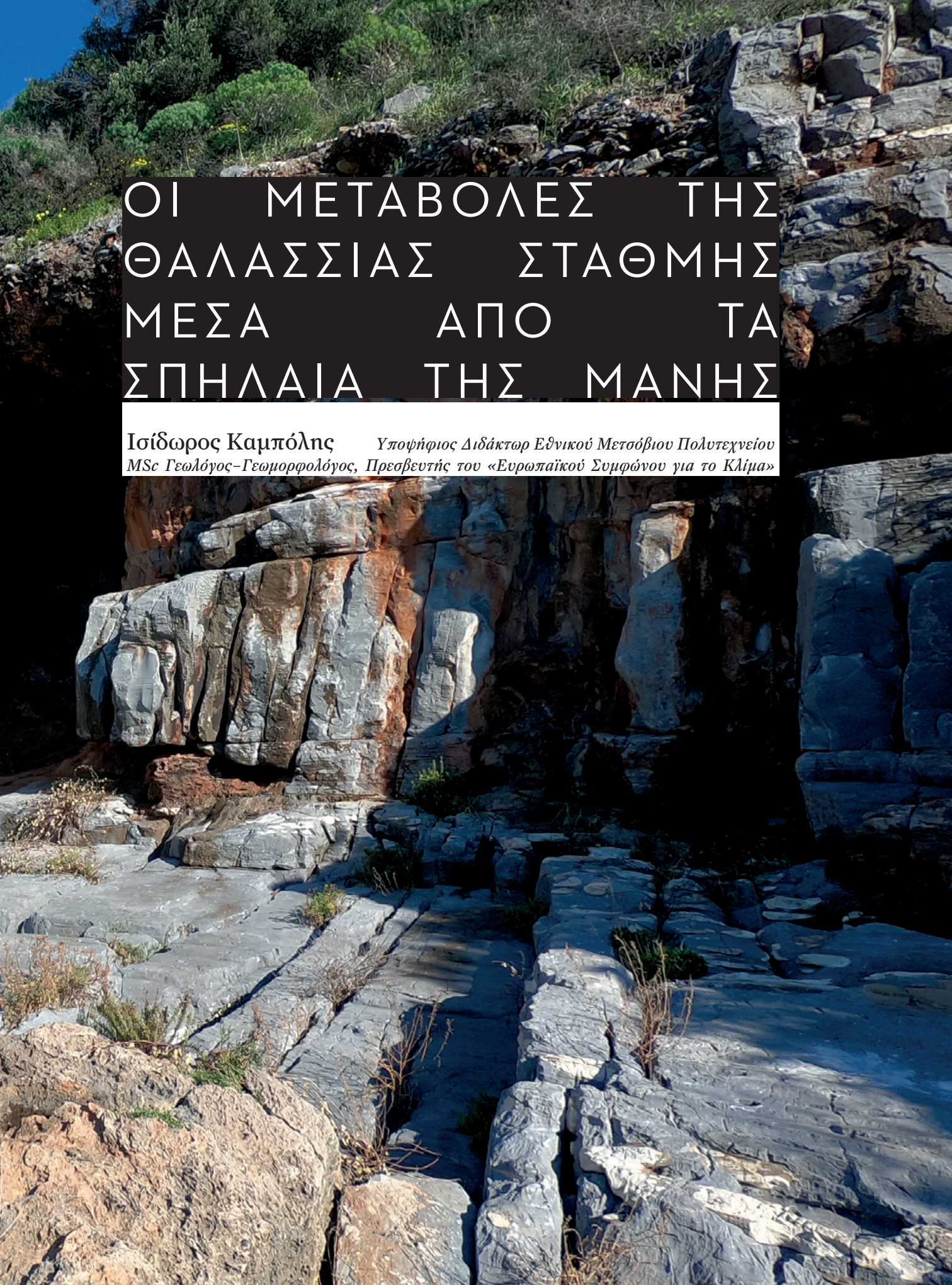




01

Το εξωτερικό περιβάλλον
μπροστά από την είσοδο
του σπηλαιίου της Σελινίτσας
(φωτ.: Ι. Καμπόλης).

The background of the entire page is a photograph of a rugged, rocky coastline. The rocks are dark and layered, with some areas showing reddish-brown hues. Sparse green vegetation is visible on the upper slopes. A dark, semi-transparent rectangular box is centered over the upper half of the image, containing the title in white Greek text.

ΟΙ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΤΑ ΣΠΗΛΑΙΑ ΤΗΣ ΜΑΝΗΣ

Ισίδωρος Καμπόλης

*Υποψήφιος Διδάκτωρ Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου
MSc Γεωλόγος-Γεωμορφολόγος, Πρεσβευτής του «Ευρωπαϊκού Συμφώνου για το Κλίμα»*

ΤΑ ΣΠΗΛΑΙΑ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝ ΙΔΙΑΙΤΕΡΑ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ περιβάλλοντα, τα οποία χαρακτηρίζονται από την ικανότητά τους να παρακολουθούν στενά τις περιβαλλοντικές μεταβολές του επιφανειακού ανάγλυφου. Οι τελευταίες επηρεάζονται άμεσα από τις διαδοχικές κλιματικές καταστάσεις που επικρατούν σε αυτό στη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου. Συνεπώς, τα σπήλαια λειτουργούν ως αποτελεσματικοί παλαιοκλιματικοί αλλά και παλαιογεωγραφικοί δείκτες (Wendt κ.ά. 2021).

Η πρώτη ιδιότητα, αυτή της καταγραφής του κλίματος, έγκειται στη συσχέτιση των σπηλαίων με την εκάστοτε κατάσταση της επιφανειακής ατμόσφαιρας, διαμέσου της σταγονορροής. Η σταγονορροή αποτελεί τη γενεσιουργό αιτία των σπηλαιοαποθεμάτων και τροφοδοτείται από το υπεδαφικό νερό που καταλαμβάνει τη ζώνη του επικάρστ (ζώνη πετρώματος πάνω από την οροφή του σπηλαίου) (εικ. 2). Αυτό με τη σειρά του προέρχεται από το νερό των βροχοπτώσεων και εμπεριέχει στοιχεία για την ισοτοπική σύσταση της ατμόσφαιρας. Σε αυτήν τη σύσταση στηρίζεται η επιστήμη της παλαιοκλιματολογίας, προκειμένου να «διαβάσει» τις παρελθοντικές κλιματικές καταστάσεις της ατμόσφαιρας, στηριζόμενη στην εσωτερική δομή των σπηλαιοαποθεμάτων (σταλακτίτες και σταλαγμίτες), συνιστάμενη από επάλληλες ασβεστιτικές στρώσεις.

Η δεύτερή τους ιδιότητα οφείλεται στο γεγονός ότι τα σπήλαια αποτελούν τμήμα της γεωγραφίας του χώρου, αν και η ανάπτυξή τους πραγματοποιείται υπόγεια. Οποιαδήποτε αλλαγή στη γεωγραφική διαμόρφωση του ανάγλυφου έχει άμεση επίδραση και στον υπόγειο χώρο. Παραδειγματός χάριν, κατά τη μετάβαση από την τελευταία παγετώδη περίοδο (έλαβε χώρα 71.000 έως και 11.700 χρόνια πριν από σήμερα) προς τη σύγχρονη μεσοπαγετώδη περίοδο του Ολόκαινου (11.700 χρόνια πριν από σήμερα – σήμερα), η θάλασσα στάθμη, ακολουθώντας τις δραματικές μεταβολές της συγκεκριμένης μετάβασης, ανήλθε από τα -120 μέτρα στη σημερινή της θέση. Αυτό είχε ως συνέπεια τη μεταβολή της γεωγραφίας της παράκτιας ζώνης και ως εκ τούτου την πλημμύριση των γεωμορφολογικών τοπίων μεταξύ της ισοϋψούς των -120 μέτρων και της σημερινής ακτογραμμής. Η παρουσία αυτής της πάλαι ποτέ χέρσου αποδεικνύεται από τη σημερινή παρουσία στην περιοχή υποθαλάσσιων σπηλαίων με σπηλαιολιθωματικό διάκοσμο. Η παρουσία του διακόσμου στο υποθαλάσσιο περιβάλλον αποτελεί αδιαμφισβήτητο στοιχείο της χερσαίας προέλευσής του, καθώς, για να σχηματιστεί, απαιτούνται αφενός αερόβιες συνθήκες και αφετέρου η επίδραση της βαρύτητας στη σταγονορροή.

Συνεπώς, οι γεωλογικές διεργασίες που πραγματοποιούνται στο επιφανειακό ανάγλυφο αφήνουν στοιχεία-γεωμορφές που μαρτυρούν τη δράση τους. Με τη μελέτη αυτών των γεωμορφών, η σύγχρονη επιστήμη δύναται να αναπαραστήσει τις αντίστοιχες διεργασίες και κατ' επέκταση το παλαιοπεριβάλλον μιας περιοχής. Μερικές φορές, όμως, τα μοναδικά εναπομείναντα στοιχεία βρίσκονται καλά προστατευμένα στο υπόγειο περιβάλλον των σπηλαίων, ενώ η επιφανειακή τους παρουσία έχει πλήρως εξαλειφθεί από τη δράση των εξωγενών διεργασιών.

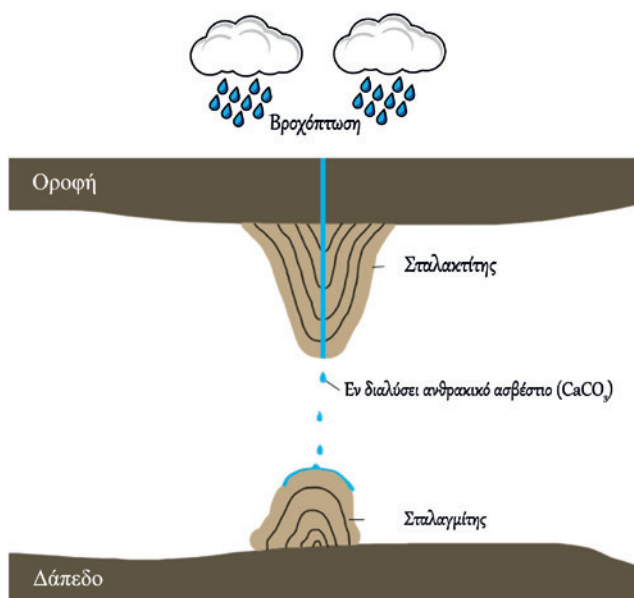
ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

Η τρέχουσα κλιματική κρίση χαρακτηρίζεται από τη διατάραξη του παγκόσμιου κλίματος λόγω των αυξανόμενων ανθρωπογενών αερίων του θερμοκηπίου. Η εν λόγω διατάραξη προκαλεί την αύξηση της πλανητικής θερμοκρασίας, αποσταθεροποιώντας τα παγοκαλύμματα του Βόρειου και Νότιου ημισφαιρίου, και επιταχύνει τη φυσική άνοδο της θάλασσας στάθμης σε μια μεσοπαγετώδη περίοδο, όπως είναι η σύγχρονη περίοδος του Ολόκαινου (εικ. 3).

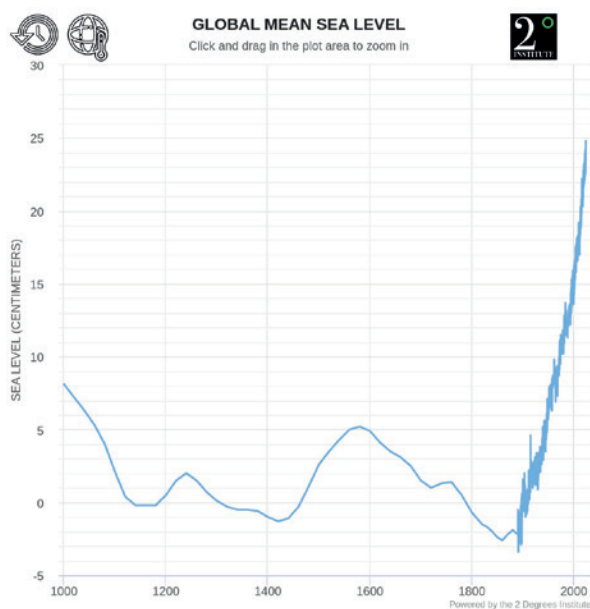
Όμως, η στάθμη της θάλασσας βρίσκεται υπό καθεστώς συνεχούς μεταβολής κατά τη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου, είτε λόγω διακυμάνσεων στην υδάτινη μάζα του παγκόσμιου ωκεανού, είτε λόγω μεταβολών του επιπέδου της ξηράς συναρτήσει της επιφάνειας της θάλασσας (Rovere κ.ά. 2016). Στην πρώτη περίπτωση αναφερόμαστε στην ευστατική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης (eustatic sea level) με παγκόσμια απήχηση, ενώ στη δεύτερη στη σχετική μεταβολή της (relative sea level), που έχει έναν πιο τοπικό χαρακτήρα. Η μελέτη της ευστατικής θαλάσσιας στάθμης μάς βοηθά στην κατανόηση της ευαισθησίας των παγοκαλυμμάτων σε θερμότερα κλίματα (Tawil–Morsink κ.ά. 2022). Κατά τις εναλλαγές ανάμεσα σε παγετώδεις και μεσοπαγετώδεις περιόδους, τα μεγέθη των παγοκαλυμμάτων μεταβάλλονταν συναρτήσει των κλιματικών αλλαγών και παράλληλα η στάθμη της θάλασσας αποκρινόταν στις συγκεκριμένες κλιματικές μεταβολές. Κατά την ανάπτυξη των παγοκαλυμμάτων (παγετώδης περίοδος) δεσμευόταν νερό από τους ωκεανούς και η παγκόσμια θαλάσσια στάθμη ταπεινωνόταν, ενώ κατά την τήξη τους (μεσοπαγετώδης περίοδος) το δεσμευμένο νερό επέστρεφε στους ωκεανούς και η στάθμη της θάλασσας ανερχόταν. Για τη μελέτη αυτών των μεταβολών της στάθμης της θάλασσας υπάρχει διαθέσιμος ένας αριθμός από διαφορετικές τεχνικές, όπως δορυφορικά δεδομένα, παλιρροιογράφοι, γεωλογικά και αρχαιολογικά δεδομένα. Μέσω αυτών μπορεί να μετρηθεί απευθείας η σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης, ενώ αντίθετα η ευστατική θαλάσσια στάθμη προσεγγίζεται εμμέσως μετά τον υπολογισμό των διαφόρων παραγόντων που επιδρούν σε αυτήν (π.χ. μεταβολές του γεωειδούς, τεκτονικές κινήσεις, θερμική διαστολή των ωκεανών κ.ά.). Επομένως, η σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης εμπεριέχει την ευστατική στάθμη.

Η γνώση του ρυθμού ανόδου της στάθμης της θάλασσας στο εγγύς μέλλον αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα θέματα που απασχολούν τη σύγχρονη κοινωνία (Alley κ.ά. 2005). Σήμερα, το ένα τρίτο του παγκόσμιου πληθυσμού διαβίει σε παράκτιες περιοχές πολύ χαμηλού υψόμετρου, στις οποίες μια μελλοντική αύξηση της θαλάσσιας στάθμης (ακόμη και μικρής κλίμακας) θα έχει σημαντικές κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις (Milne κ.ά. 2009). Συνεπώς, η γνώση της μελλοντικής πορείας της θαλάσσιας στάθμης συνιστά επιτακτική ανάγκη.

Μία από τις προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της τρωτότητας της ανθρώπινης κοινωνίας στη μελλοντική γρήγορη άνοδο της στάθμης της θάλασσας είναι η βελτίωση της κατανόησης παρελθοντικών



02



03



04

02

Η σταγονορροή προκαλεί τον σχηματισμό των σπηλαιοαποθεμάτων και τροφοδοτείται από τις βροχοπτώσεις στο

επιφανειακό ανάγλυφο (τροποποιημένο από Nakitt, <https://www.geocaching.com/geocache/GC89RDP>).

03

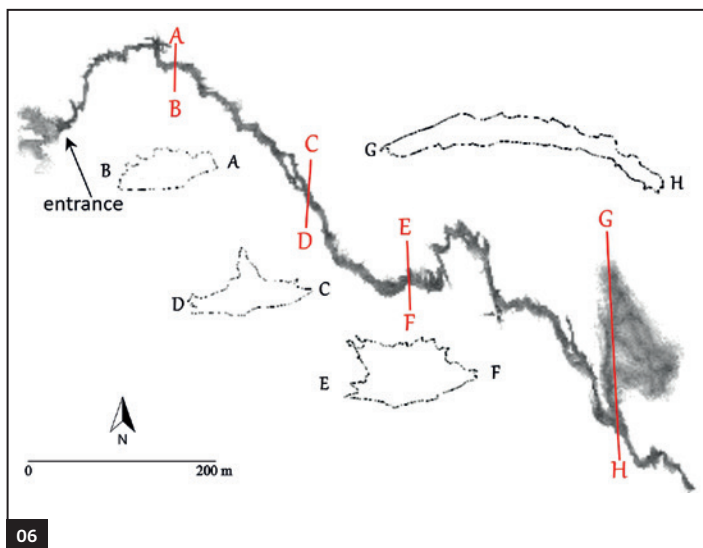
Μεταβολές της στάθμης της θάλασσας (σε cm) κατά την τελευταία χιλιετία (2 Degrees Institute –<https://www.2degreesinstitute.org/>).

04

Άποψη των κλιμακωτών θαλάσσιων αναβαθμίδων στο βορειοδυτικό άκρο του όρμου του Διρού (φωτ.: Ι. Καμπόλης).



05



06

05
Άποψη του εσωτερικού
περιβάλλοντος του σπηλαίου
της Σελινίτσας
(φωτ.: Ι. Καμπόλης).

06
Άνω όψη (top view) του νέφους
σημείων από την τρισδιάστατη
χαρτογράφηση του σπηλαίου
της Σελινίτσας. Τα γράμματα Α–Η
αποδίδουν τις μορφολογικές τομές
κατά μήκος των κόκκινων γραμμών
(Kampolis κ.ά. 2022α).



07

07
Ελικτίτες στην οροφή
του σπηλαίου της Σελινίτσας
(φωτ.: Ι. Καμπόλης).

καταστάσεων ανόδου της θαλάσσιας στάθμης (Onac κ.ά. 2012). Και αυτό επιτυγχάνεται μελετώντας προηγούμενες μεσοπαγετώδεις περιόδους, κατά τις οποίες η στάθμη της θάλασσας και η παγκόσμια θερμοκρασία ήταν υψηλότερες από τις αντίστοιχες σημερινές. Μία εξ αυτών είναι η προηγούμενη μεσοπαγετώδης περίοδος ή το Θαλάσσιο Ισοτοπικό Στάδιο 5 (Marine Isotope Stage 5 / MIS 5), η οποία διήρκεσε από 130.000 έως 71.000 χρόνια πριν από σήμερα και περιλάμβανε 3 θερμές υποπεριόδους: α) MIS 5e (130.000–115.000), β) MIS 5c (96.000) και γ) MIS 5a (82.000) (Tawil–Morsink κ.ά. 2022). Η εν λόγω περίοδος θεωρείται το καλύτερο αναλογικό παράδειγμα για τη μελέτη της στάθμης της θάλασσας σε μια γη με αυξανόμενη θερμοκρασία, καθώς περιλαμβάνει περισσότερα δεδομένα από οποιαδήποτε άλλη μεσοπαγετώδη περίοδο (Dutton / Lambeck 2012).

Η ιστορία της θαλάσσιας στάθμης εμπεριέχει χωροχρονικές διακυμάνσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν πληροφορίες όχι μόνο για το κλίμα, αλλά και για έναν αριθμό διεργασιών που σχετίζονται με τη στερεά γη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι σχετικές μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης σε έναν συγκεκριμένο τόπο αντιπροσωπεύουν όχι μόνο μεταβολές στον όγκο των παγοκαλυμμάτων (ευστατικές μεταβολές) αλλά, επίσης, την απόκριση της γης σε μεταβολές που σχετίζονται με το επιφανειακό της φορτίο, υπό μορφή επιφανειακής παραμόρφωσης και μεταβολών του γεωειδούς ή παγετικής ισοστατικής προσαρμογής (Glacial Isostatic Adjustment – GIA) (Lambeck / Chappell 2001, Mitrovica / Milne 2002). Επομένως, η αναπαράσταση της ευστατικής στάθμης της θάλασσας απαιτεί ακριβή αριθμητικά μοντέλα GIA, τα οποία με τη σειρά τους απαιτούν πληροφορίες για την ιστορία των παγοκαλυμμάτων (συμπεριλαμβανομένης της διασποράς τους, του όγκου και της διάρκειας της παγοκάλυψης), καθώς επίσης και για τις ρεολογικές ιδιότητες της γης (π.χ. λιθοσφαιρική και μανδυακή ανομοιογένεια, ιξώδες του μανδύα). Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητή η εγγενής δυσκολία στη μελέτη και αναπαράσταση των παρελθοντικών μεταβολών της παγκόσμιας θαλάσσιας στάθμης.

Οι επιστήμονες, προκειμένου να προβούν σε άμεσες εκτιμήσεις της θαλάσσιας στάθμης, στηρίζονται στους λεγόμενους δείκτες της σχετικής στάθμης της θάλασσας. Οι τελευταίοι καταγράφουν την παρελθοντική θέση της θαλάσσιας στάθμης, είτε διαμέσου της διάβρωσης που προκαλείται από αυτήν (π.χ. θαλάσσιες εγκοπές, θαλάσσιες αναβαθμίδες), είτε διαμέσου της προκαλούμενης απόθεσης (π.χ. κοραλλιογενείς ύφαλοι, σπηλαιοαποθέματα) (Onac κ.ά. 2012). Οι παλαιοδείκτες της σχετικής στάθμης της θάλασσας διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: α) τους γεωλογικούς και β) τους αρχαιολογικούς (Rovere κ.ά. 2016). Δυστυχώς, όμως, αυτές οι άμεσες τεχνικές παρέχουν αποσπασματικές καταγραφές για τις σχετικές μεταβολές της στάθμης της.

Σε τέτοιους δείκτες στηρίζεται η μελέτη των παρελθοντικών θέσεων της στάθμης της θάλασσας στην περιοχή του ανατολικού Μεσοπναικού κόλπου, μέσα από τη μελέτη των παράκτιων σπηλαίων της Σελινίτσας Αγίου Δημητρίου και της Βλυχάδας ή Γλυφάδας Διρού.

ΣΠΗΛΑΙΑ ΤΗΣ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΥ ΤΗΣ ΜΑΝΗΣ

Η περιοχή της χερσονήσου της Μάνης διαμορφώνεται σε ένα εκτεταμένο καρστικό πεδίο με πληθώρα επιγενών σπηλαίων. Δομείται από ανθρακικά πετρώματα κυρίως της ενότητας της Μάνης ή Plattenkalk, ενώ μεγάλο τμήμα της παράκτιας ζώνης συνίσταται από πελαγικούς, μεσο- έως παχυστρωματώδεις, ημικρυσταλλικούς ασβεστόλιθους του Κατώτερου Σενόνιου – Ανώτερου Ηώκαινου. Η γεωμορφολογική εξέλιξη του ανάγλυφου της χερσονήσου της Μάνης οφείλεται σε δύο κύριους παράγοντες και τη μεταξύ τους αλληλεπίδραση: α) την τεκτονική δραστηριότητα και β) τις κλιματικές μεταβολές, με την τεκτονική δραστηριότητα να αποτελεί τον πρωτογενή παράγοντα διαμόρφωσης του ανάγλυφου (Kleman κ.ά. 2016).

Στη δυτική πλευρά της χερσονήσου της Μάνης είναι εμφανείς οι κλιμακωτές επιφάνειες επιπέδωσης (εικ. 4), αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των κλιματικών μεταβολών του Ανώτερου Τεταρτογενούς και της τεκτονικής δραστηριότητας (Μπασιάκος 1993). Οι συγκεκριμένες επιφάνειες αποτελούν θαλάσσιες αναβαθμίδες, οι οποίες έχουν αναπτυχθεί στο ανθρακικό υπόβαθρο, στερούμενες στην πλειονότητά τους θαλάσσιου ιζήματος, με αποτέλεσμα η χρονολόγησή τους να είναι προβληματική. Παρά ταύτα, όπως σημειώνει και ο Κουραμπάς (Kourampas 2001), δεδομένα για το πλειστοκαινικό αρχείο των σχετικών μεταβολών της στάθμης της θάλασσας μπορούν να αναζητηθούν στο εσωτερικό των σπηλαίων της περιοχής.

Στην εν λόγω περιοχή εντοπίζονται αρκετά παράκτια σπήλαια, όπως το σπήλαιο Απήδημα, της Αλεπότρυπας, της Βλυχάδας, της Σελινίτσας, της Τραχήλας. Στο παρόν άρθρο γίνεται πιο εκτεταμένη αναφορά στα σπήλαια της Σελινίτσας Αγίου Δημητρίου και της Βλυχάδας Διρού.

ΣΠΗΛΑΙΟ ΣΕΛΙΝΙΤΣΑΣ ΑΓΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

Το σπήλαιο της Σελινίτσας βρίσκεται κοντά στο χωριό του Αγίου Δημητρίου στις δυτικές παρυφές του Ταϊγέτου, μόλις 46 χλμ. νότια της Καλαμάτας. Η θέση της εισόδου του (εικ. 1) εντοπίζεται 18 μέτρα πάνω από τη στάθμη της θάλασσας και σε απόσταση 47,6 μέτρων από την ακτογραμμή (Kampolis κ.ά. 2022a). Πρόκειται για ένα παράκτιο σπήλαιο, τμήμα ενός σύνθετου καρστικού συστήματος. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει το σπήλαιο της Σελινίτσας (εικ. 5, 7) και το σπήλαιο του Δράκου, με το τελευταίο να αναπτύσσεται στο υποθαλάσσιο περιβάλλον (Papadopoulou–Vrynioti / Kampolis 2012). Η Σελινίτσα αποτελεί το ξηρό σπήλαιο του συστήματος (εικ. 6), ενώ ένα τμήμα της εκτείνεται και υποθαλάσσια μέχρι το βάθος των 80 μέτρων (εικ. 11).

Στην είσοδο του σπηλαίου της Σελινίτσας εντοπίζονται δείκτες της σχετικής στάθμης της θάλασσας που υποδηλώνουν τη θέση της σε παλαιότερες περιόδους. Πρόκειται για δύο παλιρροιακές εγκοπές κοντά στην είσοδο και σε υψόμετρα 15,3 και 16,4 μέτρα πάνω από τη σημερινή στάθμη της θάλασσας, αντίστοιχα. Και οι δύο αυτοί δείκτες συσχετίζονται με σπές λιθοφάγων (θάλασσια μαλάκια του γένους *Lithophaga*) σε οριζόντια διάταξη, οι οποίες σταματούν απότομα στο σημείο μέγιστης οπισθοχώρησης της εγκοπής. Πρόκειται για μια

καθαρή ένδειξη παρουσίας της θάλασσας σε αυτήν τη θέση (Laborel / Laborel-Deguen 1994). Επιπρόσθετα, η ανώτερη παλιρροιακή εγκοπή συσχετίζεται με τη θαλάσσια αναβαθμίδα σε υψόμετρο 16,6 μέτρων πάνω από τη στάθμη της θάλασσας, με την τελευταία να εντοπίζεται λίγα χιλιόμετρα νότια της Σελινίτσας και να αποδίδεται στην προηγούμενη μεσοπαγετώδη περίοδο (MIS 5) (Kamropolis κ.ά. 2022α).

Πέραν αυτών των στοιχείων, η ίδια η μορφολογία του σπηλαίου της Σελινίτσας συνηγορεί υπέρ της παρουσίας θαλάσσιας στάθμης στο υψόμετρο των 16,4 μέτρων. Μετά την τρισδιάστατη καταγραφή του σπηλαίου της Σελινίτσας, διαπιστώθηκε μια διαπλάτυνση του σπηλαίου με μέγιστη διεύρυνση στα 16,4 μέτρα, υψόμετρο που συμπίπτει τόσο με τη θαλάσσια αναβαθμίδα των 16,6 μέτρων, όσο και με την ανώτερη παλιρροιακή εγκοπή των 16,4 μέτρων (Kamropolis κ.ά. 2022α). Πρόκειται για τη θαλάσσια στάθμη κατά το στάδιο MIS 5, στο οποίο η θάλασσα είχε σταθεροποιηθεί στα 16,4 μέτρα και κατ' επέκταση ο υδροφόρος ορίζοντας στην παράκτια ζώνη καταλάμβανε το ίδιο υψόμετρο. Η θέση του τελευταίου προκάλεσε την εκτεταμένη καροστικοποίηση του σπηλαίου σε αυτό το υψόμετρο.

Επίσης, άλλο ένα ανεξάρτητο στοιχείο που συνεισφέρει στη γνώση μας για τη στάθμη της θάλασσας κατά το MIS 5 είναι η παρουσία ενός στρωματογραφικού κενού εντός σταλαγμίτη που λήφθηκε από το εσωτερικό της Σελινίτσας. Η ραδιοχρονολόγηση του στρωματογραφικού κενού με τη μέθοδο Ουρανίου-Θορίου (U-Th) απέδωσε ηλικία 80.500 χρόνων πριν από σήμερα και συμπίπτει χρονικά με την υψηλή στάθμη θάλασσας κατά το ισοτοπικό στάδιο MIS 5a (Kamropolis κ.ά. 2022β). Το εν λόγω στρωματογραφικό κενό προκλήθηκε από την πλημμύριση του σπηλαίου λόγω της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης, με αποτέλεσμα να διακοπεί η ανάπτυξη του σταλαγμίτη.

Οι προαναφερθέντες δείκτες θαλάσσιας στάθμης αντιπροσωπεύουν τη σχετική μεταβολή της θάλασσας, η οποία εμπεριέχει και την ευστατική θαλάσσια στάθμη. Προκειμένου να διορθωθούν οι τιμές αυτές και να προσεγγιστεί η ευστατική στάθμη, χρειάζεται να αφαιρεθεί η επιρροή των τεκτονικών κινήσεων και της παγετικής ισοστασίας (GIA).

ΣΠΗΛΑΙΟ ΒΛΥΧΑΔΑΣ Ή ΓΛΥΦΑΔΑΣ ΔΙΡΟΥ

Το σπήλαιο της Βλυχάδας (εικ. 8–10) εντοπίζεται στο νοτιο-ανατολικό τμήμα του όρμου του Διρού και η φυσική είσοδός του βρίσκεται σε υψόμετρο 0,5 μέτρων πάνω από τη σημερινή στάθμη της θάλασσας. Η μορφολογία του σπηλαίου χαρακτηρίζεται ως δαιδαλώδης, λόγω της πυκνής ανάπτυξης σπηλαιολιθωματικού διακόσμου στο εσωτερικό του. Το σπήλαιο έχει συνολικό μήκος διαδρόμων 10,6 χλμ. Το 26% των συνολικών διαδρόμων χαρακτηρίζεται ως χερσαίο, ενώ τα λιμναία τμήματα καταλαμβάνουν το 74% (Μπασιάκος 1993), αναδεικνύοντάς το ως το μεγαλύτερο σπήλαιο με λιμναία τμήματα στην Ελλάδα. Τα υποθαλάσσια τμήματα του Διρού αγγίζουν το βάθος των 75 μέτρων, ενώ η παρουσία σταλακτιτών πιστοποιείται έως το βάθος των 71 μέτρων (Γιαννόπουλος 2000).

Αναφορικά με τις σχετικές μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης στην περιοχή του όρμου του Διρού και σύμφωνα με τον





08

Λιμναίο τμήμα του σπηλαίου
της Βλυχάδας Διρού με την
καταστόλιστη οροφή του
(φωτ.: Ι. Καμπόλης).



09



10

09
Λιμναίο τμήμα του σπηλαίου
της Βλυχάδας Διρού
(φωτ.: Ι. Καμπόλης).

10
Εκκεντρίτες σε
σπηλαιολιθωματική κολόνα,
σπήλαιο Βλυχάδας Διρού
(φωτ.: Κ. Ζούπης).



11

11
Πλημμυρισμένο τμήμα
του σπηλαίου της Σελινίτσας
(φωτ.: Ι. Καμπόλης).

Keraudren (1971) έχουν καταγραφεί τρία συμβάντα θαλάσσιας επίκλυσης: α) κατά το Ευτυρρηνίο ή στο στάδιο MIS 5e με θαλάσσια στάθμη στα +15 μέτρα, β) κατά το Νεοτυρρηνίο ή το στάδιο MIS 5a με στάθμη θάλασσας στα +5 μέτρα και γ) κατά το θερμικό μέγιστο του Ολόκαινου (5.000–6.000 χρόνια πριν από σήμερα) με στάθμη θάλασσας στα +2 έως +2,5 μέτρα. Και τα τρία επίπεδα της θαλάσσιας στάθμης αντιπροσωπεύονται από παλαιοδείκτες υπό μορφή θαλάσσιων εγκοπών και παράκτιων μικρών εγκοίλων ή σπηλαίων (Μπασιάκος 1993) στο παράκτιο περιβάλλον της ευρύτερης περιοχής.

Στο εσωτερικό περιβάλλον του σπηλαίου εντοπίζονται συγκεκριμένες μορφές που δύνανται να συσχετιστούν με τις προαναφερθείσες θαλάσσιες στάθμες, όπως τα «κρεμάμενα πρηνή» στα δυτικά του σημείου όπου αποβιβάζονται από τις βάρκες οι επισκέπτες (Μπασιάκος 1993). Πρόκειται για προεξοχές τραβερτινοειδούς σπηλαιοαποθέματος, οι οποίες βρίσκονται σε υψόμετρο +2,5 μέτρα από τη σημερινή θαλάσσια στάθμη και αντιστοιχούν με την επίκλυση της θάλασσας πριν από 5.000–6.000 χρόνια. Σύμφωνα με τον Μπασιάκο (1993), αντίστοιχα παλαιοπρηνή μπορούν να διαπιστωθούν στην «Παλαιά Κοίτη» και σε υψόμετρα +15 μέτρων. Τα συγκεκριμένα αντιστοιχούν στη θαλάσσια επίκλυση κατά το MIS 5e. Επιπρόσθετα, η οριζόντια ανάπτυξη της «Παλαιάς Κοίτης» του σπηλαίου αποδίδεται σε φακοειδή διαπλάτυνση λόγω

καρστικοποίησης στο επίπεδο της θαλάσσιας στάθμης κατά το MIS 5e. Η συσχέτιση των υπόγειων δεικτών με τις αντίστοιχες επιφανειακές παλαιοστάθμες βασίζεται σε υψομετρικές αντιστοιχίσεις. Συνεπώς, το σπήλαιο της Βλυχάδας έχει τη δυνατότητα να προσφέρει νέα επιστημονικά δεδομένα, αν οι προαναφερθείσες μορφές χρονολογηθούν με τις σύγχρονες ραδιοχρονολογικές μεθόδους μεγάλης ακρίβειας, όπως η τεχνική Ουρανίου–Θορίου (U–Th). Είναι πολύ πιθανό η ακριβέστερη χρονολόγηση να αναδείξει χαρακτηριστικά της ευστατικής θαλάσσιας στάθμης, τα οποία θα ενισχύσουν τη γνώση μας για την αντίστοιχη γεωλογική περίοδο και φυσικά θα βοηθήσουν τη μοντελοποίηση των πλειστοκαινικών παγοκαλυμμάτων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο τοπίο της Μάνης, ο τεκτονισμός αποτελεί τον πρώτης τάξης παράγοντα διαμόρφωσης του ανάγλυφου με αποτέλεσμα το επιφανειακό γεωλογικό αρχείο της σχετικής θαλάσσιας στάθμης να εντοπίζεται αποσπασματικό. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον, σπήλαια με θέση κοντά στη σημερινή ακτογραμμή μπορούν να διατηρήσουν πολύτιμες πληροφορίες για τις παρελθοντικές θαλάσσιες στάθμες και να μας διαφωτίσουν για περιόδους που απέχουν δεκάδες έως εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια από τη σημερινή εποχή.

Βιβλιογραφία

- Alley κ.ά. 2005: Alley R.B. / Clark U.P. / Huybrechts P. / Joughin I., «Ice-sheet and sea-level changes», *Science* 310 (2005), σ. 456–460.
- Γιαννόπουλος 2000: Γιαννόπουλος Ι.Β., «Συμβολή στη μελέτη σύγχρονων και παλαιών περιβαλλόντων των πλέον σημαντικών ελληνικών σπηλαίων», διδ. διατρ., Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα (2000).
- Dutton / Lambeck 2012: Dutton A. / Lambeck K., «Ice volume and sea level during the Last Interglacial», *Science* 337 (2012), σ. 216–219.
- Kampolis κ.ά. 2022α: Kampolis I. / Triantafyllidis St. / Skliros V. / Kamperis E., «Quaternary evolutionary stages of Selinitsa Cave (SW Peloponnese, Greece) revealing sea level changes based on 3D scanning, geomorphological, biological and sedimentological indicators», *Quaternary* 5/2 (2022), σ. 1–13.
- Kampolis κ.ά. 2022β: Kampolis I. / Onac P.B. / Triantafyllidis S. / Polyak V. / Asmerom Y., «Climate and environmental changes at the MIS 5a/4 transition in southwestern Peloponnese (S. Greece)», *Proceedings of the 18th International Congress of Speleology*, 25–31 July 2022, Savoie Mont Blanc, France (Karstologia Mémoires, 25), τόμ. 5, 2022, σ. 71–72.
- Keraudren 1971: Keraudren B., «Les formations quaternaires marines de la Grèce (deuxième partie)», *Bulletin de Musée d'Anthropologie Préhistorique de Monaco* 17 (1971), σ. 87–169.
- Kleman κ.ά. 2016: Kleman J. / Borgström I. / Skelton A. / Hall A., «Landscape evolution and landform inheritance in tectonically active regions: The case of the Southwestern Peloponnese, Greece», *Zeitschrift für Geomorphologie* 60 (2016), σ. 171–193.
- Kourampas 2001: Kourampas N., «Plio-Quaternary sedimentation and geomorphology within an active fore-arc: Messenia and Eastern Lakonia Peninsulæ, Southern Peloponnese, Greece», διδ. διατρ., Edinburgh 2001.
- Laborel / Laborel–Deguen 1994: Laborel J. / Laborel–Deguen F., «Biological indicators of relative sea-level variations and of co-seismic displacements in the Mediterranean region», *Journal of Coastal Research* 10 (1994), σ. 395–415.
- Lambeck / Chappell 2001: Lambeck K. / Chappell J., «Sea level change through the last glacial cycle», *Science* 292 (2001), σ. 679–685.
- Μπασιάκος 1993: Μπασιάκος Ι.Ε., «Χρονολόγηση απολιθωμάτων σπηλαίων και σπηλαιοαποθεμάτων με τη μέθοδο του συντονισμού της ηλεκτρονικής στροφορμής και μελέτη μορφολογίας υπόγειου καρστ και των σχετικών ραδιομετρικών και γεωλογικών συνθηκών σε σπηλαιοπεριβάλλοντα της περιοχής Δυρού Μάνης», διδ. διατρ., Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα 1993.
- Milne κ.ά. 2009: Milne A.G. / Gehrels W.R. / Hughes C.W. / Tamisiea M.E., «Identifying the causes of sea level change», *Nature Geoscience* 2 (2009), σ. 471–478.
- Mitrovica / Milne 2002: Mitrovica J.X. / Milne G.A., «On the origin of late Holocene sea-level highstands within equatorial ocean basins», *Quaternary Science Reviews* 21/20–22 (2002), σ. 2179–2190.
- Onac κ.ά. 2012: Onac O.B. / Ginés A. / Ginés J. / Fornós J.J. / Dorale J.A., «Late Quaternary Sea-level History: a Speleothem Perspective», στο A. Ginés / J. Ginés / L. Gómez–Pujol / P.B. Onac / J.J. Fornós (επιμ.), *Mallorca: A Mediterranean Benchmark for Quaternary Studies* (Monographies de la Societat d'Història Natural de les Balears), 2012.
- Papadopoulou–Vrynioti / Kampolis 2012: Papadopoulou–Vrynioti K. / Kampolis I., «Formation and development of a karstic system below and above sea level in Messinian Mani Peninsula (S. Greece)», *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers* 12 (2012), σ. 17–21.
- Rovere κ.ά. 2016: Rovere A. / Stocchi P. / Vacchi M., «Eustatic and relative sea level changes», *Current Climate Change Reports* 2 (2016), σ. 221–231.
- Tawil–Morsink κ.ά. 2022: Tawil–Morsink K. / Austermann J. / Dyer B. / Dumitru A.O. / Precht F.W. / Cashman M. / Goldstein L.S. / Raymo E.M., «Probabilistic investigation of global mean sea level during MIS 5a based on observations from Cave Hill, Barbados», *Quaternary Science Reviews* 295 (2022), σ. 1–11.
- Wendt κ.ά. 2021: Wendt K.A. / Li X. / Edwards L.R., «Uranium–Thorium Dating of Speleothems», *Elements* 17/2 (2021), σ. 87–92.