



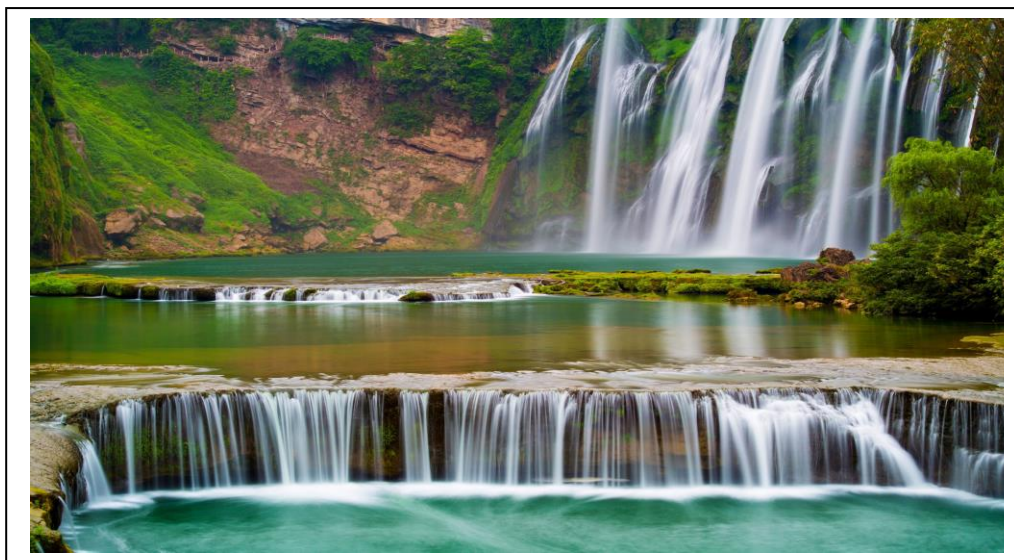
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΠΗΓΗ Θ.ΑΡΓΥΡΙΑΔΟΥ

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΙΚΩΝ ΣΠΗΛΑΙΩΝ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ
ΣΤΗΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΤΙΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ
ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2020





ΠΗΓΗ Θ. ΑΡΓΥΡΙΑΔΟΥ
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5239

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΙΚΩΝ ΣΠΗΛΑΙΩΝ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΗΝ
ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΤΙΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Γεωλογίας,

Επιβλέπων

Λαζαρίδης Γεώργιος, Ε.Δι.Π.



© Πηγή Θ., Αργυριάδου, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωλογίας, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Ανασκόπηση των τραβερτινικών σπηλαίων με έμφαση στην παγκόσμια κατανομή και τις διεργασίες δημιουργίας τους – Διπλωματική Εργασία

© Pigi Th., Argyriadou, School of Geology, Dept. of Geology, 2020

All rights reserved.

Overview of travertine caves with emphasis on their global distribution and processes of development – *Bachelor Thesis*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Εικόνα Εξωφύλλου: Οι καταρράκτες Huangguoshu ύψους 66 μέτρων, αποτελούν ένα από τα διασημότερα τουριστικά αξιοθέατα στην Κίνα. Πίσω από το μέτωπο των καταρρακτών ανάπτυσσεται το τραβερτινικό σπήλαιο Shuiliandong, μήκους 134 μέτρων.

Πηγή: <https://www.lonelyplanet.com/china/guizhou/anshun/attractions/huangguoshu-falls/a/poi-sig/1240610/355936>



Πρόλογος.....	1
Εισαγωγή.....	3
1.2 Κατηγορίες τραβερτίνη.....	5
1.3 Τραβερτίνες από κατακρήμνιση.....	6
1.4 Ταξινόμηση τραβερτίνη.....	6
1.4.1 Αυτόχθονοι τραβερτίνες.....	7
1.4.2 Αλλόχθονοι τραβερτίνες.....	14
1.5 Σπήλαια.....	14
1.5.1 Ορισμός σπηλαίων.....	14
1.5.2 Ταξινόμηση σπηλαίων.....	15
2. Μεθοδολογία.....	19
3. Αποτελέσματα.....	20
3.1 Σπήλαια Τραβερτίνη.....	20
3.2 Παγκόσμια κατανομή σπηλαίων τραβερτίνη.....	21
3.2.1 Ευρώπη.....	21
3.2.2 Ασία.....	34
3.2.3 Αφρική.....	37
3.2.4 Βόρεια Αμερική.....	37
3.2.5 Νότια Αμερική.....	39
3.2.5.1 Βραζιλία.....	39
Συμπεράσματα.....	44
Βιβλιογραφία.....	45
Περίληψη.....	50
Abstract.....	51





Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο «Ανασκόπηση των τραβερτινικών σπηλαίων με έμφαση στην παγκόσμια κατανομή και τις διεργασίες δημιουργίας τους» εκπονήθηκε στα πλαίσια της ολοκλήρωσης των προϋποθέσεων για τη λήψη του πτυχίου μου από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, τμήμα Γεωλογίας. Η ανάληψή της ορίστηκε τον Οκτώβριο του 2019, στη συνέλευση του Τομέα Γεωλογίας αριθμ. 179/09-09-2019, με επιβλέποντα τον Δρ. Γεώργιο Λαζαρίδη, Ε.Δι.Π. και η ολοκλήρωσή της πραγματοποιήθηκε τον Φεβρουάριο του 2020.

Ο στόχος μου κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας είναι η όσο το δυνατόν πληρέστερη ανάλυση του θέματος. Η ανάπτυξη βασίστηκε τόσο σε ξενόγλωσση όσο και σε ελληνική βιβλιογραφία. Έγινε προσπάθεια έτσι ώστε το περιεχόμενο της εργασίας να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο σαφές και κατανοητό και θεωρώ ότι καλύπτει επαρκώς το εξεταζόμενο θέμα.

Τέλος, θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα κ. Λαζαρίδη για τις ιδέες και την καθοδήγησή του, όπως και την οικογένειά μου, καθώς χωρίς την στήριξη και την αγάπη τους η απόκτηση του πτυχίου αυτού θα ήταν αδύνατη.



Αρκετοί πρόσφατοι ορισμοί του τραβερτίνη μπορούν να βρεθούν στη βιβλιογραφία και μπορεί να διαφέρουν μεταξύ τους. Ορισμένοι επικεντρώνονται στη θερμοκρασία ενώ άλλοι στην υδρολογική ζώνη ή τη διεργασία σχηματισμού του πετρώματος. Η διεργασία του σχηματισμού έχει θεμελιώδη σημασία στον ορισμό όλων των ασβεστόλιθων. Μεταξύ των πιο σύντομων, αλλά όχι ιδιαίτερα περιεκτικών ορισμών του τραβερτίνη είναι αυτός του Mitchell (1985) που αναφέρει ότι ο τραβερτίνης σχηματίζεται από την εξάτμιση των πηγών και των ποταμών, ενώ οι WhittenandBrooks (1972) τον ορίζουν ως ένα είδος ασβεστόλιθου που δημιουργείται από ορισμένες θερμές πηγές νερού.

Η θερμοκρασία εισάγεται επίσης στους ορισμούς του Riding (1991) που ορίζουν τον τραβερτίνη ως ένα προϊόν των θερμών ανθρακικών πηγών, όπου υπάρχουν αυξημένες θερμοκρασίες μαζί με διαλυμένα στερεά σε αυτά τα ζεστά νερά, εξαιρουμένων των περισσότερων ευκαρυωτικών οργανισμών. Ωστόσο, άλλοι ερευνητές, όπως οι Glover and Roberston (2003) θεωρούν τον τραβερτίνη ως απόθεση πηγών με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 20 ° C. Ο Emig (1917) έγραψε έναν από τους καλύτερους ορισμούς του σχηματισμού τραβερτίνη στις αρχές του 20ού αιώνα και τον χαρακτήρισε ως απόθεση από το νερό πηγών ή ρευμάτων που περιέχουν διττανθρακικό ασβέστιο σε διάλυμα.

Πολλοί ορισμοί του τραβερτίνη, όπως και οι παραπάνω βασίζονται κυρίως στις διεργασίες σχηματισμού του, για παράδειγμα στην διαδικασία της εξάτμισης. Ωστόσο, στην πραγματικότητα ο σημαντικότερος παράγοντας είναι η χημική σύσταση των φυσικών υδάτων, που περιέχουν τουλάχιστον ελάχιστο ποσοστό ασβεστίου και διττανθρακικού άλατος. Ο περιορισμός ενός ορισμού μόνο για τη θερμοκρασία θα οδηγούσε σε δυσκολίες με παλιές, ανενεργές αποθέσεις, ενώ οι αποθέσεις λιμνών ποικίλλουν και περιλαμβάνουν άλλου είδους υλικά, που κανονικά δεν πρέπει να εξομοιώνονται με τον τραβερτίνη.

Ο Pentecost (2005) όρισε τον τραβερτίνη ως: «Ένας χημικά κατακρημνισμένος ασβεστόλιθος που σχηματίζεται γύρω από τις εκβολές, τις πηγές και κατά μήκος ποταμών και ρευμάτων, περιστασιακά σε λίμνες και αποτελείται από ασβεστίτη ή αραγωνίτη, χαμηλού έως μέτριου διακρυσταλλικού πορώδους και συχνά υψηλού πορώδους μορφώματος μέσα στην ακόρεστη υδρολογική ζώνη (vadose) ή στη ρηχή φρεατική ζώνη (phreatic). Η κατακρήμνιση

οφείλεται κυρίως στη μεταφορά (διαφυγή ή εισβολή) διοξειδίου του άνθρακα από ή προς μια πηγή υπογείων υδάτων που οδηγεί σε υπερκορεσμό ανθρακικού ασβεστίου, με ανάπτυξη πυρήνων/κρυστάλλων που εμφανίζεται σε μια βυθισμένη επιφάνεια».

ΟPentecost(2005),με τον παραπάνω ορισμό στηρίζεται κυρίως στις ανόργανες διεργασίες που αφορούν τον σχηματισμό του τραβερτίνη, δηλαδή στην αντίδραση μεταξύ διοξειδίου του άνθρακα και διττανθρακικού ασβεστίου, αποτέλεσμα της οποίας είναι η εναπόθεση στερεού ανθρακικού ασβεστίου. Δεν αποκλείει ούτε τις βιολογικές διεργασίες, αλλά θεωρεί ότι είναι θυγατρικές.

Ωστόσο, λόγω του ότι ο τραβερτίνης σαν σχηματισμός μπορεί να προκύψει από διάφορες διεργασίες, πολλές φορές οι ορισμοί που επικεντρώνονται στην προέλευσή του είναι ανεπαρκείς. Για παράδειγμα, σε σπάνιες περιπτώσεις, οτραβερτίνης σχηματίζεται υπό την επίδραση του θαλασσινού νερού, ενώ η φωτοσύνθεση των φυκών και των βρυοφυτικών είναι τοπικά σημαντική.

Η εναπόθεση τραβερτίνη συμβαίνει συχνά σε απότομες πλαγιές και σε επιφάνειες μέσα σε κοιλάτες, όπου είναι συνήθως κεκλιμένες και κυματοειδείς. Ο τραβερτίνης που σχηματίζεται *insitu* είναι σπάνια οριζόντιος. Ακόμα, η διαδικασία της φωτοσύνθεσης εντείνει σαν φαινόμενο την κατακρήμνιση ανθρακικού ασβεστίου. και η φωτοσυνθετική δραστηριότητα ενισχύει την κατακρήμνιση του ανθρακικού ασβεστίου. Οι πιο συχνές μορφολογίες είναι οι λόφοι (mounds), τα εκκρεμή (pendants) και οι αναβαθμίδες (terraces) που συνδέονται με φράγματα (dams). Κύρια χαρακτηριστικά του τραβερτίνη είναι η έλλειψη οριζόντιας στρώσης και ο σχηματισμός με χημική κατακρήμνιση. Ο κλαστικός τραβερτίνης που προκύπτει από την αυτόχθονη διάβρωση του τραβερτίνη συναντάται συχνά και εμφανίζεται ως εκτεταμένες επιφάνειες και εναποθέσεις με τη μορφή κώνου (fan). Οι συγκεκριμένες αποθέσεις είναι κλαστικές και εμφανίζονται κυρίως σε οριζόντιο επίπεδο.Εξαίρεση αποτελούν οι αποθέσεις που προσομοιάζουν με τραβερτίνη, ενώ προέρχονται από τη δράση ιόντων. (Pentecost, 2005).

Σε αντίθεση με τον Pentecost(2005), οι Capezzuoli *et al.* (2012) διακρίνουν δύο κατηγορίες: τον τραβερτίνη και την τούφα. Αυτοί ορίζουν ουσιαστικά τον τραβερτίνη ως ένα πέτρωμα απόθεσης με «κανονική στρώση και λεπτή φύλλωση, χαμηλό πορώδες και περατότητα και ανόργανη κρυσταλλική υφή». Από την άλλη ορίζουν την τούφα ως ένα

πέτρωμα με μεγάλο πορώδες που περιέχει «μεγάλο αριθμό από υπολείμματα μικροφυτών και μακροφυτών, ασπονδύλων και βακτηρίων». Με την διάκριση αυτή συμφωνεί και η εργασία των Gradziński *et al.* (2018).

1.2 Κατηγορίες τραβερτίνη

Οτραβερτίνης διακρίνεται από (Pentecost, 2005) σε:

- **Μάργα** που εναποτίθεται στις κλίνες των λιμνών και προκύπτει κατά κύριο λόγο από την κατακρήμνιση του ανθρακικού ασβεστίου μέσω της φωτοσύνθεσης φυτοπλαγκτόν/μακροφύτων, η οποία αυξάνεται με την εξάτμιση του CO₂.
- **Ύφαλο**: Περιστασιακά, σχηματίζονται ύφαλοι στα ασβεστολιθικά όρια της λίμνης που φαίνεται να προέρχονται από τη συσσωμάτωση λεπτών ανθρακικών πλαγκτονικών τρηματοφόρων (π.χ., GreenLake, N.Y.).
- **Ανθρακική κρούστα (calcrete)**, η οποία αποτελεί μια εναπόθεση που σχηματίζεται από την εξάτμιση και την αποβολή CO₂ από το νερό στην υγρή επιφάνεια του εδάφους.

Σε σύγχρονες συνθήκες, οι τραβερτίνες συνήθως διαχωρίζονται εύκολα από τους θαλάσσιους ασβεστόλιθους, τις μάργες και την ανθρακική κρούστα καθώς η διαδικασία του σχηματισμού τους είναι εύκολο να αναγνωριστεί. Η εναπόθεση τραβερτίνη τείνει να εντοπίζεται γύρω από σημεία εμφάνισης μίας πηγής ή συνδέεται με πλούσια σε ασβέστιο ποτάμια. Τα σπήλαια τραβερτίνη έχουν μικρό πορώδες, αλλά σχηματίζουν χαρακτηριστικά ορυκτά κρύσταλλα, κολώνες και κουρτίνες, συχνά με περίεργα σχήματα. Οι πιο δύσκολοι στο να προσδιοριστούν είναι οι παλιότεροι τραβερτίνες. Οι υδρολογικές τους ζώνες μπορεί να είναι σκοτεινές και οι μορφολογίες τους να τροποποιούνται πολύ από τη διάβρωση και τη διαγένεση(Pentecost,2005).

1.3 Τραβερίνες από κατακρήμνιση

Τέσσερις είναι οι χημικές διεργασίες που είναι υπεύθυνες για σχεδόν όλο το σχηματισμό τραβερίτη στη Γη.

1. Οι περισσότεροι τραβερίνες σχηματίζονται από την απαέρωση των επιφανειακών υπογείων υδάτων που είναι πλούσια σε διοξείδιο του άνθρακα και περιέχουν $>2 \text{ mmol L}^{-1}$ ασβέστιο (περίπου 80 ppm).
2. Λίγοι τραβερίνες σχηματίζονται από την αντίδραση μεταξύ ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα και υπερ-αλκαλικών υπόγειων υδάτων. Οι τραβερίνες αυτής της κατηγορίας εντοπίζονται σε διάφορες περιοχές σε παγκόσμια κλίμακα.
3. Μια άλλη διαδικασία μπορεί να περιγραφεί ως αλκαλικοποίηση υπογείων υδάτων και παρατηρείται όταν υπόγεια ύδατα πλούσια σε ασβέστιο αναμιγνύονται με αλκαλικά επιφανειακά ύδατα.
4. Η τέταρτη και τελευταία διαδικασία που σχετίζεται με τον σχηματισμό τραβερίτη είναι η «κοινή δράση ιόντων». Το πιο γνωστό παράδειγμα παρέχεται από την αντίδραση των υπόγειων υδάτων που διεισδύουν σε προϊόντα εξάτμισης που καθίστανται κορεσμένα σε γύψο ή ανυδρίτη (CaSO_4).

1.4 Ταξινόμηση τραβερίτη

Σύμφωνα με τους Pentecost and Viles (1994) οι τραβερίνες διακρίνονται σε έντεκα κατηγορίες, που αποτελούνται από δύο επί μέρους υποκατηγορίες. Στην πρώτη ανήκουν οι αυτόχθονες τραβερίνες, των οποίων ο σχηματισμός σχετίζεται με την παρουσία νερού, ενώ η δεύτερη περιλαμβάνει τους αλλόχθονους (κλαστικούς).

Τα φράγματα τραβερίτη κυμαίνονται από λιγότερο από 1 cm (μέρος ενός μεγαλύτερου συστήματος καταρράκτη) έως πάνω από 100 μέτρα (ανεξάρτητες κατασκευές) σε μήκος. Η δομή και μορφολογία των τραβερίνων που οφείλουν το σχηματισμό τους σε ιζηματογενείς παράγοντες, εξαρτώνται από το περιβάλλον απόθεσης.

1.4.1 Αυτόχθονοι τραβερτίνες

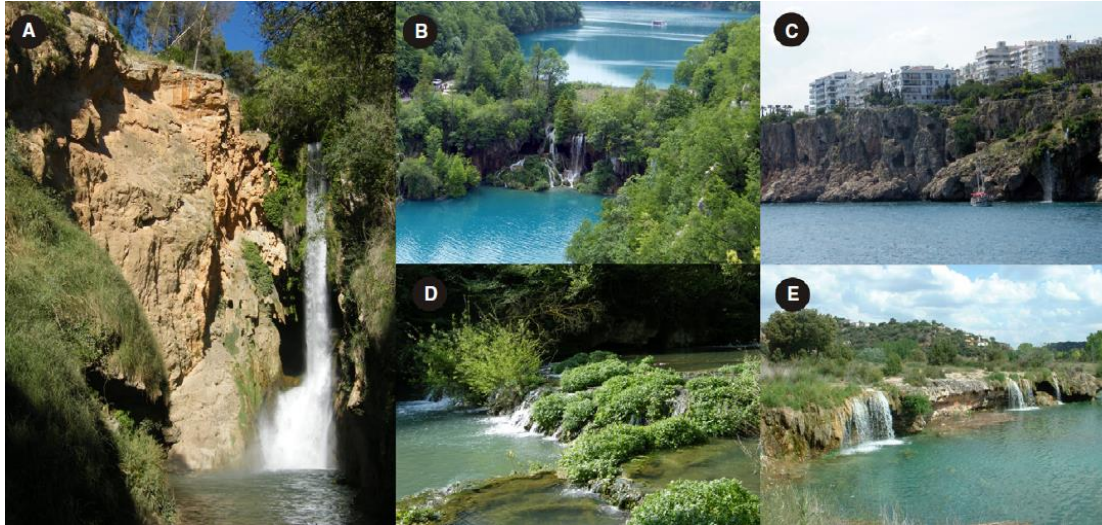
I) Οι τύμβοι (**spring mounds**) είναι θόλοι από τραβερτίνη, γύρω από ένα άνοιγμα μίας πηγής. Οι περισσότεροι τύμβοι απαιτούν υδροστατική πίεση και το σχήμα του στομίου καθορίζει τη γεωμετρία τους. Στην Ευρώπη, οι θόλοι τραβερτίνη είναι ασυνήθιστοι. Μικροί τύμβοι από το Ηνωμένο Βασίλειο είναι γνωστοί για την πλούσια χλωρίδα τους και σχηματίζονται μέσω τριχοειδών του βρύου *Palustriella commutata*. Ανάγλυφοι θόλοι έχουν περιγραφεί στην Πολωνία (Gradziński *et al.*, 2018) και στην περιοχή Paderborn της Γερμανίας (Kanellopoulos, 2013).

Ο σχηματισμός των θόλων αυτών απαιτεί βασικά την παρουσία νερού υπό πίεση, συνθήκες που προσεγγίζονται συνήθως σε αρτεσιανά συστήματα. Το ύψος του αναχώματος περιορίζεται από την υδροστατική κεφαλή και ο ρυθμός ροής πιθανότατα πέφτει καθώς οικοδομείται το ανάχωμα. Ο Pentecost (2005) καταγράφει ένα θόλο στις θερμές πηγές Mammoth που αυξήθηκε σε ύψος κατά 20 εκατοστά σε διάστημα εννέα μηνών. Το αξιοσημείωτο είναι ότι η συμμετρία πολλών θόλων μπορεί να σχετίζεται με το σχηματισμό φραγμάτων. Παράγοντες όπως η τοπογραφία, ο ρυθμός ροής της κεφαλής, καθώς και το ποσοστό κορεσμού του ανθρακικού άλατος, παίζουν ρόλο τόσο στην κλίση, όσο και στη γεωμετρία του θόλου.

Στην δεύτερη κατηγορία θόλων, περιλαμβάνονται σχηματισμοί, οι οποίοι δεν είναι τραβερτίνες με την ακριβή έννοια του όρου αλλά προσομοιάζουν πολύ με αυτούς. Αυτού του τύπου οι θόλοι, σχηματίζονται κάτω από νερό, σε λίμνες με υψηλή συγκέντρωση αλάτων, και κυρίως από τη συνένωση ασβεστούχων υδάτων με αλατούχο νερό λίμνης. Σε περίπτωση που για κάποιο λόγο μειωθεί η στάθμη της λίμνης, αποκαλύπτονται οι εν λόγω σχηματισμοί με τη μορφή αναχώματος ή πύργου. Τα πιο γνωστά παραδείγματα εντοπίζονται στις Ηνωμένες Πολιτείες στις λίμνες Mono, Pyramid, Searles και Washoe και στη Νεβάδα στα Buffalo Springs.

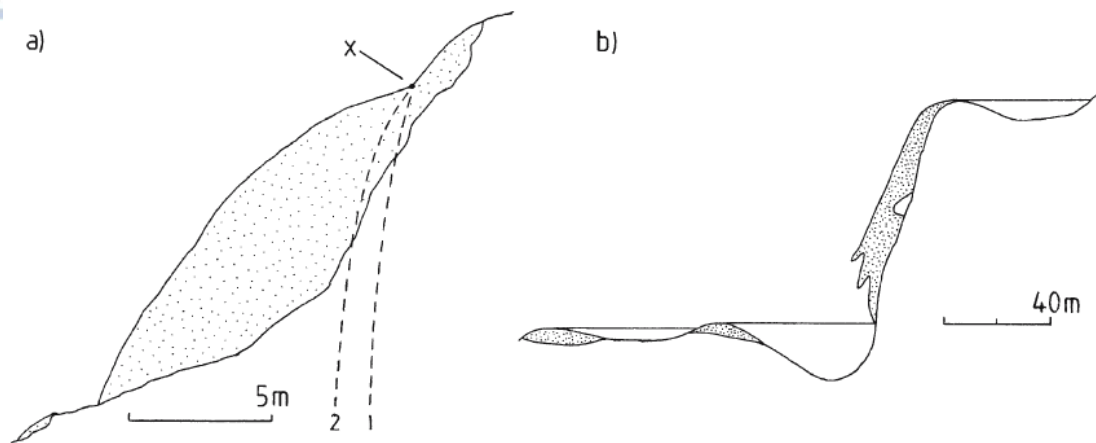
II) Στις ενεργές θέσεις τραβερτίνη μπορούν να διακριθούν δύο τύποι καταρράκτη (**cascade**): οι διαβρωτικές αποθέσεις, κατά προσέγγιση παραβολικές σε τομή και συχνά με αυλακωμένα κανάλια, με μορφολογία η οποία ελέγχεται σε μεγάλο βαθμό από την κατεύθυνση του ρεύματος και οι κατακόρυφες αποθέσεις, που το ποσοστό εναπόθεσης είναι μεγαλύτερο από το ποσοστό διάβρωσης σε μεγάλες χρονικές περιόδους (Pentecost, 2005). Οι κατακόρυφες εναποθέσεις σχηματίζονται σε υψηλής αντοχής στρώσεις, με απαραίτητη την παρουσία

ρεύματος με υψηλή απόρριψη. Θερμογενείς τραβερτίνες που σχηματίζουν λόφους και βράχια συχνά αναπτύσσουν αυτόν τον τύπο (Εικόνα 1).



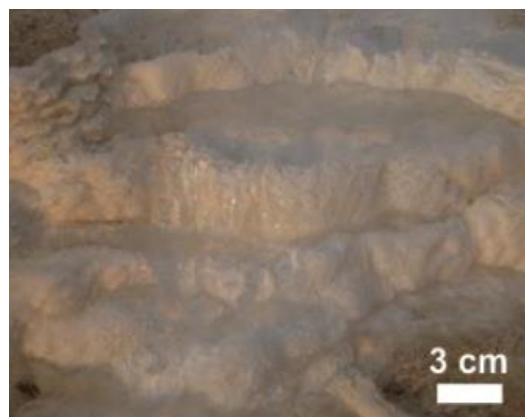
Εικόνα 1: Παραδείγματα μορφολογίας τραβερτίνη: (Α) καταρράκτης (περίπου 50 m ύψος) στο φυσικό πάρκο Monasterio de Piedra (Σαραγόσα - Ισπανία). (Β) λίμνη και καταρράκτης (περίπου 15 m ύψος) στο Plitvice Jezera (Κροατία) (C) βράχος με ορुकτά τοιχώματα (περίπου 20 m ύψος) στην Αττάλεια (Τουρκία). (D) μικρά φράγματα (ύψος περίπου 50 cm) στο φαράγγι της Διβόρρας (Σιένα, Ιταλία) (E) μικροί καταρράκτες (ύψους περίπου 2 m) κάτω από το Lagunas Redondilla, στο φυσικό πάρκο Ruidera Pools Natural Park (Ισπανία) (Capezzuoli et al., 2014)

Είναι αναγνωρίσιμος ένας αριθμός καταρρακτών που περιλαμβάνουν τον κατακόρυφο καταρράκτη όπου το νερό ρέει κατά μήκος μιας στενής σχισμής πριν βυθιστεί πάνω από μια προεξέχουσα μύτη τραβερτίνη, όπως είναι οι Gütersteiner Falls στην Γερμανία και οι καταρράκτες του Maurienne στην Γαλλία (Εικόνα 2). Οι σωλήνες τραβερτίνη (röhren), που περιγράφονται στην Κροατία αποτελούνται από έναν προεξέχοντα κύλινδρο τραβερτίνη που σχηματίζει ένα φυσικό στόμιο στην κορυφή μικρών καταρρακτών, με αποτέλεσμα να δημιουργείται μια κλιμακωτή δομή από μικρά φράγματα, η λεγόμενη "gehängetuffe" (Capezzuoli et al., 2014).

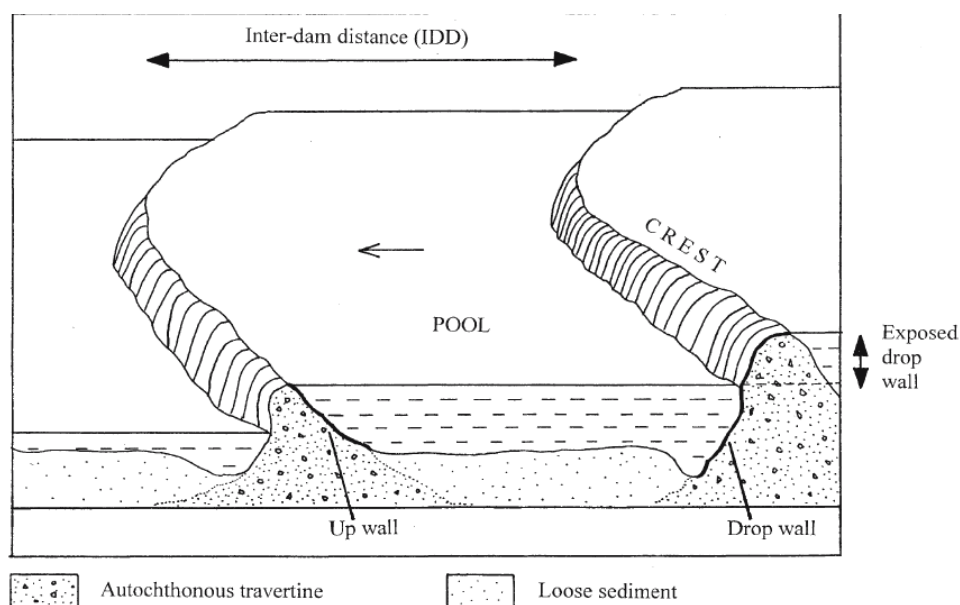


Εικόνα 2: Δύο καταρράκτες τραβερτίνη που παρουσιάζουν χαρακτηριστικά διάβρωσης. α) Καταρράκτης Beck, Ηνωμένο Βασίλειο. Καταρράκτης ύψους 13 m. Δύο τροχιές για σωματίδια που μεταφέρονται με νερό παρουσιάζονται με τις διακεκομμένες γραμμές, αρχίζοντας από το σημείο X. β) Καταρράκτης Huang guoshu, επαρχία Guizhou, Κίνα όπου σχηματίζεται τραβερτίνης σε γκρεμό 74 m. Αποτελείται από το σπήλαιο τραβερτίνη, την πισίνα και δύο υποβαθμισμένα φράγματα τραβερτίνη (Pentecost, 2005)

III) Τα φράγματα (**dams**) διακρίνονται από τους καταρράκτες από την τοπική τους κατακόρυφη προσαύξηση που οδηγεί σε κατακρήμνιση νερού ως δεξαμενές (εκτεταμένες επιφάνειες, Εικόνα 3). Τα φράγματα συνήθως εμφανίζονται σε σειρά κατά μήκος των υδάτων. Το συνολικό ύψος του φράγματος μετριέται με βάση έναν δείκτη που ονομάζεται EDW(exposed dropwall height), ο οποίος προσδιορίζει ουσιαστικά την απόσταση μεταξύ του επιπέδου του νερού και την κορυφή στο εκτεθειμένο τοίχωμα. Το EDW κυμαίνεται από μερικά εκατοστά έως> 40 μέτρα, αλλά στα περισσότερα φράγματα κυμαίνονται από 0,2 έως 5 μέτρα (Gradziński et al.,2018; Kanellopoulos, 2013).

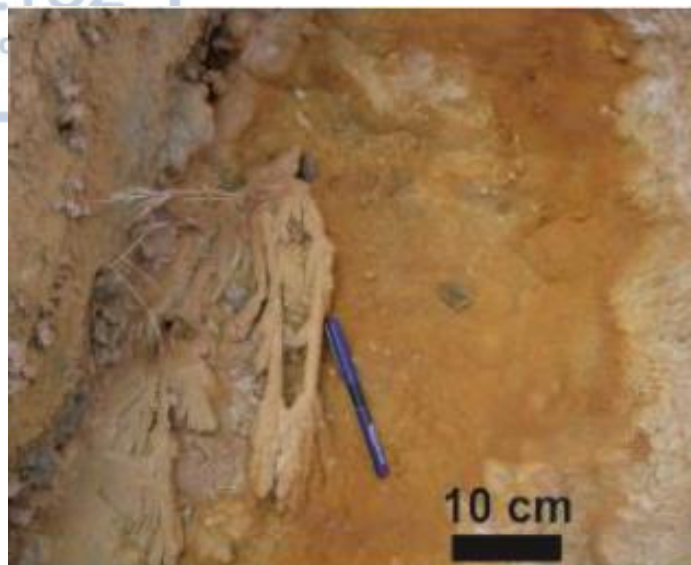


Εικόνα 3: Φράγματα τραβερτίνη στην Αιδηψό (Kanelloroulos, 2013)



Εικόνα 4: Μορφολογικά χαρακτηριστικά των φραγμάτων τραβερτίνη (Gradziński, et al., 2018)

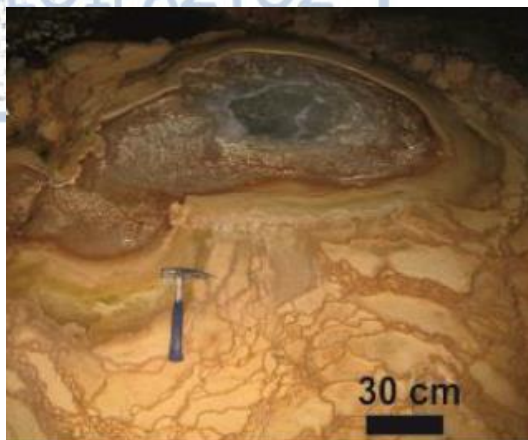
IV) Οι κρούστες (**fluvial crusts**) περιλαμβάνουν μια σειρά επιφανειακών αποθέσεων που σχηματίζονται στο τρεχούμενο νερό μικρών και μεγάλων ρευμάτων (Εικόνα 5). Οι δομές στις οποίες σχηματίζονται μπορεί να είναι ομαλές, οζώδεις ή κοραλοειδείς. Οι ξεχωριστές κρούστες, που ονομάζονται oncoïds, αναπτύσσονται γύρω από πέτρες/βράχους και πυρήνες φυτών.



Εικόνα 5: Κρούστες τραβερτίνη σε ξηρό υδάτινο ρεύμα στην Αιδηψό (Kanelloroulos, 2013)

V) Οι αποθέσεις λίμνης (**terraces**) είναι πισίνες με μικρό βάθος και χαμηλή ταχύτητα ροής (Εικόνα 6Α). Ανήκουν στον ποταμό, ο οποίος παρέρχεται αργά μέσω της λίμνης, με αποτέλεσμα να προκαλείται μείωση της εξοικονόμησης διοξειδίου του άνθρακα, ενώ παράλληλα πραγματοποιείται καθίζηση αλάτων, που οφείλεται στις διεργασίες εξάτμισης και φωτοσύνθεσης. Τα συστήματα μορφολογικής ταξινόμησης των εκτεταμένων επιφανειών τραβερτίνη έχουν προταθεί από διάφορους συγγραφείς (Fouke *et al.*, 2000; Carezzuoli *et al.*, 2014). Αυτού του τύπου οι τραβερτίνες μερικές φορές παρεμβάλλονται και με μάργες σχηματίζοντας βαθύτερο νερό.

VI) Οι ύφαλοι (**reefs**) είναι μικροί μορφολογικοί τύποι (χιλιοστά έως λίγα εκατοστά σε μέγεθος) που συναντώνται σε ιζήματα ή βράχους, στους τοίχους και στα όρια του υδάτινου ρεύματος (Εικόνα 6Β). Η προέλευσή τους είναι ασαφής, πιθανώς είναι κάποια μορφή διαδικασίας συγκόλλησης, ενδεχομένως σχετιζόμενη με μικροβιακά μεσολαβητικά αποτελέσματα (Pentecost, 2005).



A



B

Εικόνα 6 :Αποθέσεις λίμνης που δημιουργούν μικρό ανάχωμα στην Αιδηψό (A), Υφραλοι που συνδέονται στα όρια ενός υδάτινου ρεύματος στην Αιδηψό (B) (Kapelloroulos, 2013)

VII) Οι βαλτώδεις αποθέσεις (**paludal deposits**) είναι συσσωρεύσεις που συχνά περιλαμβάνουν πολύ ανθρακική λάσπη. Βρίσκονται σε βαλτώδες περιβάλλον με αργή ροή νερού και μεγάλη βλάστηση (Εικόνα 7A).



A



B

Εικόνα 7: Βαλτώδεις αποθέσεις που σχετίζονται με θειικά και κυανό βακτήρια στην Αιδηψό (A), Τσιμεντοειδείς δομές στην Αιδηψό [Οξείδια σιδήρου (Fe), οξείδια τιτανίου (Ti), χαλαζίας και απατίτης] (B)(Kapelloroulos, 2013)

VIII) Οι συμπαγείς κλάστες (**Cemented clasts**) αποτελούνται από υλικό συγκόλλησης, αλλούβια ιζήματα και χαλίκι που σχηματίζονται ως αποτέλεσμα της απαέρωσης του εδάφους και του επιφανειακού ύδατος στην επίγεια ατμόσφαιρα, αλλά δεν είναι πάντοτε δυνατό να γίνει διάκριση μεταξύ της επιφάνειας και της υπογείως τσιμεντοποίησης, οδηγώντας στην καθίζηση από ασβεστούχα κορεσμένα ύδατα (Εικόνα 7B).

Τα **σπηλαιοθέματα** αποτελούνται από ασβεστίτη ή αραγωνίτη. Τα συστήματα εναπόθεσης είναι περιλαμβάνουν τις διαδικασίες τις εξάτμισης και της ροής αέρα και συλλειτουργούν παρέχοντας μια ατέλειωτη ποικιλία σπηλαιοθεμάτων (Εικόνα 8). Οι σταλακτίτες σχηματίζονται λόγω της εναπόθεσης στην οροφή του σπηλαίου σταγόνων νερού πλούσιων σε ανθρακικό ασβέστιο και διοξείδιο του άνθρακα, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται ένας δακτύλιος παρόμοιου μεγέθους με τη σταγόνα. Καθώς συνεχίζεται η εναπόθεση των σταγόνων με σταθερό και αργό ρυθμό, ο δακτύλιος αυτός αυξάνεται σε μήκος και δημιουργείται ένας σωλήνας, ο οποίος με τη σειρά του συνεχίζει να αναπτύσσεται μέχρι το βάρος αυτού να υπερβεί τη δύναμη που τον συγκρατεί στην οροφή του σπηλαίου. Αυτοί οι σταλακτίτες είναι γνωστοί με τον όρο 'καλαμάκια'. Η επιφανειακή τάση της πτώσης και η επιτάχυνση λόγω βαρύτητας είναι οι παράγοντες που καθορίζουν την διάμετρο τους (Capezzuoli et al., 2014; Pentecost, 2005).

Οι σταγόνες που πέφτουν στο δάπεδο του σπηλαίου συνεχίζουν να χάνουν το CO₂, με αποτέλεσμα να σχηματίζουν σταλαγμίτες. Το μέγεθος των σταλαγμιτών ποικίλλει στο εσωτερικό του σπηλαίου. Δεν είναι σπάνιο το γεγονός σχηματισμού μαζικών δομών σταλαγμιτών, με ύψη που συχνά πλησιάζουν και την οροφή, ενώ ενδεχόμενο αποτελεί και το γεγονός να ενωθούν με σταλακτίτες και να σχηματίσουν κολώνες. Η διάμετρος των σταλαγμιτών συχνά είναι παρόμοια με τους αντίστοιχους προεξέχοντες σταλακτίτες από πάνω τους, ενώ δεν είναι σπάνιο οι σταλαγμίτες να είναι μεγαλύτεροι, λόγω του ότι ο χρόνος εναπόθεσης των σταγόνων είναι μεγαλύτερος. Οι σταλακτίτες δεν παρουσιάζουν συγκεκριμένο μοτίβο με το οποίο αναπτύσσονται, σε αντίθεση με τους σταλαγμίτες, οι οποίοι είναι γνωστοί με τον όρο «cuspsate» (Pentecost, 2005).



Εικόνα 8: Σπηλαιοθέματα σε κατασκευαστικές σπηλιές. Α - ενσωματωμένες κουρτίνες τραβερτίνη σε μια σπηλιά (Jelenecská jaskyňa, Σλοβακία). Β - ένας ευρύς σταλαγμίτης, του οποίου το κατώτερο μέρος καλύφθηκε με κρούστες όταν βυθίστηκε σε μια υπόγεια δεξαμενή (Höllgrotten, Ελβετία) (Gradziński et al., 2018)

1.4.2 Αλλόχθονοι τραβερτίνες

Οι αλλοχθόνιοι (κλαστικοί) τραβερτίνες σχηματίζονται σε τυρβώδη περιβάλλοντα. Δεν είναι σπάνιο το φαινόμενο αποθέσεις να περιέχουν μία ποσότητα κλαστικού υλικού, ενίοτε σημαντική, λόγω της επίδρασης της διάβρωσης σε τραβερτίνες που σχηματίζονται. Οι μάργες τραβερτίνη που σχηματίζονται σε βαλτώδες περιβάλλον είναι ιδιαίτερα επιρρεπείς στην εκ νέου εναπόθεση και έχουν διακριθεί κατά κύριο λόγο ως κλαστικές αποθέσεις.

1.5 Σπήλαια

1.5.1 Ορισμός σπηλαίων

Σύμφωνα με την Διεθνή Σπηλαιολογική Ένωση (UIS) ο όρος σπήλαιο αναφέρεται ως μία φυσική υπόγεια κοιλότητα, αρκετά μεγάλη ώστε να εισέρχεται στο εσωτερικό της ο άνθρωπος και η οποία μπορεί να είναι εν μέρει ή εξ ολοκλήρου πληρωμένη με ιζήματα, νερό ή πάγο. Ο όρος σπηλιά προϋποθέτει έτσι να έχει ένα μέγεθος αρκετά μεγάλο για να επιτρέπει σε ένα άνθρωπο, να εισέρχεται μέσα σε αυτή. Ουσιαστικά ο χαρακτηρισμός του σπηλαίου αποδίδεται με βάση το

μέγεθος ενός ανθρώπου. Αυτός ο ορισμός, ωστόσο, δεν είναι απόλυτος, καθώς μικρά περάσματα και δωμάτια που συνδέονται με σπηλιές περιλαμβάνονται στον ορισμό και ανήκουν στις σπηλιές. Ένας επιστήμονας έχει τη δυνατότητα να ονομάσει μικρότερες κοιλότητες ως σπηλαία, αν αυτό είναι απαραίτητο για αυτόν (Bögli, 1980).

Ως συνώνυμο για τη σπηλιά χρησιμοποιείται ο όρος grotto, που προέρχεται από την ιταλική λέξη - grotta - ή την γαλλική - grotte -, η οποία μπορεί γενικά να μεταφραστεί επίσης ως σπηλιά. Με τον όρο grotto είναι χαρακτηρίζεται ένα μικρό έως μεσαίο, φυσικό ή τεχνητό σπήλαιο, που περιέχει στο εσωτερικό του σταλακτίτες και σταλαγμίτες. Οι σπηλιές που είναι πιο περίπλοκες κατασκευές, όπως διακλαδισμένες και διασταυρούμενες σπηλιές, σπηλιές με μορφή λαβύρινθου ή συνδυασμός φρεατίων και οριζόντιων διόδων ονομάζονται συστήματα σπηλαίων.

1.5.2 Ταξινόμηση σπηλαίων

Οι κοιλότητες μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κύριες ομάδες: πρωτογενή και δευτερογενή σπήλαια, σύμφωνα με τον τρόπο με τον οποίο δημιουργήθηκαν.

Πρωτογενή σπήλαια

Όλες οι υπόγειες κοιλότητες που δημιουργούνται ταυτόχρονα με το βράχο ονομάζονται πρωτογενή σπήλαια. Ο σχηματισμός των σπηλαίων αυτών δεν έχει σχέση με την υπόγεια αποστράγγιση, αλλά με την ανάπτυξη κοίλων εσοχών σε πυριγενή και ιζηματογενή πετρώματα. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι σήραγγες λάβας και φυσαλίδας (vesicles), και στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι σπηλιές των υφάλων και οι σπηλιές τραβερτίνη.

Πρωτογενή σπήλαια σε πυριγενή πετρώματα

1. Τα **σπήλαια φυσαλίδας** (vesicles) είναι φυσαλίδες αερίου από την απαέρωση του μάγματος που διατηρούνται μετά την πήξη του. Σπάνια φτάνουν σε μια διάμετρο μερικών δεκατομέτρων και σπανίως στο μέγεθος που απαιτείται για τον ορισμό των σπηλαίων.

2. Οι **σήραγγες λάβας** (lava tunnels) σχηματίζονται στη βασαλτική λάβα λόγω του χαμηλού ιξώδους της. Δημιουργούνται κάτω από την στερεοποιημένη λάβα-επικάλυψη ενώ η ρευστή ακόμη λάβα απομακρύνεται, αφήνοντας πίσω της ένα κενό και επιστεγασμένο σπηλαιώδη χώρο. Στο Εθνικό Μνημείο Lava beds (Βόρεια Καλιφόρνια) έχουν καταγραφεί 296

τέτοιες σήραγγες, μερικές από τις οποίες έχουν πολλά χιλιόμετρα μήκος. Στο Όρεγκον και στην πολιτεία της Ουάσιγκτον υπάρχουν αμέτρητες σήραγγες λάβας, οι οποίες διαπερνούν τα ατέλειωτα δάση. Στην Ισλανδία το Raufarhoishellir εκτείνεται σε 3,2 χιλιόμετρα. Πολλές σήραγγες λάβας εντοπίζονται και στη Χαβάη και την Ιαπωνία (Bögli, 1980).

Ιζηματογενή πρωτογενή σπήλαια

Οι κοιλότητες μεγάλου μεγέθους δεν είναι δυνατό να δημιουργηθούν σε ιζήματα, τα οποία αρχικά αποτίθενται ως «χαλαρά» υλικά, εκτός εάν τα συστατικά έχουν το αντίστοιχο μέγεθος. Στα υπολείμματα κατολίσθησης εμφανίζονται μικρές, ακανόνιστα σχηματιζόμενες σπηλιές μεταξύ των τεράστιων ογκόλιθων, που ονομάζονται "overcovering" σπηλιές. Ο σχηματισμός τέτοιου είδους σπηλαίων είναι περισσότερο πιθανός, όταν τα ιζήματα αποτίθενται σε συνεκτική κατάσταση. Στους κοραλλιογενείς υφάλους, οι αποικίες των ζωντανών οργανισμών, οι οποίες αναπτύσσονται με μεγάλο ρυθμό στο ζεστό νερό που είναι πλούσιο σε τροφή, περικλείουν κοιλότητες, που ονομάζονται σπήλαια υφάλων. Τα σπήλαια αυτά έχουν ποικίλο μέγεθος. Ωστόσο, δεν έχουν μεγάλη διάρκεια καθώς γεμίζουν με κοραλλιογενή άμμο. Στην ίδια κατηγορία ανήκουν και τα σπήλαια τα οποία σχηματίζονται, καθώς ο ασβεστολιθικός τραβερτίνης αναπτύσσεται (Bögli, 1980) .

Δευτερογενή σπήλαια

Ανάλογα με το αν ο σχηματισμός των σπηλαίων οφείλεται σε εξωτερικά ή εσωτερικά αίτια, αυτά διακρίνονται σε εξωγενή και ενδογενή αντίστοιχα.

Εξωγενή σπήλαια

Τα **αιολικά σπήλαια** (wind caves) δημιουργούνται από τη δράση του ανέμου, που σε μια καταιγίδα σκάβει το βράχο με την άμμο που μεταφέρει και σχηματίζονται κυρίως σε άνυδρες περιοχές.

Τα **σπήλαια των τρεχούμενων ποταμών** (river-bank caves) οφείλονται στη δράση των ρευμάτων των ποταμών και των ρυακιών. Παράδειγμα αποτελεί το σπήλαιο Lettenmayer κοντά στο Kremsmünster (Αυστρία) έχει περίπου βάθος 25 μέτρα.

Στα **σπήλαια θαλάσσιας διάβρωσης** (wave-cut) οι ανοιχτές κοιλότητες μπορούν να διευρυνθούν από την πίεση των κυμάτων και από τα ρεύματα που προκαλούνται από αυτά. Εάν η διεργασία της καρστικής διάβρωσης οδηγήσει σε διεύρυνση της κοιλότητας, τότε το σπήλαιο πρέπει να ταξινομηθεί ως καρστικό, π.χ. Blue Grotto στο Capri (Bögli, 1980).

Ενδογενή σπήλαια

Τα ενδογενή σπήλαια οφείλουν τον σχηματισμό τους σε αίτια που δραστηριοποιούνται στο εσωτερικό του φλοιού. Οι τεκτονικές διεργασίες και η διάβρωση είναι οι κύριοι παράγοντες της δημιουργίας μιας κοιλότητας. Αυτά διακρίνονται σε:

- **Τεκτονικά σπήλαια** (tectonic caves) οι παράγοντες δημιουργίας οφείλονται σε τεκτονικά αίτια, ενώ οι μετέπειτα αλλαγές που πραγματοποιούνται εξαιτίας της διάβρωσης θεωρούνται επουσιώδεις.

- **Σπήλαια ρωγμών** (open joint caves), που εντοπίζονται μέχρι σήμερα μεταξύ των τεκτονικών σπηλαίων. Στα σπήλαια αυτά, ο σχηματισμός των κοιλοτήτων οφείλεται σε μορφολογικές και όχι σε τεκτονικές διεργασίες, η κοιλότητα τους δημιουργείται όχι από τεκτονικές αλλά από μορφολογικές διεργασίες, όπως για παράδειγμα οι κινήσεις μαζών.

- Τα **καρστικά σπήλαια** (karst caves) εμφανίζονται πολύ πιο συχνά από ό,τι όλοι οι άλλοι τύποι σπηλαίων. Έχουν πολύ μεγάλο μέγεθος και δημιουργούνται από υπόγεια ύδατα. Αυτού του τύπου τα σπήλαια ταξινομούνται με βάση υδρολογικά κριτήρια και συγκεκριμένα ανάλογα με τον τρόπο ροής του ποταμού και διακρίνονται σε κάθετα και οριζόντια σπήλαια. Τα **καρστικά σπήλαια** μπορούν να χωριστούν σε:

1. Σπήλαια στρώσεων (bedding caves), που δημιουργούνται μεταξύ δύο στρώσεων παρόμοιου, διαλυτού βράχου
2. Σπήλαια επαφής (contact caves), που δημιουργούνται μεταξύ δύο διαφορετικών ειδών πετρωμάτων των οποίων το υποκείμενο πέτρωμα είναι αδιάλυτο,
3. Σπήλαια διακλάσεων (joint caves), οι οποίες δημιουργούνται κατά μήκος αρθρώσεων πετρωμάτων.

Γεωλογική-Πετρογραφική Ταξινόμηση

Ο τύπος του πετρώματος αποτελεί ακόμα ένα κριτήριο ταξινόμησης σπηλαίων. Τα lithολογικά κριτήρια είναι η διαλυτότητα, η γεωμορφολογική σκληρότητα και η αντοχή στις καιρικές συνθήκες.

-**Σπήλαια κιμωλίας** (chalk caves): γενικά σπάνια λόγω της ήπιας γεωμορφολογικής σκληρότητάς τους, μια εξαίρεση αποτελεί η Parisian Basin.

-**Σπήλαια ασβεστόλιθου και δολομίτη** (limestone and dolomite caves): λόγω του υψηλού βαθμού γεωμορφολογικής σκληρότητας του βράχου υπάρχουν καρστικά σπήλαια που άρχισαν να σχηματίζονται στη Μεσοζωική Περίοδο.

-**Γύψινα σπήλαια** (Gypsum caves): ευρέως διαδεδομένες σε πετρώματα γύψου.

-**Σπήλαια από ψαμμίτη** (Sandstone caves): δημιουργούνται από το συνδυασμό της διάλυσης του μητρικού πετρώματος και του φαινομένου της διάβρωσης. Το ποσοστό της διάβρωσης είναι υψηλό. Οι σπηλιές από χαλαζίτης συμπεριλαμβάνονται στην παρούσα ομάδα.

-**Σπήλαια σε κροκαλοπαγή** (Conglomerate caves): δημιουργούνται με τη διάλυση των συστατικών καθαρού ασβεστόλιθου ή / και της μήτρας καθώς και με τη διάβρωση.

-**Σπήλαια γρανίτη** (Granite caves): Για τη δημιουργία τους έχουν προταθεί διάφοροι τρόποι. Τέτοια σπήλαια είναι γνωστά στη Σουηδία.

-**Σπήλαια από παγετώνες** (Glacier caves): εντοπίζονται στον παγετώδη πάγο ή στον πάγο γενικά.

Ταξινόμηση σύμφωνα με το μέγεθος

Το μέγεθος ενός σπηλαίου είναι σημαντικό και αποτελεί ένα ακόμα από τα κριτήρια ταξινόμησης των σπηλαίων. Ανάλογα, λοιπόν, με το μήκος που μετράται στο εσωτερικό των σπηλαίων τα σπήλαια διακρίνονται σε μικρά-μεσαία-μεγάλα έως γιγάντια, κατηγορίες των οποίων τα μήκη κυμαίνονται από 50 έως και 5000 μέτρα. Η εξερεύνηση των σπηλαίων αποτελεί ένα φαινόμενο, το οποίο έχει εντατικοποιηθεί τις τελευταίες δεκαετίες. Το 1965 είχαν εντοπιστεί μόνο πέντε σπήλαια μήκους άνω των 25 χιλιομέτρων, μεταξύ των οποίων το Höllloch (Ελβετία) που ήταν το μεγαλύτερο με μήκος 81 χιλιόμετρα. Στις αρχές του 1980 είχαν εντοπιστεί 33, και το Höllloch βρίσκονταν στην τρίτη θέση με μήκος 140 χιλιόμετρα μετά το Flint Mammoth (341χλμ.) και το Optirnisticeskaja Peschtschera (142,5χλμ.) (Bögli,1980).

Για την εκπόνηση της εργασίας πραγματοποιήθηκε αναζήτηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας σχετικά με τα σπήλαια, τον τραβερτίνη, το συνδυασμό τους ως τραβερτινικά σπήλαια και την κατανομή τους σε όλο τον κόσμο. Η παρούσα ανασκόπηση πραγματοποιήθηκε στις βάσεις δεδομένων ScienceDirect, Scopus, GoogleScholar χρησιμοποιώντας τις λέξεις κλειδιά: caves, travertine, travertive caves, karst caves, speleothems, worldwide distribution, σπήλαια, τραβερτίνη, τραβερτινικά σπήλαια, παγκόσμια.

Τα άρθρα που ανακτήθηκαν για την ανασκόπηση πληρούσαν τα κριτήρια επιλογής και περιείχαν διαφορετικές γνώσεις/πληροφορίες σχετικά με το θέμα. Τα κριτήρια επιλογής της βιβλιογραφίας ήταν τα εξής:

- Τα άρθρα να αναφέρονται στα σπήλαια και στην εναπόθεση τραβερτίνη σε παγκόσμια κλίμακα.
- Τα άρθρα να είναι ερευνητικά άρθρα.
- Τα άρθρα να έχουν δημοσιευτεί στα αγγλικά κατά τα τελευταία έτη.
- Τα άρθρα να έχουν δημοσιευθεί σε έγκυρα περιοδικά κυρίως στο τομέα της γεωλογίας.
- Το σύνολο της βιβλιογραφίας να παρέχει μια ολοκληρωμένη και σφαιρική ανασκόπηση του θέματος.

Τα στοιχεία του κάθε άρθρου ελέγχθηκαν και με βάση τις κύριες ιδιότητες και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των σπηλαίων που μελετά η επιστημονική κοινότητα προέκυψαν οι αντίστοιχες στήλες του συγκεντρωτικού πίνακα που παρουσιάζει την παγκόσμια κατανομή των σπηλαίων (ονομασία, χώρα, περιοχή, διαστάσεις, πετρώματα, υδρολογία, απολιθώματα, χρονολογήσεις, τύπος σπηλαίου, παρατηρήσεις, μορφολογία) (Πίνακας 1 στο Παράρτημα).

3.1 Σπήλαια Τραβερτίνη

Σήμερα πολυάριθμοι τύποι τραβερτινικών σπηλαίων είναι γνωστοί. Τα τραβερτινικά σπήλαια διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο που σχηματίστηκαν, εάν δηλαδή μορφοποιήθηκαν ταυτόχρονα ή μεταγενέστερα από το πέτρωμα/βράχο που τα φιλοξενεί σε πρωτογενή και δευτερογενή σπήλαια, αντίστοιχα (Bögli, 1980). Η πιο συνηθισμένη μορφή είναι το σύστημα πρωτογενούς σπηλαίου που σχηματίζεται συχνά κάτω από τους καταρράκτες. Στην πρώτη κατηγορία πρωτογενών σπηλαίων ανήκουν αυτά, τα οποία αναπτύσσονται καθώς ο τραβερτίνης σχηματίζει μια προεξοχή στη θέση ενός καταρράκτη ή φράγματος που τελικά συναντά το έδαφος αφήνοντας πίσω του μια κοιλότητα. Η δεύτερη κατηγορία πρωτογενών σπηλαίων είναι οι τραβερτινικές γέφυρες, οι οποίες σχηματίζονται όταν ο τραβερτίνης σχηματίζει μια προεξοχή πάνω από μια βαθιά κοιλάδα, επιστεγάζοντας την και δημιουργώντας ένα σπήλαιο (Bayarri 2002). Τα δευτερογενή σπήλαια είναι αυτά τα οποία δημιουργούνται σε μεταγενέστερο χρόνο από το πέτρωμα που εντοπίζονται και προκύπτουν από τις διαδικασίες της διαγένεσης, και συγκεκριμένα από διαδικασίες όπως διάβρωση, απόθεση, διαλυτοποίηση. Ο Bögli (1980) αναφέρει και τη δυνατότητα σχηματισμού σπηλαίων στα υπολείμματα κατολίσθησης μεταξύ τεράστιων ογκόλιθων (δευτερογενή σπήλαια). Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί αναλυτικά η παγκόσμια κατανομή των τραβερτινικών σπηλαίων.



Εικόνα 9: Καταρράκτες Huangguoshu (επαρχία Guizhou, Κίνα) (Gradziński et al., 2018)

3.2 Παγκόσμια κατανομή σπηλαίων τραβερτίνη

Πρωτογενή σπήλαια έχουν αναφερθεί σε όλες τις ηπείρους εκτός από την Ανταρκτική.

3.2.1 Ευρώπη

3.2.1.1. Ηνωμένο Βασίλειο

Παρόλο που υπάρχουν αρκετές περιοχές τραβερτίνη, στο Ηνωμένο Βασίλειο έχουν καταγραφεί μόνο δύο σπήλαια - το σπήλαιο Lathkill και το σπήλαιο Bubble Springs. Κάθε ένα από τα οποία έχει περίπου μήκος 110 μέτρα.

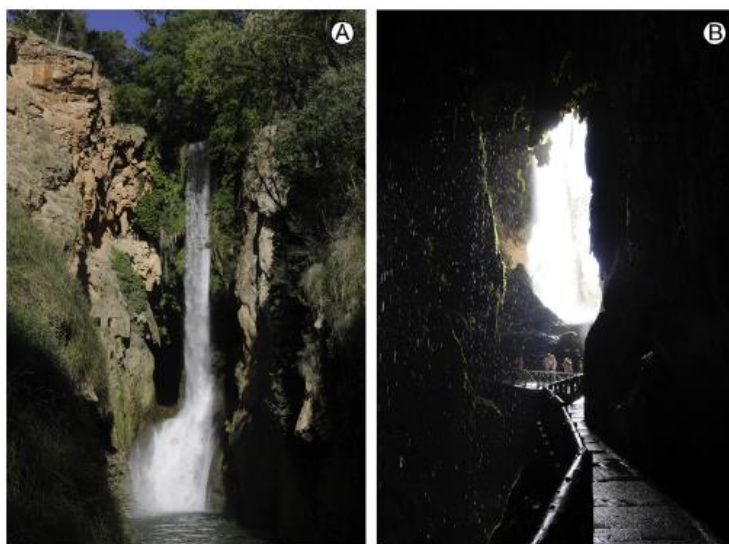
3.2.1.2. Ισπανία

Στην Ισπανία έχουν καταγραφεί τα τελευταία χρόνια αρκετά πρωτογενή σπήλαια, πολλά εκ των οποίων φιλοξενούνται σε μη ενεργές αποθέσεις τραβερτίνη. Μικρές πρωτογενείς σπηλιές τραβερτίνη εμφανίζονται στη Granada Basin (Betic Cordillera) (Martin-Algarra *et al.*, 2003). Παρόμοια σπήλαια υπάρχουν στις πλειστόκαινες αποθέσεις τραβερτίνη στο Frailes (ποταμός Veillos, Betic Cordillera).

Ένα εντυπωσιακό ενεργό πρωτογενές σπήλαιο που ονομάζεται Grutalris βρίσκεται στο Monasterio del Piedra Natural (Εικόνα 10) (Vázquez-Urbezetal., 2011). Το σπήλαιο έχει δημιουργηθεί ως εσωτερική κοιλότητα του καταρράκτη Colade Caballo (ύψος 35 μέτρα). Η ανάπτυξη των σπηλαιοθεμάτων (σταλακτίτες, σταλαγμίτες) σε αυτή τη σπηλιά μελετήθηκε από τους Vázquez-Urbezetal. (2011). Πολλές τραβερτινικές σπηλιές εντοπίζονται σε φράγματα του ποταμού Río Dulce (Επαρχία Γκουανταλαχάρα) (Pedley, 2009) και στη Σιέρα Νεβάδα.

Αρκετά σπήλαια, που ονομάζονταν "abrig", σχηματίστηκαν σε καταρράκτες τραβερτίνη που καλύπτουν ένα βραχώδες πέτρωμα μήκους 1 χιλιομέτρου στο Cinglera del Capelló (Καταλονία) και χρονολογούνται στο Πλειστόκαινο. Τα σπήλαια περιέχουν αποθέσεις τραβερτίνη σε συνδυασμό με κλαστικά πετρώματα, οι οποίες έχουν αποκαλύψει μια πλούσια συλλογή αρχαιολογικών ευρημάτων που χρονολογούνται στη Μέση Παλαιολιθική, Άνω Παλαιολιθική και Μεσολιθική περίοδο (Gradziński *et al.*, 2018), εκ των οποίων το πιο γνωστό είναι το Abric Romaní. Άλλα πρωτογενή σπήλαια της Πλειστόκαινης εποχής εμφανίζονται στη Serinyà (Girona, όπως τα

L'Arbreda, Mollet και Reclau. Το L'Arbreda φιλοξενεί σημαντικά αρχαιολογικά ευρήματα από την εποχή του τελευταίου παγετώνα, δηλαδή τα Mousterian, Aurignacian, Gravetian, Solutrean artefacts, συνοδευόμενα από γύρη και συναθροίσεις μικρών θηλαστικών (López-García *et al.*, 2015). Το σπήλαιο έχει τη μορφή καταφύγιου που σχηματίστηκε στον τραβερτίνη με τη διεργασία της καρστικοποίησης.



*Εικόνα 10: Πρωτογενές σπήλαιο που ονομάζεται Gruta Iris και βρίσκεται στο Monasterio del Piedra Natural Park (Vázquez-Urbez *et al.*, 2011)*

3.2.1.3 Γαλλία

Παρά τη μεγάλη αφθονία των αποθέσεων τραβερτίνη μόνο λίγες σπηλιές είναι γνωστές στη Γαλλία. Πλέον ευρέως γνωστή είναι μια τραβερτινική γέφυρα που εκτείνεται στις όχθες του ποταμός Argens (τμήμα Var) στη νότια Γαλλία. Το σπήλαιο έχει μήκος 30 μέτρα και είναι αποτέλεσμα διεργασιών απόθεσης, αν και η διέλευση του ποταμού από αυτό επηρεάζει στη διαμόρφωση του. Άλλες σπηλιές, πιθανότατα πρωτογενούς τύπου, βρίσκονται στους καταρράκτες τραβερτίνη στις περιοχές Villecroze και La Baume (Τμήμα Var). Σπήλαιο που έχει καλούπι δέντρου/κορμού και δημιουργήθηκε από το κενό που άφησε ένας αποφλοιωμένος κορμός δέντρου *Pinus uncinata* βρίσκεται στον ορεινό όγκο Queras (Aigue Agnelle valley, Alps) και έχει μήκος 30 μέτρα (Ali *et al.*, 2003). Σε ένα μικρό σπήλαιο το Grotte de Pérour στο St. Alyre στο Clermont-Ferrand, η κατακρήμνιση είναι εξαιρετικά γρήγορη, έτσι τα διάφορα αντικείμενα που

τοποθετούνται στο νερό καλύπτονται με τραβερτίνη (λεγόμενα "απολιθωμένα φρεάτια") και στη συνέχεια πωλούνται ως αναμνηστικά.

3.2.1.4. Ιταλία

Στην Ιταλία ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν μια σειρά από πρωτογενή σπήλαια στην περιοχή Marmore, εκ των οποίων η μεγαλύτερη είναι η Grotta Pressola Ferrovia (Gradziński *et al.*, 2018). Ένα άλλο σπήλαιο που περιγράφεται στο Scillatto (Σικελία) είναι πλούσια διακοσμημένο με σπηλαιοθέματα. Τα μορφολογικά και υψομετρικά χαρακτηριστικά του σπηλαίου δείχνουν ότι σχηματίστηκε σε ένα περιβάλλον, στο οποίο η βλάστηση και τα κυανοβακτήρια παίζουν καθοριστικό ρόλο (Macaluso & Scapoletti, 2015). Ενδιαφέρον παρουσιάζει και το σπήλαιο Bagni San Filippo, το οποίο βρίσκεται κοντά σε θερμές πηγές. Η εσωτερική αρχιτεκτονική και τα χαρακτηριστικά εναποθέσεως δείχνουν ότι το σπήλαιο δημιουργήθηκε από τη δραστηριότητα τρεχούμενων υδάτων κατά μήκος οριζόντιων πλαγιών σε συνδυασμό με το ορυκτό. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν αρκετά μη καταγεγραμμένα σπήλαια, λόγω του μικρού τους μεγέθους. Εξάιρεση αποτελεί ένα μικρό τραβερτινικό σπήλαιο που καταγράφηκε από τους Gradziński *et al.* (2018) στην περιοχή Borro Canatorra στην Τοσκάνη (Εικόνα 11).



Εικόνα 11: Είσοδος σε μια μικρή σπηλιά 'καταρράκτη' τραβερτίνη, Bagni San Filippo (Ιταλία)(Gradziński *et al.*, 2018)

3.2.1.5. Ελβετία

Στην κοιλάδα του Lorze στην Ελβετία υπάρχει ένα σημαντικό σύμπλεγμα σπηλαιίων τεχνητά συνδεδεμένων μεταξύ τους, το Höllgrotten (Gradziński *et al.*, 2018). Η ανακάλυψη των σπηλαιίων προέκυψε από την εξόρυξη του τραβερτίνη τον 19ο αιώνα. Τα σπήλαια είναι πλούσια διακοσμημένα με σπηλαιοθέματα διαφόρων τύπων, δηλαδή κατακρημνίσματα, καταβόθρες και υπόγειες δεξαμενές (Εικόνα 12). Ορισμένα από αυτά αναπτύσσονται συνεχώς (Eikenberger *et al.*, 2001). Η χρονολόγηση του τραβερτίνη που φιλοξενεί τις σπηλιές και τα σπηλαιοθέματα έδειξε ότι ανήκουν στην Ολόκαινη εποχή (Eikenberger *et al.*, 2001). Τα σπήλαια αυτά αποτελούν γνωστό τουριστικό αξιοθέατο με μεγάλη επισκεψιμότητα ετησίως.

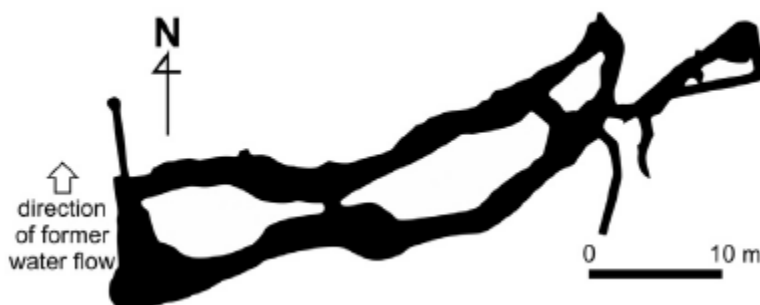


Εικόνα 12: Πλούσια σπηλαιοθέματα στο σπήλαιο Höllgrotten (Eikenberg *et al.*, 2001)

3.2.1.6. Γερμανία

Στην περιοχή της Γερμανίας δύο είναι τα σημαντικότερα τραβερτινικά σπήλαια, το Olghöhle μήκους 170 μέτρων και το Niedaltdorfer Tropfsteinhöhle. Και τα δύο αυτά σπήλαια ανήκουν στην κατηγορία των πρωτογενών, χρονολογούνται στην εποχή του Ολοκαίνου και αποτελούν γνωστά αξιοθέατα. Το Olghöhle ανακαλύφθηκε το 1874 από την εξόρυξη τραβερτίνη. Το σπήλαιο αποτελείται από δύο παράλληλες διόδους, οι οποίες είναι κάθετες στην κοιλάδα και είναι παράλληλες με την όψη ενός καταρράκτη τραβερτίνη (Εικόνα 13). Ομοίως, το σπήλαιο Niedaltdorfer Tropfsteinhöhle έχει δύο παράλληλα περάσματα τα οποία έχουν συνδεθεί

τεχνητά μεταξύ τους και διαθέτει απολιθώματα φυτών, φύλλα - κλαδιά δένδρων και ζώων, κελύφη σαλιγκαριών κ.α (Gradziński *et al.*, 2018).



Εικόνα 13: Σχέδιο του σπηλαίου Olgaehöhle(Gradziński *et al.*, 2018)

3.2.1.7. Αυστρία

Στην Αυστρία έχουν καταγραφεί τέσσερα τραβερτινικά σπήλαια, όπου όλα ανήκουν στην κατηγορία των πρωτογενών(Pavuz, 2015). Δύο από αυτά - ένα ανώνυμο (μήκους 22 μέτρων) και το Draugrotte (μήκους περίπου 20 μέτρων, με ευρύχωρη είσοδο) σχηματίστηκαν μέσα σε ένα 'καταρράκτη' τραβερτίνη πάνω από τον ποταμό Drau (Καρινθία). Στη νότια περιοχή της Αυστρίας βρίσκονται τα άλλα δύο σπήλαια, το Eibenmühlenhöhle, που έχει μήκος 22 μέτρα, ύψος 6 μέτρα, πλάτος 470 μέτρα, και διαθέτει τρεις εισόδους (Gundacker&Fischer, 2008), και το Tuffsteinhöhle, με συνολικό μήκος 13 μέτρα, το οποίο εξακολουθεί να είναι ενεργό. Στο συγκεκριμένο σπήλαιο έχουν καταγραφεί ορισμένες αλλαγές στην είσοδο της σπηλιάς, λόγω της ενεργής απόθεσης τραβερτίνη που θα μπορούσαν να οδηγήσουν στη σφράγιση της. Διαθέτει μια λίμνη και πολλά σπηλαιοθέματα (Pavuz, 2015).

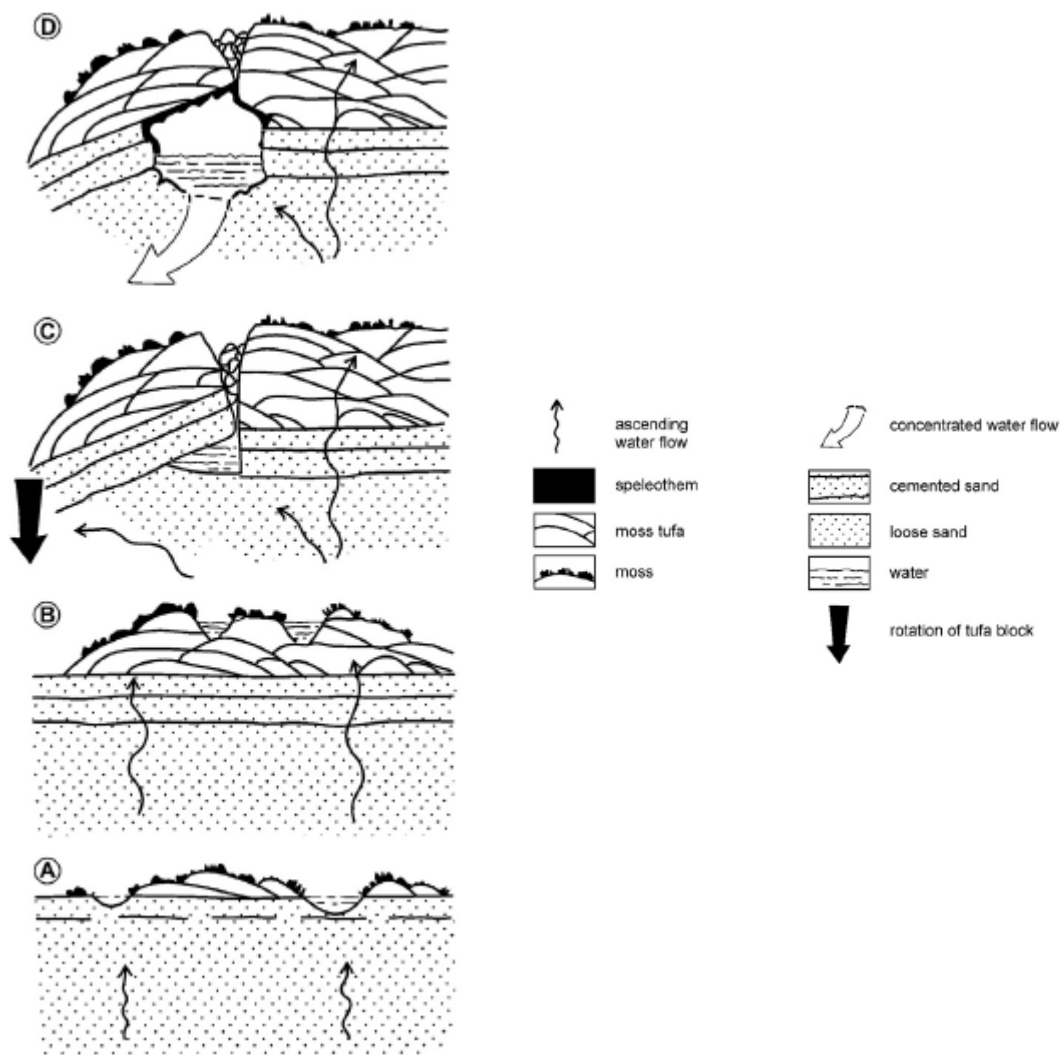
3.2.1.8. Τσεχική Δημοκρατία

Ένα μικρό πρωτογενές σπήλαιο, το Ivanka, στο Svatý JanpodSkalou (Pilous, 1985) αναπτύσσεται σε έναν ολοκαινικό «καταρράκτη» τραβερτίνη και είναι ενσωματωμένο στα κελάρια ενός μοναστηριού.

3.2.1.9. Πολωνία

Ένα πρωτογενές σπήλαιο σε ένα αδρανές φράγμα τραβερτίνη περιγράφηκε στην κοιλάδα Racławka της Κρακοβίας, το οποίο είναι γνωστό για τα πλούσια σπηλαιοθέματα στο

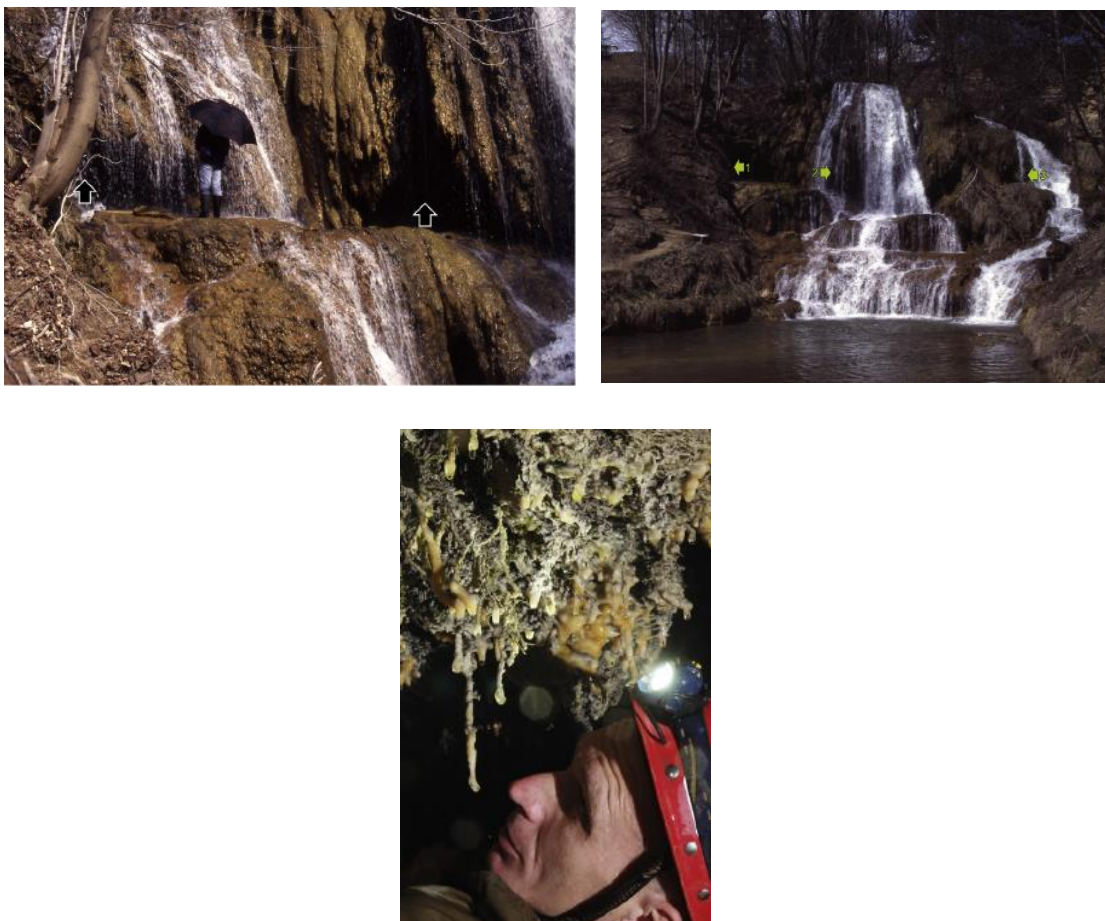
εσωτερικό του. Ένα άλλο μικρό σπήλαιο ήταν γνωστό σε έναν ενεργό 'καταρράκτη' τραβερτίνη στο Karwów (Sandomierz Upland, Szulc, 1984). Σήμερα το σπήλαιο είναι απρόσιτο καθώς η είσοδός του έγινε κατάφυτη από τραβερτίνη μεταξύ του 1982 και του 2001. Στο χωριό Laski (Κρακοβία Upland) περιγράφηκε ένα μικρό σπήλαιο σε μια συσσώρευση ολόκαινου τραβερτίνη. Το σπήλαιο προέκυψε κατά τη διάρκεια της αύξησης της εναπόθεσης. Φαινόμενα κατολίσθησης σε συνεκτικές και μη συνεκτικές άμμους, που αποτελούν τη βάση της συσσώρευσης τραβερτίνη, οδήγησαν στη δημιουργία σπηλαίου (Εικόνα 14). Όλα τα παραπάνω σπήλαια χρονολογούνται στην Ολόκαινη εποχή.



Εικόνα 14: Δημιουργία ενός υβριδικού σπηλαίου στο χωριό Λάσκι (Πολωνία) (Gradziński, Szulc, Motyka, Stworzewicz, & Tyc, 2001)

3.2.1.10. Σλοβακία

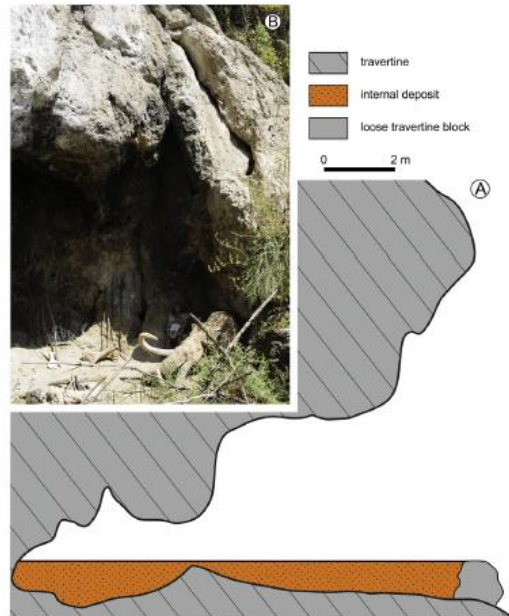
Αυτή η χώρα είναι πλούσια σε τραβερτίνη της Νεογενούς, Πλειστόκαινης και Ολόκαινης εποχής (Gradziński *et al.*, 2015). Εδώ υπάρχουν και οι περισσότερες καταγραφές τραβερτινικών σπηλαίων. Τρία από τα πιο γνωστά τραβερτινικά σπήλαια που έχουν καταγραφεί στην Σλοβακία ανήκουν στην κατηγορία των πρωτογενών και βρίσκονται στο χωριό Λύτσκυ. Το μεγαλύτερο σπήλαιο έχει μήκος 25 μέτρα. Το νερό είναι εξαιρετικά μεταλλικό, η ποσότητα των ολικών διαλυμένων στερεών κυμαίνεται σε 507-1023 mg/L και ο δείκτης κορεσμού σε σχέση με τον ασβεστίτη κυμαίνεται σε 0,67-1,27. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την γρήγορη ανάπτυξη τραβερτίνη. Κουρτίνες αποτελούμενες από φυτά αγγειόσπερμου, βρύα και άλγη εμπλέκονται με ασβεστίτη στην επιφάνεια του τραβερτίνη, ενώ σταλακτίτες, μαργαριτάρια, ελικτίτες, μορφές ροής συναντώνται επίσης στο σπήλαιο (Εικόνα 15). (Gradziński *et al.*, 2018)



Εικόνα 15: Πρωτογενή σπήλαια στο χωριό Λύτσκυ και σπηλαιothέματα σε αυτά (Gradziński *et al.*, 2015)

Το μεγαλύτερο πρωτογενές σπήλαιο στη Σλοβακία είναι το Jelenecká jaskyňa με μήκος 60 μέτρα στο Great Fatra Mts (Bella, Gaál, & Παράč, 2010). Προέρχεται από κουρτίνες τραβερτίνη, που αποτελούνται από βρύα και φυτά αγγειόσπερμου που είναι καλυμμένα από ασβεστίτη (Εικόνα 8Α). Ένα παρόμοιο σπήλαιο, είναι και το Jaskyňaroddráου, μήκους 16μέτρων και βάθους 10μέτρων. Ένα μικρό, επίσης πρωτογενές σπήλαιο καταγράφηκε στο χωριό Hrhov. Στο Háj Valleyβρίσκεται ένα ακόμα σπήλαιο το Hájskatravertínová jaskyňa μήκους 31 μέτρων. Το συγκεκριμένο σπήλαιο οφείλει τη δημιουργία του σε πιο περίπλοκες διαδικασίες, καθώς σχηματίστηκε ανάμεσα σε σύγχρονες κουρτίνες τραβερτίνη και παλαιότερες κουρτίνες που είχαν πέσει κάτω και σχημάτισαν τεράστιους όγκους στους πρόποδες ενός καταρράκτη (Gradziński *et al.*, 2018).

Τρία επιπλέον τραβερτινικά σπήλαια είναι επίσης γνωστά στη Σλοβακία, δύο εκ των οποίων βρίσκονται στην πόλη Bojnice. Αυτά είναι: το σπήλαιο Prepoštská jaskyňa, μήκους 14 μέτρων, το οποίο είναι γνωστό για τα αρχαιολογικά ευρήματα της Μέσης Παλαιολιθικής και Νεότερης εποχής (Εικόνα 16), το μικρού μεγέθους σπήλαιο Puklinová jaskyňanBojniciach, μήκους 4 μέτρων, το οποίο βρίσκεται κοντά στο πρώτο, και το Parenica, μήκους 12 μέτρων, που βρίσκεται στην περιοχή Sklené Teplice, το εσωτερικό του οποίου υπέστη αναδιαμόρφωση εξαιτίας τόσο της διάβρωσης, όσο και της ανθρώπινης δραστηριότητας.



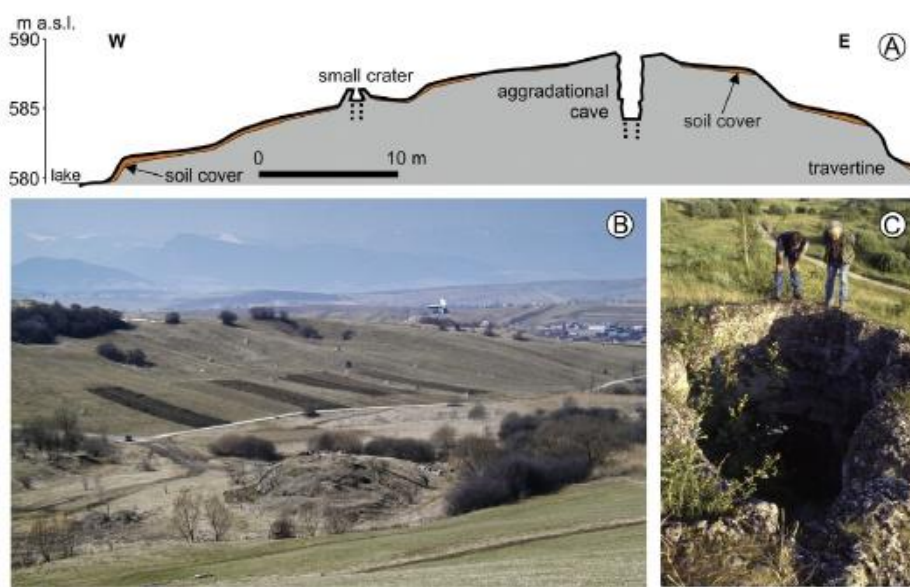
Εικόνα 16:Σπήλαιο Prepoštská jaskyňa, Σλοβακία (Claes *et al.*, 2015)

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το σπήλαιο Bojnická hradná jaskyňa, το οποίο βρίσκεται κάτω από το Κάστρο Bojnice και είναι μεγάλου μεγέθους (Εικόνα 17). Το σπήλαιο περιέχει δύο λίμνες (8-12 μέτρα βάθος) και χρονολογείται στην Πλειστόκαινη εποχή. Θεωρείται ότι προέκυψε ως αποτέλεσμα των βροχοπτώσεων που έπεφτε πάνω στον τραβερτίνη και τον ξέπλενε, δημιουργώντας έτσι τη σημερινή κυκλική μορφή του σπηλαίου με τη διακόσμηση στους τοίχους.



Εικόνα 17: Σπηλαιοθέματα του σπηλαίου Bojnickáhradnájaskyňa (Pisarowicz, 2003)

Τέσσερα, επιπλέον, εξίσου επιβλητικά με τα παραπάνω σπήλαια, είναι μικρότερα και λιγότερο σύνθετα. Εξ αυτών τα δύο εμφανίζουν την παρουσία μικρών λιμνών στους πυθμένες τους. Αυτά είναι το Studňan Zaskali με 5.8 μέτρα βάθος και το Studňapod Drienkom με 5,5 μέτρα βάθος, που βρίσκονται στο χωριό Bešeňová, κοντά σε τραβερτινικές εναποθέσεις (Bella & Vlček, 2011). Το τρίτο σπήλαιο ύψους 4,6 μέτρων, αποτελεί μια εντυπωσιακή ανενεργή τραβερτινική εμφάνιση, χρονολογείται στο Ολόκαινο και βρίσκεται κοντά στο Liptovské Sliače (Εικόνα 18). Το τελευταίο σπήλαιο, μήκους 6 και βάθους 3,5 μέτρων βρίσκεται στο Dudince στη Νότια Σλοβακία.



Εικόνα 18: Ανενεργό σπήλαιο τραβερτίνη που βρίσκεται κοντά στο χωριό Liptovské Sliače (Bella & Vlček, 2011)

Εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν και τρία σπήλαια τύπου καλούπι κορμού/δέντρου είναι παρόντα στο Lúčky (Εικόνα 19) και έχουν μήκος έως 3,5 μέτρα (Gradziński *et al.*, 2018).



Εικόνα 19: Σπήλαιο τύπου καλούπι κορμού/δέντρου στο Lúčky(Gradziński et al., 2018)

3.2.1.11. Ουγγαρία

Στην Ουγγαρία έχουν καταγραφεί 18 τραβερτινικά σπήλαια, εκ των οποίων τα 14 βρίσκονται στο Bükk και ανήκουν στην κατηγορία των πρωτογενών σπηλαίων. Από αυτά ξεχωρίζει ιδιαίτερα το Anna-Barlang (Pentecost, 2005). Πρόκειται για σπήλαιο που παρουσιάζει συνολικό μήκος 570 μέτρα. Αυτό βρίσκεται στη μικρή Ουγγρική πόλη Lillafüred, αποτελείται από τραβερτινική τούφα και σχηματίστηκε λόγω ύπαρξης καταρράκτη με νερό πλούσιο σε CaCO_3 . Πευκοβελόνες, κλαδιά και βρύα περιλιθωμένα με ασβέστιο είναι τα απολιθώματα που εντοπίζονται στο εσωτερικό του.

Ανάμεσα στα σπήλαια τραβερτινικής τούφας, περιλαμβάνονται επίσης τρία τεχνητά συνδεδεμένα σπήλαια μικρού μεγέθους, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους σε μια υπόγεια αίθουσα. Αυτά βρίσκονται στο Buda Hill και είναι γνωστά με το όνομα Var Barlang. Το σύμπλεγμα αυτών των σπηλαίων χρονολογείται στην Πλειστόκαινη εποχή, ενώ παρουσιάζει και κάποια απολιθώματα σπονδυλωτών. Επίσης, εμφανίζει έλλειψη κουλότητες τραβερτίνη σε πρώην καταρράκτες ή φράγματα και διαθέτει θερμά υπόγεια ύδατα (Tögök, 2003).



3.2.1.12. Κροατία

Στον καταρράκτη Roški, του ποταμού Krka, έχουν καταγραφεί αρκετά μικρά τραβερτινικά σπήλαια, ενώ αναπτύσσονται επίσης τραβερτινικές κουρτίνες, μέσω διεργασιών που οφείλονται στα βρύα και τα άλγη. Οι Gradziński *et al.*, 2018 αναφέρουν ένα πρωτογενές σπήλαιο στην κουλάδα Zrmanja.

3.2.1.13. Ελλάδα

Στην Ελλάδα υπάρχουν αρκετές καταγραφές πρωτογενών σπηλαίων. στην Έδεσσα, στις Σέρρες, στην Ήπειρο, στην Αλμωπία και στη Νάουσα. Στην Αλμωπία, εντοπίστηκαν δύο σπήλαια τύπου ρωγμής (Μπάινα 1 και 3) που περιέχουν κοράλλια σπηλαίου, σταλακτίτες και κρυστάλλους ασβεστίου και δύο πρωτογενή σπήλαια (Μπάινα 2 και 4) όπου το ένα διαθέτει δύο εισόδους και μία μικρή λίμνη μέσα στο σπήλαιο και το άλλο είναι σπήλαιο τύπου καταφύγιο. Απολιθώματα φυτών, μαγειρικά σκεύη και κεραμικά αγγεία βρέθηκαν μέσα στα σπήλαια (Lazaridis, 2017). Οι Lazaridis *et al.* (2017) περιέγραψαν δύο άλλα πρωτογενή σπήλαια που σχηματίστηκαν σε τραβερτίνες στην Άσπρη Πέτρα (βόρεια Ελλάδα). Και τα δύο έχουν μήκος λίγα μέτρα (μήκος 4-9 μέτρα), αναπτύχθηκαν εγκάρσια στην κατεύθυνση της ροής του νερού της επιφάνειας του εδάφους και βρίσκονται σε υψόμετρο πάνω από 500 μέτρα. Υπάρχουν ακόμα, δύο πρωτογενή σπήλαια που εντοπίζονται στον ποταμό Κρουσαβίτη κοντά στην πόλη Σιδηρόκαστρο (βόρεια Ελλάδα). Το μεγαλύτερο μήκους 130 μέτρων με το όνομα Ζεστά Νερά έχει δύο εισόδους και τέσσερις θαλάμους, περιέχει γεωπυραμίδες, σταλακτίτες, σταλαγμίτες (Lazaridis, 2004). Το δεύτερο είναι μικρών διαστάσεων, έχει είσοδο με αψιδωτό σχήμα και χρησιμοποιείται ως στάνη.

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν και δύο επιπλέον πρωτογενή σπήλαια. Το πρώτο είναι το σπήλαιο Στανού στην Χαλκιδική (Λαζαρίδης, 2016), που έχει γενικά απλή ανάπτυξη και μορφολογία και περιέχει σταλακτίτες και σταλαγμίτες και το δεύτερο είναι το σπήλαιο του Δρόμου στον Α. Όθρυ, το οποίο είναι μικρών διαστάσεων, χωρισμένο σε δύο μέρη και χωρίς σταλαγμίτες (Ρεϊζοπούλου, 2013).

Τέλος, το σπήλαιο Θεογέφυρο εμφανίζονταν με την μορφή τραβερτινικής γέφυρας στην περιοχή Λίθινο της Ηπείρου με τέσσερα μέτρα πλάτος, που βρίσκεται 20 μέτρα πάνω από τον

ποταμό Καλαμά, μέχρι την πρόσφατη κατάρρευσης της γέφυρας έπειτα από ισχυρή βροχόπτωση (Lazaridis, 2018).



Εικόνα 20: Σπήλαια Άσπρη Πέτρα, Μπάινα 1, Μπάινα 3 και Μπάινα 2 (με τη σειρά)(Lazaridis et al., 2017)

Ωστόσο, από το σύνολο των τραβερτινικών σπηλαίων που έχουν καταγραφεί στην Ελλάδα το πιο γνωστό είναι το σπήλαιο της Έδεσσας, το οποίο αποτελεί και τουριστικό αξιοθέατο με μεγάλη επισκεψιμότητα ετησίως. Ανήκει στην κατηγορία των πρωτογενών σπηλαίων. Πρόκειται για ένα σπήλαιο που βρίσκεται 3-4 μέτρα πίσω από το μέτωπο των καταρρακτών και είναι υπόγειο, έγκοιλο με επίμηκες σχήμα. Σύμφωνα με τη θέση και το σχήμα του, φαίνεται ότι σχηματίστηκε στο παρελθόν όταν το μέτωπο των καταρρακτών βρίσκονταν πάνω από αυτό. Μετά το σχηματισμό του τότε εγκοίλου άρχισε και η διαδικασία της εξέλιξής του στη μορφή που έχει σήμερα. Από ασυνέχειες της οροφής κατείσδυε το νερό εμπλουτισμένο σε ανθρακικό ασβέστιο, όπου σε συνδυασμό με την αυξημένη υγρασία και το διοξείδιο του άνθρακα

σχηματίστηκαν στην οροφή σταλακτίτες και στο δάπεδο σταλαγμίτες. Η εσωτερική διακόσμηση του σπήλαιου μοιάζει με αυτή των συνηθισμένων τραβερτινικών σπηλαίων. Το σπήλαιο της Έδεσσας είναι σύγχρονο με τον τραβερτίνη που το φιλοξενεί και χαρακτηρίζεται ως πρωτογενές (Βαβλιάκης, 1998).

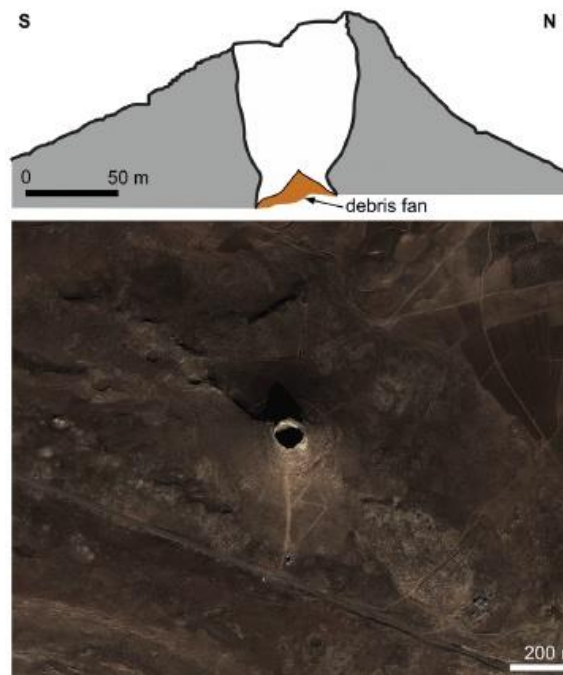
3.2.2 Ασία

3.2.2.1. Τουρκία

Ο Bayarı (2002) περιγράφει με λεπτομέρεια την τραβερτινική γέφυρα Yerköprü, που βρίσκεται πάνω από τον ποταμό Zemanı στην κοιλάδα Göksu. Η κύρια αίθουσα έχει ύψος 60 μέτρα και μήκος 70 μέτρα και περιέχει αρκετά σπηλαιοθέματα. Στο Central Taurus Mts έχει καταγραφεί άλλη μία τραβερτινική γέφυρα, γνωστή με το όνομα Yerköprü Hadım (Bayarı, 2002). Το σπήλαιο κάτω από τη γέφυρα έχει μήκος 250 μέτρων (Pentecost, 2005). Τα σπήλαια αυτά χρονολογούνται στην Ολόκαινη εποχή. Ένα ακόμα πρωτογενές σπήλαιο βρίσκεται στο Karabük και είναι γνωστό ως Mencilis. Το ενεργό αυτό σπήλαιο φιλοξενεί σπηλαιοθέματα, διαθέτει 2 εισόδους και έχει τέσσερις κατακόρυφες κοιλότητες οι οποίες έχουν βάθος 3,5, 11 και 15 μέτρα, αντίστοιχα. Στην περιοχή Catalagzi εντοπίστηκε μία τραβερτινική γέφυρα (Cuamayani cave) η οποία περιέχει λίμνη και η κύρια αίθουσα έχει ύψος 60 μέτρα και μήκος 70 μέτρα. Καλύπτεται με παχιά στρώση άμμου. Στην περιοχή Pazar εντοπίζεται ακόμα ένα πρωτογενές σπήλαιο γνωστό ως Ballıca cave, το οποίο περιέχει σταλακτίτες, σταλαγμίτες, κολώνες και λίμνες νερού. Έχει θαλάμους που συνδέονται με τεχνητά τούνελ και μεγάλες αίθουσες που δημιουργούνται ως αποτέλεσμα της κατάρρευσης και συνδέονται μεταξύ τους με περάσματα. Στο σπήλαιο υπάρχει αίθουσα με νυχτερίδες. Τα σπήλαια Alvebesik cave, Kükükdipsiz Cave, Parazyakası Cave εντοπίστηκαν στην Αττάλεια. Το πρώτο περιλαμβάνει 3 μέρη και το κύριο μέρος έχει ύψος 8 μέτρα, το δεύτερο διαθέτει στενή είσοδο και στη συνέχεια κλίση εδάφους 25° και το τρίτο έχει τραχιά επιφάνεια, με σκάλες και προς τα κάτω και μερικές φορές το σπήλαιο γίνεται πολύ στενό λόγω των βράχων που πέφτουν από την οροφή του (Gradziński *et al.*, 2018).

3.2.2.2. Ιράν

Στο Ιράν έχει εντοπιστεί το μεγαλύτερο γνωστό έως σήμερα «aggradational» σπήλαιο. (Εικόνα 21). Αυτού του τύπου τα σπήλαια διαμορφώνονται στις εκροές αρτεσιανού νερού, με τη μορφή κατακόρυφων αγωγών. Αυτοί δημιουργούνται λόγω της ανύψωσης του σημείου εκροής της πηγής, η οποία προκαλείται λόγω της καθίζησης γύρω από αυτό. Το εν λόγω σπήλαιο βρίσκεται εντός της Zendané Soleyman (Zendan-eSoleyman) τραβερτινικής εναπόθεσης στην περιοχή του Δυτικού Αζερμπαϊτζάν (Gradziński *et al.*, 2018). Η συσσώρευση είναι ύψος 110 μέτρων. Η είσοδος του σπηλαίου είναι μεταξύ 35 και 74 μέτρων και έχει βάθος 109 μέτρα. Πρόκειται για ένα άνυδρο σπήλαιο, το οποίο χρονολογείται κατά την Πλειστόκαινη εποχή. Φυσικές διεργασίες, όπως καιρικές συνθήκες, πτώση βράχων, διάβρωση έχουν προκαλέσει την αναμόρφωση του εσωτερικού του σπηλαίου.



Εικόνα 21: Σπήλαιο Zendané Soleyman (Ιράν) (Amirkazemi, 2013)



3.2.2.3. Ινδία

Στην περιοχή Mandarpathar έχουν καταγραφεί μικρού μεγέθους πρωτογενή σπήλαια, στο εσωτερικό των οποίων περιέχονται σταλακτίτες και κοραλοειδή, ενώ μερικά από αυτά καλύπτονται και από κουρτίνες βρύων (Das&Mohanti, 2005).

3.2.2.4. Κίνα

Στους καταρράκτες Huangguoshu, ύψους 66 μέτρων εντοπίζεται το πιο γνωστό τραβερτινικό σπήλαιο της Κίνας το Shuiliandong, μήκους 134 μέτρων. Το σπήλαιο αυτό είναι διάσημο τουριστικό αξιοθέατο και διαθέτει φυσικά ανοίγματα (Gradziński *et al.*, 2018)(Εικόνα 9).

3.2.2.5 Αρμενία

Το σημαντικότερο σπήλαιο είναι η τραβερτινική γέφυρα Vorotan Devil's Bridge στην περιοχή Syunik μήκους τριάντα και πλάτους πενήντα-εξήντα μέτρων, περιέχει λίμνες, ενώ βρίσκονται θερμές πηγές στους πρόποδες της σπηλιάς.

3.2.2.6 Βιρμανία

Εξαιρετικό ενδιαφέρουν παρουσιάζουν στην περιοχή Shan τρία πρωτογενή σπήλαια κατά μήκος ενός λόφου, εκ των οποίων μόνο το πρώτο είναι επισκέψιμο. Τα σπήλαια διακοσμούνται με σπηλαιοθέματα, ενώ ολόκληρη η περιοχή του λόφου είναι περιοχή προσκυνήματος Βουδιστών και αποτελεί και σημαντικό τουριστικό αξιοθέατο. Επίσης, στο φαράγγι Gokteik καταγράφηκε μια τραβερτινική γέφυρα τύπου τούφας, η οποία καλύπτει ένα σπήλαιο ύψους 60 μέτρων. Στο εσωτερικό του σπηλαίου βρίσκεται ένας σταλαγμίτης ύψους από 9 έως 12 μέτρα, ενώ από τα άκρα της γέφυρας κρέμονται κουρτίνες τραβερτινικής τούφας (Gradziński *et al.*, 2018).

3.2.3 Αφρική

3.2.3.1. Ισπανία (Κανάρια Νησιά)

Ένα καλούπι δέντρου-κορμού, διαμέτρου 50 cm, προσβάσιμο για τον άνθρωπο ,πληροί τα κριτήρια του σπηλαίου και βρίσκεται στην Berrazales (Camueraetal., 2014).

3.2.3.2. Αιθιοπία

Έχει καταρρεύσει ένα σπήλαιο σε ένα ύψους 15 μέτρων φράγμα τραβερτίνη στο Tsigaba(Tigray). Το σπήλαιο είναι διακοσμημένο με σταλακτίτες και χρονολογείται στην Ολόκαινη εποχή (Gradziński *et al.*, 2018)

3.2.3.3 Μαδαγασκάρη

Ένα σύστημα φραγμάτων και μία λίμνη Les SeptLacs (l'Onilahy, νοτιοδυτική Μαδαγασκάρη) περιέχουν μικρά πρωτογενή σπήλαια διακοσμημένα με σπηλαιοθέματα (Ford and Pedley, 1996).

3.2.4 Βόρεια Αμερική

3.2.4.1 ΗΠΑ

Αρκετά διάσημα τραβερτινικά σπήλαια έχουν καταγραφεί σε διάφορες τοποθεσίες στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Ένα σπήλαιο που ονομάζεται Devil's Kitchen μήκους 40 μέτρων και βάθους 9 μέτρων, περιέχει δύο θερμές πηγές στο εσωτερικό του και χρονολογείται κατά τη μετα-παγετώδη περίοδο Nipissing(Halliday, 2011). Στο εσωτερικό του σπηλαίου βρίσκονται πολυάριθμα σπηλαιοθέματα. Στο παρελθόν έγινε προσπάθεια ανάδειξης του ως τουριστικό αξιοθέατο, όμως λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων CO₂απαγορεύτηκε η πρόσβαση(Pisarowicz, 2003) .

Μια τραβερτινική εναπόθεση στην κομητεία Fremont (Wyoming) υπάρχει στη μία όχθη του ποταμού Wind, όπου βρίσκεται ένα σπήλαιο, η πρόσβαση του οποίου γίνεται μέσω μιας ρωγμής. Στο εσωτερικό του σπηλαίου με βάθος 20 περίπου μέτρα εντοπίζεται μια λίμνη θερμού νερού.

Στο Midway, στην περιοχή της Γιούτα, έχει καταγραφεί ένα μεγάλο μεγέθους σπήλαιο, με χαρακτηριστικό σχήμα καμπάνας, το οποίο ονομάζεται Homestead Crater. Θερμό νερό καλύπτει τμήμα του σπηλαίου, θερμοκρασίας περίπου 35 ° C και βάθους 20 περίπου μέτρων, που χρησιμοποιείται και ως πισίνα για καταδύσεις. Πρόκειται για ένα κεντρικό τμήμα μιας εναπόθεσης τραβερτίνη μήκους 17 μέτρων και διάμετρο 122 μέτρα. Η εναπόθεση ήταν ενεργή μέχρι τη εκτροπή του νερού, η οποία άρχισε το δεύτερο μισό του 19ου αιώνα.

Στην κοιλάδα Rio Salado στο Νέο Μεξικό εντοπίζεται ένα ακόμα σύμπλεγμα τραβερτινικών σπηλαίων. Το σύμπλεγμα αυτό ονομάζεται "κρατήρας", όνομα το οποίο προκύπτει από την χαρακτηριστική μορφή των σπηλαίων που μοιάζουν με κρατήρες. Οι υδρολογικές συνθήκες στο εσωτερικό τους διαφέρει από σπήλαιο σε σπήλαιο. Έτσι, κάποια εκδιώκουν το νερό, άλλα περιέχουν λίμνες, ενώ άλλα είναι ξηρά.

Υπάρχουν πολλά σπήλαια τύπου 'καταρράκτες' τραβερτίνη στις Ηνωμένες Πολιτείες. Τα περισσότερα έχουν καταγραφεί στο Κολοράντο, στην περιοχή Riffle Falls, το συνολικό μήκος των οποίων ξεπερνάει τα 300 μέτρα. Μικρά ενεργά σπήλαια υπάρχουν μέσα στα Saratoga Springs (Νέα Υόρκη), των οποίων η σύνδεση επιτυγχάνεται μέσω της εκροής κρύου νερού εμπλουτισμένου με CO₂. Οι Gradziński *et al.* (2018) περιέγραψαν ένα σπήλαιο μέσα σε ένα διαβαθμισμένο 'καταρράκτη' τραβερτίνη στην κομητεία της Σάντα Μπάρμπαρα (Καλιφόρνια). Το σπήλαιο χρονολογείται στην Πλειστόκαινη εποχή και περιέχει σπηλαιοθέματα.

3.2.4.2 Κούβα

Το El Salto del Arcoiris στην περιοχή Soroa, αποτελεί το νεώτερο τραβερτινικό σπήλαιο πρωτογενούς τύπου. Σχηματίζεται πίσω από έναν καταρράκτη 22 μέτρων και διαρρέεται παρακείμενα από τον ποταμό Sierra del Rosario. Αποτελείται από δύο κοιλότητες σε ένα βραχώδη βράχο, η μία ακριβώς πάνω από την άλλη (NuñezJimenez *et al.*, 1984).

3.2.4.3 Μεξικό

Στην πόλη Puebla, εντοπίζεται ένα τραβερτινικό σπήλαιο με χαρακτηριστική μορφή 'καμπάνας', βάθους 17 μέτρων. Εμφανίζεται μια συσώρευση τραβερτίνη ύψους 13 μέτρων που ονομάζεται Cuexcomate (Monarca Serrano *et al.*, 2016). Το συγκεκριμένο σπήλαιο αποτελεί γνωστό τουριστικό αξιοθέατο της περιοχής.

Υπάρχει μια τραβερτινική γέφυρα, μήκους 300 μέτρων, πάνω από το ποτάμι Río Cahabón στο Semuc Champey. Στεγάζει μια κοίτη του ποταμού με εκφόρτωση περίπου $11.3-14.2\text{m}^3 / \text{s}$.

3.2.5 Νότια Αμερική

3.2.5.1 Βραζιλία

Στην περιοχή Serrado André Lopes, βρίσκεται ένα τραβερτινικό σπήλαιο πρωτογενούς τύπου, το οποίο ονομάζεται Rio Fria (Sallun Filho *et al.*, 2012). Το σπήλαιο έχει μήκος 80 μέτρα και ανασχηματίστηκε από το νερό του ποταμού. Διαθέτει μεγάλη είσοδο με ύψος πάνω από 25 μέτρα και είναι πλούσιο σε σταλακτίτες, σταλαγμίτες και κολώνες.

3.2.5.2 Περού

Στο Περού πάνω από τον ποταμό Río Yauli, εκτείνεται μία μεγάλη τραβερτινική γέφυρα μήκους 390 μέτρων. (Gradziński *et al.* 2018).

3.2.5.3 Αργεντινή

Υπάρχει μια τραβερτινική γέφυρα που ονομάζεται Puente del Inca στις Άνδεις στο Mendoza Province (Εικόνα 22). Διαρρέεται από τον ποταμό Las Cuevas και έχει μήκος 40 μέτρα. Η σπηλιά προστατεύεται κάτω από τη γέφυρα, η οποία έχει αναφερθεί στη βιβλιογραφία από το ταξίδι του Δαρβίνου (Gradziński *et al.*, 2018).



Εικόνα 22: Τραβερτινική γέφυρα Puente del Inca στις Άνδεις στο Mendoza Province (Gradziński *et al.*, 2018)

Ο Pentecost (2005), διακρίνει δύο κατηγορίες τραβερτινικών σπηλαίων, ανάλογα με το χρονικό σχηματισμό των εγκοίλων σε σχέση με το πέτρωμα που αναπτύσσονται:

- Τα πρωτογενή σπήλαια, τα οποία σχετίζονται συχνά με την ύπαρξη καταρρακτών στην περιοχή, όπου αυτά σχηματίζονται ταυτόχρονα με τον τραβερτίνη, και
- Τα δευτερογενή σπήλαια, τα οποία σχηματίζονται μεταγενέστερα από το πέτρωμα και η δημιουργία τους οφείλεται σε διεργασίες διαγένεσης.

Ανάλογα με τον Pentecost (2005), ο Bögli (1980) συμφωνεί με τη διάκριση σε πρωτογενή και δευτερογενή και αναφέρει επιπλέον τη δυνατότητα σχηματισμού δευτερογενών σπηλαίων μεταξύ τεράστιων ογκόλιθων από κατολισθήσεις.

Στην κατηγορία των πρωτογενών σπηλαίων, ανήκουν οι τραβερτινικές γέφυρες, που αποτελούν ιδιόμορφους και σπάνιους σχηματισμούς (Bayari, 2002). Αυτές οφείλουν τη δημιουργία τους σε δύο βασικούς, αλληλένδετους μεταξύ τους, γεωμορφολογικούς παράγοντες, πέρα από την ύπαρξη υδάτων πλούσιων σε ανθρακικά άλατα, των οποίων η ύπαρξη θεωρείται δεδομένη. Αυτοί είναι οι εξής:

1. Η πηγή του ανθρακικού νερού που σχηματίζει τον τραβερτίνη να βρίσκεται σε αρκετά μεγαλύτερο ύψος από το επίπεδο ροής του ποταμού και
2. Προκειμένου, ο τραβερτινικός σχηματισμός να φτάσει στην απέναντι όχθη και να δημιουργήσει τη γέφυρα, θα πρέπει η κοίτη ροής του ποταμού να είναι σχετικά στενή.

Οι Gradziński *et al.* (2018), συμφωνούν με τον όρο πρωτογενές τραβερτινικό σπήλαιο, το οποίο αναφέρουν ως progradational, ενώ παράλληλα εισάγουν και τον όρο «υβριδικό» (hybrid cave), προκειμένου να περιγράψουν έναν ενδιάμεσο τύπο τραβερτινικού σπηλαίου, ανάμεσα σε πρωτογενές και δευτερογενές. Τα σπήλαια αυτά οφείλουν φυσικά τον σχηματισμό τους στην παρουσία νερού κορεσμένο σε άλατα και διακρίνονται σε δύο τύπους:

- Κορμού/δένδρου, των οποίων η δημιουργία οφείλεται στην κάλυψη ενός κορμού από ανθρακικό νερό και τη μετέπειτα αποσύνθεση του ιστού του
- Subrosion σπήλαια, που αποτελούν δομές που σχηματίζονται όταν ταυτόχρονα με την απόθεση του τραβερτίνη συμβαίνει υποσκαφή και αποσταθεροποίηση τεμαχών του με τη δημιουργία ρωγμών, τα οποία ολισθαίνουν ή περιστρέφονται και συγκολλούνται ξανά με τη νεότερη απόθεση τραβερτίνη, αφήνοντας ανάμεσα τους σπήλαια.

Τα πρωτογενή, λοιπόν, σπήλαια πίσω από ένα καταρράκτη (progradational), σύμφωνα με τους παραπάνω συγγραφείς, διανέμονται σε όλο τον κόσμο και σχηματίζονται σε τραβερτινικά πετρώματα. Η διεύθυνση προσανατολισμού των σπηλαίων που σχηματίζονται είναι κάθετη στην κλίση της επιφάνειας απόθεσης. Το σχήμα τους ποικίλλει από μικρές κόγχες έως κοιλότητες που έχουν μήκος πάνω από εκατό μέτρα και εξαρτώνται από διάφορους βασικούς παράγοντες όπως: η ενέργεια του νερού, η κατακόρυφη έκταση της απότομης κλίσης, το σχήμα της επιφάνειας εναπόθεσης και η χημεία του νερού. Τα σπήλαια που σχηματίστηκαν κατά την εναπόθεση σε καταρράκτες είναι μεγαλύτερα από εκείνα που σχηματίστηκαν σε φράγματα τραβερτίνη. Τα πιο ευρύχωρα σπήλαια προκύπτουν από τη στέγαση ενός ήδη υπάρχοντος στενού φαραγγιού που διαρρέει παλαιότερα πετρώματα.

Χαρακτηριστικά γνωρίσματα αυτού του τύπου σπηλαίων είναι τα καλά αναπτυγμένα σπηλαιοθέματα, όπως σταλακτίτες, σταλαγμίτες αλλά και κολώνες. Τα σπηλαιοθέματα αυτά οφείλουν τη δημιουργία τους στο υψηλό πορώδες του ανθρακικού πετρώματος που τα φιλοξενεί, το οποίο επιτρέπει τη διήθηση του υπερκορεσμένου σε άλατα νερού. Αρκετές ομοιότητες εμφανίζονται ανάμεσα στα παραπάνω σπηλαιοθέματα και στα σπηλαιοθέματα που σχηματίζονται σε καρστικά σπήλαια. Τα συγκεκριμένα σπήλαια μπορούν επίσης να περιέχουν κλαστικά ιζήματα, συμπεριλαμβανομένων των παλαιοντολογικών και αρχαιολογικών υλικών.

Αντίθετα, τα πρωτογενή υπερυψωμένα (aggradational) σπήλαια είναι κατακόρυφοι αγωγοί που αναπτύσσονται στις εκροές αρτεσιανού νερού ως αποτέλεσμα της σταθερής αύξησης της ανύψωσης του ανοίγματος της πηγής λόγω της καθίζησης γύρω από αυτό. Τέτοιου είδους σπήλαια οφείλουν τον σχηματισμό τους στην παρουσία υδάτων πλούσιων σε ανθρακικά άλατα που τροφοδοτούν μια πηγή, με αποτέλεσμα σε κάποιες περιπτώσεις το σπήλαιο να είναι εντελώς γεμάτο με νερό. Με πτώση της στάθμης της πιεζομετρικής επιφάνειας ή με γένεση μιας εκροής σε χαμηλότερη θέση, μπορεί να προκληθεί ακόμη και ολική αποξήρανση του σπηλαίου. Το είδος του υποβάθρου του τραβερτίνη, οι υδρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή και ορίζουν τη θέση της πιεζομετρικής επιφάνειας, η τοπογραφία της περιοχής, η χημική σύσταση των υδάτων, καθώς και ο τρόπος με τον οποίον δρουν οι παραπάνω παράγοντες κατά τη διάρκεια σχηματισμού του τραβερτίνη, είναι καθοριστικοί για την ανάπτυξη του μεγέθους και του σχήματος των υποβαθμισμένων αυτών σπηλαίων. Το ύψος των παραπάνω σπηλαίων κυμαίνεται γενικά από λίγα μέτρα έως και περισσότερα από 100 μέτρα (Gradziński *et al.*, 2018).

Σύμφωνα με την καταγραφή που έγινε με βάση τη διαθέσιμη βιβλιογραφία και την παραπάνω ανάλυση, προκύπτουν τα εξής δεδομένα:

- Τα πρωτογενή τραβερτινικά σπήλαια αποτελούν τον πιο διαδεδομένο τύπο τραβερτινικών σπηλαίων παγκοσμίως. Στην Ευρώπη τα περισσότερα πρωτογενή σπήλαια έχουν καταγραφεί στη Σλοβακία και στην Ελλάδα και καταλαμβάνουν από ένα ποσοστό γύρω στο 22% αντίστοιχα. Αντίθετα, τα λιγότερα εμφανίζονται στην Ελβετία και στην Κροατία, με ένα ποσοστό γύρω στο 2,7% έκαστη. Αντίστοιχα, στην Αμερική έχουν γίνει περισσότερες καταγραφές πρωτογενών στο βόρειο τμήμα της, με το 70% αυτών να βρίσκεται στις ΗΠΑ, παρά στο νότιο, στο οποίο δεν υπάρχουν καταγεγραμμένα σπήλαια αυτής της κατηγορίας. Στην Ασία, υπάρχουν επίσης αρκετά καταγεγραμμένα πρωτογενή, με ποσοστό γύρω στο 67%, εκ των οποίων τα περισσότερα συγκεντρώνονται στην Τουρκία.
- Οι τραβερτινικές γέφυρες αποτελούν, επίσης, κατηγορία των πρωτογενών σπηλαίων και βρίσκονται και αυτές καταγεγραμμένες σε παγκόσμια κλίμακα. Η πλειοψηφία τους συγκεντρώνεται στην Ασία, με ποσοστό 35,71%, και συγκεκριμένα στην Τουρκία. Άλλες καταγραφές έχουν γίνει και στην Αμερική, τόσο στη Βόρεια, όσο και στη Νότια, που συγκεντρώνει ποσοστό 42,9% παγκοσμίως. Τέλος, τραβερτινικές γέφυρες εντοπίζονται ακόμα σε Ελλάδα, Γαλλία, αλλά και Κίνα με ποσοστό γύρω στο 7,13% έκαστη.

Καταγραφές για δευτερογενή ή υβριδικά τραβερτινικά σπήλαια σπανίζουν γενικότερα. Τρεις από τις καταγραφές που έχουν πραγματοποιηθεί, ανήκουν σε τρία υβριδικά σπήλαια τύπου κορμού/ δένδρου στο χωριό Lúčky στη Σλοβακία (Gradziński *et al.*, 2018).

Όσον αφορά τη χρονολόγηση των τραβερτινικών σπηλαίων, τα περισσότερα από αυτά που είναι πρωτογενούς τύπου χρονολογούνται στην εποχή του Τεταρτογενούς. Είναι ευκολότερο να χρονολογηθούν τα πρωτογενή σπήλαια σε σχέση με τα δευτερογενή, λόγω του ότι σχηματίζονται ταυτόχρονα με το πέτρωμα υποδοχής τους, οπότε με απλές μεθόδους ισοτόπων μπορεί εύκολα να προσδιοριστεί η ηλικία τους. Τα σπήλαια της Ολόκαινης εποχής κυριαρχούν λόγω της σχετικά χαμηλής δυνατότητας διατήρησης του ανθρακικού ύδατος. Υπάρχουν, βέβαια, και καταγραφές σπηλαίων Πλειστοκαινικής ηλικίας, σε περιοχές, όμως, οι οποίες δεν είχαν καλυφθεί από τους τότε παγετώνες (Gradziński *et al.*, 2018).

Από τα παραπάνω, είναι ασφαλές να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι, παρ' όλο που τραβερτινικά σπήλαια βρίσκονται κατανεμημένα σε παγκόσμια κλίμακα, οι καταγραφές αυτών

σπανίζουν, σε αντίθεση με καταγραφές που αφορούν σπήλαια καρστικού τύπου. Αυτό οφείλεται και στο μικρό τους πλήθος, αλλά και στο μικρό τους μέγεθος σε σχέση με τα καρστικά σπήλαια. Ωστόσο, τα τραβερτινικά σπήλαια παρουσιάζουν εξίσου μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον. Καθώς ο σχηματισμός τους σχετίζεται με την ύπαρξη υδάτων, η μελέτη τέτοιου τύπου σπηλαίων είναι χρήσιμη γιατί προσφέρει πληροφορίες για την παλαιο-υδρολογία της περιοχής, και κατ' επέκταση και για το παλαιοκλίμα της, αλλά και για τη γεωμορφολογική εξέλιξή της. Επιπλέον, καθώς τα σπήλαια αυτά χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν από προϊστορικούς ανθρώπους, μας προμηθεύουν με στοιχεία για την ανθρώπινη εξέλιξη και παρουσιάζουν ενδιαφέρον για της παλαιοανθρωπολογία. Σημαντικό χαρακτηριστικό των τραβερτινικών σπηλαίων αποτελεί και η ύπαρξη πλούσιων σπηλαιοθεμάτων στο εσωτερικό τους, παρά το μικρό τους μέγεθος. Δεν είναι σπάνιες οι καταγραφές μεγάλων σταλακτιτών, σταλαγμιτών, ακόμα και κολώνων που κοσμούν τα έγκοιλα (Gradziński *et al.*, 2018).

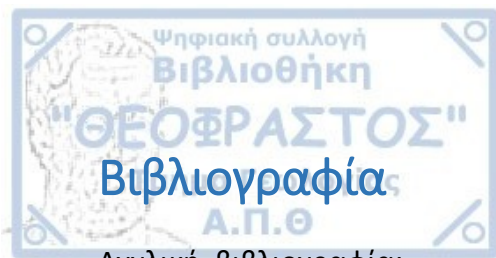
Πέρα από το σημαντικό επιστημονικό ενδιαφέρον που εμφανίζουν τα τραβερτινικά σπήλαια, παρουσιάζουν και σημαντικό οικονομικό ενδιαφέρον, καθώς αυτά μπορούν να γίνουν αντικείμενα εκμετάλλευσης ως τουριστικά αξιοθέατα. Δεν είναι μικρό το ποσοστό καταγεγραμμένων σπηλαίων, τα οποία είναι επισκέψιμα τουριστικά. Ακριβώς, επειδή, ο σχηματισμός πολλών τραβερτινικών σπηλαίων, σχετίζεται αρκετές φορές με την ύπαρξη καταρρακτών, έχουν δημιουργηθεί πολυάριθμα γεωπάρκα στις περιοχές αυτές σε παγκόσμια κλίμακα, τα οποία σημειώνουν τεράστια επισκεψιμότητα ετησίως. Τέτοια χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι τραβερτινικές γέφυρες Yerköprü-Hadim και Shuiliandong, που βρίσκονται στην Τουρκία και στην Κίνα αντίστοιχα. Ακόμα στην Ελλάδα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί το πρωτογενούς τύπου σπήλαιο της Έδεσσας. Ωστόσο, προκειμένου να αξιοποιηθούν οικονομικά αυτές οι τραβερτινικές εμφανίσεις θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι παράγοντες επικινδυνότητας. Δεν είναι σπάνιο το φαινόμενο να πραγματοποιηθεί κατάρρευση μιας τραβερτινικής δομής, έπειτα από ισχυρά καιρικά φαινόμενα, π.χ Θεογέφυρο στην Ήπειρο (Lazaridis, 2018).

Με βάση τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής, φαίνεται ότι ο αριθμός των ερευνών που σχετίζονται με τα τραβερτινικά σπήλαια και τον τρόπο δημιουργίας και εξέλιξής τους, είναι σχετικά μικρός. Αυτό κρίνεται σε σχέση με τα καρστικά σπήλαια στα οποία υπάρχει πλήθος στοιχείων, μελετών και συμπερασμάτων. Σε ένα βαθμό αυτό οφείλεται στο γεγονός πως τα τραβερτινικά σπήλαια είναι λιγότερα, αλλά και ένα μεγάλο μέρος αυτών ανήκει στα πρωτογενή. Έτσι τις περισσότερες φορές είναι σχετικά απλό να προσδιοριστούν οι μηχανισμοί που τα έχουν δημιουργήσει. Ωστόσο με την ανασκόπηση που γίνεται εδώ, καθώς και σε άλλες σχετικές έρευνες (Pantecost, 2005, Gradjinski, 2018), προκύπτει ότι υπάρχουν αρκετοί τύποι πρωτογενών, δευτερογενών καθώς και μικτών τύπων σπηλαίων σε τραβερτίνη.

Ένα άλλο ζήτημα που διαπιστώνεται είναι τα θέματα ευστάθειας και επικινδυνότητας στις τραβερτινικές δομές που μπορεί να εμφανίσουν καταρρεύσεις και κατολισθήσεις, όπως για παράδειγμα η πρόσφατη κατάρρευση του Θεογέφυρου στην Ήπειρο (Lazaridis, 2018). Αυτό επιτάσσει την πραγματοποίηση σχετικών μελετών για την προστασία των μορφών αυτών καθώς και των επισκεπτών. Επίσης, ειδικά η υπόγεια προσπέλαση τραβερτινικών γεφυρών μπορεί να είναι επικίνδυνη, σύμφωνα με τα στοιχεία που υπάρχουν για τις υδρολογικές συνθήκες που επικρατούν εκεί σε περιπτώσεις πλημμύρας (π.χ. Ζεστά Νερά, Λαζαρίδης, 2004).

Η κατανομή που προκύπτει με βάση τα δεδομένα της εργασίας είναι σημαντική εφόσον καλύπτει όλες τις ηπείρους, εκτός της Ανταρκτικής και μάλιστα με πολυάριθμα παραδείγματα. Ανισοκατανομές είναι πολύ πιθανόν να οφείλονται ακόμη και σε διαφορές στην προσπάθεια καταγραφής και μελέτης τους. Ωστόσο, και παρά το συνήθως μικρό τους μέγεθος, βρίσκονται πολλές φορές σε αυτά σημαντικά παλαιοντολογικά, παλαιοανθρωπολογικά, αρχαιολογικά και άλλα γεωλογικά ευρήματα (π.χ. σπηλαιοθέματα) που τα καθιστά αντικείμενο έρευνας και μελέτης.

Τέλος, τα τραβερτινικά σπήλαια, συχνά αποτελούν γεώτοπους με σημαντική επισκεψιμότητα, καθιστώντας τα υπολογίσιμο κεφάλαιο στον γεωτουρισμό των αντίστοιχων περιοχών.



Αγγλική βιβλιογραφία:

- Ali, A. A., Carcaillet, C., Guendon, J.-L., Quinif, Y., Roiron, P., & Terral, J.-F. (2003). The Early Holocene treeline in southern French Alps: new evidence from travertine formations. *Global Ecology and Biogeography*, 12, 411–419.
- Arp, G., Hofmann, J., & Reitner, J. (1998). Microbial fabric formation in spring mounds (“microbialites”) of alkaline salt lakes in the Badain Jaran Sand Sea, PR China. *Palaios*, 13, 581–592.
- Bates, R. L., & Jackson, J. A. (1987). Glossary of Geology. 3rd Ed., Alexandria, Va. (American Geological Institute).
- Bayari, C. S. (2002). A rare landform: Yerköprü travertine bridges in the Taurids karst range, Turkey. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27(6), 577–590. <https://doi.org/10.1002/esp.337>
- Bella, P., Gaál, L., & Papáč, V. (2010). *Jelenecká Cave in the travertine terrace of constructive waterfall, Starohorská Valley, central Slovakia*.
- Bella, P., & Vlček, L. (2011). Morphogenetic types of travertine crater caves: a case study from Slovakia (in Slovak, with English abstract). *Aragonit*, 16, 11–16.
- Beraldi-Campesi, H. (2012). Cuexcomate: from the smallest volcano to the biggest geyser on Earth. In *Geological Society of America, 108th Annual Meeting, Abstract with Programs* (Vol. 44, pp. 57–63).
- Bögli, A. (1980). *Karst hydrology and physical speleology*. Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(82\)90030-7](https://doi.org/10.1016/0012-8252(82)90030-7)
- Camuera, J., Alonso-Zarza, A.M., Rodríguez-Berriguete, Á., & Rodríguez-Gonzalez, A. (2014). Origin and palaeo-environmental significance of the Berrazales carbonate spring deposit, North of Gran Canaria Island, Spain. *Sedimentary Geology*, 308, 32–43.
- Capezzuoli, E., Gandin, A., & Pedley, M. (2014). Decoding tufa and travertine (fresh water carbonates) in the sedimentary record: The state of the art. *Sedimentology*, 61(1), 1–21.
- Claes, H., Soete, J., Van Noten, K., El Desouky, H., Marques Erthal, M., Vanhaecke, F., Özkul, M., Swennen, R., 2015. Sedimentology, three-dimensional geobody reconstruction and carbon dioxide origin of Pleistocene travertine deposits in the Ballik area (south-west Turkey). *Sedimentology* 62, 1408–1445.
- Das, S., & Mohanti, M. (2005). Sedimentology of Holocene tufa carbonates in Orissa State, India. *Carbonates Evaporites*, 20, 8–33.

- Eikenberg, J., Vezzu, G., Zumsteg, I., Bajo, S., Ruethi, M., & Wyssling, G. (2001). Precise two chronometer dating of Pleistocene travertine: the $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ and $^{226}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}(0)$ approach. *Quaternary Science Reviews*, 20, 1953.
- Emig, W. H. (1917). *The travertine deposits of the Arbuckle Mountains, Oklahoma*. *Oklahoma Geological Survey Bulletin* (Vol. 29).
- Fouke, B. W., Farmer, J. D., Des Marais, D. D., Pratt, L., Sturchio, N. C., Burns, P. C., ... M.K. (2000). Depositional facies and aqueous-solid geochemistry of travertine-depositing hot springs (Angel Terrace, Mammoth Hot Springs, Yellowstone National Park, U.S.A.). *Journal of Sedimentary Research*, 70, 565–585.
- Ford, T.D., Pedley, H.M., 1996. A review of tufa and travertine deposits of the world. *Earth-Sci. Rev.* 41, 117–175.
- Garcia delCura, M. A., Pedley, H. M., Ordopez, S., & Gonzalez Martin, J. A. (2000). Petrology of a barrage tufa system (Pleistocene to Recent) in the Ruidera Lakes Natural Park (Central Spain). *Geotemas*, 1, 359–363.
- Glover, C., & Roberston, A. F. H. (2003). Origin of tufa (cool water carbonate) and related terraces in the Antalya area, SW Turkey. *The Journal of Geology*, 38, 329–358.
- Gradziński, M., Bella, P., & Holúbek, P. (2018). Constructional caves in freshwater limestone: A review of their origin, classification, significance and global occurrence. *Earth-Science Reviews*, 185(February), 179–201.
- Gradziński, M., Wróblewski, W., & Bella, P. (2015). Cenozoic freshwater carbonates of the Central Carpathians (Slovakia): Facies, environments, hydrological control and depositional history. In G. Haczewski (Ed.), *Guidebook for Field Trips Accompanying 31st IAS Meeting of Sedimentology Held in Kraków*. Polish Geological Society, Kraków.
- Gundacker, T., & Fischer, W. (2008). Die Eibenmühlenhöhle (1836/182) in den Vorderen Tormäuern. *Höhlenkd. Mitt. Landesver. Höhlenkd Wien Niederösterreich*, 64(9), 97.
- Gunn, J. (n.d.). Regaining a cave in tufa. *Descent*, 247, 8.
- Halliday, W. R. (2011). Karst and pseudokarst at mammoth Hot Springs, Yellowstone National Park, USA. *International Commission on Pseudokarst of the UIS*, 22, 10–19.
- Hancock, P. L., Chalmers, R. M. L., Altunel, E., & Cakir, Z. (1999). Travitonics: using travertines in active fault studies. *Journal of Structural Geology*, 21, 903–916.
- Jedynak, M. (2016). *Calcareous tufa in historic gravestones at the Rakowicki Cemetery in Kraków*. BSc Thesis. Institute of Geological Sciences, Jagiellonian University, Kraków (in Polish, with English summary).

Kanellopoulos, C. (2013). Various morphological types of thermogenic travertines in Northern Euboea and Eastern Central Greece. In *Bulletin of the Geological Society of Greece* (Vol. XLVII, pp. 1929–1938).

Kempe, S., Kazmierczak, J., Landmann, G., Konuk, T., Reimer, A., & Lipp, A. (1991). Largest known microbialites discovered in Lake Van, Turkey. *Nature*, 349, 605–608.

Koban, C. G., & Schweigert, G. (1993). Microbial origin of travertine fabrics- two examples from Southern Germany. *Facies*, 29, 251–264.

Lazaridis, G., (2019). Report on the collapse of a travertine bridge

Lazaridis, G., Trimmis, K., & Pappa, S. (2017). Travertine caves in Almopia, Greece. *Cave and Karst Science*, 44(2), 58–63.

Lazaridis, G., Vavliakis, E., & Pennos, C. (2005). Temporal earthpyramids. An example from Zestanera cave of Sidirokastro, Serres (Macedonia, Greece). In *Proceedings of the 14th International Congress of Speleology, 21–28 August 2005, Athens, Kalamos, Hellas. vol. 2. Hellenic Speleological Society* (pp. 579–58).

López-García, J. M., Soler, N., Marota, J., Soler, J., Alcalde, G., Galobart, A., ...Burjachs, F. (2015). Palaeoenvironmental and palaeoclimatic reconstruction of the latest Pleistocene of L'Arbreda cave (Serinyà. Girona, northeastern Iberia) inferred from the small-mammal (insectivore and rodent) assemblages. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 435(244-253).

Macaluso, D., & Scapoletti, G. (2015). Textural features and isotope geochemistry of the Scillato travertine (north-central Sicily): genetic implications. *Italian Journal of Geosciences*, 134, 77–85.

Martin-Algarra, A., Martin-Martin, M., Andreo, B., Julià, R., & González-Gómez, C. (2003). Sedimentary patterns in perched spring travertines near Granada (Spain) as indicators of the palaeohydrological and palaeoclimatological evolution of a karst massif. *Sedimentary Geology*, 161, 217–228.

Mitchell, R. S. (1985). *Dictionary of Rocks*.

Monarca Serrano, J. A., De Jesús Cirilio, M., Vázquez-López, C., Zendejas-Leal, B. E., Golzarri, J. I., & Espinosa, G. (2016). Emanation study of gas radon on the ancient Cuexcomate geyser in Puebla City, Mexico. *The Journal of Nuclear Physics, Material Sciences, Radiation and Applications*, 4, 277–284.

Núñez Jimenez, A., Viña Bayes, N., Acevedo Gonzalez, M., Mateo Rodriguez, J., Iturrald Vinent, M., Graña Gonzalez, M., 1984. Cuevas y Carsos. Editioora Militar, La Habana.

Pavuz, R. (2015). Spring tufa caves in Austria. In *13th International Symposium on Pseudokarst. Department of Physical Geography and Geoecology. University of Ostrava, Ostrava*, (pp. 32–34).

Pedley, M. (2009). Tufas and travertines of the Mediterranean region: a testing ground for freshwater carbonate concepts and developments. *Sedimentology*, 56, 221–246.

Pentecost, A. (2005). *Travertine*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Pentecost, A., & Viles, H. (1994). A review and reassessment of travertine classification. *Geographie Physique et Quaternaire*, 48(3), 305–314.

Pilous, V., 1985. Morfogenetic types of pramenite, porolithe and travertine forms of the relief. *Rozpr. Čes. Akad. Ved* 95 (4), 3–106 (in Czech with English summary).

Pisarowicz, J. (2003). Beneath yellowstone. *Rocky Mt. Caving*, 20(4), 12–18.

Riding, R. (1991). Classification of microbial carbonates. In R. Riding (Ed.), *Calcareous Algae and Stromatolites* (pp. 21–51). Berlin: Springer-Verlag.

SallunFilho, W., Almeida, L. H. S., Boggiani, P. C., & Karmann, I. (2012). Characterization of quaternary tufas in the Serra do André lopes karst, southeastern Brazil. *Carbonates Evaporites*, 27, 357–373.

Török, Á. (2003). Facies analysis and genetic interpretation of travertine, Buda Vár-hedy, Hungary. *Acta Geol. Hung*, 46, 177–193.

Vázquez-Urbez, M., Arenas, C., Sancho, C., Auqué, L., Osácar, C., & Pardo, G. (2011). Quaternary and present-day tufa systems of the Piedra and Añamaza rivers (Iberian Ranges). In C. Arenas, L. Pomar, & F. Colombo (Eds.), *Post Meeting Field Trips 28th IAS Meeting, Zaragoza. Sociedad Geológica de España, Zaragoza* (pp. 241–274).

Whitten, D. A., & Brooks, J. V. R. (1972). *The Penguin Dictionary of Geology*.

Ελληνική βιβλιογραφία:

Βαβλιάκης, Ε. (1998). Σχηματισμός-Εξέλιξη του Σπηλαίου της Έδεσσας και η Θετική Μετατόπισή του Μετώπου των Καταρρακτών.

Λαζαρίδης, Γ., (2004). Μελέτη των σπηλαιομορφών της λεκάνης του Κρουσοβίτη ποταμού (Ν. Σερρών). Διπλωματική εργασία– Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. (σελ. 39-42).

Λαζαρίδης, Γ., (2016). Σπήλαιο στον Στανό, Χαλκιδική. Προκαταρκτική γεωλογική έκθεση. Αδημοσίευτη έκθεση.

Ρεϊζοπούλου, Α. (2013). Καρστική γεωμορφολογία της Αν. Όθρυος. Η περιοχή Μεγα-Λάκκου, Νεροσπηλιάς. Διατριβή Ειδικεύσεως, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., (σελ. 96).



Ιστοσελίδες:

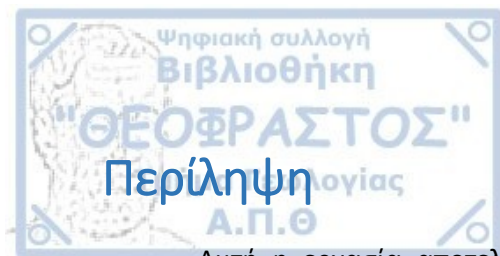
<http://www.turkeyportal.com/caves-of-turkey.html>

<http://antalya.bel.tr/i/caverns-and-caves>

<https://www.wondermondo.com/spring-tufa-travertine-and-other-formations/>

<https://www.showcaves.com/english/hu/showcaves/Anna.html>

<https://www.lonelyplanet.com/china/guizhou/anshun/attractions/huangguoshu-falls/a/poi-sig/1240610/355936>



Αυτή η εργασία αποτελεί ανασκόπηση των τραβερτινικών σπηλαίων με βάση την διαθέσιμη βιβλιογραφία και επιχειρεί να παρουσιάσει τις διεργασίες σχηματισμού και την ταξινόμησή τους. Από τη διερεύνηση του θέματος προκύπτει ότι υπάρχουν σπήλαια σε τραβερτίνη είτε με πρωτογενή χαρακτήρα, είτε με δευτερογενή. Αυτό σημαίνει ότι έχουν δημιουργηθεί ταυτόχρονα ή μετέπειτα από τη δημιουργία του πετρώματος που τα περιβάλλει, αντίστοιχα. Επιπλέον, έχουν αναφερθεί και μικτές δομές σπηλαίων με πιο πολύπλοκη εξέλιξη. Ο αριθμός των μελετών για τα σπήλαια αυτά, φαίνεται ότι είναι σχετικά μικρός αν και η γεωγραφική εξάπλωσή τους είναι σημαντική, εφόσον η μόνη ήπειρος που δεν έχει τραβερτινικά σπήλαια είναι η Ανταρκτική. Τα ευρήματα διαφόρων κλάδων των επιστημών στα σπήλαια αυτά (π.χ. παλαιοντολογία) τα καθιστούν σημαντικές θέσεις έρευνας. Επιπλέον μελέτες, χρειάζονται για την ευστάθεια των υπόγειων δομών από τραβερτίνη. Επίσης, πολλά από αυτά αποτελούν σημαντικούς γεώτοπους και συμβάλλουν στη γεωτουριστική ανάπτυξη.



This thesis reviews the travertine caves based on available literature and attempts to present their formation and classification processes. The investigation of the subject reveals that there are travertine caves either primary or secondary. This means that they have been created at contemporaneously with or after the formation of the surrounding rock, respectively. In addition, mixed cave structures with more complex evolution have been reported. The number of studies on these caves seems to be relatively small, although their geographical distribution is significant, as the only continent without travertine caves is Antarctica. The findings of various disciplines of science in these caves (e.g. paleontology) make them important research sites. Special studies are needed for the stability of underground travertine structures. Many of them are also important geosites and contribute significantly to geotourism.

Όνομασία	Χώρα	Περιοχή	Διαστάσεις	Πετρώματα	Υδρολογία	Απολιθώματα	Χρονολογίες	Τύπος σπηλαίου	Παρατηρήσεις	Μορφολογία	References
Βόρεια Αμερική											
	ΗΠΑ	Twin Buttes, Αριζόνα		Τραβερτίνης							
Tonto Natural Bridge	ΗΠΑ	Αριζόνα	120×46×56	Τραβερτίνης				Τραβερτινική γέφυρα	Σταλακτίτες, Σταλαγμίτες, κολώνες		
Natural Bridge Caverns	ΗΠΑ	Τέξας	βάθος 55 m	Τραβερτίνης				Τραβερτινική γέφυρα	Σταλακτίτες, Σταλαγμίτες		
Devil's Kitchen	ΗΠΑ	Michigan	μήκος 40 m και βάθος 9 m	Τραβερτίνης	Περιέχει δύο θερμές πηγές στο εσωτερικό του		μετα-παγετώδης περίοδος Nipissing από τα κύματα της λίμνης Huron		Σταλακτίτες, Σταλαγμίτες, κολώνες		Halliday, 2011
McCartney's Cave	ΗΠΑ		βάθος 35 m	Τραβερτίνης	Τροφοδοτεί θερμές πηγές					Η σπηλιά έχει μορφή ενός κεκλιμένου, κάθετου αγωγού με κυκλική διατομή.	Pisarowicz, 2003
Fremont (Wyoming) Cave	ΗΠΑ	Dubois		Τραβερτίνης	Υπάρχει λίμνη με χλιαρό νερό με βάθος 20 m					Το σπήλαιο είναι στην δεξιά όχθη του ποταμού Wind. Περιέχει ένα μεγάλο θάλαμο προσβάσιμο από μια ρωγμή	Reeves and Soper, 1959
Homestead Crater	ΗΠΑ	Midway, Utah	μήκος 17 m και διάμετρο 122 m	Τραβερτίνης	Υπάρχει λίμνη με χλιαρό νερό με βάθος 20 m		σχηματίστηκε πριν 10.000 χρόνια από το ορυκτό που εναποτέθηκε από το ανερχόμενο, θερμαινόμενο νερό της πηγής			Διαθέτει ένα μεγάλο φυσικό άνοιγμα στην κορυφή του θόλου	Baker Jr, 1968
Jewelled Cave	ΗΠΑ	South Dakota		Τραβερτίνης					Σταλακτίτες, Σταλαγμίτες, κολώνες	Το κεντρικό τμήμα του είναι ένας θάλαμος σχήματος U με διάμετρο 7-8m	
	Μεξικό	Puebla	βάθος 17 m, σχήμα καμπάνας	Τραβερτίνης					Η πρόσβαση στο σπήλαιο γίνεται μέσω μιας μεταλλικής σκάλας	Εμφανίζεται μια συσσώρευση τραβερτίνης ύψους 13 m που ονομάζεται Cuexcomate.	Monarca Serrano et al., 2016
	Μεξικό	Rio Salado valley	βάθος 45 m	Τραβερτίνης	Υπάρχει λίμνη με χλιαρό νερό με βάθος 15 m					Οι σπηλιές έχουν τη μορφή κρατήρα. Ορισμένες σπηλιές είναι ακόμα ενεργές και εκδίδουν το νερό, μερικές περιέχουν λίμνες έως 15 μέτρα βαθιά στα πυθμένα τους ενώ άλλες είναι ξηρές	Gradziński et al., 2018
Semuc Champey cave	Γουατεμάλα	Alta Verapaz	μήκος 300 m	Τραβερτίνης	Διασχίζεται από ποτάμι Río Cahabón			Τραβερτινική γέφυρα		Το σπήλαιο εμφανίζει εκφόρτιση του ποταμού περίπου 11.3-14.2m ³ / s	Mirus et al., 2005



Salto de Soroa	Κούβα	Soroa		Τραβερτίνης	Καταρράκτης 22m και ποταμός Sierra del Rosario				Αποτελείται από δύο κοιλάττες σε ένα βραχώδη βράχο, μία ακριβώς πάνω από την άλλη.	Nuñez Jimenez et al., 1984
Νότια Αμερική										
Puente del Inca	Αργεντινή	Mendoza Province	μήκος 40 m	Τραβερτίνης	Ποταμός Las Cuevas			Τραβερτινική γέφυρα		Ramos, 2009
Rio Yauli	Περου	District La Oroya	μήκος 390 m	Τραβερτίνης				Τραβερτινική γέφυρα		M. Gradziński et al 2018
Rio Fria Cave	Βραζιλία	Serra do André Lopes	μήκος 80 m	Τραβερτίνης	Διασχίζεται από ποτάμι			Τραβερτινική γέφυρα	Σταλακτίτες, Σταλαγμίτες, κολώνες	Μεγάλη είσοδος με ύψος πάνω από 70 πόδια Sallun Filho et al., 2012
Ευρώπη										
Höllgrotten	Ελβετία	Baar		Τραβερτίνης			Ολόκαινο		Θάλαμοι συνδεόνται με τεχνητά τούνελ, Σταλακτίτες και Σταλαγμίτες	
Iris cave	Ισπανία	Monasterio delPiedra Natural Park		Τραβερτίνης	Καταρράκτης Cola de Caballo (ύψος 35 m)		Ολόκαινο		Σταλακτίτες, Σταλαγμίτες	Ένα μικρό μέρος του ποταμού διέρχεται μέσω του σπηλαίου. Vázquez-Urbez et al., 2011
Abric Romani	Ισπανία	Cinglera del Capelló (Catalonia)		Τραβερτίνης		αρχαιολογικά ευρήματα που χρονολογούνται στη Μέση Παλαιολιθική, Άνω Παλαιολιθική και Μεσολιθική εποχή	Πλειστόκαινο			Vaquero et al., 2013
L'Arbreda Cave	Ισπανία	Serinyà (Girona)		Τραβερτίνης		αρχαιολογικά υλικά από το τέλος της εποχής των Παγετώνων	μέσο πλειστόκαινο-πρώιμο ολόκαινο			Το σπήλαιο έχει τη μορφή καταφύγιου που σχηματίστηκε από τραβερτίνη με με τη διεργασία της καρστικοποίησης López-García et al., 2015
	Γαλλία	Γαλλική ριβιέρα	μήκος 30 m	Τραβερτίνης	Ποταμός Argens			Τραβερτινική γέφυρα		Το σπήλαιο είναι αποτέλεσμα διεργασιών κατασκευής, αν και η διέλευση του ποταμού από αυτό επηρεάζει στη διαμόρφωση του. Gradziński et al., 2018
	Γαλλία	Villecroze	διάμετρος 30 cm	Τραβερτίνης			Ολόκαινο			Το σπήλαιο έχει καλούπι δέντρου/κορμού και δημιουργήθηκε από το κενό που άφησε ένας αποφλοιωμένος κορμός δέντρου <i>Pinus unicata</i> στον ορεινό όγκο Queras (Aigue Agnellevaley, Alps) Ali et al., 2003

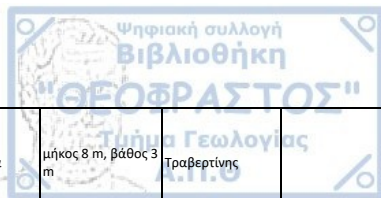


	Ιταλία	Scillatto (Sicily)		Τραβερτίνης	Καταρράκτης				Σταλακτίτες, Σταλαγμίτες	Τα μορφολογικά και υψομετρικά χαρακτηριστικά του σπηλαίου δείχνουν ότι σχηματίστηκε σε ένα περιβάλλον στο οποίο η βλάστηση και τα κυανοβακτήρια παίζουν καθοριστικό ρόλο	Macaluso and Scapoletti, 2015
	Ιταλία	Bagni San Filippo		Τραβερτίνης	Θερμές πηγές					Η εσωτερική αρχιτεκτονική και τα χαρακτηριστικά εναποθέσεως δείχνουν ότι το σπήλαιο δημιουργήθηκε από τη δραστηριότητα τρεχούμενων υδάτων κατά μήκος οριζόντιων πλαγιών σε συνδυασμό με τον τραβερτίνη	Capezuoli et al., 2011
Niedaltdorfer Tropfsteinhöhle	Γερμανία	Saarlant	μήκος 120 m, πλάτος 40 m	Τραβερτίνης		απολιθώματα φυτών, φύλλα - κλαδιά δένδρων και ζώων, κελύφη σαλιγκαριών	Ολόκαινο	Πρωτογενές	Σταλακτίτες, διαφανείς έως ημιδιαφανείς κρύσταλλοι ασβεστίου	Το σπήλαιο αυτό έχει δύο παράλληλα περάσματα τα οποία έχουν συνδεθεί τεχνητά μεταξύ τους	Gradziński et al., 2018
Olgahohle	Γερμανία	Honau	μήκος 170m	Τραβερτίνης	Παράλληλα σε ένα παλιό σύστημα δεξαμενών		Ολόκαινο	Πρωτογενές		Διπλή διόδος μήκους 50m-πλάτους 6m	
Draugrotte	Αυστρία	Carinthia	μήκος 20 m	Τραβερτίνης	Ρέει ο ποταμός Drau παρακείμενα				Σταλακτίτες, Σταλαγμίτες	Το σπήλαιο σχηματίστηκε μέσα σε ένα 'καταρράκτη' τραβερτίνη πάνω από τον ποταμό Drau	Pavuz, 2015
Eibenmühlenhöhle	Αυστρία	Vorderer Tormäuern	μήκος 22 m, ύψος 6 m, πλάτος 470 m	Τραβερτίνης	Ρέει ο ποταμός Erlauf παρακείμενα				Σταλακτίτες, Σταλαγμίτες	Διαθέτεται 3 εισόδους, η μία είσοδος πλυμμηρίζεται κατά την άμπωτη από το νερό του ποταμού. Οι δύο άλλες εισοδοι οδηγούν σε αίθουσα ύψους 4,5 m και διαμέτρου 1,5 m	Gundacker and Fischer, 2008
Tuffsteinhöhle	Αυστρία	western Lower Austria	μήκος 13 m	Τραβερτίνης	Περιέχει λίμνη				Σταλακτίτες, Σταλαγμίτες, κοραλλιοειδή	Έχουν καταγραφεί ορισμένες αλλαγές στην είσοδο της σπηλιάς λόγω της ενεργής δραστηριότητας του σπηλαίου που θα μπορούσαν να οδηγήσουν στη σφράγιση της.	Pavuz, 2015
Ivanka	Τσεχία	Svatý Jan pod Skalou		Τραβερτίνης			Ολόκαινο	Πρωτογενές	Είναι ενσωματωμένο στα κελλάρια ενός μοναστηριού		Pilous, 1985
	Πολωνία	Raclawka Valley, Kraków Upland		Τραβερτίνης			Ολόκαινο		Σταλακτίτες, Σταλαγμίτες	Μια μελέτη αποκάλυψε ότι οι σταλακτίτες και οι σταλαγμίτες του σπηλαίου χρησιμοποιήθηκαν ως διακοσμητικές πέτρες σε τάφους σε ένα νεκροταφείο της Κρακοβίας κατά το πρώτο μισό του 20ού αιώνα	Jedynak, 2016

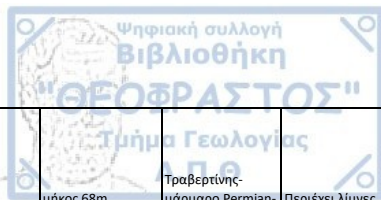
	Πολωνία	Sandomierz Upland, Karwów		Τραβερίνης			Ολόκαινο			Το σπήλαιο έχει δημιουργηθεί σε ένα 'καταρράκτη' τραβερίνη και είναι απρόσιτο καθώς η είσοδός του έγινε κατάφυτη από το ορυκτό μεταξύ 1982 και 2001.	Gradziński et al., 2018
	Πολωνία	Laski		Τραβερίνης			Ολόκαινο			Η υποστροφή 'ελαφριάς' (loose sand) και ταμμετοποιημένες άμμου που αποτελούν τη βάση της συσσώρευσης οδήγησαν στη δημιουργία του σπηλαιου του τραβερίνη.	Gradziński et al. 2001
	Σλοβακία	Lúčky	μήκος 25 m	Τραβερίνης	Καταρράκτης		Ολόκαινο	Κουρτίνες αποτελούμενες από φυτά αγγειόσπερμου, βρύα και άλγη εμπλέκονται με ασβεστίτη στην επιφάνεια του τραβερίνη, σταλακτίτες, πέρλες, ελικίτες, μορφές ροής	Το νερό είναι εξαιρετικά μεταλλικό, η ποσότητα των ολικών διαλυμένων στερεών κυμαίνεται σε 507-1023 mg/L και ο δείκτης κορεσμού σε σχέση με τον ασβεστίτη κυμαίνεται σε 0,67-1,27. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα γρήγορη ανάπτυξη τραβερίνη φθάνοντας σχεδόν τα 5 mg / cm2 / ημέρα	Gradziński et al., 2018	
Hájska travertínová jaskyňa	Σλοβακία	Slovak Karst	μήκος 31 m	Τραβερίνης	Καταρράκτης		Ολόκαινο			Σχηματίστηκε ανάμεσα σε σύγχρονες κουρτίνες τραβερίνη και παλαιότερες κουρτίνες που είχαν πέσει κάτω και σχημάτισαν τεράστιους όγκους στους πρόποδες ενός καταρράκτη.	Gradziński et al., 2018
Bojnická hradná jaskyňa	Σλοβακία	Bojnice	διάμετρος 22 m, ύψος 6 m	Τραβερίνης	Περιέχει δύο λίμνες (8-12 m βάθος)	αρχαιολογικά ευρήματα που χρονολογούνται πριν τον τελευταίο Παγετώνα	Πλειστόκαινο	Το σπήλαιο βρίσκεται κάτω από το κάστρο Bojnice	Το σπήλαιο δημιουργήθηκε ως αποτέλεσμα των βροχοπτώσεων που έπεφε πάνω στο τραβερίνη και τον ξέπλενε, δημιουργώντας έτσι τη σημερινή κυκλική μορφή του σπηλαιου με τη διακόσμηση στους τοίχους.	Bella and Vlček, 2011	
Studňa v Zaskali	Σλοβακία	Bešeňová	βάθος 5,8 m	Τραβερίνης	Περιέχει μικρές λίμνες						Bella and Vlček, 2011
Studňa pod Drienkom	Σλοβακία	Bešeňová	βάθος 5,5 m	Τραβερίνης	Περιέχει μικρές λίμνες						Gradziński et al., 2018
	Σλοβακία	σπα της Dudince	μήκος 6 m, βάθος 3,5 m	Τραβερίνης						Το σπήλαιο περιβάλλεται από τον τραβερίνη που σχηματίζει εν μέρει ασύμμετη συσσώρευση προσκολλώντας στην πλαγιά της κοιλιάς	Gradziński et al., 2018
3 σπήλαια	Σλοβακία	Lúčky	μήκος 3,5 m	Τραβερίνης			Πλειστόκαινο			Τα σπήλαια έχουν καλούπι δέντρου/κορμού	Gradziński, M., 2008



Yelenecká jaskyňa	Σλοβακία		μήκος 60 m	Τραβερτίνης					Κουρτίνες τραβερτίνη που αποτελούνται από βρύα και φυτά αγγειόσπερμου που είναι καλυμμένα από ασβεστότητα		
Prepoštská jaskyňa	Σλοβακία		μήκος 14 m	Τραβερτίνης							
Anna-Barlang	Ουγγαρία	Lillafüred	μήκος 570m	Τραβερτίνης- Tufa	Καταρράκτης	πευκοβελόνες, κλαδιά και βρύα περιλιθωμένα με ασβέστιο		Πρωτογενές	Σχηματίστηκε από την δημιουργία τούφας λόγω νερού πλούσιου σε CaCO ₃		https://www.showcaves.com/english/hu/showcaves/Anna.html
Var Barlang (Castle Cave)	Ουγγαρία	Budapest		Τραβερτίνης- Tufa	Θερμά υπόγεια ύδατα	απολιθώματα των σπονδυλωτών	Πλειστόκαινο		έλλειψη από κεκλιμένες και κατακόρυφες κοιλότητες τραβερτίνη από πρώην καταρράκτες ή φράγματα	Τρία μικρά σπήλαια τεχνητά συνδεδεμένα και συμπεριλαμβανόμενα σε μια υπόγεια αίθουσα	Torok, 2003
	Κροατία	Roški		Τραβερτίνης	Καταρράκτης Roški, ποταμός Krka				βρύα και άλγη που συμβάλλουν στην ανάπτυξη των κουρτινών		Gradziński et al., 2018
Ζεστά Νερά 1	Ελλάδα	Σιδηρόκαστρο, Σέρρες	130x0,5-12x0,5-15	Τραβερτίνης- Ολισθόλιθοι μαρμάρου-Ιζήματα	Ποταμός Κρουσοβίτης			Πρωτογενές	Γεωπυραμίδες- Σταλακτίτες, Σταλαγμίτες	2 είσοδοι, 4 θάλαμοι	Lazaridis, 2004
Ζεστά Νερά 2	Ελλάδα	Σιδηρόκαστρο, Σέρρες	Μικρές διαστάσεις	Τραβερτίνης	Ποταμός Κρουσοβίτης			Πρωτογενές	Χρησιμοποιείται ως στάνη	Είσοδος με αψιδωτό σχήμα	Lazaridis, 2004
Θεογέφυρο	Ελλάδα	Λίθινο, Ηπείρος	4m πλάτος	Ασβεστόλιθος	20m πάνω από τον ποταμό Καλαμά-καρστικές πηγές			Τραβερτινική γέφυρα	Τραβερτινικά μπλοκ στο κανάλι του ποταμού		Lazaridis, 2018
Καταρρακτών	Ελλάδα	Έδεσσα	μήκος 25 m	Τραβερτίνης	Καταρράκτες			Πρωτογενές	3-4 μέτρα πίσω από το μέτωπο των καταρρακτών, επισκέψιμο για τουρίστες	Η είσοδος του σπηλαίου είναι στο χώρο του δεύτερου πλατώματος των Καταρρακτών, υπόγειο, έγκολλο με επίμηκες σχήμα	Lazaridis et al., 2017
Άσπρη πέτρα 1	Ελλάδα	Αλμωπία	μήκος 9 m	Τραβερτίνης				Πρωτογενές	Βρίσκεται σε υψόμετρο 512m		Lazaridis et al., 2017
Άσπρη πέτρα 2	Ελλάδα	Αλμωπία	μήκος 4 m	Τραβερτίνης				Πρωτογενές	Βρίσκεται σε υψόμετρο 526m	Και οι δύο σπηλιές αναπτύχθηκαν εγκάρσια στην κατεύθυνση της ροής του νερού της επιφάνειας του εδάφους	Lazaridis et al., 2017



Μπαίνα 1	Ελλάδα	Αλμωπία	μήκος 8 m, βάθος 3 m	Τραβερτίνης		απολιθώματα φυτών, μαγειρικά σκεύη και κεραμικά αγγεία		Ρωγμή	κοράλλια σπηλαίου, σταλακτίτες και κρυστάλλους ασβεστίου	Το σπήλαιο έχει μορφή ρωγμής.	Lazaridis et al., 2017
Μπαίνα 2	Ελλάδα	Αλμωπία	μήκος 12 m, βάθος 9 m	Τραβερτίνης	μικρή λίμνη	απολιθώματα φυτών, μαγειρικά σκεύη και κεραμικά αγγεία		Πρωτογενές	κοράλλια σπηλαίου, σταλακτίτες και κρυστάλλους ασβεστίου	Διαθέτει δύο εισόδους και μία μικρή λίμνη μέσα στο σπήλαιο	Lazaridis et al., 2017
Μπαίνα 3	Ελλάδα	Αλμωπία	μήκος 5.6m, βάθος 3m, πλάτος 0.4m	Τραβερτίνης				Ρωγμή		Το σπήλαιο έχει μορφή ρωγμής.	Lazaridis et al., 2017
Μπαίνα 4	Ελλάδα	Αλμωπία	μήκος 3m, ύψος 2m, πλάτος 5m	Τραβερτίνης	μικρή λίμνη	απολιθώματα φυτών, μαγειρικά σκεύη και κεραμικά αγγεία				Το σπήλαιο έχει μορφή καταφυγίου.	Lazaridis et al., 2017
Στανού	Ελλάδα	Χαλκιδική		Τραβερτίνης	Υπαρξη καταρράκτη	αρτίγονο οστεολογικό υλικό		Πρωτογενές	Κυρίως σταλακτίτες,σταλαγμίτες	Απλή ανάπτυξη και μορφολογία	Lazaridis, 2016
Δρόμου	Ελλάδα	Α.Θθρυς	3,2-5,4×0,65×0,40	Τραβερτίνης-Κορήματα	Καταρράκτης 86m στα Β.	Κοραλλοειδή, φύλλα-κλαδιά περιλιθωμένα		Πρωτογενές	Μη ύπαρξη σταλαγμιτών	Χωρισμένο σε 2 μέρη	Reizopoulou
Ασία											
	Ινδία	Mandapathar, Orissa		Τραβερτίνης					Σταλακτίτες, Σταλαγμίτες, κοραλλιοειδή		Das and Mohanti, 2005
Zendané Soleyman cave	Ιράν	Δυτικό Αζερμπαϊτζάν	Βάθος 109 m	Τραβερτίνης	Άνυδρο σπήλαιο		Πλειστόκαινο			Η συσσώρευση του τραβερτίνη έχεις ύψος 110 m. Η είσοδος του σπηλαίου είναι μεταξύ 35 και 74 m. τα τείχη του σπηλαίου έχουν αναμορφωθεί έντονα από τις καιρικές συνθήκες, τη διάβρωση και την πτώση βράχων	Gradziński et al., 2018
	Τουρκία	BalıÖk, Denizli	μέγεθος 30 m3	Τραβερτίνης	Καταρράκτες, υπόγειες λίμνες		Πλειστόκαινο		Σταλακτίτες, Σταλαγμίτες	Το σπήλαιο φράχθηκε εντελώς από την ανάπτυξη του τραβερτίνη και στη συνέχεια διανοίχθηκε εκ νέου.	Claes et al., 2015
ALVEBESIK CAVE	Τουρκία	Akseki – Antalya	15m βάθος	Τραβερτίνης	125m λίμνη					Το σπήλαιο περιλαμβάνει 3 μέρη και το κύριο μέρος έχει ύψος 8m	http://www.turkeyportal.com/caves-of-turkey.html
Ilgarini cave	Τουρκία	Kastamonu, Turkey	860m (μήκος) × 250m (βάθος)	Τραβερτίνης					Υπάρχουν πολλά αρχαιολογικά ευρήματα όπως τάφοι και νασί	Χωρισμένο σε 2 μέρη έπειτα από 70m από την είσοδο	Akkemik et al., 2004
YERKÖPRÜ cave	Τουρκία	Κουλάδα Göksu	500m	Τραβερτίνης	Ποταμός Göksu και καταρράκτης (20m)			Τραβερτινική γέφυρα	Σταλακτίτες, Σταλαγμίτες	Η κύρια αίθουσα έχει ύψος 60 m και μήκος 70 m	http://www.turkeyportal.com/caves-of-turkey.html



Ballica cave	Τουρκία	Pazar	μήκος 68m	Τραβερτινής-μάρμαρο Permian-Triassic- ασβέστης	Περιέχει λίμνες				Σταλακτίτες, σταλαγμίτες, κολώνες και λίμνες νερού. Έχει θαλάμους που συνδέονται με τεχνητά τούνελ	Μεγάλες αίθουσες που δημιουργούνται ως αποτέλεσμα της κατάρρευσης και συνδέονται μεταξύ τους με περάσματα. Υπάρχει αίθουσα με νυχτερίδες.	http://www.turkeyportal.com/caves-of-turkey.html
Cuamayani cave	Τουρκία	Çatalagzi		Τραβερτινής	Περιέχει λίμνη			Τραβερτινική γέφυρα		Η κύρια αίθουσα έχει ύψος 60 m και μήκος 70 m. Καλύπτεται με παχιά στρώση άμμου	http://www.turkeyportal.com/caves-of-turkey.html
Mencilis	Τουρκία	Karabük	μήκος 2725 m	Τραβερτινής	Καταρράκτης 15m				Σταλακτίτες, Σταλαγμίτες	Διαθέτει 2 εισόδους. Έχει τέσσερις κατακόρυφες κοιλότητες οι οποίες έχουν βάθος 3,5,11 και 15 m, αντίστοιχα.	http://www.turkeyportal.com/caves-of-turkey.html
Küzükdipsiz Cave	Τουρκία	Antalya	μήκος 74 m, μέγιστο βάθος 27.5 m	Τραβερτινής					Σταλακτίτες, Σταλαγμίτες	Στενή είσοδος και στη συνέχεια κλίση εδάφους 25°	http://antalya.bel.tr/i/caverns-and-caves
Papazyakasi Cave	Τουρκία	Antalya	μήκος 149 m	Τραβερτινής	Δεν περιέχει λίμνη ή ποτάμι				Σταλακτίτες, Σταλαγμίτες (μικρός αριθμός)	Η επιφάνεια της σπηλιάς είναι τραχειά, με σκάλες και προς τα κάτω και μερικές φορές το σπήλαιο γίνεται πολύ στενό λόγω των μπλοκ βράχων που πέφτουν από την οροφή του	http://antalya.bel.tr/i/caverns-and-caves
Yerköprü-Hadim	Τουρκία	Central Taurus Mts	μήκος 250 m και πλάτος 50 m	Τραβερτινής				Τραβερτινική γέφυρα	Σταλακτίτες		bayari 2002
Vorotan Devil's Bridge	Αρμενία	Syunik	μήκος 30 m και πλάτος 50-60 m	Τραβερτινής	Περιέχει λίμνες			Τραβερτινική γέφυρα		Θερμές πηγές στους πρόποδες της σπηλιάς	https://www.wondermondo.com/spring-tufa-travertine-and-other-formations/
Shuiliandong	Κίνα	Guizhou Province	μήκος 134m	Τραβερτινής	Καταρράκτης Huangguoshu 67m				Πολλά φυσικά ανοίγματα		
Prindaya Caves	Βιρμανία	Σαν	Βάθος 60 m	Τραβερτινής				Πρωτογενές	Σταλακτίτες, Σταλαγμίτες	Ένας τεράστιος σταλαγμίτης (ύψος 9-12 m) βρίσκεται στο σπήλαιο.	Gradziński et al., 2018
Νότια Αφρική											
	Αιθιοπία	Tsigaba	Βάθος 15 m	Τραβερτινής			Ολόκαινο		Σταλακτίτες		Gradziński et al., 2018
	Μαγασκάρη	Les Sept Lacs		Τραβερτινής	Λίμνη Onilahy				Σταλακτίτες, Σταλαγμίτες, κολώνες		Ford and Pedley, 1996
	Κανάρια νησιά	Berrazales	Διάμετρος 50 cm	Τραβερτινής						Το σπήλαιο έχει καλούπι δέντρου/κορμού και είναι προσβάσιμο από τον άνθρωπο.	Camuera et al., 2014