ευχαριστώ. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την αγάπη τους, για το ενδιαφέρον και για ότι μου έχουν χαρίσει όλα αυτά τα χρόνια και που για μένα ήταν πολύτιμο.

## Περίληψη

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η παρουσίαση του τοπογραφικού ανάγλυφου της ευρύτερης περιοχής της Νίδας στην κεντρική Κρήτη, η ανάλυση των μορφολογικών της χαρακτηριστικών καθώς και η γεωλογική δομή της υπόψιν περιοχής. Η υλοποίηση της παρούσας εργασίας έγινε σε Γ.Σ.Π. Επιπρόσθετα χρησιμοποιήθηκαν και στοιχεία από τον τοπογραφικό 1:50000 της Γ.Υ.Σ .

## Abstract

The purpose of this work is the presentation of the topography of the wider area of Nida, located in Psiloritis Mt. in central Crete and the analysis of its morphological characteristics as well its geological structure. The implementation of this work was done in GIS. Data come from from the 1:50,000 topographic of G.Y.S.

## Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	- 7 -
1.1 Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας.....	- 7 -
1.2 Γεωγραφική θέση και περιγραφή της ευρύτερης περιοχής ( <a href="http://www.milorotamos.com">http://www.milorotamos.com</a> ) .....	- 7 -
1.3 Γενικά στοιχεία για το κλίμα της Κρήτης.....	- 11 -
2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (G.I.S.).....	- 13 -
2.1 Εισαγωγή .....	- 13 -
2.2 Το σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών .....	- 14 -
2.3 Το σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών Ορισμός και Αρχή Λειτουργίας.....	- 15 -
2.4 Οι Χρήσεις των GIS .....	- 18 -
3 ΚΑΡΣΤΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ .....	- 22 -
3.1 Γενικά.....	- 22 -
3.2 Γενικά.....	- 22 -
3.3 Διεργασίες και στάδια εξέλιξης του Καρστ.....	- 24 -
3.4 Χημική διάλυση.....	- 27 -
3.5 Αποσάθρωση.....	- 31 -
3.6 Μεταφορά των υλικών.....	- 32 -
3.7 Απόθεση .....	- 32 -
3.8 Επικάρστ (epikarst).....	- 34 -
3.9 Τα στάδια της εξέλιξης του καρστ.....	- 35 -
3.10 Οι παράγοντες εξέλιξης του καρστ .....	- 37 -
3.10.1 Οι κύριοι παράγοντες που ελέγχουν την εξέλιξη του καρστ είναι .....	- 37 -
3.10.2 Γεωγραφικό πλάτος, κλίμα και καρστικοποίηση .....	- 39 -
3.10.3 Οι κύριοι γεωμορφολογικοί παράγοντες.....	- 40 -
3.11 Τύποι του καρστ .....	- 42 -
3.11.1 Ιστορική ανασκόπηση των τύπων του καρστ .....	- 42 -
3.11.2 Ολο-καρστ .....	- 42 -
3.11.3 Τύπων Κοσόβου .....	- 43 -
3.11.4 Μέρο-καρστ.....	- 43 -
3.11.5 Τύπων Ιούρας.....	- 45 -
3.11.6 Η σύγχρονη τυπολογία των τύπων του καρστ.....	- 45 -



3.11.7 Συγγενετικό καρστ (Syngenetic karst) .....	- 47 -
3.11.8 Ενδο-στρωματικό καρστ (Intrastratal karst) .....	- 47 -
3.11.9 Εκτεθειμένο καρστ (Exposed karst) και Αποκαλυμμένο καρστ (Exhumed karst)...	- 48 -
3.12 Οι τυπικές επιφανειακές καρστικές μορφές:.....	- 51 -
3.12.1 Οι γλυφές .....	- 51 -
3.12.2 Επιφανειακά ελεύθερες γλυφές .....	- 53 -
3.12.3 Γλυφές με φυτική κάλυψη ή καλυμμένες γλυφές .....	- 55 -
3.12.4 Οι δολίνες .....	- 55 -
3.12.5 Η ταξινόμηση των τύπων των δολινών .....	- 56 -
3.12.6 Οι ουβάλες .....	- 63 -
3.12.7 Οι πόλγες .....	- 64 -
3.12.8 Οι γεωμορφολογικοί παράγοντες της πόλγης .....	- 66 -
3.13 Οι επιφανειακές καρστικές μορφές και η υδρολογική λειτουργία τους.....	- 70 -
3.13.1 Καρστικές πηγές .....	- 71 -
3.13.2 Καρστικές κοιλάδες .....	- 71 -
3.13.3 Το σύστημα της αποστράγγισης των καρστικών περιοχών .....	- 74 -
3.14 Οι τυπικές υπόγειες καρστικές μορφές: .....	- 75 -
3.14.1 Οι υπόγειες καρστικές μορφές της διάβρωσης .....	- 75 -
3.14.2 Καρστικά φρέατα .....	- 76 -
3.14.3 Σπήλαια .....	- 77 -
3.14.4 Καρστικοί αγωγοί .....	- 78 -
3.14.5 Οι υπόγειες καρστικές μορφές συσσώρευσης .....	- 78 -
3.14.6 Η επικάλυψη των τοιχωμάτων .....	- 78 -
3.14.7 Οι σπηλαιολιθωματικοί σχηματισμοί .....	- 79 -
3.14.8 Οι αποθέσεις τραβερτίνη ή όνυξ των σπηλαίων .....	- 80 -
3.14.9 Οι αποθέσεις των συσσωρευμένων μηχανικών ερειπίων .....	- 80 -
3.14.10 Τα κοκκινοχώματα .....	- 81 -
4. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	- 82 -
4.1 Το τοπογραφικό ανάγλυφο και τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της εξεταζόμενης περιοχής .....	- 82 -
5. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	- 89 -
5.1 Γεωμορφολογικά και Στρωματογραφικά στοιχεία .....	- 89 -
5.2 Μεταλλική τεκτονική .....	- 91 -

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	- 94 -
6.1 Συμπεράσματα .....	- 94 -
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	- 95 -
8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ –ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	- 100 -

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση του τοπογραφικού ανάγλυφου της ευρύτερης περιοχής της Νίδας στην κεντρική Κρήτη και η περιγραφή των καρστικών διεργασιών και οι γεωμορφες που δημιουργούνται.

Η υλοποίηση της παρούσας εργασίας έγινε σε Γ.Σ.Π. Επιπέδων χρησιμοποιήθηκαν και στοιχεία από τον τοπογραφικό χάρτη της Γ.Υ.Σ. η ψηφιοποίηση του τοπογραφικού ανάγλυφου έχει γίνει χρησιμοποιώντας της ισούψεις καμπύλες των 20 μέτρων.

### 1.2 Γεωγραφική θέση και περιγραφή της ευρύτερης περιοχής (<http://www.milopotamos.com>)

Ο Ψηλορείτης (ή Ίδη, σχ. 1.1) είναι το ψηλότερο βουνό της Κρήτης με 2456 μ. ύψος. Έχει 5 κορυφές οι οποίες ξεπερνούν τα 2000 μέτρα: ο Τίμιος Σταυρός (2456 μ.), ο Αγκαθιάς (2424 μ.), η Στολίστρα (2325 μ.), η Βουλομένου (2267 μ.) και ο Κούσσακας (2209 μ.). Η πρόσβαση στις κορυφές γίνεται από αρκετά μονοπάτια. Το πιο συνηθισμένο και καλά σηματοδεδεμένο μονοπάτι (Ε4) είναι από το οροπέδιο της Νίδας (η πεζοπορία υπολογίζεται στις 5 ώρες περίπου).

Στον Ψηλορείτη βρίσκεται και το Ιδαίο άντρο (υψόμετρο 1.495 μ.), αρχαιολογικός τόπος και σπήλαιο. Κατά την ελληνική μυθολογία είναι το μέρος όπου ανατράφηκε ο Δίας από τους Κουρήτες και τη νύμφη Αμάλθεια. Λίγο χαμηλότερα, σε υψόμετρο 1.187 μ. βρίσκεται ο αρχαιολογικός χώρος της Ζωμίνθου, όπου υπάρχει μία εγκατάσταση της μινωικής εποχής.

Το οροπέδιο Νίδα είναι μια εύφορη πεδιάδα σε ύψος 1.400 μέτρα πάνω στον Ψηλορείτη κι απέχει 24 χιλιόμετρα από τα Ανώγεια, 78 χιλιόμετρα από το Ρέθυμνο και 60 χιλιόμετρα από το Ηράκλειο. Χρησιμοποιείται ως θερινός βοσκότοπος. Στη Νίδα ο επισκέπτης μπορεί να δει τον παραδοσιακό χώρο παραγωγής τυριού, τα μιτάτα, το χιονοδρομικό κέντρο του Ψηλορείτη και τη σπηλιά "Ιδαίον Άντρον". Κατά τη διάρκεια του χειμώνα το χιόνι στην περιοχή είναι αρκετό και κάτω

από το λόφο, στη βάση της κορυφής του Ψηλορείτη, λειτουργεί ένα χιονοδρομικό κέντρο. Ύστερα από την άφιξη στο οροπέδιο της Νίδας, ο δρόμος κατεβαίνει και μια δεξιά στροφή οδηγεί στο χιονοδρομικό κέντρο.

Σχεδόν το μισό χρόνο, είναι σκεπασμένος με χιόνια, που διατηρούνται και τον άλλο μισό, μέσα στις βαθιές σπηλιές του.

Από την κορυφή του Ψηλορείτη, απολαμβάνει ο ορειβάτης, αξέχαστο θέαμα: Βλέπει ολόκληρη σχεδόν την Κρήτη, μεγάλη έκταση από το Λυβικό πέλαγος προς τα νότια, και το Κρητικό πέλαγος προς τα βόρεια. Πολλά από τα νησιά του Αιγαίου Πελάγους και προ πάντων η Σαντορίνη (θήρα), φαίνονται καθαρά, καθώς και οι νότιες ακτές της Πελοποννήσου (ο Ταΰγετος), αν τύχει να είναι καθαρή η ατμόσφαιρα, πράγμα που δεν συμβαίνει πάντοτε.

Η ανάβαση στην κορυφή του Ψηλορείτη, είναι δύσκολη και πολύωρη, και γίνεται κυρίως το καλοκαιρινό τρίμηνο Ιούνη - Ιούλη - Αύγουστο. Ευκολότερη είναι η ανάβαση από την επαρχία Αμαρίου (Κουρούτες, Βυζάρι, Νίθαυρη, Βισταγή κλπ.) και από την επαρχία Μυλοποτάμου (Ανώγεια, Λειβαδιά, Ζωνιανά, Αξός κλπ.).

Ο Ψηλορείτης υπήρξε, από τους πανάρχαιους χρόνους, το σπουδαιότερο θρησκευτικό κέντρο. Έχει συνδεθεί με τους αρχαιότερους θρησκευτικούς μύθους και θρύλους, και στάθηκε για πολλούς αιώνες ιερός τόπος λατρείας. Τούτο μαρτυρούν συγγραφείς και παραδόσεις, αλλά και το πολυζακουσμένο σπήλαιο «Ιδαίον Άντρον», που βρίσκεται στην Β.Α. πλευρά του, με τα πολύτιμα ευρήματα - αφιερώματα του.

Εκείνο όμως που έδωσε στον Ψηλορείτη τόση δόξα και ιερότητα, είναι πως, το Ιδαίον Άντρον, στάθηκε το λίκνο του Πατέρα των θεών και των ανθρώπων, του Δία, όπως αναφέρει ο μεγάλος υμνογράφος Πίνδαρος.

Το σπήλαιο αυτό, το γνωρίζουν από παλιά, οι βοσκοί της περιοχής της Νίδας, με το όνομα «Σπηλιάρα της βοσκοπούλας». Βρίσκεται στη δυτική πλαγιά του «κάμπου της Νίδας», σε ύψος 1538 μέτρα, και απέχει περίπου 22 χιλιόμετρα, από την ηρωική κωμόπολη Ανώγεια. Σύμφωνα με παλιά παράδοση οι βοσκοί πίστευαν, πως εκεί κοντά βρίσκεται ο τάφος της γυναίκας του βασιλόπουλου της Κρήτης Χαρίδημου, που την σκότωσε άθελα του, όπως περιγράφει στον «Ερωτόκριτο» του, ο ποιητής Βιτσέντζος Κορνάρος.

Το Σπήλαιο παρουσιάζει στην διαρρύθμιση του, τη μορφή αρχαίου ναού. Αυτό υπήρξε το κρησφύγετο, που κατά την μυθολογία, η Ρέα, η γυναίκα του Κρόνου, παλιού κυρίαρχου του Κόσμου, έκρυψε το στερνοπαίδι της, το Δία, για να τον γλιτώσει από την αδηφάγο μανία του πατέρα του.

Τη φύλαξη και φροντίδα του μωρού, ανάθεσε η Ρέα, στους πιστούς της φύλακες Ιδαίους Δακτύλους και τους Κουρήτες, που, με τις βροντώδεις ασπίδες των και τους θορυβώδεις χορούς των, μπροστά στη σπηλιά, έπνιγαν τα κλάματα του μωρού, μην πάρει είδηση ο πατέρας του.

Οι Μέλισσες με το μέλι των και η αίγα Αμάλθεια με το γάλα της, έτρεφαν το θείο Βρέφος.

Έτσι γλίτωσε και ανατράφηκε ο νέος κυρίαρχος του ουρανού και της Γής, που ήλθε να φέρει νέα τάξη στον κόσμο και ημερότερα ήθη στους ανθρώπους, εκθρονίζοντας τον πατέρα του Κρόνο.

Το Σπήλαιο θεωρήθηκε σαν η «Βηθλεέμ της Αρχαιότητας».

Εδώ ερχόταν οι άνθρωποι από τα πέρατα του αρχαίου κόσμου, να προσφέρουν τη λατρεία τους και τα δώρα τους στο Μεγάλο θεό, και να ζητήσουν τη βοήθεια του. Τούτο πιστοποιούν τα πολύτιμα ευρήματα που ανακάλυψε η πρώτη ανασκαφή στο χώρο του Ιδαίου Άντρου το 1885, και όσες άλλες ανασκαφές ακολούθησαν μέχρι πρόσφατα. Όλα τα αρχαία ευρήματα μεταφέρονται και τοποθετούνται στο Αρχαιολογικό Μουσείο Ηρακλείου, προς φύλαξη και συντήρηση. Τα ευρήματα αυτά λατρευτικά αντικείμενα και άλλα, χρονολογούνται από το 13ο π.χ. αιώνα, μέχρι και τους ρωμαϊκούς χρόνους.

Αλλά και η Χριστιανική θρησκεία δεν παράλειψε να καθαγιάσει το «ιερό Βουνό» (τον Ψηλορείτη), με τους ευκτήριους οίκους» της.

Έτσι, την πιο ψηλή κορυφή του στεφανώνει το λιθόκτιστο (ξεροπέτρινο) εκκλησάκι του «Τιμίου Σταυρού», βοήθεια και καταφύγιο των βοσκών και όλων των χριστιανών. Στη βορειοδυτική του πλαγιά, υψώνεται το ιστορικό, ηρωικό και θρυλικό Μοναστήρι του Αρκαδίου.

Στους βόρειους πρόποδες του, κοντά στα χωριά Λιβάδια, Βενί και Αξός, βρίσκεται το Μοναστήρι του Δισκουριού, που σύμφωνα με παράδοση ιδρύθηκε από την εποχή του Μεγάλου Κωνσταντίνου.

Τέλος, στο μέσον περίπου της μεγάλης κοιλάδας του Απάνω Μυλοπόταμου, που σχηματίζεται ανάμεσα στον Ψηλορείτη και τον Κουλούκωνα, βρίσκεται η Μονή Χαλέπας, με τη μακρόχρονη ιστορία και τα πολλά ενδιαφέροντα της.

Τα παλιά χρόνια ο Ψηλορείτης ήταν γεμάτος από πυκνά δάση, όπως μαρτυρεί και ο Ηρόδοτος, όπου ζούσαν όλα τα άγρια ζώα της κρητικής πανίδας, λαγοί, πέρδικες, κουνάβια, αλεπούδες, αγρίμια (η Κρητική αίγαγρος), κλπ. Η προσπάθεια του Γ. Κοκονά για την αναδάσωση του Ψηλορείτη και των άλλων Κρητικών βουνών, είναι αξιέπαινη, και πρέπει να ενισχυθεί από παντού.

Τελευταία, άρχισε η τουριστική αξιοποίηση του Ψηλορείτη με την κατασκευή ορειβατικού καταφυγίου και τη μελέτη δημιουργίας χιονοδρομικού κέντρου.

Επίσης, πρόσφατα κατασκευάστηκε ειδικό κτίριο, και εγκαταστάθηκε, σε ψηλή κορυφή του Ψηλορείτη, αστεροσκοπείο, με τη προσπάθεια του Πανεπιστημίου Κρήτης και του Κράτους, για τις αστρονομικές παρατηρήσεις και ιδιαίτερα του κομήτη του Χάλεϋ, που ύστερα από 76 χρόνια (το 1910), επισκέπτεται πάλι τη γη.



Σχήμα 1.1 Εικόνα της ευρύτερης περιοχής του Ψηλορείτη.

### 1.3 Γενικά στοιχεία για το κλίμα της Κρήτης

Η Κρήτη και γενικότερα σχεδόν ολόκληρη η Μεσόγειος θάλασσα βρίσκονται βορειότερα των περιοχών υποτροπικών νηνεμιών. Σ' αυτές τις περιοχές λόγω της διανομής ατμοσφαιρικής πίεσης και της κυκλοφορίας των ανέμων, παρατηρούνται δύο κυρίως εποχές: η βροχερή και η ξηρή. Εάν σαν βάση του διαχωρισμού χρησιμοποιηθεί η θερμοκρασία του αέρα, τότε και πάλι παρατηρούνται δύο εποχές: η ψυχρή και η θερμή. Στο μεσογειακό τύπο κλίματος, υπάρχει σαφής συσχετισμός ανάμεσα στην ψυχρή και βροχερή, καθώς και ανάμεσα στην ξηρή και θερμή εποχή.

Σαν θερμή εποχή χαρακτηρίζεται το διάστημα Ιουνίου – Σεπτεμβρίου και σαν ψυχρή εποχή το διάστημα Οκτωβρίου – Μαΐου, αν και οι μήνες Οκτώβριος και Μάιος μπορούν να θεωρηθούν μεταβατικοί μήνες.

Το κλίμα της Κρήτης είναι εύκρατο και πλησιάζει προς το θαλάσσιο. Σε υψηλά υψόμετρα, τείνει προς τον ορεινό τύπο κλίματος. Από την άποψη ηπιότητας και των μεταβολών, το κλίμα της Κρήτης θεωρείται προνομιούχο και οφείλεται στην κεντρική θέση που κατέχει το νησί στην ανατολική Μεσόγειο. Ο χειμώνας αρχίζει περίπου από τα μέσα Δεκεμβρίου και είναι ήπιος. Ο ψυχρότερος μήνας του έτους είναι ο Ιανουάριος που διαφέρει ελάχιστα θερμομετρικά από το Φεβρουάριο. Η διαφορά τους όμως τόσο με το Δεκέμβριο όσο και με το Μάρτιο, είναι αισθητή. Γενικά τα πεδινά της Ανατολικής Κρήτης είναι από τις θερμότερες περιοχές της Ελλάδας με μακρά ηλιοφάνεια ακόμα και κατά τους μήνες Οκτώβριο μέχρι Απρίλιο. Η νέφωση είναι γενικά μικρή και μειώνεται από ανατολικά προς δυτικά. Το ανατολικό άκρο κατά τους χειμερινούς μήνες ανήκει σε περιοχή μεγίστου νεφώσεως. Οι βροχές αυξάνονται από τα ανατολικά προς δυτικά και από τα παράλια προς την ηπειρωτική χώρα.

#### **Κύρια χαρακτηριστικά του κλίματος στο νησί είναι:**

- Υψηλά ποσοστά βροχοπτώσεων με μη κανονική κατανομή τόσο τυπικά (αυξητική κλίμακα από ανατολικά προς δυτικά και μεγάλο ημερήσιο ποσοστό βροχοπτώσεων στην Κεντρική και Δυτική Κρήτη που φτάνει το 1/3) όσο και χρονικά (την περίοδο των έντονων βροχοπτώσεων, διαδέχονται περίοδοι με μεγάλη ξηρασία).
- Έντονη ηλιοφάνεια



- Ήπιες θερμοκρασιακές αποκλίσεις.
- Δεν παρατηρείται ποτέ παγετός.  
Η θερμοκρασία σπάνια πέφτει κάτω από τους 0°C.

## 2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (G.I.S.)

### 2.1 Εισαγωγή

Το Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ), γνωστό ευρέως και ως G.I.S. Geographic Information Systems, είναι σύστημα διαχείρισης χωρικών δεδομένων (spatial data) και συσχετισμένων ιδιοτήτων. Στην πιο αυστηρή μορφή του είναι ένα ψηφιακό σύστημα, ικανό να ενσωματώσει, αποθηκεύσει, προσαρμόσει, αναλύσει και παρουσιάσει γεωγραφικά συσχετισμένες (geographically-referenced) πληροφορίες. Σε πιο γενική μορφή, ένα ΣΓΠ είναι ένα εργαλείο "έξυπνου χάρτη", το οποίο επιτρέπει στους χρήστες του να αποτυπώσουν μια περίληψη του πραγματικού κόσμου, να δημιουργήσουν διαδραστικά ερωτήσεις χωρικού ή περιγραφικού χαρακτήρα (αναζητήσεις δημιουργούμενες από τον χρήστη), να αναλύσουν τα χωρικά δεδομένα (spatial data), να τα προσαρμόσουν και να τα αποδώσουν σε αναλογικά μέσα (εκτυπώσεις χαρτών και διαγραμμάτων) ή σε ψηφιακά μέσα (αρχεία χωρικών δεδομένων, διαδραστικοί χάρτες στο Διαδίκτυο).

Τα συστήματα GIS, όπως και τα συστήματα CAD, αποτυπώνουν χωρικά δεδομένα σε γεωγραφικό ή χαρτογραφικό ή καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Βασικό χαρακτηριστικό των ΣΓΠ είναι ότι τα χωρικά δεδομένα συνδέονται και με περιγραφικά δεδομένα, π.χ. μια ομάδα σημείων που αναπαριστούν θέσεις πόλεων συνδέεται με ένα πίνακα όπου κάθε εγγραφή εκτός από τη θέση περιέχει πληροφορίες όπως ονομασία, πληθυσμός κλπ.

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΓΠΣ) είναι πληροφοριακά συστήματα (Information Systems) που παρέχουν την δυνατότητα συλλογής, διαχείρισης, αποθήκευσης, επεξεργασίας, ανάλυσης και οπτικοποίησης, σε ψηφιακό περιβάλλον, των δεδομένων που σχετίζονται με τον χώρο.

Τα δεδομένα αυτά συνήθως λέγονται γεωγραφικά ή χαρτογραφικά ή χωρικά (spatial) και μπορεί να συσχετίζονται με μια σειρά από περιγραφικά δεδομένα τα οποία και τα χαρακτηρίζουν μοναδικά.

Η χαρακτηριστική δυνατότητα που παρέχουν τα GIS είναι αυτή της σύνδεσης της χωρικής με την περιγραφική πληροφορία (η οποία δεν έχει από μόνη της χωρική υπόσταση). Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την λειτουργία αυτή βασίζεται:

- Είτε στο σχεσιακό (relational) μοντέλο δεδομένων, όπου τα περιγραφικά δεδομένα πινακοποιούνται χωριστά και αργότερα

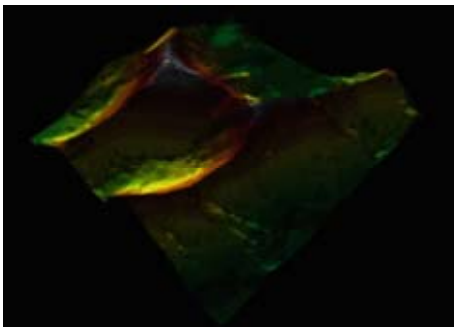
συσχετίζονται με τα χωρικά δεδομένα μέσω κάποιων μοναδικών τιμών που είναι κοινές και στα δύο είδη δεδομένων.

- Είτε στο αντικειμενοστραφές (object-oriented) μοντέλο δεδομένων, όπου τόσο τα χωρικά όσο και τα περιγραφικά δεδομένα συγχωνεύονται σε αντικείμενα, τα οποία μπορεί να μοντελοποιούν κάποια αντικείμενα με φυσική υπόσταση (π.χ. κατηγορία = "δρόμος", όνομα = "Πανεπιστημίου", γεωμετρία = "[X1,Y1],[X2,Y2]...", πλάτος = "20μέτρα").

Το αντικειμενοστραφές μοντέλο τείνει να χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο σε εφαρμογές GIS εξαιτίας των αυξημένων δυνατοτήτων του σε σχέση με το σχεσιακό μοντέλο της δυνατότητας που παρέχει για την εύκολη και απλοποιημένη μοντελοποίηση σύνθετων φυσικών φαινομένων και αντικειμένων με χωρική διάσταση.

Πολλές φορές η ολοκληρωμένη έννοια των GIS (integrated GIS concept) επεκτείνεται για να συμπεριλάβει τόσο τα δεδομένα (που αποτελούν ουσιαστικά τον πυρήνα τους), το λογισμικό και τον μηχανικό εξοπλισμό, όσο και τις διαδικασίες και το ανθρώπινο δυναμικό, που αποτελούν αναπόσπαστα τμήματα ενός οργανισμού, ο οποίος έχει σαν πρωταρχική του δραστηριότητα την διαχείριση πληροφορίας με την βοήθεια GIS.

## 2.2 Το σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών



Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, ευρύτερα γνωστά ως GIS (Geographical Information Systems), διαχειρίζονται με αποτελεσματικό τρόπο τη γεωγραφική πληροφορία και μαζί τα δεδομένα ενός οργανισμού που μπορούν να συσχετιστούν με αυτή. Την τελευταία δεκαετία έχουν γνωρίσει μεγάλη άνθηση και έχουν βρει αρκετές πρακτικές εφαρμογές σε επιχειρήσεις και οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένου και του πεδίου της εφοδιαστικής αλυσίδας (supply chain).

Βέβαια, στην αμερικάνικη ήπειρο αλλά και αρκετές ευρωπαϊκές χώρες, τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών χρησιμοποιήθηκαν πολύ πριν τα γνωρίσουμε στην Ελλάδα. Στην ευρεία διάδοση των GIS συνέβαλαν τα ακόλουθα: το γεγονός ότι οι εταιρείες λογισμικού κατάφεραν να αναπτύξουν εκδόσεις φιλικές προς τους χρήστες τους μέσω του γραφικού περιβάλλοντος, η δημιουργία και διάθεση αξιόπιστων ψηφιακών δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα συστήματα αυτά (ψηφιακοί χάρτες), η αυξημένη υπολογιστική ισχύς των προσωπικών ηλεκτρονικών υπολογιστών (desktop PCs), καθώς και η συσχέτιση των συστημάτων GIS με τα συστήματα παρακολούθησης οχημάτων, δικτύων ή άλλων αντικειμένων πάνω στη γη, μέσω της τεχνολογίας των δορυφόρων και των τηλεπικοινωνιών. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται εν συντομία τα βασικά χαρακτηριστικά των συστημάτων GIS, ώστε να γίνει αντιληπτός ο τρόπος λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος. Επίσης παρατίθενται οι δυνατότητες πρακτικών εφαρμογών τους και ειδικά η συνεισφορά τους σε θέματα που άπτονται της εφοδιαστικής αλυσίδας των επιχειρήσεων. Έτσι, παρέχεται η δυνατότητα να εκτιμηθεί το κατά πόσο ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να υποστηρίξει κάποια από τα ειδικά ζητήματα και προβλήματα που αντιμετωπίζει μία σύγχρονη επιχείρηση.

### **2.3 Το σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών Ορισμός και Αρχή Λειτουργίας**

Η ιδέα της οργάνωσης και συστηματοποίησης της γεωγραφικής πληροφορίας με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή εμφανίστηκε για πρώτη φορά στα μέσα της δεκαετίας του 1960. Η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας οδήγησε τελικά στην εμφάνιση των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών ή GIS τη δεκαετία του 1980. Η επανάσταση που έφεραν οι υπολογιστές στη διαχείριση της πληροφορίας άργησε να αγγίξει τον τομέα της χωρικής πληροφορίας κυρίως για τεχνικούς λόγους που σχετίζονται με τις αυξημένες απαιτήσεις σε γραφικά. Όταν όμως τη δεκαετία του 1990 ξεπεράστηκαν τα τεχνικά εμπόδια και όταν το κόστος των συστημάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών έπαψε να είναι απαγορευτικό, η ευρεία χρήση τους οδήγησε στην ανάπτυξη των GIS και στη σταδιακή δημιουργία των απαραίτητων χωρικών δεδομένων για τη λειτουργία των συστημάτων αυτών. Η τεχνολογία αυτή γνώρισε μία ευρύτατη σειρά εφαρμογών, σχεδόν σε κάθε ζήτημα όπου η παράμετρος της γεωγραφικής πληροφορίας υπεισέρχεται έμμεσα ή άμεσα.

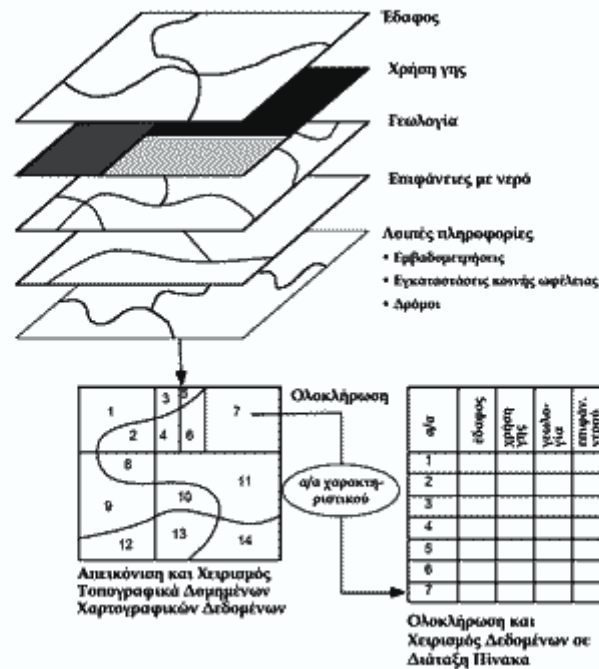
Ορίζοντας το γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών, μπορούμε να το χαρακτηρίσουμε ως ένα οργανωμένο σύνολο από πέντε δομικά στοιχεία που

περιλαμβάνουν (1): υλικό εξοπλισμό (hardware), λογισμικό (software), γεωγραφικά δεδομένα, ανθρώπινο δυναμικό και μεθόδους (οι ιδιαίτεροι κανόνες και οι πρακτικές λειτουργίας κάθε οργανισμού ξεχωριστά), με σκοπό τη συλλογή, καταχώριση, διαχείριση, ανάλυση, επεξεργασία και απόδοση, κάθε μορφής πληροφορίας που σχετίζεται με τη γεωγραφική πληροφορία. Ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών είναι ένα εργαλείο χαρτογράφησης και ανάλυσης των στοιχείων που υπάρχουν και των γεγονότων που συμβαίνουν στο γεωγραφικό χώρο. Η τεχνολογία των GIS ολοκληρώνει τις λειτουργίες των συνήθων εφαρμογών βάσεων δεδομένων, όπως αναζήτηση και στατιστική ανάλυση, με τα πλεονεκτήματα της οπτικής απεικόνισης και της γεωγραφικής ανάλυσης που προσφέρουν οι χάρτες. Οι ικανότητες αυτές διακρίνουν τα GIS από τα άλλα πληροφοριακά συστήματα και τα καθιστούν πολύτιμα σε ένα μεγάλο εύρος δημοσίων οργανισμών και ιδιωτικών επιχειρήσεων, για την επεξήγηση γεγονότων, την εκτίμηση αποτελεσμάτων, το σχεδιασμό στρατηγικών, τη λήψη αποφάσεων.

Το σύστημα GIS μοντελοποιεί το χώρο συγκεντρώνοντας και συνδυάζοντας ένα πλήθος πληροφοριών. Για το σκοπό αυτό αποθηκεύει δεδομένα σε ένα σύνολο από διαφορετικές θεματικές βαθμίδες (layers), όπως για παράδειγμα πόλεις, δρόμοι, κτίρια, αγωγοί, γεωγραφικό ανάγλυφο, λίμνες, ποτάμια, λοιπά σημεία ενδιαφέροντος. Οι θεματικές αυτές βαθμίδες συνδέονται μεταξύ τους μέσω γεωγραφικών συντεταγμένων, σε δύο διαστάσεις (γεωγραφικό μήκος και πλάτος), ακόμα και σε τρεις διαστάσεις. Αυτή είναι η απλή αλλά εξαιρετικά ισχυρή αρχή λειτουργίας των GIS που αποδεικνύεται πολύτιμη για την επίλυση πλήθους πραγματικών προβλημάτων. Το πιο ζωτικό δομικό στοιχείο ενός GIS είναι τα δεδομένα και για το λόγο αυτό οι βάσεις δεδομένων βρίσκονται στην καρδιά ενός τέτοιου συστήματος. Το GIS διαθέτει μία βάση γεωγραφικών δεδομένων ή αλλιώς ένα ψηφιοποιημένο χάρτη ο οποίος υλοποιεί και το μοντέλο του χώρου, όπως αυτό περιγράφηκε παραπάνω με τις θεματικές βαθμίδες. Ταυτόχρονα περιλαμβάνει και μία βάση περιγραφικών δεδομένων που συνδέονται με τα δεδομένα του χώρου. Το κατάλληλο λογισμικό ενός GIS για τη διαχείριση βάσεων δεδομένων και οπτικής απεικόνισής τους, επιτρέπει το συνδυασμό αυτών των δεδομένων και την απεικόνισή τους σε μορφή συνδυασμένων πληροφοριών πάνω σε χάρτες.

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας των GIS, όπου οι επιμέρους θεματικές βαθμίδες χαρτογραφικής πληροφορίας συνδυάζονται σε μία και μόνο

οπτική απεικόνιση, η οποία συνδέεται με βάση δεδομένων για το σύνολο των χαρακτηριστικών που αυτή η απεικόνιση περιλαμβάνει. Σημειώνεται ότι για τα χαρακτηριστικά του χάρτη (features) αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων τρεις βασικές πληροφορίες: η γεωγραφική πληροφορία, η προβολή (projection) πάνω στην οποία εκφράζεται η γεωγραφική πληροφορία και οι ιδιότητες του χαρακτηριστικού.



Σχήμα 1 Αρχή λειτουργίας των Γ.Σ.Π.

### Κατηγορίες GIS

Ο τρόπος με τον οποίο δομείται ο ψηφιοποιημένος χάρτης χωρίζει τα GIS σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τα «διανυσματικά» (vector) συστήματα και τα συστήματα «μωσαϊκού» (raster ή grid). Τα διανυσματικά συστήματα αποθηκεύουν τη γεωγραφική πληροφορία σε αναλυτική μορφή συντεταγμένων, ενώ τα συστήματα μωσαϊκού αποθηκεύουν την πληροφορία σε μορφή πλέγματος ψηφιδών. Στα διανυσματικά GIS η καταγραφή και η επεξεργασία των χωρικών πληροφοριών γίνεται με τη χρήση της γεωμετρίας των διανυσμάτων που περιλαμβάνει σημεία, γραμμές και πολύγωνα, με τα οποία αντιπροσωπεύονται αντιστοίχως τα εξής γεωμετρικά στοιχεία του χώρου: τόποι, γραμμικά στοιχεία και επιφάνειες. Τα GIS μωσαϊκού τύπου βασίζονται στην αρχή των στοιχειωδών επιφανειών (raster, cells, pixels). Οι στοιχειώδεις επιφάνειες είναι συνήθως τετράγωνα ή παραλληλόγραμμα και ενίοτε τριγωνικής ή εξαγωνικής μορφής. Δημιουργείται δηλαδή ένα πλέγμα πάνω από μία εικόνα (συνήθως ψηφιακά σαρωμένος χάρτης), το οποίο διαχωρίζει την

εικόνα σε πολύ μικρά στοιχειώδη κομμάτια - ψηφίδες, παρόμοιες με αυτές που βλέπει κανείς όταν μεγεθύνει υπερβολικά μία ψηφιακή φωτογραφία.

Οι χάρτες μωσαϊκού (raster ή grid) υστερούν στη δημιουργία των χωρικών συσχετίσεων που επιτυγχάνουν οι διανυσματικοί (vector) χάρτες. Για το λόγο αυτό τα σύγχρονα GIS χρησιμοποιούν διανυσματικούς χάρτες, ενώ συνοδεύονται και από ειδικές εφαρμογές μετατροπής των χαρτών από «raster» σε «vector» μορφή.

## 2.4 Οι Χρήσεις των GIS

Ένα σύστημα GIS έχει το πλεονέκτημα ότι διαχειρίζεται ξεχωριστά την αποθήκευση των δεδομένων από την οπτική αναπαράσταση των χαρτών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα ίδια δεδομένα να μπορούν να αποτυπωθούν με διαφορετικούς τρόπους. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι μπορούμε να μεγεθύνουμε τον ψηφιακό χάρτη ή να εμφανίσουμε συγκεκριμένα μόνο επίπεδα (layers) της ψηφιακής πληροφορίας. Ένα τέτοιο παράδειγμα συναντάται στις γνωστές εφαρμογές χαρτών της Google(3) όπου ο χρήστης επιλέγει είτε μόνο τον πολιτικό χάρτη, είτε το γεωφυσικό χάρτη (φωτογραφία από δορυφόρο) είτε και τους δύο μαζί και πάνω σε αυτούς μπορεί να εμφανίσει οποιαδήποτε άλλη πληροφορία τον ενδιαφέρει και είναι διαθέσιμη: δρόμοι, πόλεις, σημεία τουριστικού ενδιαφέροντος κ.λπ. Επιπροσθέτως, στα πλεονεκτήματα των GIS συγκαταλέγεται το γεγονός ότι μπορούμε να εκτελέσουμε ποικίλους υπολογισμούς με τα γεωγραφικά δεδομένα και οποιαδήποτε άλλη πληροφορία μπορεί να συνδυαστεί με αυτά, όπως για παράδειγμα είναι ο υπολογισμός των αποστάσεων μεταξύ τοποθεσιών ή και ο χρόνος μίας διαδρομής. Επίσης, μπορούμε να δημιουργήσουμε πίνακες που να περιλαμβάνουν τα διάφορα χαρακτηριστικά του ψηφιακού χάρτη ή να προσθέσουμε οποιαδήποτε επιπλέον πληροφορία πάνω στο χάρτη. Μία σημαντική δυνατότητα που προσφέρουν τα GIS είναι το ότι προσδιορίζουν τις διαθέσιμες πληροφορίες στο γεωγραφικό χώρο. Η δυνατότητα αυτή ονομάζεται «γεωκωδικοποίηση» (geocoding) και ένα ενδεικτικό παράδειγμα χρήσης της είναι ο αυτόματος μετασχηματισμός της διεύθυνσης ενός πελάτη σε συντεταγμένες ενός σημείου στον ψηφιακό χάρτη της αντίστοιχης πόλης.

Ο σημαντικότερος παράγοντας για την επιτυχημένη υλοποίηση και χρήση ενός GIS είναι η ύπαρξη των κατάλληλων γεωγραφικών δεδομένων, τα οποία όταν συνδυαστούν με τα υπόλοιπα δεδομένα ενός οργανισμού, δύναται να υποστηρίξουν πολλές λειτουργίες ή και τη λήψη των αποφάσεων. Τέτοια γεωγραφικά δεδομένα μπορούν είτε να αγοραστούν είτε να δημιουργηθούν εξ αρχής με τη χρήση ειδικών



διατάξεων ψηφιοποίησης των χαρτών. Μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 2000, μόνο η Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ) προσέφερε αξιόπιστα και σχετικά πλήρη γεωγραφικά δεδομένα για τον Ελλαδικό χώρο, αν και αυτά υστερούσαν στο επίπεδο των αστικών περιοχών (εντός των πόλεων). Σήμερα, η ανάπτυξη των συστημάτων πλοήγησης και παρακολούθησης οχημάτων και η αυξανόμενη διείσδυση των GIS σε δημόσιο και ιδιωτικό τομέα έχουν οδηγήσει στην παραγωγή και διάθεση αξιόπιστων αλλά και οικονομικών γεωγραφικών δεδομένων για κάθε ενδιαφερόμενο.

Το πεδίο εφαρμογής των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών είναι ευρύτατο καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε η παράμετρος της γεωγραφικής πληροφορίας υπεισέρχεται άμεσα ή έμμεσα, όπως είναι: οι ανάγκες χαρτογράφησης, τα ζητήματα χωροταξίας, περιπτώσεις αστικών και περιφερειακών μελετών, διαχείρισης φυσικών πόρων, οικολογικών ερευνών, διαχείρισης αποβλήτων, κτηματολογίου και πολεοδομικού σχεδιασμού, μελέτης κυκλοφοριακών συνθηκών, διαχείρισης επειγόντων περιστατικών, δημογραφικά ζητήματα. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε θέματα διερεύνησης και ανάλυσης μίας αγοράς, ανάλυσης των πωλήσεων μίας επιχείρησης, σχεδιασμού των δικτύων εφοδιασμού και διακίνησης, προγραμματισμού της διανομής προϊόντων, καθώς και παρακολούθησης των δρομολογίων των οχημάτων. Σήμερα, τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο ως εργαλεία που υποστηρίζουν τις λειτουργίες επιχειρήσεων και οργανισμών. Αυτές οι λειτουργίες μπορεί να απαιτούν είτε απλά διαχείριση της γεωγραφικής πληροφορίας, είτε πιο σύνθετη επεξεργασία των χωρικών και περιγραφικών βάσεων δεδομένων, με σκοπό την παραγωγή διαφόρων αναφορών και τη λήψη αποφάσεων. Η διαχείριση της πληροφορίας με τη χρήση των GIS περιλαμβάνει:

- Δημιουργία δυναμικών ψηφιακών τοπογραφικών χαρτών, που μπορούν εύκολα να ενημερώνονται και επικαιροποιούνται μέσω της ηλεκτρονικής διαχείρισης.
- Δημιουργία «ψηφιακών μοντέλων εδάφους» για τρισδιάστατη απεικόνιση των χαρτών με ανάγλυφο εδάφους, κάτι που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη διαχείριση των ορυκτών πόρων ή των υδάτινων πόρων και στη διαχείριση των φυσικών πόρων γενικότερα.

- Διαχείριση κτηματολογικών και πολεοδομικών δεδομένων για τη δημιουργία κτηματολογίου ή δασολογίου και για την πραγματοποίηση αναλύσεων που σχετίζονται με την αστική και περιφερειακή ανάπτυξη.
- Ανάλυση, σχεδιασμό και διαχείριση δικτύων, όπως είναι για παράδειγμα η εύρεση συντομότερων διαδρομών, ο σχεδιασμός δρομολογίων, η παρακολούθηση της κυκλοφορίας, η ομαδοποίηση των κόμβων ενός δικτύου έτσι ώστε αυτοί να εξυπηρετούνται από συγκεκριμένα σημεία (clustering and allocation problems).
- Εκτέλεση αναλύσεων και ερωτημάτων (queries) με βάση τα γεωγραφικά δεδομένα, όπως για παράδειγμα: ποιο κατάστημα είναι το πιο κερδοφόρο ανά περιοχή, πόσο κοντά είναι οι ανταγωνιστές; Πού είναι οι κατάλληλες θέσεις για την κατασκευή νέου καταστήματος; ποιος είναι ο συνολικός αριθμός πελατών σε απόσταση 10 χιλιομέτρων; ποια είναι η συντομότερη διαδρομή για την εκτέλεση των παραδόσεων; σε ποια σημεία ενός δικτύου εντοπίζονται δυσλειτουργίες; πόσοι οι υποψήφιοι πελάτες σε μια περιοχή; ποιο είναι το πιο κοντινό νοσοκομείο από ένα ατύχημα; Ποια χωριά βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη των 5 χιλιομέτρων από την εστία μίας δασικής πυρκαγιάς;
- Οπτική απεικόνιση των επιχειρησιακών δεδομένων σε χάρτες και παραγωγή γραφημάτων που μπορούν να υποστηρίξουν τη συγκέντρωση απολογιστικών στοιχείων, όπως για παράδειγμα συμβαίνει με τη γεωγραφική κατανομή των πωλήσεων, του κόστους ή της πελατειακής βάσης.
- Υποστήριξη της λήψης των αποφάσεων με τη χρήση εργαλείων αναζήτησης και ανάλυσης που συνδυάζουν τα επιχειρησιακά και τα γεωγραφικά δεδομένα, όπως για παράδειγμα συμβαίνει με το συνολικό σχεδιασμό της εφοδιαστικής αλυσίδας, τη χωροθέτηση εγκαταστάσεων και τη δημιουργία καναλιών διανομής.

### **Συμπερασματικά**

Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών διαθέτουν ένα ευρύτατο πεδίο εφαρμογών. Οι πιο συνηθισμένες εφαρμογές τους είναι στη ψηφιακή χαρτογράφηση,

στην αποτύπωση των υποδομών οργανισμών τηλεπικοινωνιών, ύδατος και ηλεκτρικής ενέργειας, στη διαχείριση του φυσικού περιβάλλοντος, στη διαχείριση της κυκλοφορίας, αλλά και στην παρακολούθηση των διαδρομών οποιουδήποτε οχήματος. Όσον αφορά την εφοδιαστική αλυσίδα, η χρησιμότητα των GIS έχει αναγνωριστεί σε ποικίλα ζητήματα προγραμματισμού και διαχείρισης. Η παρακολούθηση του στόλου των οχημάτων μίας επιχείρησης για την εκτέλεση της διανομής των προϊόντων είναι η πιο συνηθισμένη εφαρμογή των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών στο πεδίο των Logistics.

Επιπλέον, αρκετές επιχειρήσεις έχουν γνωρίσει τα πλεονεκτήματα των GIS στο σχεδιασμό ή επανασχεδιασμό της εφοδιαστικής αλυσίδας, στον προγραμματισμό των παραδόσεων και τη δρομολόγηση του στόλου, καθώς και ως εργαλεία παραγωγής εποπτικών αναφορών προς της διοίκηση, χρήσιμων στη λήψη αποφάσεων. Παρόλα αυτά η χρήση των GIS σε θέματα Logistics των Ελληνικών επιχειρήσεων, υστερεί σε σχέση με την υπόλοιπη Ευρώπη. Εάν οι Ελληνικές επιχειρήσεις και οι οργανισμοί επιδιώξουν να γνωρίσουν τη λειτουργικότητα που προσφέρουν τα συστήματα GIS, ενδεχομένως να εντοπίσουν δυνατότητες εφαρμογής τους στην υποστήριξη συγκεκριμένων προβλημάτων που τους απασχολούν και τελικά να μπορέσουν να εκμεταλλευτούν τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας των συστημάτων αυτών, για να βελτιώσουν την απόδοση της εφοδιαστικής τους αλυσίδας.

### **Πηγές**

<http://www.studentsinxanthi.gr/univmenu/mpdmenu/806-gis.html>

[http://geope.teikoz.gr/GEOPE\\_EN/downloads/kapageridis/rs\\_theory.pdf](http://geope.teikoz.gr/GEOPE_EN/downloads/kapageridis/rs_theory.pdf)

<http://aetos.it.teithe.gr/~chargir/lessons/gis/gis.pdf>

[http://www.marathondata.gr/pdfs/arcgis\\_desktop\\_products.pdf](http://www.marathondata.gr/pdfs/arcgis_desktop_products.pdf)

### 3 ΚΑΡΣΤΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ

#### 3.1 Γενικά

Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφονται αναλυτικά οι έννοιες για τις καρστικές διεργασίες καθώς και οι γεωμορφές που προκύπτουν. Επιβάλλεται να αναφερθεί ότι τα στοιχεία που ακολουθούν προέρχονται από την διδακτορική διατριβή της κυρίας Μιλιάνα Γκολουμποβιτς Δεληγιάννη με τίτλο "Καρστική γεωμορφολογική εξέλιξη στη Δυτική Ελλάδα - Η περίπτωση της περιοχής του Ξηρόμερου", που εκπονήθηκε στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας, Αθήνα 2011.

#### 3.2 Γενικά

Ο όρος ΚΑΡΣΤ προέρχεται από την Ινδό – ευρωπαϊκή λέξη karra/gara που σημαίνει "το πετρώδες έδαφος. Στα σύνορα της Σλοβενίας με την Ιταλία υπάρχει μια γεωγραφική περιοχή με ασβεστόλιθους που ονομάζεται ΚΡΑΣ, ενώ την ίδια στην Ιταλία την ονομάζουν carso, και στη Γερμανία karst. Το όνομά της προκύπτει με την γλωσσική εξέλιξη από kar(r)a-karst-kras. Στην περιοχή αυτή, ιστορικά, το έδαφος ήταν πετρώδες και άγονο (λόγω της αποψίλωσης των δασών της και της ανεξέλεγκτης υπερβόσκησης που είχαν οδηγήσει στην απώλεια μεγάλου μέρους του εδαφικού μανδύα στις δολίνες και στα σπηλαία. Ιδίως στη διεθνή γεωγραφική και γεωμορφολογική βιβλιογραφία για τον όρο καρστ, χρησιμοποιείται η γερμανική λέξη ΚΑΡΣΤ (KARST).

Το καρστικό ανάγλυφο δημιουργείται συνήθως στους ανθρακικούς σχηματισμούς (στους ασβεστόλιθους, δολομίτες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, στα ασβεστολιθικά κροκαλολατυποπαγή) και στους εβαπορίτες (στους γύψους, ανυδρίτες και στα άλατα). Και αντιπροσωπεύεται από ένα σύμπλεγμα διαφορετικών επιφανειακών και υπογείων καρστικών μορφών που εμφανίζουν ιδιαίτερα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά. Το κύριο χαρακτηριστικό, αυτών των πετρωμάτων, είναι η μεγάλη ικανότητα της διάλυσης και αποσάθρωσης (χημικής και μηχανικής) καθώς και της δευτερογενούς περατότητας της μάζας τους σε σχέση με τα άλλα πετρώματα. Αποτέλεσμα αυτών των διαδικασιών είναι το φαινόμενο της **καρστικοποίησης**.

Τα νερά που συμμετέχουν στην διεργασία της καρστικοποίησης μπορούν να είναι μετεωρικά, θαλάσσια, από τις βαθιές ιζηματογενείς λεκάνες και από τα μαγματικά πετρώματα, καθώς και από ανάμιξη δύο ή περισσότερων ειδών νερού, με διαφορετικές αναλογίες.

Η καρστική εξέλιξη, δηλαδή η εξέλιξη του καρστικού ανάγλυφου, είναι αργή και συνεχόμενη που διαρκεί εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια, εξελισσόμενη σε μεγάλες επιφανειακές και υπόγειες εκτάσεις πολλών τετραγωνικών χιλιομέτρων. Στην ανάπτυξη των επιφανειακών και υπογείων μορφών του καρστικού ανάγλυφου εκτός από την χημική διάλυση, την αποσάθρωση και την απογύμνωση, δεν μπορούμε να παραλείψουμε και το ρόλο της λιθολογίας, της γεωλογικής δομής και των τεκτονικών μετακινήσεων, όπως επίσης και της υδρολογίας, του κλίματος και της βλάστησης.

Ο Huntoon (1995) καθόρισε το καρστ ως εξής: «Το σύστημα του καρστ, είναι ένα ενσωματωμένο σύστημα της μάζας των διαλυτών πετρωμάτων, που με την επίδραση του νερού που κυκλοφορεί στα ίδια τα ορυκτά, και με την διαλυτότητα, και την διαπερατότητά τους, διαμορφώνονται καρστικές μορφές των κατακλάσεων, ρηγματώσεων, αγωγών που διευκολύνουν τη κυκλοφορία του νερού». Αυτός ο καθορισμός δεν απαιτεί τα πετρώματα να έχουν μια συγκεκριμένη λιθολογία, ούτε να υπάρχει μια συγκεκριμένη διαδικασία της διάλυσής τους. Το κυκλοφορούμενο υγρό δεν περιορίζεται μόνο στο νερό, αν και αυτό είναι το κυρίαρχο στοιχείο στο καρστ. Αυτός ο ορισμός είναι αρκετά ευρύς για να περιγράψει το σύστημα της κυκλοφορίας του νερού στις ελεύθερες και περιορισμένες γεωλογικές δομές, στις ρηχές και βαθιές επιφανειακές ή υπόγειες περιοχές του υπόβαθρου.

Υπολογίζεται ότι τα καρστικά τοπία καταλαμβάνουν μέχρι 10% της επιφάνειας της γης, και ότι το  $\frac{1}{4}$  του παγκόσμιου πληθυσμού εκμεταλλεύεται και χρησιμοποιεί τα καρστικά νερά.

Στην Ελλάδα το 33% του ανάγλυφου της επιφάνειας καλύπτεται από ανθρακικά πετρώματα. Λόγω της ευρύτατης εξάπλωσης αυτών των πετρωμάτων, η ανθρωπογενής δραστηριότητα και εκμετάλλευση των καρστικών περιοχών είναι σημαντική σε σχέση με τα πλούτη του καρστ, όπως είναι το νερό, ο ορυκτός πλούτος και η φυσική ομορφιά του, που είναι συνδεδεμένες με την ορυκτό-μεταλλευτική βιομηχανία, την κατασκευή των δρόμων, κτιρίων και των υπογείων και άλλων δομών που στηρίζονται στα ασταθή τοπία του καρστ. Για το λόγο αυτόν, ο προγραμματισμός της χρήσης γης των καρστικών περιοχών έχει ζωτική σημασία για τις περιοχές του

καρστ και είναι το «κλειδί» για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου σε ανθρώπινα και φυσικά συστήματα.

### 3.3 Διεργασίες και στάδια εξέλιξης του Καρστ

Ο τρόπος και ο τύπος της καρστικής εξέλιξης, εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες. Μερικοί από τους πιο σημαντικούς είναι οι ακόλουθοι:

- το είδος του καρστικού πετρώματος,
- το βάθος ενταφιασμού του καρστ,
- η έκταση της ανάπτυξης του καρστ στην επιφάνεια της γης,
- η αποσάθρωση του καρστ, λόγω καρστικοποίησης.

Αρχή και βάση της καρστικής εξέλιξης, αποτελεί η χημική διάλυση και η αποσάθρωση των καρστικών πετρωμάτων.

Η χημική διάλυση αρχίζει στην επιφάνεια των καρστικών πετρωμάτων, τα οποία δεν είναι πάντα εντελώς ομοιογενή και για αυτό υπάρχουν συχνά πολλές ρωγμές, και ρήγματα. Η χημική διάλυση των καρστικών πετρωμάτων με αργό ρυθμό μεταφέρεται προς τα υπόγεια πετρώματα μέσω των διαρρήξεων και των ρηγμάτων.

Η χημική διάλυση του νερού στην επιφάνεια των καρστικών πετρωμάτων, προηγείται της αποσάθρωσης του πετρώματος μέχρι τις συμπίεσεις των ρωγμών. Με τη διεύρυνση και μεγέθυνση αυτών των ρωγμών αρχίζει η πιο έντονη επιρροή της μηχανικής αποσάθρωσης. Με τη διεύρυνση των ρωγμών και ραγισμάτων το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού κατεισδύει σε βαθύτερα στρώματα.

Στην επιφάνεια έχουμε εμφάνιση των μεγαλύτερων ρευμάτων του νερού. Αυτά τα υδατορεύματα εκτός από την κινητική ενέργεια, που διαθέτουν παράλληλα και τη χημική και την μηχανική αποσάθρωση. Η μηχανική είναι πιο γρήγορη και μορφολογικά πιο δραστική από την αντίστοιχη χημική. Στην επιφάνεια του εδάφους εμφανίζονται καρστικές γεωμορφές. Οι επιφανειακές καρστικές μορφές εξελίσσονται όταν το καρστικό τοπίο είναι επίπεδο και περιορισμένο πάντα στην επιφάνεια.

Στο πρώτο και ουσιαστικό βήμα στην εξέλιξη του καρστ διευρύνονται οι σχισμοί του καρστικού πετρώματος στις επαρκώς μικροσκοπικές διασυνδεδεμένες μεταβάσεις επιτρέποντας την μετάβαση του νερού από τις επιφάνειες των ορεινών περιοχών όπου βυθίζονται υπογείως προς το κατώτατο σημείο των γειτονικών

κοιλιάδων. Οι μικρές μεταβάσεις που αναπτύσσονται είναι της τάξης των χιλιοστόμετρων στη διάμετρο. Μπορούν να προβλεφθούν ως πρώτο-σπηλιές.

Η ανάπτυξη της υδρολογίας καρστ εξαρτάται επίσης από τον τρόπο με τον οποίο το νερό εισάγεται στο καρστ. Η καρστικοποίηση που προχωράει προς το βάθος της γης έχει χωροταξικό χαρακτήρα και μπορεί να φτάσει σε βάθος χιλιομέτρων του υπόβαθρου, όπου δημιουργούνται οι υπόγειες καρστικές μορφές. Με τη διαπέραση του νερού προς τα υπόγεια και τη διεύρυνση των υπόγειων χώρων, αρχίζει η ελεύθερη εκροή του νερού. Η ύπαρξη των υπογείων αγωγών και σπηλιών επιτρέπουν την ανάπτυξη του υδρολογικού συστήματος μέσω του καρστικού πετρώματος.

Μέσω των αγωγών και σπηλαίων εκκενώνεται το διαλυμένο υλικό καθώς επίσης και τα αδιάλυτα υπολείμματα της επιφάνειας

Τα όμβρια ύδατα που πέφτουν επάνω στην επιφάνεια των καρστικών πετρωμάτων δημιουργούν τα λεγόμενα αυτογενή ρέματα που διεισδύουν ευρέως μέσω των αμέτρητων σχισμών υπογείως. Στην πορεία τους οι απορροές έρχονται σε επαφή με διαφορετική βλάστηση και χώματα, και διαλύοντας το βασικό πέτρωμα γίνονται πιο όξινες λόγω του ανθρακικού οξέος. Σε αντίθεση, τα όμβρια ύδατα που πέφτουν επάνω στα αδιαπέραστα μη-καρστικά πετρώματα ρέοντα ως οργανωμένα ρεύματα, γνωστά και ως αλλογενή ρεύματα, προς τα καρστικά τόπια, βυθίζονται άμεσα όταν έλθουν σε επαφή με τον ασβεστόλιθο. Στην πορεία τους μπορεί να είχαν διαρρεύσει από έλη τύρφης (και ως εκ τούτου να περιέχουν οργανικά οξέα) ή να έχουν έλθει σε επαφή με πετρώματα διαφορετικής ορυκτολογίας πχ. μεταλλεύματα σουλφιδίου κατά έξοδο από τους σχιστόλιθους, και ως εκ τούτου να περιέχουν το θειώδες οξύ. Τείνουν επίσης να έχουν ένα μεγαλύτερο μηχανικό φορτίο, το οποίο μπορεί να εκτρίψει τον ασβεστόλιθο και να βοηθήσει στη χάραξη των δαπέδων των σπηλιών. Η ανάπτυξη των καρστικών υπόγειων αγωγών που αναπτύσσονται από τα αλλογενή ρεύματα είναι πιο μεγάλη από αυτήν που αναπτύσσονται από τα αυτογενή ρεύματα.

Η διείσδυση του νερού επιτυγχάνεται πιο πολύ στις καρστικές περιοχές με την επιφανειακή ζώνη του εδάφους όπου ακριβώς κάτω από το χώμα η διήθηση του νερού έχει μεγαλύτερη επιθετικότητα στις πρώτες επαφές με το ασβεστόλιθο. Έως και 90% τις συνολικής διάλυσης επιτευχθείται στα πρώτα 10m της προεξοχής του ασβεστόλιθου διευρύνοντας κατακλάσεις και τα ρήγματα πιο πολύ από ότι σε μεγαλύτερο βάθος. Η επιφάνεια των καρστικών πετρωμάτων είναι επομένως πολύ



διαπερατή, αλλά αυτή η διαπερατότητα μειώνεται με το βάθος. Αυτή η ιδιαίτερα διαβρωμένη επιφανειακή ζώνη αποκαλείται η ζώνη του epikarst ή υποδόρια ζώνη.

**Η καρστική εξέλιξη χαρακτηρίζεται από τέσσερα στάδια:**

- τη χημική διάλυση,
- τη μηχανική αποσάθρωση και απογύμνωση,
- τη μεταφορά,
- τη απόθεση.

Τα καρστικά πετρώματα, τα όποια είναι ιδιαίτερα εκτεθειμένα στην δράση του νερού είναι:

- Οι ασβεστόλιθοι (**CaCO<sub>3</sub>**) ή ασβεστίτες που εξαπλώνονται, περίπου στο 10%-20% της επιφάνειας της γης.
- Οι δολομίτες **CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>**. Έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά με τους ασβεστόλιθους με τη διαφορά ότι αυτοί καρστικοποιούνται πιο δύσκολα.
- Η γύψος (**CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O**) και ο ανυδρίτης, είναι εξαιρετικά διαλυτοί.
- Τα αλατούχα πετρώματα είναι ακόμα πιο διαλυτά από τη γύψο και τον ανυδρίτη και επομένως υπάρχουν μόνο στις εξαιρετικά ξηρές περιοχές της επιφάνειας της γης.
- Τα ιζηματογενή πετρώματα, που περιέχουν ανθρακικά ορυκτά όπως τα κλαστικά ιζήματα.
- Τα ανθρακικά μεταμορφωσιγενή πετρώματα όπως το μάρμαρο.

Η καθαρότητα και η ανάμιξη με τα άλλα πετρώματα των καρστικών πετρωμάτων είναι πολύ σημαντική. Συνήθως ο ασβεστίτης δεν αποτελείται από 100% **CaCO<sub>3</sub>**

Ο ασβεστίτης αναπτύσσεται ως ίζημα στην ρηχή θάλασσα, μαζί με την άργιλο και άλλα υλικά, τα οποία αποθηκεύονται στην ασβεστολιθική ύλη. Όσο υψηλότερη είναι η αναλογία του ασβεστίτη, τόσο η διάλυση γίνεται εντατικότερη και οι συλλογές των καρστικών μορφών είναι πιο εντυπωσιακές. Η χημικά καθαρή γύψος περιέχει 32,5%Ca, 46,51%SO<sub>3</sub> και 20,93% H<sub>2</sub>O.

Η γύψος αναπτύσσεται σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Συγκεκριμένα, η γενετική ταξινόμηση της γύψου που προτείνει η Vikulova είναι η εξής:

**1) τα κυρία ιζήματα:**

α) λιμνοθαλάσσια ιζήματα σχηματισμένα σε περιβάλλοντα με υψηλή εξάτμιση,

β) ηπειρωτικά ιζήματα σχηματισμένα λόγω εξάτμισης ενδοχωρικές λεκάνες ή σχηματισμένα στην επιφάνεια του εδάφους (περιβάλλοντα τύπου Sabkha).

**2) τα δευτερογενή ιζήματα:**

α) επάνω - αποθεθειμένα ιζήματα

β) μετασωματικά ιζήματα σχηματισμένα με την αντικατάσταση της ανθρακικής ρίζας (CO<sub>3</sub>-2), λόγω των χημικών αντιδράσεων των υπόγειων νερών με θειικά οξέα ή σχηματισμένα από την επίδραση του ασβεστόλιθου στις θεικές πηγές ή από την επιρροή των ηφαιστειακών περιβαλλόντων.

γ) πετρώματα που καλύπτουν τον αλατούχο διαπειρισμό.

δ) ιζήματα σχηματισμένα από την ενυδάτωση του ανυδρίτη.

Αυτές που συναντούμε πιο συχνά, είναι οι αρχικές αποθέσεις της γύψου και τα ιζήματα αποσάθρωσης, κατά τα οποία ο ανυδρίτης έχει ξαναυδατωθεί στη γύψο.

### 3.4 Χημική διάλυση

➤ Χημική διάλυση του ασβεστόλιθου

Η δυαλυσιγενής δράση του νερού είναι ο βασικός παράγοντας καρστικοποίησης δια κύκλου της χημικής αποσάθρωσης του ασβεστόλιθου.

Το ίδιο το νερό είναι ελάχιστα χημικά ενεργό. Πιο συγκεκριμένα, το νερό σε πολύ μικρά ποσοστά διαλύει τη μάζα του πετρώματος και η χημική διάλυση δεν έχει σημαντικό χαρακτήρα. Στο μεταξύ, συμμετέχει διαλυμένο ποσοστό του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) από τον αέρα και το περιβάλλον. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται το ανθρακικό οξύ (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Η ικανότητα (δύναμη) του νερού να προσλαμβάνει (να παίρνει) το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) είναι

αντιστρόφως ανάλογη της θερμοκρασίας του νερού. Κατά τη ένωση του νερού με το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και τη δημιουργία του ανθρακικού οξέος ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), έχουμε το φαινόμενο σύμφωνα με το οποίο, η διαλυτική δύναμη αυτού σε σχέση με τη διαλυτική δύναμη του καθαρού νερού μεγεθύνεται κατά εκατοντάδες φορές.

Στη συνέχεια, το ανθρακικό οξύ ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) επιδρά στον ασβεστίτη ( $\text{CaCO}_3$ ), ο οποίος αποτελεί κύριο συστατικό των ασβεστολιθικών πετρωμάτων. Αποτέλεσμα αυτής της αντίδρασης είναι το δισ-όξινο ανθρακικό ασβέστιο (Calcium Bicarbonate) ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ), το οποίο είναι άστατο. Το διάλυμα του δισόξινου ανθρακικού ασβεστίου ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ) μεταφέρεται διαλυμένο. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής, το δισ-όξινο ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ) ελευθερώνει διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και νερό, και με την βοήθεια του υπολοίπου γίνεται καθίζηση του ασβεστίτη ( $\text{CaCO}_3$ ), αλλά υπό τη μορφή συνεχώς αδιάλυτου τραβερτίνης (ασβεστολιθικός τόφος).



Η χημική σύσταση ενός καθαρού ασβεστολιθικού πετρώματος είναι 56%  $\text{CaO}$  και 44%  $\text{CO}_2$ . Συνήθως όμως, οι ασβεστόλιθοι περιέχουν διάφορες προσμίξεις ενώσεων οξειδίων και υδροξειδίων του αργιλίου, του σιδήρου κ.ά., η παρουσία των οποίων επηρεάζει το χρωματισμό του πετρώματος.

Οι ασβεστόλιθοι με την επίδραση του αραιού υδροχλωρικού οξέος αναβράζουν εκλύοντας διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \Rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ ). Το γεγονός αυτό, διευκολύνει την αναγνώρισή τους στο ύπαιθρο με ευχέρεια από τη πλευρά του ερευνητή.

Η επέκταση της διάλυσης εξαρτάται σημαντικά από το ρυθμό της, ο οποίος αποδίδει το ποσοστό του ασβεστόλιθου που αφαιρείται από μια δεδομένη καρστική περιοχή σε ένα καθορισμένο χρόνο. Αυτό το ποσοστό συνήθως μετρείται σε  $\text{mol cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , επίσης μπορεί, αφού μετατραπεί, να μετρηθεί εύκολα παρακολουθώντας το πάχος απογύμνωσης του ασβεστολιθικού πετρώματος στο εκατ./έτος του παράγοντα

1.17 10<sup>9</sup>. Ο ρυθμός διάλυσης του ασβεστόλιθου εξαρτάται από πολλές παραμέτρους. Αυτές είναι:

- Η χημική σύσταση του συστήματος του **H<sub>2</sub>O - CO<sub>2</sub> - CaCO<sub>3</sub>**,
- Ο τύπος της ροής στις πλευρές των καρστικών αγωγών.

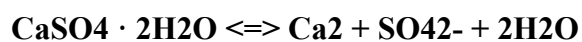
Το χρώμα ενός ανθρακικού πετρώματος οφείλεται σε τέτοιους παράγοντες όπως: το περιβάλλον της απόθεσης, η διαφορά στο μέγεθος των κόκκων του βράχου, το ορυκτό περιεχόμενο, και το ποσό οργανικού υλικού. Τα ιζήματα των ανθρακικών πετρωμάτων που αποτίθενται στα ρηγά νερά, σε ένα περιβάλλον με χαμηλό οξυγόνο και με οργανικό υλικό θα παρήγαν πιθανώς ένα γκρίζο ή μαύρο χρώμα. Οι ιζηματογενέσεις που θάβονται με τα ίχνη σιδήρου συνήθως εκτίθενται σε ατμοσφαιρικές διεργασίες, διαβρώνονται και είναι συνήθως ανοιχτό κίτρινες ή υποκίτρινου χρώματος. Τα ανθρακικά πετρώματα που διαμορφώνονται στο βαθύτερο νερό μπορούν να είναι κόκκινα, ρόδινα, ή πορφυρά μέσω της συντήρησης των χρωστικών ουσιών οξειδίων σιδήρου και μαγγάνιου.

➤ Η χημική διάλυση του δολομίτη

Όταν οι ασβεστόλιθοι περιέχουν 5-15% **MgO** καλούνται μαγνησιούχοι ασβεστόλιθοι, ενώ όταν η περιεκτικότητά τους σε **MgO** είναι πάνω από 15% καλούνται δολομιτικοί

➤ Η χημική διάλυση της γύψου

Η διάλυση των πετρωμάτων του θειικού άλατος προέρχεται από διαφορετικούς μηχανισμούς και διαφορετικά ποσοστά συγκριτικά με εκείνους που συνδέονται με τη διάλυση των ασβεστόλιθων. Η γύψος διαλύεται από έναν απλό διφασικό διαχωρισμό σε δύο φάσεις (στερεό και διαλύτης)

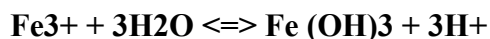
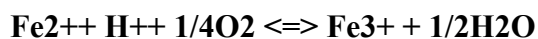
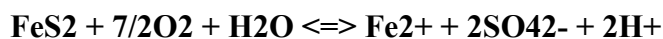


Η διαλυτότητα της γύψου στο καθαρό νερό στους 20°C είναι 2.531 g/L (gram/liter) ή 14,7 mM/L (Millimole/Liter), η οποία είναι περίπου 140 φορές χαμηλότερη από τη διαλυτότητα του κοινού άλατος (360 g/L), αλλά δύο μεγέθη μεγαλύτερη από τη διαλυτότητα **CaCO<sub>3</sub>** στα καθαρά νερά (15 mg/L). Η διαφορά στη διαλυτότητα μεταξύ της γύψου και του ασβεστίτη μειώνεται από 10 έως 30 φορές, εάν ο τελευταίος διαλύεται με τη παρουσία του **CO<sub>2</sub>**.

Η εξάρτηση της διαλυτότητας της γύψου από τη θερμοκρασία είναι μη γραμμική, φθάνοντας το μέγιστο στους 43°C. Η υδροστατική πίεση δεν επηρεάζει ουσιαστικά την διαλυτότητα της γύψου, αλλά η διαλυτότητα αυξάνεται γρήγορα με την πίεση που εφαρμόζεται στη γύψο. Η διαλυτότητα της γύψου επιταχύνεται με την παρουσία άλλων αλάτων (iónτων) στη διάλυση, μέχρι τρεις φορές, παραδείγματος χάριν παρουσία **NaCl**, και μέχρι έξι φορές παρουσία **Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>**

➤ Η χημική διάλυση του πυρίτη (σιδηροπυρίτη)

Η οξείδωση του πυρίτη (FeS<sub>2</sub>): Ο πυρίτης είναι ένα πολύ κοινό ορυκτό στα θαλάσσια ιζηματογενή πετρώματα, που διαμορφώθηκε ως τελικό προϊόν της βακτηριακής επεξεργασίας του θεικού άλατος κατά τη διάρκεια της διαγένεσης των ιζημάτων (π.χ. Berner 1970, 1984; Bottrell, Raiswell, 2000). Ως εκ τούτου, η οξείδωση του πυρίτη είναι η πλέον πιθανή πηγή θεικού οξέος για τη διάλυση του ασβεστίτη όπου δημιουργείται δευτερογενές πορώδες και τελικά έχουμε διαμορφώσεις σπηλιών στις ιζηματοώδεις διαδοχές. Ο πυρίτης είναι συχνά εμφανής παράγοντας πολλών ασβεστολιθικών και άργιλο-σχιστολιθικών στρωμάτων. Κάθε φορά που ο πυρίτης είναι εκτεθειμένος σε περιβάλλον πλούσιο σε οξυγόνο, ενώ πρωτύτερα βρισκόταν σε ατμόσφαιρα των σπηλιών, αυτός αντιδρά με τον εξής τρόπο:



Το ίόν του θεικού οξέος που δημιουργείται από την οξείδωση του πυρίτη είναι ευκίνητο, αλλά ο φερρίτης (καστανός σίδηρος) αμέσως προκαλεί ιζηματογένεση του **Fe(OH)<sub>3</sub>**.

Το διάλυμα του θεικού οξέος κατευθύνεται προς τα κάτω στο εσωτερικό της ασβεστολιθικής μάζας, αλλά δεν αντιδρά αμέσως λόγω της εσωτερικής πίεσης (back pressure) του διοξειδίου του άνθρακα, ο οποίος αναπτύσσεται σταδιακά στις κατακλάσεις του στερεού πετρώματος (in situ). Τα ανοίγματα των καταβοθρών λειτουργούν σαν «απορροφητές» για το διοξείδιο του άνθρακα, επιτρέποντας να συνεχιστεί η αντίδραση. Με αυτό τον τρόπο, δημιουργείται η γύψος «κατά θέση (in situ)», μέσω της αντικατάστασης του ασβέστη στις εσωτερικές επιφάνειες (τα

τοιχώματα) των ασβεστολιθικών πετρωμάτων, δημιουργώντας επέκταση της πίεσης, ως αποτέλεσμα του μεταλλικά/ορυκτά - ενεργοποιημένου στερεού πετρώματος.

### 3.5 Αποσάθρωση

Η κατά βάθος αποσάθρωση έχει ως κύριο χαρακτηριστικό την καρστικοποίηση και ενδυναμώνεται με την χημική επίδραση. Σαν ύστατο αποτέλεσμα της αποσάθρωσης έχουμε το φαινόμενο της υπόσκαψης και καταστροφής της φυσικής σταθεροποίησης του καρστικού περιβάλλοντος.

Στο καρστικό περιβάλλον η διάβρωση των πλαγιών ή απογύμνωση είναι ελάχιστη λόγω της σημαντικής διαπερατότητας του επιφανειακού νερού προς το βάθος. Η διλλουβιακή και μετά-αλλουβιακή εξέλιξη είναι σχεδόν ανενεργή. Στις πλαγιές των καρστικών κοιλάδων, στις οποίες έχουμε επιφανειακές ροές, παρατηρείται κολλουβιακή εξέλιξη και σημαντική κατολίσθηση, καθίζηση και γκρέμισμα. Αυτά τα φαινόμενα έχουν ως αποτέλεσμα τον επικλινή σχηματισμό των πλαγιών των καρστικών κοιλάδων και το καρστικό εγκάρσιο προφίλ των σπάνιων ποτάμιων κοιλάδων του τύπου κλεισούρας και φαραγγιού.

Επίσης, το ίδιο φαινόμενο έχουμε και στα υπόγεια κανάλια και υπόγειες αίθουσες σπηλαίων αλλά με μικρότερο μέγεθος αυτών των σχηματισμών. Με την υπόσκαψη των υπογείων καναλιών έχουμε τη κατολίσθησή τους, με συνέπεια τα τοιχώματά τους (των υπογείων καναλιών) να σχηματίζουν οριζόντια κλίση. Επίσης υπογείως έχουμε και τις καταπτώσεις των οροφών σε υπόγειες αίθουσες σπηλαίων. Αν αυτές οι αίθουσες υπάρχουν κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, έχουμε γκρέμισμα των άνω στρωμάτων ή καθίζηση του άνω εδάφους και άνοιγμα αυτών των υπογείων αιθουσών προς την επιφάνεια.

Η οριζόντια μηχανική αποσάθρωση στην καρστική εξέλιξη εμφανίζεται όταν έχουμε μεγάλη δύναμη και γρήγορη εκροή της μεγαλύτερης μάζας της επιφανειακής απορροής του νερού που αποσπά και θρυμματίζει την επιφάνεια του βασικού καρστικού πετρώματος όπου αυτό το αποσπασμένο υλικό μπορεί να έχει και δεκάμετρο μέγεθος. Στις υπόγειες ροές αυτό το φαινόμενο παρατηρείται ιδιαίτερα στην περίπτωση εμφάνισης των ρουφηχτρών. Η μηχανική διάβρωση επιταχύνεται με τα χτυπήματα των αποσπασμένων ογκοδέστατων μπλοκ από τη βασική μάζα του πετρώματος, στην οποία έχουν σχηματιστεί οι λεκάνες των καρστικών ροών. Η υπόγεια διάβρωση του εδάφους έχει ανάλογο χαρακτήρα με την επιφανειακή. Από τα συστήματα των υπογείων ρωγμών εξαρτάται η τοποθεσία και ο σχηματισμός των

υπογείων καναλιών. Η άμεση διάβρωση του υπόγειου νερού έχει δημιουργήσει τα υπόγεια κανάλια διαπερνώντας και διευρύνοντας τις υπόγειες ρωγμές. Όταν τα υπόγεια κανάλια είναι αρκετά ευρύχωρα, απ' όπου είναι δυνατή η εκροή του νερού διαμέσω αυτών, τότε γίνεται πιο εκφραστική η κινητική ενεργεία της υπόγειας ροής.

### 3.6 Μεταφορά των υλικών

Τα υλικά, στη διαδικασία της καρστικοποίησης, μεταφέρονται με δυο:

- Ως χημικό διάλυμα. Το πιο εμφανές διάλυμα είναι το δισόξινο ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ), που δημιουργείται με την επίδραση του ανθρακικού οξέος σε ασβεστίτη ( $\text{Ca CO}_3$ ). Αυτός ο συνδυασμός είναι μη σταθερός και διαλύεται γρήγορα, ο χρόνος της μεταφοράς του είναι αρκετά σύντομος και μεταφέρεται σε πολύ κοντινές αποστάσεις
- Ως κλαστικό υλικό. Το κινούμενο κλαστικό υλικό που προηγήθηκε από την αποσάθρωση και διάβρωση, μεταφέρεται με τη μορφή αποθέσεων οι οποίες αιωρούνται ή ρέουν τράβιουνται, ενώ η μορφή της μεταφοράς τους εξαρτάται από το πάχος και το βάρος του κινούμενου υλικού και με την κινητική ενέργεια της ροής του νερού.
- Η μεταφορά του κλαστικού υλικού στην επιφάνεια του καρστικού εδάφους είναι μακρόχρονη, και το υλικό μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις που γίνεται και αποστρογγύλωσή του.
- Το υπόγειο υδραυλικό σύστημα του ρεύματος του νερού λειτουργεί διαφορετικά, με ανάδευση των μεταφερόμενων αποθέσεων καθώς επίσης και με λιγότερη αποστρογγύλωση αυτών. Η ροή του νερού ανάμεσα στα υπόγεια κανάλια είναι ανάλογη με τη διάμετρο του μεγέθους και του σχηματισμού των καναλιών:

- τα στενά υπόγεια κανάλια, όπου σε πολύ στενά τμήματά τους το νερό ρέει με πίεση και μπορεί να κινηθεί και προς τα πάνω.

- και τα πιο ευρεία ανοίγματα (cavete), όπου το νερό μειώνει την ταχύτητά του, είναι κατευθυνόμενο από την κλίση της υπόγειας μορφής και εδώ παρατηρούμε γρήγορη συσσώρευση του υλικού.

### 3.7 Απόθεση

Στη καρστική εξέλιξη η απόθεση έχει τρεις τύπους:



### 1. Η καθίζηση

Το δις όξινο ανθρακικό ασβέστιο  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , έχει ασταθή χημικό συνδυασμό, μεταφέρεται σαν διάλυμα και η αλλαγή της κινητικής ενέργειας της ροής διευκολύνει την διάλυσή του όπου ελευθερώνεται διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), νερό ( $\text{H}_2\text{O}$ ) και ασβεστίτης ( $\text{Ca CO}_3$ ) που καταρρίπτεται από το διάλυμα και αποτίθεται σαν αδιάλυτος τραβερτίνης (ασβεστολιθικός τόφος). Οι στρώσεις του αδιάλυτου τραβερτίνης υπάρχουν σε πολλά θραύσματα στις ροές των καρστικών νερών διαμορφώνοντας λεκάνες, μικρούς και μεγάλους καταρράκτες.

2. Η απόθεση των καρστικών υλικών γίνεται στα σημεία όπου έχουμε μείωση της κινητικής ενεργείας της ροής του νερού.

Στις επιφανειακές καρστικές ροές, η συσσώρευση είναι ανάλογη της ποτάμιας εξέλιξης:

- Στο στενό πυθμένα των λεκανών των καρστικών ποταμών συσσωρεύονται επεξεργασμένα, αποστρογγλωμένα και κοκκομετρικά ταξινομημένα θραύσματα.
- Στα επιμήκη προφίλ των καρστικών κοιλάδων, ανάλογα με την κινητική ενέργεια του νερού, έχουμε αλλαγή των περιοχών όπου συσσωρεύονται τα χοντρόκοκκα και λεπτόκοκκα θραύσματα. Στην ίδια περιοχή, η αλλαγή της κινητικής ενέργειας με τον χρόνο έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή του όγκου των θραυσμάτων.
- Οι υπόγειες ροές συσσωρεύουν θραύσματα διαφορετικά από τη συσσώρευση στη επιφάνεια. Υπογείως, σε μικρές αποστάσεις, συμβαίνει ανακάτεμα θραυσμάτων διαφορετικών όγκων με την αλλαγή του βαθμού αποστρογγυλοποίησής τους. Επίσης, στις συσσωρευμένες υπόγειες αποθέσεις υπάρχουν σημαντικές αποθέσεις του ετερογενούς κολλουβιακού υλικού που δημιουργήθηκε λόγω κατολισθήσεων.

3. Η αποθήκευση των αδιάλυτων συστατικών της μάζας του πετρώματος που έχουν καθυστερήσει μετά την διάλυση. Οι ασβεστολιθικές μάζες των πετρωμάτων δεν είναι πλήρως «καθαρές» και πλήρως διαλυτές, και περιέχουν και μεγάλο ή μικρό ποσοστό των αδιάλυτων συστατικών τα οποία καθυστερούν μετά τις διαλύσεις και συσσωρεύονται επιτόπου (in situ). Το υλικό το οποίο καθυστερεί εξαιτίας του

οξειδίου του σιδήρου, έχει πολύ έντονο κόκκινο χρώμα και ονομάζεται κοκκινόχωμα (terra rossa). Το κοκκινόχωμα συσσωρεύεται στην επιφάνεια του εδάφους και στις υπόγειες αίθουσες.

### 3.8 Επικάρστ (epikarst)

Το επικάρστ υποδηλώνει το ανώτερο τμήμα του καρστικού υπεδάφους με μεγάλη περατότητα, που μπορεί να είναι ή γυμνός ασβεστόλιθος ή τα ασβεστολιθικά στρώματα να ξεκινούν κάτω από χαλαρά υλικά, όπως το έδαφος, τα ιζήματα και τα φυτικά υπολείμματα και στην βάση τα ασβεστολιθικά πετρώματα, όπου υπάρχουν μονό ορισμένες κάθετες διακλάσεις και ρωγμές και συμπεριφέρεται σαν ένα στρώμα με ελάχιστη περατότητα.

Η υπόγεια καρστικοποίηση του επικαρστικού χαρακτηρίζεται με την καρστική διάλυση, κατεισδυση, χωρική όσο και χρονική κύμανση του περιεχόμενου, καθώς και με την παροχή και το χημικό χαρακτήρα του νερού.

Εάν η επικαρστική ζώνη είναι κάτω από εδαφικό ή φυτικό κάλυμμα, τότε η καρστική διάλυση πραγματοποιείται με πολύ πιο γρήγορους ρυθμούς, εξ αιτίας της «οξύτητας» των νερών που κατεισδύουν λόγω της αυξημένης παρουσίας του διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) που παράγεται από τις ρίζες των φυτών, με αποτέλεσμα να είναι η κύρια ζώνη όπου πραγματοποιείται η διάλυση των ασβεστολίθων. Το νερό που κατεισδύει έρχεται σε άμεση επαφή με το  $\text{CO}_2$ , οξειδώνεται και διαβρώνει το πέτρωμα.

Το επικάρστ αποτελεί μία ζώνη διάλυσης πάχους συνήθως περίπου 10m – 30m στο ανώτερο τμήμα των περισσότερων ανθρακικών εμφανίσεων. Στα πρώτα 10m βάθος πραγματοποιείται περίπου το 80 % της διάλυσης του ασβεστόλιθου. Η περατότητα στο επικάρστ είναι μεγαλύτερη του 20% ενώ η τιμή της μειώνεται με το βάθος μέχρι και <2%. Είναι δηλαδή μία έως τέσσερις φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της υποκείμενης μάζας του ανθρακικού πετρώματος.

Η διαφορά της περατότητας και της υδραυλικής αγωγιμότητας μεταξύ του επικάρστ και του λιγότερο διαλυμένου υποκείμενού του πετρώματος, έχουν σαν αιτία τη συγκέντρωση του νερού στη βάση του επικάρστ. Η αποστράγγιση του νερού προς την ακόρεστη ζώνη μέσω μεμονωμένων μικρών και μεγάλων διακλάσεων, έχει σαν αποτέλεσμα τη διάλυση του πετρώματος γύρω από αυτούς και κατά συνέπεια τη σταδιακή δημιουργία δολινών στην επιφάνεια. Κατά τον ίδιο ερευνητή, η πυκνότητα των δολινών σε μία περιοχή αντιπροσωπεύει την υδραυλική αγωγιμότητα στη βάση

του επικάρστ. Το επικάρστ μπορεί να αποθήκευση κάποια ποσότητα νερού, όπως και το έδαφος με το οποίο μπορεί να καλύπτεται. Το έδαφος και το επικάρστ αποστραγγίζονται σχεδόν εξολοκλήρου μετά από μεγάλες ξηρές περιόδους, ούτως ώστε στην έναρξη των βροχοπτώσεων, να αποστραγγίζουν το νερό.

### 3.9 Τα στάδια της εξέλιξης του καρστ

Το καρστικό ανάγλυφο έχει πιο έντονη εξέλιξη σε σχέση με τους άλλους τύπους γεωμορφολογικών κατηγοριών. Η εξέλιξη του καρστ επί της θεωρίας του Petrović, Živago κατανοείται μέσω του υδρογραφικού δικτύου των περιοχών με το ζεστό και υγρό κλίμα.

**I φάση:** Ο προκαρστικός ποτάμιος κύκλος της διάβρωσης των υγρών περιοχών. Η εξέλιξη, στην αρχή της, έχει κανονικό χαρακτήρα σε πρωτογεννή ασβεστολιθικά πετρώματα- «η άνω ζώνη ασβεστόλιθων» - μονίμως υγρή υδρολογική ζώνη. Η επιφάνεια του εδάφους είναι φυσικά μονίμως υγρή, η φυτική βλάστηση έχει φυσική εξέλιξη, οι ρωγμές δεν υπάρχουν ή είναι πολύ λίγες και καμουφλαρισμένες από τη φυτική βλάστηση και με άλλα αδιάλυτα ιζήματα. Ο υδροφόρος ορίζοντας των υπογείων νερών είναι ρηχός και για αυτό το λόγο έχουμε εμφάνιση των επιφανειακών ποταμών και κοιλάδων.

**II φάση:** Αυτή η φάση αρχίζει με την διάνοιξη των ρωγμών. Οι ρωγμές απορροφούν το μεγαλύτερο ποσοστό του ατμοσφαιρικού και επιφανειακού τρεχούμενου νερού διευκολύνοντας την πιο γρήγορη και βαθύτερη την κυκλοφορία τους. Με αυτό τον τρόπο η καρστική διάβρωση κατεβαίνοντας προς το βάθος του υπόβαθρου γίνεται ορμητική, «η πάνω ζώνη των ασβεστόλιθων» - μονίμως υγρή υδρολογική ζώνη, υποχωρεί προς κάτω και από συνεχώς υγρή ζώνη μετατρέπεται σε μεταβατική ζώνη ή περιοδική υδρολογική ζώνη. Σε αυτή τη φάση οι κοίτες των ποταμών βαθαίνουν και η καρστικοποίηση αρχίζει να είναι εμφανής.

**III φάση:** Οι ρωγμές έχουν διευρυνθεί, εμφανίζοντας μικρά κανάλια τα οποία διευκολύνουν τη διαπερατότητα του ατμοσφαιρικού και επιφανειακού τρεχούμενου νερού. Σε αυτή τη φάση ο προκαρστικός ποτάμιος κύκλος της διάβρωσης των υγρών περιοχών υποχωρεί στο ελάχιστο υποχωρεί και η καρστικοποίηση παίρνει τη θέση της. Τα ποταμάκια και τα μικρότερα ποτάμια περιοδικά αποξηραίνονται. Στο γυμνό

karst αρχίζουν να εμφανίζονται διαφορετικές γλυφές και δολίνες. Στο βάθος τα υπόγεια νερά ήδη κυκλοφορούν στα διαχωρισμένα συστήματα και στις περιφέρειες των διαλυτών πετρωμάτων έχουμε εμφάνιση των πηγαδιών και μικρότερων κεφαλόβρυσων.

**IV φάση:** Κατ' αυτό το στάδιο οι ρωγμές έχουν παρά πολύ διευρυνθεί, αποκλείοντας την εμφάνιση οποιασδήποτε επιφανειακής απορροής. Τα ποτάμια δεν φτάνουν μέχρι το στόμιο των εκβολών τους λόγω του ότι τα νερά κατεισδύουν προς τα κάτω μέσω συστημάτων καταβοθρών. Οι καρστικές επιφάνειες έχουν γίνει εμφανώς ξηρές. Στη θέση των επιφανειακών ρευμάτων του νερού κάποια τμήματα των κοιλάδων ή ολόκληρες κοιλάδες μένουν εκτός λειτουργίας και εντελώς αποξηραμένες. Το δίκτυο ρευμάτων έχει υποχωρήσει, ρέοντας υπογείως μέσω καρστικών αγωγών. Στην συνέχεια, από την επιφάνεια προς το βάθος της ασβεστολιθικής μάζας έχουμε μόνιμα ξηρή υδρολογική ζώνη, περιοδική υδρολογική ζώνη και σε σημαντικό βάθος την μόνιμα υγρή υδρολογική ζώνη.

**V φάση:** Κατά την κατεύθυνση ροής των ύδρορεμάτων, κάτω από τις καταβόθρες, στους πυθμένες των κοιτών, έχουμε εμφάνιση των δολίνων. Παλαιά στόμια ποταμών εμφανίζονται σε σχέση με τον κύριο ποταμό σε μορφή αναβαθμίδων. Στην κατεύθυνση αντίθετα προς το ρέμα, κατά συνέπεια της δυνατής εγχάραξης των υπογείων ποταμών, οι κοιλάδες προοδευτικά μεταβαίνουν σε τυφλές κοιλάδες. Οι καρστικοί αγωγοί τους είναι αρκετά διευρυμένοι, καθώς επίσης και οι κοιλότητες των σπηλιών.

**VI φάση:** Είναι η τελευταία φάση της εξέλιξης. Στης τυφλές κοιλάδες έχουμε εμφάνιση των καταβοθρών (ponor), οι υπόγειοι ποταμοί έτσι γίνονται ξηροί και αδρανείς. Οι δολίνες της προηγούμενης φάσης ενώνονται μεταξύ τους και γίνονται ουβάλες. Στην ξηρή υδρολογική ζώνη έχουμε συνεχώς έντονη καρστικοποίηση, που λεπταίνει καθέτως, μικραίνει και απομένουν μονό μικρές οάσεις της, ενώ η μονίμως υγρή υδρολογική ζώνη είναι σε μεγάλο βάθος. Οι οροφές των σπηλαίων πέφτουν και κάποια από τα σπήλαια ανοίγονται εντελώς και εκτίθενται τα υπόγεια κανάλια και οι υπόγειες στοές τους στην επιφάνεια. Τα υδρολογικά δίκτυα είναι σε αυτή την φάση παρά πολύ καλά αναπτυγμένα, ενώνονται και καταφθάνουν στο επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα.

**VII φάση:** Αφορά τη γενική διακοπή της καρστικοποίησης. Οι επιφανειακές καρστικές μορφές μεταμορφώνονται ή καλύπτονται από τα νεότερα ιζήματα, οι υπόγειες μορφές αγκυλώνονται και οι υπόγειοι καρστικοί αγωγοί ενώνονται σε σύνθετους λαβυρίνθους ή και επηρεάζονται από τις διαδικασίες του προηγούμενου προ - καρστικού κύκλου.

### 3.10 Οι παράγοντες εξέλιξης του καρστ

#### 3.10.1 Οι κύριοι παράγοντες που ελέγχουν την εξέλιξη του καρστ είναι

Η θέση των διαλυτών πετρωμάτων σε σχέση με την επιφάνεια:

- στην επιφάνεια
- κοντά στην επιφάνεια
- στο βάθος του υποβάθρου.

Το πορώδες των πετρωμάτων.

Η χημική διάλυση των καρστικών πετρωμάτων διευκολύνεται από τη συγκέντρωση των υπόγειων νερών κατά μήκος των στρώσεων, διαρρήξεων και των διακλάσεων. Εάν το πέτρωμα είναι πολύ πορώδες η ροή του νερού δεν συγκεντρώνεται τοπικά και η ανάπτυξη του καρστ εμποδίζεται. Λόγω του υψηλού πορώδους του πετρώματος στις βάσεις αναπτύσσεται το φτωχό καρστ.

Η υδρολογική κλίση (h/l) από την απότομη τοπογραφία ή τους εγκλιβωτισμένους ποταμούς. Το κινούμενο νερό διαβρώνει πολύ πιο γρήγορα τον ασβεστόλιθο από το στάσιμο νερό. Επομένως, σε μια υψηλή υδραυλική κλίση η ροή του νερού είναι πιο γρήγορη και η διάβρωση πιο έντονη.

Υψηλές βροχοπτώσεις:

Περισσότερο ποσοστό του νερού = περισσότερη διάλυση.

Θερμοκρασία του νερού:

- Υψηλή θερμοκρασία: Αυξάνει τη βιοχημική δραστηριότητα έτσι ώστε δημιουργείται περισσότερο CO<sub>2</sub> και οργανικά οξέα.

- Χαμηλή θερμοκρασία: Το κρύο νερό έχει μεγαλύτερη δυνατότητα να γίνει πιο όξινο.

- Το νερό σε θερμοκρασία 10°C διαλύει 2 φορές περισσότερο CO<sub>2</sub> από ότι το νερό σε θερμοκρασία 30°C.

- Το νερό σε θερμοκρασία 0°C διαλύει 3 φορές περισσότερο CO<sub>2</sub> από ότι το νερό σε θερμοκρασία 30°C.

Στις κρύες περιοχές η διάλυση είναι λιγότερο έντονη επειδή υπάρχει λιγότερο CO<sub>2</sub> διαθέσιμο για να διαλυθεί στο νερό λόγω της χαμηλής βιοχημικής δραστηριότητας. Στις περιοχές με παγωμένο έδαφος το νερό είναι παγωμένο, το όξινο νερό είναι περιορισμένο στο ανώτερο ενεργό στρώμα, και το κρύο νερό έχει μεγαλύτερο ιξώδες.

Το νερό υπό πίεση:

-Το νερό υπό πίεση μπορεί να διαλύσει περισσότερο CO<sub>2</sub> και επομένως να συγκράτηση περισσότερο CaCO<sub>3</sub> στη διάλυση.

- Η απελευθέρωση της πίεσης θα οδηγήσει στην απόθεση CaCO<sub>3</sub> από το νερό υπό την υδραυλική πίεση (π.χ. τραβερτίνης).

Ανάμειξη των νερών:

- Δύο ανόμοιες μάζες νερού που είναι εμπλουτισμένες με CaCO<sub>3</sub> αναμειγνύονται με συνέπεια να παράγεται ένα κατώτερο μείγμα που μπορεί να επιτεθεί πιο δραστικά στα ανθρακικά πετρώματα λόγω της μη γραμμικής σχέσης μεταξύ του ασβεστίου Ca<sup>++</sup> και CO<sub>2</sub>.

Υψηλή βιολογική δραστηριότητα – «φυτοκάρστ»:

Τα φυτά, τα φύκια, και οι λειχήνες όχι μόνο εκκρίνουν οξέα αλλά είναι υπεύθυνα και για την αύξηση του ποσού ανθρακικού οξέος που κυκλοφορεί με το σύστημα των υπόγειων νερών. Τα γαλαζοπράσινα φύκια δημιουργούν χαρακτηριστική καρστική διάβρωση της επιφάνειας και ένα αιχμηρό σπογγώδες δικτυωτό πλέγμα αιχμών και πυραμίδων. διάβρωση της επιφάνειας και ένα αιχμηρό σπογγώδες δικτυωτό πλέγμα αιχμών και πυραμίδων.

- Χούμους: Το αποσυντεθειμένο οργανικό υλικό αυξάνει την οξύτητα του νερού με την αύξηση της αναλογίας του CO<sub>2</sub> στα εδάφη. Το χούμους απελευθερώνει επίσης τα χουμικά οξέα.

- Φύκια: δημιουργούν το «φυτοκάρστ» (μια περίπλοκα κοίλη τοπογραφία αιχμηρών ακρών που σχηματίστηκε λόγω της διάλυσης των ασβεστόλιθων από τους όξινους διαλύτες που παράγονται από τα φύκια.

- Οργανική σπατάλη: Το γκουανό παρατηρείται ως συσσώρευση περιττωμάτων των νυχτερίδων στα διάφορα σπήλαια και στα εξ αυτών προερχόμενα διάφορα λιπάσματα, (γκουανό νυχτερίδων, γκουανό πουλιών, κ.λπ.). Το γκουανό αποτελεί μείγμα αλάτων ασβεστίου, μαγνησίου και αμμωνίου με διάφορα οξέα κυρίως φωσφορικό, καθώς και χλωριούχων και θεικών αλάτων. Το φωσφορικό άλας του πετρώματος που παράγεται από την αντίδραση του γκουανό και του ασβεστόλιθου πληρώνει τις κοιλότητες του καρστ.

### **3.10.2 Γεωγραφικό πλάτος, κλίμα και καρστικοποίηση**

Η ένταση και η ταχύτητα της καρστικοποίησης των ασβεστολιθικών πετρωμάτων εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα. Λόγω της διαφοροποιημένης έντασης της καρστικοποίησης των ασβεστολιθικών πετρωμάτων διακρίνονται τέσσερις κύριες διαδοχικές φάσεις διαμόρφωσης των καρστικών:

Πολικές περιοχές: εδώ το καρστ είναι ελάχιστα ανεπτυγμένο λόγω των χαμηλών βροχοπτώσεων, των περιορισμένων διαποτίσεων του παγωμένου εδάφους και των σύντομων εποχών των απορροών. Οι θερμοκρασίες του νερού είναι πολύ χαμηλές, οπότε και έχουμε χαμηλή βιοχημική δραστηριότητα. Ακόμα κι αν τα υπόγεια νερά μπορεί να έχουν μεγάλα ποσά CO<sub>2</sub>, αυτό δεν είναι ιδιαίτερα επιθετικό.

Περιοχές με Υγρό και Κρύο Κλίμα: Καλά αναπτυγμένο καρστ που χαρακτηρίζεται από το μεγάλο ποσοστό των επιφανειακών καρστικών γεωμορφών. Οι λόγοι της καλής ανάπτυξης του καρστ και μεγαλύτερη βιοχημική δραστηριότητα σε αυτές τις περιοχές οφείλεται στις: πολλές βροχοπτώσεις που προκαλούν τον κορεσμό του εδάφους σε νερό και διαλυμένο CO<sub>2</sub>, καθώς και σε περισσότερα οργανικά οξέα.

Η περιοχές με ημι - υγρό και ημί-ξηρό κλίμα: είναι οι περιοχές των στεπών και σαβαννών όπου έχουμε ελάχιστη ή καμία ανάπτυξη του καρστ. Ο λόγος της κακής ανάπτυξης του καρστ σε αυτές τις περιοχές οφείλεται στις πολύ λίγες βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια των θερμών περιόδων ξηρασίας όπου τα υπόγεια νερά τείνουν να κινηθούν προς τα πάνω και να αποθέσουν τα ανθρακικά άλατα παρά να τα διαλύσουν.

Τροπικές περιοχές: είναι οι περιοχές των τροπικών δασών που έχουμε καλά αναπτυγμένο καρστ που χαρακτηρίζεται από τους υπολειμματικούς λόφους. Οι λόγοι της καλής ανάπτυξης του καρστ σε αυτές τις περιοχές είναι: οι πολλές βροχοπτώσεις, υψηλές θερμοκρασίες και η πυκνή βλάστηση που προκαλούν υψηλή συγκέντρωση των οργανικών οξέων και του CO<sub>2</sub>. Τα υπόγεια νερά είναι πολύ δραστικά στη χημική διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων.

### 3.10.3 Οι κύριοι γεωμορφολογικοί παράγοντες

Οι κύριοι παράγοντες που επιδρούν για την εξέλιξη του καρστικού τοπίου είναι:

- Λιθολογία: εναλλαγή των στρωμάτων διαλυτών και αδιάλυτων πετρωμάτων.
- Επίπεδο διακύμανσης θαλάσσιας στάθμης: προκαλούμενο από την τεκτονική δραστηριότητα ή τις αλλαγές στη στάθμη της θάλασσας (δηλ. ευστατικό χαμήλωμα κατά τη διάρκεια της περιόδου των παγετώνων).
- Δομή: η διάλυση εκμεταλλεύεται τα συστήματα θραυσμάτων και άλλων επιπέδων, της αδυναμίας τους που ελέγχονται δομικά.
- Στρωματογραφία: πάχος του ασβεστόλιθου και διαπερατότητα των διπλανών μονάδων.
- Γεωλογική ιστορία: εάν το καρστικό τοπίο είναι ενεργό, υπολειμματικό ή θαμμένο.

Εκτός των ενεργειών, της ύπαρξης των κρύων νερών και δραστικών νερών με υψηλό περιεχόμενο διοξειδίου του άνθρακα, η ένταση της καρστικής εξέλιξης εξαρτάται επίσης και από τη γεωλογική (λιθολογική) δομή του εδάφους. Ο όρος για τη καρστική εξέλιξη είναι η ύπαρξη των χοντρών μαζών των διαλυτών πετρωμάτων. Πιο συχνά αυτές οι μάζες είναι ασβεστόλιθοι. Σε περίπτωση όπου το πέτρωμα είναι



«καθαρό», δηλαδή περιέχει λιγότερα αδιάλυτα συστατικά, τότε η εξέλιξη θα είναι πιο γρήγορη. Τα μονό-ορυκτά πετρώματα παρουσιάζουν πιο γρήγορη και πιο πλήρη διάλυση από τα πολύ-ορυκτά πετρώματα. Ο ασβεστόλιθος είναι πιο αδιάλυτος από το δολομίτη. Τα νερά επιδρούν στα αδιάλυτα πετρώματα τα οποία με το καιρό εγχαράσσονται. Με αυτό το τρόπο έρχονται σε επαφή με τους υποκείμενους ασβεστόλιθους όπου και αρχίζει η καρστικοποίηση. Η εξέλιξη της καρστικοποίησης είναι ενεργή μέχρι να διαλυθεί η ασβεστολιθική μάζα και να εμφανιστεί το αδιάλυτο πέτρωμα κάτω από αυτή.

Η τεκτονική δραστηριότητα, δηλαδή οι ηπειρογενετικές και οι ορογενετικές κινήσεις, έχουν σαν συνέπεια τις αλλαγές στη στάθμη της θάλασσας. Στο θαλάσσιο πυθμένα παρατηρείται ιζηματογένεση των ανθρακικών ορυκτών. Στη συνέχεια με την ανύψωσή του δημιουργείται ηπειρωτικό τμήμα το οποίο εκτίθεται σε διεργασίες καρστικοποίησης. Η καρστικοποίηση σταματάει και αρχίζει η ιζηματογένεση των νέων ανθρακικών ορυκτών ή κλαστικών υλικών.

Πολύ σημαντικός παράγοντας για τη καρστική εξέλιξη είναι και η δομή των πετρωμάτων. Τα πετρώματα που παρουσιάζουν στρώσεις είναι πολύ πιο ευδιάλυτα από τα συμπαγή (άστρωτα) πετρώματα. Οι διαρρήξεις είναι μηχανικές ασυνέχειες μέσα στις οποίες το νερό εισχωρεί γρήγορα και η καρστική διάλυση συνεχίζεται από την επιφάνεια στα βαθύτερα στρώματα της μάζας του πετρώματος. Στα διαρρηγμένα στρώματα των πετρωμάτων η καρστικοποίηση προχωρά ακόμα πιο γρήγορα. Χαράκωση (κόψιμο) και διασταύρωση πολλών ρωγμών είναι η περιοχή που έχουμε συνεχή, επιτακτική διάλυση. Οι μάζες των πετρωμάτων είναι κομματιασμένες (θρυμματισμένες) και το νερό εύκολα εισχωρεί και έρχεται σε επαφή με τις μεγάλων εκτάσεων επιφάνειες των μπλοκ των πετρωμάτων ή μικρότερων στρογγυλωμένων τεμαχίων. Το ίδιο φαινόμενο έχουμε και στα χαράγματα των επιφανειών με τα στρώματα των πετρωμάτων.

Εκτός της γεωλογικής δομής πολύ σημαντικός παράγοντας για την καρστικοποίηση είναι και το αρχικό (κληρονομημένο) ανάγλυφο. Στα επίπεδα τμήματα της επιφανείας το νερό εκτίθεται για περισσότερο χρονικό διάστημα και έχει τη δυνατότητα να εισχωρεί μέσω των ρωγμών στο εσωτερικό της μάζας των πετρωμάτων.

### 3.11 Τύποι του καρστ

#### 3.11.1 Ιστορική ανασκόπηση των τύπων του καρστ

Ο Jovan Cvijić (1926) έχει πρώτος ορίσει τους τοπικούς τύπους του καρστ. Η κύρια παράμετρος της τυπολογίας είναι η διαφορετική φυσιογνωμία των καρστικών περιοχών όπου οι παράγοντες και οι συνθήκες για την εξέλιξη του καρστ εξαρτώνται και αλλάζουν από περιοχή σε περιοχή. Στις διαφορετικές ζώνες, ο συνδυασμός των διαφορετικών παραγόντων, ειδικά με την επιρροή των διαφορετικών κλιματικών χαρακτηριστικών, έχει ως αποτέλεσμα τη μεταποίηση και εξέλιξη των καρστικών περιοχών και των υπαρχόντων επιφανειακών και υπογείων καρστικών μορφών. Υπάρχουν περιοχές με εντατικά εξελιγμένο βαθύ καρστ όπου αναπτύσσονται πλούσιες επιφανειακές και υπόγειες καρστικές μορφές. Αντίθετα, υπάρχουν και περιοχές με σπάνια εμφάνιση επιφανειακών μορφών και με αλλουβιακό εκπλυμένο έδαφος που καλύπτει την ασβεστολιθική βάση με πολλές ρηχές και μονωμένες υπόγειες μορφές. Ανάμεσα σε αυτούς τους δυο ακραίους τύπους του Ολο-καρστ και Μέρο-καρστ έχουμε πολλούς μεταβατικούς, από τους οποίους οι δυο πιο χαρακτηριστικοί είναι οι τύποι Κόσοβου και Ιούρας.

#### 3.11.2 Ολο-καρστ

Ο τύπος του Ολο-καρστ σημαίνει ολοκληρωμένο καρστ, δηλαδή είναι οι περιοχές που έχουν καταλληλότερα χαρακτηριστικά για την εξέλιξη όλων των τύπων των επιφανειακών και υπογείων καρστικών μορφών.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της ύπαρξης του Ολο-καρστ, συνήθως είναι:

- μέχρι 98 % καθαρές ασβεστολιθικές περιοχές,
- παχύ-στρωματώδεις ασβεστόλιθοι,
- λόγω της ύπαρξης μεγάλου ποσοστού του ατμοσφαιρικού κατάλοιπου έχουμε επιθετική κυκλοφορία του υπογείου νερού στα μεγάλα βάθη του πετρώματος,
- παρατηρείται σε μεγάλα υψόμετρα,
- είναι ανοιχτές επιφάνειες με μεγάλη έκταση εμφάνισής τους,
- είναι γυμνές ή μη-φυτό καλυμμένες περιοχές,
- βαθιά πτωχόμενες και τεκτονικά διαρρηγμένες με διαφορετικές ρωγμές και ρήγματα, όπου στα βάθη τους παρατηρείται ελεύθερη και συνεχής ροή των υπογείων νερών.

Οι περιοχές του Ολο-καρστ αποτελούνται από πλούσιες επιφανειακές και υπόγειες καρστικές γεωμορφές, με συνέπεια την εμφάνιση:

- των διαφορετικών τύπων γλυφών,
- των δολινών,
- των ουβαλών,
- των καρστικών πολγών,
- σπανίων επιφανειακών ροών που συνήθως είναι οι αλλόχθονες ποταμοί, (ξεκινούν στις μη καρστικές περιοχές και στη συνέχεια ρέουν προς τις καρστικές περιοχές που μορφολογικά αλλάζουν),
- των μικρών και μεγάλων φαράγγιων,
- των διαφορετικών τύπων καρστικών κοιλάδων,
- των καταβοθρών,
- όλων των τύπων υπόγειων καρστικών μορφών,

όλων των τύπων υπόγειων καρστικών μορφών με την υδρολογική λειτουργία τους.

### 3.11.3 Τύπων Κοσόβου

Ο μεταβατικός τύπος Κόσοβου οφείλει την ονομασία του στο όρος Κοσ (Causes) του Κεντρικού Ορεινού όγκου της Γαλλίας. Τα μορφολογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του είναι παρόμοια με αυτά του τύπου Ολο-καρστ.

Τα κυρία χαρακτηριστικά του είναι:

- έντονα τεκτονικά διαρρηγμένες περιοχές,
- ύπαρξη υψηλών ασβεστολιθικών και δολομιτικών οροπεδίων τα οποία είναι χωρισμένα από βαθιά φαράγγια όπου οι πυθμένες τους φτάνουν μέχρι την αδιαπέρατη βάση του ασβεστόλιθου συνήθως τη μάργα και τον άργιλο,
- στις επιφάνειες επιπεδώσεις των οροπεδίων το νερό είναι σπάνιο ή δεν υπάρχει ενώ στα χαμηλότερα υψόμετρα η επιφανειακή απορροή είναι πλούσια.

### 3.11.4 Μέρο-καρστ

Ο τύπος του Μέρο-καρστ σημαίνει ημί-καρστ.

Μέρο-καρστ συνήθως παρατηρείται στις περιοχές:

- των λεπτό-στρωματωδών ασβεστολίθων ή όταν τα στρώματα του ασβεστόλιθου είναι μαργαϊκά, δολομιτικά, αμμούχα ή βιτουμινούχα, δηλαδή σε πετρώματα που είναι συνήθως πιο πρόσφατης γεωλογικής ηλικίας (πετρώματα νεογενούς ηλικίας).
- με καλυμμένο καρστ ή περιοδικά με καλυμμένο καρστ από την παχιά φυτική κάλυψη των δασών ή των λιβαδιών,
- όπου το ασβεστολιθικό υπόβαθρο είναι διαχωρισμένο σε ζώνες περατών αδιαπέραστων πετρωμάτων, και εναλλαγές στο υπολειμματικό έδαφός του,
- εκεί όπου τα στρωματά του ασβεστόλιθου είναι διαχωρισμένα σε εμφανή και ασύνδετα μονωμένα μπλοκ.

Οι περιοχές του Μέροκαρστ χαρακτηρίζονται από:

- μη ύπαρξη γλυφών,
- ύπαρξη «αλλουβιακών» δολινών που λειτουργούν σαν μικρές λίμνες και δεξαμενές του ατμοσφαιρικού νερού,
- σπάνιες ουβάλες, ρηχές που στον πυθμένα τους είναι εμφανής ύπαρξη πολλών δολινών,
- μη ύπαρξη καρστικών πολγών,
- ύπαρξη επιφανειακών ροών που είναι πολύ πιο πλούσιες από αυτές του Ολοκραρστ,
- καρστικές ροές που ρέουν στις αδιαπέρατες επιφάνειες του καρστικού ανάγλυφου,
- σπάνια ροή υπόγειων υδάτων,
- σπάνιες στον αριθμό και ρηχά καρστικά φρέατα (jama) και καταβόθρες που είναι φραγμένες με το υπολειμματικό έδαφος,
- ατμοσφαιρικά νερά τα οποία όταν διαπεράσουν υπόγεια το Μέρο-καρστ δημιουργούν πλούσια, συνεχή ροή του νερού όπου εύκολα συμπεραίνεται και παρακολουθείται μέχρι τα καρστικά πηγιάδιά της, σπάνια εμφάνιση σπηλαίων λίγο αναπτυγμένων.

### 3.11.5 Τύπων Ιούρας

Ο μεταβατικός τύπος Ιούρας πήρε το όνομα από την Οροσειρά Ιούρα που αναπτύσσεται στα Γάλλο-Ελβετικά σύνορα και έχει κύρια χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά του τύπου Μέρο-κάρστ.

Τα κυρία χαρακτηριστικά του είναι:

- τα στρώματα του ασβεστόλιθου εναλλάσσονται με τις στρώσεις των μαργαϊκών η άλλων αδιαπέρατων πετρωμάτων. Αν αυτή η αλλαγή των πετρωμάτων έχει κατακόρυφο χαρακτήρα τότε οι ασβεστόλιθοι εναλλάσσονται με τις στρώσεις των διαφορετικών μη ασβεστολιθικών πετρωμάτων.
- υπάρχει πτύχωση των στρωμάτων αλλά δεν είναι δυνατή η διάρρηξή τους.
- σπάνια ή ανεπαρκής ύπαρξη των γλυφών,
- η ύπαρξη ρηχών δολινών,
- η ύπαρξη ρηχών ουβάλων, οι οποίες εξελίσσονται μονό με την ένωση των δολινών που υπάρχουν στην σειρά στον πυθμένα των ξηρών κοιλάδων.
- η απουσία καρστικών πολγών,
- οι υπόγειες καρστικές μορφές υπάρχουν αλλά είναι συνήθως απομονωμένες,
- παρατηρείται ύπαρξη των σπηλαίων αλλά με μικρό μήκος και όχι σε μεγάλη κατακόρυφη ανάπτυξη,
- οι συνεχείς αλλαγές της διαπερατότητας και των χαρακτηριστικών των ανθρακικών πετρωμάτων έχουν ως αποτέλεσμα την εξέλιξη των υπόγειων μορφών σε διαφορετικά επίπεδα βάθους,
- λόγω της γεωλογικής δομής του ανάγλυφου τύπου Ιούρα είναι δυνατή η δημιουργία πυκνών μικρών υδρογραφικών δικτύων και με μεμονωμένων επιφανειακών και υπογείων ροών. Επίσης εξαιτίας του σχηματισμού των στρωμάτων η ροή του νερού σε αυτά τα σημεία μπορεί να είναι αργή.

### 3.11.6 Η σύγχρονη τυπολογία των τύπων του καρστ

Με τις σύγχρονες θεωρίες για την τυπολογία των τύπων του καρστ, σχετικά με τους ασβεστόλιθους, έχουν ασχοληθεί οι γεωμορφολόγοι Ivanov (1956), Quinlan (1978), επίσης έχουν υπάρξει και νεότερες συζητήσεις των Bozák, Ford and Glazek

(1989), Palmer and Palmer (1989), και άλλων όπως και ο Klimchouk (1996) για το γύψο.

Οι τύποι του καρστ παρακολουθούν και εξηγούν ολόκληρο τον κύκλο της εξέλιξης ενός γεωλογικού καρστικού σχηματισμού, από την ιζηματογένεσή του (συγγενικό καρστ), μέσω του βαθιού ενταφιασμού, μέχρι την έκθεσή του και την απογύμνωσή του.

Τα κυρία χαρακτηριστικά τα οποία επιδρούν στην τυπολογία του καρστ των περιοχών των ασβεστόλιθων, των δολομιτών και των γύψων είναι:

- αργή καθίζηση ή η άνοδος των πλατφορμών τους,
- οι ευστατικές και οι παγετό-ευστατικές αλλαγές της στάθμης της θάλασσας.

Η πιο σύγχρονη και ιστορικά συγκεντρωμένη τυπολογία των τύπων του καρστ από τους Klimchouk και Ford (2000) και είναι:

- Συγγενετικό καρστ (Syngenetic karst)
- Ενδο-στρωματικό καρστ (Intrastratal karst)
  - Βαθύ καρστ (Deep - seated karst)
  - Υποκείμενο καρστ (Subjacent karst)
  - Περιχαρακωμένο (οχυρωμένο) καρστ (Entrenched karst)
  - Απογυμνωμένο καρστ (Denuded karst)
- εθειμένο καρστ (Exposed karst)
  - Ανοικτό καρστ (Open karst)
  - Γυμνό καρστ (Denuded karst)
  - Αποκαλυμμένο καρστ (Exhumed karst)
    - Καλυμμένο καρστ (Mantled karst)
    - Ενταφιασμένο καρστ (Buried karst)
    - Παλαιοκάρστ (Paleokarst)

### 3.11.7 Συγγενετικό καρστ (Syngenetic karst)

Συγγενετικό καρστ είναι το καρστ όπου τα ιζήματα των ρηχών τυθμένων των θαλασσών ή ωκεανών ενώνονται σχηματίζοντας πορώδεις βράχους ανθρακικών πετρωμάτων και σχεδόν ταυτόχρονα ή αμέσως μετά την απόθεση και ανύψωσή τους καρστικοποιούνται εξελίσσοντας τους καρστικούς σχηματισμούς. Η γρήγορη ανάπτυξη και εξέλιξη των υπογείων καρστικών μορφών στα νέα ανθρακικά ιζήματα προκαλείται από τις αντιδράσεις του γλυκού/θαλάσσιου νερού, καθώς και του υπόγειου νερού. Μετά από τον επόμενο ενταφιασμό του, το συγγενετικό καρστ θα εξελίσσεται στο τύπο του παλαιό κάρστ. Στην παρούσα εποχή όπου η στάθμη της θάλασσας είναι εξαιρετικά υψηλή, η ύπαρξη του συγγενετικού καρστ δεν είναι διαδεδομένη.

### 3.11.8 Ενδο-στρωματικό καρστ (Intrastratal karst)

Ενδο-στρωματικό καρστ είναι στο καρστ στον οποίο τα καρστικά πετρώματα βρίσκονται και αναπτύσσονται σε κάποιο βάθος με εναλλαγή αδιάλυτων πετρωμάτων. Κυριαρχική σημασία για την εξέλιξη του ενδο-στρωματικού καρστ έχουν οι υπόγειες ροές των νερών και οι κάθετα διασταυρωμένες επικοινωνίες τους.

Τα στάδια της καρστικής εξέλιξης του ενδο-στρωματικού καρστ είναι:

- Βαθύ καρστ (Deep-seated karst) δεν είναι εμφανές στην επιφάνεια, είναι ο τύπος του Ολο-κάρστ που υπάρχει στις ασβεστολιθικές περιοχές όπου οι ασβεστόλιθοι έχουν μεγάλο πάχος, τοποθετούνται βαθιά και τα διαλυτά πετρώματα τους δεν εκτίθενται.
- Υποκείμενο καρστ (Subjacent karst) είναι το καρστ το οποίο βρίσκεται και αναπτύσσεται κάτω από τα αδιάλυτα στρώματα αλλά επίσης οι πάνω στρώσεις τους είναι εκτεθειμένες σε κάποια σημεία στην επιφάνεια σαν καρστικές μορφές όπως καρστικές πηγές ή κατακρημνισμένες οροφές των σπηλαίων.
- Περιχαρακωμένο καρστ (Entrenched karst) είναι εκεί όπου οι ποταμίσιες κοιλάδες έχουν περιχαρακώσει ολόκληρο το πάχος των στρωμάτων και των ενδιάμεσα αδιάλυτων πετρωμάτων.
- Απογυμνωμένο καρστ (Denuded karst) είναι όπου τα πετρώματα του καλύμματος των ασβεστολιθικών πετρωμάτων έχουν διαλυθεί ή διαβρωθεί.

Σε μερικές περιπτώσεις, τα βαθιά καρστικά πετρώματα, όπως η γύψος και το ορυκτό άλας, μπορούν να αφαιρεθούν εξ ολοκλήρου λόγω διάλυσης πριν από οποιαδήποτε έκθεση της. Τέτοια διαλυτική αφαίρεση αφήνει χαρακτηριστικά λατυποπαγή καρστ που αποτελείται από τα αδιάλυτα ή λιγότερο διαλυτά υπολείμματα ενδιάμεσων στρωμάτων (συνήθως ανθρακικών), καθώς και θραύσματα από τα υπερκείμενα πετρώματα.

Η ροή του νερού είναι μικρότερη και αρκετά ασταθής στο απογυμνωμένο καρστ, ενώ οι υπόγειοι καρστικοί αγωγοί κληρονομούνται κατά ένα μεγάλο μέρος από τα αρχικά στάδια. Τα περιορισμένα συστήματα της κυκλοφορίας του νερού «απελευθερώνουν» τη φρεατική ροή κατά τη μετάβαση από τα βαθιά εδραιωμένα σε περιχαρακωμένα και εκτεθειμένα στάδια εξέλιξης του καρστ, με συνέπεια την ανάπτυξη του υδροφόρου ορίζοντα και της αβαθούς ζώνης (vadose zone).

### 3.11.9 Εκτεθειμένο καρστ (Exposed karst) και Αποκαλυμμένο καρστ (Exhumed karst)

**1. Εκτεθειμένο καρστ** είναι το καρστ όπου στην επιφάνεια των πετρωμάτων δεν υπάρχουν υπολείμματα καλύμματος. Υπάρχουν τρεις περιπτώσεις της εξέλιξης και ύπαρξής του:

- **Απογυμνωμένο καρστ** (Denuded karst) χαρακτηρίζεται από τη συνύπαρξη των καρστικών μορφών που σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια της εκτεθειμένης φάσης και εκείνων που κληρονομήθηκαν από την προηγούμενη φάση. Τα τελευταία μπορεί να είναι σε μεγάλο βαθμό υπολειμματικά και προσαρμόζονται σε διαφορετικό βαθμό στις νέες υδρολογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες.
- **Ανοικτό καρστ** (Open karst) είναι το καρστ που τα πετρώματά του δεν έχουν θαφτεί ποτέ κάτω από τα άλλα πετρώματα.
- **Καλυμμένο καρστ** (Mantled karst) και **Ενταφιασμένο καρστ** (Buried karst) είναι τα καρστ που εκτέθηκαν και στην συνέχεια θάφτηκαν - καλύφθηκαν από μη σταθεροποιημένα ιζήματα. Η διαφορά τους είναι στο πάχος του καλύμματός τους. Το «Καλυμμένο καρστ» έχει πιο λεπτό πάχος καλύμματος και η υπόγεια καρστικοποίηση των καλυμμένων ασβεστολιθικών στρωμάτων δεν έχει σταματήσει. Το «ενταφιασμένο καρστ» έχει πιο παχιά στρώματα καλύμματος και το κάλυμμα έχει γεμίσει όλα τα ανοίγματα και σπηλιές και



δεν υπάρχει υπόγεια καρστικοποίηση. Ο πιο ευκρινής τύπος του «Θαμμένου καρστ» είναι:

- **Παλαιοκάρστ (Paleokarst)** Με τον όρο «παλαιοκάρστ» εννοούμε το απολιθωμένο καρστ όπου το υδρολογικό σύστημά του είναι αποσυνδεδεμένο από το σύγχρονο υδρολογικό σύστημα σε αντίθεση με το υπολειμματικό σύστημα που ισχύουν εντός του σύγχρονου συστήματος, αλλά έχουν εκτοπιστεί από το περιβάλλον στο οποίο σχηματίστηκαν. Κάθε καρστική μικρό ή μέγα μορφή που αναγνωρίζεται σήμερα μπορεί να υπήρξε στο παρελθόν στην επιφάνεια ή υπογείως και μέσω της απομόνωσης με ταφή διατηρήθηκε από τη διάβρωση στο γεωλογικό αρχείο ενώ διακρίνονται από τα υπολείμματα των καρστικών ορυκτών. Η μεταφορική λειτουργία του νερού αυτού του καρστικού υδρολογικού συστήματος χάνεται και είναι άγνωστη ή δύσκολα αναγνωρίσιμη η υπόγεια κυκλοφορία του. Σε ακραίες συνθήκες τα καρστικά πετρώματα του τύπου Παλαιοκάρστ μπορεί να διαλυθούν εξ ολοκλήρου και να αντικατασταθούν στην επιφάνεια από τα υπολειμματικά ιζήματα που συσσωρευτήκαν στις θέσεις των καρστικών μορφών, όπως των δόλινων. Το παλαιοκάρστ μπορεί να αναγνωριστεί ακόμα και όταν δευτερεύοντα πετρώματα πλέον δεν υπάρχουν. Αυτό είναι ένα σημείο ιδιαίτερης σπουδαιότητας για την ερμηνεία του ενδοσωματικού καρστ της γύψου. Τα συστήματα του καρστ, ή τα συστατικά τους, μπορούν να απολιθωθούν σε οποιαδήποτε από τα στάδια ανάπτυξης που περιγράφονται πιο πάνω. Η απολίθωση είναι σχεδόν μοιραία όταν θάβεται το συγγενετικό καρστ. Στα βαθιά στρώματά του θεικού άλατος το καρστικό σύστημα μπορεί να αναπτυχθεί πλήρως και να αποσυντεθεί έπειτα, ενδεχομένως καθ' όλη την έκταση της διάλυσης των στρωμάτων της γύψου. Τα στρώματα των λατυποπαγών του καρστ παρουσιάζονται κυρίως στις ακολουθίες του θεικού-ανθρακικού άλατος και είναι αυτά που αντιπροσωπεύουν το ενδο-στρωματικό παλαιοκάρστ. Εν τούτοις, η επανεμφάνιση του βαθιού καρστ μεμονωμένα, δεν δείχνει συνθήκες του παλαιοκάρστ. Ενεργή καρστικοποίηση εμφανίζεται συνήθως σε περιβάλλοντα όπου μπορεί να αναπτυχθεί περιοδικά, κατά τη διάρκεια

των μακροχρόνιων περιόδων που δυσκολεύει την διάκριση μεταξύ του ενδο-στρωματικού καρστ και του παλαιοκάρστ.

**2. Αποκαλυμμένο καρστ (Exhumed karst)** είναι το ενδο-στρωματικό καρστ που εκτέθηκε και εξελίχθηκε σε αποκαλυμμένο. Ο ενταφιασμός των ασβεστολιθικών ιζημάτων πραγματοποιείται σχεδόν αμέσως μετά από την απόθεσή τους. Το πιο διαδεδομένο αυτής της μορφής είναι αυτό που δημιουργείται από τα υπολείμματα του καθαρού ασβεστόλιθου και του δολομίτη και μπορεί να έχει σημαντικό πάχος. Η συσσώρευση αυτών των ιζημάτων συνεχίζεται με την εξέλιξη του καρστ.

Μεταξύ του ανοικτού και αποκαλυμμένου τύπου του καρστ μπορούν να υπάρξουν ιδιαίτερες διαφορές όσον αφορά στους μηχανισμούς ανάπτυξης τους και στα σχήματα των μορφών τους.

- Το αποκαλυμμένο καρστ προτάθηκε από τον Quinlan (1978) για να προσδιορίσει το υποκείμενο ή περιχαρακωμένο καρστ που εκτέθηκε από την αφαίρεση της κάλυψής του. Χαρακτηρίζεται από τη συνύπαρξη των μορφών που διαμορφώνονται κατά τη διάρκεια του εκτεθειμένου σταδίου και εκείνων που κληρονομηθήκαν από τα προηγούμενα στάδια. Τα τελευταία μπορούν να είναι κατά ένα μεγάλο μέρος υπολείμματα ή προσαρμοσμένα με ποικίλους βαθμούς στο νέο υδρολογικό και υδρογεωλογικό υπόβαθρο. Οι κληρονομημένοι σχηματισμοί των σπηλαίων επηρεάζουν πολύ την ανάπτυξη του καρστικού τοπίου και την υδρολογία του.
- Το ανοικτό καρστ είναι το καρστ που αναπτύσσεται κατά ένα μεγάλο μέρος ή εξ ολοκλήρου κατά τη διάρκεια της έκθεσής του. Κατά αυτό το τρόπο είναι αμιγές και ελεγχόμενο μόνο από τους παράγοντες της επιφανείας και ρηχής υπο-επιφάνειας χωρίς να έχουν κληρονομήσει τίποτα από τα προηγούμενα στάδια του καρστ. Αυτός ο τύπος του καρστ είναι κυρίαρχος στις μεγάλες καρστικές περιοχές με δολίνες και στις πύργο-ορεινές (cockpit) περιοχές των τροπικών περιοχών. Παρατηρείται συχνά εκεί όπου οι εβαπόριτες ή οποιαδήποτε διαλυτή λιθολογία εκτίθενται στις περιοχές με πολύ χαμηλό ανάγλυφο, με τους σχιστόλιθους που απαγορεύουν την κάθετη ροή των υπόγειων νερών μεταξύ των σχηματισμών. Υπερισχύει επίσης στα τροπικά νησιά και τις ακτές όπου τα πρόσφατα ανθρακικά πετρώματα βρίσκονται σε συνεχή έκθεση.

Το αποκαλυμμένο καρστ είναι εκείνο που εκτέθηκε μετά τη διάβρωση των ιζημάτων που αρχικά ήταν θαμμένο. Αυτή η μορφή που αντιπροσωπεύει το εκτεθειμένο καρστ, μπορεί επανειλημμένως να λάβει τα χαρακτηριστικά του κατά τη διαδικασία ενός ενταφιασμού και να επιστρέψει πάλι σε μία ενεργή κατάσταση με την αποκάλυψή του. Συνέπεια όλων αυτών, είναι το εκταφόμενο καρστ να χαρακτηρίζεται από μια πολυφασική κληρονομιά και να υιοθετεί πολλές μορφές του παλαιοκάρστ. Οι μορφές του εκτεθειμένου καρστ στα ασβεστολιθικά πετρώματα δημιουργούν σπηλιές με δενδροειδή περάσματα, ενώ στα πετρώματα από θειικά άλατα δημιουργούν γραμμικά διακλαδωμένα σχέδια. Τα σχέδια των σχισμών, του ανάγλυφου, και του πάχους της αβαθούς ζώνης, μπορούν να κυμανθούν ευρέως. Το απογυμνωμένο καρστ μπορεί να παρουσιάσει μια ευρεία έκθεση των διαφορετικών σχεδίων των σπηλιών που κληρονομούνται από τα προηγούμενα στάδια, που χρησιμοποιούνται στις ποικίλες εκτάσεις από τα ενεργά συστήματα.

### **3.12 Οι τυπικές επιφανειακές καρστικές μορφές:**

#### **3.12.1 Οι γλυφές**

Οι γλυφές είναι οι μικρότερες καρστικές μορφές. Ο σχηματισμός τους οφείλεται στη χρόνια διάλυση των γυμνών επιφανειών των ασβεστόλιθων ή γύψων.

Λόγω της προοδευτικής διάλυσης της επιφάνειας του πετρώματος, που εκτείνονται από τη κατακόρυφη-βαθμιαία διάλυση στην οριζόντια διάλυση, έχουμε δημιουργία χασμάτων των γλυφών. Στα επεκτεινόμενα αυλάκια των γλυφών συλλέγεται το υλικό της διάλυσης, όπου διατηρείται και μόνιμη υγρασία που βοηθά ώστε η διάλυση να προχωρά σε βάθος. Οι συνεχόμενες γλυφές δημιουργούν καρστικούς διαδρόμους και μόνο τα τμήματα του μη διαλυμένου ασβεστόλιθου παραμένουν.

Η γενική ονομασία αυτών των κοίλων μικρό-μορφών είναι οι γλυφές - Ελληνικά ή Karren - Γερμανικά; clints - Αγγλικά; Lapis - Γαλλικά; škrapari - Σέρβο-Κροατικά. Στη διεθνή καρστική γεωμορφολογική βιβλιογραφία, για την ονομασία των μορφών των γλυφών, πιο συχνά χρησιμοποιούνται οι γερμανικές φράσεις που περιγράφουν με περισσότερη λεπτομέρεια τις όψεις αυτών των μορφών στα διαφορετικά στάδια της εξέλιξης τους, καθώς επίσης και οι Αγγλικές ονομασίες όπως clints (Flachkarren) για κορυφές και grykes (Kluftkarren) για τα κανάλια.

Σε αυτά τα πετρώματα οι γλυφές σχηματίζονται σαν διαφορετικοί κοιλάδες σχηματισμοί που ποικίλλουν σε βάθος από μερικά χιλιοστά μέχρι περισσότερο από 1 μέτρο:

- μικρό γλυφές: < 1cm
- γλυφές: από 1cm μέχρι 10m,
- πεδίο γλυφών: πάνω από 10.

Η εμφάνιση και ο σχηματισμός των γλυφών εξαρτάται από:

- την λιθολογία και γεωγραφική θέση του καρστικού υπόβαθρου που σχηματίζονται,
- την κλίση της πλαγιάς του καρστικού υπόβαθρου που σχηματίζονται,
- την κατεύθυνση της ροής του νερού που οδηγείται από τη δύναμη της βαρύτητας,
- την βλάστηση και τη βιολογική δραστηριότητα.

Οι γλυφές σχηματίζονται και εκτίθενται, μετά από την επίδραση του νερού, στις παρακάτω αναφερόμενες θέσεις:

- στις επιφάνειες του εδάφους (επιφανειακά ελεύθερες και γλυφές υπό φυτική κάλυψη),
- στις κάθετες στρώσεις,
- στο επίπεδο του στρώματος,
- στις μεγάλες πετρώδεις κορυφογραμμές,
- στις σπηλιές,
- στην ζώνη θραύσης των θαλάσσιων κυμάτων.

Μια καρστική περιοχή που κυριαρχούν οι γλυφές ονομάζεται «πεδίο γλυφών», το οποίο εμφανίζεται ως απογυμνωμένο καρστ αλλά μπορεί επίσης να είναι μισό-εκτεθειμένο και περιστασιακά καλυμμένο. Η έκταση του «πεδίου γλυφών» κυμαίνεται από μερικά εκτάρια έως μερικές εκατοντάδες τετραγωνικά μέτρα.

### 3.12.2 Επιφανειακά ελεύθερες γλυφές

Επιφανειακά ελεύθερες γλυφές ή εκτεθειμένες γλυφές είναι οι γλυφές που δημιουργηθήκαν με την επίδραση της ελεύθερης εκροής του νερού στην γυμνή επιφάνεια του ασβεστολιθικού πετρώματος:

➤ **Kamenica – κοίλες γλυφές**

Kamenica είναι μια μικρή κοιλότητα με γενικά επίπεδη λεκάνη. Ο όρος προέρχεται από τη σερβική λέξη "kamenica" και σημαίνει κυριολεκτικά "η λίμνη σχηματισμένη στην πέτρα". Οι διαστάσεις της κυμαίνονται από μερικές δεκάδες των χιλιοστά (mm) ως μερικά μέτρα σε πλάτος και φτάνουν από 10mm έως 1m σε βάθος. Σχηματίζεται σε επίπεδα ή σχεδόν επίπεδα καρστικά πετρώματα, με την διάλυση αυτών των πετρωμάτων από την επίδραση του πρώτου στάσιμου νερού που συλλέγετε μεταξύ μικρών πτυχών και κατακλάσεων. Οι απότομες πλευρές αυτών των μικρό-μορφών προκαλούν την καθοδική ροή του νερού προς τα κάτω όπου οι ίδιες μικρό μορφές, σε σημεία που διασταυρώνονται, διευρύνονται σε λεκάνες, λακκούβες. Τα ιζήματα και τα πετρώματα συλλέγονται συχνά στον ομαλό πάτο τους εκεί παρατηρείται περαιτέρω διάλυση με την ενεργοποίηση του pH του νερού.

➤ **Trittkarren – ημικυκλικές κλιμακωτές γλυφες**

Οι γλυφές τύπου Trittkarren μοιάζουν με το αποτύπωμα ενός τακουινιού και ο σχηματισμός τους είναι ημικυκλικός-κλιμακωτός. Δημιουργούνται στα πρηνή καρστικών πετρωμάτων και σχηματίζονται στην επιφάνεια. Τα περισσότερα Trittkarren δημιουργούνται στα κατωτέρα άκρα ενός gryke. Στις απότομες κλίσεις, στο κοίλο μέρος με τον ρηχό χοανοειδή σχηματισμό των Trittkarren γλυφών, συγκεντρώνεται το νερό και για μεγάλο χρονικό διάστημα το χιόνι.

➤ **Rinnenkarren – αυλακοειδείς γλυφές και Mäanderkarren – μαιανδρικές γλυφές**

Τα Rinnenkarren είναι οι γλυφές σε σχήμα αυλακιών με απότομα τοιχώματα και με επίπεδο πυθμένα στον οποίο συλλέγεται το τρεχούμενο νερό. Όταν υγραίνεται η επιφάνεια του πετρώματος των Rinnenkarren, τότε διευρύνονται και εμβαθύνονται πιο πολύ σε βάθος. Αυτό το φαινόμενο τα διακρίνει από τις

άλλες παρόμοιες μορφές των γλυφών. Όταν η κλίση του πετρώματος είναι μικρή δημιουργούνται σπειροειδείς γλυφές, ενώ με την αύξηση της κλίσης ευθείες. Σπάνια αναπτύσσονται κάτω από την εδαφική κάλυψη. Στις περιοχές με ξηρό κλίμα, σήμερα, τα Rinnenkarren υπάρχουν ως κατάλοιπα του παρελθόντος.

➤ **Οι Mäanderkarren** είναι επίσης γλυφές σε σχήμα αυλακιών, ελικοειδείς γλυφές, που κόβονται άμεσα στην επιφάνεια του πετρώματος. Το εύρος και το βάθος τους είναι μερικά εκατοστά και παραμένει το ίδιο ή μειώνεται με την κλίση. Εμφανίζονται συχνά στα κατώτατα σημεία των μεγαλύτερων αυλακιών όπως Rinnenkarren.

➤ **Rillenkarrren ή Firstrillenkarrren – ρηχές αυλακοειδείς γλυφές**

Τα Rillenkarrren και Firstrillenkarrren είναι ρηχά αυλάκια, κανάλια, που χωρίζονται από τις απότομες κορυφογραμμές που δημιουργούνται από την ενεργεία του νερού των βροχοπτώσεων. Δημιουργούνται μόνο στους απόκρημνους βράχους (με κλίση από 40° μέχρι 80°). Το μήκος τους εξαρτάται και διευρύνεται από την κλίση του πετρώματος, την θερμοκρασία και την βροχόπτωση, φθάνοντας από 50cm μέχρι 1m και το πλάτος τους από 1cm έως 3cm. Έχουν επαναλαμβανόμενο σε σειρά χαρακτήρα και οι κορυφογραμμές που τα χωρίζουν χαμηλώνουν βαθμιαία σχηματίζοντας μια ομαλή επιφάνεια με ύψος περίπου 1 cm.

➤ **Rundkarren – συραγγοειδείς γλυφές**

Οι γλυφές Rundkarren μοιάζουν σαν μεγάλες σήραγγες που χωρίζονται με στρογγυλεμένες κορυφογραμμές και βρίσκονται κάτω από την επιφανειακή οργανική κάλυψη του εδάφους όπως στην άμμο των καλλιεργειών, την τύρφη ή άλλων χωμάτων ή κάτω από φυτοκάλυψη. Η στρογγυλευμένη υφή τους δημιουργείται από την επίδραση του νερού που δεν μπορεί να ρεύσει ελεύθερα και διαβρώνει έτσι όλες τις άκρες και τα σημεία αυτών των γλυφών. Το εύρος και βάθος τους είναι περίπου 50-500mm

### 3.12.3 Γλυφές με φυτική κάλυψη ή καλυμμένες γλυφές

Καλυμμένες γλυφές δημιουργούνται και αναπτύσσονται στο υπέδαφος, κάτω από ένα φυτόχωμα ή καλύπτονται από βλάστηση. Πάνω, στην επιφάνεια του εδάφους, απλώνονται τα βρυόφυτα όπου εκεί αποθηκεύεται εμπλουτισμένο νερό το οποίο με την επίδραση του CO<sub>2</sub> επιτίθεται και σχηματίζει τις γλυφές στην ύπαιθρο κάτω από την κάλυψη της βλάστησης. Στις κοιλότητες των γλυφών αυτών δημιουργούνται τα «μαξιλάρια» των φυτοχωμάτων, τα οποία αυξάνουν το μέγεθος των κοιλοτήτων. Επιφανειακά καλυμμένες γλυφες είναι οι εξής:

### 3.12.4 Οι δολίνες

Σαν αποτέλεσμα της εμβάθυνσης του ασβεστολιθικού εδάφους λόγω της διάλυσης, κατάρρευσης, κατακλυσμού, περιφερειακής καθίζησης και διεύρυνσης των ρωγμών ή σχιστών έχουμε την δημιουργία των δολινών.

Ο όρος «**δολίνη**» έχει τις ρίζες του στην Σέρβο-κροατική λέξη «dolina» που σημαίνει «κοιλάδα» και χρησιμοποιείται για τις κοιλάδες των ποταμών και τις καρστικές πόλγες ή το οποιαδήποτε κοίλωμα, ανοικτό και κλειστό. Στην διεθνή επιστημονική βιβλιογραφία τον όρο «δολίνη» πρώτος χρησιμοποιούσε ο Morlot (1848) για το κλειστό κυκλικό κοίλωμα και στην συνέχεια ο Cuvijić (1895) εισήγαγε τον ορό για τα κλειστά κυκλικά κοιλώματα του καρστικού τοπιού σε αντίθεση με τον τοπικό όρο vrtača.

Στην Ευρώπη η λέξη "**dolina**" χρησιμοποιείται ως μια κυρίως περιγραφική σημασία. Στην Βόρεια Αμερική η λέξη **sinkhole** έχει κυρίως "μορφογενετική" σημασία και χρησιμοποιείται συνήθως για την περιγραφή των κοιλωμάτων στα οποία τα ρεύματα του νερού βυθίζονται υπόγεια και στην Ευρώπη περιγράφονται από τον όρο «καταβόθρα» (ponor).

Στην παγκόσμια καρστική γεωμορφολογική ορολογία η λέξη δολίνη καλύπτει μια πολύ ευρεία έννοια η οποία για κάθε κατηγορία έχει την εξής σημασία:

- **Μορφολογικά χαρακτηριστικά δολινών:** κλειστό κυκλικό κοίλωμα με υπόγεια αποστράγγιση σε μια καρστική περιοχή. Το μέγεθος του κοιλώματος μετριέται σε μέτρα ή σε δεκάδες μέτρων. Συνήθως έχει χοανοειδή μορφή. Η διάμετρος των κοιλωμάτων των δολινών ποικίλλει μεταξύ μερικών λίγων μέτρων (m) και 1000m, με βάθος μέχρι 100m. Οι κλίσεις των τοιχωμάτων των δολινών κυμαίνονται από ήπιες έως κατακόρυφες ενώ το χαμηλότερο σημείο

τους είναι συχνά κοντά στο κέντρο τους αλλά μπορεί να είναι και κοντά στις πλευρές τους.

- **Υδρολογικά χαρακτηριστικά δολίνων:** Η αποστράγγιση παρέχεται μέσω των υπόγειων καναλιών που μπορούν να διευρυνθούν από την κατάρρευση βραχοσκεπών.

Ο Nicod (1967) ανακάλυψε ότι οι δολίνες σε ασβεστολιθικό πέτρωμα δεν συνεχονται σε μεγάλο βάθος αλλά οι δολίνες οι οποίες είναι κάτω από το χώμα συνεχίζουν ακόμα και σήμερα να αναπτύσσονται.

Το μέγεθος της δολίνης κυμαίνεται από το μικρό, μεσαίο, μεγάλο.

Οι δολίνες μπορούν να εμφανίζονται μεμονωμένες είτε να διαμορφώνονται σε επίπεδα πεδία δολινών. Στα καρστικά τοπία η αποστράγγιση των επίπεδων πεδίων των δολινών είναι υπόεδαφική.

### 3.12.5 Η ταξινόμηση των τύπων των δολινών

Οι δολίνες σπάνια ταξινομούνται με ένα συγκεκριμένο τρόπο. Υπάρχουν διαφορετικές απόψεις για τα χαρακτηριστικά τους και για την ταξινόμηση τους, όπως:

#### 1. Η λιθολογία

Βάσει της λιθολογίας οι δολίνες μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

- αλατούχες δολίνες,
- δολίνες ασβεστόλιθων οι οποίες είναι πιο συχνά εμφανείς.
- δολίνες γύψου,
- δολίνες δολομιτών.

Υπάρχουν επίσης και οι δολίνες επαφών δηλαδή οι σαν μερικές δολίνες που αναπτύσσονται στα σημεία επαφής μεταξύ ασβεστόλιθου και μη διαλυτού πετρώματος όπως ο βασάλτης. Σε κάποια γεωλογικά και κλιματολογικά περιβάλλοντα είναι, επίσης, δυνατό να εμφανιστούν οι δολίνες σε λιγότερο διαλυτά πετρώματα όπως οι χαλαζιακοί ψαμμίτες.



2. **Ο τύπος των γεωλογικών στρωμάτων** (η διεύθυνση, κλίση, πάχος) **και οι τεκτονικές παραμορφώσεις του εδάφους** (τον τύπο της ζώνης ρήγματος: σύνθλιψη, σπασμό, σχισμή, κατεύθυνση, βύθιση, κτλ.) .
- **«Στρωματοειδείς δολίνες» (Stratification doline)** αναπτύσσονται σε λεπτά γεωλογικά στρώματα τα οποία έχουν ήπιες κλίσεις των πλαγιών τους και εξελίσσονται από τη διάβρωση των σειρών των στρωμάτων. Εάν το στρώμα έχει οριζόντια κατεύθυνση τότε το σχήμα των δολινών είναι σχεδόν κυκλικό ή στενόμακρο, είναι μεγάλες και ρηχές με το βαθύτερο μέρος τους να βρίσκεται σχεδόν στη μέση του πυθμένα τους. Με την αύξηση της κλίσης του στρώματός τους διαμορφώνεται ανάλογα το σχήμα τους.
  - **«Διαρρηγμένες δολίνες» ή «δολίνες στις ζώνες διάρρηξης» (Fissure dolines, dolines in fissured zones)** υπάρχουν στις μέσο - πυκνές ζώνες διαρρήξεις. Η μορφή τους είναι πολύ ανώμαλη και προσαρμόζεται στις γεωλογικές δομές, επίσης είναι καλυμμένη με γλυφές. Το ασβεστολιθικό στρώμα τους έχει κλίση μέχρι  $20^\circ$  και επιμηκύνονται στην κατεύθυνση της βύθισης στρωμάτων ενώ έχουν περίπου την ίδια κλίση με αυτούς. Ο πυθμένας αυτών των δολινών είναι ρηχός με ένα ή περισσότερα χαμηλότερα σημεία.
  - **«Στρωματοειδείς διαρρηγμένες δολίνες» (Bedded-fissured dolines)** Οι ασβεστόλιθοι έχουν μέσο πάχος (από 10 έως 100 cm) και η κλίση των τοιχωμάτων τους κυμαίνονται από  $20^\circ$  σε  $60^\circ$ . Οι πυθμένες τους έχουν ανώμαλο σχήμα και οι κορυφογραμμές είναι ορθογώνια επιμηκυμένες, ενώ γενικά είναι σχετικά στενές και βαθιές. Τα χαμηλότερα σημεία των δολινών επιμηκύνονται προς την κλίση των στρωμάτων. Συχνά, στο κατώτατο σημείο των δολινών, απαντώνται βραχοσκεπές ή σπηλαιώσεις με διάφορα μεγέθη και αναπτυγμένες σύμφωνα με την κατεύθυνση του στρώματος.
  - **«Ρηξιγενείς δολίνες» ή «δολίνες στις ρηξιγενείς ζώνες» (Broken dolines, dolines in broken zones)** είναι πολύ μεγάλες και αναπτύσσονται κανονικά. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι κορυφογραμμές τους έχουν κυκλικό σχήμα και μπορεί να απλωθούν από την μια στην άλλη άκρη της σπασμένης ζώνης.

Στο ανώτερο τμήμα οι κλίσεις των τοιχωμάτων των δολινών είναι πιο απότομες και στο χαμηλότερο πιο ομαλές οπού οι κλίσεις είναι γενικά χωρίς προεξοχές ή γλυφές και εμφανίζονται κατά τόπος με βράχους ή είναι σχεδόν εξ ολοκλήρου καλυμμένες με κλαστικό υλικό. Το βάθος των δολινών εξαρτάται από την κάθετη κατεύθυνση του στρώματος μέσα στη σπασμένη ζώνη. Τα κατώτατα σημεία των δολινών είναι συνήθως επιμηκυμένα στην κατεύθυνση της ρηξιγενούς ζώνης.

- **«Δολίνες κοντά σε ρήγμα» (Near-fault dolines, dolines near the fault zone)** είναι οι δολίνες όπου σε μια πλευρά τους συνορεύει με ρήγμα. Σε περίπτωση που υπάρχει μόνο ένα ρήγμα σε μια μόνο πλευρά, τα τοιχώματα της δολίνης έχει απότομη κλίση όπου από κάτω είναι λίγο ή καθόλου κατακερματισμένη από το ρήγμα. Εάν έχουμε ζώνη ρηγμάτων των συνοδευμένων ρηγμάτων τότε έχουμε διαβαθμισμένο σχήμα των πλαγιών των δολινών. Μπορούμε να παρατηρήσουμε διάφορα απότομα ρήγματα με ενδιάμεσες επίπεδες προεξοχές. Οι λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι δεν παρουσιάζουν τέτοια δομή. Σε αυτή την περίπτωση οι πλαγίες των δολινών είναι απότομες και καλυμμένες με τα μικρότερα ή μεγαλύτερα σπασμένα κομμάτια του πετρώματος. Η κατεύθυνση της εξέλιξης αυτού του τύπου των δολινών συνήθως ακολουθεί την κατεύθυνση του ρήματος ή της ζώνης των ρηγμάτων. Ο πυθμένας, επίσης, κατευθύνεται κατά μήκος της ζώνης των ρηγμάτων και καλύπτεται συνήθως από ένα παχύ στρώμα του κλαστικού υλικού. Αυτός ο τύπος των δολινών τίθεται συχνά σε μια σειρά ενώ η κατεύθυνση και το πάχος των στρωμάτων έχουν δευτερεύουσα σημασία.
  
- **«Ρηγματογενείς δολίνες» ή «οι δολίνες στις ζώνες ρήματος» (Fault dolines, dolines in fault zones)** αναπτύχθηκαν εξ ολοκλήρου στην ζώνη των ρηγμάτων ακολουθώντας στη σειρά κατά μήκος την κατεύθυνση των ρηγμάτων. Το επίπεδο ρήγμα ή ζώνη των επίπεδων ρηγμάτων περιλαμβάνουν την ευρεία κομματιασμένη εσωτερική ζώνη όπου κατά συνέπεια το πέτρωμα είναι σπασμένο σε διαφορετικά μεγέθη και το βασικό στρώμα δεν είναι πλέον ορατό. Το χαρακτηριστικό αυτού του τύπου δολινών είναι ότι υπάρχουν ρηχές δολίνες με ομαλές κλίσεις και πολύ βαθιές δολίνες με απότομες κλίσεις, επίσης, τα ενδιάμεσα χάσματα μεταξύ των δολινών μπορεί να είναι πολύ

χαμηλωμένα ή ελαφρώς χαμηλωμένα σε σχέση με την περιβάλλουσα έκταση. Το εξωτερικό πλαίσιο των δολινών είναι ανώμαλο και το κατώτατο σημείο μπορεί να είναι είτε ανώμαλο είτε καλυμμένο από ένα παχύτερο στρώμα κλαστικού υλικού. Η μορφολογία και το βάθος των δολινών εξαρτάται από την δομή, και τον βαθμό του σπασίματος της εξωτερικής ζώνης ρηγμάτων, και τη μορφολογία και την κατεύθυνση των ρηγμάτων.

- **«Δολίνες γεωλογικής επαφής» (Contact dolines, dolines at geological contacts)** ή δολίνες που αναπτύσσονται στην επαφή δυο διαφορετικών γεωλογικών στρωμάτων είτε δυο ανθρακικών πετρωμάτων (ασβεστόλιθος με δολομίτη) ή ανθρακικά με μη-ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθος με φλύσχη). Σε σχέση με την επαφή των διαφορετικών στρωμάτων οι δολίνες μπορούν να είναι κανονικού τύπου και τύπου διάβρωσης, λόγω ρηγμάτων και όλων των ειδών των σπασμένων ζωνών (σχισμένες, σπασμένες, συντριμμένες).
  
- **«Δολίνες επαναλαμβανόμενες» (Reproduced dolines, repeated dolines; dolines reproduced from the base foot-wall)** χρειάζονται ειδικές συνθήκες για την αναπαραγωγή τους στο κατώτερο τμήμα του επίπεδου ρήγματος του ασβεστολιθικού πετρώματος. Στη βάση του υποβάθρου είναι απαραίτητη η ύπαρξη πετρωμάτων που καρστικοποιούνται όπως λ.χ. διαφορετικοί ασβεστόλιθοι, και στην συνέχεια, από πάνω τους τα αδιαπέραστα (που είναι τεκτονικά σπασμένα) ή κλαστικά πετρώματα όπου στην επιφάνεια τους δημιουργούνται οι δολίνες λόγω καρστικοποίησης. Στα χαμηλότερα στρώματα είναι απαραίτητη η ύπαρξη μικρότερης ή μεγαλύτερης καρστικής σπηλιάς για «να απορροφήσει» το υλικό από τα ανώτερα στρώματα. Τα ανώτερα στρώματα δεν πρέπει να είναι πάρα πολύ πυκνά ώστε να αποτρέψει την κατάρρευση και τη μεταφορά του υλικού. Το πάχος τους εξαρτάται από το μέγεθος και την ένταση καρστικοποίησης της βάσης και από το βαθμό σπασίματος το πετρώματος στο λιθολογικό χαρακτήρα των ανώτερων στρωμάτων.

### 3. Ο σχηματισμός της δολίνης ο οποίος αναφέρεται σε:

- αντικείμενα (κύπελλο, χοάνη, κοίλωμα),
- γεωμετρική μορφή της δολίνας (ημισφαιρική, κωνική, κυλινδρική)
- σχήμα του επιπέδου της εμφάνισης της δολίνας (πολυγωνικό, αστεροειδές διαμορφωμένο, ανώμαλο, κ.λπ.)

Στην καρστική γεωμορφολογία η ταξινόμηση των δολίνων σε σχέση με το εσωτερικό τους σχήμα ακολουθεί ακόμα και σήμερα την πρόταση του J. Cuvillier (1893):

- **Δισκοειδείς δολίνες:** πρόκειται για δισκοειδείς διαμορφωμένες δολίνες στις οποίες η ακτίνα τους είναι πολλές φορές μεγαλύτερη από το βάθος τους έτσι ώστε να έχουν μια σχέση με της μορφής 10:1, με μια κλίση των τοιχωμάτων τους από 10ο – 15ο. Ο πυθμένας τους είναι συνήθως επίπεδος και καλυμμένος με αδιάλυτα πετρώματα, όπως τα κοκκινοχώματα (terra rossa), τα ιζήματα του ψαμμίτη, του αλλούβιου, του παγετώδους ιζήματος ή ασβεστούχου πηλού. Εάν καλύπτεται από το υλικό των αποθέσεων των παγετώνων, η καρστικοποίηση συνεχίζεται στο ασβεστολιθικό πέτρωμα και κατόπιν αναπτύσσεται η καθίζηση της επιφάνειας - **οι δολίνες καθίζησης** (subsidence dolines). Αυτός ο τύπος των δολινών δημιουργείται και εξελίσσεται στους λίγο διαλυτούς ασβεστόλιθους όπως είναι οι δολομίτες ή στους ασβεστόλιθους (πχ. πυρόλιθοι). Επίσης είναι πιθανή και η πολύ-γενετική εμφάνισή τους. Οι δολίνες αυτού του τύπου εκκενώνονται και γρήγορα ή βαθμιαία καθιζάνουν προς τα κάτω μέσω των διαβρωμένων, διευρυμένων σωλήνων του βασικού διαλυτού ασβεστολιθικού πετρώματος του ενδοσωματικού καρστ.
- **Χοανοειδείς διαμορφωμένες δολίνες** είναι οι δολίνες στις οποίες η ακτίνα τους έχει περίπου παρόμοιο μέγεθος με το βάθος τους, προκύπτει έτσι μια σχέση της μορφής 1:1 στην περίπτωση της διαμέτρου και του βάθος. Έχουν τη μορφή χοανών, που είναι είτε συμμετρική είτε ασύμμετρη, με μια γωνία των τοιχωμάτων τους μεταξύ 30ο και 40ο. Αυτός ο τύπος των δολινών αποτελείται συνήθως από χαλαρό υλικό και εμφανίζεται στους πολύ καλά διαλυμένους, τεκτονικά ταραγμένους ασβεστόλιθους. Στα ασβεστολιθικά πετρώματα αυτών των δολινών παρατηρούνται συνήθως εξελιγμένες γλυφές

με ξηρό ανάγλυφο στο βάθος των οποίων συνήθως υπάρχει καταβόθρα (ponor), όπου εξαφανίζονται οι ροές του νερού.

- **Εγκατακρημησιγενείς δολίνες** (collapse dolines) είναι διαμορφωμένες με μορφή φρεατίου και η διάμετρός τους σε σχέση με το βάθος είναι ισορροπημένη 1:1 ή τις περισσότερες φορές μικρότερη από το βάθος τους. Ο συγκεκριμένος τύπος των δολινών δημιουργείται στις τομές δυο ή περισσότερων καθέτων ή υπό-καθέτων ρηγμάτων. Έχουν σχεδόν καθέτους τοίχους και σχετικά επίπεδο έδαφος του πυθμένα. Ο τύπος αυτός προκύπτει από την κατάρρευση της οροφής ή από μια διαδικασία διάλυσης, εάν η οικοδόμηση των στρωμάτων είναι ακριβώς κάθετη. Στο καρστικό τοπίο, που υπάρχουν οι δολίνες κατάρρευσης, συνήθως στο υπόγειο τους παρατηρείται το σύστημα των σπηλιών επίσης αυτές οι δολίνες αποτελούν την μορφική μετάβαση προς την υπόγεια καρστική γεωμορφή - jama. Οι κατευθύνσεις των καταρρεύσεων μπορεί να ακολουθήσουν επίσης τις υπόγειες διαδρομές που κατευθύνονται κάθετα στο βάθος. Ακόμα, υπάρχει περίπτωση κατάρρευσης της οροφής της σπηλιάς απορροφώντας προς τα κάτω τον πυθμένα της δολίνης με τον όποιο γεμίζονται τα κενά της ίδιας, και εξελίσσονται με την διάβρωση. Σύμφωνα με την άποψη σπηλαιολόγων, αυτές οι μορφές μπορούν να ονομαστούν και "άστεγες σπηλιές" (Mihevc, 2001). Με αυτό το τρόπο δημιουργούνται ανοίγματα τα οποία ονομάζονται "καρστικά παράθυρα" μεταξύ του υπόγειου και του εξωτερικού περιβάλλοντος ή **δολίνες διατομής** (inception doline).

#### 4. Τα υδρολογικά χαρακτηριστικά της δολίνης,

Η βροχή και το χιόνι είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες που συντελούν στην διάβρωση. Η εμβάθυνση των δολινών πραγματοποιείται λόγω της διεύρυνσης και βύθισης των ρωγμών ή σχισμών του βασικού πετρώματος ή φραγμών και εδαφολογικών σχηματισμών. Κατά την διάρκεια της εξέλιξης των δολινών μέσω διαβρωμένων ρωγμών ξεπλένεται και το λεπτό υλικό, όπως η άμμος και οι πέτρες. Η υπόγεια εξαφάνιση του νερού γίνεται στα σημεία στα οποία τα τοιχώματα των δολινών ή των μεγαλύτερων καρστικών κοιλοτήτων (ουβάλα, πόλγες) βυθίζονται και ονομάζονται **καταβόθρες** (ponor, sinking river, sinking stream).

- **Οι λιμνό-δολίνες** είναι καρστικές λίμνες, ή κλειστές κοιλάτητες ή δολίνες που υπάρχουν σε ένα στεγανό στρώμα όπως στα κοκκινοχώματα. Οι πυθμένες αυτών των αδιάλυτων ιζημάτων συνήθως είναι ασβεστολιθικοί. Ο όρος «λιμνό δολίνες» υπονοεί ότι η δολίνη είναι κοντά στο υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.

Οι τύποι των δολινών οι οποίοι διαμορφώνονται όταν διαλύεται ο ασβεστόλιθος που είναι στην επιφάνεια ή κάτω από το στρώμα χώματος το οποίο καλύπτει μικρές ή διάπλατες ρωγμές του ασβεστολιθικού πετρώματος είναι:

- **Διαλυσιγενείς δολίνες ή "κανονικές" ή δολίνες διάλυσης (solution dolines)** είναι οι δολίνες που σχηματίζονται με επιταχυνόμενη χημική διάβρωση - διάλυση και διεύρυνση υπεδαφών γλυφών του βασικού πετρώματος αυξάνοντας τη διαπερατότητα τους. Το νερό της αποστράγγισης συγκεντρώνεται στα βαθύτερα σημεία αυτών των δολινών που επιταχύνει τη διαδικασία διάλυσης και διεύρυνσης πιο πολύ σε σχέση με τα περιφερειακά σημεία. Η μεγαλύτερη μάζα του πετρώματος των δολινών αφαιρείται πιο πολύ από τα κέντρα σημεία τους σε σχέση με τα περιφερικά σημεία τους, με αποτέλεσμα την διάνοιξη με δίκτυο των υπόγειων νερών. Σε «υγρή περίοδο» το ρηχό υπό-εδαφικό σύστημα των δολινών είναι διαποτισμένο με νερό.

##### 5. **Οι καλυμμένες δολίνες (Coverd dolines)**

Οι αποκαλούμενες "αλλούβιακές δολίνες" διαμορφώνονται σαν συνέπεια της απορρόφησης των μη σταθεροποιημένων κλαστικών ιζημάτων ανάμεσα σε κοιλάτητες και σωλήνες που αναπτύχθηκαν σε βασικό διαλυτό ασβεστολιθικό πέτρωμα του ενδοσωματικού καρστ. Κατά συνέπεια οι αλλουβιακές δολίνες αποτελούν ένα ενδιάμεσο τύπο μεταξύ των δολινών διάλυσης και των δολινών καθίζησης

##### 6. **Οι ανθρωπογενείς δολίνες (anthropogenic dolines).**

Εάν η διάκριση είναι βασισμένη στην κλειστή μορφή κοιλοτήτων ή/και στη λειτουργία της μορφής τότε μερικές αντίστοιχες τεχνητές μορφές μπορούν επίσης να θεωρηθούν ως δολίνες. Σαν παράδειγμα έχουμε τους κρατήρες των βομβών, μερικά

λατομεία ή σπασμένα πετρώματα. Επίσης με την εκμετάλλευση του υδροφόρου στρώματος του καρστ χαμηλώνει η στάθμη του υπογείου νερού και με την κατάρρευση των σκεπών τους δημιουργούνται οι δολίνες. Επίσης, λόγω των σεισμικών μετακινήσεων ενεργοποιούνται κατά μήκος κάποια «sink» δημιουργώντας τις χροανοειδείς σεισμικές δολίνες.

### **7. Δολίνες με βάση το κλιματικό περιβάλλον που αναπτύσσονται**

Οι δολίνες μπορούν να διακριθούν επίσης βάσει του κλιματολογικού περιβάλλοντος στο οποίο διαμορφώνονται:

- οι τροπικές δολίνες οι οποίες απαντώνται σε σχήμα αστεριού ή σε πολυγωνικό σχήμα,
- οι δολίνες οι οποίες παρατηρούνται συνήθως στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη και έχουν κυκλικό σχήμα,
- cenotes, ή "δολίνες του σταθερού νερού" που είναι χαρακτηριστικές των τροπικών περιοχών, και οι μπλε λακκούβες ή υποβρύχιες δολίνες.

#### **3.12.6 Οι ουβάλες**

Από γεωμορφολογικής άποψης, οι ουβάλες είναι ξεχωριστός σχηματισμός του επιφανειακού καρστικού ανάγλυφου. Οι ουβάλες είναι μεγάλα βυθίσματα με περίπλοκο σχήμα και περίγραμμα.

Το μήκος και το πλάτος των ουβαλών εκτείνεται από μερικές δεκάδες μέτρα μέχρι χιλιόμετρα, ενώ οι διαστάσεις του βάθους τους είναι από μερικές δεκάδες μετρά μέχρι εκατό μετρά. Οι μεγαλύτεροι άξονες των ουβαλών είναι συνήθως παράλληλοι με τις κατευθύνσεις των στρωμάτων τους και πολύ σπάνια έχουν σχέση με τις κατευθύνσεις των γλυφών τους.

Οι ουβάλες εξελικτικά υποδηλώνουν ένα μεταβατικό στάδιο ανάμεσα στις δολίνες και τις πόλγες. Το σχήμα τους διαμορφώνεται με την ένωση των δολινών. Στον πυθμένα των ουβαλών μπορεί να υπάρχουν και χαμηλά κερατοειδούς μορφή βουνά τα οποία είναι σχηματισμένα από το βασικό ασβεστολιθικό πέτρωμα. Αυτά τα κερατοειδούς μορφής βουνά σχηματίζονται λόγω της μείωσης του χάσματος που υπήρχε στις χωρισμένες δολίνες. Καθώς τα χωρίσματα των δολινών διαβρώνονται, μειώνεται το ύψος τους ενώ οι πυθμένες των διαφόρων δολινών οι οποίοι τώρα είναι

κοινοί, έχουν συνήθως κυματοειδές σχήμα (πολλές μικρές δολίνες) ενώ λίγες φορές είναι επίπεδοι. Ο πυθμένας αυτός καλύπτεται από κοκκινοχώματα με πάχος κάποιες δεκάδες εκατοστά.

Ουβάλες πολύ συχνά συναντούμε στους πυθμένες των ξηρών κοιλάδων των ποταμών του καρστ. Με την ροή του νερού στους πυθμένες των καρστικών κοιλάδων ξεκινά η διάβρωση προς σχηματισμό δολινών και στην συνέχεια η διάβρωση αυτή εξαπλώνεται προς τα χωρίσματα ανάμεσα στις σχηματισμένες δολίνες. Επίσης έχουμε την δημιουργία ουβαλών και στις τυφλές ποτάμιες κοιλάδες του καρστ. Όταν η ροή η οποία έχει δημιουργήσει την τυφλή κοιλάδα αρχίζει πάλι, στην αρχή αυτής της κοιλάδας, να κατευθύνεται υπόγεια, τότε δημιουργείται ένα ξηρό κλειστό κοίλωμα που έχει τις διαστάσεις και το σχήμα της ουβάλας. Αυτό το βύθισμα με την πάροδο του καιρού παρουσιάζει μεγέθυνση στις διαστάσεις του.

### 3.12.7 Οι πόλγες

Οι καρστικές πόλγες είναι μεγάλες τοπικές κοιλότητες που βρίσκονται στις καρστικές περιοχές. Ο ορός πόλγη (polje) έχει Σέρβο-Κροατικές ρίζες και έχει το ίδιο νόημα όπως και στην διεθνή καρστική γεωμορφολογική βιβλιογραφία.

Η γένεση των καρστικών πολγών δεν είναι αποτέλεσμα της καρστικής εξέλιξης ή χημικής διάβρωσης διότι η εξέλιξή τους απαιτεί τις περίπλοκες και μακροχρόνιες διαδικασίες που ακολουθούν τη δημιουργία των πολύ-γενετικών και πολυμορφικών μορφών.

Ένας από τους συνηθισμένους ορισμούς της πόλγης είναι: "οι πόλγες είναι μεγάλες κλειστές λεκάνες του καρστ με επίπεδο πυθμένα, με απότομες κλίσεις στις πλαγιές τους και με αποστράγγιση των επιφανειακών νερών "

Οι πόλγες είναι ευρείες, επιμηκυμένες και κλειστές ή μισόκλειστες καρστικές μορφές και η ύπαρξή τους συνήθως οφείλεται στην ενδογενή δυναμική. Στους πυθμένες των πολγών υπάρχουν χώματα από την διάλυση των πολύ απότομων πλαγιών τους. Το μήκος και το πλάτος τους μπορεί να φτάσει τις δεκάδες χιλιόμετρα και το βάθος τους μέχρι δεκάδες μέτρα.

Ο ομαλός πυθμένας των πολγών μπορεί να είναι σχηματισμένος από τους ασβεστόλιθους, το κλαστικό υλικό (μη-πλημμυρισμένο) ή από διπλά στρώματα, που έχουν ως βάση τον ασβεστόλιθο, και ως υπερκείμενα στρώματα που προέρχονται από την συσσωρευμένη κάλυψη των πλαγιών τους και τα οποία προσδίνουν στον πυθμένα



τη επίπεδη εμφάνιση του. Το πάχος του συσσωρευμένου υλικού του πυθμένα ποικίλλει από μηδέν μέχρι εκατοντάδες μετρά. Η προέλευση του κλαστικού υλικού στους πυθμένες των πολγών είναι διαφορετική κάθε φορά. Στην επιφάνεια μπορεί να υπάρχουν κοκκινοχώματα, με πλάτος στρώσης που φτάνει τα μερικά δεκάμετρα. Στα όρια των πολγών, στους πρόποδες των αποτόμων πλαγιών τους μπορούμε να παρατηρήσουμε διασκορπισμένα κολλουβιακά ιζήματα, φτωχά μετάλλευμα, υπολείμματα, κλαστικά υλικά και σπάνια κατάπτωση πετρωμάτων των ιδίων πλαγιών. Επίσης, εάν ο ποταμός, σε όλο το μήκος του ή μονό σε κάποιο τμήμα του, ρέει στην επιφάνεια του πυθμένα, στην κοίτη του ποταμού και στο ρηχό πυθμένα της κοιλάδας του, θα έχουμε συσσώρευση των ποταμίων ιζημάτων. Το μεγαλύτερο ποσοστό του κλαστικού υλικού στους πυθμένες των καρστικών πολγών έχει λιμναία προέλευση.

Οι πόλγες στο παρελθόν τους, πριν την επιτακτική καρστικοποίηση τους, μέχρι να ανοίξουν οι καταβόθρες, αποτελούσαν κλειστά κοιλώματα υπό συνθήκες λιμνών. Το ποσοστό και το πάχος του κλαστικού υλικού αυξάνεται με το περιοδικό τεκτονικό βύθισμα της κοιλότητας της πόλγης που προκαλεί ενδυναμωμένη συσσώρευση της ίδιας. Σε κάποιες καρστικές πόλγες, παρατηρείται σήμερα, εκμετάλλευση του κλαστικού υλικού όπως του κάρβουνου, το οποίο έχει δημιουργηθεί στις αναβαθμίδες του κάποτε λιμναίου περιβάλλοντος. Με την αλλαγή του κλίματος της παγετώδους εποχής, στις υψηλότερες πόλγες, με υψόμετρο επάνω από τη στάθμη της θάλασσας, ρέουν πλούσιες ποσότητες νερού που έχουν δημιουργηθεί από την τήξη των παγετώνων. Αυτά τα νερά μεταφέρουν τις μεγάλες ποσότητες των αποθέσεων του παγετώνα που συσσωρεύονται στον πυθμένα των κοιλωμάτων. Το παγετώδες-λιμναίο υλικό έχει δέκα-μετρικό πάχος με την χαρακτηριστική ρυθμική αλλαγή του υψηλού και ογκώδους υλικού των αποθέσεων. Αυτές τις αποθέσεις εκμεταλλεύονται σαν οικοδομικό υλικό. Στους πυθμένες κάποιων πολγών υπάρχουν και σήμερα παγετώδη-λιμναία ριπίδια.

Οι κατευθύνσεις των πολγών ακολουθούν καθ όλη την έκταση τους, τις τοπικές κατευθύνσεις των κύριων ρηγμάτων, των στρωμάτων και τους άξονες των πτυχών και των μπλοκ.

Ο πυθμένας και οι πλαγιές των πολγών είναι επιτακτικά καρστικοποιημένοι και παρατηρείται η εξέλιξη των διαφορετικών τύπων των γλυφών, των δολινών και των ουβαλών. Στο κέντρο των πυθμένων των πολγών μπορούν να υπάρχουν και απομονωμένα βουναλάκια τα οποία αποκαλούνται χουμ (hum). Επίσης, πολύ συχνά

έχουμε και ύπαρξη καταβοθρών, οι οποίες είτε είναι ανοιχτές και η κυκλοφορία του νερού γίνεται υπόγεια είτε είναι φραγμένες και έτσι το νερό δεν διαπερνά στο βάθος το πυθμένα των πολγών, διαμορφώνοντας έτσι λίμνες.

### 3.12.8 Οι γεωμορφολογική παράγοντες της πόλγης

Οι κυρίοι παράγοντες που επηρεάζουν και ελέγχουν την εξέλιξη των καρστικών πολών είναι:

1. **η ενεργή τεκτονική:** ύπαρξη ρηγμάτων, επαφή των ρηγμάτων, πεδίο ρηγμάτων, πιθανώς αδιαπέρατες περιοχές και ποικιλία των επιφανειακών και υπογείων καρστικών μορφών, ιδιαίτερα η κίνηση των εγκάρσιων ρηγμάτων και των παραγόντων της ανάπτυξης του δικτύου των υπόγειων νερών.

Το τεκτονικό βύθισμα των πολγών έχει αρχίσει πριν από την επιτακτική καρστική εξέλιξη ενώ συνεχίστηκε με πολύ αργό ρυθμό στο μικρό γεωλογικό παρελθόν και εξακολουθεί μέχρι και σήμερα. Σαν αποτέλεσμα της ενεργής εμβάθυνσης του κατώτατου σημείου της πόλγης, κάτω από τις αλλουβιακές ή κολλουβιακές αποθέσεις, είναι η δημιουργία αναβαθμίδων του επίπεδου της διάβρωσης.

Σε μερικές μεγάλες πόλγες, η υδρογεωλογική εξέλιξη ακολουθεί την νεοτεκτονική δραστηριότητα, ιδιαίτερα με τα εκτεινόμενα ή/και τα οριζόντια ρήγματα.

Σπάνια παρατηρούμε ότι έχει χαμηλώσει το κοίλωμα στα σημεία συνάντησης των πυθμένων με τις πλαγιές των καρστικών πολγών, εκεί δηλαδή όπου έχουμε τοπικά ρήγματα ή σύστημα ρηγμάτων. Στις περισσότερες πόλγες τα οριακά ρήγματα των πυθμένων τους δεν υπάρχουν. Η ταξινόμηση των πολγών σε σχέση με την εξέλιξη των διαφορετικών λεκανών είναι η εξής:

- **Τεκτογενείς πόλγες:** Οι πόλγες ήταν εκτεθειμένες στην πλευρική διάβρωση και καρστικοποίηση, όπου από την επίδραση της δευτερεύουσας διάβρωσης οι διακλάσεις και τα ρήγματα που ήταν αρχικά παρόντα στις άκρες του πυθμένα κινηθήκαν εντούτοις προς το κέντρο.
- **Πόλγες ενδο-ορεινές πόλγες:** εξελίσσονται στις παλαιές επιφάνειες διάβρωσης σαν συνέπεια της αποσυρόμενης διάβρωσης και οδηγούν στη καρστικοποίηση του τοπίου.
- **Πόλγες τροπικών περιοχών** ή επίσης των περιοχών των μουσώνων: είναι λεκάνες που εξελίσσονται σαν συνέπεια της ανάπτυξης και ένωσης των

πυθμένων του cockpit karst δολίνων. Η υψηλή βροχόπτωση προκαλεί μεγάλη προσφορά νερού η οποία σε συνδυασμό με το CO<sub>2</sub> που δημιουργείται από την πλούσια βλάστηση, προκαλεί την διάβρωση του εδάφους με «κωνικό καρστ». Το καρστικό τοπίο αναπτύσσεται σε σχήμα κώνου. Οι μεικτοί ασβεστόλιθοι που υπάρχουν και είναι έντονα ξεπλυμένοι, έχουν ως αποτέλεσμα μη διαλυτά μέρη των λεκανών να εμφανίζονται στην επιφάνεια. Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται και ακραία πλευρική διάβρωση.

## 2. Πρόσφατη και παρούσα υδρολογία

Από υδρολογικής άποψης οι πόλγες μπορούν να είναι ξηρές, περιοδικώς πλημμυρισμένες ή συνεχώς πλημμυρισμένες. Τα υδρολογικά χαρακτηριστικά των πολγών εξαρτώνται από τη στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Αν ο υδροφόρος ορίζοντας είναι πολύ βαθιά, κάτω από την επιφάνεια του πυθμένα της πόλγης τότε η πόλγη είναι συνεχώς ξηρή. Ο υδροφόρος ορίζοντας, ο οποίος συνεχώς κυμαίνεται κοντά στην επιφάνεια του πυθμένα της πόλγης δημιουργεί περιοδικές πλημμύρες στις πόλγες. Στις υδρολογικά ενεργές πόλγες παρατηρείται:

- εισροή από τις πηγές ή τους παραποτάμους,
- ελικοειδές ρεύμα στα κατώτατα σημεία τους,
- εκροή του νερού από τις καταβόθρες
- εσταβέλες που είναι μεγάλες οπές - πηγές στους ασβεστόλιθους από τις οποίες εκτοξεύεται ή σταματά το νερό κατά εναλλαγή του πιεζομετρικού επιπέδου του υπογείου νερού,
- υπερχείλιση του πυθμένα, ή τμήματος του πυθμένα, από την υπερβολική συνεχή εισροή ή την περιοδική εκροή των καταβοθρών ή σε κάποια περίπτωση από την θετική λειτουργία των εσταβέλων,
- εποχιακές-περιοδικές λίμνες και έλη, μόνιμες λίμνες, ιδιαίτερα στην παράκτιες περιοχές, σύμφωνα με την στάθμη της θάλασσας.
- το βασικό επίπεδο της πόλγης που είναι ελεγχόμενο από τον υδροφόρο ορίζοντα στη κατώτερη μονάδα της καρστικής πόλγης, και οι διακυμάνσεις

του είναι μια λειτουργία που εξαρτάται από τις εποχιακές κλιματολογικές συνθήκες.

- αν η πόλγη είναι κοντά στην ακτή, το βασικό επίπεδό της εξαρτάται κυρίως από τη στάθμη της θάλασσας. Στο παρελθόν, λόγω των συχνών αλλαγών των μορφοκλιματικών γεγονότων και των εναλλαγών της στάθμης της θάλασσας, παρατηρήθηκε επίσης αναβαθμίδικη εξέλιξη του επιπέδου της διάβρωσης.

Σχετικά με τα παραπάνω υδρολογικά χαρακτηριστικά μπορούμε να πούμε ότι υπάρχουν:

- **Λιμνογενείς πόλγες:** πόλγες που έχουν δημιουργηθεί από την λιμναία εξέλιξη.
- **Φραγματογενείς πόλγες:** για μικρό χρονικό διάστημα, συνήθως στην περίοδο της άνοιξης, η στάθμη της περιοδικής λίμνης της πόλγης ανεβαίνει και έτσι χύνεται το νερό. Αργότερα, η στάθμη κατεβαίνει είτε ολοκληρωτικά ή στο μεγαλύτερο μέρος της.
- **Ποταμογενείς πόλγες:** το υπόγειο νερό μιας σπηλιάς αυξάνεται ή ανέρχεται προς την επιφάνεια της πόλγης, όπου εκεί ρέει μέχρι πάλι να εξαφανιστεί υπόγεια σε κάποια άλλη σπηλιά.
- **Εισαγωγενείς πόλγες:** είτε το νερό εισρέει στη λίμνη είτε ένας ποταμός εξαφανίζεται σε μια λίμνη.
- **Υπερχειλίζουσες πόλγες:** το νερό εμφανίζεται σε μια καρστική πηγή, ρέει στην επιφάνεια του πυθμένα της πόλγης και λόγω της διαπερατότητας ή ημι-διαπερατότητας των πετρωμάτων του πυθμένα της πόλγης η εκροή του νερού εξαφανίζεται πάλι σε μια καταβόθρα ή σε μια από τις σπηλιές της πόλγης.

Η ταξινόμηση των πολγών των Ford και Williams (1989) βασίζεται σε γεωμορφολογικά και υδροδυναμικά χαρακτηριστικά και είναι:

- «Πόλγες ορίων ή επαφής» ή «border polje», είναι οι πόλγες που βρίσκονται στις μεταβατικές περιοχές μεταξύ των καρστικών και μη-καρστικών

πετρωμάτων. Η επαναφόρτιση νερού γίνεται μέσω του συστήματος των επιφανειακών απορροών και καταβόθρων.

- «Δομικές πόλγες» ή «structural rolje», στο πυθμένα τους υπάρχουν τα αδιαπέρατα πετρώματα που ενεργούν ως φράγμα αναγκάζοντας τα επιφανειακά και υπόγεια νερά να ρέουν επιφανειακά και ο υδροφόρος ορίζοντάς τους να είναι κοντά στην επιφάνεια λόγω της χαμηλής διαπερατότητας του περικλειστού εδάφους. Εάν αυτές οι δομικές πόλγες είναι τοποθετημένες στους πρόποδες των ψηλών βουνών, και το πάχος του κολλουβιακού ή του αλλουβιακού καλύμματος που πληρώνουν τον πυθμένα τους είναι αρκετά μεγάλο ονομάζονται «riedmont rolje». Το νερό ρέει επιφανειακά προς την άλλη πλευρά των πολγών εισρέοντας στο βάθος μέσω καταβοθρών, κτλ.. Εάν οι πρόποδες των βουνών είναι χαμηλοί με μικρή κλίση και το πάχος του κολλουβιακού και αλλουβιακού καλύμματος που γεμίζει τον πυθμένα αυτών των πολγών είναι λεπτό ονομάζονται περιφερειακές πόλγες (Peripheral rolje). Σε αυτή την περίπτωση, τα πετρώματα νεότερης ηλικίας είναι σαν κάλυμμα του αδιαπέρατου πυθμένα όπου τα πετρώματα του αποτελούνται εξ ολοκλήρου από καρστικά πετρώματα (inlier) που το νερό ρέει φυγοκεντρικά του «inlier» προς την περιφέρεια της πόλγης μεγαλώνοντας τη υδροστατική κλίση εισρέοντας προς το βάθος μέσω καταβοθρών, κτλ...
- «Επίπεδο βάσης» πόλγες ή «base-level rolje». Οι πόλγες των οποίων οι πυθμένες τους είναι εξ ολοκλήρου στα καρστικά πετρώματα και το υπόγειο νερό του υδροφόρου ορίζοντα τους ανεβαίνει κατά τη διάρκεια μεγάλων βροχοπτώσεων ως συνέπεια να πλημμυρίζει επιφάνειά τους.

3. Η χημική διάλυση, η διάβρωση και η συσσώρευση του διαβρωμένου υλικού. Οι μικρές πόλγες έχουν εξελιχθεί με την διάβρωση/ταπείνωση των υψωμένων χωρισμάτων ανάμεσα στις κοντινές ουβάλες. Επίσης, οι τυφλές κοιλάδες αποτελούν τη βάση για το αρχικό στάδιο της εξέλιξης των πολγών που συνήθως εξελίσσονται σε υπορειακές πόλγες.

4. Οι μόρφο-κλιματικές συνθήκες. Οι περισσότερες πόλγες είναι διαμορφωμένες σε προ-πλειστοκαινικές περιόδους και αναπτύσσονται αρχικά στις συνθήκες του

τροπικού καρστ. Αυτές οι πόλγες έχουν γεμίσει με διάφορες αποθέσεις που αποτελούνται από λιθωνικό, κρυσταλλικό ή και εύφορο έδαφος και από τα φερριτικά χρώματα των κοντινών πλαγιών σύμφωνα με τα επεισόδια των μορφολογικών αλλαγών ή από μεταφερόμενο και συσσωρευμένο υλικό του υποτελούς ρεύματος. Σε μερικές περιπτώσεις, οι αλλογενείς πυριτικές αποθέσεις μπορούν να γεμίσουν το κατώτατο σημείο των πολγών και να διαδραματίσουν έτσι σημαντικό ρόλο στις διαδικασίες της κρυπτό-διάβρωσης.

Πόλγες των τροπικών περιοχών ή επίσης των περιοχών του μουσώνα: είναι λεκάνες που εξελίσσονται σαν συνέπεια της ανάπτυξης και ένωσης των πυθμένων του cockpit karst δολίνων. Η υψηλή βροχόπτωση προκαλεί μεγάλη προσφορά νερού η οποία σε συνδυασμό με το CO<sub>2</sub>, δημιουργεί πλούσια βλάστηση, που προκαλεί την διάβρωση του εδάφους. Το καρστικό τοπίο αναπτύσσεται σε σχήμα κώνου. Οι μεικτοί ασβεστόλιθοι που υπάρχουν και είναι έντονα ξεπλυμένοι, έχουν ως αποτέλεσμα τα μη διαλυτά μέρη των λεκανών να εμφανίζονται στην επιφάνεια. Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται και ακραία πλευρική διάβρωση.

### **3.13 Οι επιφανειακές καρστικές μορφές και η υδρολογική λειτουργία τους**

Στις καρστικές συνθήκες έχουμε επικράτηση μόνο των μεγαλύτερων απορροών με μεγάλη κινητική ενέργεια. Οι περισσότερες επιφανειακές απορροές του καρστ είναι αλλογενείς (allogenic) απορροές που εξελιχθήκαν στα αδιάλυτα πετρώματα και συνεχίστηκαν στο καρστικό ανάγλυφο. Σπανίζουν οι ποταμοί που πηγάζουν και ρέουν σε όλο το μήκος τους πάνω στο καρστικό ανάγλυφο.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της ποτάμιας διάβρωσης είναι:

- η επίδραση της κινητικής ενεργείας της ροής,
- η χημική διάλυση και εξέλιξη η οποία δημιουργεί σημαντικές αλλαγές.

Στις μορφές της ποτάμιας διάβρωσης του καρστικού ανάγλυφου υπάρχουν αλλαγές σε όλα τα στοιχεία των ποτάμιων κοιλάδων τους: στις πηγές, στην εγκάρσια τομή και στη επιμήκη τομή των κοιλάδων καθώς και στο σύστημα αποστράγγισης σε ολόκληρη την περιοχή τους.

### 3.13.1 Καρστικές πηγές

Οι πηγές στις καρστικές περιοχές εμφανίζονται διασκορπισμένες. Οι καρστικές πηγές υπάρχουν:

- στους πυθμένες των βαθέων σχηματισμένων κοιλάδων
- στις βάσεις των πλαγιών των βουνών,
- στα όρια των καρστικών πολγών ή
- στα σημεία όπου τα ρήγματα ή οι ρωγμές φτάνουν στο βάθος του υπεδάφους μέχρι τις δυνατές και συνεχείς υπόγειες ροές.

Οι εκβαθύνσεις των καρστικών πηγαδιών είναι χωνοειδώς σχηματισμένες και κατευθύνονται με το ρεύμα του νερού (προς τα κάτω - με το νομό της βαρύτητας) σταδιακά στενεύοντας και βαθαινόντας στις εκβαθύνσεις τους. Αυτές οι ροές διαπερνούν το υπόβαθρο όπου ρέουν ελεγχόμενες με τις μηχανικές ασυνέχειες, συλλέγοντας τα νερά τους σε μια ροή. Αυτή η ροή πηγάζει στην επιφάνεια ως ήδη διαμορφωμένη ροή συνήθως από τα σπηλαία που είναι δημιουργημένα διαμέσω του μήκους του μεγαλύτερου ρήγματος. Η ροή βγαίνει στην καρστική επιφάνεια με τη μορφή ημικυκλικών βυθισμάτων με ανοίγματα στην μια πλευρά και με πότομες μέχρι και κάθετες πλαγιές. Στις εξόδους τους κάποιες από τις ροές επίσης δημιουργούν και μικρές λιμνούλες.

### 3.13.2 Καρστικές κοιλάδες

Το κύριο χαρακτηριστικό του εγκάρσιου προφίλ των καρστικών κοιλάδων είναι οι απότομες πλαγιές των κοιλάδων και ο σχηματισμός κλεισουργών και φαραγγιών.

Με την επιρροή και την επίδραση της μηχανικής διάβρωσης και της χημικής διάλυσης της ροής του νερού έχουμε βάθυνση των κοιλάδων όπου οι πλαγιές τους γίνονται περισσότερο απότομες. Λόγω της διάβρωσης των πλαγιών των κοιλάδων δημιουργούνται περισσότερο απότομες κλίσεις. Η βροχόπτωση και το χιόνι κυρίως διαπερνούν στο εσωτερικό της μάζας του πετρώματος. Στην σταδιακή εξέλιξη της καρστικής επιφάνειας έχουμε τη δημιουργία των δολινών στην επαφή μεταξύ ασβεστόλιθου και μη ασβεστολιθικού πετρώματος και στην συνέχεια την εξέλιξη μιας κοιλάδας μέσω της εξέλιξη των δολινών.

Στα ασβεστολιθικά πετρώματα οι τεκτονικές κινήσεις συμμετέχουν στη διαμόρφωση των κλεισούρων και φαράγγιων. Οι ασβεστολιθικές μάζες αντιπροσωπεύουν τα χωρίσματα ανάμεσα στις τεκτονικές εκβαθύνσεις και στα ευρύχωρα λεκανοπέδια. Αυτές οι τεκτονικές εκβαθύνσεις συνεχίζουν το βύθισμα τους. Αυτό σημαίνει ότι τα ασβεστολιθικά χωρίσματα υψώνονται ανάμεσά τους και οι ποταμοί διαβρώνουν έντονα η και κατά βάθος (antecedence = προ-γενετικός ποταμός, προγενετική κοιλάδα) διαμορφώνοντας με αυτό το τρόπο κλεισούρες, φαράγγια.

Το κύριο χαρακτηριστικό του επίμηκους προφίλ των καρστικών κοιλάδων είναι η ύπαρξη των πολλών ραγισμάτων, των ρωγμών και των ρηγμάτων από τα οποία διαπερνά ένα ποσοστό του νερού μειώνοντας με αυτό τον τρόπο την κινητική ενέργεια της ροής του και κατά επέκταση την διάβρωση.

Οι τύποι των κοιλάδων και η εξέλιξη των κυρίων μορφών τους σχετικά με τα στάδια εξέλιξης και του επίμηκους προφίλ τους είναι στην συνέχεια:

➤ **«Κρεμαστή κοιλάδα (κρεμαστή)» (hanging valley)**

Όταν η μείωση της κινητικής ενεργείας και της κάθετης διάβρωσης λόγω της υπόγειας διαπέρασης και απώλειας του νερού προκαλεί την μείωση της ταχύτητας ροής του νερού, τότε η ροή του παραπόταμου στο σημείο ενώσεις με μια κύρια κοιλάδα δεν μπορεί πλέον να ακολουθεί την ένταση της κατά βάθος διάβρωσης και στο στόμιό της δημιουργεί μια απότομη πτώση, μικρούς ή μεγάλους καταρράκτες μέσω των οποίων συνδέεται με την κύρια ροή. Το επίμηκες προφίλ αυτής της ροής του ποταμού στο καρστ ονομάζεται «κρεμασμένη κοιλάδα».

Οι κρεμαστές κοιλάδες που συνήθως σχηματίζονται σε σχήμα U, προκύπτουν από ένα παραπόταμο παγετώνα που έχει εισρεύσει σε κύριο παγετώνα του μεγαλύτερου όγκου. Ο

παγετώνας κύριας κοιλάδας διαβρώθηκε σε μια βαθειά κοιλάδα σχήματος U με σχεδόν κάθετες πλευρές, ενώ ο παραποτάμιος παγετώνας, με μικρότερο όγκο πάγου, διαμόρφωσε μια ρηχή κοιλάδα σε σχήμα U.

➤ **Καταβόθρα (ponor)**



Στο επίμηκες προφίλ της κοιλάδας της προαναφερόμενης ροής το νερό διαπερνά τα ρήγματα και τα ογκώδη ραγίσματα διαλύοντας τα τοιχώματα της. Με αυτό τον τρόπο, τα ανοίγματα διευρύνονται, μεγεθύνονται και έτσι το νερό περνάει υπογείως με μεγαλύτερη ένταση και ταχύτητα. Υπάρχουν, βέβαια, και τα ανοίγματα στα οποία χάνεται όλη η ποσότητα του νερού που έρχεται από το πηγάδι. Αυτό το άνοιγμα ονομάζεται καταβόθρα.

➤ **«Ξηρή κοιλάδα» (dry valley)**

Συνεχίζοντας την εξέλιξη της κρεμαστής κοιλάδας της προαναφερόμενης ροής, στην κατεύθυνση προς τα κάτω από την καταβόθρα (με το ρεύμα του νερού), η ροή του νερού πλέον δεν υπάρχει. Η κρεμαστή κοιλάδα τώρα είναι εγκαταλειμμένη και για αυτό τον λόγο ονομάζεται «ξηρή κοιλάδα». Στην ξηρή κοιλάδα η ποτάμια διάβρωση σταματάει, ενώ και οι επόμενες μεταμορφώσεις οφείλονται στην καρστική εξέλιξη. Στο βάθος του πυθμένα της κοιλάδας δημιουργούνται πολλά κλειστά βυθίσματα που ονομάζονται δολίνες.

Στις περισσότερες περιπτώσεις η ξηρή κοιλάδα μπορεί μορφολογικά να ανακατασκευασθεί με την ανάλυση των: αεροφωτογραφιών, τοπογραφικών χαρτών ή με την άμεση παρατήρηση της υπαίθρου. Σε σπάνιες περιπτώσεις μακροχρόνιας ή συνεχούς ενέργειας της καρστικοποίησης, το επίμηκες προφίλ της ξηρής κοιλάδας μπορεί να μεταποιηθεί σε μεγάλο βαθμό σε καρστικές μορφές, δολίνες, οι γλυφές, κτλ., όπου η ανακατασκευή αυτής της ξηρής κοιλάδας είναι πλέον υποθετική. Ογκώδεις μεταμορφώσεις γίνονται στο επίμηκες προφίλ της ροής και αντίθετα στο ρεύμα του ποταμού, προς τα πάνω από την καταβόθρα. Με την ροή του νερού μεγαλώνει η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στη πηγή και το στόμιο της ροής με ταυτόχρονη μείωση του μήκους της ροής. Το ολικό υδρολογικό ποσοστό για το ίδιο ποσοστό νερού της ροής είναι σημαντικά αυξημένο και αυτό προκαλεί την αύξηση της συνολικής κινητικής ενεργείας και ενίσχυση της κάθετης διάβρωσης.

➤ **«Τυφλή κοιλάδα» (Blind valley)**

Αντίθετα στο ρεύμα του ποταμού έχουμε τώρα ενίσχυση της διάβρωσης και χάραγμα της ροής. Ταυτόχρονα, προς τα κάτω από την καταβόθρα, σε εγκαταλειμμένο τμήμα

της κοιλάδας, διακόπτεται η διάβρωση. Αυτά τα φαινόμενα προκαλούν στη θέση της καταβόθρας το σχηματισμό των καταβοθρικών, σχεδόν κάθετων πλαγιών του επιμήκους προφίλ. Αυτές οι απότομες πλαγιές έχουν διαστάσεις από μερικές δεκάδες μέχρι εκατοντάδες μέτρα. Επομένως, προς τα πάνω από την καταβόθρα, η κοιλάδα τελειώνει «τυφλά» - «τυφλή κοιλάδα». Αυτές οι πλαγιές είναι απότομες και στους πρόποδες τους υπάρχει καταβόθρα.

#### ➤ «Πολύ-επίπεδη τυφλή κοιλάδα»

Κατά την εξέλιξη της τυφλής κοιλάδας συνεχίζεται η ροή του νερού με κατεύθυνση αντίθετα στο ρεύμα, πάνω από την καταβόθρα, και αν κάπου εκεί δημιουργηθεί καινούργια καταβόθρα, τότε το τμήμα ανάμεσα στις δυο καταβόθρες γίνεται αυτόματα ξηρή και τυφλή κοιλάδα. Τότε και πάλι, προς τα πάνω από την καινούρια καταβόθρα έχουμε ενίσχυση της κάθετης διάβρωσης και σχηματισμό των καινούριων τυφλών κοιλάδων. Το φαινόμενο της επίπεδης εξέλιξης της καρστικής κοιλάδας ονομάζεται «Πολύ-επίπεδη τυφλή κοιλάδα».

### 3.13.3 Το σύστημα της αποστράγγισης των καρστικών περιοχών

Στα διαλυτά πετρώματα έχουμε διαπέραση του νερού στον πυθμένα του κύριου ρεύματος και των παραποτάμων του. Λόγω της απώλειας μερικού ή πλήρους ποσοστού του νερού, οι παραπόταμοι καθυστερούν πίσω από την κύρια ροή και συνδέονται με αυτήν μέσω καταρρακτών ή πολύ αποτόμων πλαγιών. Ως συνέπεια αυτού του φαινομένου αποτελεί η διάλυση του συστήματος της αποστράγγισης. Κάποτε, το μοναδικά ενωμένο σύνολο των ροών διαλύεται σε μεμονωμένες ροές οι οποίες τελειώνουν με τις καταβόθρες και έτσι δημιουργούνται τυφλές κοιλάδες. Παρακολουθώντας τις συνέχειες αυτών των ροών οι οποίες μορφολογικά είναι ξηρές κοιλάδες, μπορούμε να ανακατασκευάσουμε το παλαιό σύστημα αποστράγγισης. Στις καρστικές περιοχές, στο σύστημα αποστράγγισης, υπάρχουν μονό οι ροές με το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού δηλαδή τη μεγαλύτερη κινητική ενέργεια. Τα ρεύματα των μικρών ποταμιών ή των παραποτάμων συνήθως είναι ξηρά. Τα μεγαλύτερα συστήματα αποστράγγισης είναι πολύ σπάνια και έχουν συνήθως βαθμό έχουν 3ης ή 4ης τάξης. Στις καρστικές περιοχές, η ζώνη της αποστράγγισης διαλύεται, το νερό διαπερνάει και ρέει μέσω υπόγειων καναλιών. Οι κατευθύνσεις

των υπόγειων νερών είναι ανεξάρτητες από τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας της υπαίθρου ενώ εξαρτώνται από την λιθολογία και τη δομή του υπεδάφους. Για τον λόγο αυτό, στις καρστικές περιοχές, η γραμμή του υδροκρίτη (υποτιθέμενη γραμμή πάνω στις υψηλότερες κορυφές μιας περιοχής η οποία ξεχωρίζει τα ρέοντα νερά σε διαφορεικά συστήματα αποστράγγισης) δεν είναι σίγουρη γραμμή διαχωρισμού των νερών.

### **3.14 Οι τυπικές υπόγειες καρστικές μορφές:**

#### **3.14.1 Οι υπόγειες καρστικές μορφές της διάβρωσης**

Το κύριο χαρακτηριστικό του καρστ είναι η καρστικοποίηση του καρστικού πετρώματος από την επιφάνεια προς το υπόγειο τμήμα του. Τα επιφανειακά νερά λόγω της βαρύτητας διαπερνούν υπόγεια και μέσω των κατακλάσεων και διακλάσεων των πετρωμάτων, προκαλούν την διάβρωση και διάλυσή τους, σχηματίζοντας έτσι τις ρωγμές και τα ρήγματα. Στις υπόγειες καρστικές μορφές παρατηρείται εκτός από την χημική διάλυση και μηχανική διάβρωση, εμφάνιση του κολλούβιου, κατολίσθηση και κατάρρευση του υπογείου εδάφους.

Η υπόγεια καρστική εξέλιξη έχει επίσης και επιφανειακό χαρακτήρα. Η εξέλιξη συνεχίζεται πάντα προς τα υπόγεια έτσι ώστε τα υψηλότερα επίπεδα να μένουν με το καιρό εγκαταλειμμένα με συνέπια την συγκέντρωση συσσωρευμένου υλικού στην ξηρά.

Υπάρχει – αλλά όχι απαραίτητα - σχέση των υπογείων καρστικών μορφών με την επιφάνεια τους. Συνήθως στο 98% των περιπτώσεων οι υπόγειες μορφές δεν έχουν εμφανή σχέση - εμφανές άνοιγμα – με την επιφάνεια του εδάφους.

Οι υπόγειες καρστικές μορφές της διάβρωσης είναι οι εξής:

- **καρστικά φρέατα,**
- **σπήλαια,**
- **καρστικοί αγωγοί**

Οι υπόγειες καρστικές μορφές της συσσώρευσης είναι οι εξής:

- **σπηλαίο λιθωματικοί σχηματισμοί (διάκοσμος),**
- **αποθέσεις τραβερτίνη (όνυξ σπηλαίων),**
- **αποθέσεις των συσσωρευμένων κορημάτων ,**

➤ **κοκκινοχώματα.**

Το κομμάτι της καρστικοποίησης που ασχολείται και διερευνά το σχηματισμό και εξέλιξη των υπογείων καρστικών μορφών ονομάζεται σπηλαιολογία.

### 3.14.2 Καρστικά φρέατα

Καρστικά φρέατα είναι κάθετοι ή υπό-κάθετοι υπόγειοι χώροι οι οποίοι ξεκινούν με ανοίγματα στην επιφάνεια του εδάφους και απότομα κατευθύνονται «σωληνωτά» στο βάθος προς το υπέδαφος φτάνοντας μέχρι 100m ή και σε βάθος που ξεπερνά τα χίλια μετρά. Το εγκάρσιο προφίλ των καρστικών φρεάτων είναι ανώμαλο, άστατο και συνήθως τεθλασμένο. Στο βάθος των καρστικών φρεάτων υπάρχουν και αλλά βαθιά συστήματα.

Τα καρστικά φρέατα σχηματίζονται κάτω από τις φρεατιοειδείς δολίνες. Η διάμετρός τους ανέρχεται σε αναλογία με το βάθος στο 1:1000. Η κάθετη ή υπό-κάθετη τομή δυο ή περισσότερων ρωγμών ή ρηγμάτων σχηματίζουν τα καρστικά φρέατα. Τα καρστικά φρέατα είναι πρώην καταβόθρες ή περιοχές από τις οποίες έχει διαπεράσει νερό στο παρελθόν. Με αυτόν τον τρόπο τα καρστικά φρέατα αποτελούν το μεταβατικό στάδιο ανάμεσα στις επιφανειακές και υπόγειες μορφές. Οι επιφανειακές μορφές, παρόμοιες με εκείνες των καρστικών φρεάτων, είναι εγκατακρημνησιγενείς δολίνες και δεν υπάρχουν αυστηρά όρια ανάμεσα τους.

Η επιρροή της χημικής διάλυσης και μηχανικής διάβρωσης του νερού και κολλουβιακά φαινόμενα έχουν ρόλο στην εμβάθυνση και διεύρυνση των καρστικών φρεάτων. Σε σχέση με τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των καρστικών φρεάτων υπάρχουν οι εξής κατηγορίες:

- ρηχά καρστικά φρέατα στα οποία ο πυθμένας τους τελειώνει με το οριζόντιο άνοιγμα έτσι ώστε κατά την πτώση πέτρας να προκαλείται δυνατός ήχος σαν κρότος.
- βαθιά καρστικά φρέατα με κάθετο καταφορικό κανάλι που ο πυθμένα τους συνεχίζεται με στενά και απροσπέραστα ρήγματα τα οποία ονομάζονται bezdan.

καρστικά φρέατα που σχηματίστηκαν στους θόλους των μεγαλύτερων υπογείων στοών όπου στα επιφανειακά ανοίγματα του υπόγειου τμήματος φτάνει το φως.

### 3.14.3 Σπήλαια

Τα σπήλαια είναι υπόγειοι οριζώντιοι χώροι οι οποίοι ξεκινούν από την επιφάνεια και συνεχίζουν στο εσωτερικό της γης. Τα μήκη των σπηλαίων φτάνουν εκατοντάδες χιλιόμετρα και οι κατευθύνσεις τους ακολουθούν τις κατευθύνσεις των μεγάλων ρηγμάτων.

Από υδρολογική άποψη, σπηλιές είναι τα σημεία όπου στο παρελθόν είχαν εισβάλλει οι επιφανειακές ροές (σαν καταβόθρες) ή τα σημεία στα οποία πηγάζουν οι υπόγειες ροές στην επιφάνεια του εδάφους.

Η εξέλιξη των σπηλαίων έχει σχέση με τη χημική διάλυση της καρστικοποίησης. Λόγω της οριζόντιας τοποθεσίας τους πολύ σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη των σπηλαίων παίζει η μηχανική διάβρωση καθώς και η κατολίπηση ή η καθίζηση που προκαλείται από αυτή. Οι θόλοι και τα ταβάνια των σπηλαίων είναι συνήθως ψηλά και οι χώροι τους πολύ ευρύχωροι. Τα σπηλαία μπορεί να έχουν ένα ή περισσότερα κανάλια που μπορεί να είναι είτε σε οριζόντια θέση είτε το ένα πάνω στο άλλο.

Η διάταξη των καναλιών των σπηλαίων εξαρτάται από το γεωλογικό-τεκτονικό σχηματισμό της υπαίθρου που υπάρχει και παρακολουθούν τις κύριες ρωγμές και τα ρήγματα της περιοχής.

Τα σπήλαια έχουν και υπό-οριζόντια θέση αλλά το επίμηκες προφίλ στον πυθμένα τους δεν έχει συνεχή κλίση προς μια κατεύθυνση. Λόγω της χημικής διάλυσης και διάβρωσης στον πυθμένα αυτού του τύπου των σπηλαίων μπορεί να εμφανιστούν και δολίνες ή κάποιες φορές καταβόθρες. Οι υπόγειες ροές διατηρούνται λόγω των περιοδικά στενών θέσεων των υπογείων καναλιών που το νερό ρέει με την πίεση και υπερνικάει (ξεπερνά) τις αντίθετες κλίσεις. Όταν η ροή του νερού είναι μεγάλη ο πυθμένας της σπηλιάς μένει στεγνός ενώ το νερό κατεβαίνει στα χαμηλότερα επίπεδα σχηματίζοντας ένα καινούριο κανάλι τύπου σπηλιάς.

Όταν συζητάμε για καρστικά φρέατα και σπήλαια πρέπει οπωσδήποτε να παρατηρήσουμε κάποιες διαφορές που υπάρχουν στην τεχνική ορολογία. Στην τεχνική ορολογία η διαφορά ανάμεσα στα καρστικά φρέατα και στα σπήλαια αφορά στον τύπο και στον τρόπο τοποθεσίας τους. Στην τεχνική ορολογία της Σλοβενίας οι υπόγειοι χώροι ονομάζονται καρστικά φρέατα.

#### **3.14.4 Καρστικοί αγωγοί**

Όλοι οι υπόγειοι χώροι που συνδέονται με σπήλαια και καρστικά φρέατα ονομάζονται καρστικοί αγωγοί και είναι συνήθως μπερδεμένοι δρόμοι κυκλοφορίας των υπογείων νερών με διαφορετικές τοποθεσίες και διαστάσεις. Όταν το νερό ρέει προς τα υπόγεια τμήματα, τα ψηλότερα επίπεδα του δικτύου των καρστικών αγωγών παραμένουν ξηρά εφόσον τα χαμηλότερα είναι διαποτισμένα. Το κύριο χαρακτηριστικό των καρστικών αγωγών είναι η συνεχής αλλαγή της διαμέτρου του εγκαρσίου προφίλ τους. Η διεύρυνση των χώρων τους ποικίλλει από εκατό-μετρικές μέχρι δέκατο-μετρικές διαστάσεις με τα ευρύτερα ανοίγματά τους να ονομάζονται καρστικά έγκοιλα (cavern, kaverna). Λόγω της χημικής διάλυσης του υποβάθρου δημιουργούνται καρστικοί αγωγοί που εξελίσσονται σε καρστικά έγκοιλα (εξαιτίας της μηχανικής διάβρωσης από την ροή των υπογείων νερών με μεγάλη κινητική ενέργεια) και κολλούβια που υπόκεινται σε κατολίσθηση, καθίζηση του εδάφους ή κατάρρευση των οροφών των καρστικών αγωγών. Εκεί όπου οι καρστικοί αγωγοί είναι στενοί, το νερό ρέει υπό μεγάλη πίεση και αυτό κάνει δυνατό το νερό να ρέει προς τα επάνω. Σε αυτές τις θέσεις αυξάνεται η κινητική ενέργεια του νερού και με τον καιρό αυτές οι στενές θέσεις περιοδικά ευρύνονται και βαθαινούν.

#### **3.14.5 Οι υπόγειες καρστικές μορφές συσσώρευσης**

Στην καρστική εξέλιξη έχουμε διάβρωση, μεταφορά και συσσώρευση σημαντικού ποσοστού της ύλης του βασικού πετρώματος. Κάποιο ποσοστό της ύλης αυτής μεταφέρεται με μορφή διαλύματος και συσσωρεύεται με την πτώση ή έκκριση. Τα μηχανικά διαβρωμένα υλικά, που δημιουργηθήκαν με την επιρροή της κινητικής ενέργειας του νερού και σε μεγαλύτερο ποσοστό με την κατολίσθηση έχουν μεταφερθεί με το νερό. Τα διαβρωμένα υλικά είναι επεξεργασμένα και η στρογγυλότητά τους σχετίζεται άμεσα με το μήκος της μεταφοράς τους. Αυτά τα υλικά τελικά συσσωρεύονται όταν μειώνεται η κινητική ενέργεια του νερού. Στο τέλος, το υπόλοιπο της διάλυσης, τα κοκκινοχώματα (terra rossa), μένουν στη θέση τους σαν αλλουβακό – πλυμένο έδαφος ή μεταφέρονται λόγω της δύναμης της βαρύτητας, γλιστρώντας ή/και ρέοντας.

#### **3.14.6 Η επικάλυψη των τοιχωμάτων**

Το νερό το οποίο είναι κορεσμένο με το δις όξινο ανθρακικό ασβέστιο αποστραγγίζεται μέσω πολλών κατακλάσεων και ρηγμάτων είτε ρέοντας κατά μήκος των τοιχωμάτων των υπογείων χώρων με όψη λεπτού καλλύματος-μεμβράνης. Κατά

μήκος αυτής της ροής εκκρίνεται διοξείδιο του άνθρακα. Στις επιφάνειες των τοιχωμάτων όπου εκρεόταν το νερό τώρα έχει μείνει η ασβεστιτική επικάλυψη. Το πάχος αυτής της κάλυψης συνήθως δεν ξεπερνάει μερικά χιλιοστά του μέτρου. Αυτή η κάλυψη ενδυναμώνει τα τοιχώματα και εμποδίζει την εξέλιξη του κολλούβιου, δηλαδή την κατάρρευση και κατολίπωση των τοιχωμάτων. Καθώς εξαρτάται από το ανάγλυφο της επιφανείας του τοιχώματος η επικάλυψη μπορεί να φτάσει το δέκατο-μετρικό πάχος ή να σχηματίσει πολύ εντυπωσιακές μορφές όπως: Η μίξη του σιδηρού ή των άλλων μετάλλων με το διοξείδιο του άνθρακα δίνουν στις μορφές αυτές διαφορετικούς σχηματισμούς και χρώματα.

### 3.14.7 Οι σπηλαιολιθωματικοί σχηματισμοί

Οι σπηλαιολιθωματικοί σχηματισμοί ή υπόγειος διάκοσμος είναι σταλακτίτες, σταλαγμίτες και στήλοι.

- **Σταλακτίτες** σχηματίζονται και κρέμονται στις οροφές των υπογείων χώρων. Το νερό το οποίο είναι κορεσμένο με δις όξινο ανθρακικό ασβέστιο στραγγίζεται μέσω των τριχοειδών αγγείων στο θολό της οροφής της σπηλιάς. Στην έξοδο του τριχοειδούς αγγείου, από το πέτρωμα εκκρίνεται διοξείδιο του άνθρακα σε σχήμα λεπτού ή πιο χοντρού καλαμιού. Δια αυτού του καλαμιού, στην εσωτερική επιφάνεια του ανοίγματός του, συνεχίζεται το φιλτράρισμα του νερού ενώ εκκρίνεται ξανά το διοξείδιο του άνθρακα στην άκρη του ιδίου. Η διάμετρος του εσωτερικού του καλαμιού είναι συνήθως περίπου 5 χιλιοστά. Αυτό το καλάμι που ονομάζεται σταλακτίτης μεγαλώνει σε μήκος με κατεύθυνση από το ταβάνι προς πάτωμα της σπηλιάς. Το μήκος του σταλακτίτη ποικίλλει από εκατοστά του μέτρου μέχρι μερικά μέτρα. Το νερό ρέει και στην εξωτερική επιφάνεια του σταλακτίτη μεγαλώνοντας ταυτόχρονα το σταλακτίτη και σε φάρδος. Στην εξωτερική επιφάνεια του σταλακτίτη μαζεύεται σκόνη, γύρω από τα σωματίδια της οποίας παρατηρείται ιζηματογένεση διοξειδίου του άνθρακα και δημιουργούνται καινούριες μορφές που παίρνουν διαφορετικούς σφαιροειδείς σχηματισμούς.
- **Σταλαγμίτες** είναι υπόγειες κολώνες που μεγαλώνουν σε ύψος από το πάτωμα προς την οροφή του σπηλαίου. Από το νερό που φιλτράρεται δια των

σταλακτιτών εκκρίνεται ένα ποσοστό διοξείδιο του άνθρακα στην άκρη του ιδίου ενώ το υπόλοιπο της διάλυσης πέφτει σαν σταγόνες στον πυθμένα του σπηλαίου. Κατά την πτώση της σταγόνας στο πάτωμα απελευθερώνεται το διοξείδιο του άνθρακα από το νερό και δημιουργούνται μικρές κολώνες. Σε αντίθεση με τους σταλακτίτες η κολώνα του σταλαγμίτη είναι ογκώδης. Το σχήμα και το χρώμα του σταλαγμίτη εξαρτάται από την ποσότητα του νερού που πέφτει από το ταβάνι, από το ύψος από το οποίο πέφτει, από το πλάτος της διαμέτρου της διασκόρπισης της σταγόνας, από το ποσοστό του κορεσμένου δις ανθρακικού ασβεστίου στο νερό και από την μείξη των διαφορετικών συστατικών.

**Στήλοι της σπηλιάς** δημιουργούνται από την ένωση των σταλακτιτών με τους αντιστοιχούς σταλαγμίτες. Το σχήμα, χρώμα και το μέγεθός τους εξαρτώνται επίσης από τους πιο πάνω αναφερόμενους παράγοντες. Οι στήλοι, επίσης, δυναμώνουν τον κούφιο σχηματισμό των σπηλαίων και εμποδίζουν την εξέλιξη του κολλούβιου, δηλαδή την κατάρρευση και κατολίπηση των ταβανιών των σπηλαίων.

#### **3.14.8 Οι αποθέσεις τραβερτίνη ή όνουξ των σπηλαίων**

Οι υπόγειες ροές είναι επίσης κορεσμένες με το διαλυμένο και άστατο δις όξινο ανθρακικό ασβέστιο. Με την αλλαγή της κινητικής ενεργείας του νερού που ρέει υπόγεια, απελευθερώνεται διοξείδιο του άνθρακα από το νερό, και το κατάλοιπο ανθρακικό ασβέστιο εκκρίνεται με μορφή αποθέσεων του τραβερτίνη. Με αυτόν τον τρόπο σχηματίζονται τα υπόγεια κοιλώματα – υπόγειες λεκάνες με μετρικές διαστάσεις. Αυτή η εξέλιξη του τραβερτίνη που δημιουργείται υπόγεια είναι παρόμοια της εξέλιξης του τραβερτίνη που δημιουργείται στις επιφανειακές καρστικές ροές. Σε υπόγεια σημεία που δημιουργείται και εξελίσσεται ο τραβερτίνης έχουμε γοργούς, μικρούς και μεγάλους καταρράκτες.

#### **3.14.9 Οι αποθέσεις των συσσωρευμένων μηχανικών ερειπίων**

Οι υπόγειες ροές μετακινούνται και μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες των μηχανικά διαβρωμένων υλικών. Το μικρότερο ποσοστό αυτών των υλικών δημιουργήθηκε με την άμεση ή έμμεση μηχανική διάβρωση της ροής σε σχέση με την κινητική ενέργεια της ίδιας ροής. Το μεγαλύτερο ποσοστό των μηχανικά διαβρωμένων υλικών δημιουργήθηκε σαν συνέπεια του κολλούβιου, με την κατάρρευση και κατολίπηση των υπογείων ταβανιών και τοίχων.



Το ποσοστό της επεξεργασίας, στρογγυλέματος και ταξινόμησης του υλικού του μηχανικού ερειπίου εξαρτάται από την κινητική ενεργεία της ροής, το υδραυλικό σύστημα και το μήκος του διαδρόμου της ροής. Στους υπογείους χώρους το υδραυλικό σύστημα αλλάζει συχνά και γρήγορα. Η επιρροή της σιγανής ροής στα καρστικά έγκοιλα μειώνει την ταχύτητα και την κινητική ενεργεία της ροής που δημιουργήθηκε στα στενά σημεία των υπογείων χώρων. Στις περιπτώσεις αυτές, το νερό δεν προλαβαίνει να στρογγυλοποιήσει και να ταξινομήσει το υλικό σε σχέση με τον όγκο του. Εν μέρει, επεξεργαζόμενα και στρογγυλεμένα μηχανικά υπολείμματα διάβρωσης συσσωρεύονται συνήθως στα ευρύχωρα τμήματα των καρστικών εγκοίλων, «cavernous», των καρστικών αγωγών. Επίσης, στους υπόγειους χώρους παρατηρούνται συνεχώς μη-στρογγυλοποιημένα υλικά του ετερογενούς όγκου που σχηματίστηκε με την κατολίσθηση και κατάρρευση αφού από αυτά δεν έχουν περάσει υπόγειες καρστικές ροές και δεν έχουν καταφέρει να μετακινηθούν.

#### **3.14.10 Τα κοκκινοχώματα**

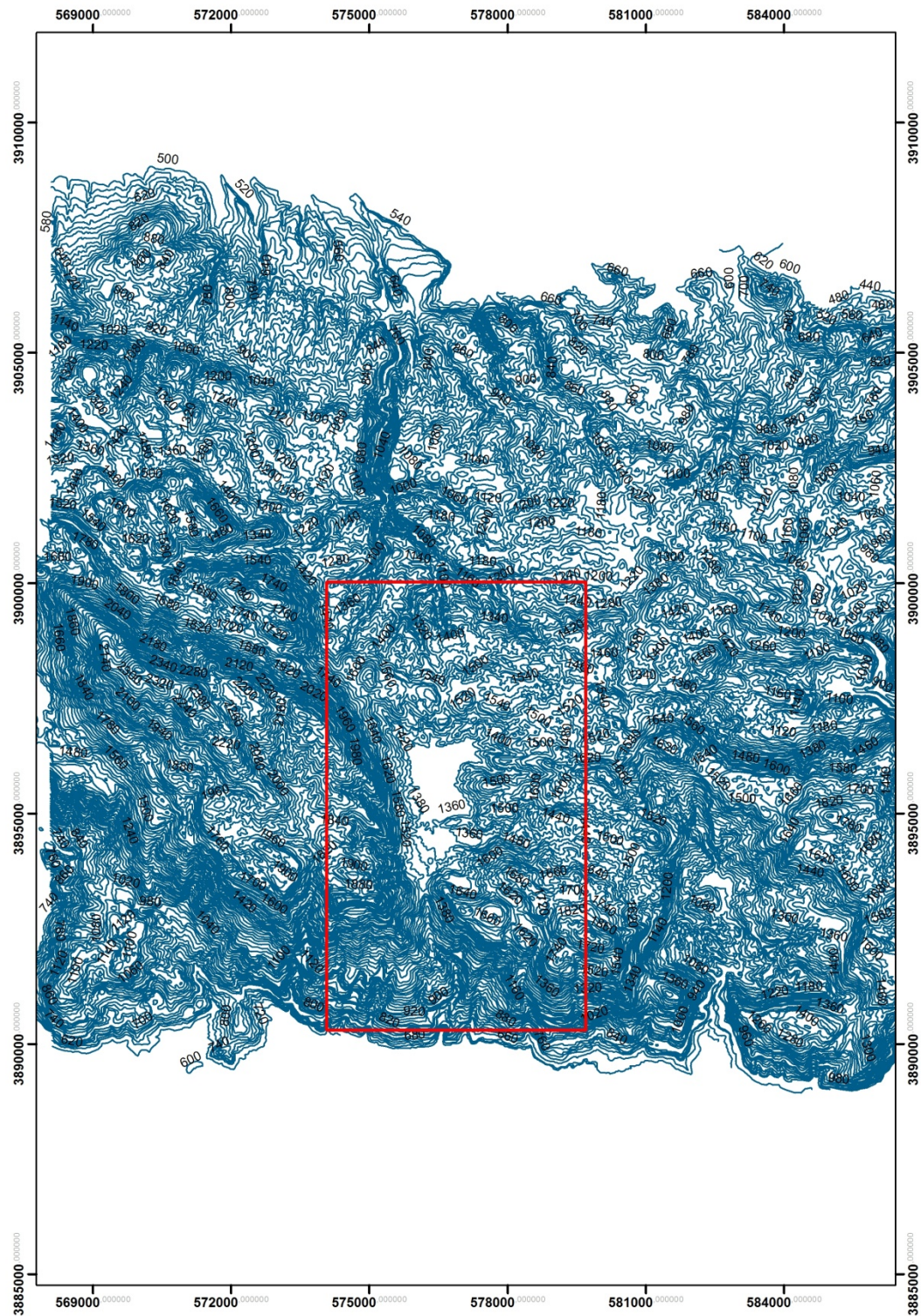
Στα πολλά κλάσματα, ρήγματα και τις ρωγμές που υπάρχουν στις πλευρές των οροφών των υπογείων χώρων έχουμε έντονη διάλυση. Το αδιάλυτο συστατικό που μένει στην θέση του είναι τα κοκκινοχώματα. Όταν τα κλάσματα, τα ρήγματα και οι ρωγμές έχουν απότομη κλίση, ειδικά όταν είναι στα υπόγεια ταβάνια, παρατηρείται τριβή των κοκκινοχωμάτων και πολύ συχνά ροή αυτού του υλικού. Στα κλάσματα φιλτράρεται το νερό το οποίο διαποτίζει τις μικρές αποθέσεις των κοκκινοχωμάτων σε μέγεθος άμμου. Το δυνατά διαποτισμένο υλικό αρχίζει να ρέει στα τοιχώματα των υπογείων χώρων και να συσσωρεύεται στους πυθμένες των μεγαλύτερων υπόγειων αιθουσών. Ο όγκος των ιζημάτων των κοκκινοχωμάτων μπορεί να φτάσει και μετρικές διαστάσεις.

#### 4. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

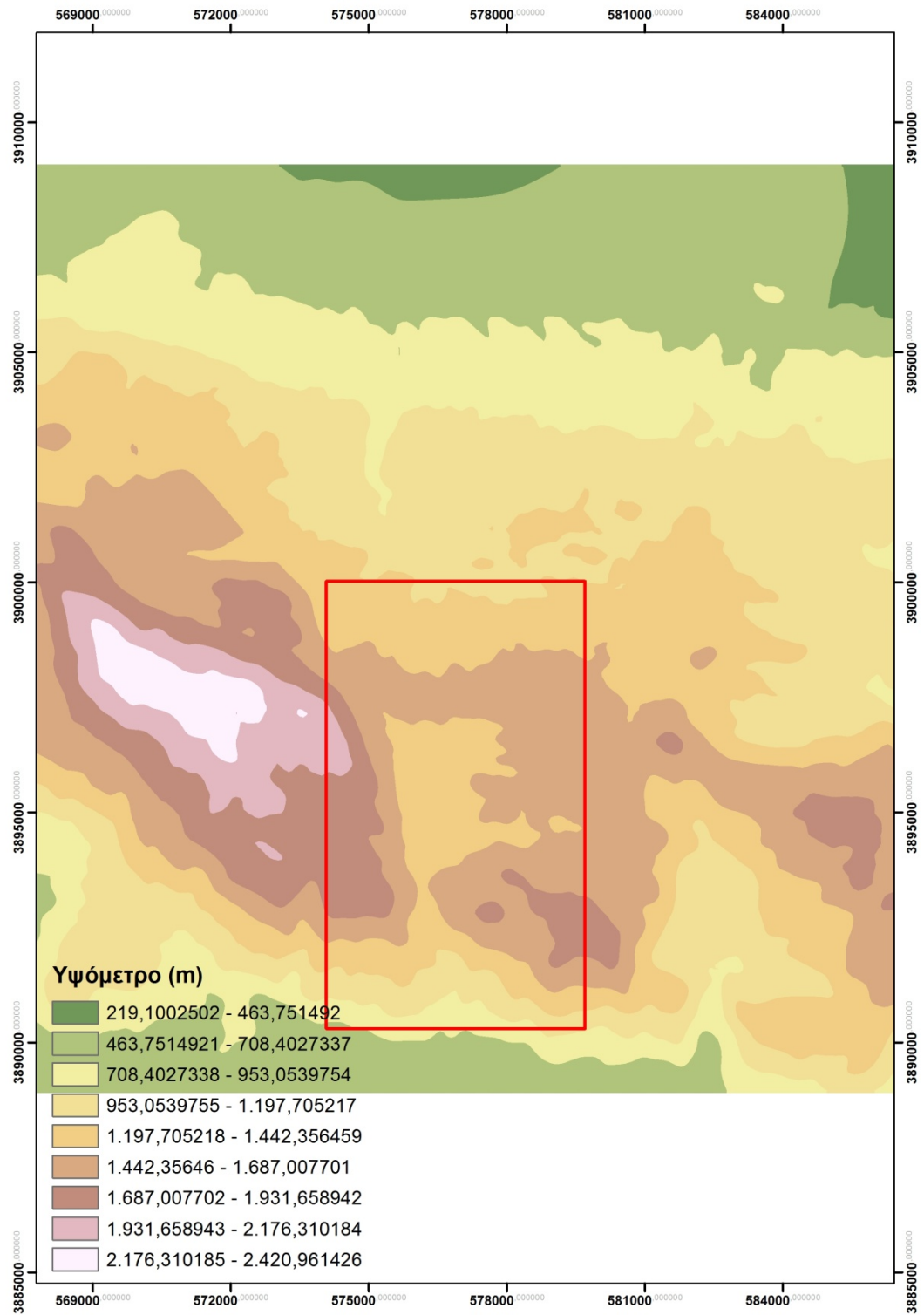
##### 4.1 Το τοπογραφικό ανάγλυφο και τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της εξεταζόμενης περιοχής

Το οροπέδιο της Νίδας (σχ. 4.1-4.2) βρίσκεται σε υψόμετρο 1400 μέτρων του ορεινού όγκου του **Ψηλορείτη**. Το όνομα του προέρχεται από τη συνεκφορά των λέξεων Στην Ίδα. Έχει σχήμα περίπου τριγωνικό με το νότιο στενότερο του τμήμα να σχηματίζει το λεγόμενο "**Πόρο της Μηλιάς**" από όπου γίνεται και η πρόσβαση στις νότιες υπώρειες του **Ψηλορείτη** και την περιοχή της **Μεσσαράς**. Το οροπέδιο εντελώς επίπεδο καλύπτεται από ένα αγριόχορτο την νεβρίδα. Οι ντόπιοι το ονομάζουν χρυσόχορτο. Η περιοχή της **Νίδας**, σε παλαιότερες εποχές πριν η συστηματική κτηνοτροφία και υλοτομία καταστρέψουν την χλωρίδα του **Ψηλορείτη**. Σήμερα η **Νίδα** είναι μια πλούσια κτηνοτροφική περιοχή με επίκεντρο τα χαρακτηριστικής αρχιτεκτονικής ξερολιθικά Μητάτα τα οποία χρησιμοποιούνται από τους βοσκούς για εποχιακή κατοικία και στεγάζουν τις παραγωγικές τους δραστηριότητες που αφορούν στον πλήρη κύκλο της γαλακτοκομίας. Τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια για μια συνδυασμένη ανάπτυξη εναλλακτικών μορφών τουρισμού. Τα Μητάτα αναστηλώθηκαν και ο αρχαιολογικός χώρος του Ιδαίου Άντρου και της Ανάληψης αναδασώνεται.

Τα υπόλοιπα μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής παρουσιάζονται στα σχήματα 4.3-4.5 και αναλύονται στο επόμενο κεφάλαιο σε συνδυασμό με την γεωλογία της περιοχής.

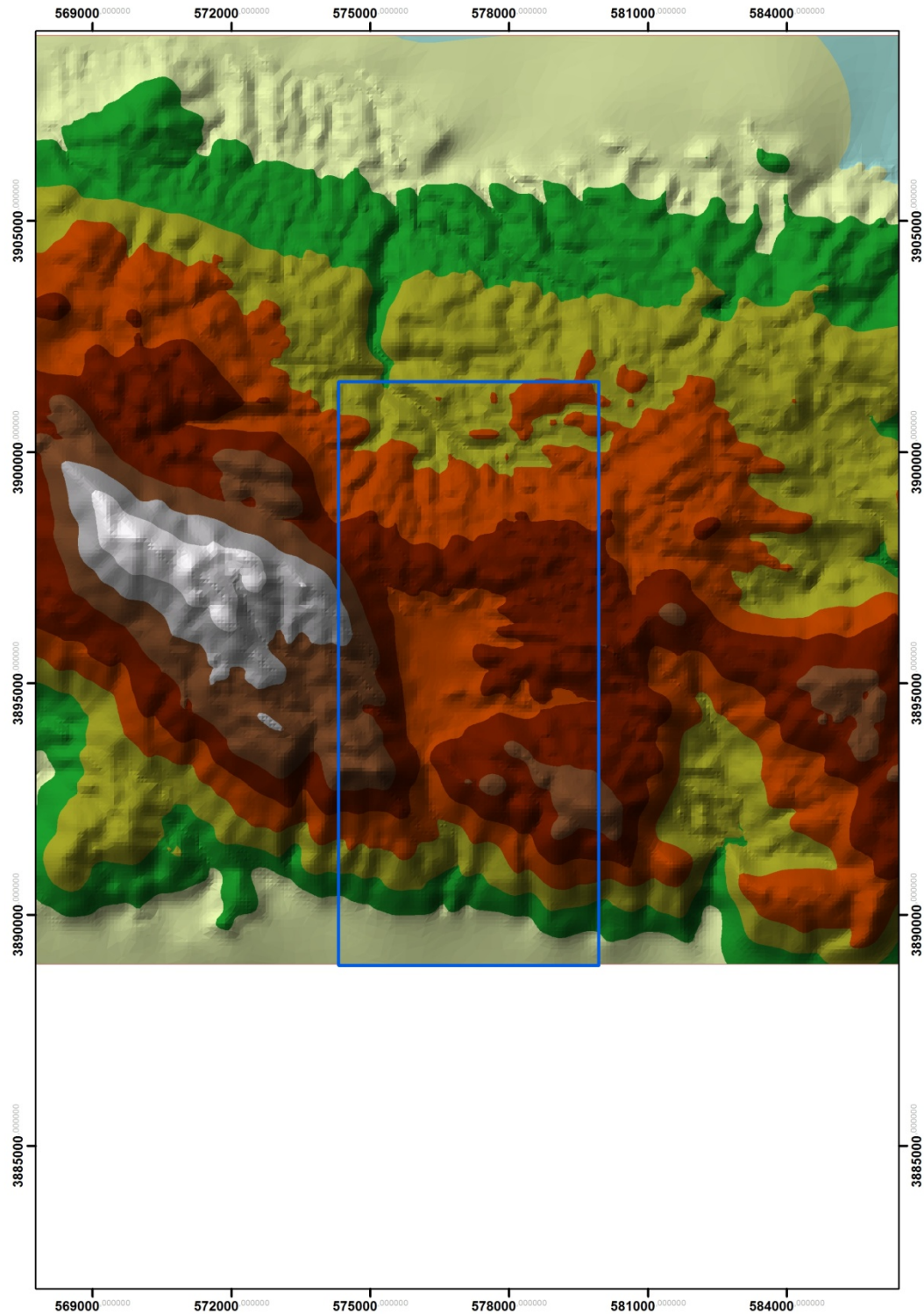


Σχήμα 4.1 Τοπογραφικό υπόβαθρο (1:5000) από Γ.Υ.Σ της ευρύτερης περιοχής της Νίδας.



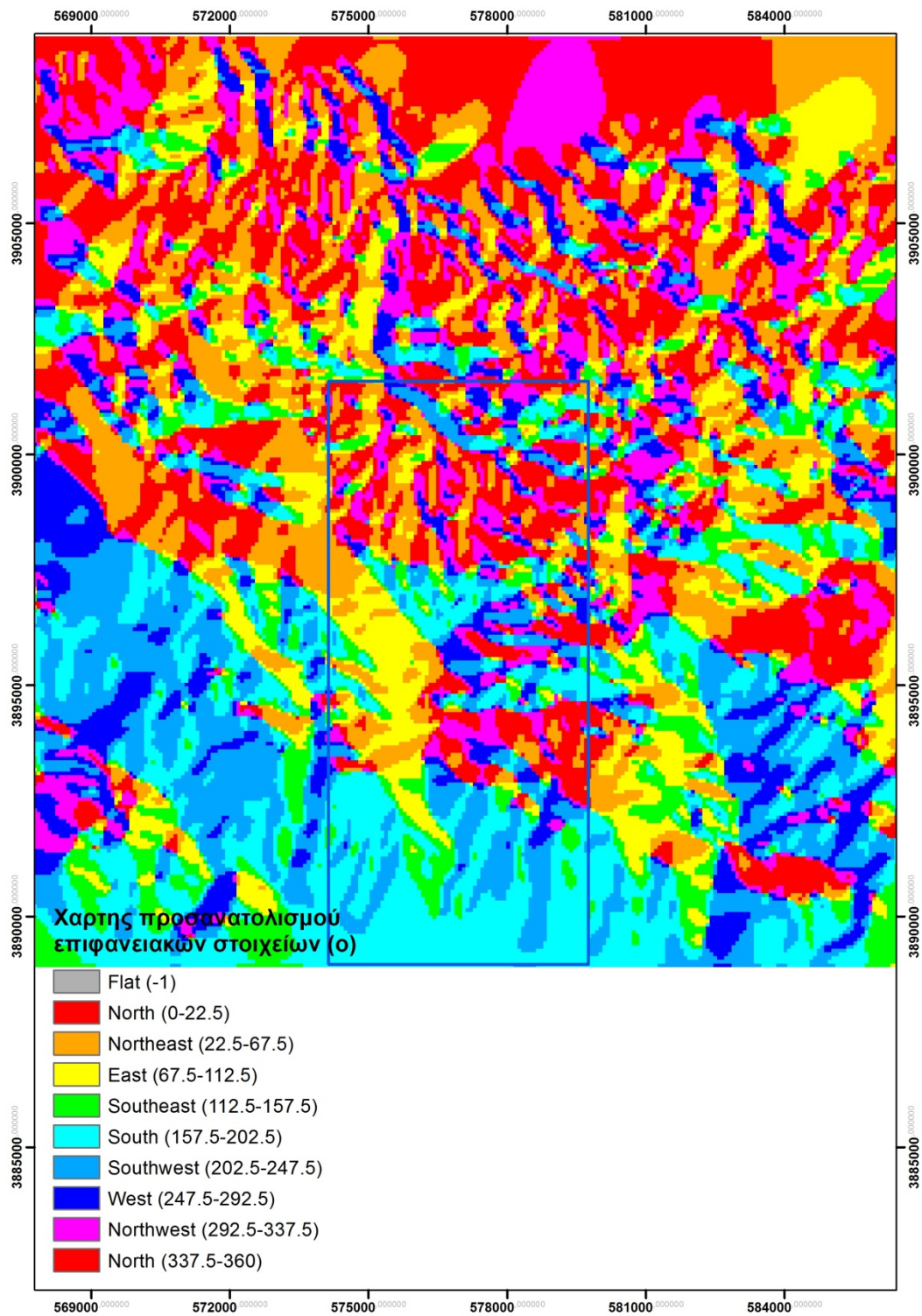
(α)





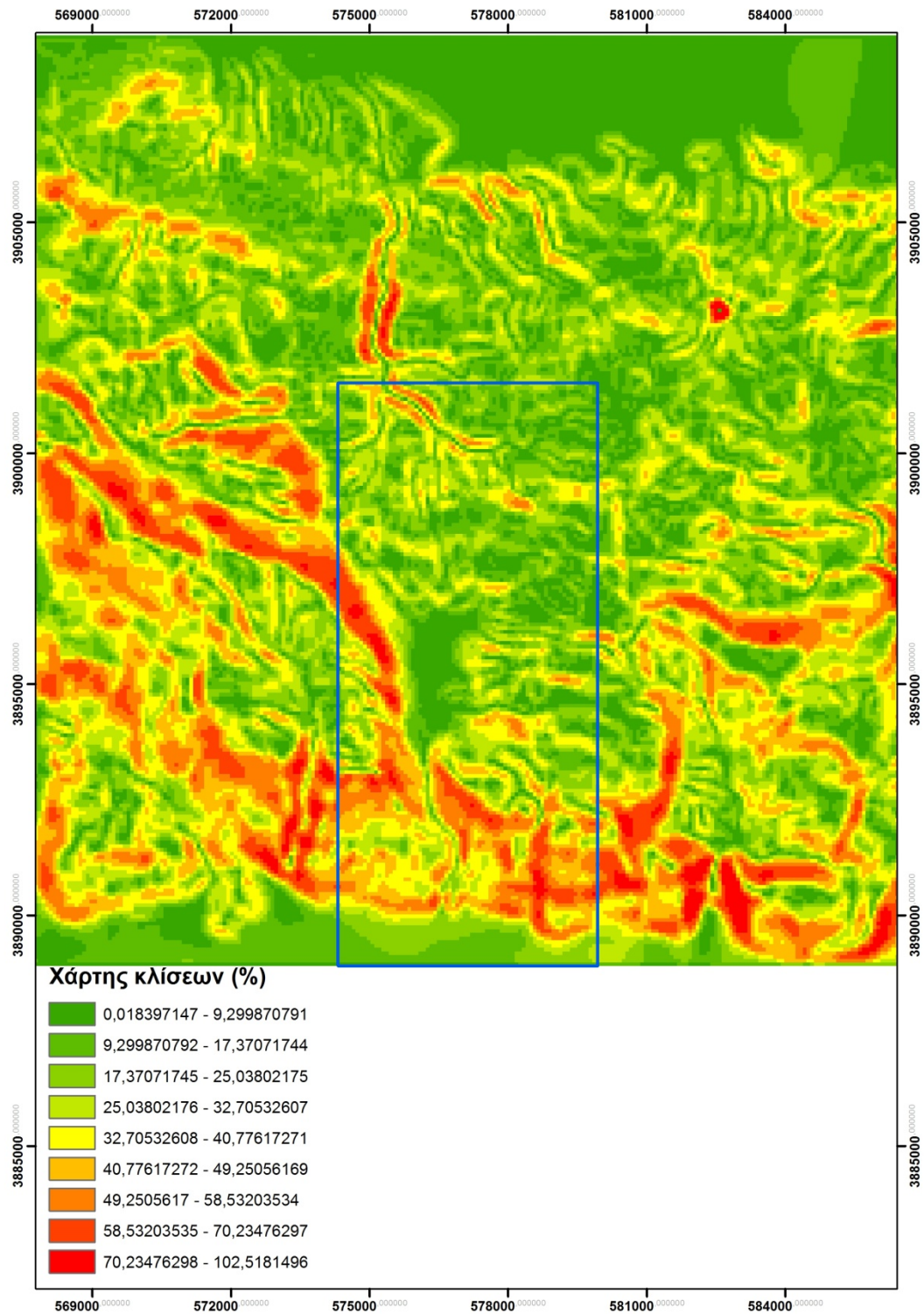
(β)

Σχήμα 4.2 α) Το ανάγλυφο της περιοχής έτσι όπως προέκυψε με την διαδικασία της παρεμβολής β) τρισδιάστατη απεικόνιση του αναγλύφου της Νίδας.

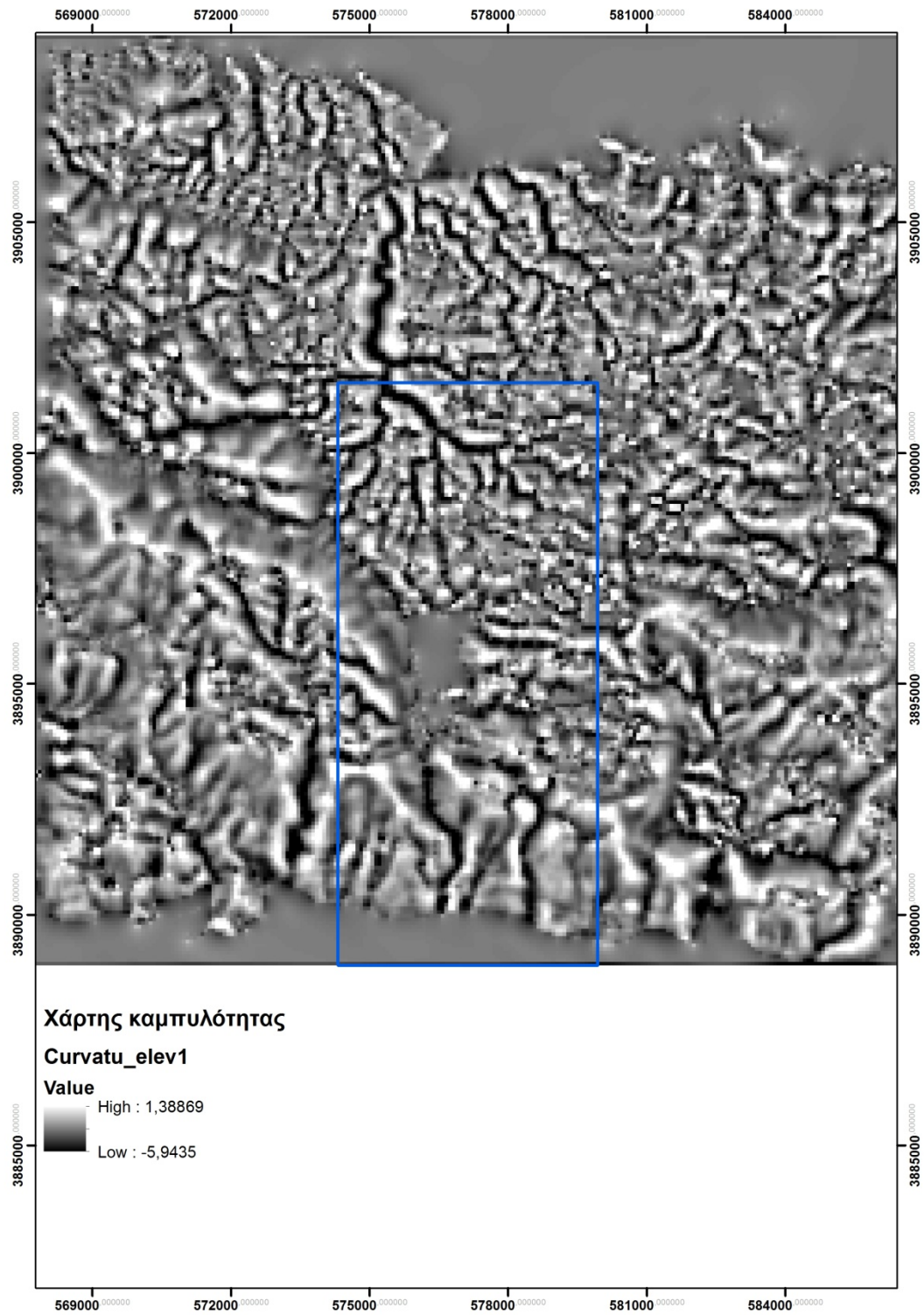


Σχήμα 4.3 Χάρτης προσανατολισμού των επιφανειακών στοιχείων της υπό μελέτη περιοχής.





Σχήμα 4.4 Χάρτης κλίσεων της υπό μελέτη περιοχής.



Σχήμα 4.5 Χάρτης καμπυλότητας υπό μελέτη περιοχής



**5. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ****5.1 Γεωμορφολογικά και Στρωματογραφικά στοιχεία**

Η περιοχή του Ψηλορείτη χαρακτηρίζεται από την παρουσία κυρίως ανθρακικών πετρωμάτων. Ολόκληρος ο ορεινός όγκος και οι παρυφές του αποτελούνται από ασβεστόλιθους, δολομίτες και μάρμαρα, τα οποία ταξινομούνται σε δύο γεωτεκτονικές ενότητες πετρωμάτων.

Η πρώτη ενότητα αποτελείται από μεταμορφωμένα πετρώματα και ονομάζεται ενότητα Πλακωδών ασβεστόλιθων ή Κρήτης – Μάνης, ή Ίδης, με πιο αποδεκτή την πρώτη ονομασία. Τα πετρώματα της ενότητας αυτής είναι κυρίως ανθρακικά, ασβεστόλιθοι και δολομίτες, που σχηματίστηκαν πριν από 250 έως 30 εκατ. χρόνια από σήμερα, και ακολούθως μεταμορφώθηκαν σχηματίζοντας τα σημερινά μάρμαρα.

Το πιο χαρακτηριστικό πέτρωμα της ενότητας στην περιοχή είναι οι τυπικοί πλακώδεις ασβεστόλιθοι - μάρμαρα, με το χαρακτηριστικό αποχωρισμό σε λεπτές πλάκες πάχους από 30 έως 10 εκατοστά. Τα πετρώματα αυτά εμφανίζονται στο βόρειο κυρίως τμήμα της περιοχής, από τα Ανώγεια μέχρι και την κορυφή του Ψηλορείτη. Πάνω από αυτούς τους ασβεστόλιθους, εμφανίζεται στην περιοχή της Νίδας, της Αγ. Μαρίνας και στις νότιες παρυφές της κορυφής του Ψηλορείτη ένα λεπτό στρώμα από τον ασβεστο-αργιλικό μεταφλύσχη.

Η ενότητα των Πλακωδών ασβεστόλιθων είναι η κατώτερη μέχρι σήμερα γνωστή ομάδα πετρωμάτων στην Κρήτη και το συνολικό της πάχος εκτιμάται ότι ξεπερνά τα 3000 μέτρα.

Πάνω από την ενότητα των Πλακωδών ασβεστόλιθων στην περιοχή του Ψηλορείτη βρίσκεται η ενότητα της Τρίπολης. Αυτή αποτελείται από ασβεστόλιθους και δολομίτες ηλικίας 150 έως 60 εκατ. χρόνων, που εμφανίζονται περιμετρικά της κορυφής και κυρίως στα νότια και ανατολικά της. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί είναι άστρωτοι έως μαζώδεις και σε μερικές μόνο θέσεις παχυστρωματώδεις.

Στο ανατολικό τμήμα της περιοχής και ιδιαίτερα στην περιοχή του Κρουσώνα, εμφανίζονται τα ανώτερα στρώματα του φλύσχη της ενότητας της Τρίπολης, που αποτελούνται από κροκαλοπαγή και ψαμμίτες.

Στην περιοχή αυτή απουσιάζουν σχεδόν παντελώς, λόγω τεκτονικών διεργασιών, τα μεταμορφωμένα πετρώματα των Φυλλιτών – χαλαζιτών που θα έπρεπε να παρεμβάλλονται ανάμεσα στις παραπάνω ενότητες. Πολύ μικρής έκτασης και πάχους εμφανίσεις υπάρχουν δυτικά του Κρουσώνα, στο οροπέδιο της Νίδας και βόρεια της Γέργερης. Όσον αφορά στον τεκτονισμό, οι πτυχές είναι σχετικά περιορισμένες και εμφανίζονται μόνο στα πετρώματα της ενότητας των Πλακωδών ασβεστόλιθων, με τη μορφή κλειστών έως υπό-ισοκλινών πτυχώσεων κυρίως στην περιοχή του οροπεδίου της Νίδας.

Τα ρήγματα όμως είναι πάρα πολλά και σχετικά μεγάλης κλίμακας. Όλες σχεδόν οι παρυφές της οροσειράς χαρακτηρίζονται και οφείλουν την δημιουργία τους στη δράση μεγάλων κανονικών ρηγμάτων. Πολύ εντυπωσιακά εμφανίζονται τα ρήγματα των ανατολικών παρυφών της οροσειράς στην περιοχή Κρουσώνα – Τυλίσσου που ουσιαστικά οριοθετούν την οροσειρά με τη λεκάνη του Ηρακλείου. Το ίδιο συμβαίνει με τις νότιες παρυφές όπου εκεί δύο μεγάλες ζώνες ρηγμάτων, της Γέργερης και του Φουρφουρά, οριοθετούν την οροσειρά με τη λεκάνη της Μεσαράς και του Αμαρίου, αντίστοιχα. Στο βόρειο περιθώριο υπάρχουν αρκετά ρήγματα, μικρότερης όμως έκτασης, που ταπεινώνουν σταδιακά το ανάγλυφο προς την περιοχή της λεκάνης του Μυλοποτάμου.

Εκτός από τα ρήγματα αυτά ένα μεγάλο ρήγμα που τέμνει διαγώνια όλη την οροσειρά, ξεκινώντας από την περιοχή της Γέργερης και φτάνοντας μέχρι την περιοχή του Γαράζου, εμφανίζεται στην περιοχή της Νίδας οριοθετώντας ουσιαστικά της κορυφογραμμές με το ομώνυμο οροπέδιο.

Το ανάγλυφο και η μορφολογία της περιοχής είναι ένα συνδυαστικό αποτέλεσμα της πετρολογικής σύστασης και της τεκτονικής. Όλα τα ανθρακικά πετρώματα εμφανίζουν δομές της καρστικής αποσάθρωσης, που δημιουργούνται με τη διάλυση του ανθρακικού ασβεστίου των πετρωμάτων από το νερό. Αυτή η διάβρωση δημιουργεί διαφόρων μεγεθών, από εκατοστά μέχρι χιλιόμετρα, επιφανειακά και υπόγεια έγκοιλα. Αυτά ανάλογα με το μέγεθος και τη φύση τους χαρακτηρίζονται ως χύτρες, τάφκοι, δολίνες, και πόλγες όταν βρίσκονται στην επιφάνεια, καταβόθρες όταν διεισδύουν στο εσωτερικό των πετρωμάτων, και σιφώνια, βάραθρα και σπήλαια στο εσωτερικό των πετρωμάτων. Όλες οι παραπάνω

δομές συναντώνται σε μεγάλους αριθμούς στην περιοχή του Ψηλορείτη και χαρακτηρίζουν το ανάγλυφο και τη μορφολογία της περιοχής. Η πόλγη της Νίδας και τα σπήλαια των Καμαρών, το Ιδαίον Άνδρο και το σπήλαιο-βάραθρο στα Πετραδολάκια είναι από τις πιο χαρακτηριστικές περιπτώσεις. Μάλιστα στην περιοχή βόρεια του οροπεδίου της Νίδας οι επιφανειακές δομές φαίνεται ότι ακολουθούν την ύπαρξη των ρηγμάτων σχηματίζοντας γραμμικές εμφανίσεις, με πολύ μεγάλη συχνότητα.

Εκτός από τις παραπάνω δομές επίσης χαρακτηριστική είναι η ανάπτυξη των φαράγγιων που είναι αποτέλεσμα της καρστικής αποσάθρωσης και της δράσης ρηγμάτων. Για το λόγο αυτό τα φαράγγια εμφανίζονται περιμετρικά της οροσειράς, κάθετα στη διεύθυνση των μεγάλων ρηγμάτων.

Όσον αφορά στον βαθμό αποσάθρωσης υπάρχει μια σαφής και εμφανής διαφορά ανάμεσα στις δύο ενότητες των πετρωμάτων. Τα πετρώματα της ενότητας των Πλακωδών ασβεστόλιθων, λόγω της μεταμόρφωσης τους, ανθίστανται περισσότερο στη διάβρωση, με αποτέλεσμα το ανάγλυφο στα πετρώματα αυτά να είναι ομαλό και ήπιο. Αντίθετα τα ιζηματογενή πετρώματα της ενότητας της Τρίπολης, διαβρώνονται ευκολότερα και ανομοιόμορφα με αποτέλεσμα να σχηματίζουν ένα τραχύ και ανώμαλο ανάγλυφο. Η εικόνα αυτή είναι πολύ χαρακτηριστική στην περιοχή από το οροπέδιο της Νίδας μέχρι και τη Ζώμινθο. Οι λόφοι και οι κορυφογραμμές αποτελούνται στη βάση τους από πετρώματα των πλακωδών ασβεστόλιθων και για το λόγο αυτό, έχουν ένα ομαλό και ήπιο ανάγλυφο, ενώ αντίθετα οι κορυφές είναι τραχιές και απότομες λόγω της ύπαρξης των πετρωμάτων της Τρίπολης.

Στο χάρτη του σχήματος 5.1, έκδοσης Ι.Γ.Μ.Ε. 1:50000, παρουσιάζεται το γεωλογικό τοπίο της περιοχής που μελετήθηκε.

## **5.2 Μεταλλική τεκτονική**

Από τις τεκτονικές κινήσεις, οι οποίες έδρασαν στην διάρκεια του γεωλογικού χρόνου στην περιοχή της Κρήτης και επηρέασαν την δομή της, ενδιαφέρον για την παρούσα μελέτη παρουσιάζει η νεοτεκτονική δράση (Kilias et al., 1993) η οποία εξακολουθεί να δρα έως και σήμερα. Οι νεοτεκτονικές κινήσεις οφείλονται σε γενικότερη περιστροφή του νησιού γύρω από οριζόντιο άξονα διεύθυνσης ΒΑ - ΝΔ

(Fytrolakis, 1980). Στην κίνηση αυτή το νησί συμμετέχει σαν ένα σύστημα τεκτονικών τεμαχών διαφορετικού μεγέθους και φοράς κίνησης.

Ενδεικτικό του είδους του τεκτονισμού που έχει επηρεάσει την ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος αποτελούν οι εναλλαγές επιφανειών ισοπέδωσης και χαραδρώσεων - ενεργών κοιτών του υδρογραφικού δικτύου.

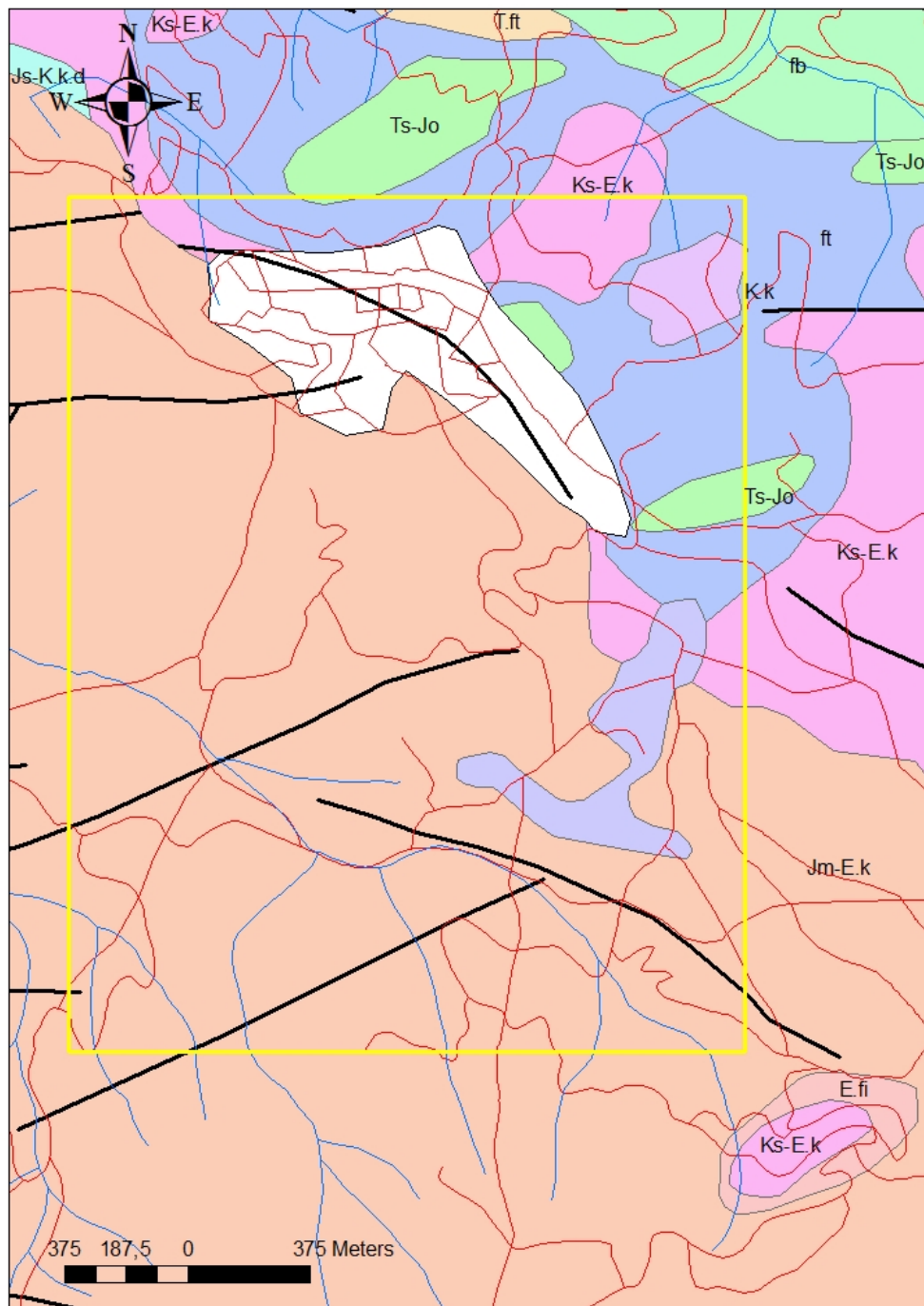
Η τεκτονική κατά την διάρκεια του Νεογενούς για την περιοχή της Κρήτης είναι κυρίως εφελκυστική με πιθανά διαλείμματα συμπιεστικών φάσεων. Από το Μειόκαινο έως σήμερα δύο μεγάλα γεωδυναμικά γεγονότα καθορίζουν την γεωλογική εξέλιξη της Κρήτης: η σύγκλιση Αφρικής και Ευρασίας και της διαφυγής της μικροπλάκας της Ανατολίας προς τα νοτιοδυτικά. Τρεις μεγάλες ομάδες ρηγμάτων προέκυψαν από τις εφελκυστικές φάσεις που έπληξαν την Κρήτη από το Μειόκαινο έως σήμερα.

Η πρώτη και παλαιότερη ομάδα αποτελείται από ρήγματα γενικής διεύθυνσης Α-Δ με ηλικία Μέσο/Ανω Μειόκαινο με αρχές Μεσσηνίου. Οι λεκάνες που είναι προσανατολισμένες στην διεύθυνση Α-Δ είναι αποτέλεσμα αυτών των ρηγμάτων.

Τα ρήγματα γενικής διεύθυνσης Β-Ν και ηλικίας περίπου τέλος Μεσσηνίου με μέσο Πλειόκαινο αποτελούν την δεύτερη μεγάλη ομάδα, υπεύθυνη για την δημιουργία των λεκανών του Ηρακλείου, Ιεράπετρας και Καστελίου Χανίων.

Τέλος η τρίτη και νεότερη ομάδα αποτελείται από ρήγματα γενικής διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ. Πολλά από αυτά τα ρήγματα είναι ακόμα ενεργά.

Στην περιοχή που ερευνήθηκε εντοπίζονται τρεις ρηξιγενείς ομάδες διεύθυνσης Α-Δ, ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ.



Σχήμα 5.1 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης όπου παρουσιάζονται οι κυριότεροι γεωλογικοί σχηματισμοί, τα ρήγματα και το υδρογραφικό δίκτυο. Επεξήγηση συμβόλων: ft – φλύσσης, Ks-E.k – Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι, Ts-Jo, Jm-E.k, Js-K.k.d – Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 6.1 Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας μελετήθηκε η ευρύτερη περιοχή της Νίδας - Ίδιον Άντρον με στόχο να παρουσιαστούν οι καρστικές διεργασίες και οι γεωμορφές που δημιουργούνται. Οι πληροφορίες που συλλέχθηκαν, εντάχθηκαν και αναλύθηκαν σε Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών.

Κάνοντας μια ανασκόπηση των όσων έχουν παρουσιαστεί στα προηγούμενα κεφάλαια προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα.

- Η πόλγη της Νίδας και τα σπήλαια των Καμαρών, το Ίδιον Άνδρο και το σπήλαιο-βάραθρο στα Πετραδολάκια είναι από τις πιο χαρακτηριστικές περιπτώσεις καρστικής αποσάθρωσης στην περιοχή του Ψηλορείτη
- Σε κάποια τμήματα της Νίδας οι επιφανειακές δομές φαίνεται ότι ακολουθούν την ύπαρξη των ρηγμάτων σχηματίζοντας γραμμικές εμφανίσεις, με πολύ μεγάλη συχνότητα.
- Επίσης χαρακτηριστική είναι η ανάπτυξη των φαράγγιων που είναι αποτέλεσμα της καρστικής αποσάθρωσης και της δράσης ρηγμάτων. Για το λόγο αυτό τα φαράγγια εμφανίζονται περιμετρικά της οροσειράς, κάθετα στη διεύθυνση των μεγάλων ρηγμάτων.
- Τα πετρώματα της ενότητας των Πλακωδών ασβεστόλιθων, λόγω της μεταμόρφωσης τους, ανθίστανται περισσότερο στη διάβρωση, με αποτέλεσμα το ανάγλυφο στα πετρώματα αυτά να είναι ομαλό και ήπιο. Αντίθετα τα ιζηματογενή πετρώματα της ενότητας της Τρίπολης, διαβρώνονται ευκολότερα και ανομοιόμορφα με αποτέλεσμα να σχηματίζουν ένα τραχύ και ανώμαλο ανάγλυφο.

<b>7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>
------------------------

Bosák P., 2003, Karst processes from the beginning to the end: How can they be dated?, The Virtual Scientific Journal, Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers1

Cvijić J., 1991, Geomorfologija I, Sabrana dela, SANU, Beograd.

Cvijić J. 1991, Geografija Krasa, Sabrana dela, SANU, Beograd.

Cvijić J., 1991, Karst, Sabrana dela, SANU, Beograd.

Cvijić J., 1957, Podzemna hidrologija i morfoloska evolucija karsta, Posebno Izdanje Srpskog Geografskog Društva, Beograd, Sveska

Cvijić J., 1926, Cirkulacija vode i erozije karsta, Glasnik Beogradskog Društva, Beograd, Sveska.

Cvijic,I., 1960, “La geographie des Terrains calcaires”, Ac. Serbe d. Sciences d. Arts. Monogr. T CCXLI, classe d. Sciences Math. Et Nat.

Car J., 2001, Structural bases for sharpening of dolines, Acta Carstologica, Ljubljana,

Currens J., 2002, Kentucky Is Karst Country!-What You Should Know About Sinkholes and Springs, Inf. Circ.4., series XII, Geological Survey, University of Kentucky, Lexington.

Dreybrodt W. and Gabrovšek F., 2003, Basic processes and mechanisms governing the evolution of karst, The Virtual Scientific Journal, Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers

Jennings J.N., 1971, Karst, THE M.I.T. PRESS, Cambridge, Massachusetts and London, Englan.

Jennings J.N., 1985, Karst Geomorphology, Basil Blackwell Inc. New York.

Jennings J.N., 1979, Cave and karst terminology, ASF. Newsletter

Gams X, 2001, Notion and forms of contact karst, Acta Carstologica, Ljubljana

- Gams X, 2000, Doline morphogenetic processes from global and local viewpoints, Acta Carstologica, Ljubljana2
- Kaufman G., 2003, Karst Landscape Evolutions, Speleogenesis and Evolution of Karst Aqiufires, Postojina- Ljubljana
- Klimchouk A., Lowe D., Cooper A. & Sauro U., 1996, Gypsum Karst of the World, International Journal of Speleology, Societá Speleologica Italiana,
- Klimchouk A., 2000, Speleogenesis - Evolution of Karst Aquifers, National Speleological Society,
- Klimchouk A., 2002, Subsidence hazards in different types of karst: evolutionary and speleogenetic approach, The Virtual Scientific Journal, Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers
- Macaluso T., Sauro U., 1996, Weathering crust and karren on exposed gypsum surface, Int. J. Speleal
- Marković M., Pablobic R., Cupkovic T., 2003, Geomorfologija, Rudarsko-Geoloski Fakultet, Beograd.
- Marković M., 1983, Osnovi primenjene geomorfologije, Geoinstitut, Beograd
- Milanović, P., 2004, Water resources engineering in Karst, , CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Milanovic, P 1981: Karst Hydrogeology W.R.P Colorado
- Perica D. & Buzjak N., 2001, Contet karst of Southern Velebit (Croatia), Acta Carstologica, Ljubljana
- Sauro U., 2003, Dolines and sinkholes: aspect of evolution and problems of classification, Acta Carstologica, Ljubljana
- Sauro U., 2000, Morphogenetical aspect of collapse dolines and open pits in the karst of the Venetian Fore-Alps, Acta Carstologica,
- White W.B., 1988, Geomorphology and Hydrology of karst terrains, Oxford University Press, Oxford, New York.



White W.B., 2003, Conceptual models for karstic aquifers, The Virtual Scientific Journal, Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers,

Williams, P. W., 1993, Environmental Change and Human Impact on Karst Terrains: An Introduction. In: Paul W. Williams ed. Karst Terrains: Environmental Changes and Human Impacts. Cremlingen-Destedt: Catena-Verlag

FORD D., Williams P., 2007, Karst Hydrogeology and Geomorphology, John Wiley & Sons, LTD, West Sussex, England.

ΜΙΛΙΑΝΑ ΓΚΟΛΟΥΜΠΟΒΙΤΣ ΔΕΛΗΓΙΑΝΝΗ - "Καρστική γεωμορφολογική εξέλιξη στη Δυτική Ελλάδα: Η περίπτωση της περιοχής του Ξηρόμερου"  
ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ - ΑΘΗΝΑ 2011

ΛΑΜΠΡΟΠΟΥΛΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ – ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Υδρογεωλογική μελέτη των καρστικών πηγών της περιοχής της Οκτωνίας- πανεπιστήμιο Πατρών τμήμα γεωλογίας ΠΑΤΡΑ 2011

Παπαδοπούλου-Βρινώτη Κ., 2000, Σημειώσεις θεμάτων Καρστικής Γεωμορφολογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών - Γεωλογικό Τμήμα, Τομέας Γεωγραφίας-Κλιματολογίας,

Dreybrodt 1988, Process in Karst Systems Physics, Chemistry, and Geology, Springer Series in Physical Environments.

Jerzy Glazek, Pavel Bosák, Derek C. Ford. Paleokarst as a Problem Developments in Earth Surface Processes.

Perica D., Bognar A., Lozić S., 2002, Geomorphological features of the Baške Oštarije karst polje, Geoadria, Zadar,

George Veni: A geomorphological strategy for conducting environmental impact assessments in karst areas Geomorphology,

Karl Terzaghi on Rockslides: The Perspective of a Half-Century Developments in Geotechnical Engineering

Huntoon PW (1995) Is it appropriate to apply porous media groundwater circulation models to karstic aquifers? In: El-Kadi AI (ed) Groundwater models for resources analysis and management

Veni G: National Cave and Karst Research Institute, USA.

Alexander B. Klimchouk and Derek C. Ford: Ukrainian Institute of Speleology and Karstolog

Jones W.K. 2003. - Introduction to epikarst

Jones W.K., Culver D.C. & Herman J.S. (eds). Karst waters Institute Special Publication 9, Charles Town, W. V

Michel Bakalowicz: Karst and artificial recharge: Theoretical and practical problems: A preliminary approach to artificial recharge assessment.

Paul W. Williams. The role of the epikarst in karst and cave hydrogeology.

Quinlan JF (1978) Types of karst, with emphasis on cover beds in their classification and development. PhD Thesis, University of Texas.

Ivanov BN (1956) On typology of karst landscapes of planes, on the example of Podol'sko-Bulovinsky karst region. In: Voprosy izuchenija karsta na jube Evropejskoj chast.

Bosak, P., Ford, D.C., Glazek, I., and Horacek, I., (eds.), Paleokarst: a systematic and regional review. Amsterdam/Prague, Elsevier/Academia Praha

PALMER, M V., and PALMER, A.N., 1989, Paleokarst of the U.S.A, in Bosak, P., Ford, D.C., Glazek, I., and Horacek, L., (eds.), Paleokarst: a systematic and regional review.

Amsterdam. Klimchouk 1996. The dissolution and conversion of Gypsum and Anhydrite.

Nicod, j. (1967) Recherches morphologiques en Base-Provence calcaire.

Παπαδοπούλου – Βρινιώτη Κ., 2002. Το κωνικό καρστ της Ελλάδας ως παγκόσμιας περιβαλλοντικής αλλαγής.

Μιλιάνα Γκολουμποβιτς Δεληγιάννη, 2011, με τίτλο "Καρστική γεωμορφολογική εξέλιξη στη Δυτική Ελλάδα - Η περίπτωση της περιοχής του Ξηρόμερου", που εκπονήθηκε στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας, Αθήνα.

<http://www.studentsinxanthi.gr/univmenu/mpdmenu/806-gis.html>

[http://geope.teikoze.gr/GEOPE\\_EN/downloads/kapageridis/rs\\_theory.pdf](http://geope.teikoze.gr/GEOPE_EN/downloads/kapageridis/rs_theory.pdf)

<http://aetos.it.teithe.gr/~chargir/lessons/gis/gis.pdf>

[http://www.marathondata.gr/pdfs/arcgis\\_desktop\\_products.pdf](http://www.marathondata.gr/pdfs/arcgis_desktop_products.pdf)

**8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ –ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ**



Φωτο. 4.





Φωτο. 5.



Φωτο. 6.



Φωτο. 7.





Φωτο. 8.



Φωτο. 9.





Φωτο. 10.



Φωτο. 11.





Φωτο. 12.



Φωτο. 13.





Φωτο. 14.