ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΝΙΚΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΕΔΙΟ ΤΑΣΕΩΝ ΤΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΛΕΚΑΝΗ ΞΑΝΘΗΣ-ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ WIN-TENSOR

ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
ΚΟΚΚΑΛΑΣ ΣΩΤΗΡΗΣ
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2010

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στο τμήμα Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών εν έτη 2010. Στόχος της εν λόγω εργασίας είναι να αναλυθεί η τεκτονική και τα πεδία τάσεων που ήταν υπεύθυνα για την δημιουργία των ρηγμάτων στην λεκάνη Ξάνθης-Κομοτηνής με την χρήση του προγράμματος Win-Tensor. Καθοριστικό ρόλο στην εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας έπαιξε το προαναφερθέν πρόγραμμα και η εξέλιξη αυτού κατά την διάρκεια συγγραφή ς της συγκεκριμένης εργασίας.

Θέλω μέσω του προλόγου αυτού να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως τον επιβλέπων καθηγητή της πτυχιακής μου εργασίας κ.Κοκκάλα Σωτήρη για την καθοδήγηση, στήριξη καθώς επίσης και για την παροχή επιστημονικού υλικού κατά την διάρκεια και μέχρι την ολοκλήρωση της. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ.Κουκουβέλα Ιωάννη μιας και η διδακτορική του διατριβή χρησιμοποιήθηκε ως βάση για την εκπόνηση-συγγραφή της δικής μου πτυχιακής.

Επίσης ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στους διάφορους συμφοιτητές και φίλους μου που και αυτοί έβαλαν το δικό τους λιθαράκι ώστε να πραγματοποιηθεί η παρούσα πτυχιακή εργασία, με συμβουλές, οδηγίες και προτάσεις βελτίωσης. Σεβασμό και ιδιαίτερες ευχαριστίες στον Dr.Damien Delvaux δημιουργό του προγράμματος Win-Tensor που χρησιμοποιήθηκε στην πτυχιακή εργασία, ο οποίος βρισκόταν σε άμεση επαφή μαζί μου όταν χρειαζόμουν κάποιες πληροφορίες σχετικά με το πρόγραμμα.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω εκ βαθέων τα του οίκου μου που με στήριζαν συνεχώς κυρίως ηθικά ώστε να επιτύχω την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας.

Δημητρίου Ιωάννης

«Ή γράψε κάτι που αξίζει να διαβαστεί ή κάνε κάτι που αξίζει να γραφτεί»

Benjamin Franklin

ΠΕΡΙΟΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ....1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1....2
1.1. Η ΜΑΖΑ ΤΗΣ ΡΟΔΟΠΗΣ....2
1.2. ΡΗΓΜΑ ΚΑΒΑΛΑΣ-ΞΑΝΘΗΣ-ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ....4
1.3. ΓΕΩΦΥΣΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ....6
1.4. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ ΤΗΣ ΡΟΔΟΠΗΣ....6
1.5. Ο ΜΑΓΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ ΤΗΣ ΡΟΔΟΠΗΣ....7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2....8
2.1.ΣΥΣΤΗΜΑ ΛΕΚΑΝΩΝ ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ – ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗ....8
2.2. ΠΡΟΜΕΙΟΚΑΙΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ - ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗ....10
2.3. ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΑ ΚΑΙ ΠΛΟΥΤΩΝΕΙΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΞΑΝΘΗΣ-ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ....12
2.4. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΞΑΝΘΗΣ-ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ....12
2.5. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΤΗΤΑ....13
2.6. ΜΕΤΑΜΕΙΟΚΑΙΝΙΚΗ ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗΣ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΞΑΝΘΗΣ-ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ....14
2.7.ΡΗΞΙΓΕΝΗΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΞΑΝΘΗΣ – ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ....15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3....21
3.1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΦΑΣΕΩΝ....21
3.1.1. ΑΠΛΗ ΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΔΥΟ ΣΥΖΥΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ....21
3.1.2. ΑΠΛΗ ΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΟΤΑΝ ΔΙΝΟΝΤΑΙ ΕΝΑ ΡΗΓΜΑ ΚΑΙ Η ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΓΡΑΜΜΩΣΗ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ....22
3.1.3. Η ΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ARTHAUD ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΙΑΣ ΟΜΑΔΑΣ ΡΗΓΜΑΤΩΝ....22
3.1.4. Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΟΡΘΩΝ ΔΙΕΔΡΩΝ ΓΩΝΙΩΝ....24
3.1.5. Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΑΝΥΣΤΗ ΤΑΣΗΣ....25
3.2. ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ WIN TENSOR....26
3.2.1. ΓΕΝΙΚΑ....26
3.2.2. ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ WIN-TENSOR....28
3.2.3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ....28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4....33
4.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ....33
4.2. ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ WIN-TENSOR....34
4.2.1. ΘΕΣΗ Α....35
4.2.2. ΘΕΣΗ Β....37
4.2.3. ΘΕΣΗ Γ....38
4.2.4. ΘΕΣΗ Δ....40
4.2.5. ΘΕΣΗ Ε....41
4.2.6. ΘΕΣΗ Ζ....43
4.2.7. ΘΕΣΗ Η....44
4.2.8. ΘΕΣΗ Θ....46
4.2.9. ΘΕΣΗ Κ....47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5....49
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ....49
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ....50

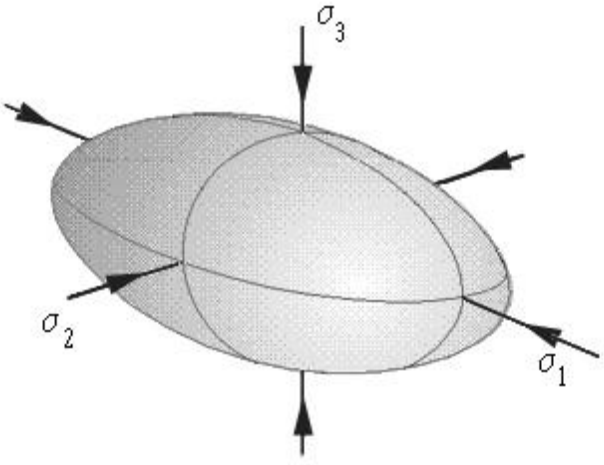
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με την τεκτονική ανάλυση μελετάμε τις μορφές των τεκτονικών δομών στους γεωλογικούς σχηματισμούς, τον τρόπο που διατάσσονται αυτές στον χώρο, αλλά και τις αιτίες που δημιούργησαν τις παραμορφώσεις αυτές. Ξεκινώντας λοιπόν από την απλή παρατήρηση και τη λεπτομερή περιγραφή μιας τεκτονικής δομής (π.χ. πτυχή, ρήγμα κλπ), μπορούμε να καταλήξουμε στο μηχανισμό γένεσης (κινήσεις που έλαβαν χώρα) και τέλος στην αιτία (π.χ στη δύναμη), που δημιούργησε τη δομή αυτή. Με το τρόπο αυτό, μελετώντας δηλαδή τα σημάδια που αφήνει η δράση των εξωγενών και ενδογενών παραγόντων, μπορούμε να ερμηνεύουμε τα γεγονότα και τις διεργασίες έχουν συμβεί κατά το παρελθόν αλλά και να κάνουμε εκτιμήσεις για την μελλοντική εξέλιξη μιας περιοχής.

Για την εκτίμηση του πεδίου τάσεων βασιζόμαστε κυρίως στους μηχανισμούς γένεσης των μεγάλων σεισμών. Αυτό μπορεί να βρεθεί επίσης από την μελέτη σύγχρονων ενεργών ρηγμάτων και γραμμώσεων ολίσθησης (κυρίως Τεταρτογενών σχηματισμών) μιας περιοχής και από την ανάλυση τέτοιων δεδομένων καθώς και από ιστορικά στοιχεία και παλαιότερες μελέτες της περιοχής. Η σημαντικότητα του πεδίου τάσεων είναι στο γεγονός ότι μας δείχνει αν μια περιοχή παραμορφώνεται σε ένα καθεστώς εφελκυσμού, συμπίεσης ή οριζόντιας μετατόπισης. Σε κάθε σημείο ενός σώματος που υπόκειται σε τάση υπάρχουν τρία κάθετα μεταξύ τους επίπεδα επί των οποίων οι διατμητικές τάσεις μηδενίζονται. Κάθετοι σε αυτά τα επίπεδα είναι οι κύριοι άξονες της τάσης. Οι άξονες αυτοί στην γενική περίπτωση που είναι άνισοι μεταξύ ($\sigma_1<\sigma_2<\sigma_3$) τους καθορίζουν το ελλειψοειδές της τάσης (εικ.1). Ο μικρότερος άξονας δείχνει την διεύθυνση ελαχίστης συμπίεσης (σ_3), ο μεγαλύτερος την μέγιστη συμπίεσης (σ_1) και ο ενδιάμεσος την ενδιάμεσο συμπιεστική τάση (σ_2).

Για το πρόγραμμα Win-Tensor που χρησιμοποιήσαμε στην παρούσα πτυχιακή μελέτη, εκτενέστερη αναφορά θα γίνει σε πιο κάτω κεφάλαιο.

Στο πιο κάτω σύγγραμμα λοιπόν θα γίνει τεκτονική ανάλυση αλλά και εκτίμηση του πεδίο τάσεων που επικρατεί στην περιοχή μελέτης (τμήμα λεκάνης Ξάνθης – Κομοτηνής) βάση επιπέδων ρηγμάτων και γραμμώσεων ολίσθησης επ'αυτών με την χρήση του προγράμματος Win-Tensor.



Εικ. 1 Το ελλειψοειδές της τάσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1. Η ΜΑΖΑ ΤΗΣ ΡΟΔΟΠΗΣ

Η μάζα αυτή καταλαμβάνει την περιοχή μεταξύ των ποταμών Στρυμώνα και Έβρου, τη Θάσο και ένα μεγάλο μέρος της Νότιας Βουλγαρίας (εικ. 1.1.). Σήμερα η μάζα της Ροδόπης, μαζί με την Σερβομακεδονική μάζα θεωρούνται τμήματα της Ευρασιατικής λιθοσφαιρικής πλάκας, που κατέχουν την εσωτερική ζώνη των Ελληνίδων οροσειρών και αποτελούν την ελληνική ενδοχώρα.

Παλαιότερα από την δεκαετία του ΄80 θεωρείτο ότι η μάζα της Ροδόπης, όπως και η Σερβομακεδονική, είναι σταθεροποιημένοι προαλπικοί (παλαιοζωικοί ή παλαιότεροι) πυρήνες που μόνο παθητικά και σε μικρό βαθμό επηρεάστηκαν από αλπικά γεγονότα κατά το Μεσοζωικό και το Τριτογενές. Σήμερα είναι παραδεκτές αντιλήψεις που θεωρούν ότι η Ροδόπη, μαζί με την Σερβομακεδονική μάζα, αποτελούν ενεργά συστατικά στοιχεία του Αλπικού Ορογενούς, με εκδήλωση έντονων τεκτονικών, μαγματικών και μεταμορφικών συμβάντων κατά το Μεσοζωικό και το Τριτογενές. Εξάλλου, στη Ροδοπική και Σερβομακεδονική μάζα καταγράφονται μέχρι και σήμερα τεκτονικά γεγονότα που σχετίζονται άμεσα με το υφιστάμενο πεδίο παραμορφώσεων στον Αιγιακό χώρο.

Σε ότι αφορά το Ελληνικό μέρος της Ροδόπης, με βάση τεκτονικά και μεταμορφικά χαρακτηριστικά έχει γίνει μια αρχική διάκριση δύο ενοτήτων: της ανώτερης και της κατώτερης τεκτονικής ενότητας (Papanikolaou & Panagopoulos, 1981; Mposkos, 1987; Kilias & Mountrakis, 1990).

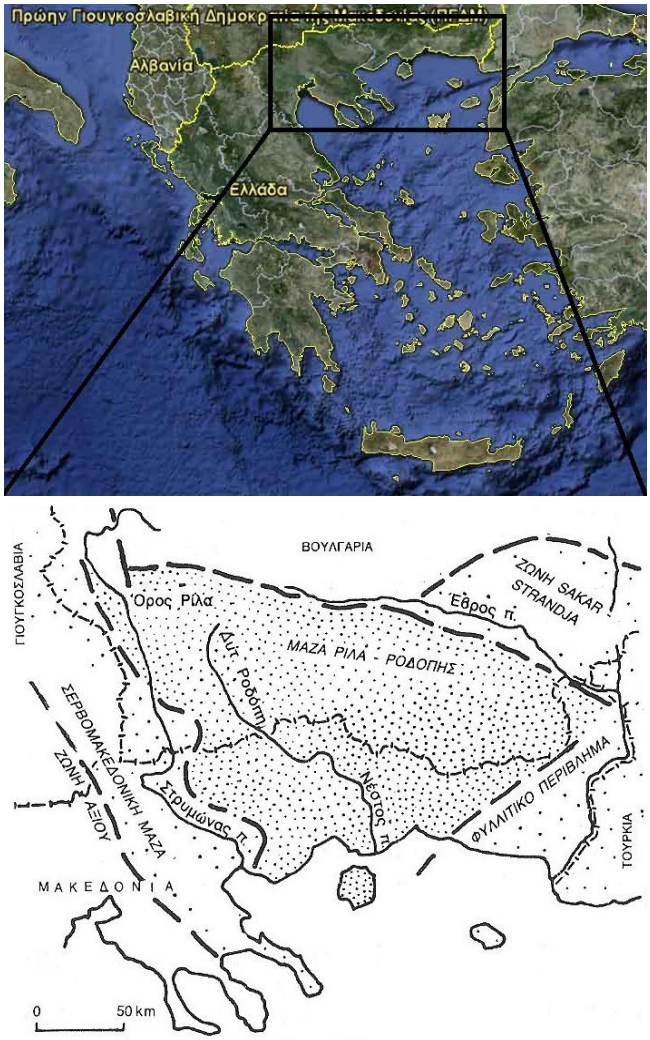
Η ανώτερη τεκτονική ενότητα συγκροτείται από διάφορους τύπους πετρωμάτων (οφθαλμογνεύσιους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους και αμφιβολίτες, με λεπτές ενστρώσεις μαρμάρων) μεταμορφωμένων στην αμφιβολιτική φάση, συμπεριλαμβανομένων και μιγματιτών, ενώ η κατώτερη τεκτονική ενότητα συγκροτείται από πετρώματα (ορθογνεύσιους, σχιστόλιθους και ορίζοντες μαρμάρων) μεταμορφωμένα στην ανώτερη πρασινοσχιστολιθική – κατώτερη αμφιβολιτική φάση, αν και έχουν βρεθεί και σε αυτή την ενότητα ενδείξεις υψηλότερου βαθμού μεταμόρφωσης αλλά μόνο σε τοπικό επίπεδο (πιν. 1.1.). Και στις δύο αυτές ενότητες καταγράφεται μια τελική φάση ανάδρομης μεταμόρφωσης. Από άποψη λιθολογικών χαρακτηριστικών, η ανώτερη τεκτονική ενότητα της Ροδόπης παρουσιάζει ομοιότητες με την Σερβομακεδονική μάζα.

Τόσο στην ανώτερη, όσο και στη κατώτερη τεκτονική ενότητα της Ροδόπης, αλλά και στη Σερβομακεδονική μάζα, έχουν βρεθεί υπολείμματα μεταμόρφωσης υψηλών πιέσεων (αμφιβολιτιομένοι εκλογίτες) η οποία φαίνεται ότι έδρασε σε πρώιμο στάδιο κατά τη μεταμορφική εξέλιξη κάθε μιας ενότητας. Η ηλικία της μεταμόρφωσης υψηλής πίεσης είναι αβέβαιη, οπωσδήποτε όμως είναι προ-ηωκαινική. Οι μεταμορφώσεις που ακολούθησαν στην αμφιβολιτική και πρασινοσχιστολιθική φάση θεωρούνται ότι αποτυπώθηκαν, όσον αφορά τις Ροδοπικές ενότητες, κατά το Τριτογενές, ενώ η πρώτη αποτυπώθηκε πιθανότατα κατά το Ηώκαινο.

Η ανώτερη τεκτονική ενότητα θεωρείται επωθημένη προς τα ΝΔ επί της κατώτερης ενότητας, κατά μήκος μιας σύνθετης τεκτονικής γραμμής διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ.

Πίνακας 1.1. Στρωματογραφική ακολουθία ανώτερης και κατώτερης τεκτονικής ενότητας της μάζας της Ροδόπης.

ΣΕΙΡΑ	ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	ΠΕΡΙΟΧΗ
Σειρά Η: των σχιστολίθων και μαρμάρων	Εναλλαγές αμφιβολιτών, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και μαρμάρων.	Βορειοανατολική όχθη του ποταμού Νέστου
Σειρά G: των μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων	Μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι και αμφιβολίτες, που μεταπίπτουν σε γνεύσιους	Νέστου (Νεοχώριο)
Σειρά F: των μαρμάρων	Μάρμαρα με ενστρώσεις σιπολίνων και μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων.	Μεταξύ Στρυμώνα και Νέστου.
Σειρά Ε: των γνευσίων της βάσης	Mu-, Bi-, Mu & Bi-γνεύσιοι (κατώτερη βαθμίδα), μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι (μέση βαθμίδα), αμφιβολίτες, αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι, κεροστιλβικοί σχιστόλιθοι, χλωριτικοί γνεύσιοι και μάρμαρα (ανώτερη βαθμίδα).	Δυτική Ροδόπη (Ανατολικά του ποταμού Στρυμώνα)



Εικ. 1.1. Γεωγραφικός Χάρτης της Ελλάδας(Google Earth) και η μάζα της Ροδόπης.

Τα τελευταία χρόνια αρκετοί μελετητές θεωρούν ότι η Ροδόπη, και ειδικότερα το δυτικό μέρος αυτής, αποτελεί τυπική περίπτωση ενός συμπλέγματος μεταμορφικού πυρήνα (core complex), όπως αυτά που έχουν περιγραφεί στο Basin and Range Province των νοτιοδυτικών Η.Π.Α.. Με βάση τη θεώρηση αυτή, η κατώτερη τεκτονική ενότητα στη Ροδόπη αποκαλύπτεται στην επιφάνεια εξαιτίας της τεκτονικής απομάκρυνσης του καλύμματος της με την βοήθεια κανονικών ρηγμάτων χαμηλής κλίσης ή ρηγμάτων αποκόλλησης (detachment faults). Η

τεκτονική αυτή αποκάλυψη έγινε κατά τη διάρκεια των μετά-ορογενετικών εκτατικών κινήσεων διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ που ίσως ενεργούσαν ήδη από το μέσο Ολιγόκαινο, ή μετά το Κατώτερο Μειόκαινο. Ας σημειωθεί ότι με την θεώρηση αυτή η Σερβομακεδονική μαζα από ενότητα ανεξάρτητη προς τη Ροδόπη, όπως γενικά θεωρείται, θα πρέπει μάλλον να ενταχθεί σε αυτή, μετά την αναγνώριση της "γραμμής του Στρυμώνα" ως ίχνος μάλλον ενός κανονικού-χαμηλής κλίσης – ρήγματος αποκόλλησης, παρά ως ίχνους μιας επώθησης. Η Σερβομακεδονική λοιπόν μάζα κατά αυτή την θεώρηση αποτελεί τμήμα του αρχικού καλύμματος της ενότητας του Παγγαίου.

Το κύριο χαρακτηριστικό των core complexes είναι η παρουσία ενός ρήγματος αποκόλλησης (detachment fault), ενός δηλαδή κανονικού, χαμηλής κλίσης (συνήθως μικρότερης απο 30°), ρήγματος, που διαχωρίζει τις πάνω από αυτό κινούμενες εύθραυστες (brittle) μάζες πετρωμάτων, από τα κάτω εκτεινόμενα και παραμορφωμένα πλαστικά (ductile) μεταμορφωμένα και πυριγενή πετρώματα. Στη περίπτωση του Ροδοπικού συμπλέγματος μεταμορφικού πυρήνα το ρήγμα αποκόλλησης είναι αυτό του Στρυμώνα, του οποίου το ίχνος έχει χαρακτηριστεί παλαιότερα ως "γραμμή του Στρυμώνα". Το υπερκείμενο του ρήγματος αυτού είναι η Σερβομακεδονική μάζα, ενώ το υποκείμενο είναι η ενότητα Παγγαίου, που αν τα διαχωρίσουμε σε πλάκες τότε η Σερβομακεδονικη είναι η "ανώτερη πλάκα" (upper plate), ενώ η ενότητα Παγγαίου η "κατώτερη πλακα" (lower plate) του Ροδοπικού core complex.

Η δημιουργία και η κίνηση στο ρήγμα αποκόλλησης του Στρυμώνα άρχισε πιθανά στο Μέσο Μειόκαινο και συνεχίστηκε μέχρι το Πλειόκαινο. Το ρήγμα αυτό τέμνει παλαιότερες τεκτονικές δομές. Στην ενοτητα Παγγαίου συγκεκριμένα τέμνει την πρώιμο-μειοκαινικής ηλικίας ζώνη ολισθισης του Συμβόλου, η οποία παραμορφώνει τον ηλικίας περίπου 22Ma γρανοδιορίτη του Συμβόλου. Σε αυτή τη ζώνη ολίσθησης κυριαρχεί η συνιστώσα της ομοαξονικής πλάτυνσης.

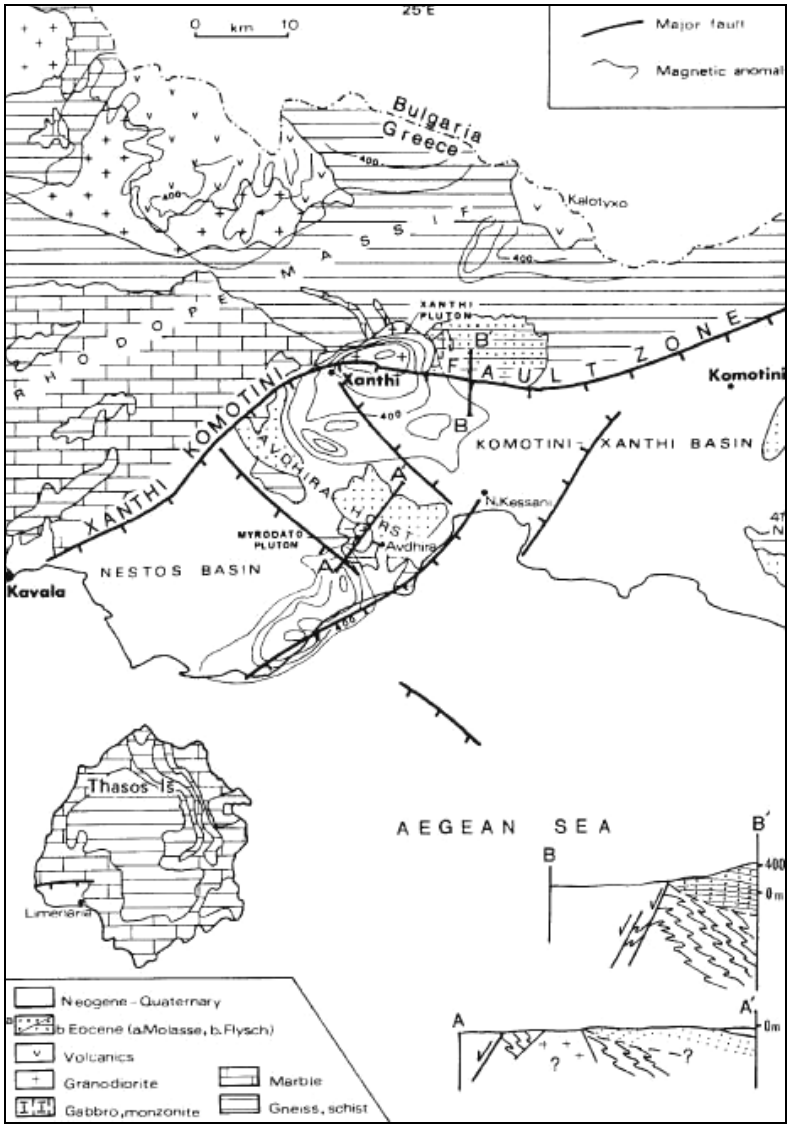
Την Ροδοπική μάζα διατρέχουν δυο κυρίως συστήματα ρηγμάτων ένα διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ (π.χ. το ρήγμα Καβάλας-Ξάνθης-Κομοτηνής) και ένα διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ. Το τελευταίο σύστημα σχετίζεται με τη διάνοιξη των κύριων λεκανών στο Μακεδονικό χώρο (λεκάνες Στρυμώνα, Δράμας, Πρίνου κ.λ.π.). Η δράση των ρηγμάτων αυτών φαίνεται ότι έπαιξε κάποιο ρόλο στη τοποθέτηση των τριτογενών πλουτώνιων σωμάτων (π.χ. Ξάνθης, Συμβόλου κ.λ.π.).

1.2. ΡΗΓΜΑ ΚΑΒΑΛΑΣ-ΞΑΝΘΗΣ-ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ

Ένα από τα μεγαλύτερα ρήγματα στην περιοχή του Β.Αιγαίου είναι το ρήγμα Καβάλας-Ξάνθης-Κομοτηνής. Αυτό εκτείνεται από τη κοιλάδα του Στρυμώνα (στα ΝΔ) μέχρι τον Έβρο και τις Νεογενείς λεκάνες της Α.Θράκης (προς τα ΒΑ).

Το ρήγμα Καβάλας-Ξάνθης-Κομοτηνής εκτείνεται προς Δυτικά τουλάχιστον 25km Δυτικά της Καβάλας και προς Ανατολάς μέχρι τα Ελληνοβουλγαρικά σύνορα (εικ. 1.2.).

Η μεταορογενετική εξέλιξη της μάζας της Ροδόπης χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη μιας ζώνης ρήγματος μήκους 120km (ρήγμα Καβάλας–Ξάνθης-Κομοτηνής) που την τέμνει σχεδόν όλη κατά μήκος. Η ζώνη των ρηγμάτων έχει πλάτος 500-1000m και εμφανίζεται τμηματοποιημένα περιλαμβάνοντας μικρότερα κανονικά ρήγματα μέσου μήκους περίπου 5km.



Εικ. 1.2. Γεωλογικός Χάρτης της Ροδοπικής ζώνης με γεωλογικές τομές επί των ρηγμάτων(ΙΓΜΕ, Γεωλογικός Χάρτης Ελλάδος 1: 500000, Lalechos & Savoyat, 1977; Martin, 1987 and Abem, 1967)

Η ευθύγραμμη αυτή ζώνη αποτυπώνει ένα ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης του Κ.Κρητιδικού ή της αρχής του Τριτογενούς που χώριζε τη μάζα της Ροδόπης από τη περιροδοπική ζώνη και συνόρευε με το φλύσχη των ηωκαινικών λεκανών. Ο πλουτωνίτης της Καβάλας μάλλον διείσδυσε και μεταμορφώθηκε σ'αυτή τη ζώνη των ρηγμάτων. Οι Maltezou & Brooks (1989) και οι Tsokas et al (1995) απέδειξαν με γεωφυσικά δεδομένα οτι υπάρχουν πολλοί πλουτωνικοί λακκόλιθοι κάτω από τις τεταρτογενείς λεκάνες εφελκυσμού και ότι πρέπει να υπάρχει γενετική σύνδεση ανάμεσα στη τεκτονική της έκτασης και της τοποθέτησης των πλουτωνιτών. Οι επιφανειακές εμφανίσεις των πλουτωνιτών σε τέτοιες περιοχές έκτασης μπορεί να είναι συνέπεια μιας τοπικής ανύψωσης. Μικρότερα ρήγματα που φαίνονται στην ύπαιθρο έχουν διευθύνσεις σχεδόν παράλληλες με αυτές των κύριων ρηγμάτων της περιοχής.

1.3. ΓΕΩΦΥΣΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Ο Boccaletti ήταν ο πρώτος που ερμήνευσε την ασβεστοαλκαλική ηφαιστειότητα της Ροδοπικής Μαζας και την συνέδεσε με ένα παλιό και ενεργό ηπειρωτικό περιθώριο που προϋποθέτει την ύπαρξη πολλών παράλληλων ζωνών καταβύθισης. Κατά τον Παπαζάχο (1976) στην περιοχή του Β.Αιγαίου βρίσκεται από το Τριτογενές σε εξέλιξη μια λιθοσφαιρική βύθιση. Ο Spakman, με βάση δεδομένα σεισμικής τομογραφίας, συζητά την βύθιση κάτω από την Ευρασία, σε σχέση με την Μεσοζωική Τηθύ, και καταλήγει ότι οι υψηλές σεισμικές ταχύτητες οφείλονται σε υπολείμματα μιας παλαιοβύθισης κάτω από την Βαλκανική χερσόνησο. Ο Παπαζάχος(1994) προσδιόρισε μία χαμηλής ταχύτητας περιοχή στο εσωτερικό τμήμα του Ελλαδικού χώρου πάνω από την υποβυθισμένη λιθόσφαιρα του Β.Αιγαίου. Η περιοχή αυτή επεκτείνεται περισσότερο προς τα βορειανατολικά απ'ότι η σημερινή βύθιση, όπως αυτό φαίνεται από τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους. Αυτό πιθανόν να δείχνει ότι η βύθιση μεταναστεύει βαθμιαία από το Β.Αιγαίο στην σημερινή του θέση, πιθανόν από το Ηώκαινο, και ότι οι ανωμαλίες που φαίνονται στις ταχύτητες αποτελούν «σημάδια» αυτής της μετανάστευσης. Οι παρατηρήσεις αυτές σε συνδυασμό με άλλες γεωφυσικές εργασίες δείχνου ότι είναι πιθανή η ύπαρξη μιας παλιάς υποβύθισης που έλαβε χώρα στο Β.Αιγαίο. Η περιοχή όπου οι ταχύτητες των σεισμικών κυμάτων είναι μικρες βρίσκεται παράλληλα με την τάφρο του Β.Αιγαίου. Το προτεινόμενο γεωφυσικό μοντέλο της περιοχής του Β.Αιγαίου μοιάζει με αυτό του Ν.Αιγαίου όπου ο φλοιός είναι λεπτός (<25km) και η ροή θερμότητας έχει τοπικό μέγιστο 100-125mW/m². Κάποιες άλλες γεωφυσικές εργασίες αναφέρουν την ύπαρξη μιας δομής με υψηλές ταχύτητες κάτω από την δυτική Ροδόπη και αναφέρουν χαρακτηριστικά ότι ο μανδύας, που παρουσιάζει υψηλές ταχύτητες, πρέπει να έχει ρίζες σε βάθος μεγαλύτερο από 250km.

Η μάζα της Ροδόπης θεωρείται ότι δεν αποτελεί σταθερή μικροήπειρο αλλά είναι κινητό τμήμα του Αλπικού ορογενούς. Ο χώρος του Β.Αιγαίου χαρακτηρίζεται από Νεογενείς ιζηματογενείς λεκάνες (Κομοτηνής-Ξάνθης, Φιλίππων-Νέστου κ.ά.) όπου το ρήγμα Καβάλας-Ξάνθης-Κομοτηνής ή τα παράλληλα με αυτό ρήγματα ελέγχουν την γεωμετρία αυτών των λεκανών και βοήθησαν στην άνοδο των μαγμάτων. Αυτές οι λεκάνες δημιουργήθηκαν από εφελκυστικό πεδίο τάσεων που επικρατεί από το Μειόκαινο μέχρι και σήμερα.

1.4. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ ΤΗΣ ΡΟΔΟΠΗΣ

Με βάση τις εργασίες διαφόρων μελετητών (Κατσικάτσου, 1992) που έγιναν σε διάφορες περιοχές της μάζας της Ροδόπης για την τεκτονική της εξέλιξη προέκυψε το συμπέρασμα ότι σ'αυτην έλαβαν χώρα τέσσερις τεκτονικές φάσεις:

i) Η πρώτη φάση έχει προκαλέσει ισοκλινείς, συνμεταμορφικές πτυχές, με διεύθυνση αξόνων Β-Ν. Η ηλικία της φάσης αυτής είναι μάλλον παλαιοζωική και έχει προκαλέσει την πρώτη κύρια μεταμόρφωση των πετρωμάτων της μάζας αυτής.

ii) Η δεύτερη φάση έχει δώσει πτυχές, με διεύθυνση αξόνων ΒΑ-ΝΔ εώς ΑΒΑ-ΔΝΔ, που συνοδεύονται από μια πολύ εμφανή γράμμωση, η οποία έχει προέλθει από την τομή της φύλλωσης των πετρωμάτων της πρώτης φάσης με την σχιστότητα που έχει προκαλέσει η φάση αυτή. Οι δομές της φάσης αυτής κυριαρχούν στα πετρώματα της Ροδόπης και οι περισσότεροι πλουτωνίτες είναι προσανατολισμένοι με την διεύθυνση των αξόνων των δομών που αυτή έχει προκαλέσει. Η ηλικία της φάσης αυτής είναι μάλλον Ηωκαινική-Ολιγοκαινική ή αναφέρεται και ως Ιουρασική-Κ.Κρητιδική.

iii) Η τρίτη φάση έχει δώσει πτυχές ανοικτές με διεύθυνση αξόνων ΒΔ-ΝΑ και πιστεύεται ότι είναι ηλικίας του Τριτογενούς, ίσως και του Ολιγοκαίνου. Πολλές εφιππεύσεις και μικρής έκτασης επωθήσεις που παρατηρούνται στην μάζα της Ροδόπης οφείλονται στην φαση αυτή.

Επίσης, στην φάση αυτή οφείλεται, μάλλον, η μεγαλύτερη εφίππευση που εμφανίζεται στο ελληνικό τμήμα της Ροδόπης.

iv) Η τέταρτη φάση χαρακτηρίζεται από ανοικτά αντίκλινα και σύγκλινα (με μήκος κύματος περίπου 500m.). Η φάση αυτή αναπτύσσεται κυρίως στα ιζηματογενή πετρώματα της λεκάνης Ξάνθης-Κομοτηνής.

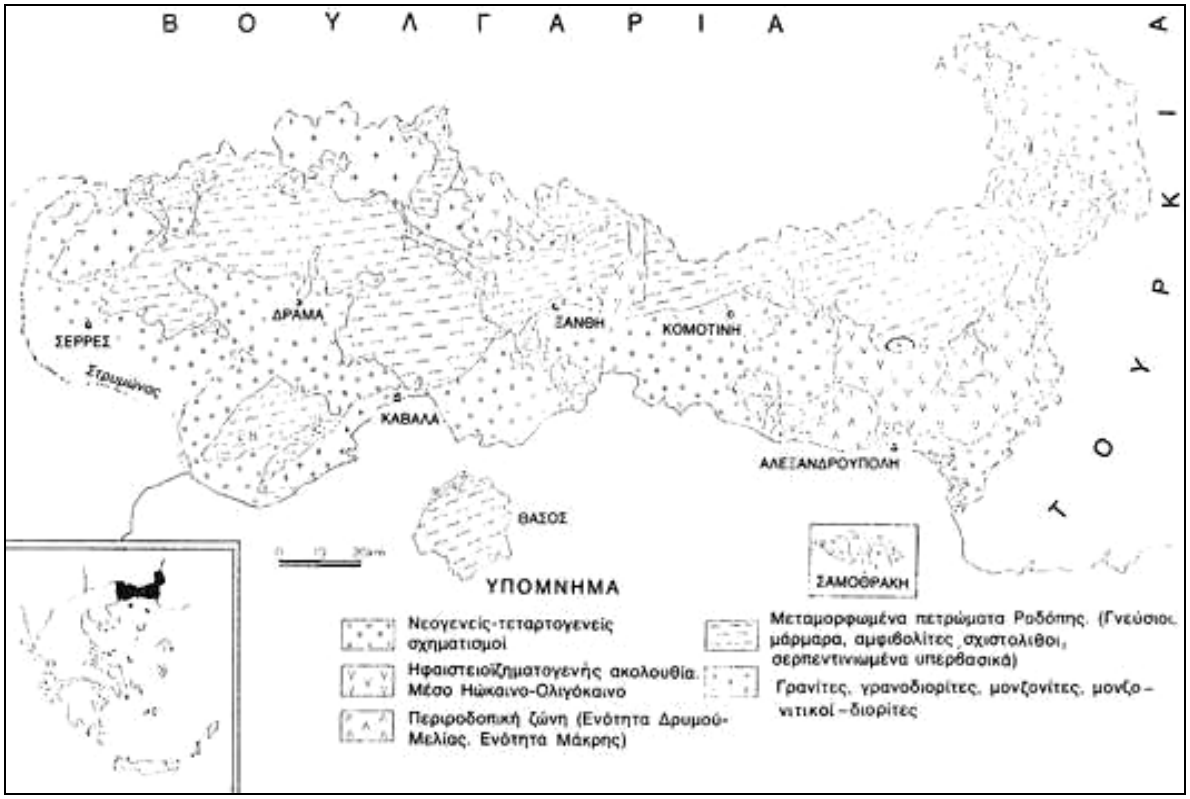
1.5. Ο ΜΑΓΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ ΤΗΣ ΡΟΔΟΠΗΣ

Στην μάζα της Ροδόπης και γενικότερα στο ευρύτερο χώρο του Βορείου Αιγαίου έχει εκδήλωθεί έντονος μαγματισμός, τόσο με μορφή ηφαιστιτών όσο και με μορφή πλουτωνιτών.(εικ. 1.4.)

Α) Ηφαιστίτες: Η ηφαιστειακή δραστηριότητα στη μάζα της Ροδόπης εκδηλώθηκε κυρίως κατά το Τριτογενές και είναι ασβεστοαλκαλικού χαρακτήρα. Από μελέτες των ηφαιστιτών της περιοχής αυτής, με βάση γεωχημικά και ορυκτολογικά κριτήρια, διαπυστώθηκε η ύπαρξη μιας πλήρους ασβεστοαλκαλικής σειράς.

Β) Πλουτωνίτες: Ο πλουτωνισμός της μάζας της Ροδόπης είναι αρκετά έντονος και παρουσιάζει όλα τα τυπικά χαρακτηριστικά των περιοχών ενεργών ηπειρωτικών περιθωρίων κατά την σύγκρουση ηπειρωτικών λιθοσφαιρικών πλακών. Οι γρανιτικές διεισδύσεις έχουν χωριστεί σε προ-, συν- και μετα- τεκτονικές, σε σχέση με την Αλπική Ορογένεση.

Η πιο γνωστή στην περιοχή γρανοδιοριτική διείσδυση της Ξάνθης ανήκει στις μετατεκτονικές διεισδύσεις (Meyer, 1968). Γεωχρονολογήσεις με την μέθοδο K-Ar έδωσαν Ολιγοκαινικές ηλικίες διείσδυσης (30 my, Kronberg, 1971)



Εικ. 1.4. Γεωλογικός Χάρτης της Ανατολικής Μακεδονίας και Δυτικής Θράκης.
(Κατα Δ.Μπίτσιο κ.ά. 1981, με ορισμένες τροποποιήσεις του Κ.Κυριακοπούλου ,1987)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1.ΣΥΣΤΗΜΑ ΛΕΚΑΝΩΝ ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ – ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗ

Τα ιζηματογενή πετρώματα της υπό μελέτη περιοχής ανήκουν σε ένα ευρύτερο σύστημα λεκανών που αναπτύσεται στη περιοχή του Β.Αιγαίου, απο την Μεσοελληνική αύλακα έως την λεκάνη Πρίνου-Καβάλας.

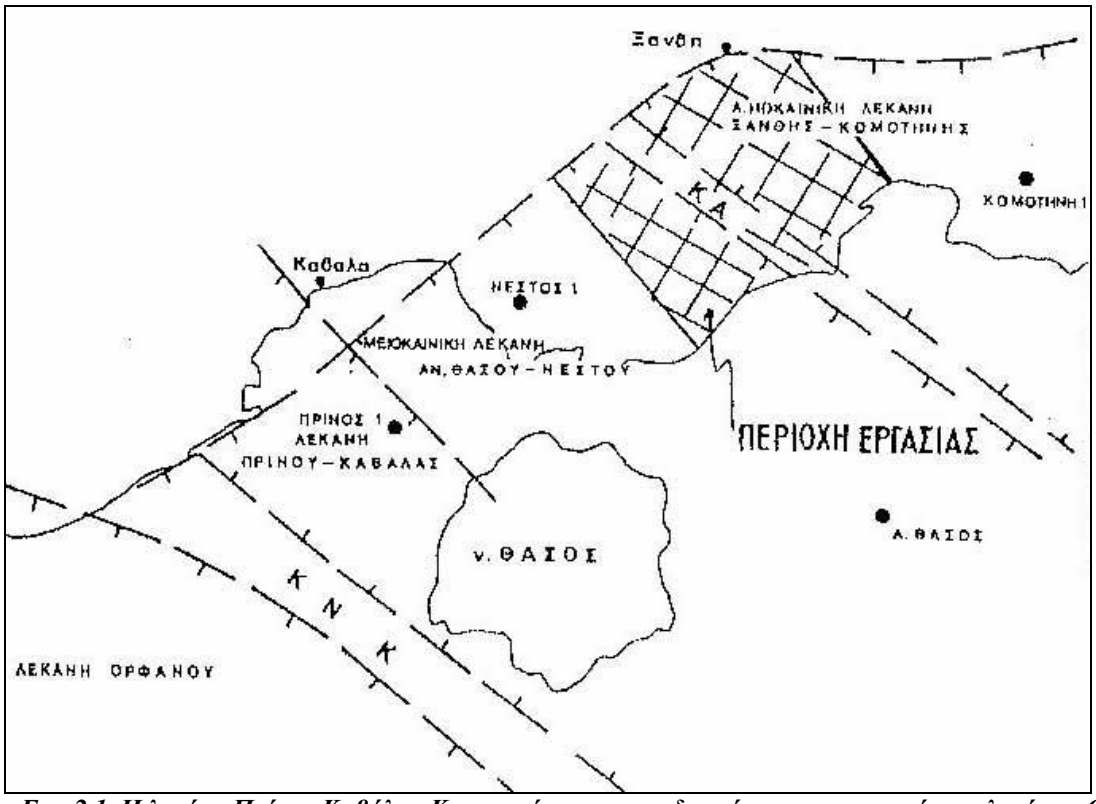
Το σύστημα αυτών των λεκανών διασχίζει το κορμό των Ελληνίδων οροσειρών από την Υποπελαγονική ζώνη έως την ζώνη Ροδόπης και εξαπλώνεται ακόμα ανατολικότερα και από το Ευρωπαϊκο τμήμα της Τουρκία.

Η περιοχή εργασίας βρίσκεται στο μέσο μιας ευρύτερης λεκάνης, η οποία αναπτύσσεται τόσο σε ξηρά όσο και στη θάλασσα και θα ονομάζεται στην συνέχεια λεκάνη Πρίνου-Καβάλας-Κομοτηνής (λΠΚΚ).

Προς Βορρά η λεκάνη ΠΚΚ περιορίζεται από το ρήγμα Καβάλας-Ξάνθης-Κομοτηνης. Η λεκάνη αυτή αναπτύσσεται νότια του ρήγματος και χωρίζεται σε τρεις επιμέρους λεκάνες με ρήγματα εγκάρσια στον επιμήκη άξονα αυτής.

Οι λεκάνες αυτές φαίνονται στην Εικ. 2.1. και είναι οι εξής :

α) Λεκάνη Πρίνου-Καβάλας, β) Λεκάνη Αν.Θάσου-Νέστου και γ) Λεκάνη Ξάνθης-Κομοτηνής η οποία θα συμβολίζεται στη συνέχεια ως ΞΚ.



Εικ. 2.1. Η λεκάνη Πρίνου-Καβάλας-Κομοτηνής με τις υποδιαιρέσεις της σε επιμέρους λεκάνες. Οι μεγάλες μαύρες βούλες δείχνουν θέσεις βαθειών γεωτρήσεων (Pollak, 1979).

Το όριο μεταξύ των λεκανών Πρίνου-Καβάλας και Αν.Θάσου-Νέστου είναι ένα ΒΔ-ΝΑ διευθύνσεως ρήγμα ενώ το δυτικό όριο της λεκάνης Πρίνου-Καβάλας είναι το κέρας Νότια της Καβάλας. (South Kavala Ridge).

Το όριο μεταξύ των λεκανων Αν.Θάσου-Νέστου και Ξάνθης-Κομοτηνής είναι το κέρας Αβδήρων.

Η περιοχή εργασίας εκτείνεται νότια από το ρήγμα Ξάνθης-Κομοτηνης και ανατολικά και δυτικά του κέρατος των Αβδήρων.

Στο μεγαλύτερο μέρος της η λεκάνη ΠΚΚ περιορίζεται από ΒΑ και ΒΔ περιθώρια σύμφωνα με τις γενικές διευθύνσεις ανάπτυξης των λεκανών στην ευρύτερη περιοχή (Doutsos & Ferentinos, 1984).

Στην ευρύτερη λεκάνη ΠΚΚ το παλαιότερο τμήμα είναι αυτό της λεκάνης ΞΚ με ιζήματα του Ηωκαίνου-Ολιγοκαίνου (σε επιφανειακές εμφανίσεις) αλλά και Μειοκαίνου (χωρίς επιφανειακές εμφανίσεις, στοιχεία γεωτρήσεων).

Προς τα ΝΔ στις λεκάνες Πρίνου-Καβάλας και Αν.Θάσου-Νεστου απουσιάζουν τα ιζήματα του Ηωκαίνου-Ολιγοκαίνου γεγονός που υποδηλώνει την νεότερη ηλικία του τμήματος αυτού (Pollak 1979, Proedrou 1979).

Στις λεκάνες Πρίνου-Καβάλας και Αν.Θάσου-Νεστου το Μειόκαινο αποκτά πολύ μεγάλο πάχος, υπερβαίνοντας κατά πολύ το πάχος του Μειοκαίνου που διατρήθηκε κατά την γεώτρηση Κομοτηνή 1 στη λεκάνη ΞΚ.

Ανάλογα εξελίσσονται και τα πάχη των ιζημάτων του Πλειοκαίνου και του Πλειστοκαίνου. (Πίνακας 2.1.)

Πίνακας 2.1.

Λεκάνες / Ηλικία	Πρίνου-Καβάλας	Αν. Θάσου-Νέστου	Ξάνθης-Κομοτηνής
Πλειόκαινο-Πλειστόκαινο	2700m	953m	368m
Μειόκαινο	2900m	2983m	788m
Κ. Ολιγοκαίνο			364m
Αν. Ηώκαινο			183m

Οι συσχετισμοί των επιμέρους λεκανών δείχνουν ότι η ιζηματογένεση είναι ταχύτερη στα ΝΔ τμήματα της λεκάνης από την περίοδο του Μειόκαινου εώς σήμερα.

Σύμφωνα με τις εργασίες διαφόρων μελετητών τα περιβάλλοντα απόθεσης στην λεκάνη Πρίνου-Καβάλας έχουν ώς εξής:

Στα κεντρικά τμήματα κατά το Πλειο-Πλειστόκαινο αποτίθονται ιζήματα σε λιμνοθαλάσσια περιβάλλοντα ή σε περιβάλλοντα ρηχής θάλασσας.

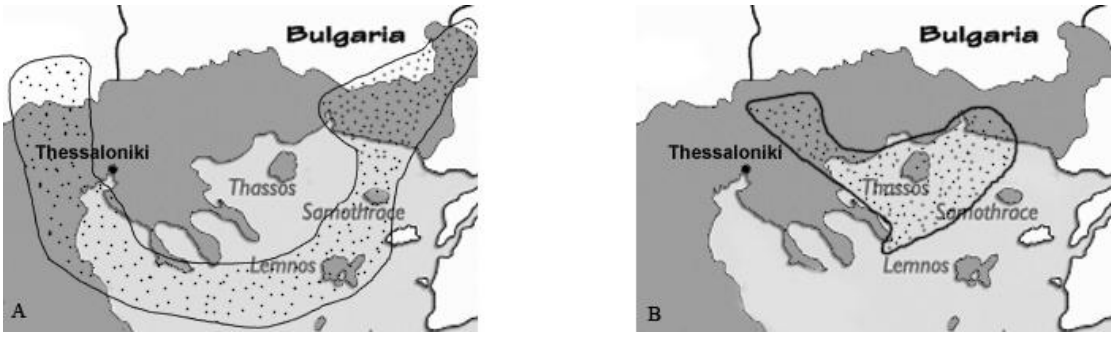
Στα νότια τμήματα της λεκάνης κατά το Αν.Πλειόκαινο και το Μειόκαινο αποτίθονται ιζήματα βαθείας θάλασσας ενώ την ίδια περίοδο στο βόρειο τμήμα επικρατούν δελταϊκές αποθέσεις.

Στο όριο Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου η κρίση του Μεσσηνίου που έλαβε χώρα σε εκτεταμένες περιοχές της Μεσογείου επηρεάζει και την λεκάνη Πρίνου-Καβάλας με αποτέλεσμα να αποτεθούν εβαπορίτες.

Στην λεκάνη Αν.Θάσου-Νέστου η ιζηματογένεση παρουσιάζει μια συνεχή αλλαγή περιβαλλόντων απόθεσης από λιμναίο κατά την διάρκεια του Μειοκαίνου σε δελταϊκό την περίοδο του Πλειοκαίνου και σε θαλάσσιο την περίοδο του Πλειστοκαίνου.

Στην λεκάνη Ξάνθης-Κομοτηνής αναπτύσονται θαλάσσιες αποθέσεις καθώς και υφαλογόνοι ασβεστόλιθοι στα ΝΔ και ΒΔ περιθώρια της λεκάνης.

Η γενική παλαιογεωγραφική εξέλιξη των λεκανών του Β.Αιγαίου την περίοδο του Ηωκαίνου-Ολιγοκαίνου και του Μειοκαίνου φαίνεται στην εικόνα 2.2.



Εικ. 2.2. Παλαιογεωγραφική εξέλιξη των λεκανών του βορείου Αιγαίου κατά το Α) Ηώκαινο και Β) κατά το Μειόκαινο. Οι αποθέσεις που φαίνονται στην εικόνα είναι θαλάσσιες.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην περιοχή εργασίας έχει το γεγονός ότι έχουμε εκτεταμένες εμφανίσεις Ηωκαινικών πετρωμάτων. Η τεκτονική εξέλιξη της λεκάνης Ξάνθης-Καβάλας περιγράφεται με βάση την συλλογή ρηγμάτων τα οποία αναλύθηκαν κινηματικά παράλληλα με την μελέτη της πτύχωσης που παρατηρήθηκε στην περιοχή. Επίσης έγινε συσχετισμός μεταξύ πτυχών και ρηγμάτων.

Η εξέλιξη της λεκάνης Ξάνθης-Καβάλας χώριζεται στην συνέχεια σε Μειοκαινική και μετα-Μειοκαινική. Ο διαχωρισμός αυτός βασίζεται στην ηφαιστειότητα που διαρκεί 10my από την περίοδο του Κ.Ολιγοκαίνου μέχρι τα όρια του Ολιγοκαίνου-Μειοκαίνου.

Στην διάρκεια της προ-Μειοκαινικής εξέλιξης η περιοχή χωρίζεται από άποψης ιζηματογένεσης σε δύο υποπεριοχές, την βόρεια και την νότια. Η βόρεια υποπεριοχή εκτείνεται βόρεια της νοητής γραμμής Ξάνθης-Σουνίου και η νότια υποπεριοχή στα νότια της νοητής αυτής γραμμής.

Ο διαχωρισμός αυτός παύει να ισχύει κατα την διάρκεια της μέτα-Μειοκαινικης εξέλιξης. Στην περίοδο αυτή τα ιζήματα που αποτίθονται συναντιώνται μόνο στην νότια υποπεριοχή όπως αυτή ορίσθηκε προηγουμένως.

2.2. ΠΡΟΜΕΙΟΚΑΙΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ - ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗ

Η ιζηματογένεση στην περιοχή εργασίας αρχίζει κατά την περίοδο του Αν.Ηωκαίνου. Από την περίοδο αυτή η λεκάνη δέχεται κλαστικά ιζήματα (κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, αρκόζες και πηλίτες) αλλά και χημικά ιζήματα (βιογενείς ασβεστόλιθους).(εικ. 2.3.)

Στην βόρεια υποπεριοχή επικρατουν πηλίτες και ψαμμίτες με μικρές παρεμβολές κροκαλοπαγών και πάγκων ασβεστολίθων. Η ηλικία αυτών των ιζημάτων θεωρείται από το Αν. Παλαιογενές (Κουκουβέλας, 1989).

Στα κατώτερα μέλη της σειράς επικρατούν οι ψαμμίτες σε εναλλαγή με πηλίτες. Τα πάχη των στρωμάτων των ψαμμιτών κυμαίνονται από 10cm εώς 5m ενώ τα πάχη των πηλιτών από 10-20cm.

Στα ανώτερα μέλη της σειράς επικρατούν οι ψαμμίτες ενώ οι πηλίτες παρεμβάλονται σαν λεπτά στρώματα. Τα πάχη των στρωμάτων των ψαμμιτών κυμαίνονται από 1-2m ενώ το πάχος των στρωμάτων των πηλιτών δεν υπερβαίνει τα 10cm.

Σύμφωνα με αυτά που περιγράφηκαν πιο πάνω η ανώτερη σειρά μπορεί να χαρακτηρισθεί σαν φλύσχης ο οποιός παρουσιάζει μία προς τα πάνω αύξηση του κοκκομετρικού μεγέθους. Μέσα

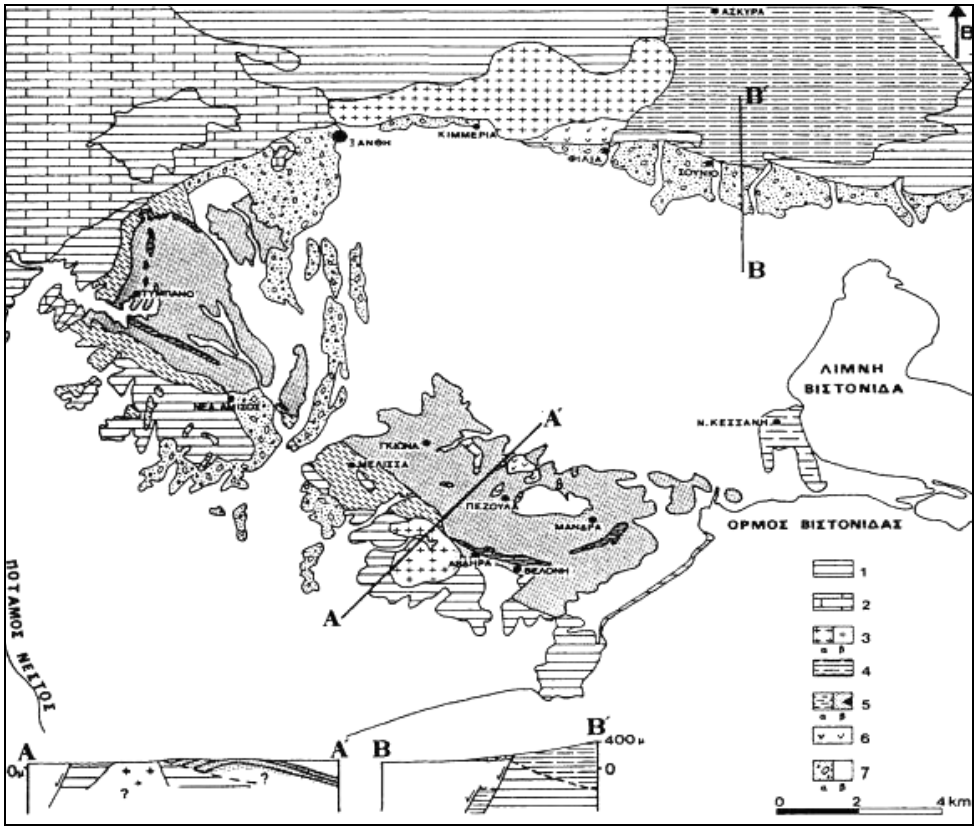
στον φλύσχη αυτό παρατηρήθηκαν πτυχές λόγω βαρύτητας κατά την διάρκεια της ιζηματογένεσης που υποδεικνύουν ένα διαταραγμένο περιβάλλον ιζηματογένεσης.

Στο χάρτη φαίνεται ότι οι αποθέσεις του φλύσχη περιορίζονται σε επιφανειακή εμφάνιση μόνο βόρεια του χωριού Σούνιο. Οι αποθέσεις αυτές του φλύσχη νότια του χωριού Σούνιο εντοπίζονται μόνο σε σε υδρογεωτρήσεις λόγω της μετατόπισης τους από το ρήγμα Ξάνθης–Κομοτηνής. Η μετατόπιση του φλύσχη στο σημείο αυτό που είναι ο ρηξιγενής πρόποδας των βουνών είναι τουλάχιστο 375m. (γεωλογική τομή ΒΒ')

Συγκεκριμένα η γεώτρηση κοντά στο Σούνιο διαπέρασε στρώματα φλύσχη για 275m χωρίς να συναντήσει το υπόβαθρο. Βόρεια του ρήγματος στην ίδια περιοχή εμφανίζεται το υπόβαθρο σε υψόμετρο 100m γεγονός που προϋποθέτει ένα ελάχιστο άλμα 375m.

Στην νότια υποπεριοχή επικρατούν οι αδρομερείς αποθέσεις κροκαλοπαγών, αρκοζικών άμμων και ψαμμιτών ενώ παρατηρούνται λευκοί υφαλογόνοι ασβεστόλιθοι με νουμουλίτες και υπολείμματα κοραλλιών. Οι υφαλογόνοι αυτοί ασβεστόλιθοι συναντώνται και στο Αν.Ηώκαινο -Κ.Ολιγόκαινο. Στις δύο αυτές διακριτές στρωματογραφικές μονάδες παρατηρείται μια προς τα πάνω μείωση του κοκκομετρικού μεγέθους των ιζημάτων.

Στις αποθέσεις αυτές παρατηρούνται μικροί ή μεγάλοι φακοί κροκαλοπαγών. Οι παλαιορευματικές ενδείξεις από τέτοιους φακούς δείχνουν μια πιθανή τροφοδοσία των κροκαλοπαγών από ΝΔ-ΒΑ. Συνιζηματογενείς πτυχές παρατηρήθηκαν και στα ιζήματα της περιοχής αυτής.



Εικ .2.3. Γεωλογικός χάρτης περιοχής Ξάνθης(από Eldgen, 1971; Χριστοφίδης 1977)

1 Γνευσιοι αμφιβολιτικοί και σχιστολιθικοί, 2. Μάρμαρα, 3. Γρανοδιορίτες α)άγνωστης ηλικίας β)Ολιγοκαινικοί, 4. Φλυσχικές αποθέσεις, 5. α)Κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και βιογενείς ασβεστόλιθοι του Αν.Ηωκαίνου και β)ψαμμίτες με ενστρώσεις κροκάλων, βιογενείς ασβεστόλιθοι του Κ.Ολιγοκαίνου, 6. Ανδεσίτες και 7. Νεογενεί ιζήματα.(Eldgen, 1971; Χριστοφίδης, 1977 και συμπληρώσεις)

2.3. ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΑ ΚΑΙ ΠΛΟΥΤΩΝΕΙΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΞΑΝΘΗΣ-ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ

Η ηφαιστειότητα στην περιοχή της λεκάνης Ξάνθης-Κομοτηνής εκδηλώνεται κυρίως στην βόρεια περιοχή εργασίας όπου παρατηρούνται εμφανίσεις από κοίτες και φλέβες ανδεσιτών και βασαλτών ενώ η πλουτώνεια δράση εκδηλώνεται με την γρανοδιοριτική διείσδυση της Ξάνθης.

Η ηφαιστειότητα εκδηλώνεται στη περιοχή εργασίας κατά το Κ.Ολιγόκαινο (πριν 34 my). Τα προϊόντα αυτής της δραστηριότητας ήταν βασαλτικοί ανδεσίτες και βασάλτες της ασβεστοαλκαλικής σειράς με υψηλό ποσοστό καλίου. Γενικότερα η ηφαιστειότητα αυτή στην περιοχή της Ροδόπης εμφανίζεται σε μια ευρεία ζώνη. Σ'αυτή την ζώνη παρατηρούνται πετρώματα ηφαιστειακά τα οποία παρουσιάζουν ένα εύρος ηλικιών από 24-34 my, ενώ η σύσταση μεταβάλεται από βασαλτικούς ανδεσίτες σε ανδεσίτες.

Η προέλευση του μάγματος που έδωσε τα ηφαιστειακά πετρώματα της περιοχής κατά Eleftheriadis et al (1984) είναι ο άνω μανδύας.

Ο γρανίτης της Ξάνθης αποτελεί την μαγματική δράση της ίδιας περιόδου και είναι Ι-τύπου ο οποίος προέρχεται από την τήξη του κάτω φλοιού ή του ανώτερου μανδύα. Συσχετίζεται με σύγκλιση και καταβύθιση της πλάκας κάτω από το Ευρασιατικό περιθώριο.

2.4. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΞΑΝΘΗΣ-ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ

Τόσο τα ηφαιστεικά όσο και τα γρανοδιοριτικά πετρώματα της βόρειας περιοχής διεισδύουν μέσα σε παλαιογενή ιζημάτα. Οι φλέβες αυτών στην περιοχή του Σουνίου χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα ανάλυση σαν καθοδηγητική ορίζοντες. Με βάση τον προσανατολισμό τους και τον τρόπο διείσδυσης τους περιγράφεται η εξέλιξη της λεκάνης κατά την περίοδο του Αν.Ηωκαίνου-Κ.Ολιγοκαίνου.

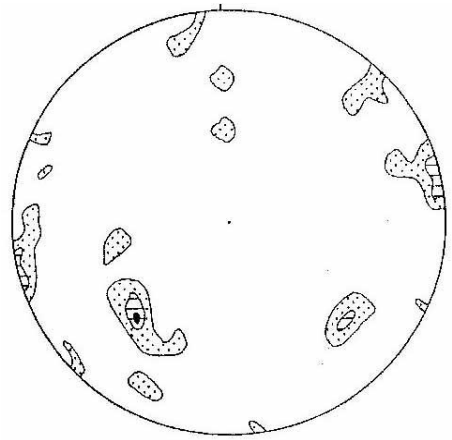
Οι υπαίθριες παρατηρήσεις στην περιοχή του χωριού Σούνιο έδειξαν ότι τα ηφαιστειακά πετρώματα διείσδυσαν σε κανονικά ρήγματα. Τα ρήγματα αυτά δημιουργήθηκαν είτε σύγχρονα με ηφαιστειακή δράση είτε πριν από αυτή έτσι που να αποτέλεσαν τις οδούς μέσα από τις οποίες κινήθηκε το μάγμα. Η διαπίστωση ότι και μετά την διείσδυση των ηφαιστειακών φλεβών στην περιοχή υπήρχε ενεργός τεκτονική δείχνει ότι η σημερινή θέση των φλεβών έχει τροποποιηθεί σε σχέση με την θέση κατά την διείσδυση.

Για το λόγο αυτό έγινε στροφή των πόλων των διεισδύσεων έτσι ώστε να οριζοντιωθούν οι στρώσεις των ιζημάτων μέσα στα οποία βρίσκονται οι ηφαιστειακές φλέβες.

Η στατιστική ανάλυση των στραμμένων ανδεσιτικών διεισδύσεων έδειξε τα εξής: Οι περισσότεροι πόλοι των διεισδύσεων συγκεντρώνονται κυρίως στο ΑΒΑ-ΔΝΔ και στο ΒΑ-ΝΔ τμήμα του δικτύου της (εικ. 2.4.) καθώς και στο ΒΔ-ΝΑ τμήμα αυτού.

Η κατανομή αυτή των πόλων επί δικτύου του Schmidt δείχνει ότι οι ηφαιστειακές αυτές διεισδύσεις έλαβαν χώρα μέσα από ένα ορθορομβικό σύστημα ρηγμάτων με διευθύνσεις ΒΑ-ΝΔ και ΒΒΔ-ΝΝΑ. Ένα μικρό ποσοστό φλεβών διεισδύει σε ΒΑ-ΝΔ ή ΒΒΔ-ΝΝΑ ρήγματα. Οι κλίσεις αυτών των φλεβών κυμαίνονται απο 45-90°.

Η παρουσιαζόμενη κατανομή των πόλων των φλεβών ταυτίζεται με την κατανομή των πειραματικών αλλά και των υπαίθριων παρατηρήσεων των Audin and Reches (1982) κάτω από τριαξονική διαστολή.



Εικ. 2.4. Προβολή των πόλων των ηφαιστειακών διεισδύσεων στην περιοχή βόρεια του χωριού Σούνιο (20 τιμές). Ισοπληθείς ανά 5.5 και 16.5%.(Κουκουβέλας, 1989)

Υπαίθριες παρατηρήσεις έδειξαν ότι τα ρήγματα μέσα στα οποία διείσδυσαν οι φλέβες ήταν κανονικού χαρακτήρα, οι δε μετατοπίσεις αυτών κυμαίνονται από μερικά εκατοστά εώς μερικά μέτρα.

Η εντονότερη παρουσία των ηφαιστειακών φλεβών παρατηρήθηκε στα κατώτερα μέρη της ακολουθίας του φλύσχη ενώ στα ανώτερα μέρη η παρουσία αυτών σπανίζει.

Οι διευθύνσεις των ρηγμάτων που προαναφέρθηκαν σε συνδυασμό με την ηλικία των ηφαιστειακών διεισδύσεων, την πετρογραφία και την ηλικία των ιζημάτων υποδηλώνει τα εξής: Η δημιουργία της λεκάνης κατά το Ηώκαινο αλλά και η περαιτέρω εξέλιξη της λεκάνης εώς το Αν.Ολιγόκαινο λαμβάνει χώρα με διαστολή. Κατά την διάρκεια αυτής της διαστολής δημιουργούνται στην λεκάνη τα ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ περιθώρια.

Σύμφωνα με τα ανωτέρω σ'αυτή την περίοδο ο μέγιστος άξονας της τάσεως (σ_1) ήταν κατακόρυφος ο ενδιάμεσος άξονας της τάσεως (σ_2) είχε διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και ο άξονας της ελάχιστης τάσης (σ_3) διευθυνόταν ΒΑ-ΝΔ.

2.5. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΤΗΤΑ

Τα προαναφερθέντα περί ιζηματογένεσεως και τεκτονικής χαρακτηρίζουν την περίοδο της εξέλιξης της λεκάνης από το Αν.Ηώκαινο εώς το Κ.Ολιγόκαινο.

Από το τέλος αυτής της περιόδου η εξέλιξη της λεκάνης ιζηματογένεσης διαφοροποιείται σε σχέση με αυτή που περιγράφηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο. Το πρώτο φαινόμενο που πιστοποιεί αυτή την διαφοροποίηση είναι η παύση της ιζηματογένεσης καθώς επίσης και η παύση της ηφαιστειότητας. Την περίοδο αυτή παρατηρούνται στα ιζήματα της περιοχής εργασίας πτύχωσεις, σχισμός καθώς και ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης. Τα φαινόμενα αυτά παρατηρήθηκαν εντονότερα στα βόρεια της περιοχής εργασίας (βόρεια του Σουνίου).

Αναλυτικά στην βόρεια περιοχή σχηματίζεται ένας ισχυρός ρηξισχισμός ο οποίος είναι κατακόρυφος με διεύθυνση Β-Ν. Ο σχισμός αυτός στην βόρεια περιοχή σχηματίζεται ομοαξονικά με τον άξονα της πτύχωσης. Πάνω δε στις επιφάνειες του σχισμού αυτού παρατηρείται μερικές φορές γράμμωση παράλληλη με την κλίση του σχισμού. Η γράμμωση αυτή με την κατακόρυφη σχεδόν βύθιση προέρχεται είτε σαν αποτέλεσμα χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης είτε σαν απότέλεσμα πλάτυνσης κατά την παραμόρφωση είτε σαν συνδυασμός και των δύο αυτών παραγόντων.

Ο ρηξισχισμός που περιγράφηκε καθώς και η αρχόμενη πτύχωση αποτελούν φαινόμενα που προέρχονται από συστολή. Στην περιοχή εργασίας η παρατήρηση ότι δεν παρουσιάζονται καμπυλώσεις χωρίς την σύγχρονη παρουσία σχισμού οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι

καμπυλώσεις συνδέονται γενετικά με το σχισμό. Η παρατήρηση αυτή βοήθησε στο να υπολογισθεί το ποσό της συστολής στην περιοχή βόρεια του Σουνίου (Κουκουβέλας, 1989).

Για τον υπολογισμό αυτό χρησιμοποιήθηκε η εργασία των Alvarez et al (1978), η οποία συσχετίζει τον σχισμό με την συστολή. Η ταξινόμηση κατά Alvarez δείχνει ότι η συστολή στην περιοχή εργασίας είναι της τάξης του 25-35%. Η μέση δε τιμή της προαναφερθείσας συστολής αντιπροσωπεύει για την περιοχή εργασίας το ποσό της συστολής.

Στην νότια περιοχή εργασίας παρατηρούνται τα ίδια φαινόμενα συστολής όπως και στην βόρεια, σε διαφορετική όμως ένταση. Ο ρηξισχισμός στην περιοχή αυτή που εκτείνεται νότια της νοητής γραμμής Ξάνθης-Σουνίου είναι ήπιος. Ο ρηξισχισμός αυτός στην νότια περιοχή εργασίας είναι συνήθως φτωχά εκφρασμένος και χαρακτηρίζεται σαν στυλολιθικός.

Ο προσανατολισμός του παρουσιάζει διακυμάνσεις στην διεύθυνση του. Συνήθως δε παρατηρούνται μικρές γωνίες μεταξύ του άξονα της πτύχωσης και του σχισμού γεγονός που υποδηλώνει ότι πιθανά ο σχισμός στην περιοχή αυτή σχηματίζται κατά τα τελευταία στάδια της πτύχωσης. Στην ίδια επίσης περιοχή παρατηρούνται και παραμορφωμένες κροκάλες λόγω συστολής πάνω στις οποίες παρατηρούνται και στυλόλιθοι.

Οι παρατηρούμενες ανοικτές πτυχές στην περιοχή είναι μεγάλου μήκους κύμματος που φθάνει εώς και 500m στην περιοχή του χωριού Άβδηρα σε εναλλαγές κροκαλοπαγών και ψαμμιτών.

Μικρού μήκους κύμματος καμπυλώσεις που παρατηρούνται πάνω στην στρώση στην ίδια περιοχή είναι πιθανόν να οφείλονται σε μη τεκτονικά αίτια. Σε αντίθεση με την βόρεια περιοχή υπαίθριες παρατηρήσεις στην νότια περιοχή έδειξαν ότι η συστολή οφείλεται κυρίως στην πτύχωση. Η ύπαρξη του σχισμού είναι δευτερευούσης σημασίας και αναπτύσσεται ετεροαξονικά σε σχέση με τον άξονα της πτύχωσης.

Αναλυτικές μελέτες στο ποσό της συστολής λόγω καμπύλωσης έχουν γίνει από τον Groshong (1975). Στην εργασία του ο ερευνητής αυτός λαμβάνοντας υπόψη του όλα τα συνοδά φαινόμενα της πτύχωσης (φλέβες ασβεστίτη, στυλόλιθους κ.λ.π.) διατύπωσε σε πίνακα τα αποτελέσματά του ποσοτικά. Η μελέτη αυτή έγινε σε σχηματισμούς που χαρακτηρίζονται από εναλλαγές ασβεστολίθων και σχιστών στην περιοχή Valley and Ridge των Απαλάχιων Όρεων.

Σύμφωνα με την εργασία αυτή η συστολή λόγω πτύχωσης στην νότια περιοχή είναι της τάξης του 21%.

2.6. ΜΕΤΑΜΕΙΟΚΑΙΝΙΚΗ ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗΣ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΞΑΝΘΗΣ-ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ

Στην διάρκεια αυτής της γεωχρονολογικής περιόδου επικρατεί διαστολή η οποία παρατηρείται ακόμη και σήμερα (Doutsos & Ferentinos, 1984; Lymperis, 1984). Η εκτεταμένη διαστολή στην περιοχή του βορείου Αιγαίου συνοδεύεται από το σχηματισμό νέων λεκανών, όπως η λεκάνη Πρίνου-Καβάλας και η λεκάνη Αν.Θάσου-Νέστου.

Στην περιοχή εργασίας οι αποθέσεις αυτής της περιόδου, Μειόκαινο, αποτίθονται ασύμφωνα πάνω στις Αν.Ολιγοκαινικες αποθέσεις (στοιχεία από γεώτρηση Κομοτηνή 1). Οι αποθέσεις του Μειόκαινου δομούνται κυρίως από άμμους και αργίλους σύμφωνα με την λιθολογική περιγραφή υδρογεωτρησεων καθώς και της γεώτρησης στην Κομοτηνή.

Οι άμμοι είναι χονδρόκοκκοι ή λεπτόκοκκοι, οι δε άργιλοι είναι πράσινοι εώς γκριζοπράσινοι ή καφέ. Σύμφωνα δε με τα στοιχεία των γεωτρήσεων τα ανώτερα στρωματογραφικά τμήματα της σειράς αποτελούνται κυρίως από καφέ αργίλους στους οποίους υπάρχουν παρενστρώσεις άμμων.

Τα Μειοκαινικά αυτά ιζήματα στην λεκάνη Ξανθης-Κομοτηνής αναπτύσσονται νότια του ρήγματος Ξάνθης-Κομοτηνής και αποκτούν το μεγαλύτερο τους πάχος στην περιοχή κοντά στην γεώτρηση της Κομοτηνής.

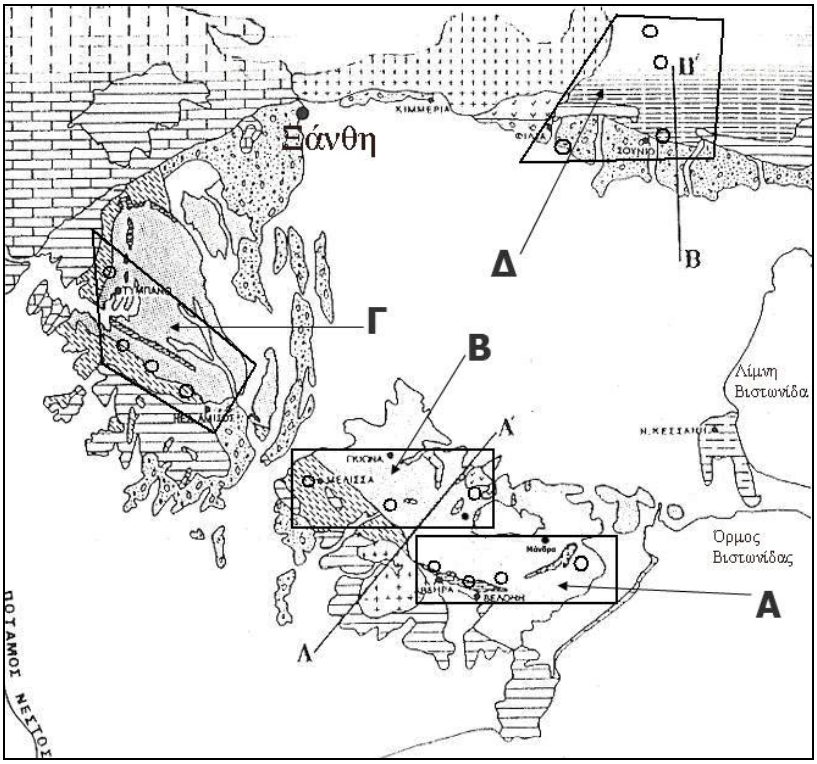
Τα Πλειο-Πλειστοκαινικά ιζήματα της περιοχής αποτελούνται κυρίως από εναλλαγές κροκαλών και άμμων και εμφανίζονται στην περιοχή δυτικά και νότια της Ξάνθης. Στις υδρογεωτρήσεις της περιοχής τα ιζήματα αυτά παρουσιάζονται με πάχη που φθάνουν στο μέγιστο τους τα 110m στην περιοχή ανατολικά του χωριού Μάνδρα. Το μέγιστο πάχος αυτών των ιζημάτων φθάνει τα 370m στην γεώτρηση της Κομοτηνής. Γενικά το πάχος αυτών των ιζημάτων παρουσιάζει έντονη διακύμανση.

Όσον αφορά το άλμα του ρήγματος Ξάνθης-Κομοτηνής αυτό υπολογίσθηκε με βάση τα δεδομένα που πήραμε από την γεώτρηση της Κομοτηνής. Στην γεώτρηση αυτή τα στρώματα του φλύσχη του Αν.Ολιγοκαίνου συναντούνται στα 1156m από την επιφάνεια. Στην περιοχή βόρεια του Σουνίου τα φλυσχικά στρώματα συναντούνται σε υψόμετρο μέχρι 700m. Από τα δεδομένα αυτά υπολογίζεται ότι το άλμα του ρήγματος σε 1860m περίπου.

2.7.ΡΗΞΙΓΕΝΗΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΞΑΝΘΗΣ – ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ

Τα περισσότερα ρήγματα που μετρήθηκαν ανήκουν στο μεσοσκοπικό πεδίο έχουν δε μήκος μερικά μέτρα εώς μερικές δεκάδες μέτρα. Το άλμα αυτών κυμαίνεται από μερικά εκατοστά εώς μερικά μέτρα.

Μετρήσεις επίσης έγιναν και στο μεγαλύτερο ρήγμα της περιοχής εργασίας, το ρήγμα Ξάνθης-Κομοτηνής σε τρεις διαφορετικές περιοχές, βόρεια από το χωριό Τύμπανο, στην περιοχή Κιμμερίων καθώς και κοντά στο χωριο Σουνιο. Στις περιοχές αυτές παρατηρήθηκε μια ζώνη ρηγμάτων παράλληλα με το μεγάλο ρήγμα της οποίας το πλάτος είναι 500-1000m. Μέσα στην ζώνη αυτή των ρηγμάτων βόρεια από το χωριό Τύμπανο διαπιστώθηκαν και οριζόντιες επιφάνειες άμεσα συνδεδεμένες με την κύρια επιφάνεια του ρήγματος, η οποία θέση αυτή είναι σχεδόν 90°.



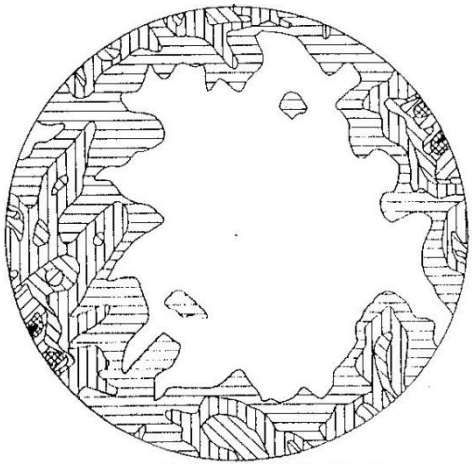
Εικ.2.5. Χάρτης των σταθμών που έγιναν οι μετρήσεις καθώς και τα όρια των περιοχών Α, Β, Γ, Δ της εικόνας 2.3 (Κουκουβέλας, 1989).

Η παρατηρούμενη συνθετότατη της κατανομής των ρηγμάτων, που αποτελεί ένα βασικό χαρακτηριστικό των ρηγμάτων που αναλύονται, σχετίζεται άμεσα με τον τρόπο δημιουργίας των ρηγμάτων.

Οι καλύτερες επιφανειακές εμφανίσεις στην περιοχή εργασίας συναντήθηκαν στην περιοχή βόρεια του χωριού Σούνιο και ανατολικά του χωριού Άβδηρα εώς το χωριο Μάνδρα. Η στατιστική ανάλυση των ρηγμάτων αυτών έδειξε μια διασπορά των ρηγμάτων σε όλη την έκταση του δικτύου.(εικ. 2.6.)

Παρά την διασπορά διακρίνονται δύο ομάδες πόλων να συγκεντρώνονται στο ΑΒΑ-ΔΝΔ τμήμα του δικτύου. Τα ρήγματα αυτά παρουσιάζουν κλίσεις που κυμαίνονται από 50-90°.

Οι μετρήσεις των ρηγμάτων στην περιοχή εργασίας έγιναν σε 15 σταθμούς. Στους σταθμούς αυτούς έγιναν οι εξής μετρήσεις: άλμα ρήγματος, διεύθυνση και κλίση ρήγματος, γραμμώσεις ολίσθησης και στρώσεις των πετρωμάτων. Σε υποπεριοχές μετρήθηκαν οι στρώσεις και κατασκευάσθηκαν δίκτυα μεγάλων κύκλων για να καθορισθούν οι άξονες των πτυχών. Οι μετρήσεις έγιναν έτσι που να καλύπτουν τόσο τις διάφορες στρωματογραφικές μονάδες όσο και τις διαφορές της διεύθυνσης του άξονα των πτυχών.



Εικ. 2.6. Συγκεντρωτικό δίκτυο των πόλων των ρηγμάτων της περιοχής εργασίας (160 τιμές). Ισοπληθείς ανά 0.8, 2.4, 4, 5.7, 7.3 και 9%

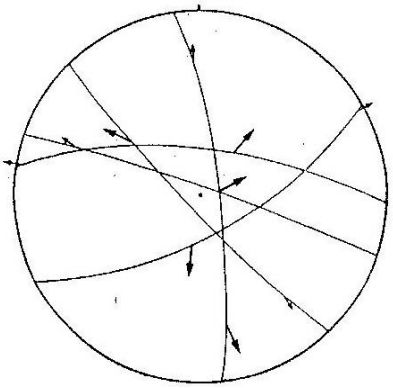
Οι πόλοι των ρηγμάτων που προβάλονται στην εικόνα 2.6. όπως αναλύθηκε στις προηγούμενες παραγράφους του ίδιου κεφαλαίου δημιουργήθηκαν στις εξής περιόδους:

Α) Προ-Μειοκαινική περίοδος με σύγχρονη ηφαιστειότητα. Στην περίοδο αυτή δημιουργούνται τα ρήγματα και διακλάσεις διαστολής.

Β) Προ-Μειοκαινική περίοδος χωρίς ηφαιστειότητα. Στην περίοδο αυτή παρατηρείται πτύχωση και σχισμός τα δε ρήγματα που δημιουργούνται οφείλονται σε διαστολή και συνδέονται γεωμετρικά με τους άξονες της πτυχώσεως, καθως και ρήγματα οριζόντιας μετατοπίσης.

Γ) Μετα-Μειοκαινική περίοδος. Δημιουργία κανονικών ρηγμάτων λόγω διαστολής. Η διαστολή προέρχεται τόσο από την μεταορογενετική ανύψωση όσο και από την διαστολή που επικρατεί στον Αιγιακό χώρο λόγω της ενεργού συγκλίσεως.

Σε κάθεμια από τις περιόδους αυτές όπως αναμένεται τα προϋπάρχοντα ρήγματα (εικ. 2.7.) ενεργοποιούνται με διαφορετικό χαρακτήρα. Στην περιοχή εργασίας παρατηρήθηκαν ρήγματα των οποίων ο κινηματικός τους χαρακτήρας μεταβάλλεται λόγω επαναδραστηριοποίησης των ίδιων ρηγμάτων από δεξιόστροφα σε αριστερόστροφα.



Εικ. 2.7. Ρήγματα μεταβαλλόμενου κινηματικού χαρακτήρα στην περιοχή εργασίας.

Στην επανενεργοποίηση οφείλεται επίσης και η πλάγια και οριζόντια συνιστώσα κίνησης που παρατηρείται σε ρήγματα που δημιουργούνται κατά τα τελευταία στάδια της πτύχωσης λόγω διαστολής. (ac και bc) (εικ. 2.8.)

Ο παρατηρούμενος κινηματικός χαρακτήρας των ρηγμάτων οφείλεται σε δύο λόγους: α. Δημιουργία των (ac) και (bc) από επανάδραση παλαιοτέρων ρηγμάτων κατά την διάρκεια της πτύχωσης, β. Επανάδραση των ρηγμάτων (ac) και (bc) κατά την διάρκεια της Μετα-Μειοκαινικής εξέλιξης της λεκάνης.

Ένας δεύτερος παράγοντας που δημιουργεί την διασπορά είναι οι στροφές των παλαιοτέρων ρηγμάτων στην διάρκεια των νεωτέρων φάσεων ή κατά την αύξηση της παραμόρφωσης. Τέτοιες στροφές έχουν αποδειχθεί τόσο πειραματικά όσο και από παρατηρήσεις υπαίθρου σε συνδιασμό με παλιομαγνητικά δεδομένα.

Οι πειραματικές εργασίες (Closs 1955, Dubby 1980) έδειξαν ότι όταν παραμορφώνονται άργιλοι τότε έχουμε τα εξής φαινόμενα, όσο προχωρά η παραμόρφωση, τα δεξιόστροφα ρήγματα στρέφονται αντίθετα από την φορά των δεικτών του ρολογιού ενώ τα αριστερόστροφα ρήγματα σύμφωνα με την φορά των δεικτών του ρολογιού.

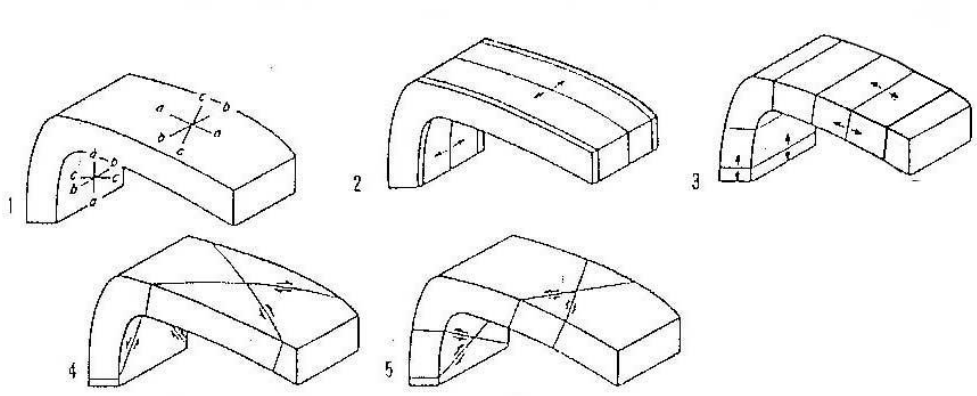
Οι υπαίθριες παρατηρήσεις σε συνδιασμό με παλαιομαγνητικές έρευνες (Pavlides et al, 1988) δείχνουν μια αλλαγή της διευθύνσεως των ρηγμάτων κάτω από σταθερό τασικό πεδίο.

Για να συσχετισθούν τα ρήγματα και οι πτυχές στην περιοχή εργασίας χωρίσθηκαν σε τέσσερις περιοχές. (εικ. 2.5. Α, Β, Γ, Δ)

Οι περιοχές Α, Β και Γ ανήκουν στην νότια περιοχή όπου η βράχυνση είναι 21%, ενώ η περιοχή Δ αντιστοιχεί στην βόρεια περιοχή όπου η βράχυνση είναι 30%.

Η ταξινόμηση και η συσχέτιση των ρηγμάτων και των αξόνων των πτυχών έγινε με βάση την ταξινόμηση κατά Hancock et al (1982).(εικ. 2.8.)

Στην εικόνα 2.8. παρατηρούνται δύο ομάδες αξόνων αυτοί που αναφέρονται στο σκέλος της πτυχής που παρουσιάζει ήπιες κλίσεις και αυτοί που αναφέρονται στο σκέλος της πτυχής που παρουσιάζει μεγάλη κλίση. Στις ταξινομήσεις που ακολουθούν ρησιμοποιόνται οι άξονες που αναφέρονται στο σκέλος της πτυχής που έχει ήπιες κλίσεις. Αυτή η ταξινόμηση γίνεται για το λόγο ότι οι πτυχές που παρουσιάζονται στην περιοχή εργασίας είναι συμμετρικές και αμφότερα τα σκέλη έχουν ήπια γωνία κλίσης.



Εικ. 2.8. Ταξινόμηση κατά Hancock ρηγμάτων και πτυχών. 1) Μπλοκ διάγραμμα των αξόνων συμμετρίας. 2) Διακλάσεις και ρήγματα διαστολής ac. 3) Διαστολή σε bc. 4) hk0 ρήγματα διάτμησης που σχηματίζουν οξεία γωνία η οποία διχοτομείται από τον άξονα a. 5) hk0 ρήγματα διάτμησης που σχηματίζουν οξεία γωνία με τον άξονα b.

Η προβολή δεδομένων κατά περιοχές (εικ. 2.9.) έδειξε ότι τα περισσότερα ρήγματα συνδέονται γεωμετρικά με τον άξονα της πτυχής στην εκάστοτε θέση.

Αναλυτικά στην περιοχή Α παρατηρώνται ac και bc ρήγματα τα οποία διευθύνονται κάθετα και παράλληλα στον άξονα της πτυχής. Μέσα δε στα ρήγματα αυτά που προέρχονται από διαστολή αναπτύσσονται συχνά φλέβες ασβεστίτη.

Η κινηματική ανάλυση (εικ. 2.10.2., δίκτυα λ, μ, ν) των ρηγμάτων αυτών δείχνει την ύπαρξη μιας έντονης οριζόντιας συνιστώσας που οφείλεται στην επαναδραστηριοποίηση των ρηγμάτων αυτών. Η έντονη οριζόντια συνιστώσα παρατηρήθηκε επίσης και στα ρήγματα που βρίσκονται στα σκέλη και στις αξονικές περιοχές των πτυχών. Έτσι παρατηρήθηκαν ρήγματα ac και bc στα οποία εμφανίζεται μια έντονη οριζόντια συνιστώσα στο δυτικό σκέλος των μεγάλου μήκους κύματος πτυχών αλλά και στην αξονική περιοχή αυτών.

Ο σχισμός στην περιοχή αυτή δεν σχηματίζεται μαζί με την πτύχωση με αποτέλεσμα να σχηματίζει γωνία με τον άξονα της πτυχώσεως.

Για την περιοχή Β παρατηρήθηκαν δύο καλά εκφρασμένα μέγιστα που προέρχονται από ac και bc ρήγματα. Στην περιοχή αυτή ο σχισμός είναι ήπιος και παρουσιάζεται ομοαξονικά με το άξονα της πτύχωσης.

Η κινηματική ανάλυση των ρηγμάτων της περιοχής Β (εικ. 2.10.2., δίκτυα ι, κ) είναι συγκρίσιμη με αυτήν της περιοχής Α.

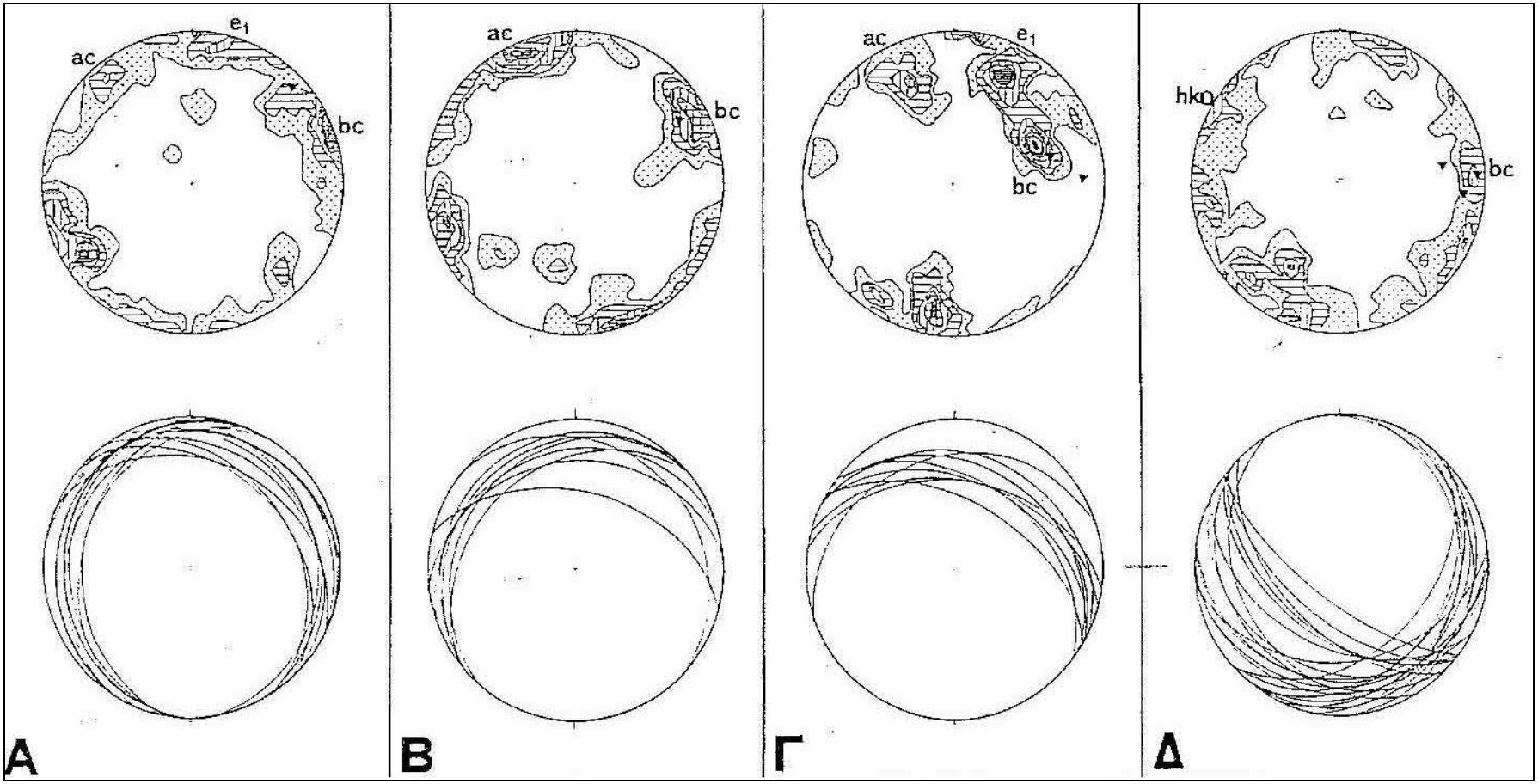
Στην περιοχή Γ υπάρχουν επίσης ac και bc ρήγματα διαστολής καθώς και ρήγματα e_1 που οφείλονται στην Μετα-Μειοκαινική εξέλιξη της λεκάνης.

Η κινηματική ανάλυση των ρηγμάτων αυτών (εικ. 2.10.2., δίκτυο θ) δείχνει μια οριζόντια συνιστώσα για τα ρήγματα αυτά.

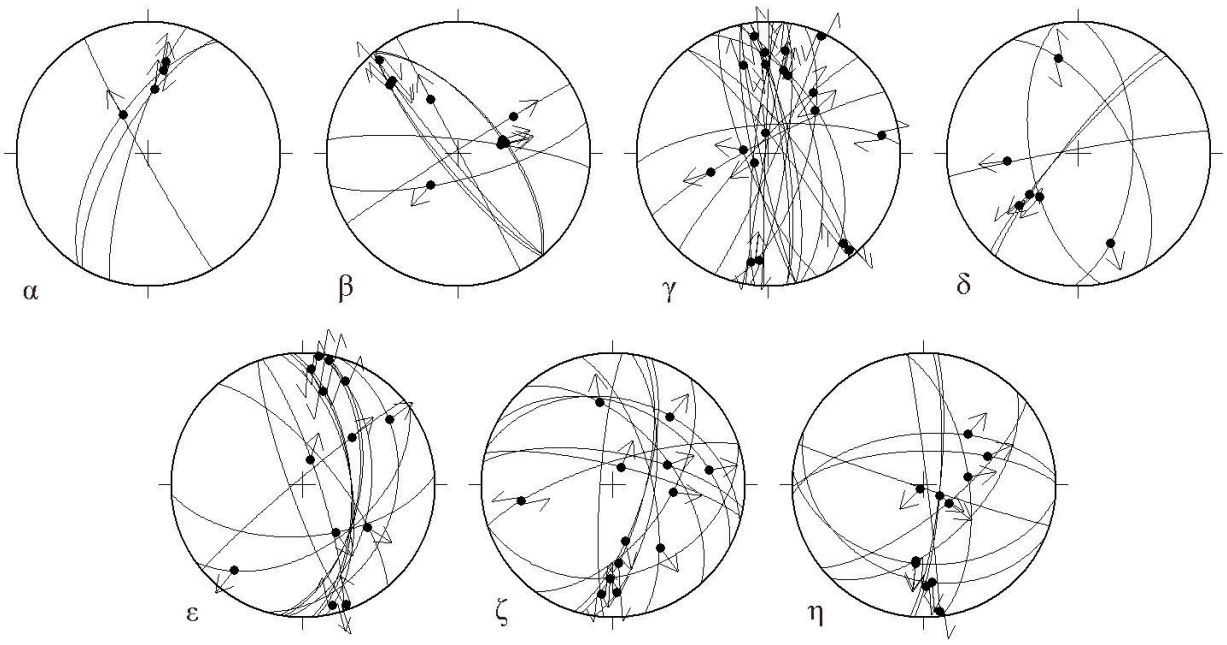
Ο σχισμός στην περιοχή αυτή είναι ήπιος και αναπτύσσεται ομοαξονικά με τον άξονα της πτύχωσης.

Στην περιοχή Δ τα ρήγματα που παρατηρούνται ανήκουν στα hk0 ρήγματα διάτμησης που σχηματίζουν οξεία γωνία εκατέρωθεν του άξονα της πτυχώσεως b (εικ. 2.8. και εικ. 2.10.1., δίκτυο γ).

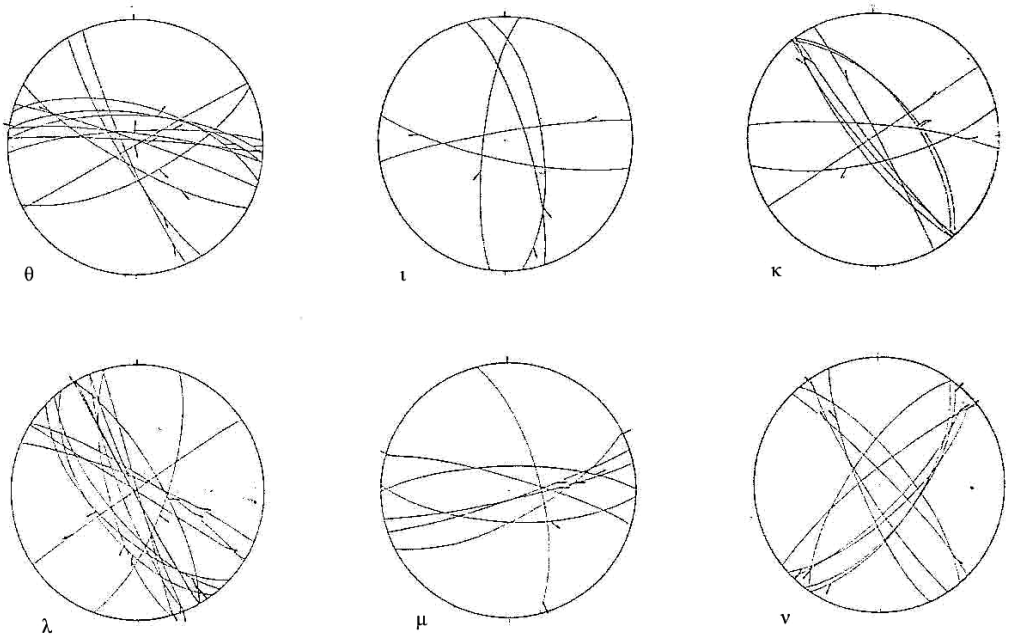
Παρατηρούνται όμως και ρήγματα hk0 (εικ. 2.10.1., δίκτυο β) που σχηματίζουν οξεία γωνία εκατέρωθεν του άξονα c. Στην περιοχή εμφανίζονται επίσης και bc ρήγματα. Η κινηματική ανάλυση των ρηγμάτων αυτών παρουσιαζεται στα δίκτυα της εικόνας 2.10.1. α, β και γ. Ο σχισμός στην περιοχή αυτή είναι έντονος και αναπτύσσεται ομοαξονικά με τον άξονα της πτυχώσεως.



Εικ. 2.9. Προβολές σε δίκτυα Schmidt πόλων των ρηγμάτων και σχισμών (πρώτη σειρά δικτύων) και μεγάλων κύκλων επιπέδων στρώσεων (δεύτερη σειρά δικτύων). Α) Περιοχή ανατολικά Αβδήρων (96 τιμές), Β) Περιοχή βόρεια των Αβδήρων (66 τιμές), Γ) Περιοχή νοτιοδυτικά της Ξάνθης (49 τιμές) και Δ) Περιοχή βόρεια του Σουνίου (91 τιμές) Τα ac, bc, hk0 και e1 είναιοι κατηγορίες των ρηγμάτων. Τα μαύρα τρίγωνα δείχνουν τους πόλους των σχισμών κατά περιοχή.



Εικ. 2.10.1. Κινηματική ανάλυση των ρηγμάτων στις περιοχές Α, Β, Γ, Δ. Τα δίκτυα α, β, γ, δ ανήκουν στην περιοχή Δ. Αναλυτικά: (α) Χωριό Άσκυρα, (β) Περιοχή μεταξύ Ασκύρων-Σουνίου, (γ) Χωριό Σούνιο, (δ) Χωριό Φιλιά, (ε) Κοντά στην Ξάνθη, (ζ) Βόρεια των Κιμμερίων και (η) Χωριό Ανθηρό.



Εικ. 2.10.2. Το δίκτυο (θ) Χωριό Τύμπανο αντιστοιχεί στην περιοχή Γ. Στην περιοχή Β αντιστοιχούν τα δίκτυα (ι) Χωριό Γκιώνα και (κ) Περιοχή Πεζούλας. Στην περιοχή Α αντιστοιχούν τα δίκτυα (λ) Περιοχή Αβδήρων, (μ) Χωριό Μάνδρα και (ν) Λατομείο νότια της Μάνδρας (Κουκουβέλας, 1989).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΦΑΣΕΩΝ

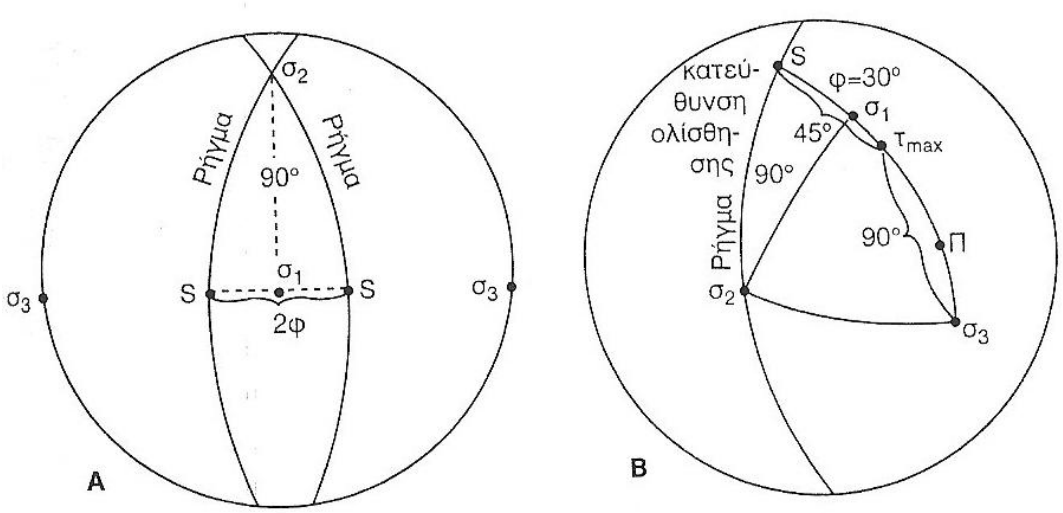
Πιο κάτω περιγράφονται οι σημαντικότερες αρχές μεθόδων τεκτονικής ανάλυσης που χρησιμοποιούνται στις τεκτονικές μελέτες για τον καθορισμό του προσανατολισμού (διεύθυνση και κλίση) των κύριων αξόνων της τάσης (σ_1, σ_2, σ_3).

3.1.1. ΑΠΛΗ ΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΔΥΟ ΣΥΖΥΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ

Πρόκειται για τον απλούστερο τρόπο καθορισμού των διευθύνσεων των κύριων αξόνων τάσης και εφαρμόζεται στις περιπτώσεις των συζυγών ρηγμάτων.

Συζυγή είναι τα ρήγματα που δημιουργούνται ταυτόχρονα από την επίδραση του ίδιου πεδίου τεκτονικών τάσεων με ίδιες περίπου παρατάξεις και γωνίες κλίσης αλλά αντίθετης διεύθυνσης κλίσης και που παράλληλα στις ρηξιγενείς τους επιφάνειες πραγματοποιούνται αντίθετες κινήσεις.(εικ. 3.1.)

Αν τα ρήγματα προβληθούν σε στερεογραφική προβολή στο δίκτυο *Schmidt*, τότε ως προβολή του άξονα σ_2 (ενδιάμεση τάση) θεωρείται το σημείο τομής των δύο επιπέδων των ρηγάτων. Η προβολή του άξονα σ_1 (μέγιστη τάση) θα πρέπει να βρίσκεται στη διχοτόμο της μικρότερης γωνίας των δύο ρηγμάτων, ο οποίος είναι κάθετος στον σ_2 και έχει γωνιακή απόσταση 90° από τον σ_2. Ο σ_3 είναι κάθετος στους δύο προηγούμενους άξονες και ορίζεται ως ο πόλος του μεγίστου κύκλου που ορίζουν οι σ_1 και σ_2.



Εικ. 3.1. Καθορισμός του προσανατολισμού των τάσεων για την περίπτωση ζεύγους συζυγών ρηγμάτων (Α) και για την περίπτωση ενός ρήγματος με την αντίστοιχη γράμμωση ολίσθησης (Β), φ: γωνία εσωτερικής τριβής υλικού, S: προβολές των γραμμώσεων ολίσθησης, π: πόλος γράμμωσης ολίσθησης.

Αν στα παραπάνω συζυγή ρήγματα έχουν μετρηθεί και οι γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης, τότε θα πρέπει θεωρητικά οι άξονες σ_1 και σ_3 και οι προβολές των γραμμώσεων να βρίσκονται πάνω σ'ένα μέγιστο κύκλο (επίπεδο κίνησης) του δικτύου, ο οποίος θα αντιπροσωπεύει το κάθετο στον σ_2 επίπεδο.

3.1.2. ΑΠΛΗ ΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΟΤΑΝ ΔΙΝΟΝΤΑΙ ΕΝΑ ΡΗΓΜΑ ΚΑΙ Η ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΓΡΑΜΜΩΣΗ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

Στην περίπτωση εφαρμογής αυτής της μεθόδου βασική προϋπόθεση είναι να διαπιστωθεί εάν η αρχική δημιουργία του ρήγματος και η τεκτονική γράμμωση ολίσθησης που μετρήθηκε πάνω στην επιφάνεια του οφείλονται στο ίδιο πεδίο τάσεων. Θα πρέπει δηλαδή να διαπιστωθεί αν η ολίσθηση συνέβη αμέσως μετά την αρχική θραύση του πετρώματος και όχι από κάποια μεταγενέστερη επαναδραστηριοποίηση.

Η ακολουθούμενη πορεία στην περίπτωση αυτή είναι η εξής :

Προβάλλονται κατά τα γνωστά το ρήγμα σε στερεογραφική προβολή και ως πόλος (π) μέγιστος κύκλος και η αντίστοιχη γράμμωση ως πόλος (s). Ο χαρακτήρας του ρήγματος (κανονικό ή ανάστροφο) δείχνεται με μικρό βέλος. Η προβολή του άξονα σ_2 βρίσκεται επί του επιπέδου του ρήγματος (μέγιστος κύκλος) και σε γωνιακή απόσταση 90° από το πόλο της γράμμωσης ολίσθησης. Οι άλλες δύο κύριες διευθύνσεις των τάσεων (σ_1 και σ_3) βρίσκονται επί μεγάλου κύκλου ο οποίος ορίζεται από τον πόλο της γράμμωσης (s) και τον πόλο του επιπέδου του ρήγματος (π).

Οι άξονες σ_1 και σ_3 ορίζονται ακριβώς όταν είναι γνωστή η εσωτερική τριβή (φ) των πετρωμάτων. Αυτή η γωνία κυμαίνεται μεταξύ 30-35° από τον πόλο της γράμμωσης και σε φορά αντίθετη προς την κλίση του ρήγματος όταν πρόκειται για κανονικό ρήγμα και αντίστροφα όταν πρόκειται για ανάστροφο ρήγμα. Ο άξονας σ_3 βρίσκεται πάνω στον ίδιο μέγιστο κύκλο και σε απόσταση 90° από τον σ_1.

Στην περίπτωση όπου η γωνία εσωτερικής τριβής των υλικών στα οποία έγινε η διάρρηξη δεν είναι γνωστή τότε χρησιμοποιούμε το θεωρητικό μοντέλο διάτμησης του Anderson. Ο σ_1 μπορεί να οριστεί σε γωνιακή απόσταση 45° (Tmax στην εικόνα 3.1.) από τον πόλο της γράμμωσης s, και αντίστοιχα ορίζεται ο πόλος του άξονα σ_3.

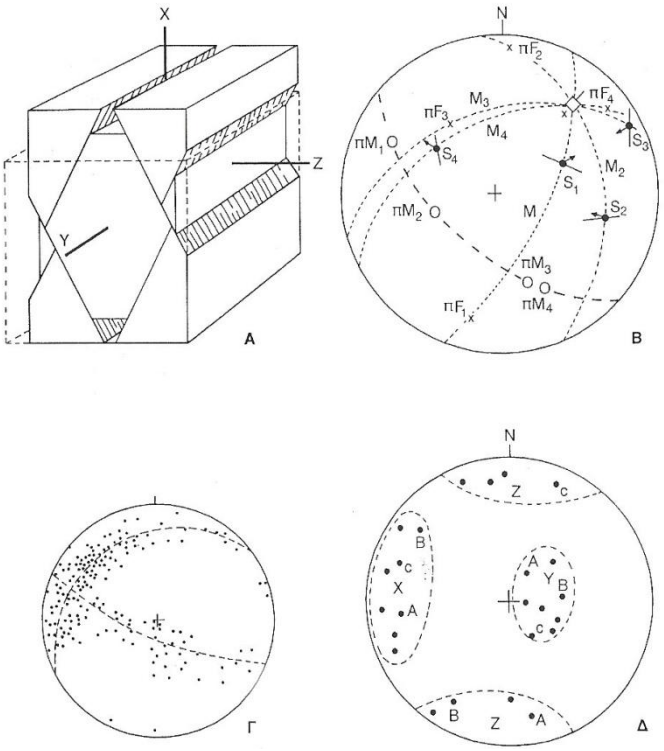
3.1.3. Η ΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ARTHAUD ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΙΑΣ ΟΜΑΔΑΣ ΡΗΓΜΑΤΩΝ

Η μέθοδος αυτή προτάθηκε για τη μελέτη μιας ομάδας ρηγμάτων, τα οποία έδρασαν στην ίδια τεκτονική φάση. Πρόκειται μάλλον για μια εμπειρική μέθοδο, χωρίς γενετική υπόθεση όσον αφορά την δημιουργία ρηγμάτων και χωρίς συγκεκριμένη αναφορά στο πεδίο των τάσεων. Με την εφαρμογή της μεθόδου αυτής βρίσκουμε του τρεις κύριους άξονες παραμόρφωσης, δηλαδή τη γενική διεύθυνση της επιμήκυνσης (X), τη διεύθυνση της βράχυνσης (Z) και μια τρίτη ενδιάμεση (Y) (εικ. 3.2.)

Δύο βασικές αρχές πάνω στις οποίες στηρίζεται αυτή η μέθοδος είναι οι εξής:

1.Η παραμόρφωση ενός όγκου πετρώματος εξαρτάται από τον προσανατολισμό και τη διεύθυνση των κινήσεων των ρηγμάτων που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια μιας τεκτονικής φάσης. Γίνεται δηλαδή η παραδοχή ότι τα παρατηρούμενα ρήγματα είναι προγενέστερα των παρατηρούμενων τεκτονικών κινήσεων.

2.Οι τεκτονικές γραμμώσεις που είναι αποτυπωμένες πάνω στις ρηξιγενείς επιφάνειες αντιστοιχούν σε μια κύρια κατεύθυνση παραμόρφωσης.



Εικόνα 3.2. Η μέθοδος του Arthaud: Α: απλοποιημένο σχήμα που δείχνει μια μάζα πετρώματος σε παραμορφώση και διάρρηξη και περιγράφει την βασική προϋπόθεση της μεθόδου. Όπου X, Y, Z είναι οι τρεις κύριοι άξονες παραμόρφωσης, η θέση των οποίων ζητείται να βρεθεί, Β: Στερεογραφική προβολή των επιπέδων των ρηγμάτων (F1, F2, F3, και F4) υπό μορφή πόλων (πF1, πF2, πF3 και πF4), των αντίστοιχων γραμμώσεων (S1, S2, S3 και S4) για τα οποία αντιστοιχούν 4 επίπεδα κίνησης (M1,M2,M3 και M4) που σημειώνονται ως πόλοι στο δίκτυο (πM1, πM2, πM3 και πM4). Γ: Διασπορά των πόλων (πM) των επιπέδων κίνησης για μια ομάδα ρηγμάτων. Δ: Υπολογισμός των περιοχών εμπιστοσύνης στο δίκτυο προβολής που περιέχουν τους κύριους άξονες παραμόρφωσης.(Arthaud, 1969)

Στην πράξη χρησιμοποιείται ένα δίκτυο στερεογραφικής προβολής (Wolf ή Schmidt) πάνω στο οποίο γίνονται οι ακόλουθες εργασίες:

α) Προβάλλονται υπό μορφή πόλων τόσο τα μετρηθέντα επίπεδα των ρηγμάτων (πF) όσο και οι αντίστοιχες τεκτονικές γραμμώσεις ολίσθισης που παρατηρήθηκαν πάνω σ'αυτά (s).

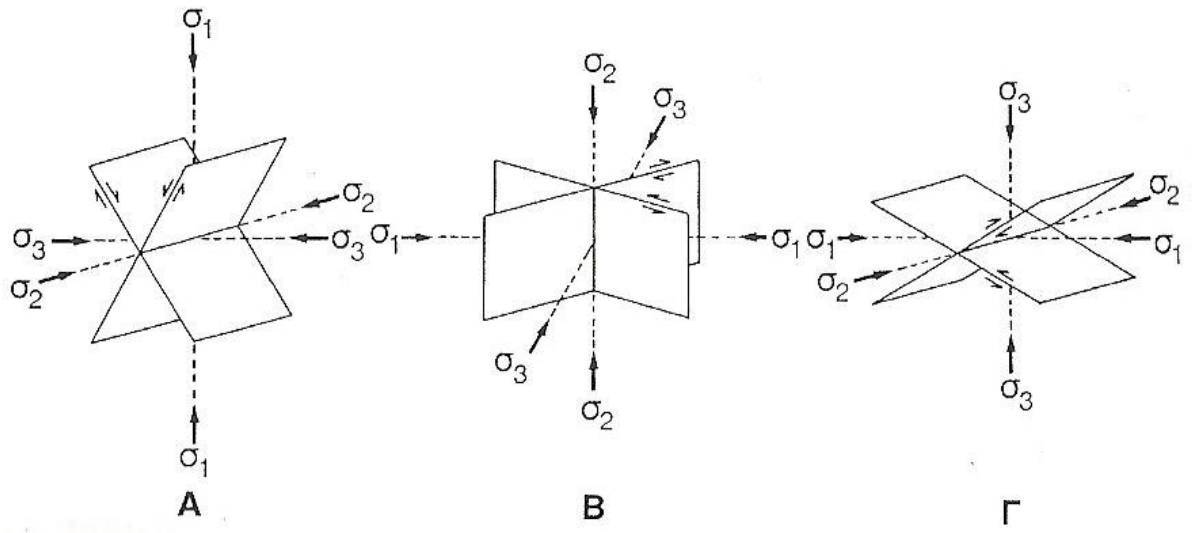
β) Τα πF και πS έχουν προκύψει από μια περιστροφή πάνω σ'ένα επίπεδο που παριστάνεται στο δίκτυο ως μέγιστος κύκλος και ονομάζεται επίπεδο κίνησης Μ, του οποίου ο πόλος (πΜ) σημειώνεται στο δίκτυο. (εικ. 3.2.Β)

γ) Αυτή η εργασία επαναλαμβάνεται για καθένα από τα μετρηθέντα ρήγματα και κατόπιν αξιολογείται η διασπορά των πόλων (πΜ). (εικ. 3.2.Γ)

δ) Όλα αυτά τα επίπεδα κίνησης (Μ) έχουν μια κύρια διεύθυνση τάσης δοσμένη, η οποία ορίζεται από την κοινή διατομή των μεγίστων κύκλων τους. Έχουν επίσης τον πόλο τους στο επίπεδο που είναι κάθετο σ'αυτή την κατεύθυνση. Οι πόλοι πΜ κατανέμονται ακολουθώντας μέγιστους κύκλους. Οι πόλοι ενός τέτοιου μέγιστου κύκλου αντιστοιχούν με τη σειρά τους σε μια κύρια διεύθυνση παραμόρφωσης (εικ. 3.2.Δ).

3.1.4. Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΟΡΘΩΝ ΔΙΕΔΡΩΝ ΓΩΝΙΩΝ

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στο κλασσικό μοντέλο της δυναμικής των ρηγμάτων του Anderson (1942) (εικ. 3.3.), σύμφωνα με το οποίο μπορεί να καθοριστεί ο προσανατολισμός των διαρρήξεων σε σχέση με τους κύριους άξονες του τριαξονικού ελλειψοειδούς των τάσεων. Είναι ανάλογη με τη μέθοδο του μηχανισμού γένεσης των σεισμών.



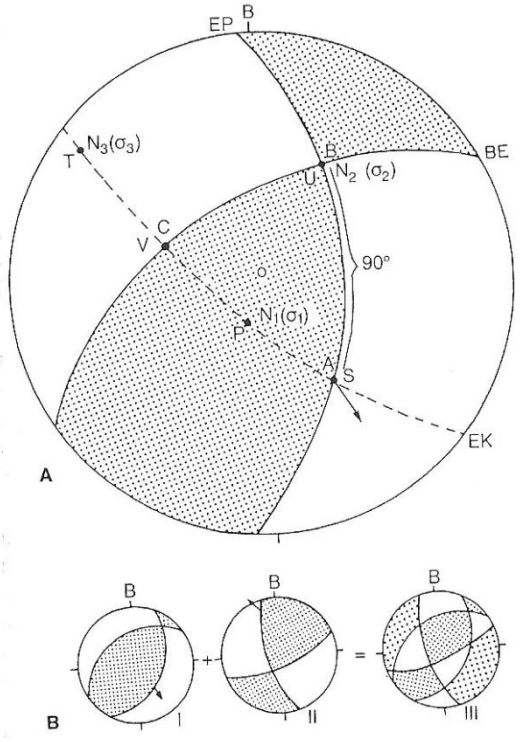
Εικ. 3.3. Δυναμική ταξινόμηση των ρηγμάτων (κλασσικό μοντέλο του Anderson 1942).
Α: Κανονικό ρήγμα (σ_1 κάθετος), Β: Ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης ή διεύθυνσης ολίσθησης (σ_2 κάθετος). Γ: Ανάστροφο ρήγμα (σ_3 κάθετος).

Σύμφωνα με την μέθοδο των ορθών δίεδρων γωνιών όταν γνωρίζουμε τον προσανατολισμό ενός ρήγματος καθώς και την διεύθυνση, τη φορά και το είδος της σχετικής ολίσθησης των τεμαχών του ρήγματος, θεωρούμε ένα δεύτερο βοηθητικό επίπεδο κάθετο στο επίπεδο του ρήγματος και στη διεύθυνση της τεκτονικής γράμμωσης. (εικ. 3.4.)

Από πρακτικής πλευράς πάνω σε ένα δίκτυο Wulf ή Schmidt προβάλλεται το επίπεδο του ρήγματος (ΕΡ) κατά τα γνωστά και η γράμμωση ολίσθησης (s ή Α) ως πόλος, κατόπιν προσδιορίζεται επί της προβολής του επιπέδου του ρήγματος σημείο Β που απέχει από τον πόλο της γράμμωσης (Α) γωνιακή απόσταση 90°. Το βοηθητικό επίπεδο (ΒΕ) ορίζεται από το μεσημβρινό (μέγιστος κύκλος δικτύου) που διέρχεται από το πόλο του επιπέδου του ρήγματος και το σημείο Β, είναι δηλαδή κάθετο στο επίπεδο του ρήγματος. Τα δύο επίπεδα του ρήγματος (του ρήγματος και το βοηθητικό) ορίζουν τέσσερις ορθές δίεδρες γωνίες. (εικ. 3.4.)

Με την μέθοδο των ορθών δίεδρων γωνιών ορίζονται οι χώροι πάνω στο δίκτυο της στερεογραφικής προβολής μέσα στους οποίους βρίσκονται οι προβολές των κύριων αξόνων τάσης. Στην εικόνα 3.4. γκρίζος είναι ο χώρος που περιέχει την προβολή του άξονα συμπίεσης και λευκός ο αντίστοιχος χώρος για τον άξονα εφελκυσμού.

Η αντιστοιχία μεταξύ των αξόνων τάσης που προκύπτουν από γεωλογικά δεδομένα και από τους μηχανισμούς γένεσης των σεισμών είναι: σ_1-Ρ, σ_2-Β, σ_3-Τ.



Εικ. 3.4. Παρουσίαση της βασικής αρχής της μεθόδου των ορθών δίεδρων γωνιών. Στο σχήμα (Α) δίνεται η αντιστοιχία της ορολογίας των μηχανισμών γένεσης και της μεθόδου των ορθών δίεδρων γωνιών. ΕΡ, Επίπεδο ρήγματος, ΒΕ, Βοηθητικό επίπεδο, ΕΚ, Επίπεδο κίνησης ή επίπεδο δράσης, C ή ν, πόλος του αντίστοιχου κινηματικού άξονα που είναι κάθετος στο επίπεδο του ρήγματος. Α ή s πόλος του αντίστοιχου κινηματικού άξονα, ο οποίος βρίσκεται στο επίπεδο ρήγματος, είναι κάθετος στο βοηθητικό και στην διεύθυνση του βρίσκεται το διάνυσμα της κίνησης. Β ή u, ο μηδενικός ή ενδιάμεσος άξονας, ο οποίος είναι κάθετος στους Α και C. Ρ ή N_1, ο άξονας συμπίεσης ή άξονας μέγιστης τάσης. Τ ή N_3, ο άξονας εφελκυσμού ή άξονας ελαχίστης τάσης. Ο, το κέντρο της στερεογραφικής προβολής, β, Βορράς. Στο (Β) δίνεται η γραφική απεικόνιση της σύνθεσης δύο περιπτώσεων ρηγμάτων (Ι και ΙΙ) και του αποτελέσματος (ΙΙΙ) όπου με μαύρο παρουσιάζονται οι περιοχές που περιέχουν τους άξονες συμπίεσης με πιθανότητα 100%, οι αντίστοιχες λευκές είτε τους άξονες συμπίεσης, είτε του εφελκυσμού με πιθανότητα 50% αντίστοιχα και οι γκρίζες εκείνες που περιέχουν τους άξονες εφελκυσμού με πιθανότητα 100% (Κατά Angelier & Merchler, 1977)

3.1.5. Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΤΑΝΥΣΤΗ ΤΑΣΗΣ

Η μέθοδος αυτή επιτρέπει να υπολογιστεί ποσοτικά ο προσανατολισμός των κύριων αξόνων του πεδίου των τάσεων σε τοπικό επίπεδο με την χρησιμοποίηση τεκτονικών δεδομένων υπαίθρου. Δηλαδή, από τα προαναφερθέντα γεωμετρικά στοιχεία των ρηγμάτων και των τεκτονικών γραμμώσεων ολίσθησης, για μια ομάδα ρηγμάτων που λειτούργησαν στην ίδια τεκτονική φάση, υπολογίζεται ένας μέσος τανυστής τάσης που ανταποκρίνεται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο για την κίνηση κάθε μεμονωμένου ρήγματος της ομάδας.

Η μέθοδος αυτή είναι συνέχεια της γραφικής μεθόδου του Arthaud, για την οποία ισχύουν οι εξής περιορισμοί :

1.Ο όγκος του πετρώματος που περιέχει τα μελετούμενα ρήγματα θεωρείται στο σύνολο του ομογενής, οι μικρές ανομοιογένειες (ασυνέχειες) είναι εντοπισμένες αποκλειστικά και μόνο γύρω από τα επίπεδα των ρηγμάτων, δηλαδή μέσα σε ένα σχετικά μικρό χώρο σε σχέση με το μελετούμενο όγκο του πετρώματος.

2.Ο θεωρούμενος τανυστής τάσης παριστάνει την παρατηρούμενη παραμόρφωση.

3.Τα ρήγματα λειτούργησαν ταυτόχρονα, δηλαδή στην ίδια τεκτονική φάση.

4.Ο προσανατολισμός των επιπέδων των ρηγμάτων και οι αναπτυσσόμενες τάσεις είναι ανεξάρτητα.

5.Η κίνηση σε κάθε ρήγμα συμβαίνει κατά τη διεύθυνση της εφαπτομενικής συνιστώσας της τάσης.

6.Το μέσο δεν παρουσιάζει πλαστικές παραμορφώσεις.

Το σημαντικότερο σημείο της μεθόδου είναι ότι θεωρεί ανεξάρτητες τις τάσεις που αναπτύσσονται σ' ένα όγκο πετρώματος και τον προσανατολισμό των επιπέδων των ρηγμάτων και λαμβάνει υπόψη για τους υπολογισμούς μόνο τα διανύσματα των σχετικών κινήσεων. (διεύθυνση και φορά γραμμώσεων τεκτονικής ολίσθησης). Στις νεοτεκτονικές έρευνες, όπως τονίστηκε και προηγούμενα, συνήθως μελετούνται τεκτονικές κινήσεις πάνω από προϋπάρχουσες δομές (κυρίως ρήγματα, αλλά και σε στρωματογραφικές ασυνέχειες, σε διακλάσεις κ.τ.λ.), η γεωμετρία των επιπέδων των οποίων δεν συνδέεται με το αποτέλεσμα των τάσεων που δημιούργησαν τις τεκτονικές γραμμώσεις.

3.2. ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ WIN TENSOR

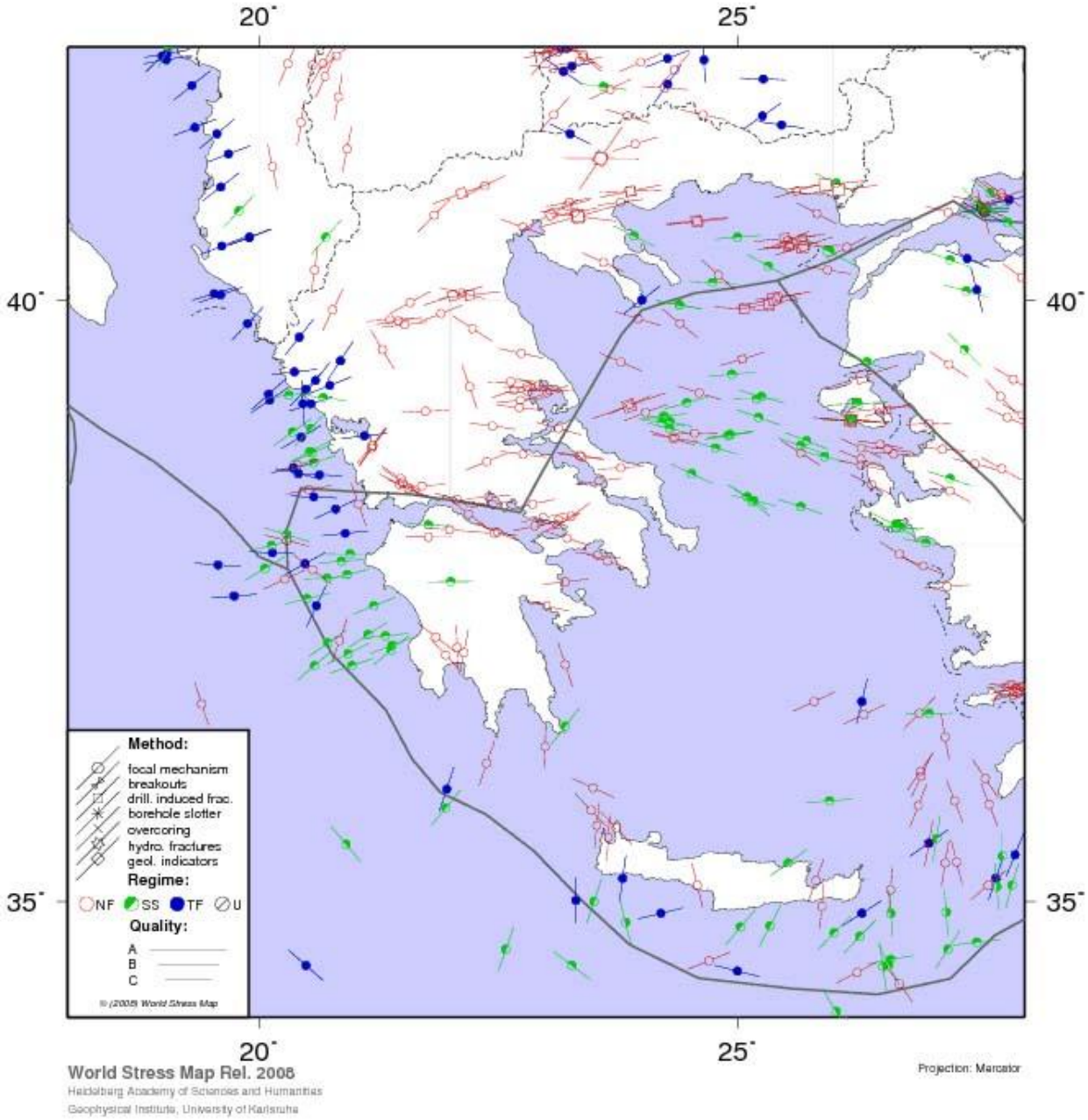
3.2.1. ΓΕΝΙΚΑ

Σήμερα, υπάρχει στην επιστημονική κοινότητα ένα ευρύ φάσμα μεθόδων και υπολογιστικών προγραμμάτων που εφαρμόζονται για την απεικόνιση της κινηματικής των ρηγμάτων και των μηχανισμών γένεσης των σεισμών.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Win-Tensor (version 2.0.1.) του Damien Delvaux, η περιγραφή του οποίου θα γίνει στην συνέχεια.

Η ανάλυση της κινηματικής των ρηγμάτων και τα δεδομένα μηχανισμού γένεσης των σεισμών για την μελέτη των παλαιό και νεό τεκτονικών τάσεων χρησιμοποιείται αρκετά συχνά στις μέρες μας για νεοτεκτονικές και σεισμοτεκτονικές έρευνες.

Γεωλογικά δεδομένα των τάσεων του Τεταρτογενούς είναι άμεσα συνδεδεμένα με το Παγκόσμιο Χάρτη Τάσεων (World Stress Map). Μέρος του Παγκόσμιου Χάρτη Τάσεων φαίνεται στην εικόνα 3.5. για την περιοχή της Ελλάδας και της ευρύτερης περιοχής των Βαλκανίων.



Εικ. 3.5. Χάρτης Τάσεων της Ελλάδος σύμφωνα με το World Stress Map (2008).

3.2.2. ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ WIN-TENSOR

Το πρόγραμμα Win-Tensor είναι ένα διαδραστικό λογισμικό για τον καθορισμό τεκτονικών τάσεων από ρήγματα και δεδομένα μηχανισμών γένεσης των σεισμών στην Τεκτονική Γεωλογία, καθώς και για νεοτεκτονικές και σεισμοτεκτονικές έρευνες.

Πρόκειται για ένα πρόγραμμα το οποίο δημιουργήθηκε το 2001 από τον Damien Delvaux και το οποίο συνεχώς δέχεται βελτιώσεις.

Εκτός από την ικανότητα αποθηκεύσης και διαχειρίσης, επιτρέπει την ανακατασκευή της τάσης (προσανατολισμό των τριών κύριων αξόνων της τάσης και το σχήμα του τριαξονικού ελλειψοειδούς) χρησιμοποιώντας μια εξελιγμένη μέθοδο του "Right Dihedron" και μιας διαδικασίας που ονομάζεται "Rotational Optimisation".

Επιτρέπει το κινηματικό διαχωρισμό της ολίσθησης των ρηγμάτων και των δεδομένων εστιακών μηχανισμών σε συνδιασμό με μια προοδευτική βελτίωση του τανυστή της τάσης.

Έμφαση δίνεται στην διαδραστικότητα των χρηστών για την ελεγχόμενη συλλογή δεδομένων, την επιλογή των δεδομένων, την εκτίμηση και βελτιστοποίηση του τανυστή, την γραφική αναπαράσταση και την ποιότητα κατάταξης ανάλογα με το Παγκόσμιο Χάρτη Τάσεων (World Stress Map).

Κύριες Λειτουργίες του προγράμματος Win-Tensor:

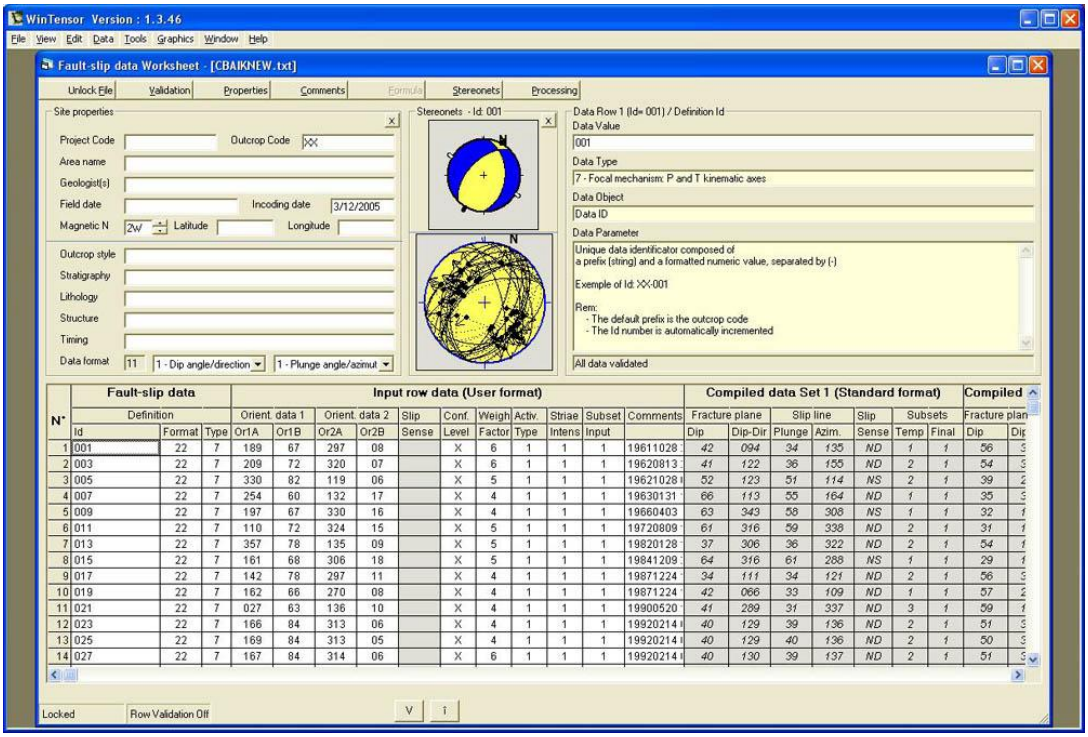
- Φύλλο Εργασίας Δεδομένων (Data Worksheet) όπου βάζεις τα δεδομένα σου π.χ. για διεύθυνση-κλίση του επιπέδου, γραμμή ολίσθησης κ.τ.λ.
- Φύλλο Ψηφιοποίησης (Digitizing Sheet)
- Φύλλο Επεξεργασίας Right Dihedron (Processing Sheet)
- Φύλλο Επεξεργασίας Rotational Optimisation (Processing Sheet)

3.2.3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Όλα ξεκινούν από την ύπαιθρο όπου πραγματοποιείται η λήψη των δεδομένων. Ακολούθως τα δεδομένα που πήραμε από την περιοχή μελέτης εισάγονται στο φύλλο εργασίας δεδομένων (Data Worksheet) (εικ. 3.6.). Το φύλλο αυτό δίνει την δυνατότητα εισαγωγής των δεδομένων που λήφθησαν στην ύπαιθρο.

Για παράδειγμα εκεί τοποθετείται η κλίση, η διεύθυνση κλίσης, η γράμμωση, ο σχισμός κ.ο.κ. Στην συνέχεια θα πρέπει να συμπληρωθεί εάν το ρήγμα είναι κανονικό, ανάστροφο κ.τ.λ. ή εάν είναι επαναενεργοποιημένο, νεοσχηματιζόμενο ή άγνωστης προέλευσης κ.τ.λ.. Όταν τελειώσει η εισαγωγή των δεδομένων προχωράμε στο επόμενο βήμα που είναι το φύλλο επεξεργασίας (Processing Sheet).

Στο φύλλο επεξεργασίας (Processing Sheet) πραγματοποιείται η μετατροπή των δεδομένων που εισήχθησαν στο φύλλο εργασίας. Δημιουργείται έτσι το Δίκτυο (Stereonet), το Ροδόγραμμα (Rose Diagram), η μέθοδος βελτιστοποίηση (Rotational Optimization), τα στατιστικά των δεδομένων του προσανατολισμού(Statistics of Orientation Data), η ανάλυση των P B T κινηματικών αξόνων (Analysis of P B T Kinematic Axes), οι καμπύλες κανονικότητας (Regular Curves) και το διάγραμμα Mohr. Τα προαναφερθόντα δεν θα μας απασχολήσουν τόσο στην παρούσα εργασία όσο η μέθοδος των ορθών δίεδρων γωνιών (Right Dihedron).



Εικ. 3.6. Το φύλλο εργασίας δεδομένων (Data Worksheet)

Η μέθοδος του Right Dihedron αρχικά αναπτύχθηκε από τους Angelier & Mechler (1977) σαν μια γραφική μέθοδος για τον προσδιορισμό του εύρους των πιθανών προσανατολισμών των σ_1 και σ_3 αξόνων στην ανάλυση ενός ρήγματος.

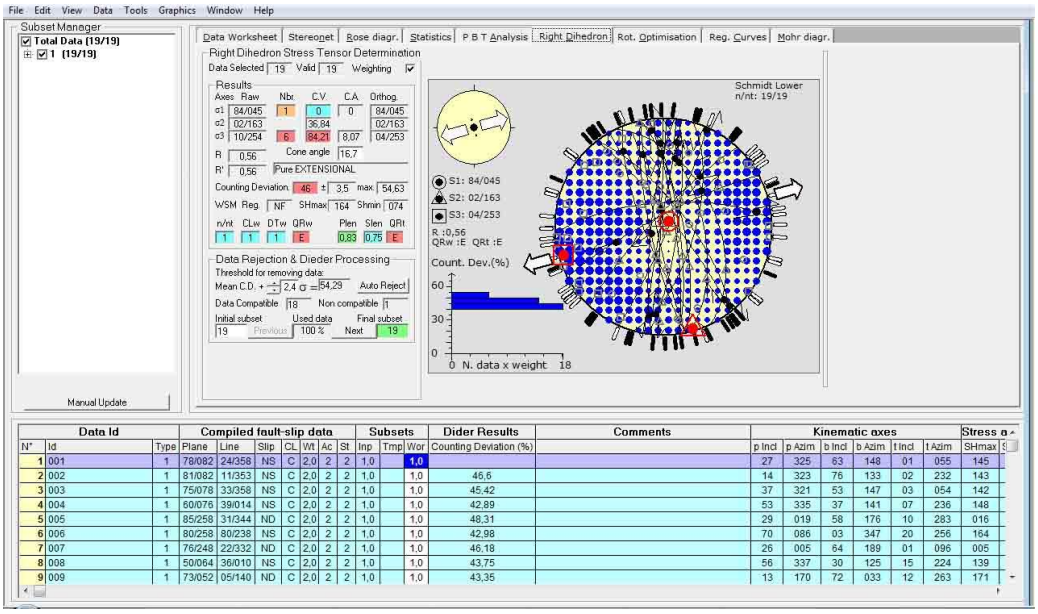
Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για την ανάλυση της τάσης στους μηχανισμούς γένεσης των σεισμών.

Για την κινηματική των ρηγμάτων δίνει μόνο ένα πρωταρχικό αποτέλεσμα, που δεν ανταποκρίνεται στα κριτήρια του Coulomb (σχέση μεταξύ κανονικής και διατμητικής τάσης). Η μέθοδος αυτή μας δείνει μια πρώτη εκτίμηση του προσανατολισμού των κυρίων αξόνων της τάσης και τον λόγο της τάσης R, καθώς και ένα πρώτο φιλτράρισμα της συμβατότητας των δεδομένων της κινηματικής του ρήγματος.(εικ. 3.7.)

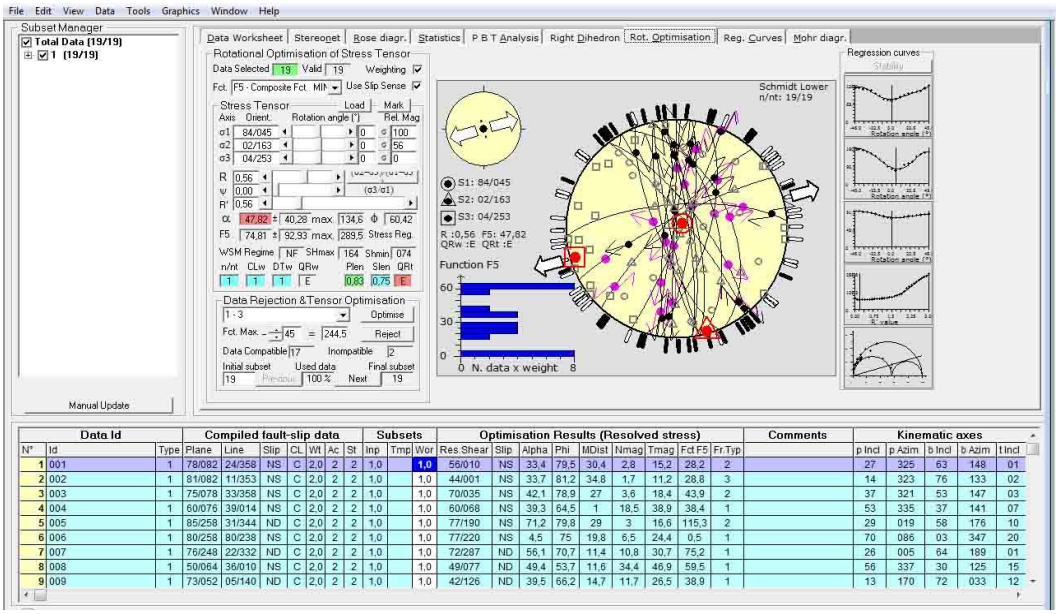
Ο επιλεγμένος πληθυσμός δεδομένων και τάσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν σημείο εκκίνησης για μεθόδους όπως η μέθοδος του Rotational Optimisation, της οποία η περιγραφή ακολουθεί πιο κάτω.

Η μέθοδος Rotational Optimisation είναι μια νέα διαδικασία επαναληπτικής μετατροπής που βασίζεται στον έλεγχο των αριθμών διαφόρων τανυστών της τάσης με στόχο την ελαχιστοποίηση των λειτουργικών ατελειών.

Σαν αρχή χρησιμοποιεί όλο το εύρος των προσανατολισμών για τους τρεις κύριους άξονες και τον λόγο τάσης R έτσι ώστε να βρεθεί η μικρότερη τιμή λειτουργικής ατέλεια. Στην μέθοδο αυτή ο διαχωρισμός των δεδομένων γίνεται προοδευτικά κατά την μετατροπή τους.(εικ. 3.8.)



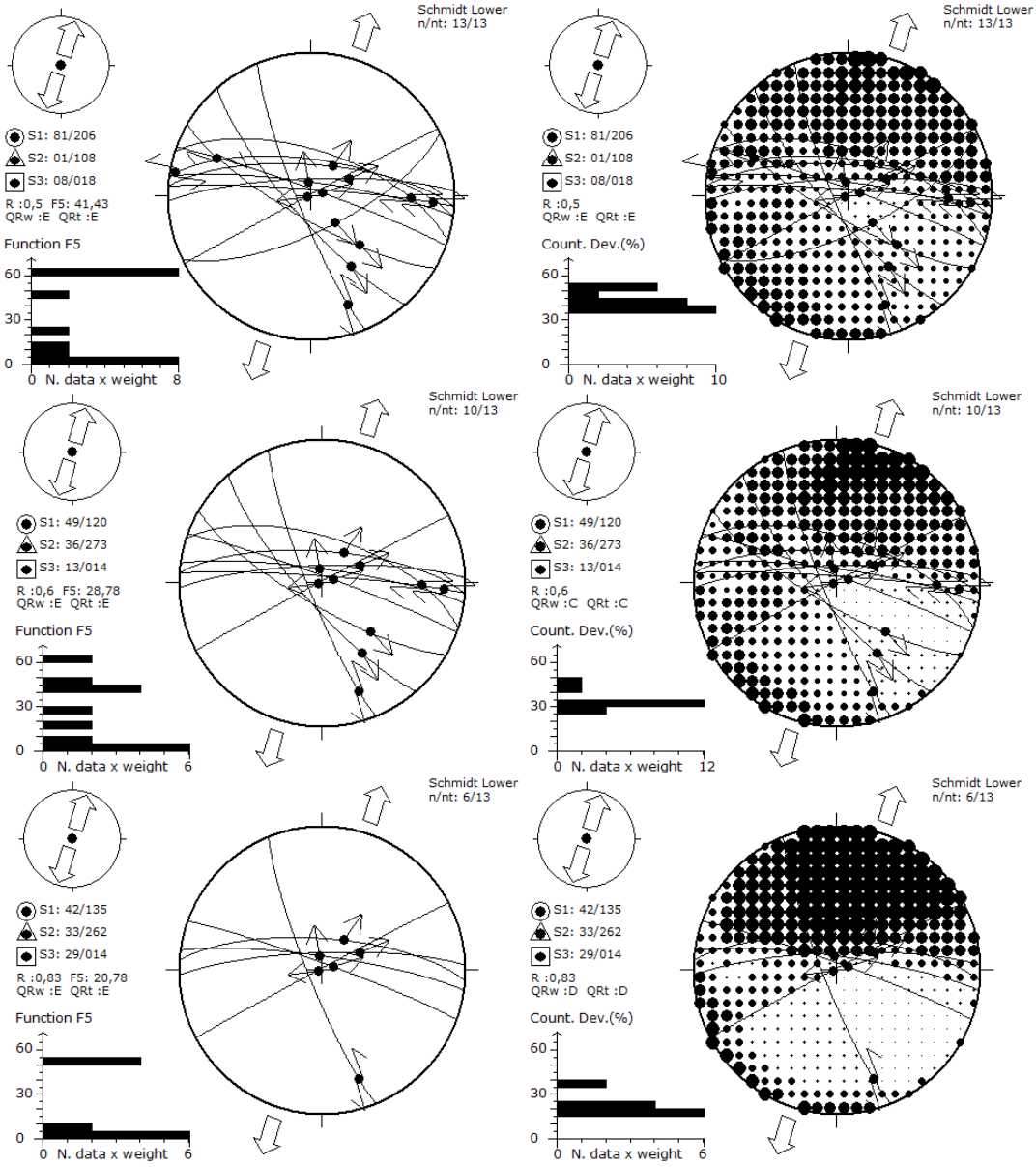
Εικ. 3.7. Φύλλο επεξεργασίας της μεθόδου του Right Dihedron.



Εικ. 3.8. Φύλλο επεξεργασίας της μεθόδου Rotational Optimisation.

Για να επιτευχθεί ένας αποτελεσματικός διαχωρισμός των ρηγμάτων, η διαδικασία βελτίωσης του τανυστή και του διαχωρισμού των ρηγμάτων εκτελείται με την διαδοχική μείωση των τιμών της μέγιστης απόκλισης της ολίσθησης.

Στην εικόνα 3.9. βλέπουμε ένα παράδειγμα βελτίωσης του τανυστή της τάσης και διαχωρισμό των ρηγμάτων χρησιμοποιώντας τις μεθόδους του Right Dihedron και του Rotational Optimisation σε ένα κανονικό ρήγμα.

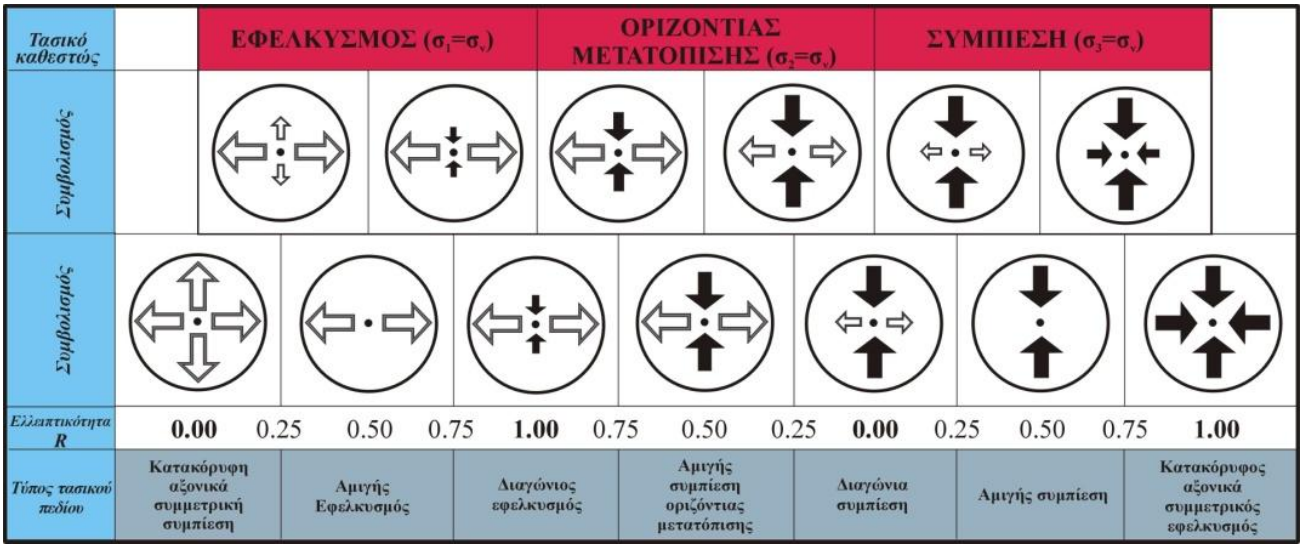


Εικ. 3.9. Στην αριστερη μεριά η μέθοδος Rotational Optimisation και στην δεξιά η μέθοδος Right Dihedron και πως αλλάζουν με την βελτιώση του τανυστή, πως δηλαδή το πρόγραμμα επιλέγει τις τιμές με την ελάχιστη απόκλιση. Πρέπει να σημειωσουμε στο σημείο αυτό ότι σημαντικό για τη σωστή λειτουργία πρέπει να υπάρχουν ορθά και αρκετά στοιχεία από το πίνακα δεδομένων που τοποθετούμε στο φύλλο δεδομένων.

Τα δεδομένα που πήραμε περιέχουν και τιμές από ανάστροφα ρήγματα καθώς και ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης.

Με τον αυτόματο διαχωρισμό τα «άσχετα δεδομένα» απορρίπτονται από το πρόγραμμα, δίνοντας μας έτσι τα πραγματικά στοιχεία (κινηματική, πεδίο τάσης, κ.τ.λ.) του πληθυσμού των ρηγμάτων.

Για το πεδίο τάσης που επικρατεί υπάρχει πίνακας (εικ.3.10) όπου μπορούμε να πάρουμε τα στοιχεία μας και να τα αντιστοιχίσουμε έτσι ώστε να βρούμε το πεδίο τάσης της κάθε περιοχής.



Εικ. 3.10. Πίνακας πεδίων τάσεων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Οι μετρήσεις που ελήφθησαν στο ύπαιθρο έγιναν σε εννέα θέσεις κατά μήκος του ρήγματος Ξάνθης – Κομοτηνής. Τις θέσεις αυτές για λόγους συντομίας θα ονομάσουμε θέσεις α, β, γ, δ, ε, ζ, η, θ και κ αντίστοιχα.

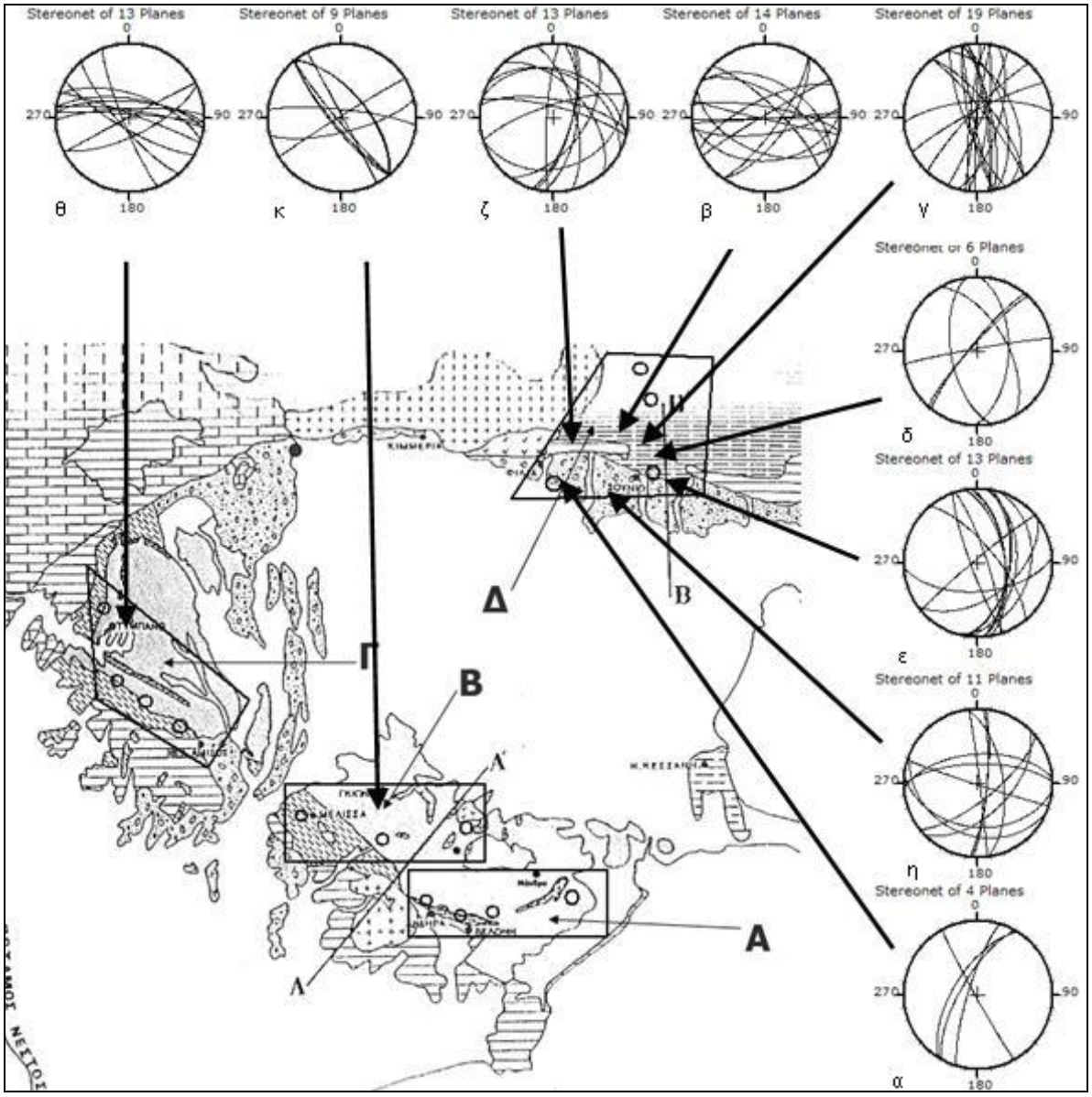
Από τις θέσεις αυτές λήφθησαν τα ακόλουθα δεδομένα: διεύθυνση κλίσης και τιμή κλίσης του επιπέδου (Ρ) του ρήγματος και διεύθυνση-βύθιση της γράμμωσης (ΓΡ) όπως δίνονται στο πίνακα πιο κάτω:

Πίνακας 4.1.

Θέση α	Θέση β	Θέση γ	Θέση δ
P=241/87 ΓΡ=327/61 P=302/63 ΓΡ=010/36 P=300/71 ΓΡ=006/49 P=287/79 ΓΡ=011/30	P=044/76 ΓΡ=323/37 P=031/63 ΓΡ=310/18 P=029/49 ΓΡ=077/40 P=202/51 ΓΡ=272/24 P=193/88 ΓΡ=282/20 P=010/78 ΓΡ=099/14 P=179/89 ΓΡ=278/86 P=176/89 ΓΡ=085/22 P=176/41 ΓΡ=178/41 P=172/72 ΓΡ=088/20 P=334/70 ΓΡ=250/18 P=329/87 ΓΡ=242/42 P=125/76 ΓΡ=039/14 P=125/66 ΓΡ=038/10	P=082/78 ΓΡ=358/24 P=082/81 ΓΡ=353/11 P=078/75 ΓΡ=358/33 P=076/60 ΓΡ=012/40 P=258/85 ΓΡ=344/31 P=258/80 ΓΡ=238/80 P=248/76 ΓΡ=334/22 P=064/50 ΓΡ=010/36 P=052/73 ΓΡ=136/04 P=052/82 ΓΡ=134/12 P=356/72 ΓΡ=081/14 P=332/82 ΓΡ=252/52 P=313/82 ΓΡ=034/42 P=114/86 ΓΡ=024/03 P=106/66 ΓΡ=047/50 P=098/79 ΓΡ=185/20 P=276/81 ΓΡ=189/18 P=272/88 ΓΡ=347/77 P=280/88 ΓΡ=009/22	P=260/60 ΓΡ=222/54 P=060/58 ΓΡ=346/28 P=350/87 ΓΡ=264/45 P=312/82 ΓΡ=229/40 P=309/81 ΓΡ=239/48 P=092/56 ΓΡ=162/30
			Θέση κ P=062/89 ΓΡ=335/52 P=051/63 ΓΡ=074/64 P=050/62 ΓΡ=077/60 P=230/85 ΓΡ=321/26 P=231/78 ΓΡ=320/08 P=230/80 ΓΡ=317/27 P=006/81 ΓΡ=091/32 P=166/74 ΓΡ=222/64 P=328/88 ΓΡ=056/48
Θέση ε	**Θέση ζ**	**Θέση η**	**Θέση θ**
P=086/60 ΓΡ=002/14 P=084/60 ΓΡ=009/29 P=080/60 ΓΡ=165/06 P=072/80 ΓΡ=017/74 P=250/82 ΓΡ=160/04 P=050/71 ΓΡ=120/40 P=176/58 ΓΡ=145/54 P=144/50 ΓΡ=219/18 P=320/86 ΓΡ=046/47 P=106/30 ΓΡ=052/22 P=100/54 ΓΡ=022/16 P=098/55 ΓΡ=012/04 P=096/47 ΓΡ=007/02	P=076/66 ΓΡ=143/40 P=048/54 ΓΡ=349/38 P=028/40 ΓΡ=083/30 P=016/35 ΓΡ=040/33 P=014/78 ΓΡ=024/78 P=010/70 ΓΡ=070/54 P=342/76 ΓΡ=260/30 P=162/32 ΓΡ=182/30 P=126/56 ΓΡ=096/54 P=107/70 ΓΡ=168/54 P=104/70 ΓΡ=176/40 P=098/64 ΓΡ=178/20 P=274/82 ΓΡ=186/18	P=083/88 ΓΡ=171/04 P=082/62 ΓΡ=080/62 P=204/30 ΓΡ=175/28 P=198/88 ΓΡ=225/87 P=186/40 ΓΡ=186/40 P=359/69 ΓΡ=066/46 P=356/58 ΓΡ=041/48 P=141/72 ΓΡ=114/74 P=135/55 ΓΡ=186/42 P=096/80 ΓΡ=124/78 P=094/80 ΓΡ=178/24	P=248/82 ΓΡ=160/21 P=229/78 ΓΡ=158/41 P=210/77 ΓΡ=135/50 P=020/86 ΓΡ=083/84 P=018/64 ΓΡ=090/30 P=210/77 ΓΡ=292/30 P=008/69 ΓΡ=280/04 P=008/82 ΓΡ=350/82 P=004/72 ΓΡ=034/68 P=004/86 ΓΡ=094/16 P=358/80 ΓΡ=066/66 P=332/89 ΓΡ=262/88 P=154/70 ΓΡ=137/70

Οι εννέα θέσεις που πήραμε μετρήσεις αντιστοιχούν σε περιοχές που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 2. Επικεντρωθήκαμε στην περιοχή Δ η οποία είναι πάνω στο ρήγμα Ξάνθης-Κομοτηνής πλησίον της πόλης της Ξάνθης.

Στην εικόνα 4.1. που ακολουθεί δίνεται η κινηματική ανάλυση των ρηγμάτων στις επιμέρους περιοχές με έμφαση στην περιοχή Δ, όπου αντιστοιχούν τα επτά (7) από τα εννέα (9) δίκτυα. Τα αποτελέσματα των δικτύων αυτών προέρχονται από το πρόγραμμα Win-Tensor χωρίς να δεχθούν καμία επεξεργασία από τα αρχικά δεδομένα που λήφθησαν στην ύπαιθρο.



Εικόνα 4.1. Κινηματική ανάλυση των ρηγμάτων στις περιοχές Α, Β, Γ και Δ. Τροποποιημένος χάρτης από Κουκουβέλας, 1989.

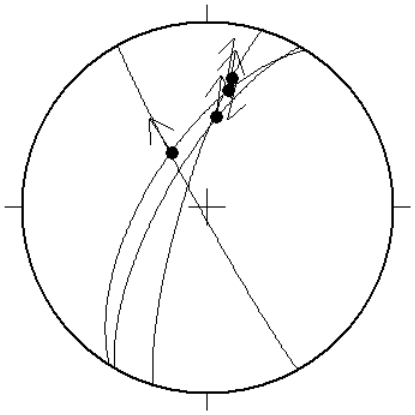
4.2. ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ WIN-TENSOR

Τα δεδομένα του πίνακα 4.1. τοποθετούνται στο πρόγραμμα Win-Tensor και ακολούθως τυγχάνουν επεξεργασίας ώστε να μας δώσουν μια ολοκληρωμένη εικόνα για την κινηματική της περιοχής και τα πεδία τάσεων που επικρατούν. Στον πιο κάτω πίνακα (πίνακας 4.2.) φαίνονται τα αποτελέσματα αυτής της επεξεργασίας δεδομένων. Στα επόμενα υποκεφάλαια θα περιγραφούν αναλυτικότερα οι εννέα θέσεις που επιλέχθηκαν για την μελέτη της περιοχής.

Πίνακας 4.2. Αυτός ο πίνακας χωρίζεται σε τρεις κύριες στήλες. Από αριστερά προς τα δεξιά έχουμε τις γενικές πληροφορίες από την περιοχή που πήραμε τα δεδομένα, τα αποτελέσματα των υπολογισμών μετά την επεξεργασία των δεδομένων και πληροφορίες για την ποιότητα του εντατικού πεδίου (Tensor). Στην πρώτη στήλη το N αντιπροσωπεύει τον αριθμό των μετρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν από το πρόγραμμα και το Νολ τον συνολικό αριθμό των μετρήσεων. Στην στήλη με τα αποτελέσματα των υπολογισμών δίνεται ο προσανατολισμός των τριών κυρίων αξόνων της τάσης (σ_1, σ_2, σ_3) μαζί με την παράμετρο R της τάσης, τη γωνία α και μια ένδειξη για τοκαθεστώς που επικρατεί (SS – οριζόντιας ολίσθησης (Strike-Slip), OB –διαγώνιας (Oblique), P – καθαρής, Ext – διαστολής). Στην τρίτη στήλη έχουμε την μέση απόκλιση των τιμών και την ταξινόμηση-κατηγοριοποίηση του W-Tensor.

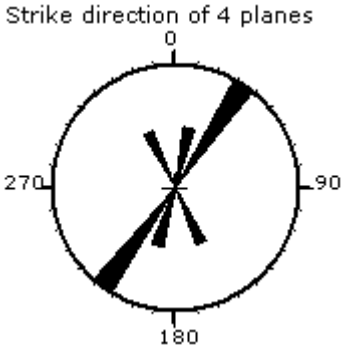
Δίκτυο	N	Νολ	σ_1	σ_2	σ_3	R	Regime	Mean CD ± sd	Κατηγορία
Α	3	4	41/067	45/223	12/326	0.67	OB-Ext	9.5 ± 1	E
Β	6	14	11/149	77/352	03/244	0.92	SS-Ext	19.1 ± 2.7	D
Γ	9	19	23/319	66/148	02/051	0.78	SS-Ext	18.7 ± 4.6	D
Δ	5	6	61/171	23/029	16/292	0.55	P-Ext	20.7 ± 5.2	E
Ε	5	13	32/328	55/123	10/228	0.45	P-SS	8,9 ± 1.5	D
Ζ	8	13	60/217	27/058	09/323	0.38	P-Ext	20 ± 4.3	D
Η	6	11	67/246	10/129	20/035	0.38	P-Ext	20.9 ± 4.6	D
Θ	8	13	47/127	37/273	19/019	0.48	OB-Ext	21 ± 7,5	E
Κ	6	9	26/169	63/348	02/253	0.75	SS-Ext	24.1 ± 2.7	D

4.2.1. ΘΕΣΗ Α



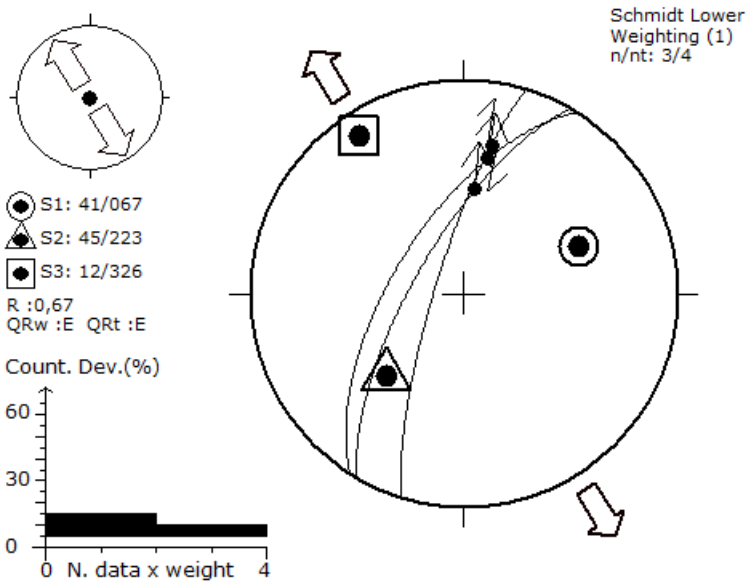
Εικ. 4.2.1. Δίκτυο Schmidt για την θέση α

Στην εικόνα 4.2.1 βλέπουμε την προβολή των δεδομένων με επίπεδα ρήγμάτων και γραμμώσεις ολίσθησης σε δίκτυο Schmidt. Τα δεδομένα είναι οριακά σε αριθμό για να μας δώσουν ένα αξιόπιστο και αντιπροσωπευτικό αποτέλεσμα. Παρόλα αυτά φαίνεται ότι η γενική διεύθυνση των επιπέδων είναι ΒΑ-ΝΔ. Αυτό φαίνεται και από το ροδόγραμμα της εικόνας 4.2.2.



Εικ. 4.2.2. Ροδόγραμμα για την θέση α

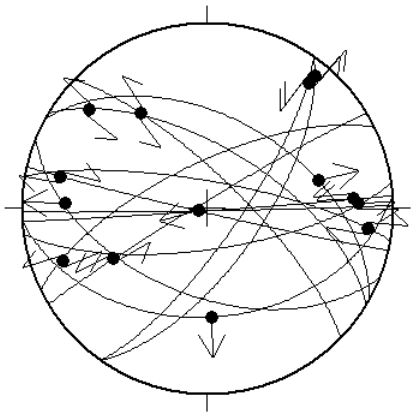
Μετά την επεξεργασία των δεδομένων, την επιλογή των κατάλληλων μετρήσεων και με βάση την μέθοδο των ορθών διέδρων γωνιών (Right Dihedron) παίρνουμε ένα πεδίο τάσης το οποίο συνοψίζεται στο παρακάτω διάγραμμα (εικ.4.2.3.). Χρησιμοποιήθηκαν οι τρεις (3) καλύτερα προσαρμοσμένες μετρήσεις για το υπολογισμένο πεδίο τασης.



Εικ. 4.2.3. Διάγραμμα μετά την επεξεργασία στο Win-Tensor(μέθοδος ορθών δίεδρων γωνιών)

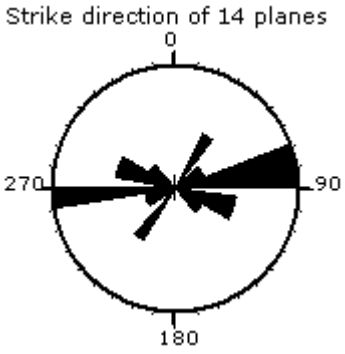
Οι διευθύνσεις των κυρίων αξόνων της τάσης είναι: σ_1 – 41/067, σ_2 – 45/223 και σ_3 – 12/326. Ο λόγος R είναι 0.67 και το CD 9.5±1. Το τασικό καθεστώς που επικρατεί στην θέση α λοιπόν, σύμφωνα με τα δεδομένα που πήραμε από το πρόγραμμα, ανήκει περισσότερο στο διαγώνιο εφελκυσμό μιας και κανένας από το σ_1 και σ_2 δεν είναι κατακόρυφος αλλά και οι δύο κλίνουν κοντά στις 45°.

4.2.2. ΘΕΣΗ Β



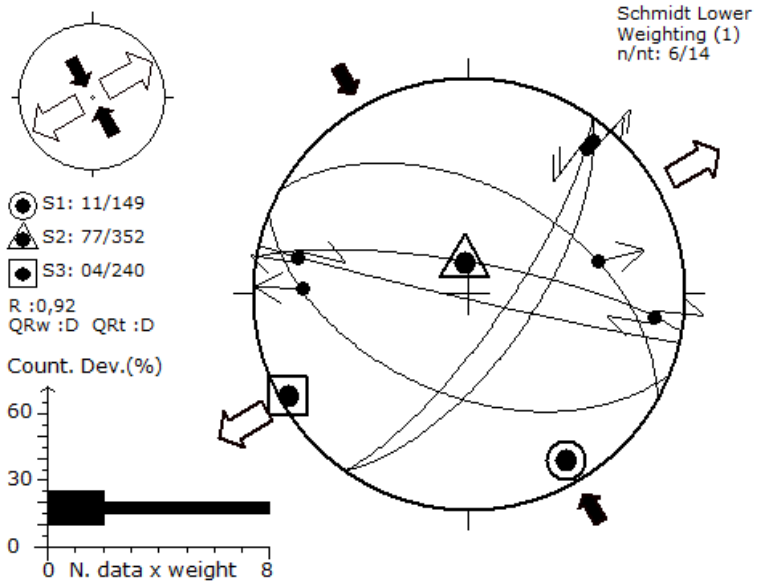
Εικ. 4.2.4. Δίκτυο Schmidt για την θέση β

Στο δίκτυο Schmidt της εικ.4.2.4., που αφορά μετρήσεις που έγιναν στην θέση β (εικ.4.1), βλέπουμε την προβολή των δεδομένων (επίπεδα ρήγμάτων και γραμμώσεις ολίσθησης). Οι μετρήσεις που ελήφθησαν, δεκατέσσερις (14) στο σύνολο, φαίνεται να είναι αντιπροσωπευτικές με εξαίρεση κάποιες μετρήσεις που πιθανόν να ανήκουν σε παλαιότερη κινηματική της περιοχής. Στο δίκτυο της θέσης β φαίνεται καθαρά ότι οι κύριες διευθύνσεις των επιπέδων των ρηγμάτων είναι Α-Δ και ΑΒΑ-ΝΔΝ. Αυτό φαίνεται και στο ροδόγραμμα της εικ. 4.2.5.



Εικ. 4.2.5. Ροδόγραμμα για την θέση β(14 μετρήσεις)

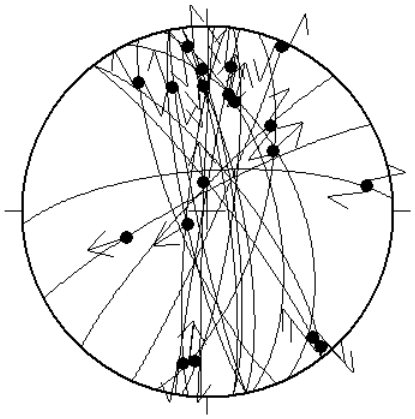
Με την επεξεργασία των δεδομένων, την επιλογή των κατάλληλων μετρήσεων και με βάση την μέθοδο των ορθών διέδρων γωνιών (Right Dihedron) παίρνουμε ένα πεδίο τάσης το οποίο συνοψίζεται στο παρακάτω διάγραμμα (εικ.4.2.6). Χρησιμοποιήθηκαν έξι (6) μετρήσεις που αποδίδουν καλύτερα το πεδίο τάσης για την θέση β.



Εικ. 4.2.7. Διάγραμμα μετά την επεξεργασία στο Win-Tensor(μέθοδος ορθών δίεδρων γωνιών)

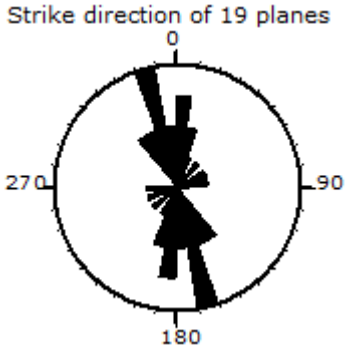
Οι διευθύνσεις των κυρίων αξόνων της τάσης στην θέση β είναι: σ_1–11/149, σ_2–77/352 και σ_3–03/244. Ο λόγος R είναι 0.92 και το CD είναι 19.1±2.7. Το τασικό πεδίο που επικρατεί στην θέση β είναι διαγώνιος εφελκυσμός.

4.2.3. ΘΕΣΗ Γ



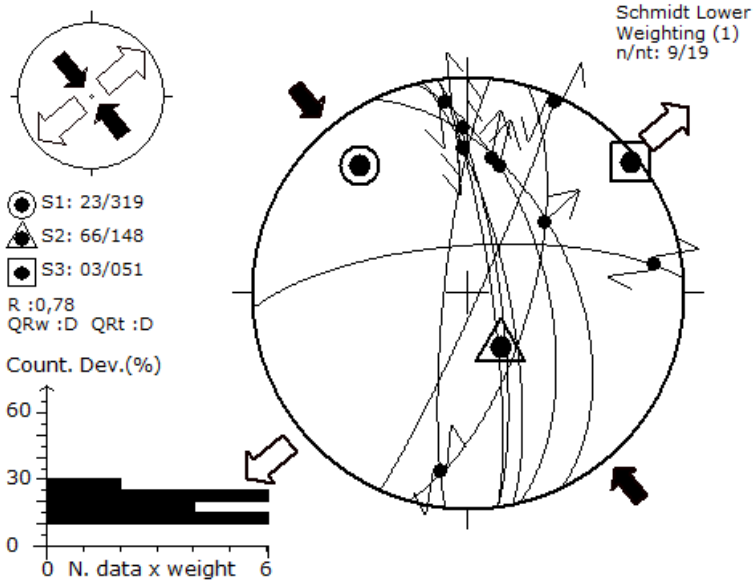
Εικ. 4.2.8. Schmidt για την θέση γ

Το δίκτυο Schmidt της εικ.4.2.8. αφορά μετρήσεις που λήφθησαν στην θέση γ και αποτυπώνει τα επίπεδα καθώς και τις γραμμώσεις των ρηγμάτων της περιοχής Δ (εικ.4.1.). Στην θέση γ λήφθησαν 19 μετρήσεις και βλέπουμε ότι απότυπώνουν μια γενική διεύθυνση των επιπέδων, η οποία είναι Β-Ν και ΒΒΔ-ΝΝΑ. Αυτό φαίνεται και από το ροδόγραμμα της εικ.4.2.9.



Εικ. 4.2.9. Ροδόγραμμα θέσης γ(19 μετρήσεις)

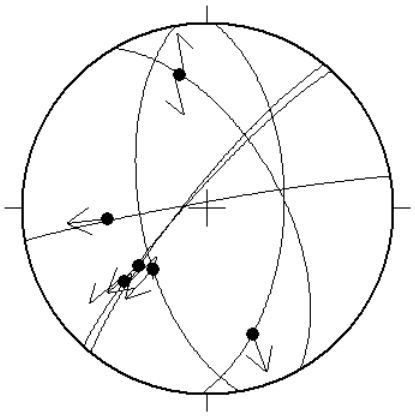
Για να πάρουμε ένα πεδίο τάσης για την θέση γ όπως φαίνεται στην εικ.4.2.10., τα δεδομένα έτυχαν επεξεργασίας με την μέθοδο των ορθών δίεδρων γωνιών (Right Dihedron) του λογισμικού προγράμματος Win-Tensor. Εκεί επιλέχθησαν οι 9 πιο αντιπροσωπευτικές μετρήσεις. Υπάρχουν στον πλυθυσμό αρκετές επιφάνειες ρηγμάτων ασύμβατες με το προσδιορισμένο πεδίο τάσης. Αυτές πιθανότερα αποτελούν ρήγματα παλαιότερης φάσης τα οποία επαναδραστηριοποιούνται σε νεότερη φάση ή δεν έγινε καλός διαχωρισμός των δεδομένων στο ύπαιθρο. Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας αυτής φαίνεται πιο κάτω.



Εικ. 4.2.10. Διάγραμμα μετά την επεξεργασία στο Win-Tensor(μέθοδος ορθών δίεδρων γωνιών)

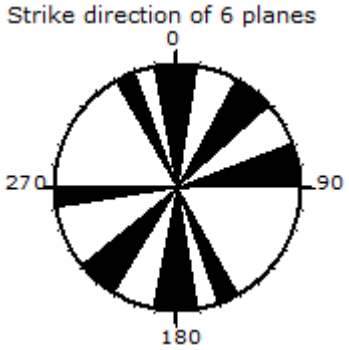
Οι διευθύνσεις των κύριων αξόνων της τάσης είναι: σ_1-23/319, σ_2-66/148 και σ_3-03/051. Ο λόγος R έχει τιμή 0.78 και το C.D. είναι 18.7±4.6. Το τασικό πεδίο που επικρατεί στην θέση γ σύμφωνα με τα δεδομένα που πήραμε μετά την επεξεργασία των αρχικών δεδομένων, είναι αυτό του διαγώνιου εφελκυσμού.

4.2.4. ΘΕΣΗ Δ



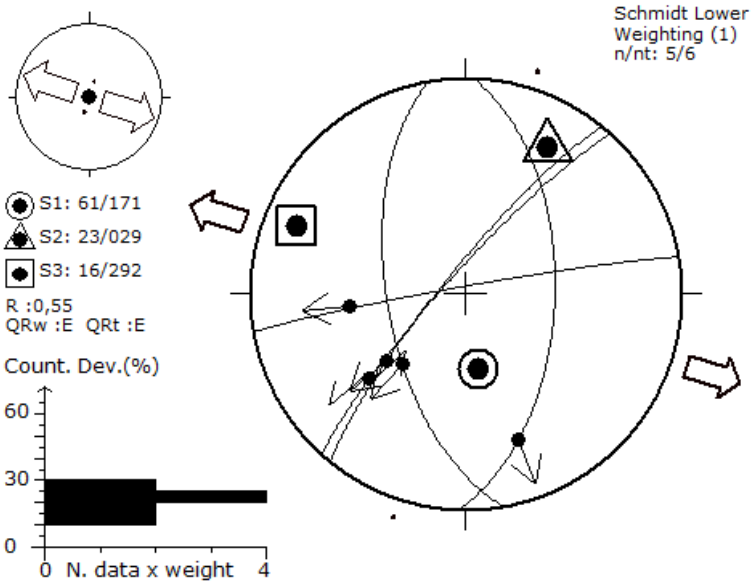
Εικ.4.2.11. Δίκτυο Schmidt για την θέση δ

Το δίκτυο Schmidt της εικ.4.2.11. αφορά μετρήσεις που λήφθησαν στην θέση δ και αποτυπώνει τα επίπεδα καθώς και τις γραμμώσεις των ρηγμάτων της περιοχής Δ (εικ.4.1.). Εδώ αντιθέτως με τα προηγούμενα δίκτυα δεν έχουμε μια καθαρή γενική εικόνα των διευθύνσεων των ρηγμάτων, κυρίως λόγω του μικρού αριθμού των δεδομένων. Ούτε από το ροδόγραμμα (εικ.4.2.12) μπορούμε να διαπιστώσουμε μια επικρατούσα διεύθυνση.



Εικ. 4.2.12. Ροδόγραμμα θέσης δ(6 μετρήσεις)

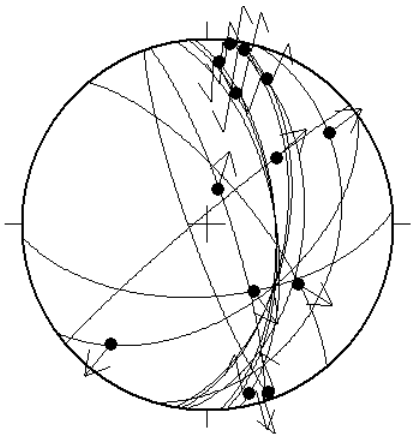
Παρόλα αυτά με την επεξεργασία των ελάχιστων δεδομένων που λήφθησαν στην θέση δ επιλέχθησαν οι 5 μετρήσεις για να βρούμε το πεδίο τάσης και λάβαμε το πιο κάτω αποτέλεσμα (εικ.4.2.13) χρησιμοποιώντας την μέθοδο ορθών δίεδρων γωνιών (Right Dihedron) του προγράμματος.



Εικ. 4.2.13. Διάγραμμα μετά την επεξεργασία στο Win-Tensor(μέθοδος ορθών δίεδρων γωνιών)

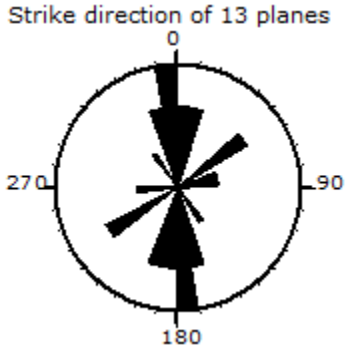
Οι διευθύνσεις των κύριων αξόνων της τάσης είναι: σ_1-61/171, σ_2-23/029 και σ_3-16/292. Ο λόγος R έχει τιμή 0.55 και το CD τιμή 20.7±5.2, δείχνοντας έτσι την διασπορά δεδομένων. Το τασικό πεδίο που επικρατεί στην θέση δ σύμφωνα με τα δεδομένα που πήραμε μετά την επεξεργασία των αρχικών δεδομένων, είναι αυτό του αμιγή εφελκυσμού.

4.2.5. ΘΕΣΗ Ε



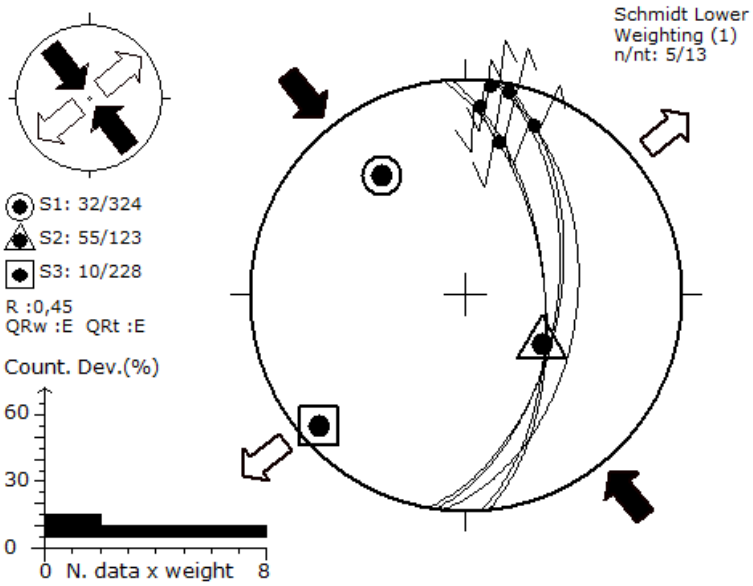
Εικ. 4.2.14. Δίκτυο Schmidt για την θέση ε

Το δίκτυο Schmidt της εικ.4.2.14. αφορά μετρήσεις που λήφθησαν στην θέση ε και αποτυπώνει τα επίπεδα καθώς και τις γραμμώσεις των ρηγμάτων της περιοχής Δ (εικ.4.1.). Στην θέση ε ελήφθησαν δεκατρείς (13) μετρήσεις και βλέπουμε ότι απότυπώνουν μια γενική διεύθυνση των επιπέδων, η οποία είναι Βορράς – Νότος καθώς και μια δευτερεύουσα διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Αυτό φαίνεται καθαρά και από το ροδόγραμμα της εικ.4.2.9.



Εικ. 4.2.15. Ροδόγραμμα θέσης ε(13 μετρήσεις)

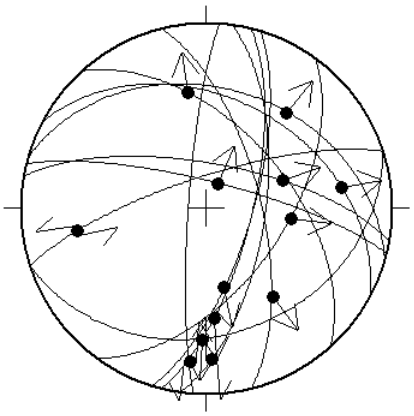
Με την μέθοδο των ορθών δίεδρων γωνιών (Right Dihedron) του προγράμματος επιλέγησαν 5 μετρήσεις για να βρεθεί το τασικό πεδίο που επικρατεί στην θέση ε. Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας αυτής φαίνεται στην εικ.4.2.16.



Εικ. 4.2.16. Διάγραμμα μετά την επεξεργασία στο Win-Tensor(μέθοδος ορθών δίεδρων γωνιών)

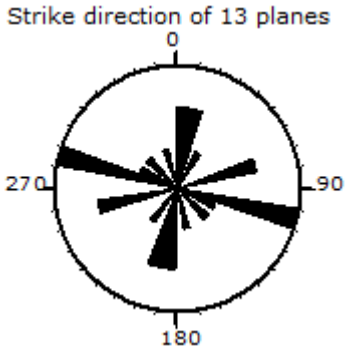
Οι διευθύνσεις των κύριων αξόνων της τάσης είναι: σ_1-32/328, σ_2-55/123 και σ_3-10/228. Ο λόγος R έχει τιμή 0.45 και το CD είναι 8.9±1.5. Το τασικό πεδίο που επικρατεί στην θέση ε σύμφωνα με τα δεδομένα που πήραμε μετά την επεξεργασία των αρχικών δεδομένων, είναι αυτό της αμιγής συμπίεσης οριζόντιας μετατόπισης.

4.2.6. ΘΕΣΗ Z



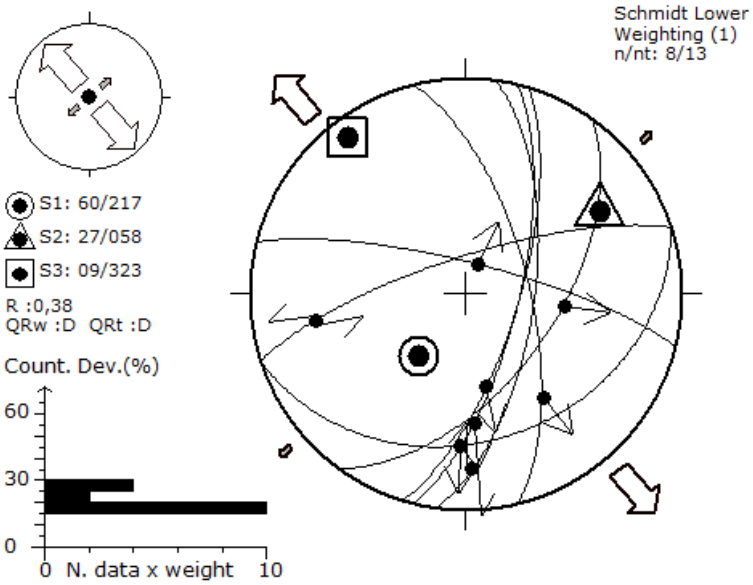
Εικ. 4.2.17. Δίκτυο Schmidt για την θέση ζ

Όπως και στην θέση δ έτσι και εδώ δεν φαίνεται να υπάρχει μια κύρια διεύθυνση των ρηγμάτων, εντούτοις μπορούν να διακριθούν ελάχιστα κάποιες μετρήσεις που δίνουν διευθύνση Ανατολή-Δύση. Αυτό φαίνεται καλύτερα στο ροδόγραμμα της εικ.4.2.18.



Εικ. 4.2.18. Ροδόγραμμα θέσης ζ(13 μετρήσεις)

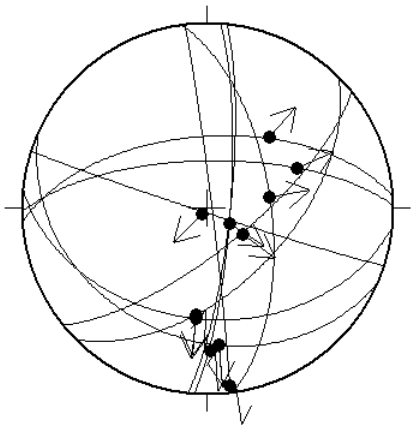
Με την επεξεργασία των δεδομένων, την επιλογή των κατάλληλων μετρήσεων και με βάση την μέθοδο των ορθών διέδρων γωνιών (Right Dihedron) παίρνουμε ένα πεδίο τάσης το οποίο συνοψίζεται στο παρακάτω διάγραμμα (εικ.4.2.19.). Πήραμε οκτώ (8) από τις δεκατρείς (13) μετρήσεις για να αποδώσουμε όσο το δυνατό καλύτερα, το πεδίο τάσης που επικρατεί στην θέση ζ.



Εικ. 4.2.19. Διάγραμμα μετά την επεξεργασία στο Win-Tensor(μέθοδος ορθών δίεδρων γωνιών)

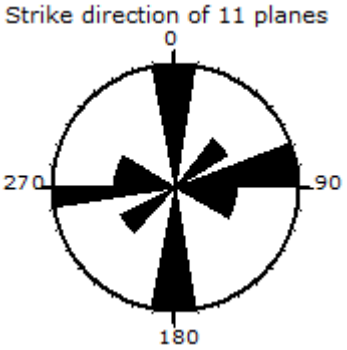
Οι διευθύνσεις των κύριων αξόνων της τάσης είναι: σ_1-60/217, σ_2-27/058 και σ_3-09/323. Ο λόγος R έχει τιμή 0.38 και το CD είναι 20±4.3. Το τασικό πεδίο που επικρατεί στην θέση ε σύμφωνα με τα δεδομένα που πήραμε μετά την επεξεργασία των αρχικών δεδομένων, είναι αυτό του διαγώνιου εφελκυσμού.

4.2.7. ΘΕΣΗ Η



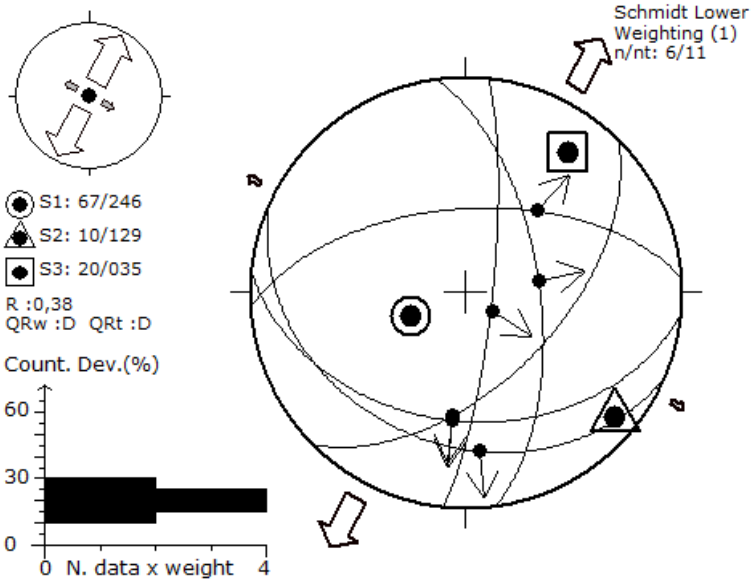
Εικ. 4.2.20. Δίκτυο Schmidt για την θέση η

Στο δίκτυο Scmidt για την θέση η (εικ.4.2.20.) φαίνεται να επικρατούν δύο κύριες διευθύνσης των επιπέδων των ρηγμάτων. Μια Ανατολή-Δύση και μια Βορράς-Νότος. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την εικόνα του ροδογράμματος που ακολουθεί.



Εικ. 4.2.21. Ροδόγραμμα θέσης η (11 μετρήσεις)

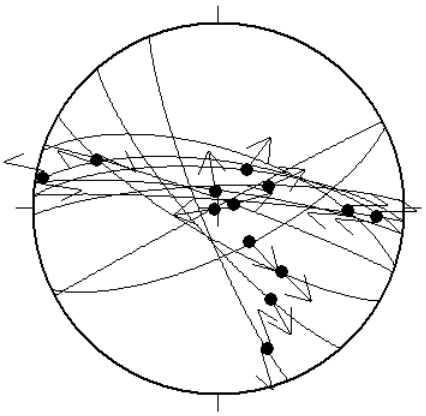
Με την επεξεργασία των δεδομένων, την επιλογή των κατάλληλων μετρήσεων και με βάση την μέθοδο των ορθών διέδρων γωνιών (Right Dihedron) παίρνουμε ένα πεδίο τάσης το οποίο συνοψίζεται στο παρακάτω διάγραμμα (εικ.4.2.22.). Οι έξι (6) μετρήσεις που αποδίδουν καλύτερα το πεδίο τάσης χρησιμοποιήθηκαν όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



Εικ. 3.2.22. Διάγραμμα μετά την επεξεργασία στο Win-Tensor (μέθοδος ορθών δίεδρων γωνιών)

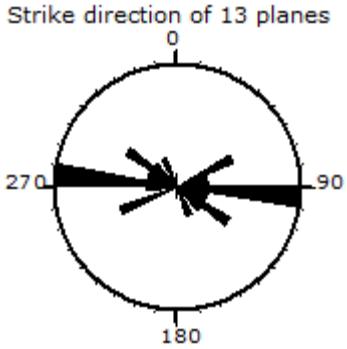
Οι διευθύνσεις των κύριων αξόνων της τάσης είναι: σ_1-67/246, σ_2-10/129 και σ_3-20/045. Ο λόγος R έχει τιμή 0.38 και το CD είναι 20.9±4.6. Το τασικό πεδίο που επικρατεί στην θέση η σύμφωνα με τα δεδομένα που πήραμε μετά την επεξεργασία των αρχικών δεδομένων, είναι αυτό του διαγώνιου εφελκυσμού.

4.2.8. ΘΕΣΗ Θ



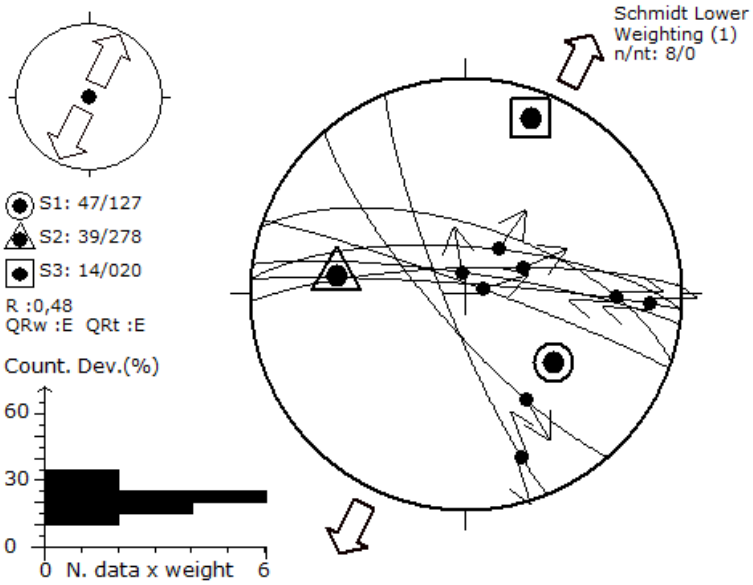
Εικ. 4.2.23. Δίκτυο Schmidt για την θέση θ

Από το δίκτυο Schmidt της εικ.4.2.23. φαίνεται ότι για ένα πληθυσμό ρηγμάτων τα επίπεδα τους έχουν διεύθυνση Ανατολή-Δύση. Είναι πιο ξεκάθαρο στην εικόνα του ροδογράμματος που ακολουθεί.



Εικ. 4.2.24. Ροδόγραμμα θέσης θ(13 μετρήσεις)

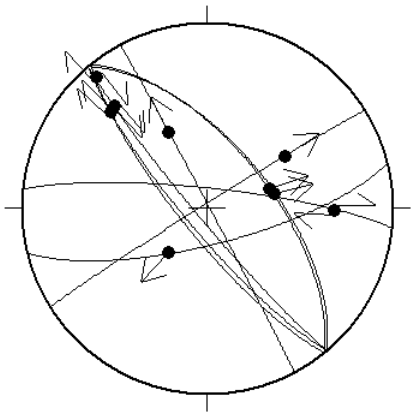
Με την επεξεργασία των δεδομένων, την επιλογή των κατάλληλων μετρήσεων και με βάση την μέθοδο των ορθών διέδρων γωνιών (Right Dihedron) παίρνουμε ένα πεδίο τάσης το οποίο συνοψίζεται στο παρακάτω διάγραμμα (εικ.4.2.22.). Για την θέση θ χρησιμοποιήσαμε οκτώ (8) μετρήσεις που αποδίδουν καλύτερα αποτελέσματα για το πεδίο τάσης.



Εικ. 4.2.25. Διάγραμμα μετά την επεξεργασία στο Win-Tensor(μέθοδος ορθών δίεδρων γωνιών)

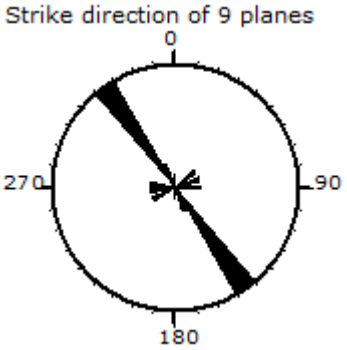
Οι διευθύνσεις των κύριων αξόνων της τάσης είναι: σ_1-47/127, σ_2-39/278 και σ_3-14/020. Ο λόγος R έχει τιμή 0.48 και το CD είναι 22.2±5.9. Το τασικό πεδίο που επικρατεί στην θέση θ σύμφωνα με τα δεδομένα που πήραμε μετά την επεξεργασία των αρχικών δεδομένων, είναι αυτό του διαγώνιου εφελκυσμού.

4.2.9. ΘΕΣΗ Κ



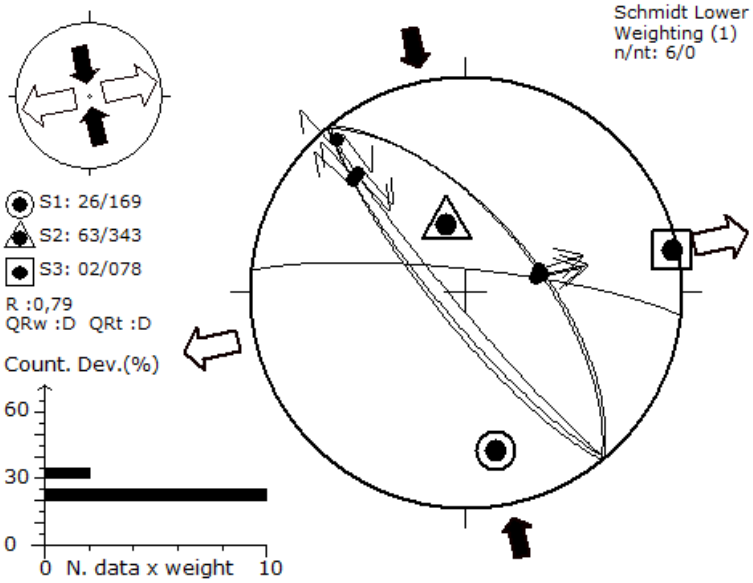
Εικ. 4.2.26. Δίκτυο Schmidt για την θέση κ

Από το δίκτυο Schmidt της εικ.4.2.26. φαίνεται ότι για ένα πληθυσμό ρηγμάτων τα επίπεδα τους έχουν διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Η διεύθυνση αυτή φαίνεται και στο ροδόγραμμα της εικόνας 4.2.27. που ακολουθεί.



Εικ. 4.2.27. Ροδόγραμμα θέσης κ (9 μετρήσεις)

Με την επεξεργασία των δεδομένων, την επιλογή των κατάλληλων μετρήσεων και με βάση την μέθοδο των ορθών διέδρων γωνιών (Right Dihedron) παίρνουμε ένα πεδίο τάσης το οποίο συνοψίζεται στο παρακάτω διάγραμμα (εικ.4.2.22.). Οι έξι (6) μετρήσεις που αποδίδουν καλύτερα το πεδίο τάσης για τη θέση κ φαίνονται στο πιο κάτω σχήμα.



Εικ. 4.2.28. Διάγραμμα μετά την επεξεργασία στο Win-Tensor(μέθοδος ορθών δίεδρων γωνιών)

Οι διευθύνσεις των κύριων αξόνων της τάσης είναι: σ_1-26/169, σ_2-63/348 και σ_3-02/253. Ο λόγος R έχει τιμή 0.75 και το CD είναι 24.1±2.7. Το τασικό πεδίο που επικρατεί στην θέση κ σύμφωνα με τα δεδομένα που πήραμε μετά την επεξεργασία των αρχικών δεδομένων, είναι αυτό του διαγώνιου εφελκυσμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

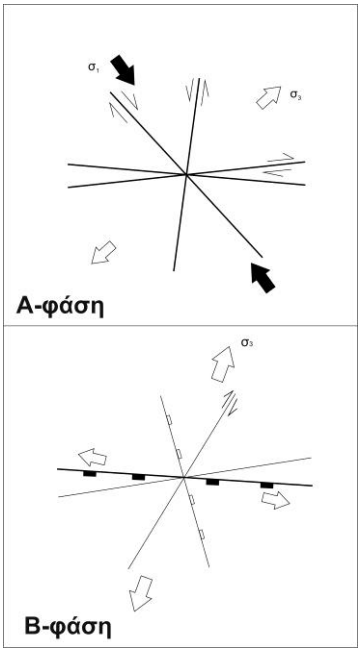
Στην περιοχή εργασίας και μετά την επεξεργασία των δεδομένων υπαίθρου, μέσω του υπολογιστικού προγράμματος Win-Tensor, οδηγούμαστε στα πιο κάτω συμπεράσματα, όσον αφορά το πεδίο τάσης που επικρατούσε και ήταν υπεύθυνο για την δημιουργία των ρηγμάτων στην περιοχή καθώς και την κινηματική αυτών.

Το ρήγμα Ξάνθης-Κομοτηνής στο οποίο επικεντρώνεται η παρούσα εργασία φαίνεται ότι ξεκίνησε την δράση του στο όριο Ολιγοκαίνου-Μειοκαίνου αν και σύμφωνα με άλλους ερευνητές (Aubouin, 1973) η δημιουργία του ρήγματος αυτού πιθανόν να είναι και παλαιότερη.

Η τεκτονική δραστηριότητα στην ευρύτερη περιοχή του ρήγματος Ξάνθης-Κομοτηνής στους σχηματισμούς του φλύσχη και της μολάσσας χωρίζεται σε δύο τεκτονικές φάσεις:

Πρώτη τεκτονική φάση (εικ.5.1.Α): Αυτή η φάση εκτιμάται ότι δρα την περίοδο κοντά στα όρια Ολιγοκαίνου-Μειοκαίνου. Τα ρήγματα που δραστηριοποιούνται στη φάση αυτή είναι κυρίως ΑΒΑ και ΔΒΔ δεξιόστροφα ρήγματα (π.χ. τμήματα του ρήγματος Ξάνθης-Κομοτηνής) ΒΒΑ αριστερόστροφα ρήγματα και ΒΔ δεξιόστροφα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης που σχηματίζονται κάτω από καθεστώς διαγώνιου εφελκυσμού έως καθαρής συμπίεσης οριζόντιας μετατόπισης. Ο άξονας σ_1 διευθύνεται ΒΔ-ΝΑ ενώ ο σ_3 σε μια διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ.

Δεύτερη τεκτονική φάση (εικ.5.1.Β): Η φάση αυτή εκτείνεται κυρίως στη μετα-Μειοκαινική περίοδο και πιθανά εώς το Πλειστόκαινο. Στη φάση αυτή δρουν κυρίως κανονικά ρήγματα, δημιουργούνται νέες λεκάνες ιζηματογένεσεις στην ευρύτερη περιοχή, αναπτύσσονται νέα ρήγματα και επαναδραστηριοποιούνται τα προϋπάρχοντα με νέο κινηματικό χαρακτήρα (Κουκουβέλας, 1989). Τα ΑΒΑ και ΔΒΔ ρήγματα επαναενεργοποιούνται ως κανονικά ρήγματα και περιθωριοποιούν τις ιζηματογενείς λεκάνες στην περιοχή, όπως επίσης και τα ΒΔ ρήγματα ενώ τα ΒΑ ρήγματα παρουσιάζουν σημαντική συνιστώσα δεξιόστροφης οριζόντιας κίνησης. Τα ρήγματα αυτής της φάσης δημιουργούνται σε ένα καθεστώς διαγώνιου έως αμιγούς εφελκυσμού με τον σ_3 να διευθύνεται ΒΑ-ΝΔ και τον σ_2 επίσης εφελκυστικό σε διεύθυνση ΔΒΔ.



Εικ. 5.1. Οι δύο τεκτονικές φάσης που δρουν στην ευρύτερη περιοχή μελέτης

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

ALVAREZ ET AL (1978): Classification of solution cleavage in pelagic limestones. Geology, 6, 263-66.

ANGELIER J. (1977) : La reconstitution dynamique et géométrique de la tectonique de failles à partir de mesures locales (plans de faille, stries, sens de jeu, rejets): quelques précisions. C. R. Acad. Sci. Paris, (D), 285, p. 637-640.

AUBOUIN, J. (1973): Des tectoniques superposes et de leur signification par rapport aux modeles geophysiques. L'exemple des Dinarides: Paleotectonique, tectonique, tartitectonique, neotectonique. Bull. Soc. Geol. Fr.,15, 426-60.

AYDIN, A., RECHES, Z. (1982): Number and orientation of faults sets in the field and in experiments. Geology, 10, 107-112.

CLOSS, E. (1955): Experimental analysis of fracture patterns. Geol. Soc. Am. Bull., 66, 241-56

DELVAUX D. & SPERNER B. (2003): New aspects of tectonic stress inversion with reference to the TENSOR program: Geological Society, London, Special Publications.

DIMITRIADES, S., KONDOPOULOU, D. & ATZEMOGLOU, A. (1997): Dextral rotations and tectonomagmatic evolution of the southern Rhodope and adjacent regions (Greece)

DUBBY, A.K. (1980): Model experiments showing simultaneous development of folds and transcurrent faults. Tectonophys., 65, 69-84.

ELEFTHERIADIS, G., CHRISTOFIDIS AND KASSOLI-FOURNARAKI, A. (1984): Geochemistry of the high calcal aline Basaltic Sills and Dykes in the South Rhodope Massif (Greece). Bull. Volcanol., 47, 569-79.

HANCOCK, P.L. (1984): Brittle microtectonics: principles and practice. J.Struct. Geol.,7,437-57

ΚΙΛΙΑΣ Α.& ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ Δ.(1994): Μέτρηση της τελικής παραμόρφωσης σε κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα : ένα παράδειγμα από τις κυρσταλλοσχιστώδεις μάζες της Σερβομακεδονικής και της Ροδόπης.

ΚΑΤΣΙΚΑΤΣΟΥ Γ.Χ.: Γεωλογία της Ελλάδας(1992): Πανεπιστήμιο Πατρας.

KRONBERG, P., ELDGEN, H. (1971): 1:50.000 geological map, Xanthi sheet, IGME, Athens.

KOYKOYBELAS I. & DOUTSOS TH. (1990): Tectonic stages along a traverse cross cutting the Rhodopian zone (Greece), Geologische Rundschau, Stuttgart.

ΚΟΥΚΟΥΒΕΛΑΣ Ι. (1989) : Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ζώνης Ροδόπης, Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών.

MPOSKOS, E. (1989): High-pressure metamorphism in gneisses and pelitic schists in the East Rhodope zone (N. Greece)

PAVLIDES ET AL (1988): Complex rotational deformations in the Serbo-Macedonian Massif (N.Greece): structural and paleomagnetic evidence. Tectonophys., 145, 329-35.

POLLAK, W. (1979): Structural and lithological development of the Prinos-Kavala basin, sea of the Thrace, Greece. Ann. Geol. pays Hellen., Tome hors serie, 1979, Fasc II, 1003-11, VIIth. Intern. Congr. On Mediter.. Neogene, Athens.

PROEDROU, P. (1979): The evaporates formation in the Nestos-Prinos graben in the North Aegean Sea. Ann. Geol. Pays Hellen., Tome hors serie, 1979, Fasc. II, 1013-20, VIIth. Intern. Congr. On Mediter. Neogene, Athens.

ΡΟΝΤΟΓΙΑΝΝΗ Θ., ΓΕΩΡΓΙΟΥ Χ., ΓΑΛΑΝΑΚΗΣ Δ., ΚΟΥΡΟΥΖΙΔΗΣ (2004): Evidences of Active Faulting in Thrace Region (North-eastern Greece) : Bulletin of the Geological Society of Greece vol. XXXVI,

SHANOV, S., SPASSOV, E. and GEORGIEV, T. (1990): Evidence for the existence of a paleosubduction zone beneath the Rhodopean massif (Central Balkans)

STAPEL G., et al. (1995): Neogene evolution of the Sorbas basin (SE Spain) determined by paleostress analysis: Tectonophysics 255.

ΧΡΙΣΤΟΦΙΔΗΣ, Γ. (1977): Συμβολή στην μελέτη των πλουτώνιων πετρωμάτων στην περιοχή της Ξάνθης. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.