

## Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	6
ABSTRACT .....	7
1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.....	8
1.1 Προαλπική-Αλπική Ελλάδα.....	8
1.2 Γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας.....	9
1.3 Παλαιογεωγραφία και γεωτεκτονικοί χαρακτήρες κάθε ζώνης.....	13
1.4 Ζώνη Αξιού.....	14
1.4.1 Γεωτεκτονική θέση.....	14
1.4.2 Διαίρεση της ζώνης Αξιού.....	15
1.5 Πελαγονική ζώνη.....	17
1.5.1 Παλαιογεωγραφική και γεωτεκτονική θέση.....	17
1.6 Τεκτονικό παράθυρο του Ολύμπου .....	20
1.7 Υποπελαγονική ζώνη.....	25
1.7.1 Το προαλπικό υπόβαθρο της ζώνης.....	26
1.7.2 Αλπική λιθοστρωματογραφική εξέλιξη και δομή.....	27
2. ΡΗΓΜΑΤΑ .....	30
2.1. Ταξινόμηση των ρηγμάτων .....	30
2.1.1 Ταξινόμηση με βάση την ολίσθηση .....	30
2.1.2 Ταξινόμηση με βάση το μήκος του ρήγματος ή τη σχέση του με γειτονικά ρήγματα.....	33
2.2 Κριτήρια και ορισμοί ενεργών ρηγμάτων .....	34
2.3 Ταξινομήσεις ρηγμάτων σε σχέση με την ενεργότητα.....	37

3. ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.....	44
3.1 Σεισμικότητα και Νεοτεκτονική έρευνα.....	44
3.2 Σεισμική Επικινδυνότητα.....	46
3.3 Σύνδεση νεοτεκτονικής και ενεργού τεκτονικής.....	49
3.4 Συσχετισμοί μεγεθών σεισμών – ρηγμάτων – σεισμικών μετατοπίσεων.....	50
3.4.1 Μήκος- Μετατόπιση ρηγμάτων και ο συσχετισμός τους με τους σεισμούς.....	50
3.4.2 Προβλήματα στους σεισμοτεκτονικούς συσχετισμούς.....	52
3.5 Σεισμικά Ρήγματα του Ελλαδικού Χώρου - Επιφανειακές Παραμορφώσεις.....	55
4. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ.....	60
4.1 Γενική περιγραφή των γραμμικών τεχνικών έργων.....	61
4.1.1 Το Οδικό Δίκτυο της Ελλάδας.....	61
4.1.2 Το Σιδηροδρομικό Δίκτυο της Ελλάδας.....	63
4.1.3 Αγωγός Φυσικού Αερίου της Ελλάδας.....	65
4.2 Τρόποι αντιμετώπισης των περιπτώσεων ρηγμάτων στη στενή περιοχή των τεχνικών έργων.....	69
5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	71
5.1 Ψηφιοποίηση στοιχείων.....	71
5.1.1 Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών.....	71
5.1.2 Μεθοδολογία ψηφιοποίησης και επεξεργασίας δεδομένων.....	74
5.2 Γεωγραφική θέση.....	76
5.3 Γεωμορφολογία.....	78
5.3.1 Γεωμορφολογικές ενότητες.....	78
5.3.2 Υδρογραφικό δίκτυο.....	79
5.3.3 Μορφολογικές κλίσεις.....	82
5.4 Γεωλογική δομή.....	85
5.4.1 Λιθολογική δομή.....	85

5.4.2 Τεκτονική – Νεοτεκτονική.....	90
5.4.2.1 Κυριότερα ρήγματα.....	90
5.4.2.2 Σεισμικά ρήγματα.....	96
5.5 Αντισεισμικός κανονισμός.....	101
5.5.1 Νομοθεσία.....	101
5.5.2 Εκτίμηση σεισμικής επικινδυνότητας.....	102
6.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	106
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	110

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της υποχρεωτικής διπλωματικής εργασίας του Ε΄ έτους των σπουδών τους, από τους φοιτητές Παπαδημητρίου Μαργαρίτα – Ελένη και Φωτεινό Ιωάννη της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών κατά το Ακαδημαϊκό έτος 2011-2012, υπό την επίβλεψη της καθηγήτριας κ. Ροντογιάννη Θεοδώρα.

Σκοπός αυτής της μελέτης, με τίτλο «**Δυνητική επίδραση των σεισμικών-ενεργών ρηγμάτων επι των γραμμικών τεχνικών έργων στην περιοχή της ανατολικής Θεσσαλίας και κεντρικής Μακεδονίας**», ήταν η περιγραφή και αξιολόγηση των ενεργών ρηγμάτων στην περιοχή μελέτης μας καθώς και της πιθανής επίδρασης αυτών στα γραμμικά τεχνικά έργα της περιοχής (οδικό δίκτυο, σιδηροδρομικό δίκτυο, αγωγός φυσικού αερίου ), κάτω από το πρίσμα των πιο πρόσφατων δεδομένων της επιστημονικής βιβλιογραφίας και με τη βοήθεια του συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών.

Η διπλωματική αποτελείται από έξι επιμέρους κεφάλαια. Αναλυτικότερα:

Το πρώτο κεφάλαιο έχει τίτλο «**Γεωλογία της Ελλάδας**» και αφορά τη δημιουργία της Αλπικής και Προαλπικής Ελλάδας, τη γεωτεκτονική εξέλιξη της καθώς και την παλαιογεωγραφική περιγραφή και το γεωτεκτονικό χαρακτήρα των Ελληνίδων ζωνών, όπως αυτές διαμορφώθηκαν.

Το δεύτερο κεφάλαιο με τίτλο «**Ρήγματα**» χωρίζεται σε τρία μέρη. Το α΄μέρος αναφέρεται στις βασικές ταξινομήσεις των ρηγμάτων, το β΄μέρος σε κριτήρια και ορισμούς ενεργών ρηγμάτων και το γ΄μέρος στην επίδραση της ενεργότητας, με βάση την οποία γίνεται μια ειδική ταξινόμηση των ρηγμάτων.

Στο τρίτο κεφάλαιο με τίτλο «**Σεισμοτεκτονική της Ελλάδας**» συναντάμε τις έννοιες της σεισμικότητας και της σεισμικής επικινδυνότητας, δίνοντας εμπειρικούς τύπους εκτίμησης τους, βλέπουμε τη σύνδεση της τεκτονικής και της ενεργού τεκτονικής καθώς και τη συσχέτιση των μεγεθών σεισμών με τα ρήγματα και τις σεισμικές μετατοπίσεις. Τέλος αναφέρονται κάποιες σοβαρές εδαφικές

μεταβολές που έχουν προκληθεί από επιφανειακούς σεισμούς, οι λεγόμενες επιφανειακές παραμορφώσεις, και δίνονται ορισμένα από τους σημαντικότερα παραδείγματα σεισμών στον Ελληνικό και παγκόσμιο χώρο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο με τίτλο **«Επίδραση των ενεργών ρηγμάτων στα τεχνικά έργα»** συλέχθησαν πληροφορίες για το οδικό δίκτυο, το σιδηροδρομικό δίκτυο και τον αγωγό φυσικού αερίου της Ελλάδας. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στο τρόπο που επηρεάζονται αυτά από τα ενεργά σεισμικά ρήγματα.

Το πέμπτο κεφάλαιο με τίτλο **«Ανάλυση της περιοχής μελέτης»**, αποτελεί το ουσιαστικότερο μέρος της διπλωματικής και επικεντρώνεται στα γεωλογικά, γεωμορφολογικά και τεκτονικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης περιοχής που μελετήσαμε, συνοδευόμενα φυσικά από τους αντίστοιχους χάρτες.

Στο έκτο κεφάλαιο όπως αποκαλύπτει και ο τίτλος του **«Συμπεράσματα»**, παρουσιάζονται εν συντομία κάποια σχόλια – συμπεράσματα που προέκυψαν μετά το πέρας των αναλύσεων των χαρτών καθώς και της συλλογής των πληροφοριών για την περιοχή μελέτης μας.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε πολύ για την επιστημονική υποστήριξη που μας προσέφερε και την πολύτιμη καθοδήγηση της σε κάθε φάση της δημιουργίας της παρούσας διπλωματικής, την επιβλέπουσα καθηγήτρια μας κ. Θεοδώρα Ροντογιάννη, καθώς επίσης και την Δρ. κ. Εφη Λυκούδη, η συνεισφορά της οποίας ήταν ιδιαίτερα σημαντική για την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής. Επίσης ευχαριστούμε τους καθηγητές μας κ. Αντωνίου Μαρία και Ρόζο Δημήτριο για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή.

Φωτεινός Ιωάννης

Παπαδημητρίου Μαργαρίτα- Ελένη

Αθήνα, Οκτώβριος 2011

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Όλα τα τεχνικά έργα κατασκευάζονται στην επιφάνεια του εδάφους ή κάτω απ' αυτήν. Η ασφαλής τους κατασκευή προϋποθέτει καλή γνώση των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων του υποβάθρου θεμελίωσής τους, γεγονός που αποκτάται με επιτόπου έρευνα αυτού του χώρου και διαπίστωση των συνθηκών καταλληλότητάς του για τη θεμελίωση του συγκεκριμένου έργου. Στη θέση αυτή συνεξετάζονται και μελετώνται ο τύπος του πετρώματος που θα αποτελέσει το υπόβαθρο θεμελίωσης του τεχνικού έργου οι φυσικές, μηχανικές και υδραυλικές του ιδιότητες, όπως και η επιφανειακή του κατανομή και η στρωματογραφική του σχέση με τα περιβάλλοντα πετρώματα.

Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην ασφάλεια των τεχνικών έργων παίζει η τεκτονική δράση της περιοχής. Περιοχές με έντονη δράση τεκτονικών δυνάμεων είναι υπαίτιες για ασυνέχειες σε γεωλογικούς σχηματισμούς, οι οποίες είναι άμεσα συνυφασμένες με τα γεωλογικά ρήγματα. Ανεξάρτητα από το εάν το ρήγμα είναι ενεργό ή όχι, συνδέεται με σημαντικές διαφοροποιήσεις σε μια σειρά παραμέτρους, που είτε αυτοτελώς ή σε συνδυασμό, προκαλούν έμμεσα προβλήματα σε κατασκευές και τεχνικά έργα.

Βέβαια, ο κίνδυνος είναι ιδιαίτερα αυξημένος όταν το ρήγμα ή η ρηξιγενής ζώνη είναι ενεργή. Η προσέγγιση στα προβλήματα που δημιουργεί η παρουσία ρηγμάτων στα τεχνικά έργα μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω αναλυτικής έρευνας - μελέτης και διάκρισης κατηγοριών προβλημάτων, τα οποία συνδέονται με συγκεκριμένα φαινόμενα που παρατηρούνται κατά μήκος ή εκατέρωθεν των ρηγμάτων.

Στη παρούσα εργασία αναγνωρίζονται και μελετώνται τα σεισμικά ενεργά ρήγματα σε περιοχή της Θεσσαλίας και της κεντρικής Μακεδονίας καθώς και η επιδραση τους στα γραμμικά τεχνικά έργα. Παρουσιάζονται οι αρνητικές επιπτώσεις που μπορούν να προκαλέσουν σε αυτά και το μέγεθος της επικινδυνότητάς τους σε πιθανή ενεργοποίησή τους.

## **ABSTRACT**

The technical projects are constructed on the surface or beneath it. A safe construction requires good knowledge of the physical and mechanical properties of the bedrock foundation, which is obtained by surveying the specific area and defining the suitable conditions for the foundation of the project. Thus, the type of rock that will form the foundation background of the technical project must be considered and its physical, mechanical and hydraulic properties, as also the surficial distribution and the stratigraphic relationship with the surrounding rocks, must be studied.

Major factor in the safety of the construction has the tectonic activity in the region. Areas with intense tectonic activity are capable for discontinuities in geological formations, which are directly inherent in geological fractures and faults. Regardless of whether a fault is active or not, it causes significant differentiations in a number of parameters, either independently or in combination, that causes indirect problems in constructions and technical projects.

Of course, the risk is particularly elevated when the fault or the fault zone is active. The approach to the problems presented by the presence of faults in technical project can be made through analytical research - studying and subheading categories of problems that are associated with specific phenomena that are observed along or across the faults.

In the present dissertation, the seismically active faults in Thessaly and Central Macedonia, are identified and studied, as well as their influence onto technical projects. The impacts that can be caused to them and the size of the risk in a possible reactivation, are presented.

# 1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

## 1.1 Προαλπική-Αλπική Ελλάδα

Κατά τη διάρκεια της Μεσοζωϊκής – Καινοζωϊκής περιόδου ο Ελληνικός χώρος, ο οποίος ανήκει στην Νέα Ευρώπη, καλύπτονταν από την Τηθύ θάλασσα.

Εκείνη ακριβώς την περίοδο δημιουργήθηκε η λεγόμενη Αλπική Ελλάδα, όταν τα μεγάλα πάχους ιζήματα, που αποτέθηκαν στον θαλασσεύοντα Ελληνικό χώρο, σε συνδυασμό με την αλπική ορογένεση, δημιούργησαν τις Ελληνικές οροσειρές.

Εκτός όμως από τα αλπικά ιζήματα, μεγάλο μέρος των ορεινών όγκων αυτών καταλαμβάνουν και μεγάλες μάζες παλαιότερων πετρωμάτων, τα οποία λόγω Παλαιοζωϊκής ή και Προκάμβριας ηλικίας, ονομάζουμε προαλπικά πετρώματα. Σε πολλές περιοχές της Ελλάδας, τα Τριαδικής ηλικίας ιζήματα, που αποτελούν και τα πρώτα αλπικά ιζήματα, έχουν επικαθήσει ασύμφωνα πάνω σε κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα, που έχουν προτριαδική ηλικία. Τα ιζήματα αυτά χαρακτηρίζονται προαλπικά και πτυχώθηκαν κατά τις Ερκύνιες πτυχώσεις του Ανω Παλαιοζωϊκού. Αξιοσημείωτο είναι ότι βρέθηκαν, εξακριβώμενα με απολιθώματα, στρώματα του Παλαιοζωϊκού στη Χίο, στη Κω, στην Εύβοια και σε διάφορα άλλα μέρη, τα οποία παρατιθενται παρακάτω λεπτομερέστερα.

Συνεπώς η επονομαζόμενη Προαλπική Ελλάδα πήρε το όνομα της από το προαλπικό υπόβαθρο που υπήρχε στον Ελληνικό χώρο, το οποίο είναι αρκετά εκτεταμένο όπως φαίνεται από την εξάπλωση των κρυσταλλοσχιτωδών πετρωμάτων.

Η πραγματική, όμως, ερμηνεία για την ύπαρξη του προαλπικού αυτού υπόβαθρου, είναι ότι τα παλαιοζωϊκά και προκάμβρια πετρώματα αποτελούν τμήματα του ηπειρωτικού φλοιού των παλιών ηπειρωτικών λιθοσφαιρικών πλακών, της Γκοντβάνια και της Ευρασίας, τα οποία κατά τα διάφορα στάδια της σύγκλισης των δύο πλακών αποσπάρθηκαν από αυτές, συμπτυχώθηκαν με τα πετρώματα του ωκεανού της Τηθύος (αλπικά ιζήματα και οφιόλιθοι του ωκεάνιου



πτυθμένα), μετακινήθηκαν (επωθήθηκαν) μαζί με αυτά υπό μορφή τεκτονικών καλυμμάτων κατά την τελική σύγκρουση και βρίσκονται σήμερα μετά την τελική ορογένεση-ανάδυση ως “προαλπικό υπόβαθρο” στα επικείμενα “αλπικά πετρώματα”.

## 1.2 Γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας

Οι “Ελληνίδες ζώνες” είναι οι γεωτεκτονικές ζώνες, στις οποίες υποδιαιρούνται οι Ελληνικές οροσειρές, που ανήκουν στο Διναρικό κλάδο του Αλπικού συστήματος.

Μέχρι το 1970 τα τεκτονικά σχήματα που έχουν προταθεί για τη διαίρεση του Ελληνικού χώρου σε γεωτεκτονικές ζώνες βασίστηκαν στη θεωρία του Aubouin (1965) του Αλπικού γεωσυγκλίνου, δηλαδή σε μια Αλπική παλαιογεωγραφία με την παραδοχή του δυαδικού συστήματος αυλάκων-ράχων.

Η θεωρία αυτή ξεκίνησε από το Τριαδικό σαν τμήμα του τεράστιου αλπικού γεωσυγκλίνου και σύμφωνα με αυτήν το Ελληνικό γεωσύγκλινο, είχε στον πτυθμένα του μικρές και μεγάλες υποθαλάσσιες ράχες που διαχώριζαν βαθιές και βαθύτερες αύλακες. Κατά τη διάρκεια της αλπικής ιζηματογένεσης, αυτό το σύστημα των εναλλασόμενων υποθαλάσσιων αυλακών και ραχέων, που θεωρήθηκε ως δημιουργήμα προγενέστερων (Ερκύνιων) πτυχώσεων, υπέστη διάφορες τροποποιήσεις. Οι τροποποιήσεις αυτές προέρχονταν από τη δράση ενδογενών δυνάμεων με αποτέλεσμα να αναδύονται, πολλές φορές, τμήματα του πτυθμένα της Τηθύος.

Ο Ελληνικός χώρος, λοιπόν, διακρίθηκε, με βάση το παραπάνω εναλλασσόμενο σύστημα αυλακών και ραχέων, σε ισοπικές ζώνες. Η διάκριση αυτή, που στηρίζεται στα αλπικά ιζήματα, αντανακλά την παλαιογεωγραφική κατάσταση κάθε ζώνης, όπου μπορεί να υπάρχουν είτε αλπικά ιζήματα του ίδιου βάθους, δηλαδή βαθιάς θάλασσας (πελαγικά-αβυσικά), οι αύλακες, είτε ρηχής θάλασσας (νηριτικά), οι υποθαλάσσιες ράχες (υβώματα).

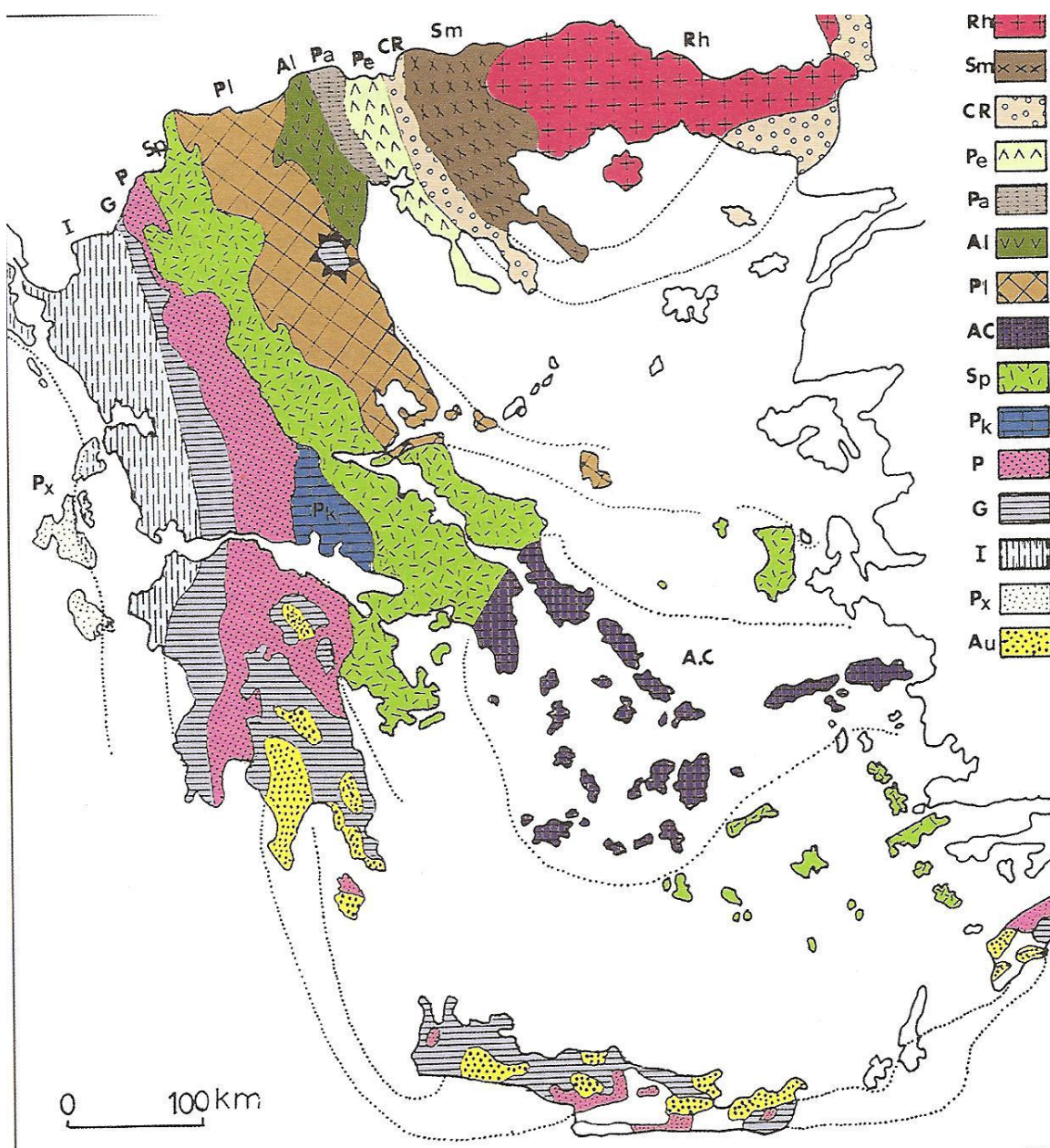
Η ανάπτυξη της Νέας Παγκόσμιας Τεκτονικής σε συνδυασμό με τα μοντέλα που προτάθηκαν τις τελευταίες δεκαετίες για τη γεωδυναμική εξέλιξη του Αλπικού συστήματος έφερε, όμως, μια νέα διάσταση στο θέμα της διαίρεσης των γεωτεκτονικών ζωνών. Οι ζώνες διαχωρίζονται, η μία από την άλλη, με τον συγκεκριμένο ρόλο που κατέχει η κάθε μία στο σύστημα της γεωδυναμικής εξέλιξης και που ως ένα βαθμό αναφέρεται σε συγκεκριμένη παλαιογεωγραφική θέση.

Συνεπώς, σύμφωνα με τη θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών στην οποία έχουν στηριχθεί και αναμορφωθεί ο κλασικές γεωλογικές απόψεις περί γεωσυγκλίνου, κάθε γεωτεκτονική ζώνη αποτελείται από τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- ✚ Μια ορισμένη στρωματογραφική διαδοχή των ιζημάτων της
- ✚ Τους ιδιαίτερους λιθολογικούς χαρακτήρες της
- ✚ Την ιδιαίτερη τεκτονική της συμπεριφορά

Τα χαρακτηριστικά αυτά προκύπτουν, σαφώς, τόσο από την παλαιογεωγραφική θέση της γεωτεκτονικής ζώνης όσο και από τη γεωτεκτονική της θέση, τη γεωδυναμική της κίνηση και την τεκτονική παραμόρφωση κάθε μιας, με μεγαλύτερη βαρύτητα στα τρία τελευταία.

Στην Ελλάδα ο γεωτεκτονικές ζώνες έχουν διαμορφωθεί, με βάση τις παραπάνω εκσυγχρονισμένες αντιλήψεις, από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά (εικόνα 1) ως εξής: 1) **Η μάζα της Ροδόπης**, 2) **Η Σερβομακεδονική μάζα**, 3) **Η Περιροδοπική ζώνη**, 4) **Η ζώνη Αξιού**, η οποία διαχωρίζεται στις υποζώνες Παιονίας, Πάϊκου και Αλμωπίας, 5) **Η Πελαγονική ζώνη**, 6) **Η Αττικο-Κυκλαδική ζώνη**, 7) **Η Υποπελαγονική ζώνη** ή ζώνη «Ανατολικής Ελλάδας», 8) **Η ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας**, 9) **Η ζώνη Ωλονού-Πίνδου**, 10) **Η ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης**, 11) **Η Αδριατικοϊόνιος ζώνη** ή Ιόνιος ζώνη και 12) **Η ζώνη Παξών** ή Προαπουλία.



Εικόνα 1. Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιοδοτική ζώνη, (Pe: Υποζώνη Παιονίας, Pa: Υποζώνη Πάικου, Al: Υποζώνη Αλμωπίας)= Ζώνη Αξιού, Pl: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικοκυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού – Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου – Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα « Πλακώδεις ασβεστόλιθοι – Ταλέα όρη» πιθανόν της Ιονίου ζώνης. (Κατά Mountrakis et al 2010)

Εκτός από τις δώδεκα ζώνες στις οποίες αναφερθήκαμε παραπάνω υπάρχουν και δύο γεωτεκτονικές μονάδες, η Ενότητα «Πλακωδών ασβεστόλιθων – Ταλέα όρη», που πιθανώς ανήκει στην Αδριατικοϊόνιο ζώνη και η Ενότητα Βοιωτίας, που είναι μέρος της Υποπελαγονικής ζώνης. Υπάρχουν αμφιλεγόμενες απόψεις από τους επιστήμονες για τις δύο αυτές γεωτεκτονικές μονάδες. Η μία πλευρά τις θεωρεί ανεξάρτητες ζώνες και η άλλη, που είναι και η επικρατούσα, πιστεύει πως είναι απλά «γεωλογικές ενότητες».

Μια ακόμη γεωλογική ενότητα στην οποία θα αναφερθούμε είναι η «Ενότητα Φυλλιτών-Χαλαζιτών», η οποία βρίσκεται στη Κρήτη και στη Πελοπόννησο και υπόκειται τεκτονικά των αλπικών ιζημάτων της ζώνης Γαβρόβου-Τρίπολης. Επειδή, όμως, δεν έχει διευκρινιστεί η γεωτεκτονική της τοποθέτηση ή αν ανήκει σε κάποια από τις Ελληνίδες ζώνες, θεωρείται ανεξάρτητη Ενότητα πετρωμάτων.

Οι παραπάνω γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας διακρίνονται με βάση, πάντα, τη γεωλογική ορολογία σε «Εσωτερικές Ελληνίδες» και σε «Εξωτερικές Ελληνίδες». Η ονομασία αυτή προέκυψε, διότι οι πρώτες κατέχουν τα εσωτερικά τόξα των Ελληνίδων οροσειρών, ενώ οι δεύτερες τα εξωτερικά τόξα. Η διάκριση, βέβαια, βασίστηκε στο γεγονός ότι οι Εσωτερικές Ελληνίδες υπέστησαν τη δράση μιας Ανωϊουρασιακής – Κατωκρητιδικής, πρώιμης ορογενετικής δράσης, η οποία δεν επέδρασε στις Εξωτερικές Ελληνίδες. Οι τελευταίες επηρεάστηκαν μόνο από την τελική ορογένεση του Τριτογενούς.

**Στις Εσωτερικές Ελληνίδες ζώνες** ανήκουν: Η Περιοδοτική ζώνη, η ζώνη Αξιού, η Πελαγονική ζώνη, η Αττικο-Κυκλαδική ζώνη και η Υποπελαγονική ζώνη.  
**Στις Εξωτερικές Ελληνίδες ζώνες** ανήκουν: Η ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, η ζώνη Ωλονού-Πίνδου, η ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, η Αδριατικοϊόνιο ζώνη και η ζώνη Παξών. Τέλος, οι μάζες Ροδόπης και Σερβομακεδονικής θεωρούνται ότι αποτελούν την «**Ελληνική Ενδοχώρα**», τμήμα του παλιού πυρήνα που περιβαλλόταν από τους δύο αλπικούς κλάδους.

Χαρακτηριστικά πετρώματα των Εσωτερικών ζωνών είναι τα μεταμορφωμένα πετρώματα, που αντιπροσωπεύουν προαλπικά πετρώματα και αλπικά ιζήματα Τριαδικού – Ιουρασικού, καθώς επίσης και τα πυριγενή πετρώματα τόσο Μεσοζωϊκής – Τριτογενούς ηλικίας όσο και Παλαιοζωϊκής. Αντίθετα στις Εξωτερικές ζώνες δεν υπάρχουν ούτε μεταμορφωμένα πετρώματα του προαλπικού υπόβαθρου, εκτός από την Ενότητα Φυλλιτών-Χαλαζιτών στη Κρήτη και στη νότια Πελοπόννησο, ούτε πυριγενή πετρώματα με εξαίρεση ορισμένα ηφαιστειακά υλικά που παρατηρούνται στη ζώνη Ωλονού-Πίνδου ηλικίας Τριαδικού.

### **1.3 Παλαιογεωγραφία και γεωτεκτονικοί χαρακτήρες κάθε ζώνης**

Οι γεωτεκτονικές ζώνες στις οποίες διακρίνεται ο Ελληνικός χώρος είναι αποτέλεσμα πολλών μελετών των γεωλογικών σχηματισμών κάθε περιοχής καθώς επίσης και της συγκριτικής στρωματογραφικής εξέλιξης αυτών. Οι μελέτες αυτές συνέβαλλαν στην διαπίστωση των παρακάτω παλαιογεωγραφικών και γεωτεκτονικών συνθηκών.

Για τη Ροδόπη, που συνιστά κυρίως μια παλιά κρυσταλλική μάζα, έχει επικρατήσει η άποψη ότι θαλάσσευσε μόνο μερικώς και μόνο σε ορισμένες περιόδους του Μεσοζωϊκού, πάντως ένα μεγάλο μέρος αυτής φαίνεται να παρέμεινε διαρκώς χέρσος.

Ανάλογη με τη Ροδόπη παλαιογεωγραφική θέση είχε η Σερβομακεδονική, η οποία υπήρξε ρηχή θάλασσα στο δυτικό της περιθώριο, κατά το διάστημα από το Μέσο Τριαδικό μέχρι το Κάτω Ιουρασικό, περίοδο της οποίας διατηρούνται τα ιζήματα. Με τη νέα παγκόσμια τεκτονική τόσο η Ροδόπη όσο και η Σερβομακεδονική θεωρούνται ηπειρωτικές μάζες, επειδή αποτελούνται από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα τυπικά ηπειρωτικού φλοιού. Τα πετρώματα αυτά προέρχονται πιθανότατα, είτε από τη λιθοσφαιρική πλάκα της Ευρασίας,

είτε της Κιμμέριας ηπειρωτικής πλάκας που αποσπάσθηκε από τη Γκοντβάνα και συγκολλήθηκε στην Ευρασία.

Η πιο εσωτερική Αλπική Ελληνική ζώνη θεωρείται η Περιροδοπική, η οποία διαχωρίστηκε σαν μια ζώνη κατά μήκος του δυτικού περιθωρίου της Σερβομακεδονικής. Σύμφωνα με την παλαιογεωγραφική της θέση, αντιπροσώπευε την ηπειρωτική κατωφέρεια από τις ηπειρωτικές μάζες της Ελληνικής ενδοχώρας (Ροδόπη και Σερβομακεδονική) προς την ωκεάνια περιοχή της ζώνης Αξιού.

Η περιοχή μελέτης μας περιλαμβάνει τη ζώνη Αξιού, την Πελαγονική και την Υποπελαγονική καθώς και το τεκτονικό παράθυρο του Ολύμπου, το οποίο είναι από τις σημαντικότερες ανακαλύψεις για τη γεωλογία της χώρας μας. Παρακάτω αναφέρεται αναλυτικά η γεωλογική δομή των ζωνών ενδιαφέροντος.

## **1.4 Ζώνη Αξιού**

### **1.4.1 Γεωτεκτονική θέση**

Η ζώνη Αξιού ονομάστηκε έτσι από το ομώνυμο ποτάμι της Κεντρικής Μακεδονίας, και καθορίσθηκε από τον Kossmat (1924) σαν μια ζώνη ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης και πλάτους 30-70 Km. Οι περιοχές που καταλαμβάνει ξεκινάνε από την περιοχή των Σκοπίων της πρώην Γιουγκοσλαβίας, συνεχίζουν μέχρι το Θερμαϊκό κόλπο και το Αιγαίο για να καταλήξουν στη Μικρά Ασία, με πιθανή διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ. Ο βασικός ερευνητής της ζώνης Αξιού ήταν ο Osswald (1938), ο οποίος διατύπωσε την θεωρία του ότι η ζώνη Αξιού λειτούργησε κατά το Μεσοζωικό ως γεωσύγκλινο που διαμορφώθηκε στο Περμοτριάδικό.

Η ύπαρξη μεγάλων οφιολιθικών μαζών που έχουν εξαπλωθεί σε ολόκληρη τη ζώνη αποτελούν βασικό της χαρακτηριστικό και συνέβαλαν στον καθορισμό της γεωτεκτονικής θέσης της ζώνης Αξιού σαν τον παλιό ωκεάνιο χώρο με ωκεάνιο φλοιό και ιζήματα βαθιάς θάλασσας στη διάρκεια του Μεσοζωικού. Ο χώρος του

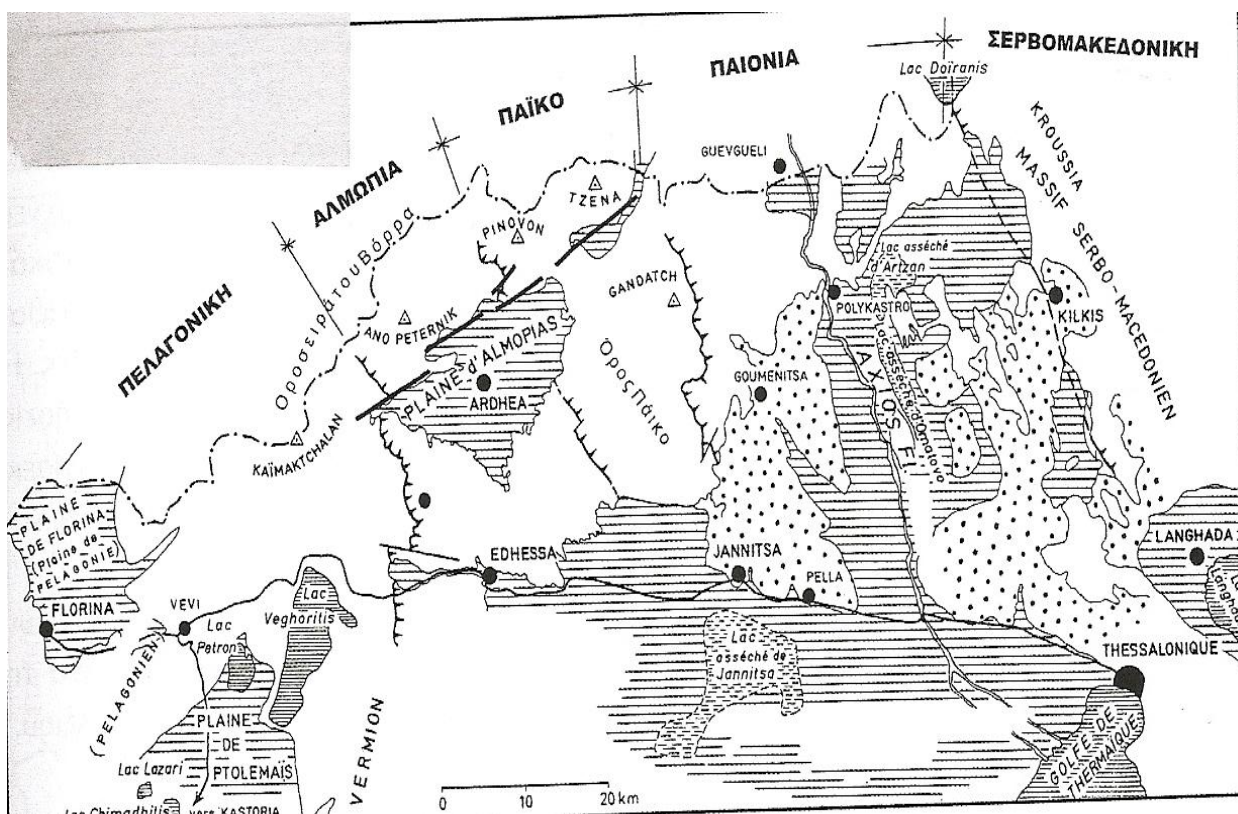
ωκεανού αυτού είναι ένα ερώτημα που απασχόλησε επί δεκάδες χρόνια τους ερευνητές, για το αν ήταν ο ωκεανός της Παλαιο - Τηθύος που έκλεισε το Μέσο – Ιουρασικό ή μια μικρότερη ωκεάνια λεκάνη που ανήκε στο σύστημα της Νέο – Τηθύος του Μεσοζωϊκού ή ακόμα αν ήταν μια επιμέρους μικρή ωκεάνια λεκάνη του ενιαίου συστήματος του ωκεανού που κάλυπτε η Τηθύς θάλασσα.

Από τεκτονικής απόψεως η ζώνη Αξιού χαρακτηρίζεται από την παρουσία συνεχών τεκτονικών λεπίων που είναι προσανατολισμένα με παράταξη ΒΔ-ΝΑ και με κλίση προς τα ΒΑ και το ένα εφίππευει το άλλο προς τα δυτικά. Η έντονη αυτή λεπιοειδής δομή τοποθετεί τη τεκτονική φάση που τη δημιούργησε στο Τριτογενές στην τελική ηπειρωτική σύγκρουση της Απουλίας με την ενιαία Κιμμερική – Ευρασιατική Ήπειρο.

#### **1.4.2 Διαίρεση της ζώνης Αξιού**

Σχετικά με τη λιθοστρωματογραφική εξέλιξη της ζώνης Αξιού παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των δύο πλευρών της, με βάση στρωματογραφικά, τεκτονικά ή και παλαιογεωγραφικά κριτήρια οπότε διαιρέθηκε από διάφορους ερευνητές και την οριστική της μορφή την πήρε από τον Mercier (1966), ο οποίος χώρισε τη ζώνη Αξιού σε τρεις επιμέρους ζώνες και τις ονόμασε ανάλογα με τον παλαιογεωγραφικό τους χαρακτήρα, «Αύλακα Παιονίας», «Υβωμα Πάϊκου» και «Αύλακα Αλμωπίας» αντίστοιχα (εικόνα 2).

Βασικό χαρακτηριστικό, στο οποίο στηρίχθηκε και η παραπάνω διαίρεση, είναι η νηριτική ασβεστολιθική σειρά ηλικίας Ιουρασικού που παρατηρήθηκε στον Πάϊκο και δείχνει ότι η περιοχή του ήταν υποθαλάσσια ράχη (ύβωμα) με σχετικά ρηχή θάλασσα, σε αντίθεση με τα αργιλικά και κερατολιθικά πετρώματα, που παρατηρήθηκαν στην Παιονία και την Αλμωπία και είναι αντίστοιχα ιζήματα Ιουρασικού βαθιάς όμως θάλασσας.



**Εικόνα 2.** Σκαρίφημα της διαίρεσης της ζώνης Αξιού στις υποζώνες Παιονίας, Πάϊκου και Αλμωπίας (κατά Mercier 1966). Διακρίνονται οι τεκτονικές επαφές μεταξύ των υποζωνών, καθώς και η μεγάλη ρηξιγενής ζώνη Αρχαγγέλου – Λουτρακίου που επηρεάζει τις νότιες παρυφές των βουνών της οροσειράς του Βόρα και δημιουργεί τα βυθίσματα της Αριδαίας (Αλμωπίας) και του Αρχαγγέλου.

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να αναφερθούμε στο προαλπικό υπόβαθρο του συνόλου της ζώνης. Εμφανίζονται, λοιπόν, αρκετά μεταμορφωμένα πετρώματα, συχνά συμπυκνωμένα με αλπικά ιζήματα, των οποίων η τεκτονική θέση μαρτυράει ότι αντιπροσωπεύουν Παλαιοζωικά πετρώματα. Συγκεκριμένα αναφερόμαστε στην ύπαρξη γνεύσιων, μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων, χαλαζιακών - χλωριτικών σχιστόλιθων καθώς και παρεμβολές μικρογρανιτικές και πηγματιτικές. Η ηλικία τους θεωρείται Παλαιοζωική διότι σύμφωνα με τις ραδιοχρονολογήσεις είναι Ερκύνια (250-300 Ma). Τα μεταμορφωμένα αυτά πετρώματα προέρχονται από τη Σερβομακεδονική μάζα από την οποία αποσπάσθηκαν τεκτονικά κατά τη διάρκεια των πτυχώσεων και συμπτυχώθηκαν με τα αλπικά ιζήματα της ζώνης Αξιού.



## 1.5 Πελαγονική ζώνη

### 1.5.1 Παλαιογεωγραφική και γεωτεκτονική θέση

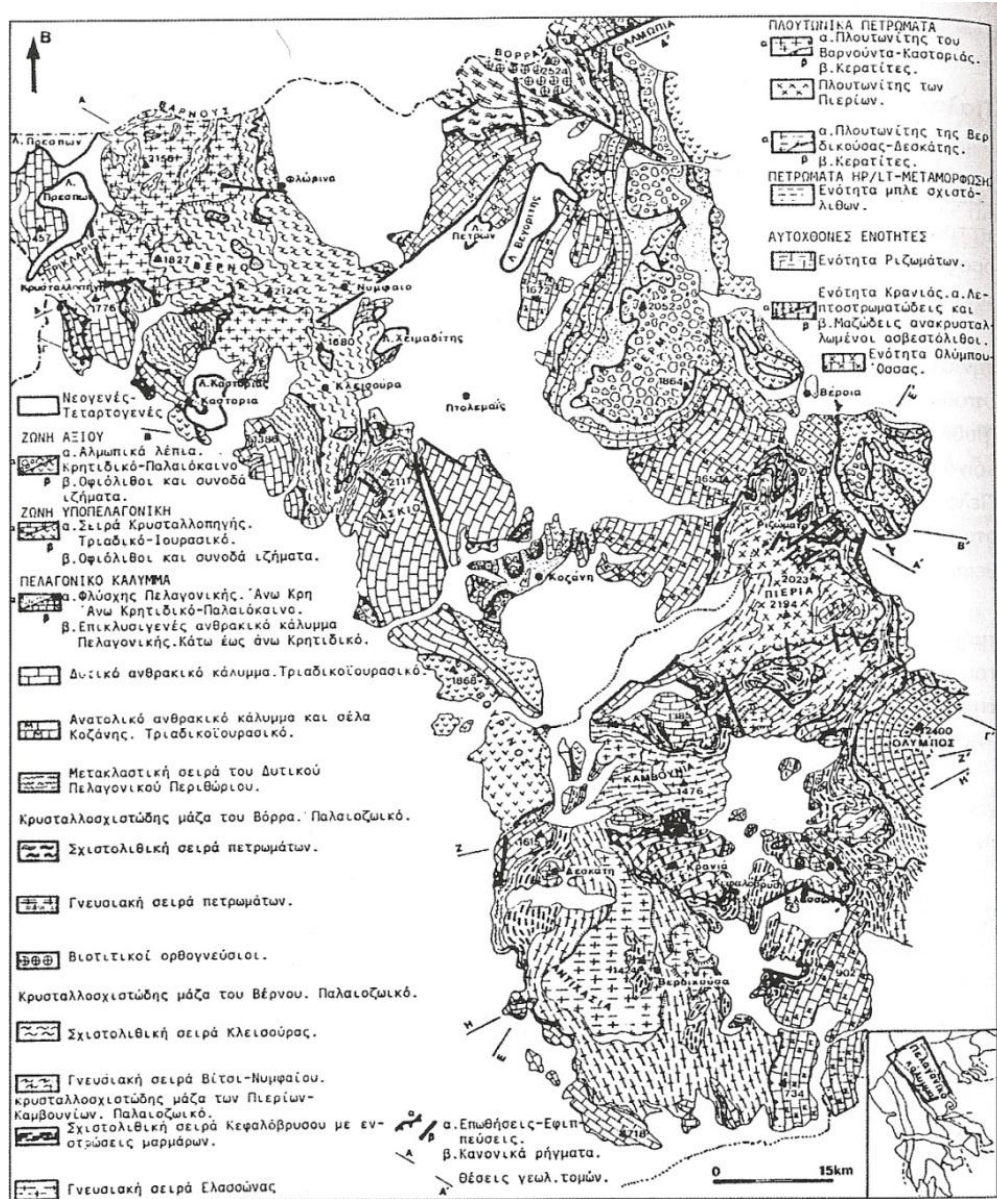
Το 1924 ο Kossmat καθόρισε τη Πελαγονική ζώνη δίνοντας της την ονομασία «η Πελαγονική μάζα και το κάλυμά της», εξαιτίας του γεγονότος ότι συνίσταται από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα (μάζα) πάνω στα οποία υπάρχουν Μεσοζωικά ιζήματα (κάλυμμα). Ο όρος «Πελαγονική ζώνη» καθιερώθηκε στη συνέχεια από τους Brunh και Aubouin το 1956 και 1957 αντίστοιχα, στα πλαίσια της διαίρεσης της Ελλάδας σε αλπικές ισοπικές ζώνες.

Κατά τη διαίρεση αυτή η Πελαγονική πήρε την έννοια του υβώματος που χώριζε την αύλακα της Αλμωπίας στα ανατολικά από την αύλακα της Πίνδου στα Δυτικά. Με τις σύγχρονες αντιλήψεις, η Πελαγονική μεταφράζεται σαν ένα μεγάλο ηπειρωτικό τέμαχος, που είναι τμήμα της Κιμμερικής ηπείρου και αποσπάστηκε από την Gondwana με συνέπεια να δημιουργηθούν εκατέρωθεν του δύο ωκεάνιες περιοχές της Τηθύος (της ζώνης Αξιού και της Υποπελαγονικής - Πίνδου) από τις οποίες προήλθαν με επώθηση οι οφιόλιθοι.

Η έκταση της Πελαγονικής, με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ, ξεκινάει από την πρώην Γιουγκοσλαβία προς τους Ελληνικούς ορεινούς όγκους του Βόρα (Καϊμακτσάλαν 2524m), του Βέρνου (Βίτσι 2128m), του Βερμίου, των Πιερίων, του Ολύμπου, του Πηλίου και της Βόρειας Εύβοιας και στη συνέχεια κάμπτεται προς τις Σποράδες και περιλαμβάνει τα νησιά Σκιάθο, Σκόπελο και Σκύρο (εικόνα 3). Μία πιθανή προέκταση της είναι τα νησιά Οινούσες (Βόρεια της Χίου) απ' όπου η ζώνη περνάει στη Βόρεια Μικρά Ασία, ίσως στη περιοχή Σακάρυα που έχει ανάλογα πετρώματα.

Σημαντικό γεωλογικό πρόβλημα έχει αποτελέσει η προέκταση της Πελαγονικής μετά την Εύβοια, καθώς πολλοί πιστεύουν ότι η συνέχεια της βρίσκεται στην Αττικοκυκλαδική ζώνη, πράγμα το οποίο είναι αμφισβητήσιμο από τη στιγμή που εκεί υφίστανται μικρές μόνο εμφανίσεις πετρωμάτων με χαρακτήρες της Πελαγονικής και αρκετά πετρώματα που δεν είναι της Πελαγονικής. Έτσι τείνει

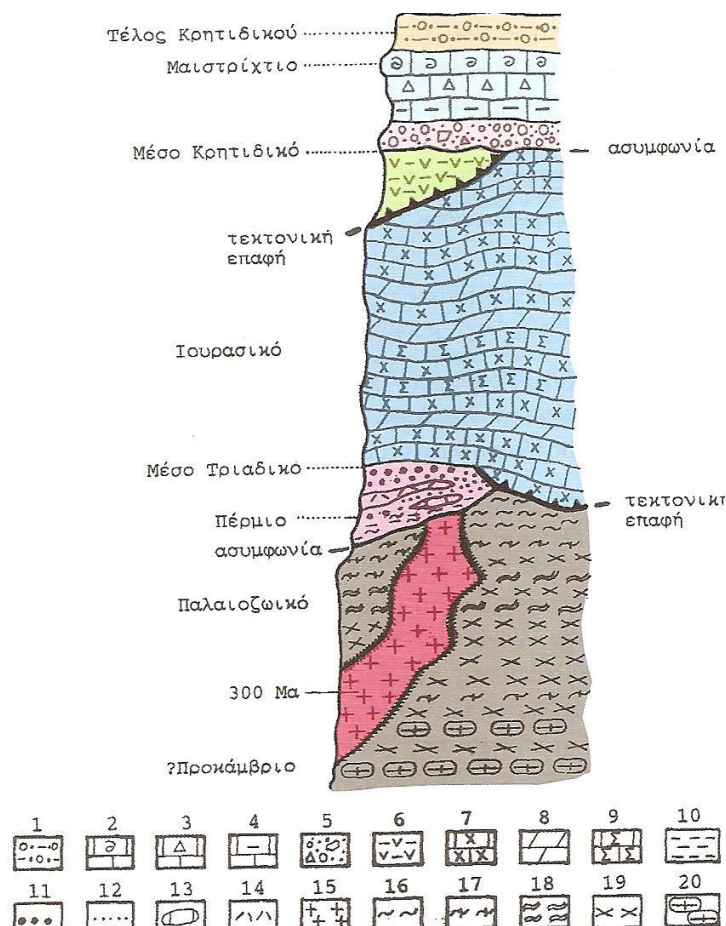
να επικρατήσει η άποψη ότι η Αττικοκυκλαδική δεν είναι η προέκταση της Πελαγονικής αλλά έχει μόνο ορισμένα λείπια της και ότι η πιθανότερη συνέχεια της προς τη Μικρά Ασία είναι διαμέσου του Κεντρικού Αιγαίου μεταξύ Λέσβου και Χίου (Οινούσες).



Εικόνα 3. Γεωλογικός χάρτης της Πελαγονικής ζώνης στη Δυτική Μακεδονία και Βόρεια Θεσσαλία (Κατά Κίλια & Μουντράκη 1989). Περιγραφή των σχηματισμών στο σχήμα και στο κείμενο.

## 1.5.2 Λιθοστρωματογραφική εξέλιξη και τεκτονική δομή

Η Πελαγονική ζώνη χαρακτηρίζεται από το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της, τους γνευσιωμένους γρανίτες, τα ημιμεταμορφωμένα Περμο-Τριαδικά πετρώματα, τα δύο ανθρακικά καλύμματα Τριαδικού-Ιουρασικού, τους οφιόλιθους και τα Ανωκρητιδικά επικλυσιογενή ιζήματα (εικόνα 4).

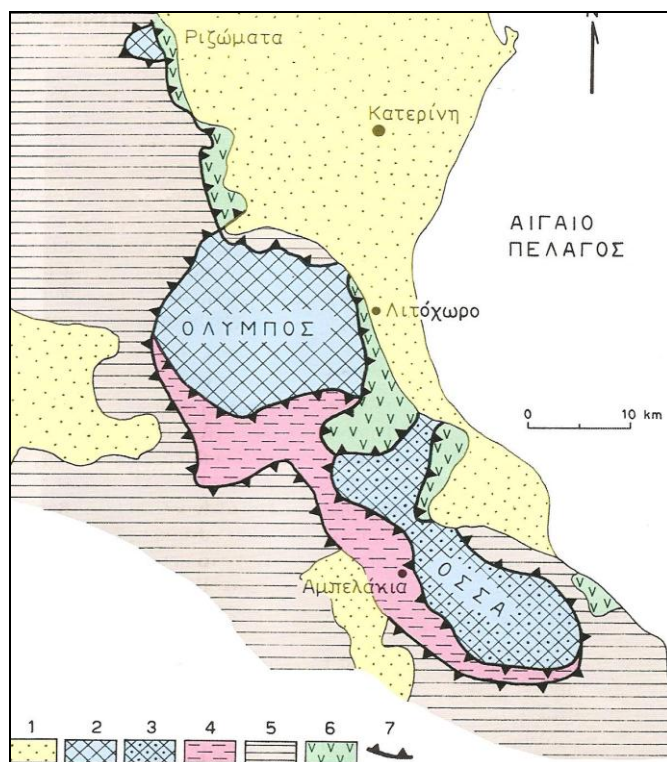


Εικόνα 4. Συνοπτική λιθοστρωματογραφική – τεκτονική στήλη της Πελαγονικής ζώνης. (1-5): Επικλυσιογενή ιζήματα Μέσου – Άνω Κρητιδικού. 1: Φλύσχη Άνω Μαιστριχτίου – Κάτω Παλαιοκαίνου, 2: ασβεστόλιθος Μαιστριχτίου, 3: μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι, 4: μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, 5: κροκαλο – λατυποπαγή της βάσης, 6: οφιόλιθοι και συνοδά πελαγικά ιζήματα, (7-9) πετρώματα των δύο ανθρακικών καλυμμάτων Τριαδικού – Ιουρασικού, 7: κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι και μάρμαρα, 8: δολομίτες, 9: σιπολίτες, (10-14): πετρώματα της μετακλαστικής σειράς Περμίου – Κάτω Τριαδικού, 10: μετά-πηλίτες, φυλλίτες, 11: χαλαζιακά μετά – κροκαλοπαγή, 12: μετά – ψαμμίτες, μετά – αρκόζες, 13: φακοί ασβεστόλιθων, 14: μετά – ρυόλιθοι, μετά – τόφφοι, 15: γνευσιωμένοι γρανίτες Άνω Λιθανθρακοφόρου, (16-20): πετρώματα του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου Παλαιοζωικής ή και προ-Κάμβριας ηλικίας, 16: σχιστόλιθοι, 17: διμαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι, 18: αμφιβολίτες, 19: γνεύσιοι, 20: οφθαλμογνεύσιοι. ( Μουντράκη 2010)

## 1.6 Τεκτονικό παράθυρο του Ολύμπου

Μια από τις σημαντικότερες ανακαλύψεις για την γεωλογία της Ελλάδας είναι το τεκτονικό παράθυρο του Ολύμπου, το οποίο έγινε γνωστό με τις έρευνες του Godfriaux το 1968 και επιβεβαίωσε την επώθηση των Ελληνικών ζωνών από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά.

Ειδικότερα διαπιστώθηκε ότι η περιοχή των κορυφών του Ολύμπου καταλαμβάνεται από μια ανθρακική ιζηματογένεση σειρά ηλικίας Τριαδικού – Ηωκαίνου, η οποία περιβάλλεται από το κρυσταλλοσχιστώδες και τα Τριαδικά μάρμαρα της Πελαγονικής ζώνης (Εικόνα 5).



Εικόνα 5. Γεωλογικό σκαρίφημα της ευρύτερης περιοχής του παραθύρου του Ολύμπου. 1:Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις, 2:αυτόχθονη σειρά Ολύμπου, 3-4 ενότητα Όσας (3:υποκείμενος ανθρακικός οριζοντας ανάλογος της σειρά Ολύμπου. 4: «σειρά Αμπελάκια»), 5: πετρώματα της Πελαγονικής ζώνης. 6: οφιόλιθοι και φυλλιτικά πετρώματα προερχόμενα από τη ζώνη Αξιού (Ηωελληνικό κάλυμμα). 7: επωθήσεις. (Μουντράκη 2010)



**Εικόνα 6. Πανοραμική άποψη του τεκτονικού παραθύρου του Ολύμπου. Διακρίνονται οι κορυφές του Ολύμπου (Στεφάνι) με τα ανθρακικά πετρώματα της ζώνης Γαβρόβου (Φωτογραφία Ε. Θωμαΐδου)**

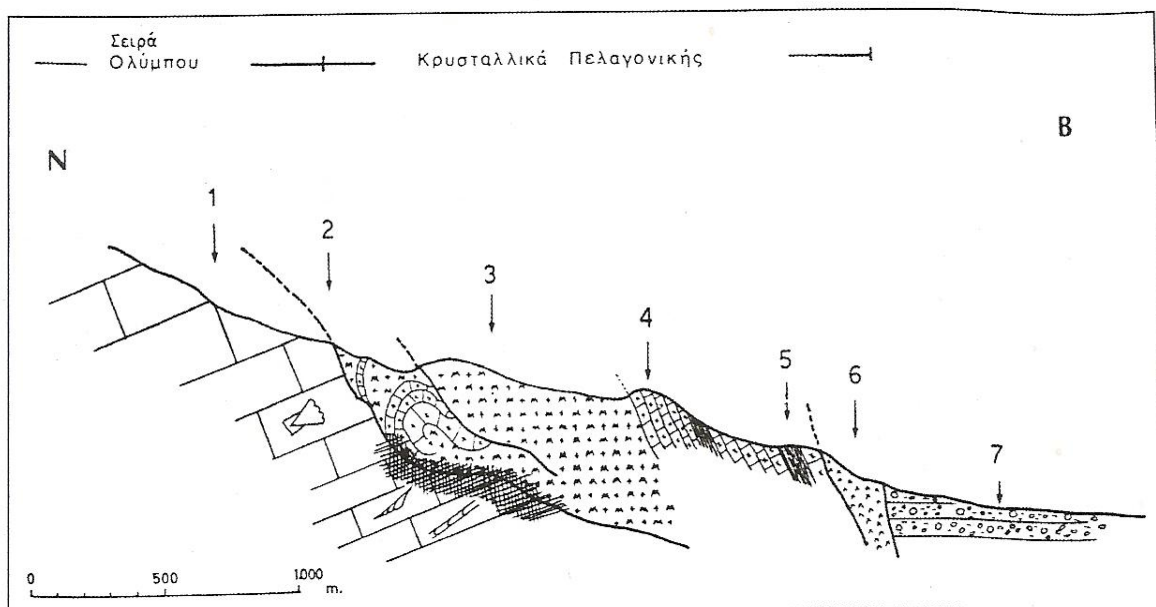


**Εικόνα 7. Πανοραμική άποψη του παραθύρου του Ολύμπου. Διακρίνεται η τεκτονική τοποθέτηση των γνευσίων της Πελαγονικής πάνω στα ανθρακικά πετρώματα του παραθύρου στη Δυτική πλευρά του Ολύμπου. (Μουντρακης 2010)**

Στη περιοχή αυτή το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Πελαγονικής αποτελείται από οφθαλμοειδείς γνεύσιους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, αμφιβολίτες και γνευσιωμένους γρανίτες. Πάνω στο κρυσταλλοσχιστώδες βρίσκονται τα μάρμαρα του Τριαδικού – Ιουρασικού καλύμματος(εικόνα 8). Εξαιτίας των λεπιώσεων το υπόβαθρο και το κάλυμμα δημιουργούν μεταξύ τους συχνές τεκτονικές επαναλήψεις.

Σύμφωνα, λοιπόν, με τις έρευνες του Godfriaux(1968), η ανθρακική ιζηματογενής σειρά της περιοχής των κορυφών του Ολύμπου περιλαμβάνει τα εξής στρώματα από κάτω προς τα πάνω:

- ❖ Ασβεστόλιθους και δολομίτες ηλικίας Άνω Τριαδικού
- ❖ Ασβεστόλιθους και δολομίτες Ιουρασικού
- ❖ Ασβεστόλιθους και δολομίτες Κρητιδικού – Κάτω Ηωκαίνου
- ❖ Φλύσχη σχιστοψαμμικοκροκαλοπαγής ηλικίας Ηωκαίνου

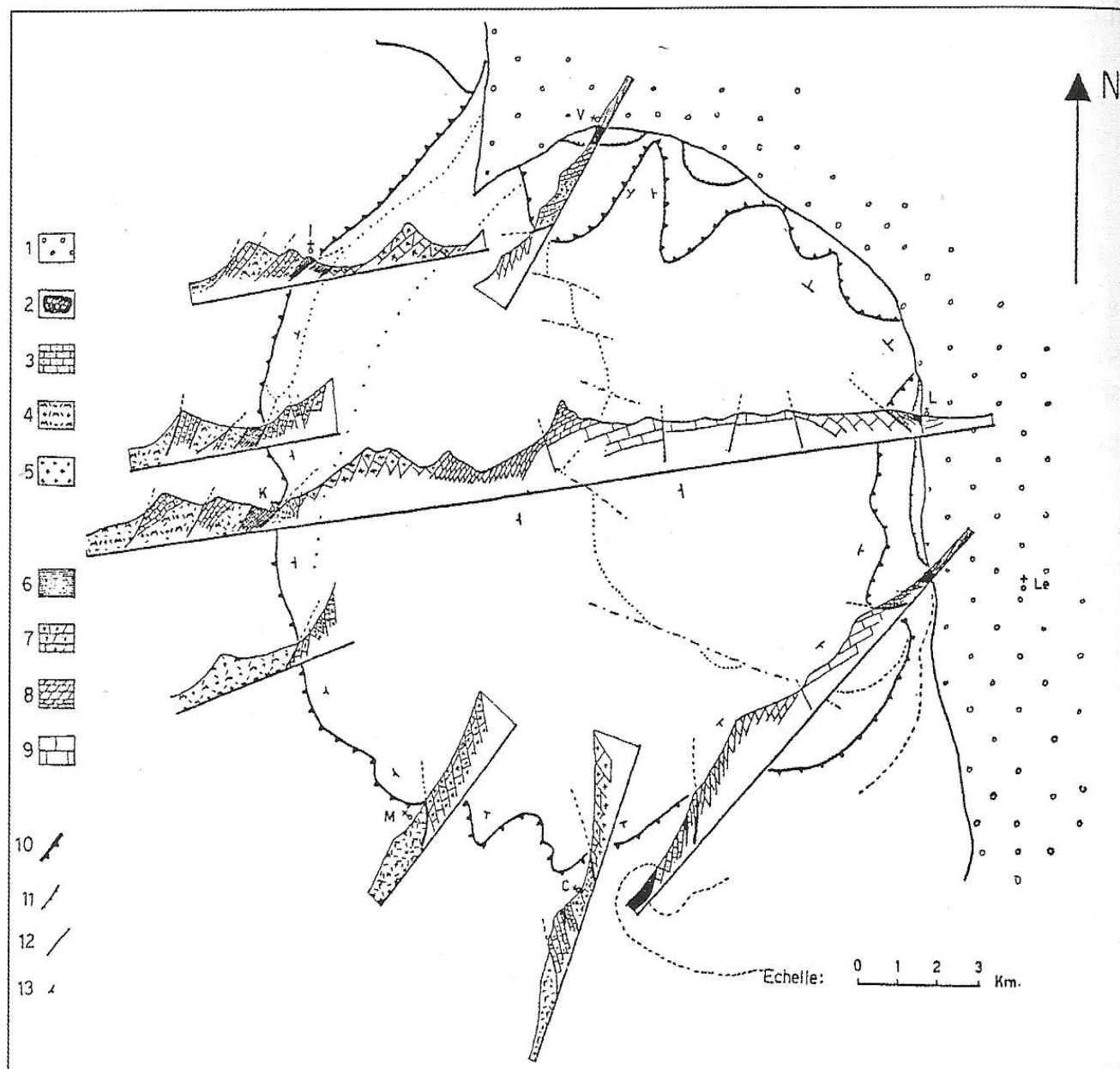


**Εικόνα 8.** Η επώθηση της Πελαγονικής πάνω στη σειρά του Ολύμπου. 1: Τριαδικοί ασβεστόλιθοι του Ολύμπου, 2: γραμμή επώθησης, 3: γνεύσιοι οφθαλμοειδείς, 4: μάρμαρα, 5: πράσινοι σχιστόλιθοι, 6: οφιόλιθοι, 7: κροκαλοπαγή Τεταρτογενούς. (Κατά Godfriaux 1968).

Ο Godfriaux το 1968 και μαζί με τον Fleury το 1975, μετά από μελέτη της σειράς του Ολύμπου (εικόνα 9) κατέληξαν στις εξής παρατηρήσεις:

1. Η ιζηματογένεση στη σειρά του Ολύμπου ήταν συνεχής, χωρίς στρωματογραφικό καινό και χωρίς καμία ασυμφωνία των στρωμάτων, από το Τριαδικό μέχρι το Ηώκαινο, γεγονός που υποδηλώνει ότι δεν υπέστη τη δράση του Άνω Ιουρασικού – Κάτω Κρητιδικού, που υπέστησαν οι Εσωτερικές ζώνες.
2. Έχουμε ιζηματογένεση υβώματος, διαπίστωση που προκύπτει από τη συνεχή ανθρακική σειρά, η οποία είναι νηριτική και έχει πάχος 2500m.
3. Τα πυριγενή πετρώματα, γρανίτες και οφιόλιθοι, τα οποία είναι χαρακτηριστικά των Εσωτερικών ζωνών, απουσιάζουν από τη σειρά του Ολύμπου.
4. Τη γενική μεταμόρφωση που έχουν υποστεί τα ιζήματα των Εσωτερικών ζωνών δεν τη βλέπουμε και στα ιζήματα της σειράς του Ολύμπου.
5. Δεν υφίσταται κροκαλοπαγές βάσης, χαρακτηριστικό, το οποίο συναντάμε στη μέσο-ανωκρητιδική επίκλυση των Εσωτερικών ζωνών.
6. Ο φλύσχος, που στις Εσωτερικές ζώνες άρχισε από το Μαιστρίχτιο, εδώ αποτέθηκε στο Ηώκαινο.

Από τις παραπάνω παρατηρήσεις καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η σειρά του Ολύμπου έχει χαρακτήρες που μοιάζουν με τις Εξωτερικές Ελληνικές ζώνες και όχι με την Πελαγονική ή άλλες Εσωτερικές ζώνες.



Εικόνα 9. Παραστατικές τομές επώθησης της Πελαγονικής πάνω στο παράθυρο του Ολύμπου. 1: Τεταρτογενή, 2-5: σχηματισμοί Πελαγονικής (2: οφιόλιθοι, 3: μάρμαρα Τριαδικού-ιουρασικού, 4: κρυσταλλοσχιστώδες, 5: γρανίτες), 6-9: σειρά του Ολύμπου (6: φλύσχος Ηωκαίνου, 7: ασβεστόλιθοι Κρητιδικού, 8: ασβεστόλιθοι Ιουρασικού, 9: ασβεστόλιθοι Άνω Τριαδικού) 10: ανώμαλη επαφή που οριοθετεί το παράθυρο του Ολύμπου, 11: ρήγματα ανάστροφα, 12: ρήγματα κανονικά, 13: παρατάξεις – κλίσεις. (Κατά Godfriaux 1968).



## 1.7 Υποπελαγονική ζώνη

Η Υποπελαγονική ζώνη βρίσκεται στη δυτική πλευρά της Πελαγονικής και εκτείνεται με διεύθυνση τη γενική των Ελληνίδων ΒΔ-ΝΑ από την Αλβανία, κατά μήκος του μέσου περίπου του κορμού της Ελλάδας, προς τη Δυτική Θεσσαλία και Ανατολική Στερεά Ελλάδα, από εκεί στα νησιά Σαλαμίνα, Ύδρα και την Ανατολική Πελοπόννησο και συνεχίζει πιθανόν στη νήσο Κω και την Μ. Ασία. Η ζώνη αυτή, όμως, έχει σύνθετο σχήμα γύρω από την Αττικοκυκλαδική μάζα, διότι φαίνεται ότι καλύπτει και την Κεντρική Εύβοια και από εκεί συνεχίζει στο νησί της Χίου.

Στην Υποπελαγονική ζώνη ανήκουν τα βουνά Όθρυς, Καλλίδρομο, Ελικών, Κιθαιρών, Πάρνηθα, Χλωμόν και Γεράνια.

Αρχικά η ζώνη χαρακτηρίστηκε από τους Renz (1955) και Μαρίνο (1957) με την ονομασία Ζώνη Ανατολικής Ελλάδας. Το 1959 ο Aubouin, θέλοντας να υπογραμμίσει τη στενή σύνδεση αυτής με την Πελαγονική, την ονόμασε Υποπελαγονική ζώνη. Καθόρισε την παλαιογεωγραφική θέση της ως τη δυτική κατωφέρεια του υβώματος της Πελαγονικής προς την αύλακα της ζώνης Πίνδου, και της απέδωσε έτσι χαρακτήρες ιζηματογένεσης ενδιάμεσης μεταξύ νηριτικής και πελαγικής φάσης.

Η Υποπελαγονική ζώνη χαρακτηρίζεται από μεγάλες οφιολιθικές μάζες και μεγάλη εξάπλωση γνωρίζει η σχιστοκερατολιθική διάπλαση. Η νέα παγκόσμια τεκτονική προσέδωσε μεγάλη σημασία στους οφιόλιθους και δημιουργήθηκε έτσι η ανάγκη επανεξέτασης του γεωτεκτονικού ρόλου της Υποπελαγονικής. Για το λόγο αυτό ονομάζεται και «ζώνη οφιόλιθων» ή ακόμη και «ζώνη της Όθρυς» επειδή η σπουδαιότερη οφιολιθική ακολουθία βρίσκεται στο ομώνυμο βουνό.

Οι σημερινές γεωτεκτονικές αντιλήψεις μας οδήγησαν στο χαρακτηρισμό των οφιόλιθων της Υποπελαγονικής ως την εξωτερική οφιολιθική λωρίδα της Ελλάδας, γνωστή με την ονομασία ERO. Συνεπώς, θεωρείται ότι η ζώνη αυτή αντιπροσωπεύει τη συρραφή της ωκεάνιας περιοχής που βρισκόταν Δυτικά του

Πελαγονικού ηπειρωτικού τεμάχους. Με την έννοια αυτή η Υποπελαγονική και η ζώνη Πίνδου αντιστοιχούν σε έναν ενιαίο ωκεάνιο χώρο.

Η Υποπελαγονική ζώνη θεωρήθηκε κατωφέρεια της Πελαγονικής, εξαιτίας της τοποθέτησης των οφιόλιθων της, άλλοτε πάνω σε νηριτικά και άλλοτε πάνω σε πελαγικά ιζήματα. Ο χαρακτηρισμός αυτός δεν απέχει πολύ από τη σύγχρονη γεωτεκτονική αντίληψη, με ιδιαίτερη βαρύτητα στην έννοια της οφιολιθικής συρραφής και στα ωκεάνια ιζήματα της Υποπελαγονικής.

Όρισμένοι, λοιπόν, ερευνητές προσπάθησαν να καταργήσουν την ζώνη αυτή και να την ενσωματώσουν στην Πελαγονική, εφόσον θεώρησαν ότι ουσιαστικά η Υποπελαγονική είναι η περιοχή του Δυτικού Πελαγονικού περιθωρίου, πάνω στο οποίο επωθήθηκαν οι οφιόλιθοι.

Πρόσφατα, μετά από λεπτομερειακή παλαιοντολογική και ιζηματολογική μελέτη διαχωρίστηκαν με σαφήνεια η ζώνη της Υποπελαγονικής και της Πελαγονικής, λόγω της διαφοράς τους ως προς τα στρώματα του Τριαδικού. Το βασικό χαρακτηριστικό της διάκρισης αυτής αποτελούν οι ασβεστόλιθοι Hallstatt, οι οποίοι βρίσκονται μόνο στην Υποπελαγονική και αντιπροσωπεύουν ιζηματογένεση βαθιάς θάλασσας μακριά από ηπειρωτική κατωφέρεια χωρίς ηπειρωτική επιρροή σε συνθήκες τοπικού υποθαλάσσιου υβώματος. Από την άλλη, ακριβής είναι η ομοιότητα μεταξύ των Τριαδικών ασβεστόλιθων Υποπελαγονικής και Πίνδου.

### **1.7.1 Το προαλπικό υπόβαθρο της ζώνης**

Τα πετρώματα του υπόβαθρου, που συναντώνται στο χώρο της Υποπελαγονικής είναι ουσιαστικά τα ίδια με αυτά της Πελαγονικής, αφού πρόκειται για το ίδιο Παλαιοζωικό υπόβαθρο, δηλαδή γνεύσιους, μαρμαρυγιακοούς σχιστόλιθους, αμφιβολίτες, παρεμβολές μαρμάρων. Αυτά είναι πετρώματα του δυτικού Πελαγονικού περιθωρίου, πάνω στα οποία αποτέθηκαν τα Τριαδικοϊουρασικά ανθρακικά πετρώματα. Σε αρκετές περιοχές της ζώνης, εκτός από τα μεταμορφωμένα πετρώματα υπάρχουν και ιζηματογενή ή ημιμεταμορφωμένα

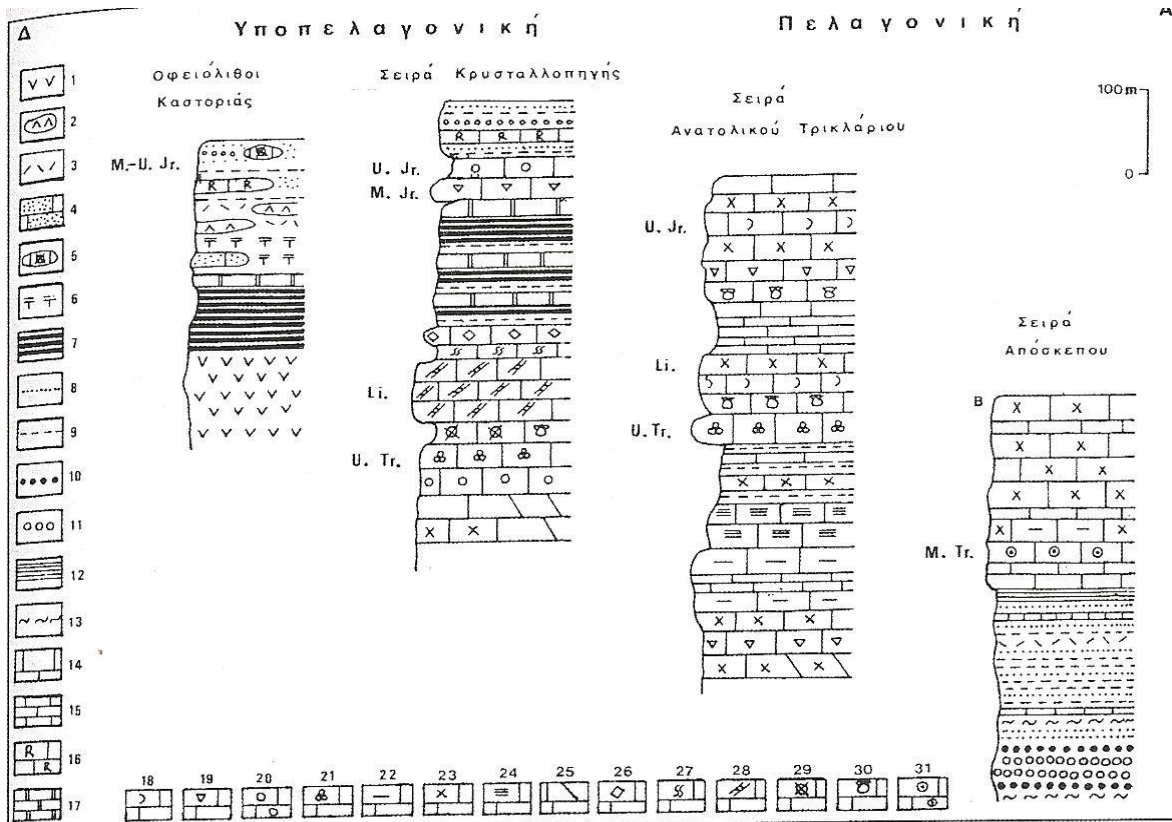
στρώματα του Παλαιοζωϊκού, που έχουν εξακριβωθεί με χαρακτηριστικά απολιθώματα.

### **1.7.2 Αλπική λιθостρωματογραφική εξέλιξη και δομή**

Η Υποπελαγονική ζώνη διακρίνεται σε τρεις διαφορετικές στρωματογραφικές-τεκτονικές διαδοχές των πετρωμάτων της, ανάλογα με την παλαιογεωγραφική και γεωτεκτονική θέση της. Αυτή που περιλαμβάνει την οφιολιθική ακολουθία και τα συνοδά ιζήματα βαθιάς θάλασσας, αυτή στην οποία οι οφιόλιθοι και τα συνοδά ιζήματα είναι τοποθετημένα επάνω σε πελαγικά ανθρακικά πετρώματα και τέλος εκείνη, στην οποία οι οφιόλιθοι με τα συνοδά ιζήματα βρίσκονται επωθημένα πάνω σε νηριτικά ανθρακικά πετρώματα τυπικά ηπειρωτικού περιθωρίου, τεκτονική εικόνα που δεν διαφέρει από αυτή του δυτικού Πελαγονικού περιθωρίου.

Οι τρεις παραπάνω διαδοχές πετρωμάτων αντιπροσωπεύουν την εξέλιξη από τα Δυτικά προς τα Ανατολικά των βαθιών ωκεάνιων συνθηκών ιζηματογένεσης προς τις νηριτικές του ηπειρωτικού περιθωρίου, χωρίς να έχουν την έννοια τριών διαφορετικών ενοτήτων που αναπτύσσονται σε ξεχωριστούς χώρους. Επειδή όμως, η εξέλιξη αυτή ήταν σταδιακή και οι μετέπειτα τεκτονισμοί καθώς και οι Τριτογενείς λεπιώσεις έχουν μεταβάλει κάθε γεωγραφική συνέχειά τους, δεν ήταν δυνατή η χάραξη ορίων ανάμεσα τους.

Εξαιτίας της περιόδου χέρσευσης των οφειολιθικών μαζών στο Κάτω Κρητιδικό, που ακολούθησε, όπου οι οφιόλιθοι υπέστησαν λατεριτική αποσάρθρωση, σχηματίστηκαν αξιόλογα σιδηρονικελιούχα λατεριτικά κοιτάσματα, στη Λάρυμνα, Λοκρίδα και Κεντρική Εύβοια. Εν συνεχεία τα κοιτάσματα αυτά καλύφθηκαν από τη διάβρωση και προστατεύτηκαν, αφού εναποτέθηκαν σε αυτά Μέσο-Άνω Κρητιδικά επικλυσιογενή ιζήματα.



**Εικόνα 10.** Διαδοχικές λιθοστρωματογραφικές στήλες του ορίου των ζωνών Πελαγονικής-Υποπελαγονικής. 1:οφειόλιθοι, 2: διαβάσεις και δολερίτες, 3: τόφφοι, 4:πυριτιόλιθοι, 5:ολισθόλιθοι ασβεστόλιθων του Λιασίου, 6: πυριτικές μάργες, 7: κερατόλιθοι, 8: ψαμμίτες, 9: πελίτες, 10: αρκόζες, 11: χαλαζιακά κροκαλοπαγή, 12: ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι, 13:φυλλίτες, 14-31: ασβεστόλιθοι διαφόρων τύπων και ηλικιών. (κατά Μουντράκη 1983)

Το πρώτο επικλυσιγενές στρώμα είναι ένα τυπικό κροκαλοπαγές βάσης και ακολουθούν ασβεστόλιθοι Άνω Κρητιδικού άλλοτε πελαγικοί και άλλοτε μαργαϊκοί κονδυλώδεις, μέσα στους οποίους περιβάλλονται ψαμμιτικά και μαργαϊκά στρώματα.

Η ιζηματογένεση συνεχίζεται με την απόθεση του φλύσχη, που ξεκίνησε στις αρχές του Τριτογενούς και τελείωσε στο τέλος Ηωκαίνου με την εκδήλωση της τελικής ορογενετικής δράσης. Τα επικλυσιγενή ιζήματα του Μέσου-Άνω Κρητιδικού αποτέθηκαν με ασυμφωνία πάνω στα προϋπάρχοντα πετρώματα. Ανάλογα με την τεκτονική δομή που δημιουργήθηκε μετά από τις πτυχώσεις

Ανώτερου Ιουρασικού – Κάτω Κρητιδικού,άλλοτε βρίσκονταν πάνω σε οφειόλιθους και λατεριτικά κοιτάσματα, άλλοτε πάνω στη σχιστοκερατολιθική διάπλαση και άλλοτε πάνω στα ανθρακικά πετρώματα Τριαδικού ή Ιουρασικού (εικόνα 10).

## 2. ΡΗΓΜΑΤΑ

### 2.1. Ταξινόμηση των ρηγμάτων

#### 2.1.1 Ταξινόμηση με βάση την ολίσθηση

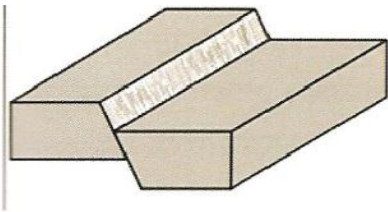
Το βασικότερο χαρακτηριστικό των ρηγμάτων, ως δομικών στοιχείων του στερεού φλοιού της γης, είναι ο αποχωρισμός της οροφής από το δάπεδο τους. Μία από τις βασικότερες ταξινομήσεις τους βασίζεται στην κίνηση εκατέρωθεν της ρηξιγενούς επιφάνειας, η οποία πρέπει πάντοτε να θεωρείται ως σχετική. Έτσι, ανάλογα με την τροχιά ολίσθησης τα ρήγματα διακρίνονται σε:

#### **Ρήγματα ολίσθησης κατά κλίση (dip-slip faults):**

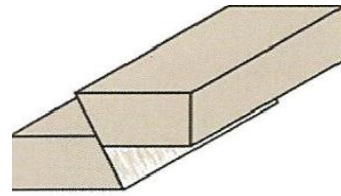
Στα ρήγματα αυτά η μετατόπιση έχει γίνει παράλληλα προς τη φορά κλίσης του ρήγματος. Ανάλογα με την απόκλιση ή τη σύγκλιση οροφής και δαπέδου, χωρίζονται σε:

Κανονικά ή ορθά ρήγματα (normal faults): είναι τα ρήγματα στα οποία παρατηρείται αποχωρισμός των εκατέρωθεν τεμαχών σε διεύθυνση κάθετη προς τη διεύθυνση του ρήγματος, έτσι ώστε το δάπεδο του ρήγματος να ανυψώνεται και η οροφή να βυθίζεται (εικόνα 11). Ακόμη τα κανονικά ρήγματα δημιουργούνται από εφελκυστικές τάσεις, που υπερτερούν οι κατακόρυφες συνιστώσες ή από τη βαρύτητα με αποτέλεσμα ο χώρος που καταλαμβάνουν τα πετρώματα μετά τη διάρρηξη να αυξάνει. Τα κανονικά ρήγματα μπορεί να είναι κατακόρυφα ή κεκλιμένα. Σε περιοχές με έντονη τεκτονική δραστηριότητα πολλές φορές δημιουργούνται πολλά ρήγματα κατά την ίδια περίπου διεύθυνση και δημιουργείται μια ρηξιγενής ζώνη. Στις περιπτώσεις κλιμακωτών ρηγμάτων που το κεντρικό τέμαχος έχει βυθιστεί σε σχέση με τα γειτονικά τεμάχη και τα περιθωριακά ρήγματα συγκλίνουν στο βάθος, δημιουργείται τεκτονική τάφρος. Μια αντίστροφη τεκτονική δομή, που το κεντρικό τέμαχος είναι ανυψωμένο σε σχέση με τα γειτονικά και τα περιθωριακά ρήγματα συγκλίνουν στο άνω μέρος δημιουργείται τεκτονικό κέρας.

και Ανάστροφα ρήγματα (*reverse faults*): στα οποία σε αντίθεση με τα κανονικά, παρατηρείται ανύψωση της οροφής και βύθιση του δαπέδου(εικόνα 12). Είναι αποτέλεσμα διατμητικών τάσεων, στα οποία υπερτερούν οι πλευρικές (οριζόντιες κινήσεις) και κίνηση του ανώτερου τεμάχους γίνεται αντίστροφα προς τη διεύθυνση κλίσης. Τα ανάστροφα ρήγματα αναλόγως της τιμής της γωνίας κλίσεως διακρίνονται σε ανωθήσεις (γωνία  $45^{\circ}$ - $90^{\circ}$ ) και εφιππεύσεις (γωνία  $45^{\circ}$ - $0^{\circ}$ ).



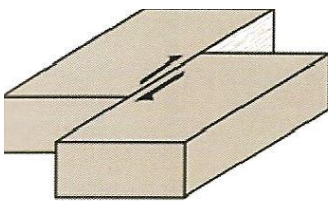
Εικόνα 11: Ρήγμα με ολίσθηση κατά κλίση - κανονικό



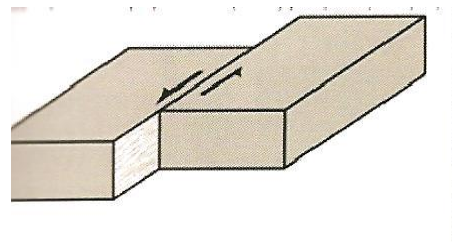
Εικόνα 12: Ρήγμα με ολίσθηση κατά κλίση - ανάστροφο

### Ρήγματα ολίσθησης κατά παράταξη (strike-slip faults):

Είναι τα ρήγματα στα οποία η μετατόπιση έχει γίνει παράλληλα προς την παράταξη του ρήγματος. Τα ρήγματα αυτά διακρίνονται με τη σειρά τους σε αριστερόστροφα (left-lateral/sinistral) και δεξιόστροφα (right-lateral/dextral). Δεξιόστροφα είναι αυτά στα οποία, αν θεωρήσουμε το ένα τμήμα σταθερό, το άλλο έχει μετατοπιστεί προς τα δεξιά του (εικόνα 13). Το αντίθετο ισχύει για τα αριστερόστροφα (εικόνα 14).












Εικόνα 13 Ρήγμα με ολίσθηση κατά παράταξη – δεξιόστροφο



Εικόνα 14 Ρήγμα με ολίσθηση κατά παράταξη- αριστερόστροφο

### Ρήγματα πλάγιας ολίσθησης (oblique-slipfaults):

Σε αυτή τη περίπτωση το άνωσμα της ολίσθησης σχηματίζει μετρήσιμη γωνία με τη παράταξη ή τη φορά κλίση του ρήγματος. Φυσικά οι παραπάνω κατηγορίες μπορούν να συναντηθούν και σείμικτες και κατ' επέκταση έτσι θα είναι και η ονομασία τους. Δηλαδή εάν παρουσιάζει κινηματικό χαρακτήρα από δύο κατηγορίες, η ορολογία του παίρνεται αντίστοιχα και από τις δυο. Για παράδειγμα πλαγιοανάστροφο χαρακτηρίζεται το ρήγμα με πλάγια και ανάστροφη συνιστώσα κίνησης (Εικόνα 15).

		ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΡΗΓΜΑΤΩΝ			
		Γραμμές προστριβής			
		Κατά κλίση	Κατά παράταξη	Πλάγια	
Επιφάνεια διάρρηξης	Κατακόρυφη	① ορθοκατακόρυφο 	② παρα-κατακόρυφο 	③ πλαγιο-κατακόρυφο 	
	Οριζόντια		④ οριζόντιο 		
	Κεκλιμένη	⑤ ορθοκανονικό 		⑥ πλαγιο-κανονικό 	Κανονικό
		⑦ ορθοανάστροφο 		⑧ πλαγιο-ανάστροφο 	Ανάστροφο
			⑨ παρα-κεκλιμένο 		
			Οριζόντιες μεταπτώσεις		

Εικόνα 15: Γεωμετρική – Κινηματική ταξινόμηση ρηγμάτων κατά Μαριολάκο και Παπανικολάου (1986)



### 2.1.2 Ταξινόμηση με βάση το μήκος του ρήγματος ή τη σχέση του με γειτονικά ρήγματα

Σε πολλές περιπτώσεις τα ρήγματα αναπτύσσονται σε ζώνες στις οποίες συνυπάρχουν σαν ένα σύνολο ρηγμάτων. Με βάση το μήκος τους τα ρήγματα αυτά διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: α) *ρήγματα πρώτης τάξης*, τα οποία αποτελούν τα μεγαλύτερα ρήγματα που εμφανίζονται σε μια περιοχή. β) *τα ρήγματα δεύτερης τάξης*, τα οποία έχουν σταδιακά μικρότερο μήκος από τα πρώτης τάξης και τέλος γ) ακολουθούν *τα ρήγματα τρίτης τάξης*. Η ταξινόμηση αυτή βασίζεται στην αρχή ότι όσα ρήγματα ξεκινούν από ένα ρήγμα πρώτης τάξης είναι ρήγματα δεύτερης τάξης, ενώ όσα ρήγματα ξεκινούν από ένα ρήγμα δεύτερης τάξης είναι ρήγματα τρίτης τάξης.

Η τάξη των ρηγμάτων αναφέρεται τόσο στο μέγεθος αυτών, όσο και στη χρονική σειρά σχηματισμού τους, αφού τα ρήγματα εξελίσσονται μέσα στο χώρο και στο χρόνο. Με βάση τη λογική αυτή είναι γνωστό ότι σχηματίζονται πρώτα τα ρήγματα πρώτης τάξης και αργότερα τα δεύτερης και τρίτης τάξης αντίστοιχα. Έτσι όλα τα ρήγματα μικρότερης τάξης μπορούν να συνδεθούν γενετικά με όλα τα ρήγματα πρώτης τάξης.

Τέλος, ανάλογα με τη γεωμετρική τους σχέση με τα γειτονικά τους ρήγματα αλλά και την αριθμητική τιμή της μετατόπισης ενός ρήγματος σε σχέση με τη μετατόπιση των άλλων ρηγμάτων, τα ρήγματα μπορούν να διαχωριστούν σε κύρια ρήγματα (*master faults*) και συνοδά ρήγματα (*subsidiary or second order faults*). Τα κύρια ρήγματα εμφανίζουν μεγάλες μετατοπίσεις και η κίνηση κατά μήκος τους μπορεί να συνοδεύεται από κινήσεις σε μικρότερα ρήγματα. Τα συνοδά ρήγματα θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν και ως ρήγματα δεύτερης τάξης.

Οι παραπάνω ταξινομήσεις είναι οι πιο βασικές και ευρέως χρησιμοποιούμενες όσον αφορά στα ρήγματα. Γενικά, στη βιβλιογραφία αναφέρονται ποικίλοι τρόποι ταξινόμησης ρηγμάτων, καθώς ο καθένας από αυτούς στηρίζεται σε διαφορετικά

κριτήρια που προκύπτουν από τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες των ρηγμάτων (π.χ. κλίση, διεύθυνση, τροχιά ολίσθησης, μήκος, μετατόπιση) αλλά και από τα αντίστοιχα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διάταξης στρωμάτων - ρήγματος.

## 2.2 Κριτήρια και ορισμοί ενεργών ρηγμάτων

Τα ρήγματα είναι μια έννοια άμεσα συνδεδεμένη με αυτή των σεισμών. Εάν θέλαμε να δώσουμε έναν απόλυτα απλοποιημένο ορισμό για τα ρήγματα, θα λέγαμε ότι είναι τα μικρά ή μεγάλα σπασίματα που υπέστη ο φλοιός της γης, είτε ο ηπειρωτικός, είτε ο θαλάσσιος, στο διάβα της μακράς του ιστορίας των 4,5 δισεκατομμυρίων ετών, με μήκος από λίγα χιλιοστά έως δεκάδες χιλιόμετρα. Κάποια από τα ρήγματα αυτά, που κάποτε λειτούργησαν κανονικά, σήμερα είναι ανενεργά σε αντίθεση με κάποια νεότερης γεωλογικής ηλικίας ρήγματα (μερικών χιλιάδων ή εκατοντάδων χιλιάδων ετών) του γήινου φλοιού, που επαναδραστηριοποιούνται ανά ορισμένα χρονικά διαστήματα και προκαλούν τους σεισμούς. Τα τελευταία είναι τα λεγόμενα **ενεργά ρήγματα**.

Βαρύνουσας σημασίας είναι η αναγνώριση των ενεργών ρηγμάτων, γεγονός που οδήγησε, μέσω της έρευνας, στην εύρεση κάποιων κριτηρίων, που να την υλοποιούν, τα οποία παρατίθενται παρακάτω.

- **Γεωλογικά κριτήρια:** Γεωλογικά ενεργό θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε ένα ρήγμα, το οποίο επαναδραστηριοποιήθηκε κατά το πρόσφατο παρελθόν, εννοώντας, τουλάχιστον, κατά το Τεταρτογενές. Αυτό διαπιστώνεται παρατηρώντας την ηλικία των σχηματισμών που επηρεάζει, δηλαδή όταν κόβει σχηματισμούς του Ανώτερου Πλειστόκαινου ή και νεότερους.

Άλλος τρόπος πιο έμμεσος με τον οποίο μπορεί να διαπιστωθεί εάν ένα ρήγμα είναι γεωλογικά ενεργό, είναι τα πρόσφατα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, που συνοδεύουν το ενεργό ρήγμα, δηλαδή αναβαθμίδες τεκτονικής προέλευσης, νεοτεκτονικά εξάρματα, νεοσχηματισθείσες

τεκτονικές κοιλάδες, απότομη αλλαγή διεύθυνσης χειμάρρων, τεκτονικά πρηνή με μεγάλες κλίσεις (απότομες πλαγιές), κυματοειδής διάταξη πρόσφατων ιζημάτων που οφείλεται σε τεκτονικά αίτια, τριγωνικές επιφάνειες κ.α.

Η ύπαρξη θερμομεταλλικών πηγών ή αμιδών κατά μήκος ενός ρήγματος αποτελεί επικουρικό στοιχείο για την ένδειξη της ενεργού δράσης του. Επιπλέον, η ανάπτυξη γεωθερμικών πεδίων στην ευρύτερη περιοχή του ρήγματος, όπως επίσης φαινόμενα έντονης διάβρωσης, που εμφανίζονται στο υπερωψωμένο τέμαχος του ρήγματος, χαρακτηρίζουν συνήθως, όχι απαραίτητα, ενεργά ρήγματα.

Είναι ευνόητο ότι η υπαίθρια γεωλογική παρατήρηση είναι σημαντικός παράγοντας για την ανεύρεση επιπρόσθετων γεωλογικών στοιχείων, που να μαρτυρούν την ενεργό δράση ενός ρήγματος, όπως για παράδειγμα οι ιδιαίτερα λειασμένες κατοπτρικές επιφάνειες των ρηγμάτων, που αναπτύσσονται μόνο σε πετρώματα του υπόβαθρου. Ακόμη μεγαλύτερη σημασία θα πρέπει να δοθεί στα γεωχημικά κριτήρια, όπως η εντονότερη έκλυση αερίων (ραδόνιου Rn, μονοξειδίου του άνθρακα CO, ήλιον Hek.α) από βαθύτερα σημεία του φλοιού κατά μήκος ενεργών ρηξιγενών ζωνών καθώς και ο ιδιαίτερος χαρακτήρας του χημισμού θερμομεταλλικών πηγών κατά μήκος ρηγμάτων.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημάνουμε ότι κανένα από τα παραπάνω έμμεσα κριτήρια δεν μπορεί να ληφθεί μόνο του υπόψη για να χαρακτηρίσουμε ένα ρήγμα, ο συνδυασμός, όμως, αυτών με σεισμολογικά, γεωδαιτικά δεδομένα μπορεί να μας οδηγήσει σε αξιόπιστα αποτελέσματα για τον καθορισμό της ενεργού δράσης ενός ρήγματος.

- **Σεισμοϊστορικά κριτήρια:** Οι ιστορικές πηγές που συσχετίζονται με μεγάλους επιφανειακούς σεισμούς μπορούν να αποτελέσουν την εναρκτήριο δύναμη για την ανεύρεση ενεργών ρηγμάτων. Συνήθως

συνδέονται με μετακινήσεις ρηγμάτων, κατολισθήσεις, ρευστοποιήσεις εδαφών, αλλαγές ροής χειμάρρων ή πηγών, ενδείξεις πολύ σοβαρές για το χαρακτηρισμό μίας περιοχής ως ενεργού. Αν μάλιστα οι πληροφορίες αυτές συνδυάζονται με προϋπάρχοντα ρήγματα, τότε υπάρχει σαφής εικόνα για την ύπαρξη ενεργών ρηγμάτων.

- **Γεωφυσικά δεδομένα:** Στην κατανόηση της ενεργού τεκτονικής καθοριστικό ρόλο παίζουν οι βαρυτομετρικές ανωμαλίες ή ακριβείς υπολογισμοί της δομής διαφόρων σεισμοτεκτονικών τεμαχών. Τα σεισμολογικά στοιχεία είναι, όμως, αυτά που μπορούν με ακρίβεια να προσδιορίσουν τη θέση ενεργών ρηγμάτων.
- **Σεισμολογικά κριτήρια:** Μεγάλα δίκτυα σεισμολογικών σταθμών, που έχουν καθορίσει τα επίκεντρα και τα εστιακά βάθη μεγάλων ή και μικρών σεισμών, είναι ικανά να ορίσουν τη θέση ενεργών ρηγμάτων. Επίσης, σεισμικές ακολουθίες (προσεισμοί, μετασεισμοί) που συνδέονται άμεσα με ενεργά ρήγματα μπορούν να προσδιορίσουν την γεωμετρία ενεργών ρηγμάτων με μεγάλη ακρίβεια. Τέλος, μικροσεισμοί ( $1.5 \leq M \leq 3$ ) που έχουν υπολογιστεί από δίκτυο σεισμογράφων μεγάλης ευαισθησίας ή από δίκτυο φορητών σεισμογράφων εγκατεστημένων με μικρή περιοχή (2-5 Km γύρω από τα ρήγματα) καθορίζουν σε ικανοποιητικό βαθμό τα ενεργά ρήγματα. Αντίθετα, η έλλειψη σεισμών δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν στοιχείο για τον καθορισμό ενός ρήγματος ως ανενεργού.
- **Παλαιοσεισμολογικά κριτήρια:** Οι μέθοδοι αυτοί, όπου μπορούν να εφαρμοσθούν, έχουν αξιόπιστα αποτελέσματα και αποδείξεις για τον χαρακτηρισμό των ενεργών ρηγμάτων με ποσοτικές παραμέτρους, όπως είδος παλαιοσεισμών, άλματα, ρυθμό ολίσθησης κ.α.

## 2.3 Ταξινομήσεις ρηγμάτων σε σχέση με την ενεργότητα

Με βάση τα προαναφερόμενα κριτήρια, τα ρήγματα ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες:

1. **Ενεργά ρήγματα:** Είναι τα άμεσα συνδεδεμένα με ισχυρούς σεισμούς ρήγματα (πρόσφατους ή ιστορικούς) ή με σεισμικές ακολουθίες, όταν παρουσιάζουν μικρή αλλά συνεχή μετακίνηση των δύο τεμαχών τους, που διαπιστώνεται με ακριβείς γεωδαιτικές μετρήσεις. Επιπλέον όταν κόβουν πρόσφατα ιζήματα ή ηφαιστειακά πετρώματα τεταρτογενούς ηλικίας (κυρίως Ολοκαίνου) και όταν είναι συνδεδεμένα με ορισμένους ειδικούς γεωμορφολογικούς σχηματισμούς ή θερμές πηγές. Ιδιαίτερη ομάδα αποτελούν τα **Σεισμικά ρήγματα**, για τα οποία υπάρχει άμεση σύνδεση και αποδεδειγμένη ανάδρασή τους κατά τη διάρκεια συγκεκριμένου σεισμού.
2. **Δυνητικώς ενεργά ρήγματα:** Είναι αυτά που συσχετίζονται σε μικρό βαθμό με τους μεγάλους σεισμούς ή συνηθέστερα μόνο με μικροσεισμούς. Επίσης, έτσι χαρακτηρίζονται τα ρήγματα για τα οποία δεν υπάρχουν ιστορικές πληροφορίες για σεισμούς και εδαφικές μετακινήσεις, επηρεάζουν νέα ιζήματα, αλλά δεν έχουν επαναδραστηριοποιηθεί στο πολύ πρόσφατο παρελθόν. Τέλος, δυνητικώς ενεργά ρήγματα θεωρούνται αυτά που τα νέα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά με τα οποία συνδέονται δε διακρίνονται ευκρινώς ή έχουν διαβρωθεί.
3. **Ρήγματα κοινά (ή αδρανή ή άγνωστης δραστηριότητας):** Χαρακτηρίζονται όλα αυτά, για τα οποία δεν πληρούνται επαρκώς τα παραπάνω κριτήρια, ή απουσιάζουν τα στοιχεία για την αξιολόγησή

τους (σεισμολογικές, ιστορικές και γεωλογικές ενδείξεις για επαναδραστηριοποίησή τους στο πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν) .

Πολλές ειδικές επιτροπές, όπως των Η.Π.Α, της Ιαπωνίας, της Κίνας, της Ιταλίας έχουν δώσει διάφορους ορισμούς για τη δράση των ρηγμάτων και τηρούνται αυστηρά στην κατασκευή μεγάλων τεχνικών έργων, κυρίως βέβαια πυρηνικών

Ενεργό ρήγμα (Carable or Active Fault) είναι αυτό, το οποίο είτε παρουσιάζει κίνηση (σεισμική ή μη σεισμική ολίσθηση) στα τελευταία 35.000 χρόνια και περισσότερο από μία φορά τα τελευταία 500.000 χρόνια, είτε είναι συνδεδεμένο με ένα άλλο γνωστό ενεργό ρήγμα, είτε συσχετίζεται με δύο ή και περισσότερα σεισμικά συμβάντα καταγεγραμμένα με σειсмоγράφους έντασης III MM και μεγαλύτερης.

Αντίθετα ένα ρήγμα είναι ανενεργό όταν παρουσιάζει δομική σύνδεση με παλιές γεωλογικά δομές. Η πρόταση προϋποθέτει ότι τα ρήγματα που έχουν σχηματισθεί στα πλαίσια ενός τεκτονικού καθεστώτος, το οποίο έχει πάψει να υπάρχει ή έχει ουσιαστικά αλλάξει, δεν μπορούν να θεωρηθούν ενεργά ακόμη και αν έχουν ένα από τα χαρακτηριστικά της δραστηριότητας.

Η (International Atomic Energy Agency-1988) ορίζει ως ενεργό ρήγμα, εκείνο το οποίο συνδέεται με ιστορικούς σεισμούς (ή παλαιοσεισμούς του Ολοκαίνου) ή με επίκεντρα σεισμών (Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants 75-INSAG-3) και το οποίο είναι ικανό να δώσει σεισμό στο μέλλον.

Οι Ιάπωνες έρχονται σε αντίθεση με τις αμερικανικές επιτροπές πυρηνικής ενέργειας με την έννοια ότι βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στη σεισμικότητα του παρελθόντος -ιστορική και γεωλογική-, στη συχνότητα επανάληψης των σεισμών κ.λ.π. Συνεπώς αυτές οι διαφορές αφορούν και στη ταυτοποίηση της δραστηριότητας των ρηγμάτων. Συγκεκριμένα στην Ιαπωνία ο ορισμός των ενεργών ρηγμάτων ακολουθεί τη συνεχή κλίμακα του ρυθμού μετατόπισης

(ολίσθησης), που καθορίζεται είτε με σεισμολογικές, είτε με γεωλογικές μεθόδους. Οπότε ένας γενικός ιαπωνικός ορισμός που θα μπορούσε να δοθεί για τα ενεργά ρήγματα είναι ότι καθορίζονται σύμφωνα με το ποσό της μετατόπισης τους ανά μονάδα χρόνου, την ολίσθησή τους, τις τεταρτογενείς κινήσεις τους και

Σύμφωνα με τα παραπάνω υπάρχει μια ειδική ταξινόμηση των ρηγμάτων η λεγόμενη **ταξινόμηση κατά MATSUDA**, που είναι η ακόλουθη:

- 1) Ρήγματα με πολύ υψηλή δραστηριότητα** (τύπος AA). Είναι αυτά που ανήκουν σε ζώνες στις οποίες παρατηρείται μια σειρά σεισμών μεγάλων μεγεθών, παρουσιάζουν τους υψηλότερους ρυθμούς ολίσθησης, ανάλογους με αυτούς που παρατηρήθηκαν κατά μήκος των περιθωρίων των περισσότερων λιθοσφαιρικών πλακών, των πιο πολλών ρηγμάτων μετασχηματισμού και του κύριου συστήματος των ρηγμάτων, όπως στο σύστημα ρηγμάτων του Αγίου Ανδρέα στην Καλιφόρνια (ρυθμός ολίσθησης  $> 1\text{cm/yr}$ ).
- 2) Ρήγματα υψηλής δραστηριότητας** (τύπος A). Τους ορισμούς υψηλής δραστηριότητας της Διεθνούς Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας ακολουθεί η ταξινόμηση των ρυθμών μεταξύ  $1\text{cm/yr}$  και  $0,1\text{cm/yr}$ . Η συγκεκριμένη κλίμακα χαρακτηρίζει ρήγματα από μεγάλα ως μέτρια και καθορίζεται εξαιτίας των πολλών γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών που χαρακτηρίζουν τα ενεργά ρήγματα. Το διάστημα επαναδραστηριοποίησης για σεισμούς μεγέθους 7 σε ένα δεδομένο τμήμα κατά μήκος των ρηγμάτων, συνήθως μετριέται σε εκατοντάδες ή χιλιάδες χρόνια και η πιθανότητα σεισμού μεγέθους 7 σε ένα τμήμα ή σε ολόκληρη τη ζώνη του ρηγματος μετριέται σε πολλές δεκάδες μέχρι εκατοντάδες χρόνια. Τέτοιες υψηλές ταχύτητες ολίσθησης πρέπει να μελετούνται για τις πιο πολλές μηχανικές κατασκευές, και αν ακόμα το διάστημα επαναδραστηριοποίησης μπορεί να είναι μεγαλύτερο από την αναμενόμενη ζωή της κατασκευής.

- 3) **Ρήγματα μέτριας δραστηριότητας** (τύπος B). Η ταξινόμηση των ρυθμών μεταξύ  $0,1 \text{ cm/yr}$  και  $0,01 \text{ cm/yr}$  ορίζεται ως μέτρια. Αυτή η κλίμακα ρυθμών περιλαμβάνει ρήγματα που γενικά έχουν καλά ανεπτυγμένα τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της δραστηριότητας τους. Το διάλειμμα επαναδραστηριοποίησης σ' ένα δεδομένο σημείο του ρήγματος μεταξύ σεισμών μεγέθους 7 ή μεγαλύτερου, γενικά μετριέται σε πολλές δεκάδες χιλιάδες χρόνια μέχρι εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια. Αυτός ο μέτριος ρυθμός επαναδραστηριοποίησης είναι πιο μεγάλος από την αναμενόμενη ζωή των περισσότερων μηχανικών κατασκευών, αλλά πρέπει να μελετάται για τις περισσότερες δομές.
- 4) **Ρήγματα χαμηλής δραστηριότητας** (τύπος C). Η ταξινόμηση των ρυθμών μεταξύ  $0,01$  και  $0,001 \text{ cm/yr}$  θεωρείται χαμηλή. Σ' αυτή την κλίμακα ρυθμών μετατόπισης, οι γεωμορφολογικές μαρτυρίες της δραστηριότητας είναι γενικά σποραδικές, αβάσιμες ή ελλιπείς. Το διάστημα επανάληψης μεταξύ σεισμών μεγέθους 7 ή μεγαλύτερων, σ' ένα ορισμένο τμήμα του ρήγματος, γενικά μετριέται σε πολλές δεκάδες χιλιάδες μέχρι εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια. Το επιτρεπόμενο μηχανικό όριο για τα ρήγματα αυτής της κλίμακας είναι γενικά περιορισμένο μόνο για σημαντικές δομές, όπως οι πυρηνικοί σταθμοί και τα φράγματα που είναι ζωτικής σημασίας κατασκευές.
- 5) **Ρήγματα άκρως χαμηλής δραστηριότητας ή ανενεργά**. Αυτή η κλίμακα δραστηριότητας περιλαμβάνει ρυθμούς μικρότερους από  $0,001 \text{ cm/yr}$ . Αντιπροσωπεύει ρυθμούς παραμορφώσεων τεσσάρων ή περισσότερων τάξεων χαμηλότερου μεγέθους απ' ό,τι αυτούς των ζωνών των πολύ υψηλής δραστηριότητας και περιλαμβάνει τα ρήγματα που έχουν πολύ χαμηλούς ρυθμούς δράσης ή ρήγματα που είναι γεωλογικά ανενεργά. Είναι γενικά δύσκολο να εκτιμήσουμε την αδράνεια ή τον πολύ μικρό ρυθμό δραστηριότητας, για παράδειγμα ακόμη και κοντά στις αρχικές τιμές που δίνει η ταξινόμηση της αμερικανικής ρυθμιστικής επιτροπής πυρην-



νικής ενέργειας (U.S. NRC). Ρήγματα αυτού του τύπου μπορούν να εμφανιστούν σε σχετικά αδρανείς ζώνες κοντά στα περιθώρια των ενεργών περιοχών ή σε σχετικά σταθερές περιοχές κατά μήκος των πιο πρόσφατων περιοχών τεκτονικής δραστηριότητας. Για τις περισσότερες μηχανικές δομές, ρήγματα αυτού του τύπου μπορούν να ομαδοποιηθούν ως "πιθανά ή (πρακτικά) ανενεργά", όταν δεν μπορούμε να έχουμε καθοριστικά δεδομένα που να αποδεικνύουν την αδρανή τους κατάσταση. Ο μηχανικός σχεδιασμός για τέτοια ρήγματα χαμηλής δραστηριότητας απαιτείται μόνο για κύριες κατασκευές, όπως πυρηνικοί αντιδραστήρες, μεγάλα φράγματα και κυματοθραύστες. Σ'αυτές τις περιπτώσεις απαιτείται να προφυλαχθούν πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπου μια αποτυχία στα έργα αυτά θα επιδρούσε στην ασφάλεια και στις ζωτικής σημασίας λειτουργίες μεγάλου αριθμού ανθρώπων.

Σύμφωνα με τον Σπύρο Β. Παυλίδη( Γεωλογία των Σεισμών) και τους Παυλίδης Σπ. & Μουντράκης Δημ (Νεοτεκτονική, Εισαγωγή στη μελέτη των πρόσφατων γεολογικών δομών), αναφέρονται στη συνέχεια και ορισμένοι άλλοι ορισμοί των ενεργών ρηγμάτων, που δίνονται παρακάτω:

1. **Nikonov (Ρωσία)**. Ως ενεργό ρήγμα ορίζεται το ρήγμα με επιφανειακή έκφραση ή στο εσωτερικό του φλοιού (τυφλό ρήγμα) που παρουσιάζει ενδείξεις κίνησης κατά τη διάρκεια των τελευταίων εκατοντάδων ή χιλιάδων ετών, μετατόπιση που κυμαίνεται από 0.1-0.5 m ανά σεισμικό γεγονός και με ένα ρυθμό ολίσθησης τουλάχιστον λίγων mm/yr.
2. **Bolt 1997/1999 (Αμερική)**. Ενεργά ρήγματα είναι εκείνα που εμφάνισαν κάποια δραστηριότητα στη πρόσφατη γεωλογική χρονική περίοδο (κυρίως Ολόκαινο) και είναι πιθανόν να επαναδραστηριοποιηθούν στο μέλλον.
3. **Research Group of Active Faults in Japan**. Ως ενεργά ρήγματα χαρακτηρίζονται τα ρήγματα που παρουσιάζουν ολίσθηση κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς (τελευταία 1-2 εκατομμύρια χρόνια).

4. **Οι χάρτες ενεργών ρηγμάτων της Ρωσίας** χαρακτηρίζουν ως ενεργά ρήγματα αυτά που παρουσιάζουν αποδείξεις τεκτονικών κινήσεων στο Ολόκαινο κυρίως, αλλά και ενδείξεις για το χρονικό διάστημα του Τεταρτογενούς με έμφαση τα 100.000 χρόνια (Trifonov 1993).
5. Ενεργά ρήγματα θεωρούνται αυτά που έχουν ενεργοποιηθεί πολύ πρόσφατα (διακρίνονται από αυτά του Τεταρτογενούς και τα νεοτεκτονικά γενικά) και δείχνουν κίνηση σήμερα, η οποία έχει καταγραφεί με συγκεκριμένα όργανα με γεωφυσικές, γεωδαιτικές ή άλλες μεθόδους και έχουν τεκμηριωθεί με συγκριτικές παρατηρήσεις από χάρτες που έγιναν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους (Nemeyanov 1992).
6. **Στον ΑΤΛΑΝΤΑ ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΚΙΝΑΣ**, (1989) δέχονται ως ενεργά ρήγματα όλα σχεδόν τα ρήγματα που έδωσαν κάποια κίνηση κατά τη διάρκεια των νεοτεκτονικών χρόνων μέχρι και το Πλειόκαινο-Τεταρτογενές.

Οι αντισεισμικοί κώδικες των Δυτικών ΗΠΑ (Western States Seismic Policy Council) διαχωρίζουν τα ενεργά ρήγματα σε τρεις (3) μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με το βαθμό ενεργότητάς τους και κατά συνέπεια του βαθμού επικινδυνότητάς τους:

- Ολοκαινικά ενεργά ρήγματα (με άλμα στα τελευταία 10.000 χρόνια)
- Υστεροτεταρτογενή (με δραστηριότητα στα τελευταία 130.000 χρόνια), και
- Τεταρτογενή ενεργά ρήγματα (αυτά που παρουσιάζουν δραστηριότητα επιφανειακές μετακινήσεις - κατά την Τεταρτογενή περίοδο (1.600.000 χρόνια).

Τέλος, σύμφωνα με τους κανονισμούς της πολιτείας της Καλιφόρνιας, περιοχή με την παγκοσμίως μεγαλύτερη και πιο αξιόπιστη έρευνα στα ενεργά ρήγματα (Title 14, Article 3. Policies and Criteria of the State Mining and Geology board),

ενεργό θεωρείται ένα ρήγμα, το οποίο παρουσιάζει επιφανειακή μετατόπιση κατά τη διάρκεια του Ολοκαίνου (περίπου τα τελευταία 11.000 χρόνια), καθιστώντας το μια πιθανή πηγή σεισμικής απειλής στις κατασκευές που είναι κτισμένες κατά μήκος του. Ίχνος του ρήγματος θεωρείται η γραμμή που σχηματίστηκε από τη διατομή του ρήγματος με την ελεύθερη επιφάνεια της Γης.

## 3. ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

### 3.1 Σεισμικότητα και Νεοτεκτονική έρευνα

Ένα από τα πιο καταστροφικά φυσικά φαινόμενα, που ευθύνεται για εκτεταμένες καταστροφές, χιλιάδες θανάτους και σημαντικά οικονομικά και κοινωνικά αποτελέσματα σε όλο τον κόσμο, αποτελούν οι σεισμοί.

Η κύρια αιτία της δημιουργίας τους είναι ο μετασχηματισμός της θερμικής ενέργειας σε μηχανικές δυνάμεις, αφού γνωρίζουμε ότι η γη λειτουργεί σαν θερμοδυναμική μηχανή. Προσπαθώντας, λοιπόν, τα γεωλογικά υλικά να αντισταθούν στις εξασκούμενες τεκτονικές δυνάμεις (τάσεις), υφίστανται ξαφνική θραύση, τη λεγόμενη αστοχία. Για κάποιο διάστημα χρόνου ή και για πολλά χρόνια, συσσωρεύονται οι τάσεις κατά μήκος γνωστών ενεργών περιοχών του φλοιού της γης. Φυσιολογικά, θα έπρεπε να προηγείται της αστοχίας μια αλλαγή στο βαθμό παραμόρφωσης των πετρωμάτων, γεγονός που δεν καθίσταται γνωστό, εξαιτίας της περιορισμένης, χρονικά και τοπικά, επέκτασης και της μεγάλης σημασίας των αλλαγών στο βαθμό παραμόρφωσης, που προηγείται των σεισμών.

Υπάρχει άμεση συσχέτιση αυτών των τεκτονικών γεγονότων με ενεργές τεκτονικές δομές και διαδικασίες, η αξιολόγηση των οποίων είναι ιδιαίτερως σημαντική για κάποιες από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Στα πλαίσια της Σεισμολογίας οι όροι «σεισμικότητα» και «σεισμική επικινδυνότητα» ορίζονται με ποικίλους τρόπους. Σεισμικότητα είναι το μέτρο της σεισμικής δράσης που δίνει πληροφορίες για τη συχνότητα επανάληψης των σεισμών. Η σεισμικότητα κάθε περιοχής καθορίζεται είτε μελετώντας τα δεδομένα σεισμικών παραμέτρων των σεισμών μέσω δικτύων σεισμολογικών σταθμών είτε λαμβάνοντας υπόψη ιστορικούς σεισμούς και αρχαιολογικές πληροφορίες.

Το δείγμα, όμως, των ιστορικών δεδομένων σε σχέση με τη γεωλογική ιστορία της γης είναι μικρό, γεγονός που έστρεψε τις έρευνες στην αναζήτηση

γεωλογικών κριτηρίων που θα αποσαφηνίσουν πληρέστερα την σεισμικότητα της κάθε περιοχής.

Οι θέσεις παλαιότερων γεωλογικών ρηγμάτων αποτελούν βασικό στοιχείο για τον καθορισμό των θέσεων πιθανών μελλοντικών διαρρήξεων χωρίς αυτό να σημαίνει ότι όλα τα γνωστά γεωλογικά ρήγματα είναι θέσεις μελλοντικής τεκτονικής δράσης. Τα τελευταία χρόνια οι γεωεπιστήμονες έχουν συνειδητοποιήσει ότι οι περισσότεροι μεγάλοι επιφανειακοί σεισμοί είναι άμεσα συνδεδεμένοι με προϋπάρχοντα ενεργά ρήγματα, που δραστηριοποιήθηκαν αρκετές φορές στο πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν.

Τέτοια παραδείγματα στη χώρα μας είναι ο σεισμός της Αιγιαλείας του 1861, της Αταλάντης του 1894, του Στρατωνίου – Σταγείρων του 1931, της Εκκάρας στη ΝΔ Θεσσαλία του 1954, της Θεσσαλονίκης (Μυγδονία) του 1978, της Μαγνησίας (Αγχιάλος) του 1980, του Κορινθιακού κόλπου (Περαχώρας - Καπαρελίου) του 1981 και Κοζάνης – Γρεβενών 1995.

Υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες η σχέση μεταξύ σεισμών και μεγάλων νεοτεκτονικών ρηγμάτων είναι τόσο εμφανείς, ιδιαίτερα εκείνων που παρουσίασαν δραστηριότητα κατά το Τεταρτογενές, γεγονός το οποίο καθιστά τα γεωλογικά δεδομένα απαραίτητα και ιδιαίτερα χρήσιμα ώστε να μελετηθεί η σεισμικότητα της περιοχής. Για το σχεδιασμό οικοδόμησης μεγάλων έργων (φράγματα, γέφυρες, πυρηνικά εργοστάσια), τα γεωλογικά δεδομένα παίζουν επίσης πρωτεύοντα ρόλο.

Ο συνδυασμός σεισμολογικών, σειсмоϊστορικών και γεωλογικών δεδομένων δίνει μια ολοκληρωμένη εικόνα για την σεισμικότητα μίας περιοχής. Συνεπώς η ευρύτερη έννοια της σεισμικότητας περιλαμβάνει τις παρακάτω υποέννοιες:

- **Γεωλογική σεισμικότητα**, που αναφέρεται στα σεισμοτεκτονικά γεγονότα που συνέβησαν στο χρονικό διάστημα από  $10^6$  μέχρι πάνω από  $10^3$  χρόνια. Η παλαιοσεισμολογία έπαιξε καθοριστικό ρόλο για τον ποσοτικό προσδιορισμό της.

- **Ιστορική σεισμικότητα**, που είναι βασισμένη στα ιστορικά καταγεγραμμένα ιστορικά συμβάντα, τα οποία αναφέρονται στη χρονική περίοδο πριν  $10^3$  με  $10^2$  χρόνια. Στην κατηγορία αυτή μπορεί να ενταχθεί και η αρχαιολογική σεισμικότητα.
- **Σύγχρονη (ή ενόργανη) σεισμικότητα**, η οποία είναι γνωστή για το διάστημα  $10^2$  με  $10$  χρόνια και αναφέρεται στους σεισμούς που έχουν καταγραφεί με σεισμολογικά όργανα και σύγχρονες μεθόδους.

Επομένως, για να υπάρχει μια ολοκληρωμένη γνώση της σεισμικότητας και κατ' επέκταση της σεισμικής επικινδυνότητας, σημαντική είναι μια εμπειριστατωμένη ανάλυση όλων των γεωλογικών δεδομένων και πληροφοριών. Ξεχωριστή, βέβαια, θέση κατέχουν τα νεοτεκτονικά στοιχεία και ιδιαίτερα εκείνα που αναφέρονται στο καθορισμό των ενεργών ρηγμάτων.

### 3.2 Σεισμική Επικινδυνότητα

Σεισμική επικινδυνότητα (seismic hazard) σε μια θέση, όπου υπάρχει ή πρόκειται να γίνει μια τεχνική κατασκευή, είναι μια ποσότητα,  $H$ , της οποίας μέτρο αποτελεί η αναμενόμενη ένταση της σεισμικής κίνησης στη θέση αυτή. Η ένταση αυτή μπορεί να μετρηθεί με την αναμενόμενη εδαφική επιτάχυνση,  $\gamma$ , ή την εδαφική ταχύτητα,  $u$ , ή την εδαφική μετάθεση,  $s$ , της σεισμικής κίνησης ή με την αναμενόμενη μακροσεισμική ένταση,  $I$ .

Το αναμενόμενο τελικό αποτέλεσμα της σεισμικής κίνησης σε μια θέση (βλάβες στις τεχνικές κατασκευές, θάνατοι, κλπ) ονομάζεται σεισμικός κίνδυνος,  $R$  (seismic risk) και εξαρτάται από τη σεισμική επικινδυνότητα της θέσης αυτής και από τις ιδιότητες της ίδιας της κατασκευής (ποιότητα της κατασκευής, ιδιοπερίοδο, απόσβεση, πλαστικότητα). Το μέτρο των ιδιοτήτων αυτών της κατασκευής ονομάζεται τρωτότητα,  $V$  (vulnerability) της τεχνικής κατασκευής. Για

το λόγο αυτό, ο σεισμικός κίνδυνος,  $R$ , θεωρείται ως συνέλιξη της σεισμικής επικινδυνότητας,  $H$ , και της τρωτότητας,  $V$ . Δηλαδή,  $R = H \cdot V$

Στόχος των σχετικών επιστημών και της τεχνικής σήμερα είναι η όσο το δυνατόν ελάττωση των συνεπειών των σεισμών, δηλαδή, η μείωση του σεισμικού κινδύνου,  $R$ . Αυτό, θεωρητικά, είναι δυνατόν να γίνει με ελάττωση των  $V$  και  $H$ , αλλά στην πράξη μόνο την τρωτότητα των κατασκευών μπορούμε να ελαττώσουμε. Αυτό, γιατί η σεισμική επικινδυνότητα καθορίζεται από φυσικούς παράγοντες (σεισμικότητα, ιδιότητες της σεισμικής εστίας και του μέσου διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, ιδιότητες του εδάφους θεμελίωσης), τους οποίους ο άνθρωπος αδυνατεί να μεταβάλει, προς το παρόν τουλάχιστον. Όμως, οι παράγοντες αυτοί έχουν μελετηθεί και έχουν γίνει κατανοητοί σε σημαντικό βαθμό.

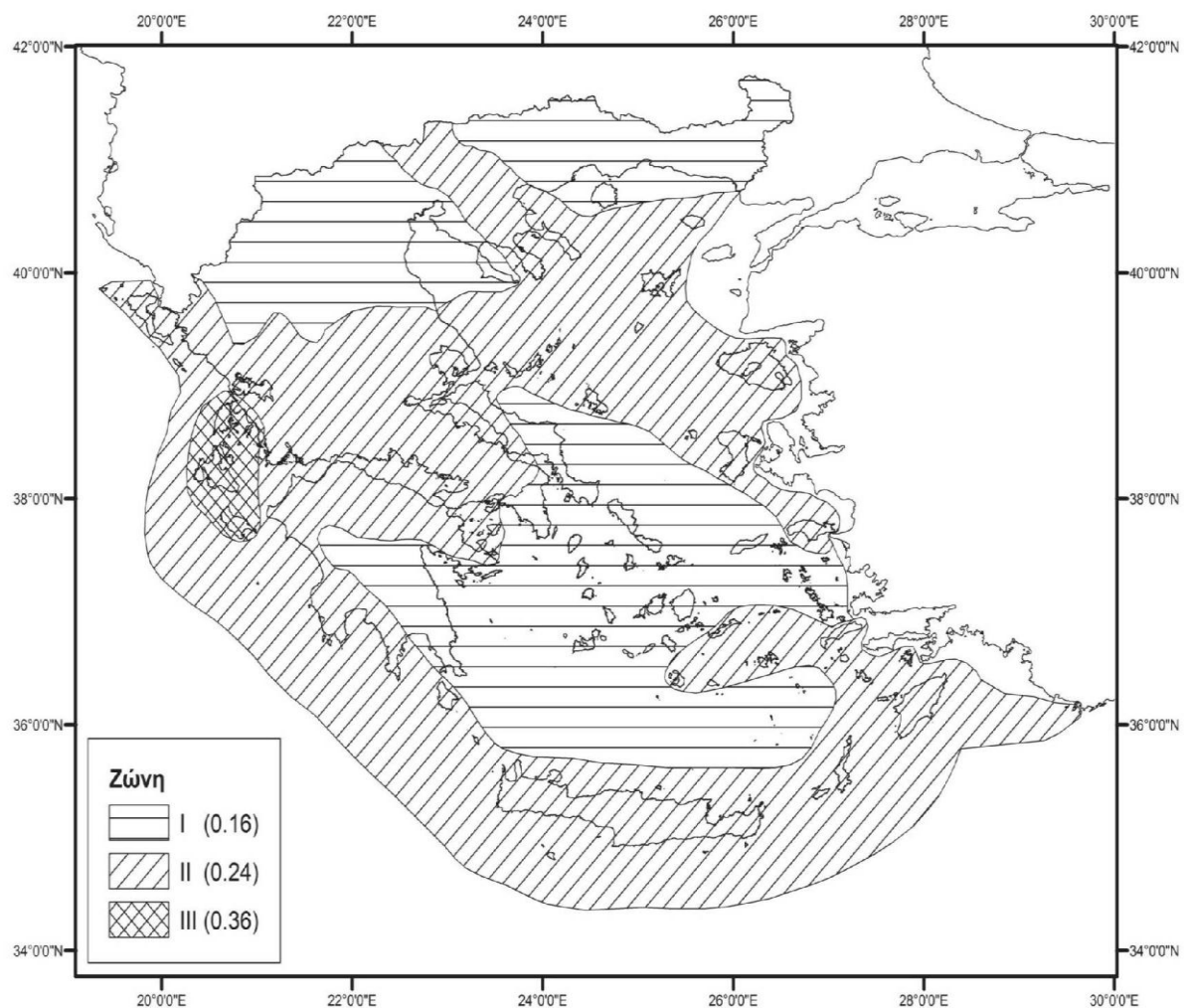
Η τρωτότητα αποτελεί αντικείμενο μελέτης της Αντισεισμικής Μηχανικής. Κατά κύριο λόγο οι μηχανικοί είναι αυτοί που έχουν την αρμοδιότητα να προτείνουν τρόπους ελαχιστοποίησης της τρωτότητας των κτιρίων χωρίς υπερβολικό κόστος. Για να γίνει αυτό, είναι απαραίτητο να υπάρχουν όσο το δυνατόν ακριβέστερες πληροφορίες για τη σεισμική επικινδυνότητα στη θέση της τεχνικής κατασκευής. Η σεισμική επικινδυνότητα αποτελεί αντικείμενο της Τεχνικής Σεισμολογίας και συνεπώς αποτελεί, κατά κύριο λόγο, αντικείμενο μελέτης των σεισμολόγων.

Επιδιώκεται, συνήθως, η εφαρμογή των ακόλουθων δύο αρχών:

α) Η τεχνική κατασκευή να μην πάθει βλάβη ή να πάθει μικρή βλάβη (εύκολα επισκευάσιμη) από την πιθανότερη αναμενόμενη σεισμική κίνηση κατά το χρόνο ζωής της (π.χ. 60 χρόνια).

β) Η τεχνική κατασκευή να μην καταρρεύσει από την αναμενόμενη μέγιστη δυνατή σεισμική κίνηση στη θέση κατασκευής της.

Οι σεισμολογικοί φορείς της χώρας πρότειναν επίσης χωρισμό της χώρας σε τρεις ( III, II, I) κατηγορίες ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας (Εικόνα 16).



**Εικόνα 16: Οι τρεις κατηγορίες ( III, II, I) ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας στις οποίες χωρίσθηκε ο ελληνικός χώρος (κατά ΕΑΚ, 2000).**



### 3.3 Σύνδεση νεοτεκτονικής και ενεργού τεκτονικής

Τα νεοτεκτονικά δεδομένα και συμπεράσματα, και κυρίως τα ποσοτικά προσδιορισμένα, μπορούμε να τα συγκρίνουμε με τα αντίστοιχα σεισμολογικά. Η νεοτεκτονική ανάλυση των ρηγμάτων προσδιορίζει το πεδίο των τάσεων, το οποίο είναι ανάλογο με το προσδιοριζόμενο από τους μηχανισμούς γένεσης πεδίο των μεγάλων επιφανειακών σεισμών και από τις απευθείας στη φύση μετρήσεις των τάσεων.

Πολλοί ερευνητές προσπάθησαν να αποδείξουν το συσχετισμό των τεκτονικών τάσεων από τους μηχανισμούς γένεσης των σεισμών με αυτών της νεοτεκτονικής ανάλυσης, ειδικά των τεταρτογενών ρηγμάτων. Στις προσπάθειες αυτές συμμετείχαν και Έλληνες ερευνητές, με ένα από τα κυριότερα παραδείγματα αυτό του σεισμού στη Θεσσαλονίκη το 1978 (Mercier et al 1980). Το συμπέρασμα στο οποίο έφτασαν ήταν ότι οι κύριες διευθύνσεις των τάσεων, άξονες  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ , που ήταν αποτέλεσμα της ποσοτικής ανάλυσης των τεταρτογενών ρηγμάτων, συνέπιπταν αρκετά με τις λύσεις των μηχανισμών γένεσης επιφανειακών σεισμών, που συνέβησαν στην ευρύτερη περιοχή, καθώς και με σεισμούς άμεσα συνδεδεμένους με τα μελετηθέντα ρήγματα. Έτσι, η ποσοτική ανάλυση των πρόσφατων ρηγμάτων, με βαρύτητα σε αυτά της Ύστερης Τεταρτογενούς περιόδου, είναι μία πηγή πληροφοριών για το ενεργό πεδίο τάσεων σε περιοχές που δεν έχουμε γνώση ούτε από ιστορικούς σεισμούς, αλλά ούτε και από σύγχρονη σεισμική δράση.

Αν σκεφτούμε, λοιπόν, τη σημαντικότητα της λεπτομερούς μελέτης των ρηγμάτων που έδρασαν κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς με έμφαση στο Ανώτατο Πλειστοκαίνο-Ολόκαινο, που εκτείνει στο παρελθόν τα ιστορικά και σεισμολογικά δεδομένα, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται σε μελέτες σεισμικότητας και σεισμικής επικινδυνότητας, καταλήγουμε ότι η ύπαρξη νεοτεκτονικών χαρτών εμφανίζουν μεγάλο ενδιαφέρον. Οι χάρτες αυτοί εκτός της αποτύπωσης σημαντικών στοιχείων, όπως τα ενεργά ρήγματα, τα πιθανά ενεργά ρήγματα, οι θερμές πηγές κ.α, που περιλαμβάνουν, βοηθούν και στον εντοπισμό

περιοχών σεισμοτεκτονικά επικίνδυνων. Έτσι, Η σεισμολογική ανάλυση παρέχει πληροφορίες μόνο για την σημερινή κατάσταση του φλοιού, ενώ σε συνδυασμό με τη τεκτονική επεκτείνονται οι πληροφορίες αυτές και στο γεωλογικό χρόνο.

### **3.4 Συσχετισμοί μεγεθών σεισμών – ρηγμάτων – σεισμικών μετατοπίσεων**

#### **3.4.1 Μήκος- Μετατόπιση ρηγμάτων και ο συσχετισμός τους με τους σεισμούς**

Τα μήκη των επιφανειακών διαρρήξεων που δημιουργήθηκαν μετά από σεισμούς, κατά μήκος γνωστών γεωλογικών ρηγμάτων, ποικίλλουν πολύ (γενικά φτάνουν μέχρι 60 km). Εξαίρεση αποτέλεσε ο σεισμός της Αλάσκας (1962,  $M=8.6$ ), όπου η παραμόρφωση του φλοιού και οι μετατοπίσεις έλαβαν χώρα σε μια απόσταση 1000 km. Επειδή είναι γενικά αποδεκτό ότι οι σεισμοί μικρού βάθους προκαλούνται από την ελαστική ανάπαλαση (elastic rebound), που λαμβάνει χώρα στα ρήγματα, πολλοί επιστήμονες προσπάθησαν να συσχετίσουν το μήκος της διάρρηξης με το μέγεθος του σεισμού.

Γενικά, η σχέση μεταξύ της επιφανειακής διάρρηξης ( $L$ ) και της ενέργειας που εκλύεται (μέγεθος,  $M_s$ ) από σεισμούς μικρού εστιακού βάθους είναι λογαριθμική, του τύπου

$$M_s = A + B \cdot \log L,$$

όπου  $A$  και  $B$  είναι εμπειρικές σταθερές (βλέπε πίνακα 1 σελίδα 53).

Προσπάθειες έγιναν επίσης να συσχετισθούν οι επιφανειακές μετατοπίσεις στα ρήγματα, δηλ. άλματα ( $D$ ) και τα μήκη των ρηγμάτων ( $L$ ), με το μέγεθος μεμονωμένων σεισμικών γεγονότων.

Οι ολισθήσεις των τεμαχών των διάφορων ρηγμάτων δημιουργούν τα στιγμιαία τεκτονικά γεγονότα που είναι οι σεισμοί. Ο ρόλος των ενεργών ρηγμάτων σ' αυτή τη διαδικασία και ο τρόπος της διάρρηξης δεν είναι απόλυτα γνωστοί και αποτελούν σήμερα ένα πεδίο εντατικής έρευνας.

Από πολλούς ερευνητές έγιναν προσπάθειες για να βρεθούν σχέσεις μεταξύ της επιφανειακής εμφάνισης των σεισμογόνων ρηγμάτων και των αντίστοιχων μεγεθών (M) των επιφανειακών σεισμών που οφείλονται σ' αυτά.

Ένας γενικός τύπος που ισχύει για ολόκληρο τον κόσμο είναι ο ακόλουθος:

$$\log L D^2 = 1.9M - 2.65$$

όπου L το μήκος του ρήγματος (σε cm), D η σεισμική μετατόπιση του ρήγματος (σε cm) και M το μέγεθος του σεισμού ( $8 > M > 5$ ).

Για τη Μέση Ανατολή (συμπεριλαμβανόμενης και της Ελλάδας) έχει προταθεί ο τύπος

$$M_s = 1.1 + 0.41 \log (L^{1.58} R^2)$$

όπου  $M_s$  το επιφανειακό μέγεθος του σεισμού, L το μήκος του ρήγματος (σε km) και R η μέγιστη μετατόπιση του ρήγματος (σε cm).

Ειδικότερα για τον Ελλαδικό χώρο δόθηκαν οι εμπειρικές σχέσεις (βλέπε Παπαζάχος & Παπαζάχου 1989/2003, Ambraseys & Jackson 1998 κ.α.).

$$\log L = 0.61 M_s - 2.55 \quad 5.8 < M_s < 7.5$$

$$\text{ή } \log L = 0.51 M_w - 1.85$$

$$M_s = 1.96 \log L + 3.6 \text{ και}$$

$$M_s = 1.22 \log MD + 4.52$$

Για τον ευρύτερο χώρο του Αιγαίου οι Pavlides et al (2000), και Pavlides & Caputo (2003) δίνουν τις σχέσεις:

$$M_s = 0,90 \log L + 5,48 \text{ ή}$$

$$M_s = 0,6 \log L + 5,89 \text{ και}$$

$$M_s = 0,48 \log MD + 6,19$$

Για κανονικά ρήγματα και για  $6,0 \leq M_s \leq 7,2$

Για τον ευρύτερο χώρο της Ανατολικής Μεσογείου οι Ambraseys and Jackson (1998) δίνουν την αντίστοιχη σχέση

$$M_s = 0,78 \log MD + 5,21$$

Από παγκόσμια δεδομένα (για κανονικά ρήγματα) οι Wells and Coppersmith (1994) δίνουν:

$$M_s = 1,32 \log L + 4,86 \text{ και}$$

$$M_s = 0,7 \log MD + 6,61, \text{ όπου MD μέση μετατόπιση (άλμα).}$$

Τα άλματα των ρηγμάτων συνδέονται άμεσα μ' αυτά τα ίδια τα σεισμικά γεγονότα. Το άθροισμα των σεισμικών γεγονότων σ' ένα ρήγμα είναι ανάλογο με το σύνολο του άλματος του ρήματος και ο ρυθμός ολίσθησης των ρηγμάτων μιας περιοχής σχετίζεται με τη σεισμικότητα της περιοχής.

### 3.4.2 Προβλήματα στους σεισμοτεκτονικούς συσχετισμούς

Η σχέση μεταξύ της σεισμικότητας και της γεωλογικής δομής είναι προφανής, γιατί οι περισσότεροι σεισμοί συμβαίνουν σε περιοχές όπου υπάρχουν ενεργά ρήγματα. Αλλά ο συσχετισμός μεταξύ των ρηγμάτων και των σεισμικών γεγονότων μπορεί να είναι αδύνατος, σε ορισμένες περιπτώσεις, για τους παρακάτω λόγους, (Allen et al., 1965).

1. Τα σεισμικά γεγονότα στο βάθος μπορεί να μην αντικατοπτρίζονται αμέσως στην επιφανειακή μορφολογία.
2. Η καταγραφείσα σεισμική ιστορία μιας περιοχής μπορεί να μην περικλείει μεγάλο χρονικό διάστημα, έτσι ώστε να μπορεί να αναπαραστήσει την πραγματική σεισμικότητα.
3. Οι σεισμοί μπορεί να μην επαναλαμβάνονται σε προϋπάρχουσες διαρρήξεις.
4. Από τα γεωλογικά στοιχεία και μόνο είναι δύσκολο να ερμηνευθεί το πόσο πρόσφατη είναι η μετατόπιση στο ρήγμα, και επομένως είναι δύσκολο να ερμηνευθεί ο βαθμός "δραστηριότητας" του ρήγματος.
5. Οι μηχανισμοί γένεσης των σεισμών σε μερικές περιοχές μπορεί να είναι πιο πολύπλοκοι από ότι συνήθως περιγράφονται με την απλή θεωρία της ελαστικότητας.
6. Η σεισμική ολίσθηση (σταδιακή ολίσθηση κατά μήκος του ρήγματος χωρίς αυτή να συνοδεύεται από σεισμούς) μπορεί επίσης να είναι μια σημαντική τεκτονική διεργασία.
7. Μεγάλοι σεισμοί μπορούν να συμβούν σε ρήγματα που κόβουν την επιφάνεια της Γης, αλλά επίσης μπορούν να συμβούν και σε "τυφλά" (θαμμένα) ρήγματα, κυρίως κάτω από πτυχωμένους σχηματισμούς. Αυτοί είναι γνωστοί ως "κρυμμένοι σεισμοί".

Πίνακας1: Εμπειρικές σχέσεις μεταξύ μήκους ρήγματος (L) και μεγέθους σεισμού (Ms) για διάφορες περιοχές:

<b>Αναφορά</b>	<b>Εξίσωση</b>
<b>Wyss and Brune (1968)</b>	<b><math>ML = 1.9 \log L(\text{cm}) - 6.7</math> California-Nevada <math>M_c = 3-6</math></b>
<b>Enescu (1977)</b>	<b><math>\log L(\text{cm}) = 0.38 M_s + 3.85</math> περιοχή Vrancea</b>

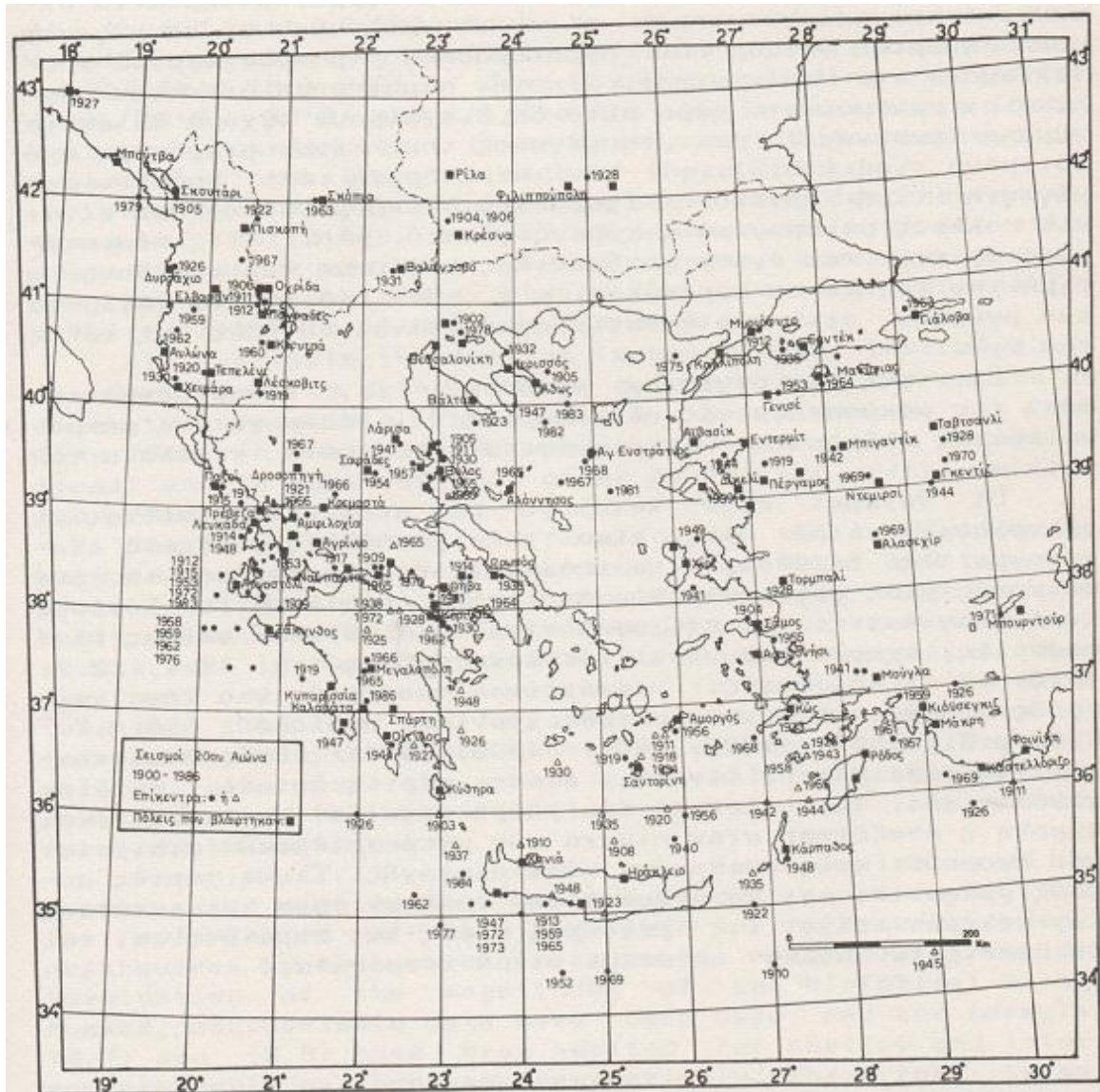
		$\log S(\text{cm}^2)=0.76M_s+7.42$ Πουμανία
Ambraseys Zatopek	and	$M_s=0.88\log L(\text{km})+5.62$ Τουρκία $M_s=5.8-8.0$
Bollinger (1968)		$M_s=0.79\log(Km)+6.04$ $M_s=5-8$
King (1968. 1969)	and Knopoff	$\log(LD2)=2.24M_s-4.99$ $M_s=5.5-8.5$ L(cm)
		$\log(LD)=1.70M_s-3.47$ D(cm)max
Chinnery (1969)		$M_s=0.57\log(LD2)+0.84$ $M_s=3-8$ L(cm)
		$M_s=1.04\log D+4.96$ D(cm) W(cm)
		$M_s=0.79\log(LDW)-4.74$ Strike slip
Housner (1970)		$\log L(Km)=0.43M_s-1.54$ $M_s < 6.4$
		$\log L(Km)=0.87M_s-4.45$ $M_s > 6.4$
Schick (1970)		$M_s=2\log L(Km)+3.5$ Γερμανία
Shebalin (1971)		$\log L(Km)=0.5M_s-1.8$
		$\log W(Km)=0.3M_s-0.25$ logh -0.5
Ozawa (1972)		$M_s=0.76\log L(Km)+6.35$ Kyoto, Ιαπωνία
Douglas (1975)	and Ryall	$\log L(Km)=0.395M_s-1.454$ $M_s < 6.4$ Nevada
		$\log L(Km)=0.9M_s-4.673$ $M_s > 6.4$
Matsuda (1975)		$\log D(m)=0.6M_s-4.0$ Ιαπωνία
		$\log L(Km)=0.6M_s-2.9$

---

<b>McKeown (1975)</b>	$\log L(\text{cm})=0.56M_c+2.73$ Nevada
<b>Nikonov (1975)</b>	$M_s-0.97\log L(\text{Km})+6.3$ Ασία $M_s=6-8.5$
	$M_s=0.9\log D(\text{cm})+5.43$
<b>Patwardham et al. (1975)</b>	$\log L(\text{Km}) = (M_s-2.88)/2.7$ $M_s<6.4$
	$\log L(\text{Km})=(M_s-5.13)/1.11$ $M_s>6.0$
<b>Drimmel (1979)</b>	$M_s=2\log L(\text{Km})+1.7$ Alps $M_s<7$
<b>Wyss (1979)</b>	$M_s=\log LW(\text{Km}^2)+4.15$ $M_s>5.6$
<b>Kiratzis et al. (1985)</b>	$\log L(\text{Km})=0.61 M_s-2.55$ για Ελλάδα και
	για σεισμούς $5.8<M_s<7.5$
<b>Pavlidis et al. 2000</b>	$M_s=0.6 \log L + 5.89$ Αιγαίο για σεισμούς $6<M_s<7.0$

### 3.5 Σεισμικά Ρήγματα του Ελλαδικού Χώρου - Επιφανειακές Παραμορφώσεις

Η χώρα μας διασχίζεται από πολλά ενεργά ρήγματα, στη δράση των οποίων κατά τα τελευταία 1-2 εκατομμύρια χρόνια οφείλεται κυρίως η διαμόρφωση και η ομορφιά του ελληνικού τοπίου, τα γεωθερμικά πεδία, οι θερμές πηγές, οι σεισμοί κ.λπ. Τα περισσότερα από τα γνωστά ενεργά ρήγματα του ηπειρωτικού ελλαδικού χώρου πάνω στα οποία είναι χτισμένα πολλά χωριά και πόλεις, που επιβιώνουν για εκατοντάδες και χιλιάδες χρόνια, έχουν μήκη 10 - 15 χιλιόμετρα και εκτείνονται μέσα στο φλοιό σε αντίστοιχα βάθη 5 έως 15 χιλιομέτρων ( εικόνα 17 ).



Εικόνα 17. Επίκεντρα και σεισμοί του 20<sup>ου</sup> αιώνα (Παπαζάχος 1989)

Οι μεταβολές που έχουν παρατηρηθεί στα εδάφη της επικεντρικής περιοχής πολλών επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου και των γύρω περιοχών, αποτελούν επιπλέον στοιχεία που επηρεάζουν σημαντικά τη σεισμική επικινδυνότητα της περιοχής. Οι μεταβολές αυτές, κατά σειρά συχνότητας εμφάνισης, είναι: εδαφικές διαρρήξεις (πρωτογενείς ή δευτερογενείς),



καταπτώσεις βράχων, κατολισθήσεις ή καθιζήσεις εδαφών, ρευστοποιήσεις εδαφών και ανυψώσεις ή καταβυθίσεις ακτών.

Οι διαρρήξεις στην επιφάνεια μπορεί να αποτελούν επιφανειακές εκδηλώσεις του σεισμογόνου ρήγματος ή να είναι δευτερογενή φαινόμενα βαρύτητας. Όταν οι ρωγμές αυτές αποτελούν επιφανειακές εκδηλώσεις της μετατόπισης στο σεισμογόνο ρήγμα, παρουσιάζουν άλματα της τάξης πολλών εκατοστών ή και λίγων μέτρων ακόμη και το συνολικό τους μήκος είναι της τάξης αρκετών χιλιομέτρων, το μήκος τους κυμαίνεται από λίγα μέτρα μέχρι πολλά χιλιόμετρα. Στο χάρτη του σχήματος, φαίνονται οι περιοχές του Ελληνικού χώρου και των γύρω περιοχών (ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου) όπου τεκμηριωμένα παρατηρήθηκαν εδαφικές σεισμικές διαρρήξεις από γνωστούς μεγάλους ιστορικούς σεισμούς.

Πτώσεις βράχων και κατολισθήσεις παρατηρήθηκαν στην επικεντρική περιοχή σχεδόν όλων των μέτριων και ισχυρών σεισμών, όπως στο σεισμό Κοζάνης-Γρεβενών (1995, Ms=6,6), της Αθήνας (1999, Ms=5,9) Λευκάδας (Ms=6.4, 2003) (εικόνα 18) και πολλούς άλλους. Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται δεκάδες παραδείγματα, με πρόσφατο το σεισμό της Taiwan (Chi-Chi 1999) (εικόνα 19), όπου διακρίνονται οι κατολισθήσεις που συνδέονται άμεσα με το σεισμογόνο ρήγμα και εκείνες που βρίσκονται μακριά από αυτό και οφείλονται αποκλειστικά στην ισχυρή δόνηση.

Οι ανυψώσεις και καταβυθίσεις ακτών είναι συνηθισμένο φαινόμενο υποθαλάσσιων σεισμών. Αντίστοιχα σε ηπειρώτικες περιοχές παρατηρούνται συχνά ανυψώσεις και καθιζήσεις εδαφών. Σε αρκετές περιπτώσεις κανονικών ρηγμάτων του Ελληνικού χώρου, παρατηρήθηκε βύθιση του πάνω τεμάχους του ρήγματος (άλμα) συνήθως κατά ορισμένα εκατοστά (10-30 cm) ή μέτρα (0.5-2 m), άμεσα μετρήσιμη επί του ρήγματος ή έμμεσα προσδιοριζόμενη με γεωδαιτικές μεθόδους ή SAR Συμβολομετρία δορυφορικών εικόνων Radar.

Η ρευστοποίηση του εδάφους αποτελεί έναν ακόμη πολύ σημαντικό παράγοντα ο οποίος οδηγεί συχνά στη δημιουργία μεγάλων καταστροφών. Αυτό συμβαίνει, διότι αλλάζει πλήρως η συνοχή του εδάφους, το οποίο συμπεριφέρεται σαν ρευστό υλικό εξαιτίας της έντονης ταλάντωσης των υλικών σημείων του που προκαλεί ο σεισμός. Το φαινόμενο της ρευστοποίησης παρατηρείται όταν το έδαφος αποτελείται από λεπτόκοκκο υλικό (άμμος), το οποίο περιέχει σημαντική ποσότητα νερού και άμμου, με την παρουσία στην επιφάνεια του εδάφους εξογκωμάτων και βυθισμάτων στην άμμο, με τη μορφή υπόγειων ολισθήσεων μεταξύ στρωμάτων άμμου ή κατολισθήσεων στις πλαγιές λόφων ή κυρίως στις όχθες ποταμών και λιμνών. Χαρακτηριστικές τέτοιες μορφές είχαμε στους σεισμούς Θεσσαλονίκης 1978 και Κοζάνης-Γρεβενών 1995 στη λίμνη Πολυφύτου. Ιδιαίτερα έντονο ήταν το φαινόμενο στους σεισμούς της Τουρκίας (1999), στην πόλη Adapazi, με σημαντικές καταρρεύσεις πολυκατοικιών.

Οι πιο σημαντικές ρευστοποιήσεις εδαφών συνέβησαν στην περιοχή Αιγιαλείας Αχαΐας στους σεισμούς του 373 π.Χ. (βύθιση της πόλης Ελίκη) και 1861 Ελίκη-Αίγιο.

Στη συνέχεια δίνονται ορισμένα αντιπροσωπευτικά παραδείγματα από τους σπουδαιότερους σεισμούς που συνέβησαν στον Ελληνικό χώρο και τις γύρω περιοχές, καθώς και τα κυριότερα φαινόμενα που παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια ή ακολούθησαν των σεισμών αυτών.

Για τον καταστροφικό σεισμό του Β. Ευβοϊκού το 426 π.Χ., που τον περιέγραψε θαυμάσια ο Θουκυδίδης, αναφέρεται από τον Στράβωνα "*... λέγουσι δέ και της Αταλάντης της προς Εύβοια τα μέσα, ρήγματος γενομένου, διαπλουν δέξασθαι, μεταξύ και των πεδίων εννια και μέχρι είκοσι σταδίων έπικλυσθήναι...*

Ο σεισμός της Αχαΐας (Διακοφτό, Βαλιμίτικα, Ελίκη) του 1861 αποτελεί την πρώτη συστηματική περιγραφή και χαρτογράφηση επιφανειακού σεισμικού ρήγματος από το διευθυντή του Αστεροσκοπείου Αθηνών Schmidt (1867).

Κατά το μεγάλο και καταστροφικό σεισμό της Λέσβου 1867,7 Μαρτίου, ( $M=6.8$ ), διαρρήξεις του εδάφους παρατηρήθηκαν σε διάφορες τοποθεσίες, αλλά η σημαντικότερη ήταν αυτή που άρχιζε από τον κόλπο της Καλλονής μέχρι την Αγία Παρασκευή, κατά μήκος ενός μικρού ποταμού. Παρατηρήθηκαν επίσης φαινόμενα ρευστοποίησης του εδάφους και κατολισθήσεις.

Οι σεισμοί του Απριλίου 1894 στη Φθιώτιδα (Αταλάντη-Μαρτίνο-Άγιος Κωνσταντίνος) (Μεγέθους 6.8 και 7.0), αποτελούν ένα άλλο παράδειγμα μεγάλης επιφανειακής διάρρηξης που περιγράφηκε και χαρτογραφήθηκε. Παρατηρήθηκε επιφανειακό ίχνος κανονικού ρήγματος μήκος 30-35 περίπου χιλιομέτρων (στη βιβλιογραφία αναφέρεται μήκος 60 km) και διεύθυνσης ΒΒΔ-ΝΝΑ με βύθιση του βορειοανατολικού τμήματος. Ολόκληρη η πεδινή περιοχή έπαθε καθίζηση μισού μέτρου περίπου (0,5 m), ενώ μετατοπίσεις 1 έως 1,5 μέτρου παρατηρήθηκαν κατά μήκος του ρήγματος της Αταλάντης. Παρατηρήθηκαν πολλές κατολισθήσεις και μεταβολές στα νερά των πηγαδιών (καθιζήσεις 2 έως 4 μέτρα). Παρατηρήθηκε επίσης θαλάσσιο κύμα στη θέση Αλμυρά, κοντά στο χωριό Κυπαρίσσι, ύψους 3 m, το οποίο προχώρησε μέσα περίπου 1 km και κατέκλυσε το δρόμο.

Στο μεγάλο στο σεισμό της Ιερισσού (1932,  $M=7.0$ ) εμφανίστηκε επιφανειακή διάρρηξη του ρήγματος Στρατωνίου - Σταγείρων 10-15 χιλιομέτρων περίπου σε Α-Δ διεύθυνση με μέγιστες μετατοπίσεις (άλματα) μέχρι και 1,5 m (Στρατώνι και Στρατονίκη, (Pavlidis & Tranos 1991).

Τέλος, σε όλους τους πρόσφατους μεγάλους σεισμούς από εκείνους της Θεσσαλονίκης ( $M=6.5$  1978), των Αλκυονίδων στην Περαχώρα (Κορινθιακός  $M=6.7$  και Καπαρέλλι  $M=6.4$ , 1981), της Καλαμάτας ( $M=6.0$ , 1986), της Κοζάνης - Γρεβενών ( $M=6.6$ , 1995) και του Αιγίου ( $M=6.2$ , 1995) παρατηρήθηκαν επιφανειακές διαρρήξεις οι οποίες μελετήθηκαν συστηματικά και έδωσαν πολύτιμα συμπεράσματα και μαθήματα για αντίστοιχα μελλοντικά γεγονότα.



**Εικόνα18. Κατολισθήσεις, Σεισμός Λευκάδα 2003**



**Εικόνα19. Σεισμός Taiwan 1999**

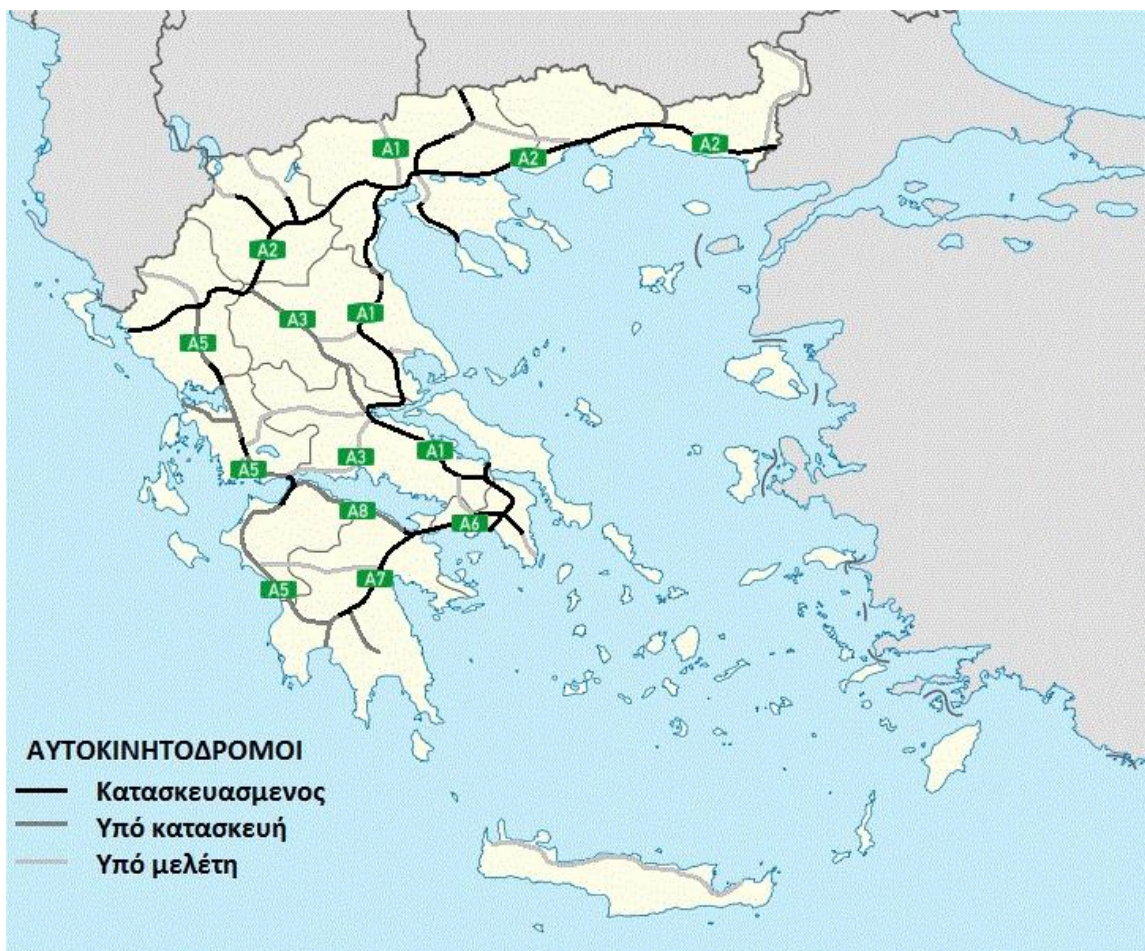
## **4. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ**

### **4.1 Γενική περιγραφή των γραμμικών τεχνικών έργων**

Η γενική πρακτική που ακολουθείται κατά τη χάραξη των γραμμικών τεχνικών έργων ( εθνικό οδικό δίκτυο, σιδηροδρομικό δίκτυο, αγωγός φυσικού αερίου), λαμβάνει υπόψη τις εξής παραμέτρους: 1) την αποφυγή φυσικών εμποδίων (π.χ. χαράδρες ή μεγάλοι ορεινοί όγκοι) στο βέλτιστο βαθμό, 2) την παράκαμψη ενεργών ή πιθανά ενεργών ρηξιγενών ζωνών, 3) τις γεωλογικές, υδρογεωλογικές, τεχνικογεωλογικές – γεωτεχνικές και σεισμοτεκτονικές μελέτες και 4) κάθε άλλη μονογραφία, μελέτη ή και έρευνα που μπορεί να βοηθήσει στη πληρέστερη εκτίμηση των γεωτεχνικών συνθηκών στην επιφάνεια και σε βάθος.

#### **4.1.1 Το Οδικό Δίκτυο της Ελλάδας**

Η χώρα μας διαθέτει ένα μεγάλο οδικό δίκτυο το οποίο έχει συνολικό μήκος 115.000 χιλιόμετρα περίπου, με 948 χιλιόμετρα οδούς ταχείας κυκλοφορίας. Οι κύριοι οδικοί άξονες είναι: ο Αυτοκινητόδρομος ΠΑΘΕ (Πάτρα-Αθήνα-Θεσσαλονίκη-Εύζωνοι (A1), η Εγνατία Οδός (A2), η Οδός Κεντρικής Ελλάδος (A3), ο Αυτοκινητόδρομος A4, η Ιόνια Οδός (A5), η Αττική Οδός (A6), ο Αυτοκινητόδρομος Ανατολικής Πελοποννήσου (A7), και η Ολύμπια Οδός (A8 & A9) (Εικόνα 20).



Εικόνα 20. Οι κύριοι αυτοκινητόδρομοι της Ελλάδας

Στην περιοχή της έρευνας και σε ότι αφορά στο γεωπεριβάλλον, οι παράγοντες οι οποίοι, επηρεάζουν την εκδήλωση αστοχιών και έμμεσα την οδική ασφάλεια και την επικινδυνότητα των οδών είναι:

- i. Οι κατολισθήσεις, οι οποίες εκδηλώνονται τόσο στα πρηνή, όσο και στη βάση του οδοστρώματος.
- ii. Οι καταπτώσεις και οι ανατροπές, οι οποίες εκδηλώνονται κυρίως στα φυσικά και τεχνητά πρηνή κατά μήκος του δικτύου.
- iii. Η παρουσία ενεργών/σεισμικών ρηγμάτων τα οποία τέμνουν το σώμα της οδού εγκάρσια ή έχουν παράλληλη - υποπαράλληλη διάταξη καθώς επίσης και οι εκδηλούμενες σεισμικές δράσεις (σεισμική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετατόπιση).

iv. Οι διαφορικές καθιζήσεις, οι οποίες λαμβάνουν χώρα κατά μήκος της χάραξης στους σχηματισμούς στη βάση του οδοστρώματος.

v. Οι ρευστοποιήσεις εδαφών, οι οποίες είναι δυνατόν να εκδηλωθούν κυρίως σε περιπτώσεις σεισμικών φορτίσεων.

vi. Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά και οι μορφολογικές ιδιαιτερότητες σε συνδυασμό με το υφιστάμενο υδρογραφικό δίκτυο που ορίζουν μια σειρά από παράγοντες πρόκλησης αστοχιών.

vii. Τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά και η εμφάνιση ιδιαίτερων καιρικών φαινομένων.

Οι ανωτέρω παράγοντες είναι δυνατόν να επηρεάσουν είτε σημειακά είτε κατά τμήματα το οδικό δίκτυο και ανάλογα με την ένταση ή την έκταση εκδήλωσής τους να προξενήσουν διαφορετικού βαθμού προβλήματα με αποτέλεσμα να χαρακτηρίζονται ανάλογα ως μικρής, μέσης ή υψηλής επικινδυνότητας.

#### **4.1.2 Το Σιδηροδρομικό Δίκτυο της Ελλάδας**

Το σιδηροδρομικό δίκτυο που βρίσκεται σήμερα σε λειτουργία έχει συνολικό μήκος περίπου 2.503 χιλιόμετρα από τα οποία το 65% περίπου είναι κανονικού και το 35% μετρικού πλάτους. Από άποψη παρεχόμενης υποδομής, το ελληνικό σιδηροδρομικό δίκτυο αναπτύσσεται σε τρεις κυρίως γραμμές. Το βασικό άξονα Πειραιάς - Αθήνα - Θεσσαλονίκη – Ειδομένη, ο οποίος διακινεί το μεγαλύτερο μέρος του συνολικού μεταφορικού έργου, τη γραμμή Θεσσαλονίκη - Αλεξανδρούπολη - Ορμένιο που διατρέχει το βορειοελλαδικό χώρο παρέχοντας σιδηροδρομική σύνδεση με τη Βουλγαρία και την Τουρκία και τέλος, τη γραμμή Αθήνα - Πάτρα που συνδέει σιδηροδρομικά την πρωτεύουσα με μια από τις δυτικές πύλες της χώρας προς την Ιταλία και τη δυτική Ευρώπη (Εικόνα 21). Με εξαίρεση τις γραμμές της Πελοποννήσου και της Θεσσαλίας, το δίκτυο αναπτύσσεται κυρίως γραμμικά.



**Εικόνα 21. Το σιδηροδρομικό δίκτυο της Ελλάδας**

Τα σημαντικότερα προβλήματα στις υφιστάμενες γραμμές είναι οι μικρές ταχύτητες, οι μεγάλες κλίσεις και οι οξείες καμπυλότητες, που προκαλούνται από τις χαράξεις που έγιναν πριν πολλά χρόνια, για να αντιμετωπιστούν τα φυσικά εμπόδια.



### 4.1.3 Αγωγός Φυσικού Αερίου της Ελλάδας

Η εισαγωγή του φυσικού αερίου στην Ελλάδα εξασφαλίζει τη διαφοροποίηση των ενεργειακών πηγών στην χώρα, και μάλιστα με ένα καύσιμο υψηλής ποιότητας που μπορεί να διεισδύσει σε όλους σχεδόν τους κλάδους (Βιομηχανία, Ηλεκτροπαραγωγή, συμπαραγωγή, υπηρεσίες και οικιακός τομέας, μεταφορές κ.α.)

Το **σύστημα του φυσικού αερίου** έχει ως σκοπό την ασφαλή **τροφοδοσία** των μεγάλων καταναλωτικών κέντρων της χώρας και αποτελείται από:

- i. Το δίκτυο μεταφοράς του φυσικού αερίου,
- ii. Τον τερματικό σταθμό αποθήκευσης του υγροποιημένου (LNG) αλγερινού φυσικού αερίου στην Ρεβυθούσα. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο επαναεριοποιείται και τροφοδοτεί το δίκτυο μεταφοράς.
- iii. Το σύστημα διανομής του φυσικού αερίου στους καταναλωτές

Στο **δίκτυο μεταφοράς** (εικόνα 22) του φυσικού αερίου περιλαμβάνονται:

- *Κεντρικός αγωγός μεταφοράς αερίου υψηλής πίεσης (70 bar) από τα Ελληνοβουλγαρικά σύνορα μέχρι την Αττική, συνολικού μήκους 512 χλμ. Η διάμετρος του αγωγού είναι 36'' για τα πρώτα 100 χιλιόμετρα και 30'' για τα υπόλοιπα.*
- *Κλάδοι μεταφοράς υψηλής πίεσης προς την ανατολική Μακεδονία και Θράκη, τη Θεσσαλονίκη, το Βόλο και την Αττική, συνολικού μήκους 440 χιλιομέτρων.*
- *Μετρητικοί και ρυθμιστικοί σταθμοί για τη μέτρηση της παροχής αερίου και τη ρύθμιση της πίεσης*
- *Σύστημα τηλεχειρισμού, ελέγχου λειτουργίας και τηλεπικοινωνιών*
- *Κέντρα λειτουργίας και συντήρησης, στην Αττική, τη Θεσσαλονίκη και τη Θεσσαλία*

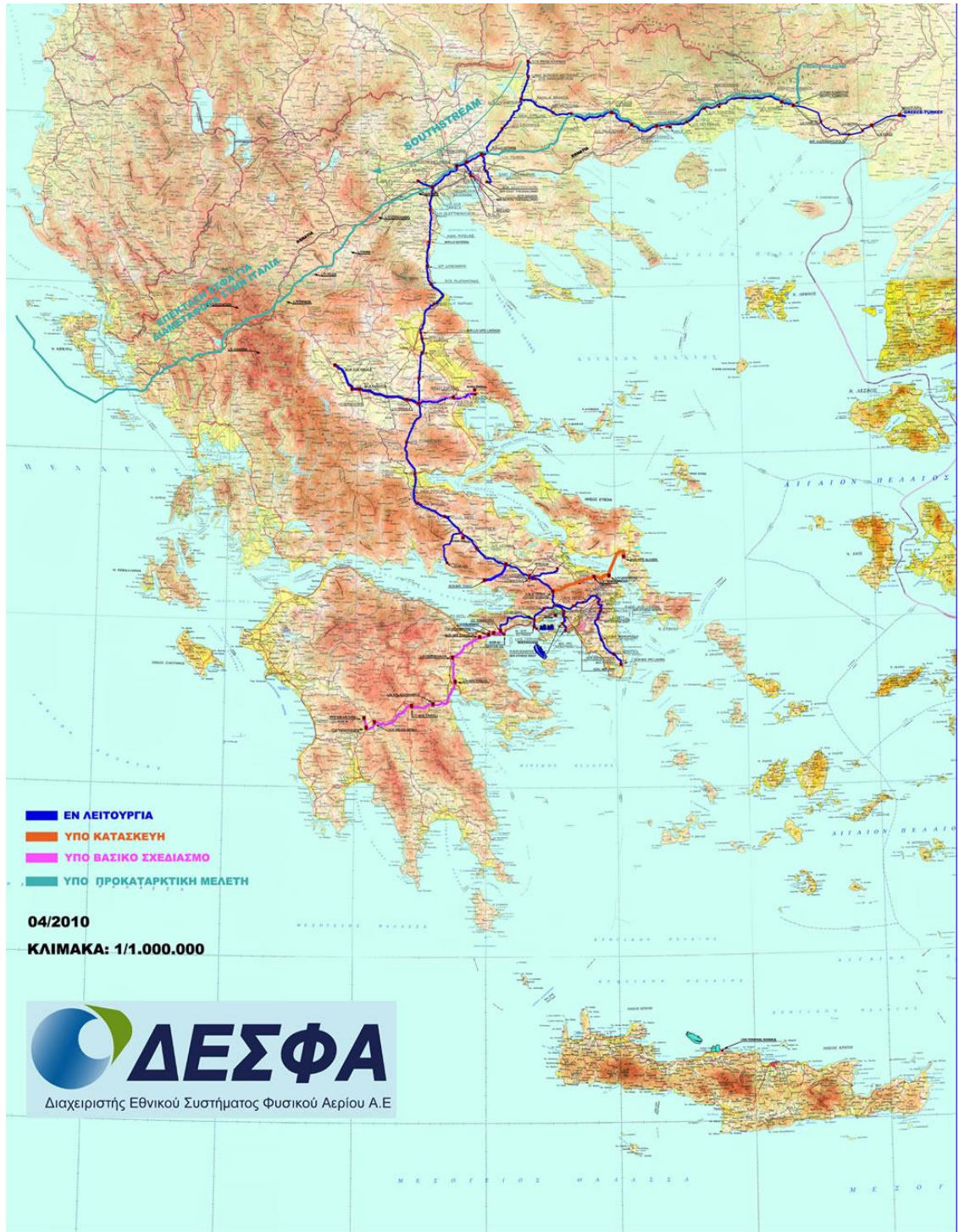
- *Συνοριακός Σταθμός Εισόδου (Border Station)*

Οι **εγκαταστάσεις αποθήκευσης** του υγροποιημένου φυσικού αερίου στην Ρεβυθούσα περιλαμβάνουν:

- Δύο δεξαμενές αποθήκευσης συνολικής χωρητικότητας 130.000 m<sup>3</sup> (65.000 m<sup>3</sup> έκαστη)
- Εγκαταστάσεις ελλιμενισμού δεξαμενόπλοιων
- Κρυογενικές εγκαταστάσεις
- Αεριοποιητές, για την επαναεριοποίηση του LNG και την τροφοδοσία του συστήματος μεταφοράς
- Δύο αγωγούς διασύνδεσης της Ρεβυθούσας με το σύστημα μεταφοράς.
- Ναυλωμένο δεξαμενόπλοιο χωρητικότητας 29,500 κ.μ. Υ.Φ.Α.

Το **σύστημα διανομής** αποτελείται από:

- δίκτυα μέσης πίεσης (19 bar) στην Αττική, Θεσσαλονίκη, Θεσσαλία και στις βιομηχανικές περιοχές Οινοφύτων, Πλατέος Ημαθίας, Ξάνθης, Καβάλας και ΒΙΠΕ Κομοτηνής
- δίκτυα χαμηλής πίεσης (4 bar) σε Αττική, Θεσσαλονίκη και Θεσσαλία, προβλεπόμενου μήκους 6.500 χιλιομέτρων.
- υπάρχον δίκτυο διανομής στην Αθήνα. Η ΔΕΠΑ, στο πλαίσιο του κατασκευαστικού της έργου, ολοκλήρωσε στην ευρύτερη περιοχή της πρωτεύουσας 860 χιλιόμετρα δικτύου διανομής τα οποία προσετέθησαν στα υφιστάμενα 550 χιλιόμετρα δικτύου που ανήκαν στην Δημοτική Επιχείρηση Φωταερίου Αθηνών και ήδη τροφοδοτεί περίπου 8.000 εμπορικούς, οικιακούς και βιομηχανικούς καταναλωτές με φυσικό αέριο.



Εικόνα 22. Το δίκτυο μεταφοράς φυσικού αερίου στην Ελλάδα

Για τον ασφαλή σχεδιασμό και την κατασκευή των αγωγών φυσικού αερίου, αφού συγκεντρωθούν όλα τα βιβλιογραφικά δεδομένα, αρχικά μελετάται η γεωμορφολογία του χώρου διέλευσης και διακρίνεται ο χώρος σε επιμέρους τμήματα μελέτης. Ακολούθως η λεπτομερέστερη εξέταση του κάθε τμήματος αναφέρεται στα γεωλογικά (εδαφικοί, βραχώδεις σχηματισμοί, κλπ) και τεκτονικά χαρακτηριστικά (ενεργά ή όχι ρήγματα, επιππεύσεις, επωθήσεις, κλπ) της ευρύτερης ζώνης του χώρου θεμελίωσης, στις τεχνικογεωλογικές (φυσική κατάσταση, γενική συμπεριφορά των σχηματισμών από πλευράς χημικής σταθερότητας, παραμορφωσιμότητας, κλπ) και υδρογεωλογικές συνθήκες (περατότητα σχηματισμών, βάθος υδροφόρου, κλπ).

Παράλληλα μελετάται η σεισμικότητα των περιοχών διέλευσης και η σεισμική επικινδυνότητα των σχηματισμών κατηγοριοποιείται με πολύ αυστηρά κριτήρια, κάτι που είναι απολύτως παραδεκτό για ένα τόσο σοβαρό και ευαίσθητο τεχνικό έργο. Σημειώνεται ότι αναφορικά με τις σεισμικές δράσεις σχεδιασμού η διάκριση των σχηματισμών διέλευσης έγινε σε τρεις ενότητες ανάλογα με τη σεισμική επικινδυνότητα με σεισμική επιτάχυνση εδάφους 0,16g, 0,35g και 0,50g.

Κατά τη φάση του γεωτρητικού προγράμματος για τη διαπίστωση της γεωμηχανικής συμπεριφοράς των σχηματισμών που συναντώνται, η ιδιαιτερότητα του έργου λόγω του μικρού βάθους θεμελίωσης αναφέρεται στη διάνοιξη κυρίως ερευνητικών ορυγμάτων (με κατάλληλο εκσκαπτικό μηχανήμα, βάθους μέχρι 3 μ. περίπου και μόνο όπου απαιτείται η πληρέστερη γνώση σε βάθος (θέσεις αστοχιών, ειδικών εγκαταστάσεων κλπ) εμπλέκονται οι ερευνητικές - δειγματοληπτικές γεωτρήσεις.

Το πλέον χαρακτηριστικό γνώρισμα ενός τέτοιου αγωγού από γεωτεχνικής πλευράς είναι η διέλευση εγκάρσια στις ισοϋψείς. Καθώς το αέριο βρίσκεται υπό σημαντική πίεση μέσα στον αγωγό, η διαμόρφωση αυτή δεν δημιουργεί προβλήματα στη ροή. Αντίθετα:

(α) μειώνει σημαντικά τους κινδύνους καταστροφής του αγωγού σε περίπτωση εκδήλωσης κατολισθήσεων,

(β) μειώνει το κόστος κατασκευής και τους κινδύνους ατυχημάτων, ενώ παράλληλα,

(γ) αποφεύγει τις συχνές συναντήσεις με άλλα γραμμικά έργα.

Βέβαια η διάταξη αυτή στο χώρο απαιτεί διάνοιξη παράδρομου για τα μηχανήματα, πολλές φορές κάτω από δύσκολες συνθήκες (δασώδεις εκτάσεις, ισχυρές κλίσεις κλπ), ενώ σε πολύ χαλαρωμένους και ασταθείς σχηματισμούς επιφέρει ισχυρότερη διατάραξη το εγκάρσιο όρυγμα.

Το τελευταίο μειονέκτημα περιορίζεται σε λίγες θέσεις οπότε αν δεν υπάρχει εναλλακτική λύση τότε λαμβάνονται μέτρα βελτίωσης αυτών των τοπικά δυσμενών συνθηκών, αφού διερευνηθούν τα προβλήματα διεξοδικότερα με εκτέλεση περιορισμένης έκτασης γεωτρητικό πρόγραμμα.

## **4.2 Τρόποι αντιμετώπισης των περιπτώσεων ρηγμάτων στη στενή περιοχή των τεχνικών έργων**

Υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι για τη μείωση των πιθανών κινδύνων που συνδέονται με σεισμικά ρήγματα. Η επιτυχία του κάθε ενός από τους τρόπους αυτούς εξαρτάται, πρώτα απ' όλα, απ' την ορθή ερμηνεία της γεωλογίας σε βάση προγενέστερων μελετών και από επιτόπου μελέτες κατά τη διάρκεια του έργου. Παρά το γεγονός ότι η Γεωτεχνολογία απαιτεί συνεχή βελτίωση της κατανόησης της για τα πολυσύνθετα φαινόμενα ρηγματικής δραστηριότητας, μπορεί να εφαρμοστεί ορθή κρίση, σε συνδυασμό με λογικές ερμηνείες της επιφανειακής γεωλογίας και της θεωρίας διάδοσης του ρήγματος (crack propagation theory), για την ανάπτυξη αντισεισμικών σχεδίων. Πιο ρεαλιστικά κριτήρια μπορούν να

καθοριστούν με βάση ένα συγκεκριμένο έργο/τοποθεσία.(π.χ. Bray et al. 1993a). Μόλις οι λεπτομερείς μελέτες της γεωλογίας και των τοπικών συνθηκών (έδαφος και τοπογραφία) ολοκληρωθούν, με συνδυασμό των μεθόδων που περιγράφονται παρακάτω μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση των ζημιών που προκύπτουν από επιφανειακή ρήξη.

Η πρώτη προσέγγιση είναι η αποφυγή των ρηγμάτων. Όλες οι κατασκευές και τα επιφανειακά έργα μπορούν σκόπιμα να τοποθετηθούν έτσι ώστε η διέλευση τους να αποφύγει προσδιορισμένες ζώνες ρηγμάτων. Προφανώς, η επιτυχία αυτής της μεθόδου εξαρτάται από τον εντοπισμό όλων των πιθανών ζωνών ρηγμάτων, καθώς και από τα χαρακτηριστικά του «επόμενου» σεισμού σύμφωνα με τις εκτιμήσεις όμως που ενέχουν κάποια σχετική αβεβαιότητα. Ο Hart et al. (1993) σημείωσε ότι το 45% όλων των επιφανειακών σεισμικών ρηγμάτων έπεσαν έξω από τις προβλεπόμενες σεισμικές ρηξιγενείς ζώνες που είχαν χαρτογραφηθεί (Landers California 1992). Η επόμενη προσέγγιση είναι να υπολογιστεί ότι διαφορεική κίνηση κατά μήκος ενός ρήγματος και η σχετική μετατόπιση κατά μήκος του. Λεπτομερείς μελέτες υπολογίζουν ακόμη την εξάπλωση της τοπικής μετατόπισης του ρήγματος από το βραχώδες υπόστρωμα σε μια ευρύτερη ζώνη για τον μετριασμό των κινδύνων.

Τέλος, η κατασκευή μπορεί να σχεδιαστεί ώστε να μπορεί να υποβληθεί σε περιορισμένης κλίμακας παραμόρφωση του εδάφους χωρίς να καταρρεύσει ή να υποστεί σημαντική δομική βλάβη. Η σχεδίαση κατασκευών που υπόκεινται σε παραμόρφωση εδάφους είναι δυνατή (π.χ. Kratzsch 1983)..

## 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

### 5.1 Ψηφιοποίηση στοιχείων

Για την εκπόνηση της εργασίας αυτής απαραίτητη ήταν η αποτύπωση της περιοχής μελέτης με τη χρήση ψηφιακών μέσων, τα οποία βασίστηκαν σε αναλογικούς χάρτες καθώς και ψηφιακά δεδομένα. Αποτέλεσμα της χρήσης αυτών ήταν η ανάπτυξη μιας βάσης δεδομένων για την επεξεργασία των ψηφιοποιημένων στοιχείων, από τα οποία προέκυψαν θεματικοί χάρτες για την οπτικοποίηση των δεδομένων, όπως γεωλογικός, μορφολογικός, μορφολογικών κλίσεων και χάρτης προσανατολισμού. Βασικό εργαλείο για την κατασκευή αυτών αποτέλεσε το ArcMap.

Το ArcMap είναι ένα desktop G.I.S. πακέτο που δίνει τη δυνατότητα να δημιουργηθούν χάρτες από επίπεδα χωρικής πληροφορίας, να αναλυθούν χωρικές σχέσεις και να επιλεγουν μέσα από αναζητήσεις χωρικά και μη χωρικά στοιχεία. Ακόμη μπορούν να σχεδιαστούν και να δημιουργηθούν διαφορετικές απεικονίσεις ενός χάρτη, αλλάζοντας χρώματα και συμβολισμούς. Παρέχει ένα περιβάλλον για την εύκολη διαχείριση και τον ορισμό σχέσεων μεταξύ μιας βάσης δεδομένων και χαρτών και την όποια επεξεργασία βάσει αυτών των σχέσεων.

#### 5.1.1 Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών

Τα **Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών- ΓΣΠ (Geographical Information Systems - G.I.S.)** είναι μια ειδική μορφή πληροφοριακού συστήματος, η οποία περιλαμβάνει και εφαρμόζεται σε γεωγραφικά δεδομένα. Ένα ΓΣΠ χρησιμοποιεί δεδομένα με γεωγραφική αναφορά όπως και μη χωρικά δεδομένα, υποστηρίζοντας παράλληλα τη χωρική ανάλυση. Συνδεδετικό κρίκο μεταξύ των στοιχείων του είναι η «γεωγραφία τους» (τοποθέτηση, εγγύτητα, τοπολογικές σχέσεις κλπ). Είναι, επομένως, ένα σύνολο υλικού, λογισμικού και διαδικασιών το οποίο με την κατάλληλη χρήση υποστηρίζει τη συλλογή, διαχείριση, ανάλυση, μοντελοποίηση και παρουσίαση δεδομένων με χωρική

αναφορά. Οι βασικές λειτουργίες ενός ΓΣΠ συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

### Βασικές λειτουργίες ΓΣΠ

Βασικές Λειτουργίες ΓΣΠ	Παραδείγματα λειτουργίας
Χαρτογράφηση και απεικόνιση	Ψηφιοποίηση αναλογικού χάρτη
Διαχείριση γεωγραφικών δεδομένων	Επιλογή δεδομένων με ερωτήματα στη βάση περιγραφικών δεδομένων
Δημιουργία και επεξεργασία δεδομένων	Επιθέσεις θεαματικών επιπέδων, μετρήσεις μηκών, εμβαδών ή αποστάσεων μεταξύ γεωγραφικών οντοτήτων
Γεωγραφική ανάλυση	Δημιουργία θεματικών χαρτών, δημιουργία 3D απεικονίσεων του χώρου

Η χαρτογράφηση και απεικόνιση, που είναι η πρώτη βασική λειτουργία των ΓΣΠ, περιλαμβάνει τη μοντελοποίηση του πραγματικού κόσμου με τη χρήση γεωγραφικών δεδομένων. Εν συνεχεία, η διαχείριση των γεωγραφικών δεδομένων γίνεται με στόχο την επίλυση προβλημάτων και η δημιουργία και επεξεργασία τους καταγράφει μεταβολές του πραγματικού κόσμου. Τέλος, με τη γεωγραφική ανάλυση έχουμε επισήμανση μοτίβων και σχέσεων μεταξύ γεωγραφικών δεδομένων, με σκοπό την επίλυση προβλημάτων.



Σε σύγκριση με τους απλούς χάρτες ένα σύστημα ΓΣΠ έχει το πλεονέκτημα ότι η αποθήκευση των δεδομένων γίνεται χωριστά απο την αναπαράστασή τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα ίδια δεδομένα να μπορούν να αναπαρασταθούν με διαφορετικούς τρόπους. Για παράδειγμα μπορούμε να μεγενθύνουμε τον ψηφιακό πλέον χάρτη, να εμφανίσουμε συγκεκριμένες μόνο περιοχές, να υπολογίσουμε αποστάσεις μεταξύ τοποθεσιών, να δημιουργήσουμε πίνακες που να δείχνουν τα διάφορα χαρακτηριστικά του χάρτη και υπερθέσουμε επιπλέον πληροφορία πάνω στο χάρτη. Επιπλέον ένα σύστημα ΓΣΠ έχει όλα εκείνα τα πλεονεκτήματα από τη χρήση των Η/Υ όπως διαχείριση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων εύκολα και γρήγορα.

Όλα τα δεδομένα σε ένα σύστημα ΓΣΠ είναι γεωκαταχωρημένα, δηλαδή συνδεδεμένα με μια συγκεκριμένη γεωγραφική τοποθεσία της επιφάνειας της γης μέσω ενός συστήματος συντεταγμένων. Ένα από τα πιο συνηθισμένα συστήματα γεωγραφικών συντεταγμένων είναι αυτό του γεωγραφικού μήκους και του γεωγραφικού πλάτους. Σε αυτό το σύστημα συντεταγμένων, κάθε τοποθεσία προσδιορίζεται σχετικά με τον ισημερινό και τη γραμμή μηδενικού γεωγραφικού μήκους που περνά από το αστεροσκοπείο Greenwich της Αγγλίας. Υπάρχουν πολλά γεωγραφικά συστήματα συντεταγμένων, και κάθε ΓΣΠ σύστημα θα πρέπει να μπορεί να μετατρέπει τις συντεταγμένες από το ένα σύστημα στο άλλο.

Η χωρική πληροφορία αναπαρίσταται με δύο τρόπους:

Διανυσματικά (vector) δεδομένα με τη μορφή σημείων, γραμμών και πολυγώνων. Κάθε μια από τις μονάδες αυτές αποτελείται από μία σειρά συντεταγμένων σημείων. Για παράδειγμα μια γραμμή είναι η σύνθεση από συσχετισμένα σημεία, ενώ ένα πολύγωνο είναι σύνθεση από συσχετισμένες γραμμές.

Ψηφιοποιημένα (raster) δεδομένα. Ο χώρος υποδιαιρείται σε φατνία/κελιά (cells), με κανονικό ή ακανόνιστο σχήμα, σταθερού ή μη σταθερού μεγέθους, τα οποία διαμορφώνουν μια ψηφιδωτή δομή. Η ψηφιδωτή δομή δεδομένων χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που το χωρικό φαινόμενο που αποτυπώνεται

χαρακτηρίζεται ως συνεχής μεταβλητή (π.χ. το υψόμετρο του εδάφους) ή σε περιπτώσεις που στο ΣΓΠ θέλουμε να ενσωματώσουμε μια δορυφορική εικόνα ή μια σαρωμένη αεροφωτογραφία. Η πιο συνήθης μορφή, είναι η μορφή κανάβου, όπου τα φατνία είναι τετράγωνα ίσου μεγέθους και καθορίζουν τη χωρική ικανότητα που απαιτείται για την σωστή καταγραφή της διαφοροποίησης των υπό εξέταση χαρακτηριστικών.

Μία γνωστή ψηφιδωτή μορφή είναι το δίκτυο ακανόνιστων τριγώνων/TIN (Triangulated Irregular Network), όπου τα φατνία είναι τριγωνικά μη σταθερού μεγέθους. Ένα μοντέλο TIN αναπαριστά το ανάγλυφο ως ένα σύνολο τριγώνων, τα οποία έχουν ως κορυφές σημεία με συγκεκριμένο υψόμετρο  $z$  και συντεταγμένες  $x,y$ . Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου TIN χρησιμοποιήθηκε για την ψηφιακή αναπαράσταση της μεταβλητότητας του αναγλύφου στην περιοχή μελέτης

### **5.1.2 Μεθοδολογία ψηφιοποίησης και επεξεργασίας δεδομένων**

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την ψηφιοποίηση και την κατασκευή των χαρτών είναι η ακόλουθη:

Σαρώθηκαν και ψηφιοποιήθηκαν τα ρήγματα από τους εξής χάρτες:

- Χάρτες ενεργών ρηγμάτων κλίμακας 1:50.000 (ΙΓΜΕ, φύλλα: Κατερίνη, Λιτόχωρο, Δομοκός, Ραψάνη, Αλεξάνδρεια, Βελεστίνο, Γόννοι, Λάρισα, Πλατύ, Πλατύκαμπος, Φάρσαλα)
- Σεισμοτεκτονικός Χάρτης Ελλάδας κλίμακας 1:500.000 (ΙΓΜΕ 1989)
- Γεωλογικός Χάρτης Ελλάδας κλίμακας 1:50.000 (ΙΓΜΕ φύλλα: Κολινδρός 2002, Κονταριώτισσα-Λιτοχωρο1985)
- Γεωλογικός Χάρτης Ελλάδας κλίμακας 1:100.000 (Δ.Δ Γαλανάκη )

Στη συνέχεια στους χάρτες αυτούς έγινε γεωαναφορά στο Προβολικό Σύστημα ΕΓΣΑ του 1987 αυτό έγινε μέσω του Η/Υ με τη σάρωση και την αποθήκευση των

χαρτών σε jpeg, καθώς και με το λογισμικό ArcMap όπου μέσω της εντολής georeferencing με την οποία επιλέγονται 4 σημεία ελέγχου των οποίων οι συντεταγμένες είναι γνωστές.

Το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του 1987 (ΕΓΣΑ87) αποτελεί το ισχύον ΓΣΑ στην Ελλάδα, το οποίο προέκυψε από συνδυασμό κλασικών και δορυφορικών μετρήσεων. Αφετηρία του είναι τριγωνομετρικό σημείο στο Διόνυσο Αττικής, ενώ χρησιμοποιεί το γεωκεντρικό ΕΕΠ GRS 80 και την εγκάρσια Μερκατορική προβολή μιας ζώνης, με κεντρικό μεσημβρινό ( $\lambda = 24^\circ$  προς Greenwich) αυτόν που διέρχεται από το Διόνυσο Αττικής, άξονα τετμημένων τον Ισημερινό, προσθετική σταθερά (False Easting)  $E_0 = 500.000$  m και συντελεστή κλίμακας στον κεντρικό μεσημβρινό  $m_0 = 0.9996$  (Αστάρας, 2007).

Με το πέρας της διαδικασίας της γεωαναφοράς γίνεται η ψηφιοποίηση των δεδομένων των χαρτών (shapelifes). Τα δεδομένα που ψηφιοποιήθηκαν ήταν τα ρήγματα της περιοχής (γραμμικές οντότητες) και οι λιθολογικοί σχηματισμοί (πολυγωνικές οντότητες) καθώς και κάποια επίκεντρα σεισμών (σημειακές οντότητες).

Ακόμη, χρησιμοποιήθηκαν ψηφιακά δεδομένα από τον Οργανισμό Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων Ελλάδας (ΟΚΧΕ), όπως περιφέρειες και νομοί της Ελλάδας, οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο και τέλος υδρογραφικό δίκτυο (λίμνες και ποτάμια), αλλά και ψηφιακά δεδομένα για τον αγωγό φυσικού αερίου από την εταιρία ΔΕΣΦΑ. Τέλος, τροποποιήσαμε τον ψηφιοποιημένο Γεωλογικό Χάρτη Ελλάδας κλίμακας 1:500.000 (ΙΓΜΕ 1983), με ενοποίηση των γεωλογικών σχηματισμών.

Οι χάρτες που προέκυψαν μετά την ψηφιοποίηση και επεξεργασία είναι:

**Μορφολογικός χάρτης, Χάρτης προσανατολισμού, Χάρτης μορφολογικών κλίσεων, Γεωλογικός χάρτης, Χάρτης σεισμικών επικέντρων, Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας κατά ΕΑΚ.**

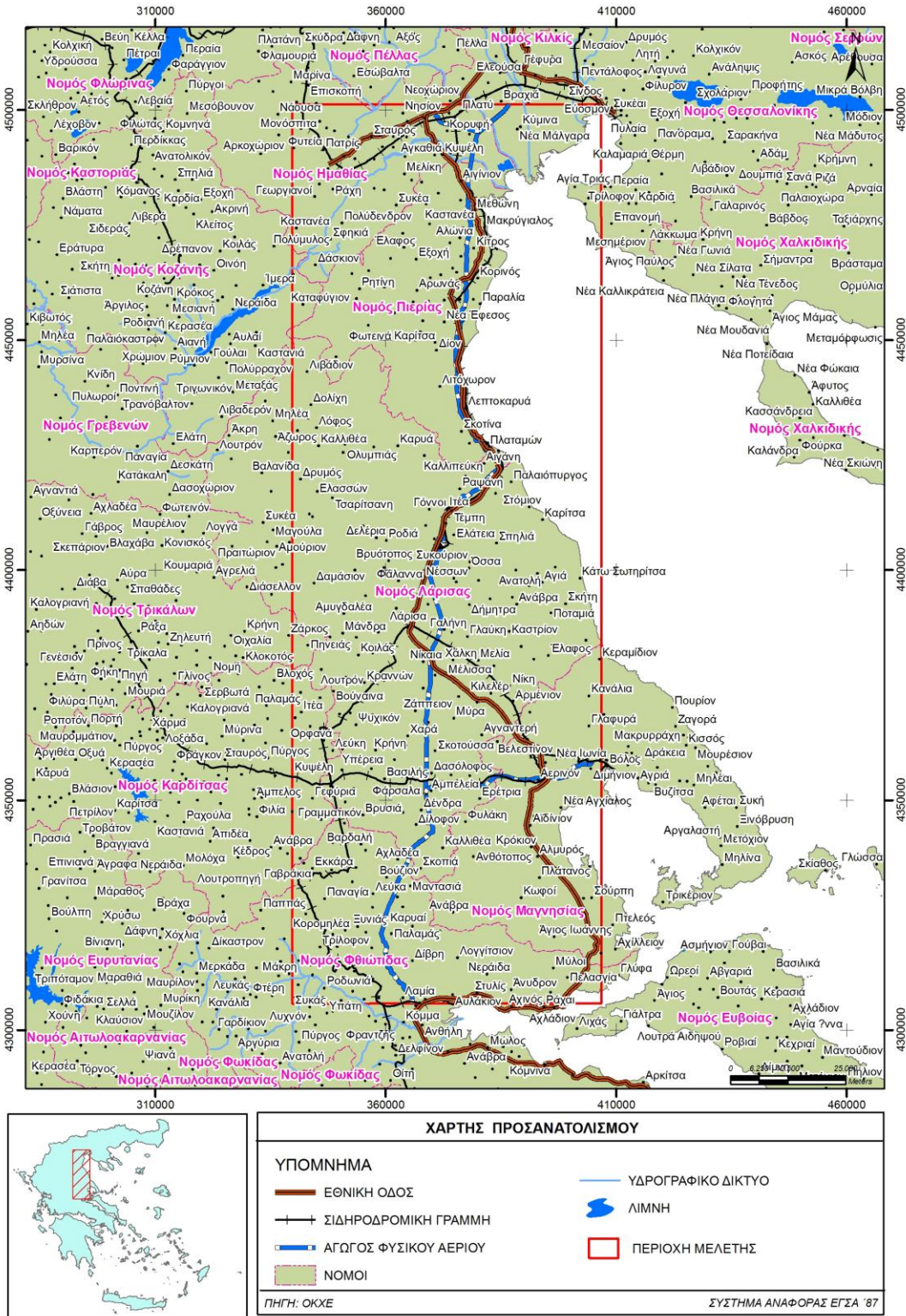
## 5.2 Γεωγραφική θέση

Η θέση της περιοχής μελέτης μας περιορίζεται στην ανατολική Θεσσαλία και Κεντρική Μακεδονία, η οποία οριοθετείται από τους νομούς Πέλλης και Φωκίδος από Βορρά προς Νότο. Συγκεκριμένα περιλαμβάνει τους νομούς Ημαθίας, Πιερίας, Λάρισας, Καρδίτσας, Μαγνησίας και τέλος Φθιώτιδος. Όπως φαίνεται στη περιοχή μελέτης από το χάρτη (εικόνα 23) υφίσταται μεγάλο τμήμα του αγωγού φυσικού αερίου καθώς και του κεντρικού άξονα του σιδηροδρομικού και οδικού δικτύου. Συγκεκριμένα ο αγωγός έχει μήκος 350 km, ο σιδηρόδρομος 640 km και το οδικό δίκτυο 298 km.

Η συνολική έκταση της περιοχής μελέτης είναι 13.000km<sup>2</sup> και οριοθετείται βάση ΕΓΣΑ 87:

Β με όριο τις συντεταγμένες  $x=4501033$   $y=406847$

Ν με όριο τις συντεταγμένες  $x=4305613$   $y=339802$



Εικόνα 23 Χάρτης γεωγραφικής θέσης της περιοχής μελέτης

## 5.3 Γεωμορφολογία

Οι παράγοντες που διαμορφώνουν τη μορφολογία μιας περιοχής, είναι οι εξωγενείς και ενδογενείς διεργασίες. Οι ενδογενείς διεργασίες αφορούν στη λιθολογία και τεκτονική, ενώ οι εξωγενείς στο κλίμα και τη δράση του νερού. Έτσι, το σημερινό ανάγλυφο μιας περιοχής εξαρτάται από τρεις κυρίως παράγοντες, την τεκτονική, τη λιθολογική σύσταση και το κλίμα.

### 5.3.1 Γεωμορφολογικές ενότητες

Ο χώρος της Ανατολικής Θεσσαλίας χαρακτηρίζεται από μεγάλη ποικιλομορφία ως προς το ανάγλυφο και ουσιαστικά μπορεί να διαχωριστεί σε δύο μεγάλα τμήματα. Το πρώτο τμήμα, το πεδινό, καταλαμβάνει όλο το κεντρικό και το νοτιοδυτικό τμήμα, έχει μέσο υψόμετρο 150 μέτρα, μέση κλίση μικρότερη από 10% και περιλαμβάνει είτε τις εντελώς επίπεδες, οριζόντιες περιοχές της Λάρισας, Τυρνάβου, Στεφανοβικείου, όπου εμφανίζονται αλλουβιακοί σχηματισμοί, είτε τις ελαφρά κεκλιμένες μη επίπεδες και χαραδρωμένες περιοχές των Φαρσάλων - Αγίου Γεωργίου - Διλύψου, όπου εμφανίζονται Νεογενείς και Πλειστοκαινικοί σχηματισμοί.

Το δεύτερο τμήμα, το ορεινό, καταλαμβάνει περιφερειακά όλη σχεδόν την Ανατολική Θεσσαλία, έχει μέσο υψόμετρο 650 μέτρα, μέση κλίση 55% και περιλαμβάνει στα βόρεια το όρος Ολυμπος στα ανατολικά το όρος Κίσσαβος, Μαυροβούνι και Πήλιο, στα νότια το όρος Ορθρυς και προς τα δυτικά τα όρη Τιτάνιο, Χάσια και Καμβούνια, στη δομή των οποίων λαμβάνουν κυρίως μέρος αλπικοί σχηματισμοί.

Στη κεντρική Μακεδονία οι δυο νομοί που περιλαμβάνονται στη περιοχή μελέτης μας είναι οι Πιερίας και Ημαθίας. Το έδαφος του νομού Πιερίας έχει δύο σαφώς διακρινόμενα τμήματα: το ορεινό, στα νότια, στα δυτικά και στα βορειοδυτικά, και το πεδινό στα ανατολικά ως τη θάλασσα. Στα νότια η περιοχή κλείνεται από τον Όλυμπο, οι ψηλότερες κορυφές του οποίου (Σκολειό, 2.911 μ., Πάνθεο, 2.917 μ.) βρίσκονται στα σύνορα με τον νομό Λάρισας. Στα ίδια σύνορα, βορειότερα,

βρίσκονται οι κορυφές Βουλγάρα (1.689 μ.), Καρδαράς (1.527 μ.), Άγιος Δημήτριος (1.634 μ.). Το ορεινό τείχος συνεχίζεται με το Τίταρο (1.839 μ.), μεταξύ του οποίου και του Ολύμπου σχηματίζονται τα Στενά της Πέτρας, χαμηλός σχετικά αυχέννας, από τον οποίο περνάει ο δρόμος Ελασσόνας-Κατερίνης. Μετά τον Τίταρο αρχίζουν τα Πιέρια, με τις ψηλότερες κορυφές τους (2.190 μ., 2.009 μ., 2.023 μ.) στα σύνορα με τον νομό Κοζάνης, τα οποία εκτείνονται προς τα βόρεια για να καταλήξουν στο πεδινό τμήμα του νομού Πιερίας και του νομού Ημαθίας.

Ολόκληρο το ανατολικό τμήμα του νομού το καταλαμβάνει η εύφορη πεδιάδα της Κατερίνης, στην οποία απολήγουν λιγότερο ή περισσότερο απότομα, όλα τα βουνά που υψώνονται στην άλλη πλευρά. Προς Βορρά η πεδιάδα της Κατερίνης συνεχίζεται στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης και στην ευρύτερη πεδιάδα της κεντρικής Μακεδονίας.

### **5.3.2 Υδρογραφικό δίκτυο**

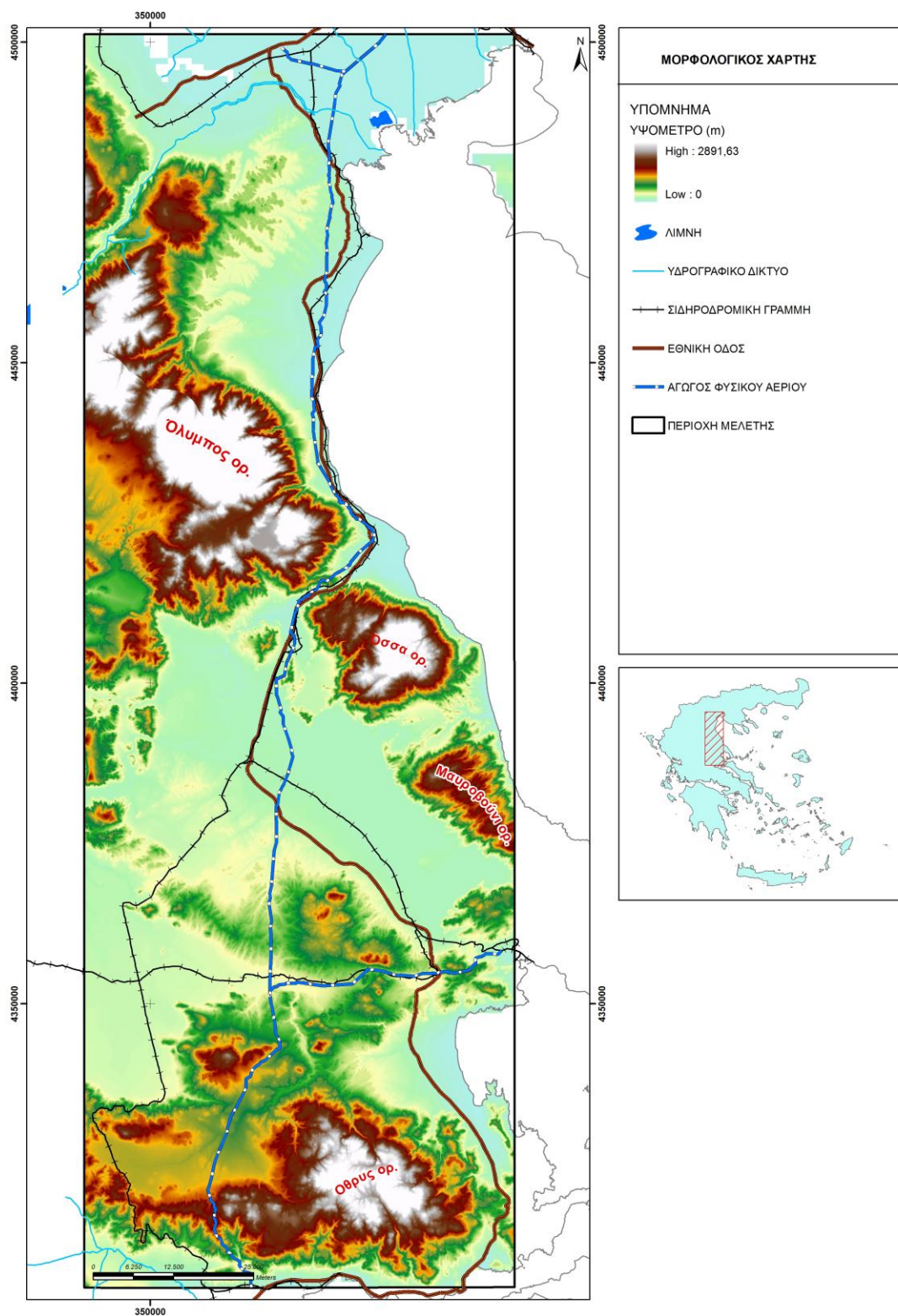
Το υδρογραφικό δίκτυο της ανατολικής Θεσσαλίας αποτελείται στην ουσία από τον Πηνειό και τους παραποτάμους του, καθώς έχουν αποξηρανθεί οι φυσικές λίμνες που η περιοχή διέθετε (Κάρλα και Ασκουρίδα).

Ο Πηνειός με μήκος 205 χλμ. είναι ένα από τα μεγαλύτερα ελληνικά ποτάμια και απορρέει μια λεκάνη, έκτασης 9.500 τ. χλμ. Κατέχει την 3η θέση ανάμεσα στους ποταμούς της Ελλάδας μετά τον Αλιάκμονα (297 χλμ.). Οι σημαντικότεροι παραπόταμοί του στο Ν. Λάρισας είναι ο Τιταρήσιος, που απορρέει τη λεκάνη της Ελασσόνας και ο Ενιπέας, που συγκεντρώνει τα νερά από τις περιοχές νότια της Λάρισας. Στον Τιταρήσιο ή Βούλγαρη ποταμό συμβάλλουν δύο χείμαρροι, ο Ελασσονίτης, που συγκεντρώνει τα νερά από τις πλαγιές του Ολύμπου και ο Ξεριάς, που πηγάζει από την περιοχή της Δεσκάτης. Ακόμη στα νότια της περιοχής μελέτης περιλαμβάνεται τμήμα του Σπερχειού.

Το υδρογραφικό δίκτυο της Κεντρικής Μακεδονίας είναι πυκνό, αποτελούμενο από πολλά και μικρά ποτάμια. Σημαντικότερα είναι ο Αξιός, καθώς και ο Ενιπέας,

που κατεβαίνει από τον Όλυμπο και το Μαυρονέρι, που περνάει νότια της Κατερίνης. Άλλα μικρά υδατορεύματα είναι η Ζηλιάνα και η Παλιουρουμάννα από τον Όλυμπο, ο Ίταμος από τον Τίταρο, και Παπτσιάρης, Τσιάμαλη, Γερακάρη, Αλκοβίτσα, Τοπόνιτσα από τα Πιέρια. Στο βόρειο άκρο του νομού βρίσκονται και οι εκβολές του Αλιάκμονα, που σχηματίζουν μια προσχωσιγενή περιοχή. Η ακτή του νομού, εκτός από τον όρμο της Μεθώνης, που σχηματίζεται κοντά στις εκβολές του Αλιάκμονα, στα νότια, και το ακρωτήριο Αχεράδα, που σχηματίζεται νοτιότερα, στις αλυκές του Κίτρους, είναι αλίμενη και σχεδόν ευθεία.





**Εικόνα 24. Μορφολογικός χάρτης της περιοχής μελέτης**

### 5.3.3 Μορφολογικές κλίσεις

Μία σημαντική παράμετρος, για την περαιτέρω ανάλυση του ανάγλυφου μιας περιοχής, αποτελεί η κλίση του ανάγλυφου. Βάση αυτού, μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για την καταλληλότητα της χωροθέτησης ενός τεχνικού έργου. Έτσι οι χάρτες μορφολογικών κλίσεων αποτελούν ένα βασικό εργαλείο που συντελεί στη χάραξη αυτών. Ακόμη από τους χάρτες αυτούς μπορούμε να κρίνουμε την επικινδυνότητα εμφάνισης ολισθητικών ή άλλων φαινομένων αστάθειας.

Συγκεκριμένα η ευστάθεια των πρανών καθορίζεται:

- ✓ από τα τεχνικογεωλογικά και λιθολογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών
- ✓ από τις κλίσεις των ίδιων των πρανών

Συνεπώς εάν τα πρνή παρουσιάζουν μεγάλες και απότομες κλίσεις σε συνδυασμό με τη φύση και το λιθολογικό χαρακτήρα των σχηματισμών αυξάνεται η πιθανότητα εμφάνισης των φαινομένων αυτών. Σε αυτή τη περίπτωση πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στη κατασκευή ενός τεχνικού έργου, διενεργώντας εκτενέστερες μελέτες, επιπρόσθετες εκσκαφές και έργα σταθεροποίησης των πράνων.

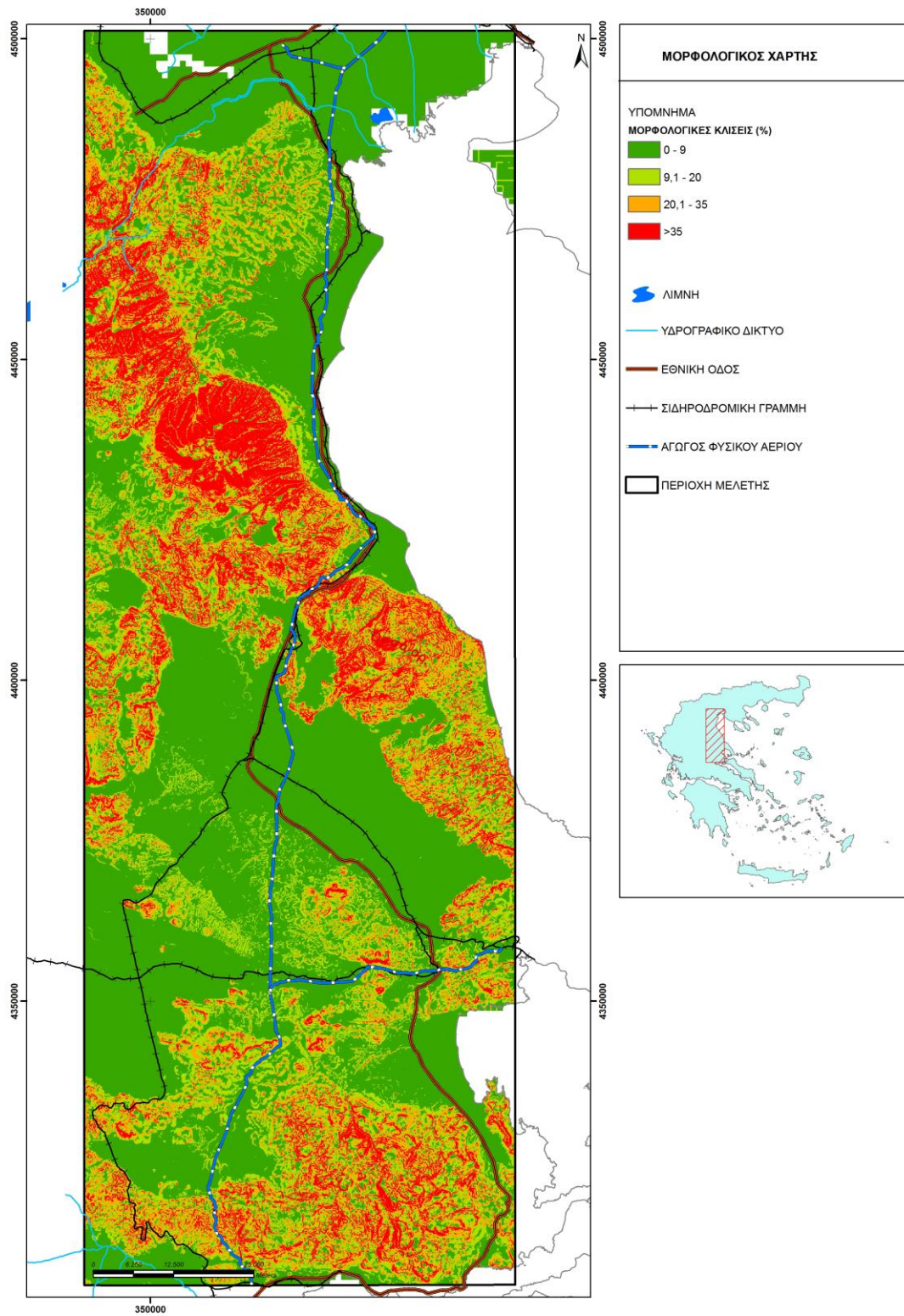
Για την ταξινόμηση των κλίσεων της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιήθηκε το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών, με το οποίο έγινε η κατάλληλη επεξεργασία του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους της περιοχής μελέτης μας. Σύμφωνα με το σύστημα αυτό οι τιμές της μέσης κλίσης του ανάγλυφου χωρίστηκαν σε τέσσερις ομάδες, οι οποίες χαρακτηρίζουν διαφορετικές επιφάνειες.

Έτσι τιμές κλίσεων από 0° έως 9° αντιπροσωπεύουν ένα ανάγλυφο επίπεδο έως ελαφρά κεκλιμένο. Το εύρος αυτό των κλίσεων προσφέρει τις καλύτερες συνθήκες για κάθε είδος ανθρώπινων κατασκευών (δρόμοι, κτίρια κ.α.) Όπως φαίνεται στο χάρτη (εικόνα 25) το μεγαλύτερο μέρος του οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου καθώς και του αγωγού φυσικού αερίου βρίσκονται στο

εύρος αυτό. Κλίσεις από 9° έως 20° φανερώνουν ένα ισχυρά κεκλιμένο ανάγλυφο, όπου λαμβάνουν χώρα κινήσεις μαζών. Στο εύρος αυτό των κλίσεων παρατηρούνται σημαντικές δυσκολίες στην κατασκευή υποδομών. Κλίσεις από 20° έως 35° αντιπροσωπεύουν ένα απότομο έως εξαιρετικά απότομο ανάγλυφο, όπου παρατηρούνται έντονες διεργασίες απογύμνωσης, ερπυσμοί εδαφών, λασπορροές. Στις κλίσεις αυτές κυριαρχούν οι δασικές εκτάσεις και οι βοσκότοποι. Κλίσεις μεγαλύτερες από 35° δείχνουν ένα απόκρημνο εως κάθετο ανάγλυφο, όπου παρουσιάζει ένα πολύ λεπτό ασυνεχές στρώμα ή και απουσία εδάφους, και έντονη απογύμνωση του μητρικού πετρώματος, κατάρρευση βράχων, ενώ δεν είναι δυνατή η οποιαδήποτε οικονομική χρήση αυτών των περιοχών από τον άνθρωπο.

Επειδή δεν είναι εφικτό να έχουμε πάντα μικρές κλίσεις, η διέλευση των έργων γίνεται αναγκαστικά και από μεγαλύτερες του 9% κλίσεων. Όπως φαίνεται από το χάρτη (εικόνα 25) στα βόρεια του νομού Πιερίας .οπως και στο νομό Φθιώτιδας, τα έργα διέρχονται από κλίσεις περίπου 9 με 20%. Στο κέντρο της περιοχής μελέτης μας και συγκεκριμένα ανάμεσα από τον Όλυμπο και την Όσσα παρατηρούμε τις μέγιστες δυνατές κλίσεις από τις οποίες διέρχονται τα έργα.

Ένα σημαντικό ειδικό τεχνικό έργο, που θα ολοκληρωθεί μέσα στο 2012 στην περιοχή της κοιλάδας των Τεμπών και συναντάται πρόβλημα λόγω τεράστιων κλίσεων σε συνδυασμό με τη ποιότητα του ασβεστόλιθου ( πολλές διακλάσεις), είναι η δίδυμη σήραγγα των Τεμπών μήκους 6 km, η μεγαλύτερη των Βαλκανίων, η οποία διέρχεται μέσα από τον Κίσαβο. Στον Κίσαβο κατασκευάζεται μια ακόμα **δίδυμη** σήραγγα μήκους 2 km.



Εικόνα 25 Χάρτης μορφολογικών κλίσεων της περιοχής μελέτης

## 5.4 Γεωλογική δομή

### 5.4.1 Λιθολογική δομή

Στη γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης (εικόνα 26) συμμετέχουν οι γεωλογικοί σχηματισμοί που περιγράφονται παρακάτω, από τους παλαιότερους προς τους νεότερους, οι οποίοι έχουν ενοποιηθεί για την παρουσίαση του γεωλογικού χάρτη που κατασκευάστηκε στο πλαίσιο της εργασίας.

**Γάββροι, Σπιλίτες, *Pillow lava* ( $\theta$ ):** Ο Γάββρος είναι βασικό πυριγενές πέτρωμα. Προέρχεται από την κρυστάλλωση βασαλτικού τύπου μάγματος σε υπόγειο περιβάλλον. Ως πλουτώνιο πέτρωμα είναι ολοκρυσταλλικός, δηλαδή εμφανίζει ευδιάκριτους κρυστάλλους των ορυκτολογικών συστατικών του

**Βασάλτες ( $\beta$ ):** Ο βασάλτης είναι πέτρωμα ηφαιστειογενές. Έχει προέλθει από στερεοποίηση λάβας ηφαιστειών. Έχει συνήθως χρώμα τεφρό σκούρο ή μαύρο. Είναι πάρα πολύ σκληρό πέτρωμα, αντέχει στην επίδραση του ατμοσφαιρικού αέρα, των καιρικών συνθηκών, αντέχει σε μεγάλες πιέσεις και αποχωρίζεται εύκολα σε πλάκες και σε στύλους.

**Γρανίτες, Γρανοδιορίτες ( $\gamma$ ):** Ο Γρανίτης είναι όξινο πέτρωμα με μεγάλη σκληρότητα που σχηματίστηκε από ηφαιστειακό μάγμα. Ο γρανοδιορίτης είναι λευκοκρατικό ως μεσοκρατικό πέτρωμα, ολοκρυσταλλικό σε γρανιτοειδή ιστό και είναι το πιο διαδομένο από τα πυριγενή πετρώματα στην επιφάνεια της γης.

**Οφθαλμογενέσιοι, γνεύσιοι, σχιστόλιθοι, αμφιβολίτες ( $ga$ ):** Οι σχιστόλιθοι, είναι κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα, τα οποία έχουν υποστεί έντονα την επίδραση της μεταμόρφωσης (σχιστοφυής όψη), καθώς σχηματίστηκαν, κυρίως, στη μεσαία και στην κάτω ζώνη της καθολικής μεταμόρφωσης. Οι γνεύσιοι είναι σχιστώδη μεταμορφωμένα πετρώματα, η ορυκτολογική σύσταση των οποίων μοιάζει με αυτή των γρανιτών.

**Οφιόλιθοι ( $of$ ):** Μεγάλες οφιολιθικές μάζες που έχουν επωθηθεί πάνω στους Τριαδικοϊουρασικούς ανθρακικούς σχηματισμούς της Πελαγονικής ζώνης. Οι

οφιόλιθοι καλύπτονται από ιζήματα Μέσου-Άνω Κρητιδικού και φλύσχη Κατώτερου Παλαιοκαίνου (Μουντράκης 2010). Οι οφιολιθικές αυτές μάζες συνίστανται, κυρίως, από σερπεντινωμένους περιδοτίτες, οι οποίοι εγκλείουν κοιτάσματα λευκόλιθου και μερικές φορές κοιτάσματα χρωμίτη.

***Παλαιοζωικοί σχηματισμοί (Pz):***

Πρασινοσχιστόλιθοι, σχιστόλιθοι, φυλλίτες, γραουβάκες με κροκαλοπαγή και ενστρώσεις ασβεστόλιθων ή δολομιτών ηλικίας Περμοτριάδικου.

***Ασβεστόλιθοι Τριαδικού-Ιουρασικού (tjc):***

Ασβεστόλιθοι αυτής της ηλικίας ανήκουν κυρίως στους σχηματισμούς της Πελαγονικής ζώνης. Πρόκειται για ασβεστόλιθους αβαθούς θάλασσας, οι οποίοι απαντώνται με μορφή φακοειδών ενστρώσεων και πολλές φορές παρουσιάζουν πλούσια χαρακτηριστική πανίδα του Κατώτερου - Μέσου Τριαδικού. Στην Πελαγονική ζώνη απαντώνται ασβεστόλιθοι και δολομίτες που η ηλικία τους φθάνει μέχρι το Ανώτερο Ιουρασικό. Επίσης έχουμε ασβεστόλιθους με ενστρώσεις πηλιτών και ραδιολαριτών. Στη ζώνη Αξιού εντοπίζονται κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι και Τριαδικά μάρμαρα.

***Σχιστοκερατολιθική διάπλαση του Ιουρασικού και Κατώτερου Τριαδικού (sh):***

Πρόκειται για τη σχιστοκερατολιθική διάπλαση της Πελαγονικής ζώνης που αποτελείται από κερατόλιθους, ψαμμίτες, πηλίτες με φακούς λευκών ασβεστόλιθων και εγκλωβισμένα οφιολιθικά σώματα. Στη ζώνη Αξιού εκτός από σχιστόλιθοι, ψαμμίτες και μάρμαρα ή χαλαζίτες απαντούν ιδιαίτερα φυλλίτες.

***Ασβεστόλιθοι Ανώτερου Κρητιδικού (c):***

Ασβεστόλιθοι πελαγικοί, ασβεστόλιθοι κρυσταλλικοί και **μάρμαρα (mr)**. Πρόκειται για ανθρακικά πετρώματα χωρίς ή με λίγες εναλλαγές άλλων πετρωμάτων τα οποία είναι λεπτοστρωματώδη ή σπανιότερα μεσοστρωματώδη. Στην Πελαγονική

ζώνη πρόκειται για κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους έως μάρμαρα. Στη ζώνη Αξιού έχουμε ασβεστόλιθους πελαγικούς ή νηριτικούς και ασβεστοσχιστόλιθους.

### **Φλύσξης (f):**

Ψαμμίτες, αργιλικοί ψαμμίτες, αργιλικοί σχιστόλιθοι, μάργες, κροκαλοπαγή, ασβεστόλιθοι και φλυσχοειδή της Ανωκρητιδικής επικλύσεως.

Φλύσξης Πελαγονικής ζώνης: Πρόκειται για ιζήματα φλύσχη που συνίστανται κυρίως από ψαμμίτες και αργιλικούς σχιστόλιθους. Εντοπίζονται, επίσης, φλυσχοειδή της Ανωκρητιδικής επικλύσεως μεταμορφωμένα σε φυλλίτες και σχιστόλιθους.

### Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα

Τέλος, περιγράφονται τα *Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα* που αποτέθηκαν στην περιοχή. Οι σχηματισμοί αυτοί είναι γνωστοί και ως μετά-αλπικοί σχηματισμοί, καθώς είναι μεταγενέστεροι και ανεξάρτητοι από το κύριο Αλπικό ορογενετικό σύστημα. Η περιγραφή τους είναι σημαντική διότι συνδέονται γενετικά με τις νεότερες τεκτονικές κινήσεις.

Τα **νεογενή ιζήματα**, ενοποιημένα ως **ca**, περιλαμβάνουν (Υπόμνημα Γεωλογικού Χάρτη Ελλάδας 1:500.000):

Νεογενές: Λιμναίες αποθέσεις από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, μάργες, αργίλους, μερικές φορές με στρώματα λιγνίτη καθώς και θαλάσσιες αποθέσεις.

Μειο-Πλειόκαινο: Λιμναίες και χερσαίες αποθέσεις από κροκαλοπαγή, άμμους, μάργες, κοκκινοχώματα, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και αργίλους. Κατά θέσεις απαντούν λιγνίτες.

Πλειόκαινο: Λιμναίες αποθέσεις από κροκαλοπαγή, άμμους, αργίλους, μάργες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και συχνά στρώματα λιγνίτη.

Πλειο-Πλειστόκαινο: Λιμναίες αποθέσεις, όπως άμμοι, κροκαλοπαγή, άργιλοι, στρώματα τύρφης ή λιγνίτη, ενίοτε κοκκινοχώματα. Περιλαμβάνονται και

ποταμολιμναίες αποθέσεις καθώς και Θαλάσσιες αποθέσεις από άμμους, μάργες, αργίλους και κροκαλοπαγή.

Πλειστόκαινο: Λιμναίες και χερσαίες αποθέσεις, κυρίως άργιλοι, πηλοί, άμμοι, κροκαλοπαγή και κοκκινοχώματα.

Τα τεταρτογενή ιζήματα και οι **αλλουβιακές αποθέσεις**, ενοποιημένα ως **al**, περιλαμβάνουν (Υπόμνημα Γεωλογικού Χάρτη Ελλάδας 1:500.000):

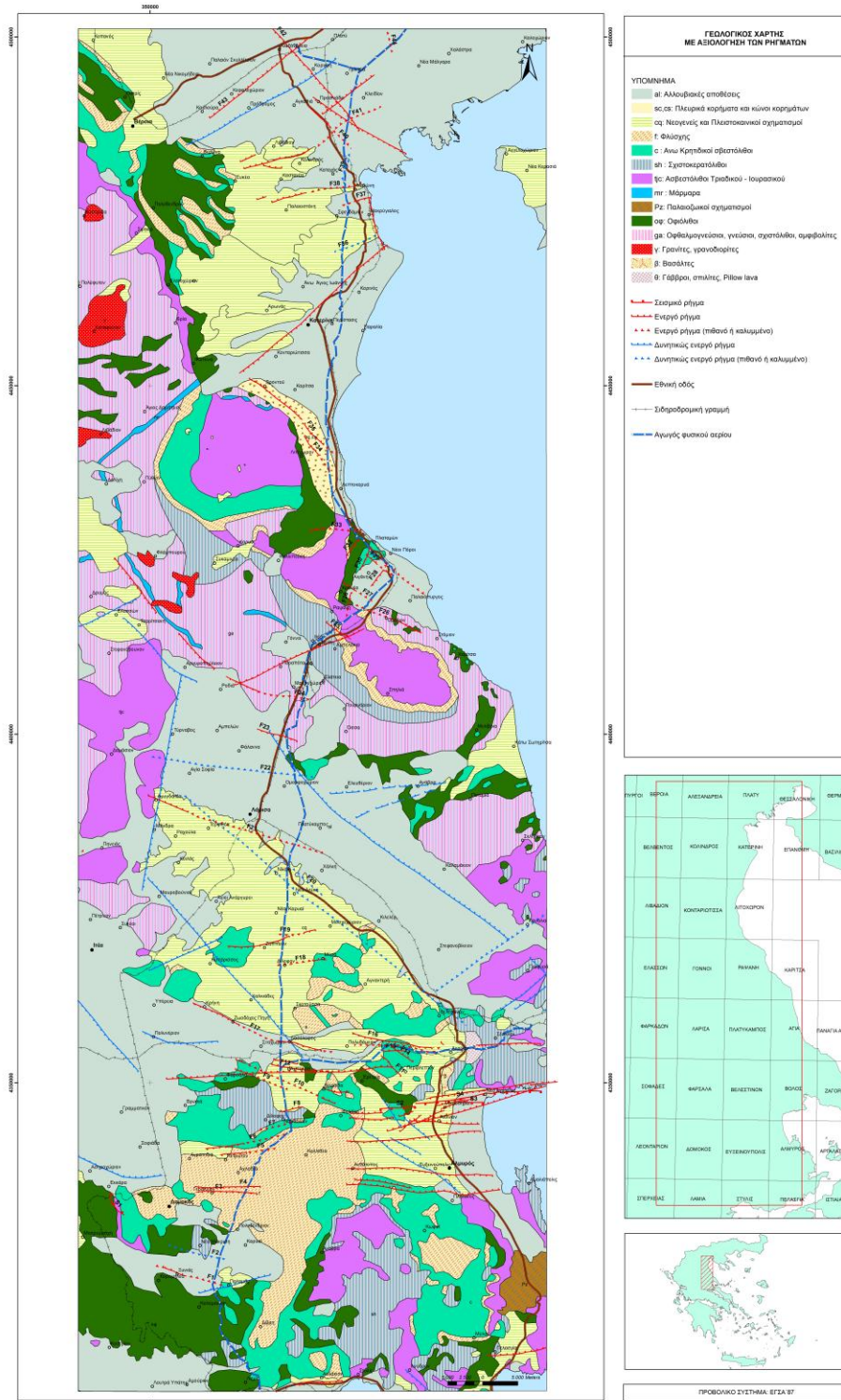
Ολόκαινο (Αλλούβιο): Σύγχρονες προσχώσεις κοιλάδων, πεδιάδων και παράκτιες αποθέσεις.

Τεταρτογενές αδιαίρετο: Θαλάσσιοι ή χερσαίοι σχηματισμοί μη διαχωριζόμενοι.

Τέλος, ως μια άλλη κατηγορία τεταρτογενών αποθέσεων, λόγω της λιθολογικής τους σύστασης και της μορφολογικής τους κατανομής, αναφέρονται οι **κώνοι κορημάτων και τα πλευρικά κορήματα**, τα οποία συμβολίζονται ως **sc,cs**.

Τόσο ο Αγωγός φυσικού αερίου όσο και το Οδικό και Σιδηροδρομικό Δίκτυο διέρχονται κατά το μεγαλύτερο τμήμα τους από νεογενείς και πλειστοκαινικούς σχηματισμούς αλλά και αλλουβιακές αποθέσεις, ενώ τμηματικά 'κόβουν' τριαδικοϊουρασικούς και ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους.





Εικόνα 26. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης

## 5.4.2 Τεκτονική – Νεοτεκτονική

Οι ενεργές σεισμοτεκτονικές ιδιότητες του ελληνικού χώρου προσδιορίστηκαν κατά κύριο λόγο στους μηχανισμούς γένεσης ισχυρών επιφανειακών σεισμών, οι οποίοι έγιναν κατά τις τελευταίες τρεις δεκαετίες. Σε όλο το χώρο του Αιγαίου και τις γύρω περιοχές, ασκούνται οριζόντιες εφελκυστικές δυνάμεις (κανονικά ρήγματα) με εξαίρεση το βόρειο Αιγαίο, στο οποίο επικρατούν ρήγματα παράταξης. Στη περιοχή μελέτης μας οι τάσεις εφελκυσμού έχουν γενικά διεύθυνση βορρά – νότου (Caruto 1990). Τα ρήγματα της είναι κανονικά με γενική διεύθυνση Α-Δ και κλίνουν προς το Βορρά ή Νότο. Άλλη διεύθυνση των ρηγματων είναι ΒΑ- ΝΔ, ενώ απατώνται και ορισμένα με ΒΔ-ΝΑ.

### 5.4.2.1 Κυριότερα ρήγματα

Παρακάτω περιγράφονται συνοπτικά τα σημαντικότερα ρήγματα που παρουσιάζονται στο χάρτη της περιοχής που εξετάστηκε (η αρίθμηση έγινε από Νότο προς Βορρά):

#### F1

Πρόκειται για κανονικό ρήγμα με διεύθυνση ΑΝΑ-ΔΒΔ το οποίο ορίζει το νότιο περιθώριο της λεκάνης της Ξυνιάδας. Διακρίνεται ανατολικά και δυτικά του χωριού Ξυνιάς και φέρει σε επαφή τα εκρηξιγενή πετρώματα με τα αλλούβια με μετάπτωση του βόρειου τεμάχους. Το ρήγμα αυτό θεωρείται δυνητικώς ενεργό διότι έχει επηρεάσει και τα τεταρτογενή ιζήματα της περιοχής.

#### F2

Κανονικό ρήγμα αντιθετικό του προηγούμενο με διεύθυνση ΑΝΑ- ΔΒΔ, τέμνει κάθετα την χάραξη του αγωγού φυσικού αερίου. Εντοπίζεται στην νότια πλευρά του χωριού Μεταλλείον και φέρει σε τεκτονική επαφή τα εκρηξιγενή πετρώματα με τα αλλούβια της λεκάνης της Ξυνιάδας. Πρόκειται για ένα δυνητικώς ενεργό ρήγμα με μετάπτωση του νοτίου τεμάχους.

**F3, F4**

Τα ρήγματα αυτά επηρεάζονται ιζήματα του ανωκρητιδικού φλύσχη, με μετάπτωση του νοτίου τεμάχους.

**F5, F6**

Παράλληλα κανονικά ρήγματα κόβουν τα ιζήματα του ανωκρητιδικού φλύσχη με ABA-ΔΝΔ διεύθυνση και τέμνουν με γωνία 30° περίπου την χάραξη του αγωγού με μετάπτωση του νότιου τεμάχους των ρηγμάτων.

**F7**

Νότια του χωριού Ναρθάκι εντοπίζεται κανονικό ρήγμα με διεύθυνση ANA-ΔΒΔ και βόρεια κλίση. Πρόκειται για σημαντικό ρήγμα διότι ορίζει το Νότιο - ανατολικό περιθώριο της λεκάνης των Φαρσάλων.

**F8**

Κανονικό ρήγμα με διεύθυνση ABA-ΔΝΔ το οποίο κόβει τους πλειοπλειστοκαινικούς ποταμοχερσαίους σχηματισμούς, με μετάπτωση του βορείου τεμάχους.

**F10, F12, F13, F17, F18**

Πρόκειται για μία ζώνη κανονικών ρηγμάτων που κόβει τα Αν. Πλειοκαινικά ιζήματα και είναι ενεργός όπως διαπιστώνεται από την γραμμική κατανομή των επικέντρων των σεισμών που έχουν συμβεί από τους ιστορικούς χρόνους μέχρι σήμερα.

Τα ρήγματα F10, F18 με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ και βόρεια κλίση είναι παράλληλα και φέρουν σε επαφή τους κρητιδικούς ασβεστόλιθους με τις αλλουβιακές αποθέσεις. Το ρήγμα F18 εμφανίζει χαρακτηριστική μορφολογία ενεργού ρήγματος.

Το κανονικό ρήγμα F17 έχει διεύθυνση A-Δ έως ANA-ΔΝΔ με μετάπτωση του νότιου τεμάχου και είναι αντιθετικό των ρηγμάτων που περιγράφηκαν προηγουμένως.

### **F19**

Πρόκειται για ένα κανονικό ρήγμα με διεύθυνση περίπου A-Δ, που κόβει τα νεογενή ιζήματα της περιοχής. Η μικρότεκτονική ανάλυση του ρήματος αυτού έδειξε ότι προήλθε από τις πρόσφατες εφελκυστικές δυνάμεις, διεύθυνσης B-N.

### **F16, F15**

Πρόκειται για δύο παράλληλα, κανονικά, αντιθετικά ρήματα με διεύθυνση περίπου A-Δ στην επαφή των κρητιδικών ασβεστόλιθων και των κορημάτων του τεταρτογενούς. Το βύθισμα στην περιοχή Ρηγαίου-Κουκίνας είναι αποτέλεσμα της δράσης κυρίως, αυτών των ρηγμάτων.

### **F14, F11**

Παράλληλα κανονικά ρήματα με διεύθυνση περίπου ΒΔ-ΝΑ. Το ρήγμα F14 έχει κλίση προς ΒΑ ενώ το F11 έχει κλίση προς ΝΔ. Η μικρότεκτονική ανάλυση των ρηγμάτων αυτών έδειξε ότι η περιοχή βρίσκεται υπό τον έλεγχο εφελκυστικών τάσεων που έχουν διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ.

### **F20**

Ενεργό, κανονικό ρήγμα, με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και κλίση ΒΑ το οποίο έχει επηρεάσει και τα ιζήματα του Ολοκαίνου όπως διαπιστώνεται και από τις γεωτρήσεις που έχουν γίνει στην συγκεκριμένη περιοχή.

### **F21, F22**

Πρόκειται για δύο μεγάλα κανονικά ρήματα με διεύθυνση ANA- ΔΒΔ και κλίση προς ΒΒΑ τα οποία συνδέονται με σεισμούς που έχουν συμβεί στην περιοχή κατά τους ιστορικούς και σύγχρονους χρόνους. Τα ρήματα αυτά είναι ενεργά.

**F23**

Κανονικό ρήγμα με διεύθυνση ANA-ΔΒΔ και κλίση ΝΝΔ. Το ρήγμα αυτό είναι παράλληλο και αντιθετικό των ρηγμάτων F21 & F22 που περιγράφησαν προηγουμένως, κόβει τα νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα κοντά στο βόρειο περιθώριο του θεσσαλικού κάμπου και ελιναι ενεργό.

**F24**

Πρόκειται για μεγάλο κανονικό ρήγμα με διεύθυνση Α-Δ έως ΆΝΑ-ΔΒΔ και κλίση προς Ν το οποίο ελέγχει το βόρειο περιθώριο της λεκάνης της Λάρισας και έχει επηρεάσει τόσο το προνεογενές υπόβαθρο όσο και τα νεογενή-τεταρτογενή ιζήματα της περιοχής. Η μικρότεκτονική ανάλυση έδειξε ότι η περιοχή επηρεάζεται από εφελκυστικές τάσεις που έχουν διεύθυνση Β-Ν (Caruto 1990).

**F 25, 26, 26', 27, 28, 29, 30, 32**

Η περιοχή της Ραψάνης-Πυργετού-Αγίου Παντελεήμονα επηρεάζεται από δύο συστήματα κανονικών ρηγμάτων κάθετα μεταξύ τους με διεύθυνση Ν120° το ένα και Ν 15°-30° το άλλο. Στο πρώτο σύστημα με διεύθυνση Ν120 ανήκουν τα ρήγματα F25, F26', F27, F29, τα οποία είναι παράλληλα και ομόρροπα με κλίση προς ΒΒΑ. Το ρήγμα F26 είναι το μεγαλύτερο και ελέγχει το νότιο περιθώριο του βυθίσματος που εκβάλλει ο ποταμός Πηνειός. Στο δεύτερο σύστημα με διεύθυνση Ν 15°-30° ανήκουν τα ρήγματα F26, F28, F30, F32, τα οποία είναι παράλληλα και ομόρροπα. Η μικροτεκτονική ανάλυση έδειξε ότι η περιοχή βρίσκεται υπό τον έλεγχο εφελκυστικών τάσεων που έχουν διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ (Brooks and Wikkiams 1982).

**F33, F34, F35**

Η περιοχή του Λιτόχωρου απαρτίζεται από εντυπωσιακού πάχους και έκτασης αποθέσεις κροκαλοπαγών που προέρχονται από την ορεινή μάζα του Ολύμπου. Τα παλαιότερα από αυτά είναι έντονα τεκτονισμένα (Faugeres 1969) με εμφανείς κατοπτρικές επιφάνειες και δημιουργούν μορφολογικές αναβαθμίδες

διατεταγμένες παράλληλα με το μεγάλο οριακό ρήγμα της ανατολικής πλευράς του Ολύμπου. Τα απότομα πρηνή που φαίνονται κοντά στο Λιτόχωρο, αποτελούν ρηξιγενείς ζώνες, των οποίων το άλμα πιθανόν να φαίνεται μεγαλύτερο, λόγω της διαφορετικής διάβρωσης που υφίστανται οι γεωλογικοί σχηματισμοί. Η τελευταία δράση των ρηγμάτων αυτών, στο προνεογενές υπόβαθρο καθώς και εκείνων που βρίσκονται μέσα στα πλειστοκαινικά κροκαλολατυποπαγή, χρονολογείται στο Ανώτερο Πλειστόκαινο.

Κατά τη διάρκεια του πρόσφατου Τεταρτογενούς η δραστηριότητα των ρηγμάτων αυτών συνεχίστηκε, χωρίς όμως το άλμα τους να ξεπερνά τα 10m. Σε μία περίπτωση (Faugeres 1978) στην κοίτη του ποταμού Ενιπέα τα κροκαλοπαγή φαίνονται κομμένα από ένα κανονικό ρήγμα διεύθυνσης B 155° και κλίση 40° προς τα ΒΑ, η κατοπτρική επιφάνεια του οποίου έχει ορατό ύψος μεγαλύτερο από 15m.

Η περιοχή του Ολύμπου δεν κατατάσσεται σήμερα ανάμεσα στις σεισμικά ενεργές περιοχές της χώρας, εν τούτοις οι σεισμοί εκεί δεν είναι άγνωστοι, αφού η Κατερίνη είχε υποστεί σοβαρές καταστροφές από σεισμική δραστηριότητα κατά την εποχή του 2ου Παγκόσμιου πολέμου και ιστορικά αναφέρεται σεισμός που έπληξε την αρχαία πόλη Δίον.

Τα ρήγματα F34 και F35 έχουν διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και κλίση ΒΑ, ενώ το άλμα τους της τάξεως μερικών μέτρων δεν είναι ακριβώς γνωστό. Νοτιότερα, κοντά στον Πλαταμώνα απαντά κανονικό ρήγμα διεύθυνσης περίπου Α-Δ και κλίση προς Β. Οι Brooks and Williams (1987) προσδιόρισαν σ' αυτή την περιοχή μία Β-Ν περίπου διεύθυνση των τεταρτογενών εφελκυστικών τάσεων.

### **F38**

Βόρεια της Μεθώνης σημειώνεται η παρουσία ενός κανονικού ρήγματος, το οποίο έχει διαπιστωθεί τόσο από γεωλογικά όσο και από γεωφυσικά δεδομένα. Το ρήγμα αυτό έχει διεύθυνση περίπου Ν70° και κλίση 60-70° προς Βορρά και όπως δείχνουν τα γεωφυσικά δεδομένα το μήκος του είναι αρκετά μεγάλο.

Σύμφωνα με τα στρωματογραφικά στοιχεία η ηλικία του ρήγματος τοποθετείται μετά το Ανώτερο Πλειστόκαινο και το άλμα του ανέρχεται στα 12 m.

### **F36, F37**

Βόρεια και Νότια του Μακρύγιαλου εμφανίζονται δύο πολύ πρόσφατα κανονικά, παράλληλα και ομόρροπα ρήγματα με διεύθυνση περίπου N70° και κλίση 50° προς Νότο και κόβουν τα νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα της περιοχής.

### **F39**

Πρόκειται για ένα ενεργό κανονικό ρήγμα με διεύθυνση BBA-NNΔ διαπιστωμένο από γεωφυσικά δεδομένα, τόσο στις νεογενείς αποθέσεις της περιοχής όσο και στα Ολοκαινικά ιζήματα.

### **F40**

Βόρεια από το Αιγίνιο, οι απότομες κλιτύες των λόφων γύρω από το χωριό Μεγάλη Γέφυρα, συνδέονται αναμφίβολα με την ύπαρξη ενός μεγάλου ρήγματος που προκάλεσε βύθιση της περιοχής που είναι η σημερινή κοίτη του Αλιάκμονα (Faugeres 1978). Αν και δεν φαίνονται κατοπτρικές επιφάνειες στο πεδίο, οι γεωφυσικές μετρήσεις και οι γεωτρήσεις που έγιναν φανερώνουν την ύπαρξη μίας μεγάλης ρηξιγενούς ζώνης στο υπόβαθρο που παρουσίασε επανειλημμένες δραστηριοποιήσεις μέχρι πρόσφατα. Στη γεώτρηση που έγινε κοντά στο χωριό Κορυφή η βάση της σειράς του Αν.Μειόκαινου-Κατ.Πλειόκαινο που στα χωριά Μεγάλη Γέφυρα και Αγκαθιά εμφανίζεται επιφανειακά, προσδιορίστηκε στα βάθη των 800-900 m ενώ το προπαλαιογενές υπόβαθρο στα 4km. Η τεκτονική αυτή γραμμή πρέπει να είναι ένα από τα σημαντικότερα γεγονότα που δημιούργησαν το νοτιοδυτικό όριο της πεδιάδας της κεντρικής Μακεδονίας.

### **F41, F44**

Τα ρήγματα αυτά είναι διαπιστωμένα τόσο από γεωφυσικές μελέτες όσο και από γεωτρήσεις έχουν επηρεάσει τις αλλουβιακές αποθέσεις της περιοχής και είναι ενεργα.

**F43, F42**

Πρόκειται για μεγάλα κανονικά ρήγματα, ενεργά, εντοπισμένα με αερομαγνητικές και βαρυτομετρικές μελέτες που έγιναν από το Γαλλικό Ινστιτούτο Πετρελαίου και κόβουν τις Ολοκαινικές αποθέσεις της περιοχής.

Το ρήγμα F43 έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και το ρήγμα F42 έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ.

**5.4.2.2 Σεισμικά ρήγματα**

Από πρόσφατες έρευνες έχειδειχθεί ότι σημαντικό ποσοστό των μεγάλων επιφανειακών σεισμών του ελληνικού χώρου και των γύρω περιοχών γίνονται σε ρήγματα τα οποία φθάνουν μέχρι την επιφάνεια της Γης. Για ορισμένα από τα ρήγματα αυτά υπάρχουν περιγραφές του επιφανειακού ίχνους τους για σχετικά μικρό αριθμό παλαιότερων σεισμών αλλά υπάρχουν λεπτομερείς τέτοιες περιγραφές για αρκετούς νεότερους σεισμούς. Στην περιοχή μελέτης περιγραφές για σεισμικές καταστροφές και εμφάνιση δευτερογενών σεισμικών φαινομένων στον προηγούμενο αιώνα αναφέρονται οι παρακάτω (από Papazachos and Papazachou 1997):

**Σεισμός 1941 Λάρισα**

Από το σεισμό αυτό σημαντικές βλάβες, εκτός από την πόλη της Λάρισας έπαθαν και τα γειτονικά χωριά Γερακάρι, Ελευθέριο, Νέσσων, Ορτα, Νέχαλη, Πλατύκαμπος, Γλαύκη, Χάλκη. Στη Λάρισα, περισσότερες ζημιές παρουσίασε η βιομηχανική συνοικία Ταμπάκικα, το τμήμα που βρίσκεται στην αγορά της πόλης και η περιοχή γύρω από το φρούριο. Στην πόλη της Λάρισας, 10% των σπιτιών καταστράφηκε εντελώς, το 60% έπαθε σοβαρότατες ζημιές και το 30% μικρότερες βλάβες. Σκοτώθηκαν στη Λάρισα περίπου 40 άτομα και τραυματίστηκαν περίπου 100. Εμφανίστηκε επιφανειακό ίχνος ρήματος συνολικού μήκους 12 km το οποίο είχε ΝΑ – ΒΔ διεύθυνση ξεκινούσε από το Ασημάκι, μεταξύ Πλατύκαμπου και Ελευθερίου και κατέληγε κοντά στη Φαλάνη. Παρατηρήθηκαν και μικρότερες διαρρήξεις παράλληλες προς την κύρια διάρρηξη, όπως εκελίνη στη περιοχή Γκιούλμπερι. Παρατηρήθηκαν επίσης



φαινόμενα ρευστοποίησης σε ορισμένα μέρη όπως το Αλκαζάρ της Λάρισας. Στη Λάρισα η αριστερή όχθη του ποταμού έπαθε καθίζηση και μέρος της κατολίσθησε στη κοίτη. Παρατηρήθηκε διάρρηξη στο έδαφος από τη γέφυρα του Πηνειού μέχρι το Αλκαζάρ πλάτους 10 cm.

### **Σεισμός 1954 Καρδίτσα**

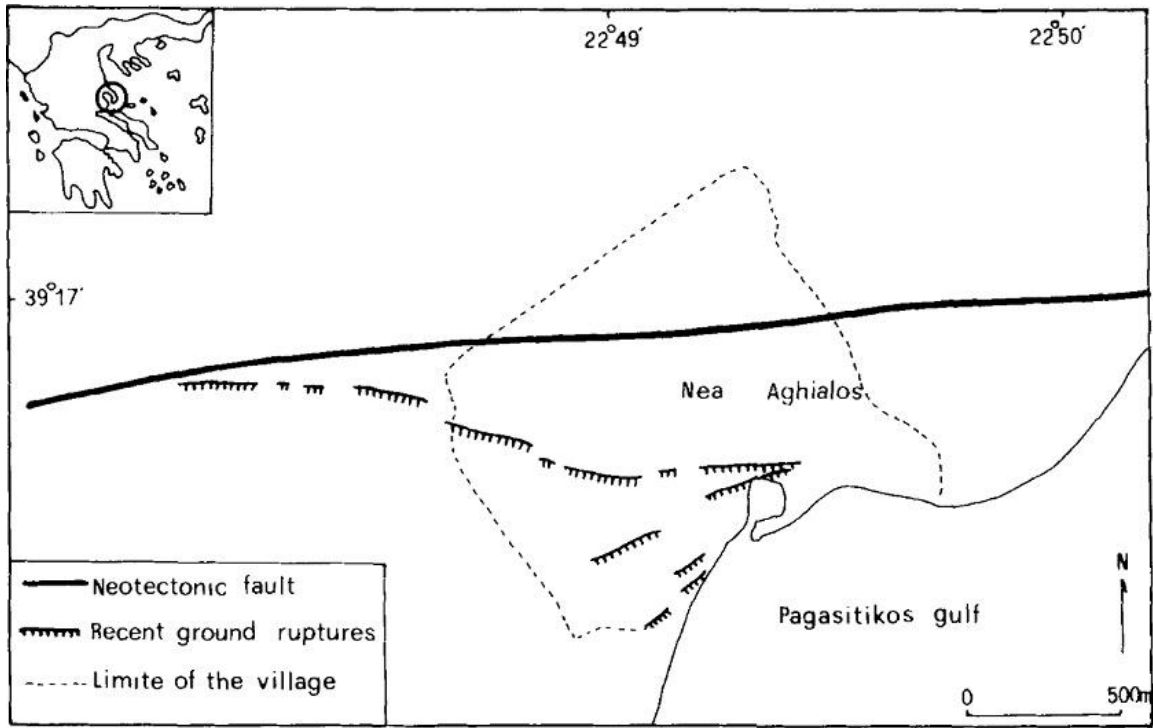
Ο σεισμός προκάλεσε σοβαρές βλάβες στους νομούς Καρδίτσας, Λάρισας, Τρικάλων, Φθιώτιδας, Μαγνησίας και Ευρυτανίας. Συνολικά καταστράφηκαν 6.599 οικοδομές, βλάφθηκαν σοβαρά 9.154 και ελαφρά 12.920. Σκοτώθηκαν 25 άνθρωποι και τραυματίστηκαν 157. Οι μεγαλύτερες βλάβες παρατηρήθηκαν στο νομό Καρδίτσας όπου η κωμόπολη Σοφάδες καταστράφηκε σχεδόν ολοκληρωτικά. Παρατηρήθηκαν διαρρήξεις του εδάφους σε διάφορα μέρη από τις οποίες η σημαντικότερη ήταν αυτή στην Εκκάρα (Κάτω Αγόριανη) που είχε μήκος 5 km και διεύθυνση ΒΒΔ με πτώση του ανατολικού τμήματος κατά 30-70 cm. Στα άκρα της διάρρηξης ακολουθούσε Α-Δ διεύθυνση με πτώση του βόρειου τμήματος κατά 1m περίπου. Η διάρρηξη αυτή έκοψε τη σιδηροδρομική γραμμή. Μικρότερη διάρρηξη με διεύθυνση Α-Δ παρατηρήθηκε και κοντά στους Βελεσιώτες όπου επίσης κόπηκε η σιδηροδρομική γραμμή. Παρατηρήθηκαν φαινόμενα ρευστοποίησης και υδρογεωλογικές μεταβολές σε διάφορους τόπους.



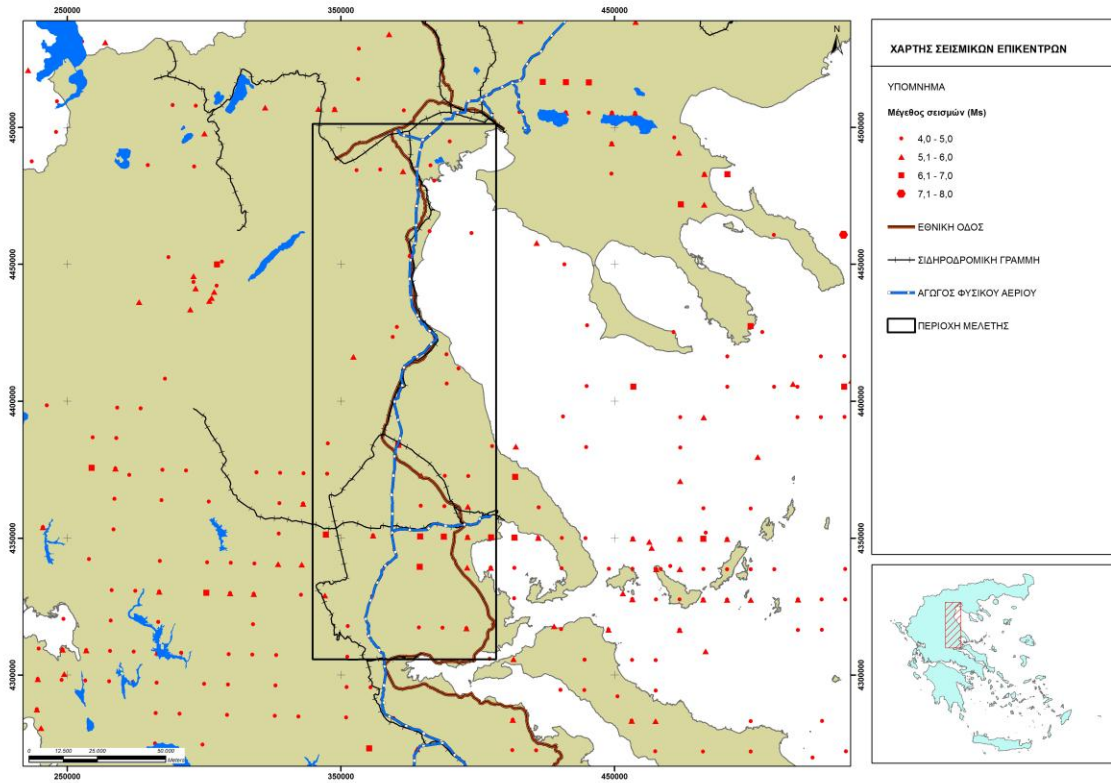
**Εικόνα 27. Ρήγμα Εκκάρας, 1954**

### **Σεισμός 1980 Αλμυρό**

Πρόκειται για το καταστρεπτικό σεισμό του Παγασιτικού κόλπου. Προκλήθηκαν καταστροφές στους νομούς Μαγνησίας, Φθιώτιδας και Λάρισας. Συνολικά καταστράφηκαν 5.222 οικοδομές, έπαθαν σημαντικές βλάβες 14.726 και ελαφρές 10.688. Τραυματίστηκαν 24 άνθρωποι. Στη Νέα Αγχίαλο παρατηρήθηκαν μικρές εδαφικές ρωγμές οι οποίες είχαν διεύθυνση Ανατολή – Δύση. Οι ρωγμές αυτές θεωρούνται επιφανειακές εκδηλώσεις δευτερευόντων μικρών ρηγμάτων τα οποία δημιουργήθηκαν στα ιζήματα και είναι παράλληλα προς το σεισμογόνο ρήγμα το οποίο δεν παρατηρήθηκε στην επιφάνεια. Οι μεγαλύτερες εντάσεις παρατηρήθηκαν στον Αλμυρό(εικόνα 28), τη Νέα Αγχίαλο και το Αϊδίι της Μαγνησίας.



Εικόνα 28. Χάρτης με τις σεισμικές διαρρήξεις του σεισμού του 1980 (ρήγμα Αλμυρού)



**Εικόνα 29 . Χάρτης σεισμικών επικέντρων της περιοχής μελέτης**

## 5.5 Αντισεισμικός κανονισμός

### 5.5.1 Νομοθεσία

Η ασφάλεια των κτιρίων και γενικότερα των κατασκευών, αποτελεί αναμφισβήτητα τον κύριο και καθοριστικό παράγοντα για την προστασία της ζωής και της περιουσίας των πολιτών σε περίπτωση σεισμού. Ο Αντισεισμικός Κανονισμός είναι το βασικό εργαλείο για την μελέτη και κατασκευή κτιρίων και τεχνικών έργων, που τα καθιστά ικανά να δέχονται με ασφάλεια τις ισχυρές καταπονήσεις που προκαλεί ο σεισμός.

Ο πρώτος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός θεσμοθετήθηκε και εφαρμόστηκε το 1959. Το 1984 θεσμοθετήθηκαν και εφαρμόστηκαν οι πρόσθετες διατάξεις. Παράλληλα ξεκίνησε από τον Ο.Α.Σ.Π. η διαδικασία σύνταξης του Νέου Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (Ν.Ε.Α.Κ.) ο οποίος τέθηκε σε εφαρμογή το 1995.

Η παρούσα έκδοση του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού - ΕΑΚ 2000 αποτελεί αναθεώρηση του ΝΕΑΚ μετά από 4 χρόνια εφαρμογής του. Η αναθεώρηση αυτή περιλαμβάνει τροποποιήσεις και συμπληρώσεις που κρίθηκαν αναγκαίες: 1. μετά από σημαντικές παρατηρήσεις, σχόλια και επιστημονικές απόψεις που διατυπώθηκαν κατά την διάρκεια εφαρμογής του ΝΕΑΚ. 2. για την προσαρμογή στους αντίστοιχους Ευρωκώδικες EC8 (Αντισεισμικός) και EC7 (Θεμελιώσεις).

### **ΕΑΚ 2000 – ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.1.2. Γειτνίαση Ενεργών Σεισμοτεκτονικών Ρηγμάτων**

Στην παρούσα εργασία οι παράγραφοι του αντισεισμικού κανονισμού του κεφαλαίου 5.1.2, που μας ενδιαφέρουν είναι οι 2 και 3:

(2) Ο χαρακτηρισμός ρηγμάτων ως σεισμικώς ενεργών θα γίνεται με βάση σειсмоϊστορικά και σεισμοτεκτονικά δεδομένα λαμβάνοντας υπόψη και το πιθανό μέγεθος τυχόν σεισμικής διάρρηξης. Η επισήμανση και ο χαρακτηρισμός

σεισμοτεκτονικών ρηγμάτων αποτελεί εν γένει αντικείμενο ειδικής μελέτης αναφερομένης στην ευρύτερη περιοχή οικοδόμησης και όχι σε μεμονωμένα κτίρια. Τέτοια διερεύνηση αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για την οικιστική ανάπτυξη μίας περιοχής και υπόκειται σε έλεγχο και έγκριση της πολιτείας. Διερεύνηση για ύπαρξη σεισμικώς ενεργών ρηγμάτων δεν απαιτείται εν γένει μέσα σε οικιστικά ανεπτυγμένες περιοχές, εκτός αν υφίστανται ισχυρές ενδείξεις περί του αντιθέτου, βασιζόμενες σε επίσημους γεωλογικούς - τεκτονικούς χάρτες.

(3) Σε περιπτώσεις στις οποίες συντρέχουν ειδικοί λόγοι δόμησης στην άμεση γειτονία σεισμοτεκτονικών ρηγμάτων που θεωρούνται σεισμικώς ενεργά, η δόμηση επιτρέπεται μόνον ύστερα από ειδική σεισμική - γεωλογική - γεωτεχνική - στατική μελέτη. Στην μελέτη αυτή θα διερευνώνται οι επιπτώσεις της γειννίας του ρήγματος και θα λαμβάνονται μέτρα για την αποτελεσματική αντιμετώπισή τους. Η σεισμική δράση σχεδιασμού στην άμεση γειτονία τέτοιων ρηγμάτων θα λαμβάνεται αυξημένη τουλάχιστον κατά 25% σε σχέση με την οριζόμενη στο κεφάλαιο 2.

### **5.5.2 Εκτίμηση σεισμικής επικινδυνότητας**

Η επιστημονική γνώση για το ρόλο των ενεργών γεωλογικών ρηγμάτων στη σεισμογένεση και κατ' επέκταση στις ανθρώπινες κατασκευές είναι περιορισμένη σε ακαδημαϊκό επίπεδο, τόσο διεθνώς όσο και στην Ελλάδα. Τα ρήγματα δεν παίρνονται ουσιαστικά υπόψη στον αντισεισμικό κανονισμό. Η ανάγκη όμως για ασφάλεια των μεγάλων έργων απαιτεί ιδιαίτερες και εξειδικευμένες γνώσεις των διεργασιών του γήινου φλοιού, λεπτομέρεια στον καθορισμό των ενεργών δομών και περαιτέρω κατασκευαστικές προσπάθειες για την ελαχιστοποίηση των συνεπειών από μελλοντική επαναδραστηριοποίησή τους.

Στο παρελθόν έχουν συμβεί σοβαρά λάθη στην εκτίμηση των τεκτονικών κινήσεων του γήινου φλοιού, κυρίως από έλλειψη επιστημονικής γνώσης, με συνέπειες τις πρόσθετες οικονομικές δαπάνες μεγάλων έργων, τη καθυστέρηση

ή ματαίωση μεγάλων και σημαντικών από οικονομική πλευρά κατασκευών, τα νομικά προβλήματα και κυρίως τις μεγάλες απώλειες σε ανθρώπινες ζωές και κατασκευές.

Απαραίτητες είναι, λοιπόν, οι γεωλογικές μελέτες και έρευνες για την κατανόηση των κινήσεων του γήινου φλοιού και κυρίως την εφαρμογή τους για θεμελίωση ασφαλέστερων τεχνικών έργων. Επίπλέον, τα ενεργά ρήγματα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψιν στον αντισεισμικό σχεδιασμό, ακόμη και αν τα υπάρχοντα σεισμολογικά στοιχεία δείχνουν σαφώς χαμηλότερους δείκτες και συντελεστές.

Εκτός από τα σεισμολογικά δεδομένα στα οποία στηρίζονται συνήθως οι μελέτες για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας, στα πλαίσια της αιτιοκρατικής ανάλυσης, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν τα γεωλογικά δεδομένα ( διαστάσεις ρήγματος) για άμεση ποσοτική χρήση από μηχανικούς στο καθορισμό του «σεισμικού σχεδιασμού». Δηλαδή καθορισμός μέγιστου αναμενόμενου μεγέθους, εδαφικής ταχύτητας και σεισμικής επιτάχυνσης.

Όπως φαίνεται στο χάρτη του ΕΑΚ (εικόνα 30) η περιοχή μελέτης μας ανήκει στις ζώνες I και II σεισμικής επικινδυνότητας. Συμπεραίνουμε, λοιπόν, ότι στην περιοχή II που έχουμε μεγαλύτερες εδαφικές επιταχύνσεις είναι πιο δύσκολη και χρήζει περαιτέρω μελέτης η εκάστοτε κατασκευή. Επίπλέον στην περιοχή αυτή όπως φαίνεται απ' το χάρτη των σεισμικών επικέντρων (εικόνα 29) έχουμε αρκετούς σεισμούς της τάξης μεγέθους  $M=6$  ή και μεγαλύτερου, γεγονός το οποίο πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν στη μελέτη και κατασκευή των τεχνικών έργων.

Η αξιολόγηση των ρηγμάτων και η εκτίμηση της σεισμικής τους επικινδυνότητας επιτυγχάνεται, εκτός των άλλων, με τη χρήση εμπειρικών σχέσεων που συνδέουν το σεισμικό μέγεθος με τις διάφορες παραμέτρους μιας σεισμικής πηγής, όπως είναι το μήκος του ρήγματος και η μέγιστη μετατόπιση. Οι εμπειρικές σχέσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό αυτό στην περιοχή

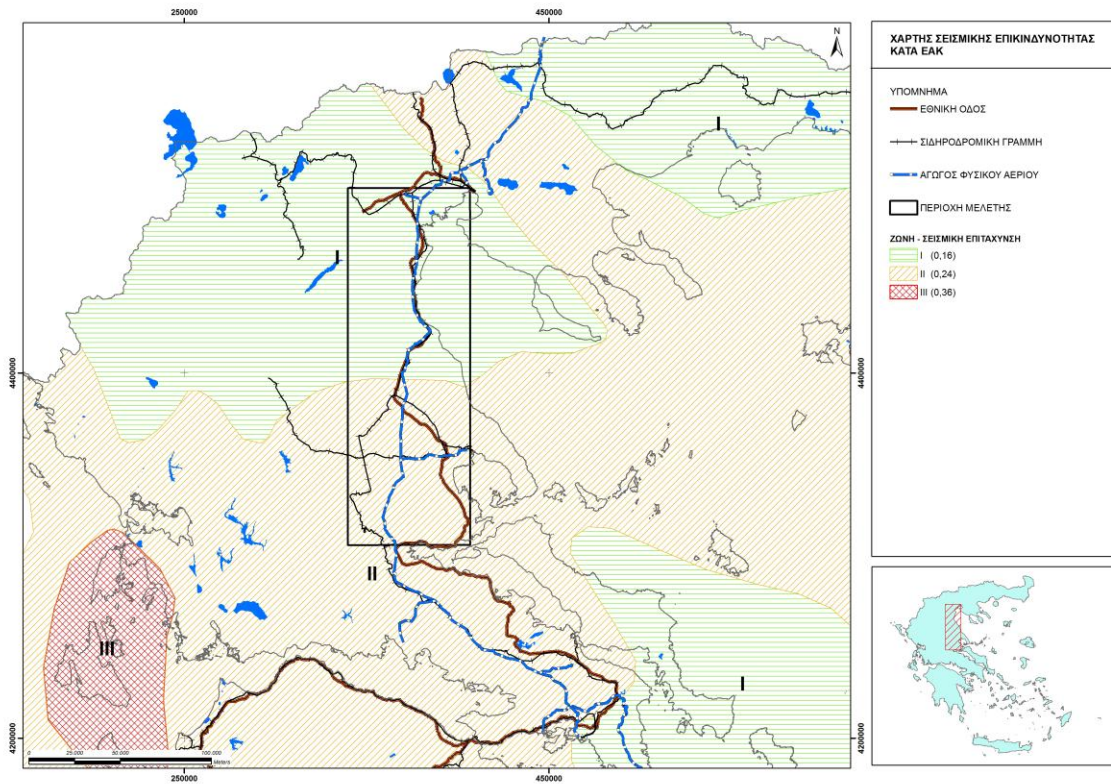
μελέτης είναι των Wells & Coppersmith (1994), οι οποίες έχουν προκύψει από παγκόσμια σεισμικά δεδομένα, των Ambraseys & Jackson (1998) που βασίζονται σε σεισμικά δεδομένα του Ελλαδικού χώρου και της ευρύτερης Ανατολικής Μεσογείου, των Pavlides & Caputo (2004) με δεδομένα του ευρύτερου Ελλαδικού χώρου και τέλος των Papazachos et al. (2004) με δεδομένα από τον παγκόσμιο χώρο.

Για να προσεγγιστούν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια οι τιμές του μέγιστου σεισμού, χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον οι σχέσεις που δίνουν το κατώτερο και το ανώτερο εύρος τιμών (κατά Wells & Coppersmith και Pavlides & Caputo):

$$\text{Wells \& Coppersmith (1994): } M_w = 4.52 + 1.06 \log(\text{SRL}) \quad M_w = 5.2 + 1.58 \log(\text{SRL})$$

$$\text{Pavlides \& Caputo (2004): } M_s = 1.42 \log(\text{SRL}) + 4.36 \quad M_s = 1.21 \log(\text{SRL}) + 5.48$$





Εικόνα 30 . Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας της περιοχής μελέτης κατά ΕΑΚ

## 6.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία έγινε με σκοπό την αναγνώριση, την αποτύπωση καθώς και την εκτίμηση της ενεργότητας αλλά και επικινδυνότητας των γεωλογικών ρηγμάτων της περιοχής της ανατολικής Θεσσαλίας και κεντρικής Μακεδονίας. Κυρίως μας απασχόλησε η ύπαρξη ενεργού ρήγματος πλησίον των γραμμικών τεχνικών έργων, στην περιοχή μελέτης μας και η πιθανή επίδρασή τους σε αυτά.

Προκειμένου να γίνει η ορθή αξιολόγηση των ρηγμάτων πρωταρχικό ρόλο είχε ο εντοπισμός των γεωλογικών δομών της Νεοτεκτονικής περιόδου, με ειδικότερη έμφαση στα ρήγματα που έχουν δραστηριοποιηθεί στο ανώτατο Πλειστόκαινο και ειδικότερα στο Ολόκαινο. Αυτό επιτεύχθηκε με έρευνες που περιλάμβαναν τη χρήση εργαλείων τηλεσκόπησης (δορυφορικές εικόνες, αερόφωτογραφίες) καθώς και τη χρήση χαρτών, οι οποίοι βοήθησαν να κατανοήσουμε το αναγλυφο, τις μορφολογικές κλίσεις και τους γεωλογικούς σχηματισμούς, της περιοχής μας, ώστε να προσδιορίσουμε το βαθμό επικινδυνότητας του κάθε ρήγματος στα γραμμικά τεχνικά έργα.

Το μήκος του ρήγματος, ο μέσος ρυθμός ολίσθησης, η ζώνη παραμόρφωσης, ο χρόνος που μεσολάβησε από το τελευταίο σεισμικό γεγονός ή από τη τελευταία επαναδραστηριοποίηση του ρήγματος και κυρίως η αναμενόμενη μετατόπιση από τυχόν μελλοντική επαναδραστηριοποίηση του είναι εξίσου σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την επικινδυνότητα της περιοχής και κατ' επέκταση την επίδραση τους στο οδικό δίκτυο, το σιδηρόδρομο και τον αγωγό φυσικού αερίου.

Σύμφωνα με τους χάρτες που ψηφιοποιήθηκαν παραπάνω διακρίνουμε την περιοχή μελέτης μας σε τρεις κατηγορίες επικινδυνότητας με βάση τη μορφολογία και την κλίση του εδάφους, τους γεωλογικούς σχηματισμούς (λιθολογία-τεκτονική) και τη σεισμική επικινδυνότητα (νομοθεσία-σεισμούς). Η διάκριση αυτή περιορίστηκε στη μελέτη της στενής περιοχής του άξονα των γραμμικών τεχνικών έργων.

Οι ζώνες που διακρίναμε οριοθετούνται από τις εξής περιοχές:

Ζώνη Α: Δομοκός – Αλμυρός – Λάρισα

Ζώνη Β: Όλυμπος – Όσσα

Ζώνη Γ: Κολινδρός – Βέροια – Πλατύ

Στη πρώτη ζώνη σύμφωνα με τις κατηγορίες που διακρίναμε βλέπουμε ότι έχουμε σχετικά ήπια μορφολογία εδάφους χωρίς ορεινούς όγκους ή απότομες κλίσεις. Παρατηρούμε όμως ότι η γεωλογία της περιοχής σε συνδυασμό με τη σεισμική επικινδυνότητα καθιστούν αναγκαία την λεπτομερή μελέτη της περιοχής για τη κατασκευή τεχνικών έργων. Πιο συγκεκριμένα η περιοχή αποτελείται από νεογενείς αποθέσεις, οι οποίες συνίστανται από ασύνδετα υλικά, που ευνοούν τις εδαφικές επιταχύνσεις (ζώνη II σεισμικής επικινδυνότητας). Έχουμε επίσης παρουσία φλύσχη και οφιόλιθων, που παρουσιάζουν σαθρότητα και ολισθηρότητα αντίστοιχα, όπως και σχιστοκερατόλιθους, η σχιστότητα των οποίων ευνοεί τις κινήσεις των μαζών. Επιπρόσθετα στοιχεία επικινδυνότητας είναι ο μεγάλος αριθμός ενεργών όπως και ορισμένα σεισμικά ρήγματα, καθώς και η σεισμική δραστηριότητα (σεισμοί μεγέθους  $M=6$  και μεγαλύτερου).

Η δεύτερη ζώνη χαρακτηρίζεται από μεγάλες μορφολογικές κλίσεις και εξαιρετικά απότομο ανάγλυφο, με κύριο στοιχείο της την παρουσία του Όλυμπου και της Όσσας, ανάμεσα από τα οποία έχουμε διέλευση των γραμμικών τεχνικών έργων μας. Όσο αναφορά τη λιθολογία έχουμε ύπαρξη ασβεστολίθων ηλικίας Τριαδικού – Ιουρασικού, σχιστοκερατόλιθους και οφιόλιθους, που όπως προαναφέρθηκε, εκτός των ασβεστόλιθων, που παρουσιάζουν σταθερότητα, δεν είναι ιδιαίτερα ευνοϊκά σαν πετρώματα. Έχουμε και σε αυτή τη ζώνη ενεργά ρήγματα αλλά ο αριθμός των σεισμικών είναι πιο περιορισμένος συγκριτικά με της πρώτης ζώνης. Το κομμάτι αυτό της περιοχής μελέτης μας ανήκει κυρίως στη ζώνη I σεισμικής επικινδυνότητας κατά ΕΑΚ, με ένα πολύ μικρό μέρος του νότιου τμήματος του να ανήκει στη ζώνη II. Συνεπώς έχουμε μικρές εδαφικές επιταχύνσεις μειώνοντας τον υπάρχοντα κίνδυνο στην κατασκευή ενός τεχνικού έργου.

Η τελευταία ζώνη, που κατηγοριοποιήσαμε, εκτείνεται στο βόρειο μέρος της περιοχής μελέτης μας, όπου οι κλίσεις του εδάφους είναι αντίστοιχες της πρώτης ζώνης, δηλαδή αρκετά ήπιες με εξαίρεση κάποια σημεία, στα οποία είναι πιο έντονες της τάξης των 20% με 25%. Οι σχηματισμοί που συναντώνται στην περιοχή αυτή είναι νεογενείς και πλειστοκαινικοί, με το μεγαλύτερο μέρος της να καλύπτεται από αλλουβιακές αποθέσεις, όπως επίσης από φλύσχη και οφιόλιθους. Στη συγκεκριμένη περίπτωση τα νεογενή ιζήματα συνδυαστικά με τις οριζόντιες κλίσεις στου εδάφους δεν αποτελούν πρόβλημα στην κατασκευή τεχνικών έργων, αφού μπορούν να χρησιμοποιηθούν μηχανικά μέσα για την όρυξη του εδάφους. Τα περισσότερα ρήγματα που εμφανίζονται είναι ενεργά αλλά η ιστορία της σεισμικότητας της περιοχής δεν καταγράφει σημαντικά σεισμικά ρήγματα και η ζώνη επικινδυνότητας, στην οποία ανήκει η περιοχή είναι εξ' ολοκλήρου η Ι, όπου οι εδαφικές επιταχύνσεις είναι ελάχιστες (0-16). Κρίνοντας από τα παραπάνω καταλαβαίνουμε ότι η τρίτη ζώνη, που ορίσαμε, είναι η λιγότερο επικίνδυνη για την κατασκευή τεχνικών έργων.

Εκτός από τα κριτήρια που χρησιμοποιήσαμε παραπάνω για την κατηγοριοποίηση των ζωνών, βαρύνουσας σημασίας είναι και τα μήκη των ρηγμάτων. Παρατηρούμε ότι στη πρώτη ζώνη εκτός από το μεγάλο αριθμό των ενεργών ρηγμάτων αυτά έχουν και μεγάλο μήκος, γεγονός που σημαίνει αντίστοιχα μεγάλες σεισμικές μετατοπίσεις. Στη δεύτερη ζώνη εμφανίζονται τα ρήγματα με τα μικρότερα μήκη ενώ στη τελευταία έχουμε ρήγματα ενδιάμεσου μήκους.

Συμπερασματικά, προκύπτει ότι για την ασφαλή δόμηση και λειτουργία των τεχνικών έργων (Αγωγός Φυσικού Αερίου, Οδικό και Σιδηροδρομικό δίκτυο) κατά μήκος του άξονα Λαμίας – Θεσσαλονίκης, που εξετάστηκε στα πλαίσια της διπλωματικής μας εργασίας είναι απαραίτητη η μελέτη και αξιολόγηση των ενεργών ρηγμάτων και η εκτίμηση των επιπτώσεων τους σε περίπτωση εκδήλωσης σεισμικών διαρρήξεων κατά μήκος του ίχνους τους. Ειδικότερα διακρίναμε το συνολικό μήκος της περιοχής που εξετάσαμε σε τρεις ζώνες, σε

συνδυασμό και με τα γεωλογικά στοιχεία της περιοχής. Θεωρούμε ότι μεγαλύτερη επικινδυνότητα παρουσιάζει η πρώτη ζώνη όπου τα έργα διέρχονται από ιδιαίτερα σεισμογενείς ζώνες που καλύπτονται από χαλαρούς γεωλογικούς σχηματισμούς, στη δεύτερη ζώνη θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψιν οι πολύ μεγάλες μορφολογικές κλίσεις ενώ η τρίτη ζώνη εμφανίζει την μικρότερη επικινδυνότητα.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Αλεξούλη Αλίκη – Λειβαδίτη., ‘Γενική Γεωλογία, στοιχεία δυναμικής και τεκτονικής Γεωλογίας’, Αθήνα 2006
- Αστάρας Θ., ‘ Ψηφιακή χαρτογραφία και γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών’, Πανεπιστημιακές εκδόσεις 2007
- Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός, ΚΕΦ 5.1.2
- Ζάμπος Μ., ‘ Τμηματοποίηση και τρόποι σύνδεσης κανονικών ρηγμάτων στη κεντρική Ελλάδα’, διατριβή μεταπτυχιακής ειδίκευσης, Πάτρα 2009
- Ζερβοπούλου Σ.Α, ‘Νεοτεκτονικά ρήγματα της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης σε σχέση με τα εδάφη θεμελίωσης’, Διδακτορική διατριβή, Θεσσαλονίκη 2010
- Κατσικάτσος Χ.Γεώργιος, ‘Γεωλογία της Ελλάδας’,1992
- Λέκκας Ε., Χατζηνάκος Ι., Βασιλείου Ι., ‘ Τα κατολισθητικά φαινόμενα της Ανατολικής Θεσσαλίας (καταγραφή, ταξινόμηση, αίτια, επιπτώσεις, αντιμετώπιση)’, 1<sup>ο</sup> Επιστημονικό συνέδριο Γεωεπιστήμες και Περιβάλλον, Πάτρα 1991
- Λέκκας Ε.Λ, Κράνης Χ.Δ.,’ Γεωλογικά – Γεωτεχνικά προβλήματα που απαντώνται σε θεμελιώσεις τεχνικών έργων παρά τα ρήγματα’, 2001
- Λέκκας Ε.Λ, ‘Νέα δεδομένα για τη μείωση της σεισμικής επικινδυνότητας(σεισμοί:Ιαπωνίας, Τουρκίας, Ελλάδα, Ινδίας, Ταϊβάν)
- Μαρίνος, Γ., Περί της κατά γεωτεκτονικές ζώνες διαίρεσεως της Ανατολικής Ελλάδος, 1957
- Μουντράκης Μ. Δημοσθένης, ‘ Γεωλογία και Γεωτεχνική εξέλιξη της Ελλάδας’, Θεσσαλονίκη 2010
- Παπαζάχος Β., Παπαζάχου Κ., ‘Οι σεισμοί της Ελλάδας’, 1989
- Παυλίδης Σ.,’ Γεωλογία των σεισμών’, Θεσσαλονίκη 2003
- Ρόζος Δ., ‘ Τεχνική Γεωλογία Ι’, Αθήνα 2007
- Ροντογιάννη Θ, Παπαδάκης Ι., ‘Εκθεση γεωλογικών – σεισμοτεκτονικών συνθηκών περιοχής Αταλάντης’, 1986
- Ροντογιάννη – Τσιαμπάου Θ., Παπαδάκης Ι., Γαλανάκης Δ., ‘Συσχέτιση ενεργών σεισμικών ρηγμάτων με τη χάραξη του κύριου αγωγού μεταφοράς φυσικού αερίου και κλάδων του’, Νεοτεκτονική μελέτη ΙΓΜΕ, 1991

Ροντογιάννη Θεοδώρα, 'Γεωλογικές χαρτογραφήσεις και τεκτονική ανάλυση', Πανεπιστημιακές σημειώσεις 2006

Ταρλά Κ. & Μπραουδάκης Ε., Τζελέπης Ν., Κουβελέτσου Γ., Λέκκας Ε., Βαλαδάκη – Πλέσσα Α. & Πλέσσας Σ., 'Ολοκληρωμένος επιτελικός σχεδιασμός οδικής ασφάλειας και διαχείρισης της λειτουργίας οδικού δικτύου. Εφαρμογή στο εθνικό δίκτυο Ν. Αιτωλοκαρνανίας', 2<sup>ο</sup> Πανελλήνιο συνέδριο οδοποιίας, Βόλος 2005

ΥΠΕΚΑ, Τεχνικός κανονισμός: 'Συστήματα μεταφοράς φυσικού αερίου με μέγιστη πίεση λειτουργίας άνω των 16 bar', Άρθρα 7.1, 7.2

Υπόμνημα γεωλογικού χάρτη της Ελλάδας, κλίμακας 1:500.000, ΙΓΜΕ

Allen, C.R., Geological criteria for evaluating seismicity, Geological society of America Bulletin, 86, 1.041-1.057, 1975

Ambraseys N.N. AND Jackson J.A., 'Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region', Geophys.J.Int, 133, 390 – 400, 1998

Ambraseys N.N. AND Jackson J.A., 'Seismicity and associated strain of Central n Greece between 1890 and 1988, Geophys. J.Int, 101, 663 – 708, 1990

Anastasopoulos I. and Gazetas G., 'On the Design of Structures to Resist Fault Displacement with Applications in Greece', 2005

Aubouin J., 'Geosynclines', Elsevier Publ. Co., Amsterdam, 1965

Bray D. Jonathan, 'Developing mitigation measures for the hazards associated with earthquake surface fault rupture', 2001

Bray, J. D., Seed R. B., Cluff L. S., Seed H. B., "Earthquake Fault Rupture Propagation through Soil", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 120 (3), 543-561, 1993a

Fenton Clark, 'Quantifying surface faulting hazards for lifelines crossing active faults', The Geological Society of London, 2006

Fleury, J. J., Les zones de Gavrovo-Tripolitza et du Pinde-Olonos (Grèce Continental), et Péloponesse du Nord, 1975

Geotimes, 'Exploring Alaska's oil and gas, 2006

Godfriaux I., ' Etude geologique de la region de l' Olympe (Greece), 1968

Kossmat F., "Geologie der Zentral Balkanhalbinse», 1924

Kramer S.L., "Geotechnical Earthquake Engineering", Prentice Hall, 654pp, 1996

- KRATZSCH H., "Mining Subsidence Engineering", Berlin, New York: Springer-Verlag, 1983
- Matsuda, T. & Kinugasa, Y. Active faults in Japan, 1991
- Mercier J., "Paleogeographie, orogenese, metamorphisme et magmatisme des zones internes des Hellenides en Macedonie (Greece), 1966
- Mercier, J., Mouyaris, C., Simeakis, T., Roundouyannis, T. and Angelidhis, C., Intra-plate deformation: a quantitative study of the faults activated by the 1978 Thessaloniki earthquakes, 1980
- Osswald K., Geologische Geschichte von Griechisch-Nord Makedonien. Nationale. Athens 1938
- Papazachos B.C & Comninakis P.E., 'Geophysical and tectonic features of the Aegean arc. J. Geophys.', Res., 76, 8517 – 8533, 1971
- Papazachos B., Panagiotopoulos D & Tsapanos T., Mountrakis D & Dimopoulos G., 'Study of the 1980 summer seismic sequence in the magnesia region of Central Greece', 1983
- Papazachos B., Scordilis E., Panagiotopoulos D., Papazachos C., Karakaisis G., 'Global Relations between seismic fault parameters and moment magnitude of earthquakes', 2004
- Pavlidis, S.B., Caputo R., Chatzipetros, A., "Empirical relationships among earthquake magnitude, surface ruptures and maximum displacement in the broader Aegean Region", 2000
- Pavlidis S. and Caputo R., 'Magnitude versus faults surface parameters: quantitative relationships from the Aegean region ', 2004
- Renz C., Die vorneogene Stratigraphie der normaledimentären Formationen Griechenlands, Athens, 1955
- Rondoyanni Th. Koukis G., 'Neotectonics, recent seismic activity and geotechnical implications in the Eastern Corinthian Gulf, Greece ', 1989
- Rondoyianni Th., Mettos A., Galanakis D., Georgiou Ch., 'The Athens Earthquake of September 7, 1999: It's setting and effects', 2000
- Rondoyianni Th., Livaditi A., Georgiou Ch., 'Field evidences for fault activity in Parnitha mountain', 2008
- Wells L. Donald and Coppersmith J. Kevin, 'New empirical relationships among magnitude, rapture length, rapture width, rapture area and surface displacement', 1994



## Ιστοσελίδες

[www.geo.auth.gr](http://www.geo.auth.gr)

[www.wikiredia.org](http://www.wikiredia.org)

[www.library.tee.gr](http://www.library.tee.gr)

[www.ergose.gr](http://www.ergose.gr)

[www.desfa.gr](http://www.desfa.gr)

[www.earthquakenet.gr](http://www.earthquakenet.gr)

[www.minenv.gr](http://www.minenv.gr)

[www.ypeka.gr](http://www.ypeka.gr)

[www.geodifhs.com](http://www.geodifhs.com)

[www.labtec.geol.uoa.gr](http://www.labtec.geol.uoa.gr)

[www.oasp.gr](http://www.oasp.gr)

[www.usgs.gov](http://www.usgs.gov)