

ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ: ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ & ΑΔΥΝΑΜΙΕΣ. ΚΙΝΔΥΝΟΙ & ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ*

A. Ζαμπετάκη-Λέκκα¹ & A. Κεμερίδου¹

¹Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Ιστορικής Γεωλογίας - Παλαιοντολογίας, Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου
zambetaki@geol.uoa.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Στρωματογραφία είναι η επιστήμη που μελετά τη διάταξη των γεωλογικών σχηματισμών, καθώς και τα γεγονότα που την επηρεάζουν, με σκοπό την ανασυγκρότηση της ιστορίας της γης, η οποία καταγράφεται σε δυο συνιστώσες: το χρόνο και το χώρο. Είναι μια εμπειρική επιστήμη, βασίζεται δηλαδή σε δεδομένα υπαίθρου, τα οποία και μελετά χρησιμοποιώντας τις γνώσεις πολλών επιστημονικών κλάδων και διάφορες μεθόδους ανάλυσης και ερμηνείας, κάθε μια από τις οποίες παρουσιάζει τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα. Για την εξαγωγή επομένων αξιόπιστων συμπερασμάτων κρίνεται απαραίτητη η στενή και συνεχής συνεργασία μεταξύ των διαφόρων αυτών μεθόδων. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται σε όλα τα στάδια της στρωματογραφικής έρευνας, από την αρχική παρατήρηση και συλλογή των δεδομένων μέχρι την ανάλυση και ερμηνεία αυτών, ώστε η έρευνα να μην κατευθύνεται από τις επικρατούσες θεωρίες και μοντέλα ερμηνείας.

ABSTRACT

Stratigraphy is the science that studies the arrangement of geological formations, as well as the events that influence it, aiming at the reconstruction of earth's history, which is recorded in two components: time and space. As an empiric science, it studies field data using the knowledge of many scientific fields (petrology, mineralogy, sedimentology, paleontology, physics, tectonics, chemistry, astronomy, statistics, informatics etc) and various analytical methods such as lithostratigraphy that includes sequence stratigraphy, facies stratigraphy and cyclostratigraphy, seismostratigraphy, chemostratigraphy, magnetostratigraphy, biostratigraphy and isotopic chronology. Each one of these methods presents advantages as well as disadvantages, therefore, in order to reach reliable conclusions, the close and continuous collaboration between these methods is considered essential. Particular attention is required through all the stages of the stratigraphic research, from the observation in the field and the collection of data up to their analysis and their interpretation, in order to avoid any influence by the prevailing theories and models of interpretation.

***METHODS OF STRATIGRAPHY: POSSIBILITIES & WEAKNESSES. DANGERS & PERSPECTIVES**

A. Zambetakis-Lekka & A. Kemeridou

National & Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology & Geoenvironment, Department of Historical Geology-Paleontology, Panepistimiopolis Zografou

1. Εισαγωγή

Η Στρωματογραφία είναι μία κατεξοχήν εμπειρική επιστήμη. Βασιζόμενη σε παρατηρήσεις υπαίθρου έχει ως αντικείμενο τη μελέτη της δημιουργίας, της σύνθεσης, της διαδοχής και των σχέσεων των γεωλογικών σχηματισμών με τελικό σκοπό την ανασυγκρότηση της ιστορίας της Γης στο γεωλογικό χρόνο. Βάσει του ορισμού αυτού το αντικείμενο της στρωματογραφικής έρευνας αφορά όλα τα πετρώματα, ιζηματογενή, πυριγενή, μεταμορφωμένα. Η στρωματογραφία είναι επομένως μια σύνθετη επιστήμη που χρησιμοποιεί στην έρευνά της τις γνώσεις και τις εφαρμογές πολλών διαφορετικών επιστημονικών κλάδων όπως η πετρολογία, η ορυκτολογία, η ιζηματολογία, η παλαιοντολογία, η τεκτονική, η φυσική, η αστρονομία, η χημεία, η στατιστική, η πληροφορική κ.α.

Η Στρωματογραφία άρχισε να αναπτύσσεται από τα μέσα του 17ου αιώνα και πρωτεργάτες αυτής θεωρούνται αρχικά ο Nicolaus Steno (1638-1686) ο οποίος έθεσε την αρχή της οριζόντιας απόθεσης των ιζηματογενών στρωμάτων καθώς και την αρχή της υπέρθεσης αυτών, καθιερώνοντας (1669) τη στρωματογραφία ως την επιστήμη που μελετά τα γεωλογικά στρώματα. Αργότερα, ο Georges Cuvier (1769-1832), διακρίνοντας την εξέλιξη των απολιθωμάτων στα αλληπάλγηλα στρώματα, κατασκεύασε μαζί με τον Alexander Brognart (1808), ένα γεωλογικό χάρτη των τριτογενών αποθέσεων της λεκάνης των Παρισίων, ενώ ο William Smith (1769-1839) κατασκεύασε τον πρώτο γεωλογικό χάρτη της Αγγλίας και Ουαλίας, παραθέτοντας και γεωλογικές τομές (1819), αναγνωρίζοντας ότι τα γεωλογικά στρώματα μπορούν, βάσει της λιθολογίας και του παλαιοντολογικού

περιεχομένου τους, να αναγνωριστούν ακόμα και σε μεγάλες αποστάσεις. Από τους πρωτεργάτες της στρωματογραφίας ως γεωλογικής επιστήμης μέχρι σήμερα, η στρωματογραφική έρευνα περιλαμβάνει 3 διαδοχικά στάδια: Το πρώτο στάδιο είναι το γεωμετρικό στάδιο και συνίσταται στην ανάλυση των γεωμετρικών σχέσεων μεταξύ των γεωλογικών στρωμάτων και σχηματισμών. Κατά το στάδιο αυτό διακρίνονται ενότητες στρωμάτων βάσει των λιθολογικών χαρακτηριστικών τους, οι οποίες δυνατόν να διαχωρίζονται με επιφάνειες ασυμφωνίας, χωρίς να υπεισέρχεται ο παράγων χρόνος. Σε ορισμένες περιπτώσεις, έκτακτα γεωλογικά γεγονότα (ηφαιστειακές εκρήξεις, πτώσεις μετεωριτών, απότομες κλιματικές μεταβολές) έχουν αφήσει τα ίχνη τους στα γεωλογικά στρώματα (ηφαιστειακή τέφρα, στρώμα ιριδίου κλπ) και αποτελούν χαρακτηριστικούς ορίζοντες στρωματογραφικών συσχετισμών στη Στρωματογραφία συμβάντων. Το δεύτερο στάδιο αφορά στη σχετική χρονολόγηση των ενοτήτων ή των συμβάντων, χωρίς αριθμητική εκτίμηση του χρόνου. Τέλος, το τρίτο στάδιο αφορά στη χρονομέτρηση, δηλαδή την αριθμητική εκτίμηση του χρόνου, σε χιλιάδες ή εκατομμύρια χρόνια η οποία είναι γνωστή και ως απόλυτη χρονολόγηση χωρίς αυτό να σημαίνει ότι είναι οριστική ή και ακριβής.

1. Μέθοδοι Στρωματογραφικής Έρευνας - Δυνατότητες και Αδυναμίες

Για μια ολοκληρωμένη στρωματογραφική έρευνα χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι ανάλυσης και ερμηνείας των γεωλογικών ενοτήτων και συμβάντων όπως:

- η **Λιθοστρωματογραφία**, η οποία

περιλαμβάνει την Στρωματογραφία των ιζηματογενών ακολουθιών, την Στρωματογραφία ιζηματογενών φάσεων και την Κυκλοστρωματογραφία,

- η Σεισμοστρωματογραφία,
- η Χημειοστρωματογραφία,
- η Μαγνητοστρωματογραφία,
- η Βιοστρωματογραφία και
- η Ισοτοπική γεωχρονολόγηση.

Στην παρούσα εργασία θα περιγράψουμε εν συντομία το αντικείμενο των μεθόδων αυτών, χωρίς να τις αναλύσουμε περαιτέρω, εστιάζοντας περισσότερο σε κάποια χαρακτηριστικά τους, σε πλεονεκτήματα ή αδυναμίες, που οι μέθοδοι αυτές παρουσιάζουν.

Η Λιθοστρωματογραφία μελετά τα λιθολογικά χαρακτηριστικά των στρωμάτων, διακρίνοντας λιθολογικούς σχηματισμούς. Σ' αυτήν εντάσσονται η Στρωματογραφία των ιζηματογενών ακολουθιών, που διακρίνει ακολουθίες 1ης, 2ης, 3ης κλπ. τάξεως, οι οποίες διαχωρίζονται μεταξύ τους με επιφάνειες ασυμφωνίας ή δυσσυμφωνίας, που αντιστοιχούν σε θαλάσσιες αποσύρσεις και επικλύσεις και η Στρωματογραφία των φάσεων των ιζηματογενών στρωμάτων η οποία εξετάζει τα περιβάλλοντα απόθεσης. Πρόκειται για τις χαρακτηριζόμενες και ως γενετικές μέθοδοι της Στρωματογραφικής έρευνας.

Η Κυκλοστρωματογραφία μελετά τις μεταβολές της ιζηματογένεσης σε σχέση με τις τροχιακές μεταβολές της γης ως πλανητικού σώματος. Η μελέτη των κυκλοθεμάτων πρέπει να είναι λεπτομερέστατη και υπάρχει πάντα ο προβληματισμός αν τα μετρούμενα πάχη έχουν ή όχι επηρεαστεί από τη διαγένεση ή άλλες μεταγενέστερες της απόθεσής τους μεταβολές. Επίσης, η εκκεντρότητα και η μετάπτωση των ισημερινών δεν είναι σταθερές κατά τη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου και

αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Η Σεισμοστρωματογραφία διακρίνει στρωματογραφικές ενότητες βάσει της ανάκλασης των σεισμικών κυμάτων σε διαχωριστικές επιφάνειες λιθολογικών ασυνεχειών. Ωστόσο, η ερμηνεία των σεισμικών δεδομένων θα πρέπει να υποστηρίζεται από καλή γνώση της γεωλογίας της περιοχής μελέτης, η οποία συνήθως περιλαμβάνει και δεδομένα γεωτρήσεων. Με τον τρόπο αυτό πιστοποιείται η φύση των ασυνεχειών που έχουν καταγραφεί και παράλληλα αυτές προσδιορίζονται και γεωχρονολογικά.

Η Χημειοστρωματογραφία μελετά τα γεωχημικά χαρακτηριστικά των ιζηματογενών πετρωμάτων επικεντρώνοντας κυρίως στις μεταβολές αυτών στις διάφορες λιθολογικές ενότητες. Βασιζόμενη στο γεγονός ότι το γεωχημικό "προφίλ" των ιζηματογενών πετρωμάτων αντανακλά τις επικρατούσες φυσικοχημικές συνθήκες κατά την διάρκεια της απόθεσης, στοχεύει στην εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το παλαιοπεριβάλλον και τις ενδεχόμενες μεταβολές αυτού με την πάροδο του χρόνου. Στο πλαίσιο αυτό η Χημειοστρωματογραφία μπορεί να χρησιμεύσει ως εργαλείο συσχέτισμού, επιτρέποντας την σύγκριση ιζηματογενών σειρών βάσει ισοτοπικών ή χημικών επεισοδίων τα οποία θεωρούνται ταυτόχρονα. Περαιτέρω, η σύγκριση των καμπύλων των γεωχημικών μεταβολών με άλλες μεθόδους γεωχρονολόγησης μπορεί να τις καταστήσει ένα εργαλείο σχετικής χρονολόγησης.

Η Χημειοστρωματογραφία είναι από τις πλέον διαδεδομένες μεθόδους στη σύγχρονη στρωματογραφική έρευνα. Οι δυνατότητες της μεθόδου εξαρτώνται από την τεχνολογική εξέλιξη και την αυτοματοποίηση των αναλυτικών

οργάνων όπως των φασματογράφων. Σημαντικοί περιορισμοί τίθενται από το υψηλό κόστος των αναλύσεων, ιδιαίτερα εφόσον οι στρωματογραφικές μελέτες απαιτούν ικανό αριθμό δεδομένων για την εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων.

Η Μαγνητοστρωματογραφία μελετά την παραμένουσα μαγνήτιση σε ορισμένα ορυκτά των πετρωμάτων καταγράφοντας με αυτόν τον τρόπο τις αναστροφές της πολικότητας του γήινου μαγνητικού πεδίου. Βασικό αντικείμενο της μαγνητοστρωματογραφικής ανάλυσης είναι η σχετική χρονολόγηση ενός γεγονότος ή μιας ακολουθίας γεγονότων έπειτα από σύγκριση των καταγραφών με την μαγνητοστρωματογραφική κλίμακα. Το γεγονός ότι οι αναστροφές της πολικότητας είναι φαινόμενα που συμβαίνουν ταυτόχρονα σε όλη την έκταση του πλανήτη αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου δίνοντας τη δυνατότητα για συσχετισμούς σε παγκόσμια κλίμακα καθώς και για συσχετισμούς μεταξύ πετρωμάτων που σχηματίστηκαν σε διαφορετικά αποθετικά περιβάλλοντα. Ωστόσο, σημαντικές προϋποθέσεις για την απόκτηση όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστων αποτελεσμάτων αποτελούν τόσο τα μαγνητικά χαρακτηριστικά των υπό μελέτη ιζημάτων όσο και η συχνότητα των αναστροφών της πολικότητας. Μεταβολές στο ρυθμό ιζηματογένεσης και η πιθανή ύπαρξη κενών σε αυτήν ενδέχεται να επηρεάσουν την εικόνα της διαδοχής και της διάρκειας των αναστροφών της πολικότητας σε μια ιζηματογενή ακολουθία ταυτόχρονα όμως, υπό ευνοϊκές συνθήκες, μπορούν να αναδειχθούν κατά την μαγνητοστρωματογραφική μελέτη. Όσον αφορά στην συχνότητα των αναστροφών, είναι προφανές ότι η μέθοδος καθίσταται πρακτικά μη

εφαρμόσιμη όταν πρόκειται για περιόδους μεγάλης χρονικής διάρκειας κατά τις οποίες δεν παρατηρείται αναστροφή της πολικότητας ενώ εξίσου σημαντικό πρόβλημα στην εφαρμογή της μεθόδου μπορεί να προκαλέσει και η υψηλή συχνότητα αναστροφής της πολικότητας, όπως συμβαίνει για παράδειγμα στο Νεογενές. Τέλος, φαινόμενα όπως ο τεκτονισμός και πιθανές αλλοιώσεις των μαγνητικών ορυκτών θα πρέπει να διερευνώνται με προσοχή ενώ σφάλματα μπορεί να υπεισέλθουν τόσο κατά την δειγματοληψία όσο και κατά την επιλογή των μεθόδων ανάλυσης των δειγμάτων.

Η Βιοστρωματογραφία βασίζεται στη μονόδρομη εξέλιξη των απολιθωμάτων στη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου. Βάσει αυτών διαχωρίζει τα στρώματα που τα περιέχουν σε ενότητες, τις βιοζώνες, τις οποίες ταξινομεί ιεραρχικά στο γεωλογικό χρόνο. Τα απολιθώματα είναι αυτά που βάζουν τους πρώτους περιορισμούς στη χρήση της βιοστρωματογραφικής μεθόδου. Ως έμβια όντα προτιμούν ορισμένες οικολογικές συνθήκες που τους προσφέρουν συγκεκριμένα παλαιοπεριβάλλοντα, κατά συνέπεια, οι βιοζώνες, είναι στην ουσία οικοζώνες. Το γεγονός αυτό καθιστά αναγκαίο το συσχετισμό διαφορετικών βιοστρωματογραφικών κλιμάκων που αντιστοιχούν σε διαφορετικά παλαιοπεριβάλλοντα.

Η Ιστοοπική γεωχρονολόγηση είναι στην ουσία Χημειοστρωματογραφία, η οποία στηρίζεται στη μετατροπή ορισμένων ασταθών στοιχείων που περιέχονται στα πετρώματα, σε άλλα σταθερά με άμεση σταθερή σχέση με την πάροδο του χρόνου. Παρέχεται κατ' αυτό τον τρόπο απόλυτη χρονολόγηση των στρωμάτων, στις περιπτώσεις βέβαια που η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί. Οι περιορισμοί της μεθόδου εξαρτώνται

από τα εξεταζόμενα στοιχεία και τις χρησιμοποιούμενες εργαστηριακές μεθόδους. Επίσης αναφέρεται πάντοτε ένα σφάλμα το εύρος του οποίου μπορεί να αντιπροσωπεύει μια ολόκληρη βιοζώνη.

Από τις μεθόδους αυτές,

- η Λιθοστρωματογραφία,
- η Στρωματογραφία των ιζηματογενών φάσεων,
- η Στρωματογραφία ιζηματογενών ακολουθιών,

- η Κυκλοστρωματογραφία,

- η Σεισμοστρωματογραφία,

- η Χημειοστρωματογραφία και

- η Μαγνητοστρωματογραφία,

επιτρέπουν τη γεωμετρική διάκριση των στρωματογραφικών ενοτήτων στηρίζονται δε στην παρουσία στοιχείων που είναι δυνατόν να επαναλαμβάνονται στο χρόνο.

Επιτρέπουν στρωματογραφικούς συσχετισμούς σε τοπικό ή περισσότερο ευρύ πεδίο, χρειάζονται όμως τη χρονοστρωματογραφική και γεωχρονολογική αντιστοιχία.

Η Βιοστρωματογραφία επιτρέπει τη σχετική χρονολόγηση των διαφόρων στρωματογραφικών ενοτήτων, καθότι στηρίζεται στην μη επαναλαμβανόμενη, κατά τη διάρκεια του χρόνου, εξέλιξη των έμβιων οργανισμών.

Η Ισοτοπική γεωχρονολόγηση επιτρέπει στο μέτρο της δυνατής ακρίβειας την απόλυτη χρονομέτρηση των ενοτήτων

2. Σύγχρονη Στρωματογραφική

Έρευνα - Κίνδυνοι και Προοπτικές

Η σύγχρονη στρωματογραφική έρευνα, για την εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων, απαιτεί τη στενή συνεργασία διαφόρων στρωματογραφικών μεθόδων.

Η Λιθοστρωματογραφία, με τους επιμέρους κλάδους της, δεν έχει νόημα αν δεν υποστηρίζεται από βιοστρωματο-

γραφικές χρονολογήσεις. Αλλά και η βιοστρωματογραφική ανάλυση απαιτεί τη γνώση της γεωμετρίας των αποθέσεων, στην οποία υπεισέρχεται και ο παράγοντας του τεκτονισμού.

Εξάλλου, τα όρια στρωματογραφικών ακολουθιών, που υποδηλώνουν όρια κύκλων ιζηματογένεσης συνδεόμενα με φαινόμενα θαλάσσιας απόσυρσης ή επίκλυσης, συχνά ταυτίζονται με τα όρια εμφάνισης ή εξαφάνισης ομάδων απολιθωμάτων.

Επίσης, η ακριβής βιοστρωματογραφική μελέτη είναι προαπαιτούμενη για κάθε μαγνητοστρωματογραφική συσχέτιση. Αλλά και τα μαγνητοστρωματογραφικά δεδομένα δύνανται να βοηθήσουν τη βιοστρωματογραφική έρευνα. Συγκεκριμένα, δεδομένου ότι οι αναστροφές της πολικότητας είναι φαινόμενα που συμβαίνουν ταυτόχρονα σε όλη την έκταση του πλανήτη, ενώ οι εμφανίσεις και εξαφανίσεις των ειδών δεν είναι ταυτόχρονες, η συνεργασία των δύο μεθόδων, όπου αυτή είναι εφικτή, είναι απαραίτητη για ορθότερα βιοστρωματογραφικά και χρονοστρωματογραφικά συμπεράσματα.

Στην Εικόνα 1 δίδεται ένα παράδειγμα συσχετισμού βιοστρωματογραφικών δεδομένων τόσο με την χρονοστρωματογραφική και γεωχρονολογική κλίμακα όσο και με την μαγνητοστρωματογραφική κλίμακα και την απόλυτη χρονολόγηση.

Η γεωχημική ανάλυση μπορεί να λειτουργήσει συμπληρωματικά ως προς τις άλλες στρωματογραφικές μεθόδους, υποδεικνύοντας είτε τοπικής είτε παγκόσμιας κλίμακας επεισόδια-δείκτες, με την προϋπόθεση ότι η στρωματογραφική τους θέση έχει καλά προσδιοριστεί με μεθόδους γεωχρονολόγησης.

Τα αποτελέσματα της συνθετικής αυτής αντίληψης της στρωματογραφικής

έρευνας, είναι απαραίτητα για κάθε γεωλογική έρευνα, από τη χαρτογράφηση μέχρι την εφαρμοσμένη γεωλογία.

Η "παγκοσμιοποίηση" η οποία χαρακτηρίζει τη σύγχρονη στρωματογραφική έρευνα, είχε ως αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό των γνώσεων και την επισήμανση των αδυναμιών και σφαλμάτων των επιμέρους στρωματογραφικών μεθόδων.

Συγκεκριμένα, η εξέλιξη και η ραγδαία ανάπτυξη των διαφόρων μεθόδων της Στρωματογραφίας, αλλά κυρίως η εμπειριστατωμένη συνδυαστική με πολλές μεθόδους στρωματογραφική μελέτη, ανέδειξε προβληματισμούς που παλαιότεροι ερευνητές είχαν ήδη επισημάνει.

Επιβεβαιώθηκε, μεταξύ άλλων, ότι μόνο ένα μικρό μέρος του γεωλογικού χρόνου καταγράφεται από τα γεωλογικά στρώματα. Στρωματογραφικές σειρές, φαινομενικά πλήρεις, εμπεριέχουν στρωματογραφικά κενά, τα οποία αντιστοιχούν σε γεωλογικό χρόνο ο οποίος στις συγκεκριμένες περιοχές δεν έχει καταγραφεί, υπάρχει όμως στο γεωλογικό αρχείο άλλων περιοχών. Παραδείγματα των πληρέστερων και πλέον αξιόπιστων συμπερασμάτων που επιτυγχάνονται με λεπτομερείς μελέτες στις οποίες εφαρμόζονται περισσότερες στρωματογραφικές μέθοδοι, αφθονούν στη διεθνή βιβλιογραφία. Αναφέρουμε μια ενδιαφέρουσα μελέτη του κατώτερου ωολιθικού σχηματισμού του μέσου Ιουρασικού στη νότια Αγγλία (Callomon, 1995). Η περιοχή εντάσσεται στις ιδιαίτερα μελετημένες ιουρασικές λεκάνες της δυτικής Ευρώπης, από την εποχή του William Smith. Αφορά ένα ωολιθικό σχηματισμό πάχους περίπου 5 μ, σε μια ενιαία λεκάνη μήκους 80χλμ ηλικίας Ασθενίου - Βαγιωσίου.

Η ιζηματολογική μελέτη δείχνει ότι

η ακολουθία περιέχει πολυάριθμες επιφάνειες διάβρωσης, αλλά μόνο λεπτομερής βιοστρωματογραφική μελέτη αποκάλυψε την πολυπλοκότητα της στρωματογραφικής διάρθρωσης. Σε δεκατρείς τομές που έγιναν στην περιοχή προσδιορίστηκαν 56 πανιδικοί οριζόντες βάσει των αμμωνιτών. Σε καμία τομή δεν περιέχονται όλοι οι οριζόντες, ενώ οι περισσότεροι από τους μισούς, και μάλιστα διαφορετικοί σε κάθε περίπτωση, απουσιάζουν από κάθε τομή. Κανένας από τους οριζόντες δεν είναι παρών και στις δεκατρείς τομές οι οποίες είναι, κατά μέσον όρο, μόνο κατά το 43% πλήρεις. Τα κενά αυτά δεν θα μπορούσαν να ανευρεθούν χωρίς τη λεπτομερή βιοστρωματογραφική μελέτη του κατά τα άλλα ενιαίου και φαινομενικά πλήρους σχηματισμού.

Τα αποτελέσματα αυτά, τα οποία εξήχθησαν από τη συνδυαστική εφαρμογή λιθοστρωματογραφικών, ιζηματολογικών και βιοστρωματογραφικών μεθόδων και αφορούν μια ενιαία και μικρή σχετικά σε έκταση περιοχή, δημιουργούν υπόνοιες για την ορθότητα συμπερασμάτων που αφορούν συσχετισμούς μεταξύ λεκανών με τελείως διαφορετική παλαιογεωγραφική και τεκτονική ιστορία, ιδιαίτερα όταν δεν έχει γίνει λεπτομερής λιθολογική και βιοστρωματογραφική μελέτη με απεικόνιση των πραγματικών παχών και της αντίστοιχης χρονοστρωματογραφικής απόδοσης.

Παράδειγμα εντοπισμού στρωματογραφικών κενών σε φαινομενικά πλήρεις στρωματογραφικές σειρές, με τη συνδυαστική εφαρμογή περισσότερων στρωματογραφικών μεθόδων, αποτελεί και η μελέτη της ακολουθίας Castlecliff στη λεκάνη Wanganui της Νέας Ζηλανδίας, η οποία αποτελεί επιλεγμένη τομή αναφοράς για το στρωματογραφικό διάστημα Πλειοκαίνου -

Πλειστοκαίνου (Kamp & Turner, 1990). Στην ακολουθία αυτή έγινε λεπτομερής μελέτη των ισοτόπων $\delta^{18}\text{O}$ και η καμπύλη συσχετίστηκε με την καμπύλη $\delta^{18}\text{O}$ μιας γειτονικής λεκάνης. Από το συσχετισμό αυτό κατέστη προφανές ότι η ακολουθία Castlecliff παρότι φαινόταν πλήρης, απέκρυπτε πολλές δυσυμφωνίες. Συνολικά περίπου 53%, δηλαδή περισσότερο από το μισό του γεωλογικού χρόνου που αντιπροσωπεύεται από αυτήν την τομή, δεν εκπροσωπείται από ιζήματα.

Ανάλογα διαστήματα κενών ιζηματογένεσης υπάρχουν ακόμη και σε πελαγικές αποθέσεις ωκεανών, όπου οι σειρές θεωρούνται παραδοσιακά πιο πλήρεις. Τα διαστήματα αυτά μόνο πολύ λεπτομερής βιοστρωματογραφική μελέτη μπορεί να αναδείξει (Aubry, 1955).

Η διαπίστωση αυτή, του σε μεγάλο μέρος κενού στρωματογραφικού αρχείου των παραδοσιακά προσδιορισμένων στρωματότυπων, ανέδειξε το πρόβλημα ένταξης ιζηματογενών ακολουθιών άλλων περιοχών, οι οποίες δεν αντιπροσωπεύονταν στους στρωματότυπους. Κατέστη συνεπώς επιτακτική η ανάγκη επαναπροσδιορισμού της Στρωματογραφικής κλίμακας, εισάγοντας το νέο όρο του στρωματότυπου ορίων και της "χρυσής ακίδας" για τα όρια μεταξύ των επαναπροσδιορισθέντων βαθμίδων χωρίς οροφή.

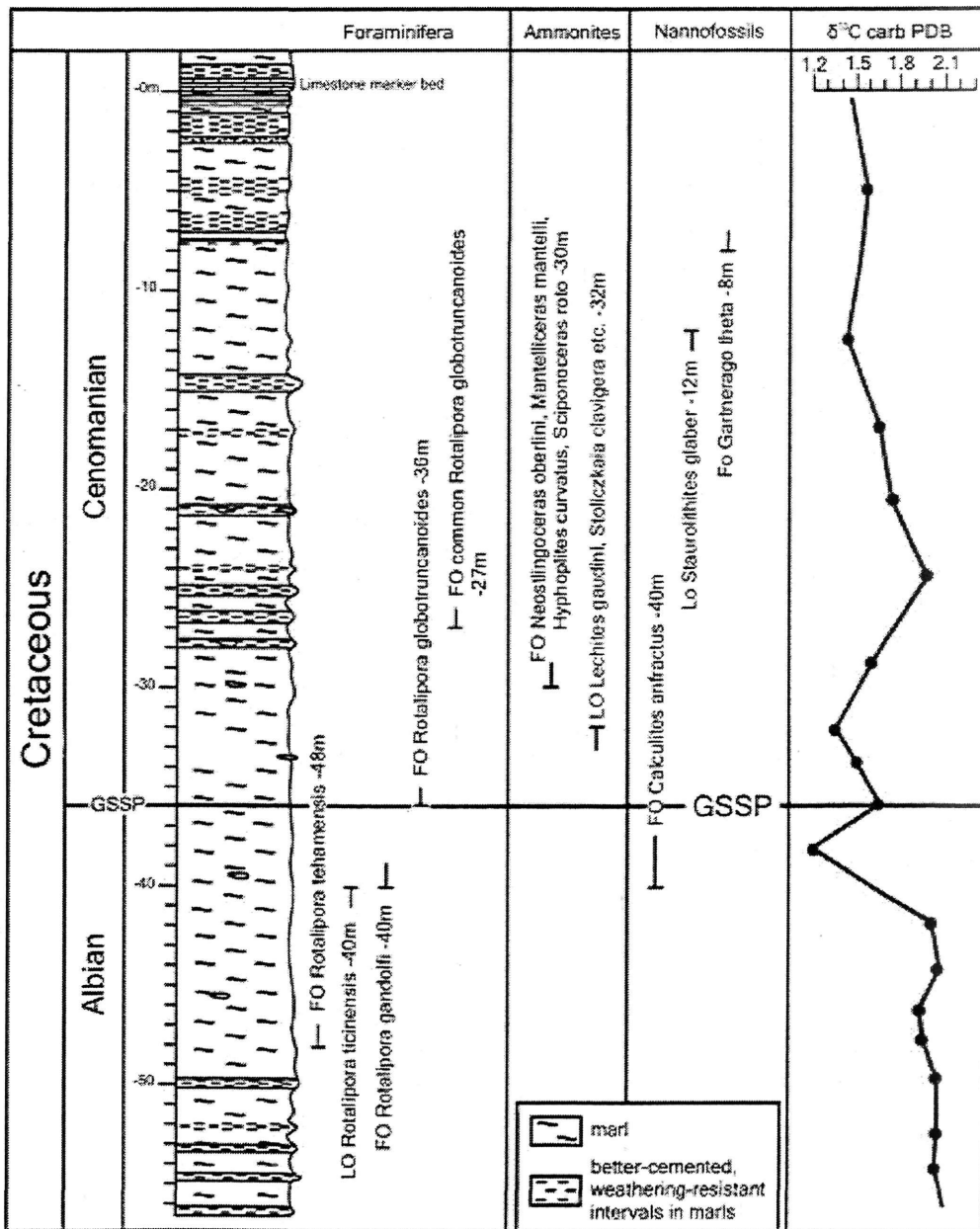
Η Διεθνής Υποεπιτροπή για την Στρωματογραφική Ταξινόμηση, έχει συστήσει στην εγκύκλιό της με αριθ. 25 τον Ιούλιο του 1969 ότι "οι στρωματότυποι ορίων πρέπει πάντα να επιλέγονται εντός ακολουθιών συνεχούς ιζηματογένεσης. Το όριο μιας χρονοστρωματογραφικής ενότητας δεν πρέπει ποτέ να τοποθετείται σε μια ασυνέχεια. Απότομες και δραστικές αλλαγές στη λιθολογία ή το απολι-

θωμένο περιεχόμενο πρέπει να εξετάζονται με την υποψία ότι ενδεχομένως να υποδεικνύουν κενά στην ακολουθία που θα εξασθένιζαν την αξία του ορίου ως χρονοστρωματογραφικού δείκτη και πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο εάν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για την ουσιαστική συνέχεια της απόθεσης". Προτείνεται έτσι η "χρυσή ακίδα" για έναν στρωματότυπο ορίου να τοποθετείται μέσα σε ένα ορισμένο στρώμα για να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα ότι μπορεί να πέσει σε ένα χρονικό χάσμα.

Ένα μέσο ελαχιστοποίησης ή εξάλειψης των προβλημάτων της επανάληψης ή των κενών σε χρονοστρωματογραφικές ακολουθίες είναι να καθοριστεί τυπικά ως στρωματότυπος σημειακού ορίου μόνο η βάση της ενότητας. Κατά συνέπεια, μια χρονοστρωματογραφική ενότητα με τη βάση της καθορισμένη σε μια τοποθεσία θα έχει την οροφή της καθορισμένη από τη βάση μιας υπερκείμενης ενότητας στην ίδια, αλλά συχνότερα, σε μια άλλη τοποθεσία.

Η καθιέρωση νέων διαδικασιών για τον επαναπροσδιορισμό της χρονοστρωματογραφικής κλίμακας και των στρωματότυπων ορίων απαιτεί αντιπαραβολή όσο το δυνατόν περισσότερων δεδομένων, βιοστρωματογραφικών, χημειοστρωματογραφικών, μαγνητοστρωματογραφικών καθώς και δεδομένων ραδιοχρονολόγησης. Σε κάθε περίπτωση, η δυνατότητα πρόσβασης και η σταθερότητα της θέσης θεωρούνται απαραίτητα χαρακτηριστικά γνωρίσματα ενός στρωματότυπου ορίου. Η νέα στρωματογραφική κλίμακα που παρουσιάστηκε το 2004, μετά από επίπονες διαδικασίες, περιέχει πολλούς επαναπροσδιορισμένους στρωματότυπους ορίων, ενώ παραμένει ο επαναπροσδιορισμός των υπολοίπων.

Η Εικόνα 2 απεικονίζει τον προσδιο-



Εικ. 2. Στρωματότυπος ορίου Αλβίου / Κενομανίου (GSSP: Global Boundary Stratotype Section and Point) (από Gradstein et al. 2004).

ρισμό του στρωματοτύπου του ορίου Αλβίου / Κενομανίου όπως προσδιορίστηκε από τη Διεθνή Επιτροπή Στρωματογραφίας (Gradstein *et al.* 2004). Ο προσδιορισμός αυτός βασίστηκε στην εργασία των Kennedy *et al.* (2004) στη δυτική πλαγιά του όρους Risou (Hautes-Alpes) στη Νότια Γαλλία και υποστηρίζεται τόσο από βιοστρωματογραφικούς όσο και χημειοστρωματογραφικούς δείκτες. Πληρεί δε αναγκαίες προϋποθέσεις όπως η ικανού πάχους αδιατάρακτη απόθεση και η εύκολη και ελεύθερη πρόσβαση. Η στρωματογραφία είναι μια σαφώς εμπειρική επιστήμη. Έχοντας ως βάση τις παρατηρήσεις υπαίθρου, ο γεωλόγος καλείται να γενικεύσει τα αποτελέσματα της έρευνάς του, εισάγοντας ερμηνευτικές θεωρίες, εφαρμόζοντας ουσιαστικά την μέθοδο της επαγωγής. Στην συνέχεια προχωρά στην παρα-

κύκλος (Εικ. 3) εμφανίστηκε αρχικά ως θεολογική προσέγγιση στην αναζήτηση και ερμηνεία της πνευματικής αλήθειας στη Βίβλο και στη συνέχεια εξελίχθηκε και χρησιμοποιείται ευρέως στις φιλοσοφικές και κοινωνιολογικές επιστήμες (Miall & Miall, 2004).

Η εισαγωγή του ερμηνευτικού κύκλου στη γεωλογική μεθοδολογία έγινε από τον Frodeman (1995) σε μια συζήτηση για τη διαφορά μεταξύ των μεθόδων των γεωλογικών επιστημών από εκείνες των "σκληρών" φυσικών επιστημών, όπως η φυσική και η χημεία. Πράγματι μια σημαντική διαφορά με τις μεθόδους των πειραματικών επιστημών είναι ότι τα πειράματα Φυσικής και Χημείας γίνονται σε απόλυτα ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες, όπου κάθε παράμετρος και οριακή συνθήκη ελέγχεται, πράγμα το οποίο δεν είναι εφικτό με τις προσομοιώσεις του γεωλογικού παρελθόντος, οι οποίες ακόμη και με τη χρησιμοποίηση των μεγαλύτερων και ισχυρότερων σύγχρονων υπολογιστών, αντιπροσωπεύουν ακραίες απλοποιήσεις της πραγματικότητας.

Οι γεωλογικές υποθέσεις και συμπεράσματα δεν μπορούν να ελεγχθούν πειραματικά. Οι συνθήκες που επικρατούσαν και οι διεργασίες που έλαβαν χώρα στο γεωλογικό παρελθόν δεν είναι δυνατόν να αναπαραχθούν με ακρίβεια στο εργαστήριο.

Ο έλεγχος υποθέσεων, θεωριών και γεωλογικών μοντέλων είναι δυνατόν να επιτευχθεί, αλλά μόνο βάσει των συμπερασμάτων και των προβλέψεων που δυνατόν να γίνουν βάσει αυτών σε ανάλογους σχηματισμούς σε άλλες περιοχές και στο υπέδαφος. Μέθοδοι όπως οι διερευνητικές γεωτρήσεις, η διάνοιξη σηράγγων, συγκαταλέγονται μεταξύ των τρόπων ελέγχου των. Όπως αναφέρει ο Pettijohn (1956), "Τίποτε δεν



Εικ. 3. Ο ερμηνευτικός κύκλος.

γωγή μοντέλων, η αποδοχή ή απόρριψη των οποίων εξαρτάται από το αν τα μοντέλα αυτά και το θεωρητικό τους υπόβαθρο θα επαληθευτούν ή όχι από νέα δεδομένα υπαίθρου. Αυτή η κυκλική ερμηνευτική διαδικασία, η οποία αναφέρεται ως ερμηνευτικός

συνετίζει, όπως μια εμφάνιση. Πολλές φορές, μια καλή θεωρία έχει διατηρηθεί από μια γεώτρηση".

Ένα σημαντικό πρόβλημα που παρουσιάζεται κατά την διαδικασία μετάβασης από την παρατήρηση στην ερμηνεία και αντίστροφα, αφορά στο κατά πόσο οι ερμηνείες μπορούν να επηρεάσουν τη συλλογή των δεδομένων στο ύπαιθρο. Παρατηρείται δηλαδή το φαινόμενο η ίδια η παρατήρηση να καθοδηγείται από το σύνολο των επικρατούσων εκείνη την περίοδο ιδεών και υποθέσεων.

Δεν είναι σπάνιες οι περιπτώσεις κατά τις οποίες απόψεις ερευνητών, λιγότερο ή περισσότερο τεκμηριωμένες, υιοθετούνται από τους μαθητές τους ή και από άλλους ερευνητές, οι οποίοι χρησιμοποιούν τις δικές τους έρευνες ως "παραδείγματα" που αποδεικνύουν τη νέα άποψη-θεωρία. Στις περιπτώσεις αυτές η φήμη του ερευνητή που λανσάρει το μοντέλο και η "μόδα" των θεωριών είναι καθοριστικοί παράγοντες για το είδος των παρατηρήσεων στο ύπαιθρο. Στη διαπίστωση αυτή αναφέρεται ο Kuhn (1962) λέγοντας ότι τα "αποτελέσματα που επιβεβαιώνουν ήδη αποδεκτές θεωρίες τραβούν την προσοχή, ενώ αποτελέσματα που τις ακυρώνουν αγνοούνται. Ξέροντας ποια αποτελέσματα πρέπει να αναμένονται από την έρευνα, οι επιστήμονες μπορούν να επινοήσουν τις τεχνικές απόκτησής τους".

Το πρόβλημα αυτό καθίσταται ακόμα μεγαλύτερο όταν επιφυλάξεις ή προϋποθέσεις τις οποίες είχε θέσει ο αρχικός ερευνητής για την ισχύ της άποψής του, σταδιακά αγνοούνται και εξαφανίζονται και εσκεμμένα παρουσιάζονται εμπειρικά δεδομένα με τρόπο που να εξυπηρετεί κατάλληλα τη συγκεκριμένη θεωρία, παραβλέποντας κάποια δεδομένα τα οποία δεν συμφωνούν και υπερτονίζοντας άλλα που

την υποστηρίζουν.

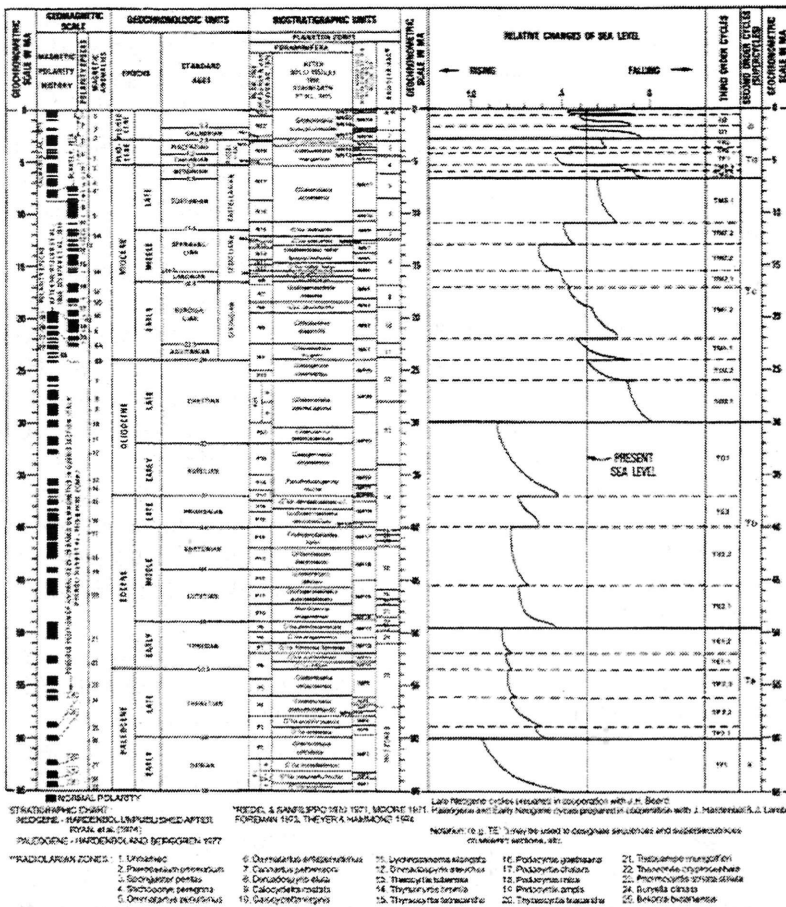
Χαρακτηριστικό παράδειγμα θύμα αυτής της τακτικής αποτελεί το μοντέλο με τη μεγαλύτερη επιρροή στη Στρωματογραφία τα τελευταία 20 χρόνια, το μοντέλο του παγκόσμιου ευστατισμού της Στρωματογραφίας των ιζηματογενών ακολουθιών. Πυρήνας του μοντέλου αυτού είναι η πεποίθηση ότι ο πίνακας των παγκόσμιων κύκλων, όπως προτάθηκε από τους Vail *et al.* (1977), αναθεωρήθηκε από τους Haq *et al.* (1987, 1988) και Graciansky *et al.* (1998), μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως "εργαλείο γεωχρονολόγησης" (Vail *et al.* 1977). Καθοριστικό χαρακτηριστικό του μοντέλου είναι η πεποίθηση ότι τα όρια των ακολουθιών είναι παγκόσμιοι χροοστρωματογραφικοί δείκτες και ότι οι ηλικίες τους δεν επηρεάζονται από την τεκτονική των ιζηματογενών λεκανών.

Παρόλο που στις ανακοινώσεις τους τόσο οι Vail *et al.* (1977) όσο και οι Haq *et al.* (1987, 1988) παραθέτουν βιοστρωματογραφικούς συσχετισμούς βασισμένους σε περισσότερες βιοστρωματογραφικές κλίμακες (Εικ. 4) και επισημαίνουν ότι τα όρια των ακολουθιών πρέπει να χρονολογούνται με βιοστρωματογραφικές μεθόδους όσο το δυνατόν λεπτομερέστερες, πολλές είναι οι περιπτώσεις στη διεθνή βιοστρωματογραφία στις οποίες τα όρια των ακολουθιών συσχετίζονται με τον πίνακα των παγκόσμιων κύκλων των Haq *et al.* (1987, 1988), χωρίς περαιτέρω έλεγχο από τη βιοστρωματογραφία ή άλλες χροοστρωματογραφικές μεθόδους.

Με τον τρόπο αυτό, δημιουργήθηκε σταδιακά η εντύπωση ότι η βιοστρωματογραφία είναι στην πραγματικότητα μια επίπονη μέθοδος η οποία μπορεί να παρακαμφθεί. Αυτό αποτέλεσε μια καλή αφορμή για πολλές μεγάλες επιχειρήσεις να απολύσουν πολλούς

βιοστρωματογράφους ερευνητές. Πέρα όμως από τα συνεχειακά συμφέροντα, δύο αιώνες γεωλογική έρευνα από τις ημέρες του William Smith, έχει διδάξει ότι η βιοστρωματογραφία είναι ο τελικός κριτής των χρονοστρωματογραφικών συσχετισμών. Η βιβλιογραφία είναι πλήρης από σχέδια λιθοστρωματογραφικών συσχετισμών που έχουν αποτύχει λόγω ανεπαρκούς προσοχής στη βιοστρωματογραφία. Τυφλός συσχετισμός στρωματογραφικών γεγονότων στην onlap-offlap

καμπύλη των Haq *et al.* (1987, 1988) χωρίς καθορισμό του εάν τα βιοστρωματογραφικά δεδομένα υποστηρίζουν τους συσχετισμούς τους, δεν μπορεί να θεωρηθεί επιστημονική τεκμηρίωση. Το μοντέλο αυτό, που κυριαρχεί μεταξύ των σύγχρονων γεωεπιστημόνων, έχει εξάλλου υποστεί εντονότερες κριτικές. Αρκετοί είναι αυτοί που υποστηρίζουν ότι σε πολλές περιπτώσεις εμπειρικά στοιχεία έχουν απορριφθεί ή δεν έχουν εμφανιστεί καθόλου επειδή δεν συμφωνούσαν με το μοντέλο!



Εικ. 4. Παγκόσμιοι κύκλοι και μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης κατά τον Καινοζωικό (Από Vaill *et al.* 1977). Οι κύκλοι συσχετίζονται με τη μαγνητοστρωματογραφική κλίμακα, τη γεωχρονολογική κλίμακα, τη γεωχρονολογική κλίμακα και διάφορες βιοστρωματογραφικές κλίμακες πλαγκτονικών τριματοφόρων, νανοσπολιοθωμάτων και ακτινοζώων.

3. Συμπεράσματα

Η Στρωματογραφία, από την καθιέρωσή της ως επιστήμης, από τα μέσα του 17ου αιώνα, εξελίσσεται διαρκώς και απαντά κατά τρόπο αποτελεσματικό στις ανάγκες του σύγχρονου κόσμου. Ως κλάδος των γεωεπιστημών είναι σαφώς εμπειρική επιστήμη σταθερά βασισμένη σε δεδομένα υπαίθρου.

Ανάλογα του είδους των πετρωμάτων που καλείται να μελέτησει κάθε φορά και των επιδιωκόμενων αποτελεσμάτων, έχει αναπτύξει διάφορες μεθόδους έρευνας, χρησιμοποιώντας προηγμένες εργαστηριακές, χημικές και φυσικές αναλυτικές μεθόδους, μεθόδους στατιστικής ανάλυσης και υπολογιστικά μοντέλα σύνθεσης και απεικόνισης των αποτελεσμάτων.

Η σύγχρονη στρωματογραφική έρευνα απαιτεί τη στενή συνεργασία περισσότερων μεθόδων για την εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να επιδεικνύεται κατά τη συλλογή των δεδομένων, ώστε να είναι ανεπηρέαστα από τις επικρατούσες θεωρίες και μοντέλα, τα οποία πρέπει να στοχεύουν στην ερμηνεία των δεδομένων και όχι τα δεδομένα να προσαρμόζονται σ' αυτές.

Στην εποχή υψηλής τεχνολογίας και υπολογιστών, οι σύγχρονοι γεωλόγοι δε θα πρέπει να αγνοούν ότι το ύπαιθρο είναι η πηγή των δεδομένων στην υπηρεσία των οποίων θα πρέπει να τίθεται η σύγχρονη τεχνολογία. Οι γεωεπιστήμονες πρέπει να επιστρέψουν στο ύπαιθρο.

4. Βιβλιογραφικές Αναφορές

Allemann, F., Catalano, R., Fares, F., & Remane, J., 1971. Standard calpionellid zonation (Upper Tithonian-Valanginian) of the western Mediterranean Province. *Proceedings II Planktonic Conference*, Roma, 1970,

2, 1337-13340.

Aubry, M.-P., 1995. From chronology to stratigraphy: interpreting the Lower and Middle Eocene stratigraphic record in the Atlantic Ocean, in Berggren, W. A., Kent, D. V., Aubry, M.-P., and Hardenbol, J., eds., *Geochronology, time scales and global stratigraphic correlation. Society for Sedimentary Geology Special Publication*, 54: 213-274.

Bolli, H.M., Saunders, J.B., & Perch-Nielsen, K., 1985. Comparison of zonal schemes for different fossil groups. In: Bolli, H.M., Saunders, J.B., Perch-Nielsen, K. (Eds). *Plankton stratigraphy*. Cambridge University Press, p. 3-10.

Callomon, J. H., 1995. Time from fossils: S. S. Buckman and Jurassic high-resolution geochronology. In: Le Bas, M. J., Ed., *Milestones in Geology: Geological Society of London Memoir* 16, p. 127-150.

Caron, M., 1985. Cretaceous planktic foraminifera. In: Bolli, H.M., Saunders, J.B., Perch-Nielsen, K. (Eds). *Plankton stratigraphy*. Cambridge University Press, p. 17-86.

Frodeman, R., 1995. Geological reasoning: geology as an interpretive and historical science. *Geological Society of America Bulletin*, 107: 960-968.

Graciansky, De P.C., Hardenbol J., Jacquin T. & Vail P.R. (Eds), 1998. Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins. *SEPM (Society for Sedimentary Geology), Special Publication*, vol. 60, 786p.

Gradstein F.M., Ogg J.G., Smith A.G., Agterberg, F.P., Bleeker, W., Cooper, R.A., Davydov, V., Gibbard, P., Hinnov, L.A., House, M.R., Lourens, L., Luterbacher, H.P., McArthur, J.,

- Melchin, M.J., Robb, L.J., Shergold, J., Villeneuve, M., Wardlaw, B.R., Ali J., Brinkhuis, H., Hilgen, F.J., Hooker, J., Howarth, R.J., Knoll, A.H., Laskar, J., Monechi, S., Plumb, K.A., Powell, J., Raffi, I., Rohl, U., Sadler, P., Sanfilippo, A., Schmitz, B., Shackleton, N.J., Shields, G.A., Strauss, H., Van Dam, J., Van Kolschoten, T., Veizer, J., & Wilson, D., 2004. *A Geologic Time Scale 2004*, Cambridge University Press, 589 pages.
- Haq B.U., Hardenbol J. & Vail P.R., 1987. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic (250 million years ago to present). *Science* 235, 1156 -1167
- Haq B.U., Hardenbol, J. & Vail, P.R., 1988. Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea-level change. In: Wilgus, C.K., Hastings B.S., Kendall C.G.St.C., Posamentier H.W., Ross C.A., Van Wagoner J.C. (Eds). *Sea-level Changes: An Intergrated Approach. Society of Economic Paleontologists, Special Publication*, vol. 42, pp. 71-108.
- Harland, W.B., Cox, A.V., Llewellyn, P.G., Pikton, C.A.G., Smith, A.G. & Walters, R., 1982. *A Geologic Time Scale*. Cambridge Earth Science Series, Cambridge University Press, 131 pp.
- Kamp, P.J.J. & Turner, G.M., 1990. Pleistocene unconformity-bounded shelf sequences (Wanganui Basin, New Zealand) correlated with global isotope record. *Sedimentary Geology*, 68:155-161.
- Kennedy, W.J., Gale, A.S., Lees, J.A., & Caron, M., 2004. The Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) for the base of the Cenomanian Stage, Mont Risou, Hautes-Alpes, France. *Episodes*, 27/1, p. 21-32.
- Kuhn, T.S., 1962. *The Structure of Scientific Revolutions*. Harvard University Press, Cambridge, 172p.
- Miall, A.D., & Miall, C. E., 2004. Empiricism and model-building in stratigraphy: Around the hermeneutic circle in the pursuit of stratigraphic correlation. *Stratigraphy*, vol. 1, no 1, pp. 27-46, text-figures 1-10.
- Pettijohn, F. J., 1956. In defence of outdoor geology. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 40: 1455-1461.
- Sanfilippo, A., & Riedel, W.R., 1985. Cretaceous radiolarian. In: Bolli, H.M., Saunders, J.B, Perch-Nielsen, K. (Eds). *Plankton stratigraphy*. Cambridge University Press, p. 573-630.
- Sissingh, W., 1977. Biostratigraphy of Cretaceous calcareous nannoplakton. *Geol. Mijnbouw*, 56, 37-65.
- Vail, P.R., Mitchum, Jr., Todd, R.G., Widmier, J.M., Thompson, S., Sangree, J.B., Bubb, J.N., & Hatlelid, W.G., 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea-level. In: Payton C.E. (Ed.). *Seismic Stratigraphy - Applications to Hydrocarbon Exploration. American Association of Petroleum Geologists Memoir*, vol.26, pp. 49-212.
- Van Hinte, J.E., 1976. A Cretaceous time scale. *Bulletin of American Association of Petroleum Geology*, 60, 498-516.
- Williams, G.L., 1977. Dinocysts. their paleontology, biostratigraphy and paleoecology. In: A.T.S. Ramsay (ed.), *Oceanic Micropaleontology*, pp.1231-1325. Academic Press, London.