

Ο ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΕΡΒΙΩΝ-ΚΟΖΑΝΗΣ. ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΠΟ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ*

Σ. ΠΑΥΛΙΔΗΣ¹, Δ. ΣΟΚΟΥΤΗΣ² & Α. ΤΣΑΛΤΑΜΠΑΣΗ¹

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η επαναδραστηριοποίηση των Αλτιδικών δομών, αποτυπωμένων στο Παλαιοζωϊκό-Μεσοζωϊκό υπόβαθρο της Πελαγονικής, ελέγχουν την ανάπτυξη των νεοτεκτονικών δομών στο τεκτονικό βύθισμα Κοζάνης-Σερβίων κατά τη διάρκεια του Νεογενούς-Τεταρτογενούς. Οι πρόσφατες ιζηματογενείς αποθέσεις έχουν επηρεασθεί από κανονικά ρήγματα Α-Δ διεύθυνσης (70°) σε εφελκυστικό πεδίο που προκαλεί διαστολή μέχρι 50%. Για την καλύτερη κατανόηση των σταδίων εξέλιξης αυτών των δομών πραγματοποιήθηκε μια σειρά πειραμάτων εξομοίωσης με ιξώδη (σιλικόνη) και θραυσίγενή υλικά (άμμος) αντιπροσωπευτικά του ανώτατου ηπειρωτικού φλοιού. Στα μοντέλα αυτά χρησιμοποιήθηκε ένα αρχικό άκαμπτο σώμα γεωμετρίας "επικλινές-οριζόντιο", με μετωπική γωνία επικλινούς 15°, το οποίο αντιπροσωπεύει μια αρχική επιφάνεια αποκόλλησης. Το άκαμπτο σώμα υποβλήθηκε σε διαδικασία εφελκυσμού σταθερής ταχύτητας 1.8 cm/h, που αντιπροσωπεύει την επαναδραστηριοποίηση της προηγούμενης ζώνης ασυνέχειας του φλοιού. Το κυρίως σύστημα ρηγμάτων έδωσε την καλύτερη εξομοίωση όταν το μοντέλο έφθασε σε εφελκυστικό στάδιο σχεδόν 50%, ανάλογη με μια αντίστοιχη γεωλογική τομή του βυθίσματος των Σερβίων. Έχει επιτευχθεί αντιστοιχία του μοντέλου στο συγκεκριμένο φυσικό παράδειγμα.

ABSTRACT

The reactivation of Alpidic structures of the Paleozoic-Mesozoic basement of the pelagonian zone, during the Neogene-Quaternary period, controls the development of new structures of the Kozani-Servia graben. The recent deposits have been mainly affected by faulting giving an east-west trending normal dip slip faults at 50% extension.

For better understanding the sequential development of these structures a series of interlayer viscous (silicon) and frictional material (sand) analogue experiments carried out in a "sandbox" simulating the continental uppermost crust conditions. In the models an initial ramp-flat geometry was introduced at the base of the experimental box, with 15 degrees frontal ramp angle, representing a detachment surface. The rigid ramp retreated at a constant rate of 1.8 cm/h representing a reactivation of a previous zone of weakness. The major fault pattern was best simulated when the model was extended up to 50% bulk extension, as shown in the geological cross-section of the Servia Graben. The implication of the model to natural example is assessed.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Ρήγμα Σερβίων. Συστήματα εφελκυστικών ρηγμάτων. Αναλογικά Πειραματικά Μοντέλα. Τεκτονική Προσομοίωση.

KEY WORDS: Servia Fault, Extensional fault systems, Analogue Modeling, Tectonic simulation.

* THE SERVIA-KOZANI GRABEN FORMATION; INSIGHTS FROM ANALOGUE MODELLING.

¹ Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωλογίας Φυσικής Γεωγραφίας, Dept. of. Geology, University of Thessaloniki, GR-54006

² Ινστιτούτο Γεωεπιστημών, Πανεπιστήμιο Uppsala, Σουηδία Institute of Earth Sciences, "Hans Ramberg Tectonic Lab", Uppsala University, Sweden.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά τη διάρκεια της νεοτεκτονικής δράσης (Μειόκαινο-Σήμερα) στον αλπικό ορεινό χώρο της ΒΔ και κεντρικής Ελλάδας δημιουργήθηκαν, όπως είναι γνωστό (Παυλίδης 1985; Ψιλοβίκος κ.α.1989) μια αλυσίδα ενδο-ορεινών τεκτονικών λεκανών κατά μήκος, του ορογεωγραφικού άξονα των ελληνίδων οροσειρών (πελαγονική, από το Μοναστήρι μέχρι τη Θεσσαλία). Μεταξύ των λεκανών αυτών, που μελετήθηκαν και συνεχίζουν να μελετούνται λεπτομερώς, λόγω και της οικονομικής τους σημασίας, σημαντική θέση για την κατανόηση της νεοτεκτονικής εξέλιξης της περιοχής κατέχει η λεκάνη Σερβίων-Κοζάνης, με το τυπικό και σημαντικό ενεργό ρήγμα του Αλιάκμονα (Σερβίων-Ριμνίου) που την οριοθετεί στα νότια. Η επέκταση του ρήγματος αυτού προς τα ΔΝΑ ενεργοποιήθηκε κατά το 1995 και έδωσε τη σεισμική ακολουθία με κύριο σεισμό Ms=6.6R. (Pavlidis et al. 1995). Το άλμα του ρήγματος Σερβίων-Ριμνίου ξεπερνά τα 800 m και δημιουργεί ένα σημαντικό τεκτονικό βύθισμα κατά μήκος του Αλιάκμονα ποταμού πλάτους 3 και μήκους 20-25 km τουλάχιστον και βάθους μεγαλύτερου των 500 m. Αντίθετα το πάχος των νεογενών-τεταρτογενών ιζημάτων του βορειότερου τμήματος της λεκάνης (Κοζάνη-Αιανή-Βαθύλακκος), είναι ιδιαίτερα μικρό (0-200 m) ενώ η ύπαρξη αντιθετικού ρήγματος στα βόρεια της Τεχνητής λίμνης Πολυφύτου δεν είναι σαφής (Αναστόπουλος & Μπρουσούλης 1973),(σχ.1α).

Για την καλύτερη κατανόηση της σημερινής δομής, της νεοτεκτονικής εξέλιξης της λεκάνης και των τεκτονικών-μηχανικών παραμέτρων της, έγινε προσπάθεια μιας πειραματικής αναπαράστασης (Analogue Modeling) στο εργαστήριο τεκτονικής "Hans Ramberg" του Πανεπιστημίου της Ουψάλας.

Ο κύριος στόχος, εκτός από τη γεωμετρία του συστήματος παραμόρφωσης, είναι στο να κατανοήσουμε ποιές είναι οι κυρίως δυνάμεις που λειτούργησαν ή λειτουργούν στο συγκεκριμένο τεκτονικό σύστημα, αλλά και σε άλλες ανάλογες τεκτονικές δομές. Στα πλαίσια της πειραματικής Τεκτονικής εξετάζονται οι Μηχανικές ιδιότητες, η συμπεριφορά των πετρωμάτων της λιθόσφαιρας και η ρεολογία τους (τάσεις-παραμόρφωση-χρόνος) με τη χρήση αντιπροσωπευτικών υλικών (π.χ. άμμος: Mohr-Coulomb material, θραυστογενές υλικό) ή διαφόρων ειδών ιξώδους (σιλικόνη, παραφίνη, δηλ. υλικά πλαστικής παραμόρφωσης) και οι συνδυασμοί τους, για την αναπαράσταση (εξομοίωση= analogue modeling) της δομής, εξέλιξης και διεργασιών της λιθόσφαιρας σε μικρο- και μέγρο- κλίμακα.

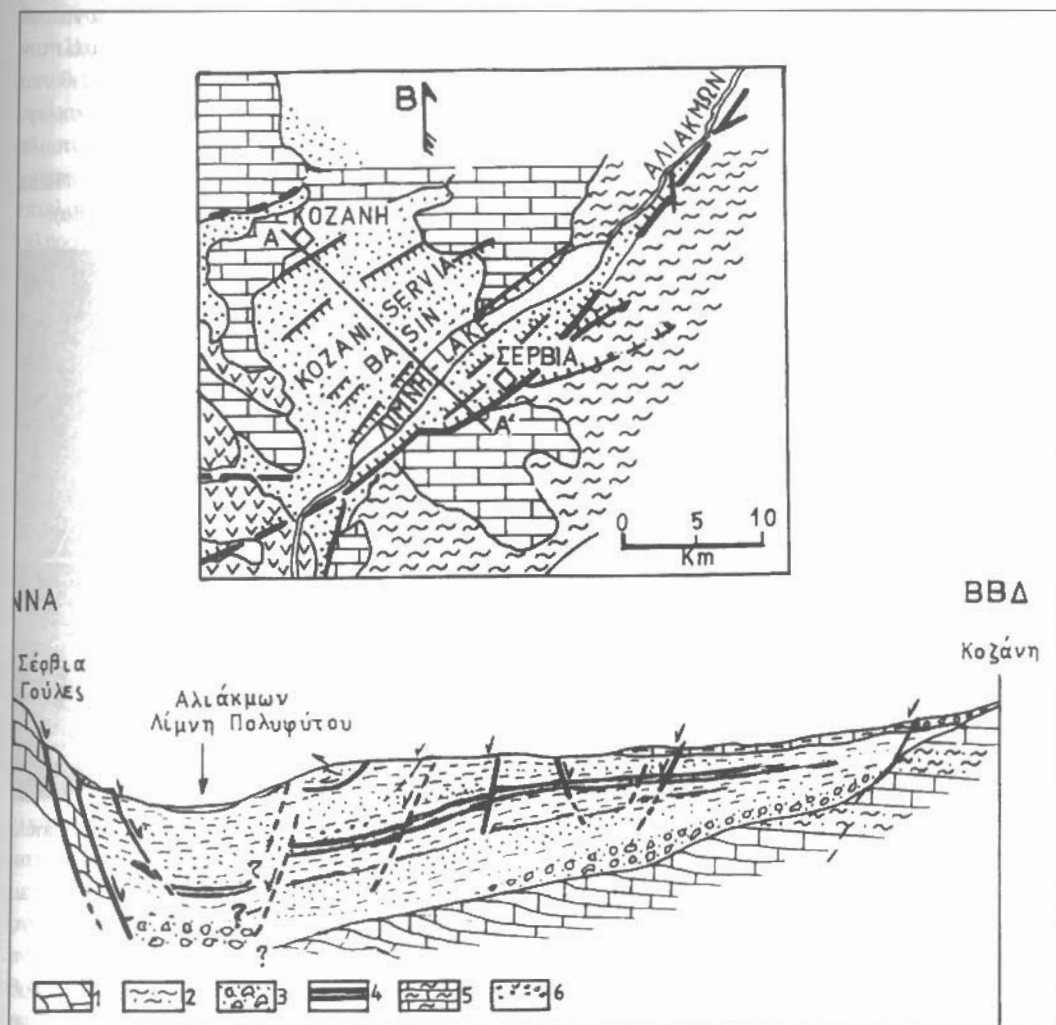
Τα υλικά που αποτελούν τον άκαμπτο ανώτερο φλοιό της γήινης λιθόσφαιρας (Brittle) είναι στερεά υλικά με απειρικό συντελεστή ιξώδους, τα οποία κάτω από την επίδραση εντατικού πεδίου δημιουργούν δομές ρηξιγενούς τεκτονικής (ρήγματα, διακλάσεις). Τα υλικά που αποτελούν τον "πλαστικό" κατώτερο φλοιό (Ductile) είναι σχετικά "ρευστά" υλικά με πολύ υψηλό συντελεστή ιξώδους, αλλά πολύ χαμηλότερο από τα προηγούμενα. Αυτά δημιουργούν δομές πλαστικής τεκτονικής (πτυχές, κάμψεις, σχιστότητα). Ο χρόνος παραμόρφωσής τους επειδή είναι πολύ μεγάλος, της τάξης των εκατομμυρίων χρόνων, είναι δύσκολο να αναπαρασταθεί εργαστηριακά, όπως επίσης οι συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης του βάθους (Byerlee 1978; Vendeville 1987; Koyi 1997).

Η πειραματική Τεκτονική συμπληρώνει, χωρίς να αντικαθιστά, την επιφανειακή γεωλογική παρατήρηση και σε συνδυασμό με άλλους κλάδους των γεωεπιστημών (τηλεπισκόπηση, σεισμικές τομές κτλ) προσπαθεί να προσεγγίσει καλύτερα, ποσοτικά και ποιοτικά, τη λύση συγκεκριμένων και σημαντικών γεωλογικών προβλημάτων βασικής κυρίως αλλά και εφαρμοσμένης έρευνας (Davy & Cabbold 1991; Brun et al 1994; Buck & Sokoutis 1994).

2. Η ΛΕΚΑΝΗ ΣΕΡΒΙΩΝ-ΚΟΖΑΝΗΣ

Το αλπικό και προαλπικό υπόβαθρο της λεκάνης περιλαμβάνει Παλαιοζωικά και Μεσοζωικά πετρώματα και διακρίνεται σε τέσσερις μεγάλες ενότητες γεωλογικών σχηματισμών (Mountrakis et al 1997): (α) το κρυσταλλοσχιστόδες της Πελαγονικής ζώνης με την Περιοτριάδικη μετακλαστική ακολουθία, (β) το Τριαδικό-Ιουραϊκό ανθρακικό κάλυμμα του δυτικού περιθωρίου της Πελαγονικής ζώνης, (κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι), (γ) τα οφιολιθικά πετρώματα με τα συνοδά ιζήματα βαθιάς θάλασσας, που εταθούνται από το χώρο της Υποπελαγονικής ζώνης πάνω στο δυτικό περιθώριο της Πελαγονικής και (δ) τα κρηναίονα ορεινά της οροσειράς του Αλιάκμονα.

Η λεκάνη Σερβίων-Κοζάνης είναι πληρωμένη με Πλειο-Πλειστοκαινικές αποθέσεις, που είναι λιμναίες και χερσοποτάμιες και επικάθονται ασύμφωνα πάνω στα πετρώματα του υποβάθρου. Αποτελούνται κυρίως από μάργες, άμμους, ψαμμίτες και αργιλικούς ασβεστόλιθους (σχ. 1β). Αξιοσημείωτο όμως είναι το γεγονός ότι η ανάπτυξή τους φαίνεται να καθορίζεται σε σημαντικό βαθμό και από τη δράση των ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνσης μεγάλων ρηγμάτων της περιοχής (π.χ ρήγμα Σερβίων).



Σχ. 1: α) Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής Σερβίων-Κοζάνης, όπου φαίνεται η θέση της τομής ΑΑ'. β) Γενικευμένη γεωλογική τομή ΑΑ', όπου φαίνεται ενδεικτικά η δομή της λεκάνης (δεν είναι υπό κλίμακα). (1) Τριαδικο-ιουρασικοί κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, (2) Κρητιδικό φλυσχοειδές σχηματισμοί, (3) Κρηταλοπαγή, ψαμμίτες, άμμοι, μάργες, άργιλοι, (4) Λιγνιτοφόρα στρώματα, (5) Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, (6) Πρόσφατα κορημάτα, αλλοιψία.

Fig. 1: a) Simplified geological map of the Servia-Kozani area, where the AA' cross section is shown. b) A general geological cross-section AA', where the basin structure is shown (not in scale).

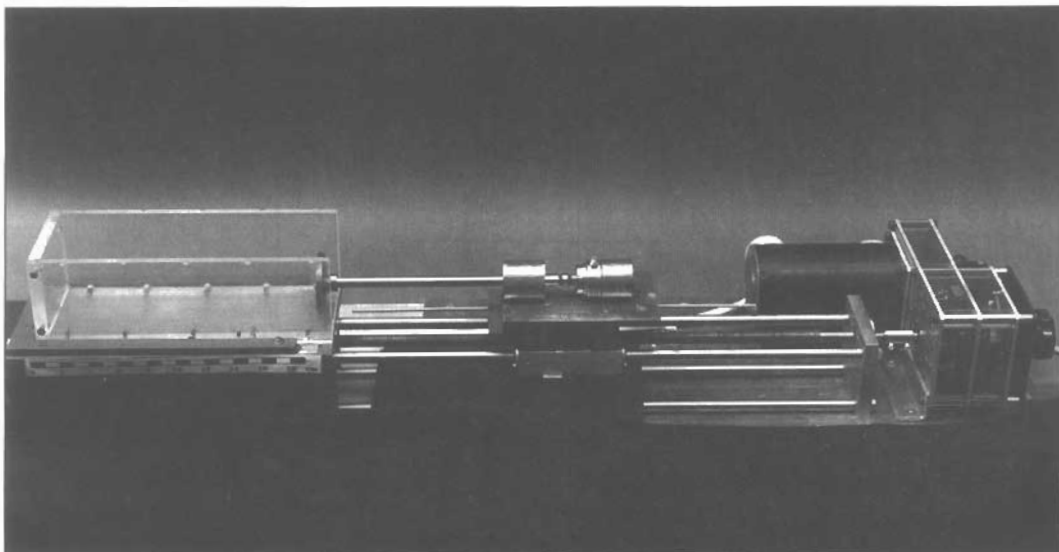
Στη σημερινή διαμόρφωση της περιοχής καθοριστικό ρόλο έχει διαδραματίσει αυτή η ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης (σ3) εφελκυστική φάση του Τεταρτογενούς που προκαλεί κυρίως την δραστηριοποίηση των ΑΒΑ-ΔΝΔ και Α-Δ διεύθυνσης ρηγμάτων. Η δραστηριότητα των ρηγμάτων αυτής της διεύθυνσης διαπιστώνεται από

τις πολύ πρόσφατες επαναδραστηριοποιήσεις των ρηγμάτων στα ιζήματα. Επίσης βρίσκεται σε συμφωνία και με τη γεωμετρία και κινηματική των επιφανειακών διαρρήξεων και τους μηχανισμούς γένεσης καλά προσδιορισμένων μεγάλων σεισμών τόσο στην περιοχή μελέτης, όσο και σε γειτονικές περιοχές με ανάλογο γεωτεκτονικό περιβάλλον (π.χ. Θεσσαλονίκη 1978, Γουμένισσα 1990 και η πρόσφατη σεισμική ακολουθία το 1995 στην περιοχή Κοζάνης-Γρεβενών), (Pavlidis 1997, Pavlidis et al. 1998, Doutsos & Koukouvelas 1998).

Γενικά η διεύθυνση των τάσεων και το είδος των ρηγμάτων της περιοχής μελέτης βρίσκονται σε συμφωνία με το εκτεταμένο σύγχρονο εφελκυστικό πεδίο σε γενική διεύθυνση Β-Ν που επικρατεί στον ευρύτερο χώρο της Μακεδονίας-Θεσσαλίας, αλλά και σ' ολόκληρο το χώρο του Αιγαίου.

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ - ΑΝΑΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Πειραματική διάταξη και υλικά: Τα πειράματα αυτής της εργασίας εκτελέστηκαν στο "Hans Ramberg Tectonic Lab" του Ινστιτούτου Γεωεπιστημών του Πανεπιστημίου της Ουψάλα (Σουηδία).



Σχ. 2: Πειραματική διάταξη (Squeeze box 20X7X6 cm³) που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια των πειραμάτων αυτής της εργασίας.

Fig. 2: The experimental set-up (Squeeze box 20X7X6 cm³) used in the present study.



Σχ. 3: Αναλογικό μοντέλο (τομή) τεκτονικού βιθίσματος με αρχικό επικλινές άζαμπτο σώμα 150 και θραυστική υλικά μόνο άμμος (σε διαφορους χρωματισμούς) με 50% εφέλκυσμο.

Fig. 3: Analogue model (section) of a graben structure with a ramp body 150 and sand frictional material in layers of different colors with 50% bulk extension.

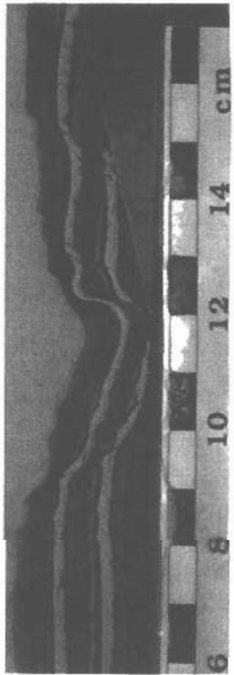
Η χαλαζιακή άμμος, Mohr-Coulomb θραυσιγενές υλικό, με πυκνότητα $\rho=1,300 \text{ kg m}^{-3}$, πολύ μικρή συνοχή και μέση γωνία εσωτερικής τριβής 30° , χρησιμοποιήθηκε σε εναλλαγή με τα άλλα υλικά για να αντιπροσωπεύει τα θραυσιγενή (brittle) πετρώματα της περιοχής (άμμος, ψαμίτης, μαργαϊκός ασβεστόλιθος). Τα στρώματα της άμμου αποτέθηκαν με στρωματογραφική σειρά στην πρώτη σειρά πειραμάτων χωρίς την ύπαρξη αντιπροσωπευτικών πλαστικών υλικών, στη δεύτερη σειρά σε εναλλαγή με δύο στρώματα σιλικόνης. Η σιλικόνη τύπου "Rhodorsil Gomme GSIR, του γαλλικού οίκου Rhone-Poulenc, ιξώδους 10^4 Pa.S , νευτώνιο υλικό σε θερμοκρασία δωματίου αντιπροσωπεύει πλαστικά υλικά (αργιλικά στρώματα, μάργες σ' αυτό το πείραμα ή τον κατώτερο φλοιό). Όλα τα παραπάνω υλικά τοποθετήθηκαν σε κιβώτιο διαστάσεων $20 \times 7 \times 6 \text{ cm}^3$ κατασκευασμένο από Plexiglas (σχ. 2). Ο εφελκυσμός δημιουργείται με κινητήρα σταθερής ταχύτητας 1.8 cm h^{-1} , ο οποίος έλκει ένα άκαμπτο πλαστικό σώμα. Στο κυρίως πείραμα που εκτελέστηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας χρησιμοποιήθηκε το πλαστικό σώμα στη βάση του πειραματικού κιβωτίου, με δοσμένη μετωπική γωνία επικλινούς 15° (ramp-flat geometry), που αντιπροσωπεύει την μια προϋπάρχουσα ζώνη ασυνέχειας (πληρονομημένη τεκτονική δομή). Προσομοίωση των ιδιοτήτων των υλικών του υποβάθρου της Πελαγονικής ζώνης δεν έγινε.

Προηγούμενα δοκιμάστηκαν μεγαλύτερες γωνίες επικλινούς: 30° , 45° , 60° . Κατά τη διάρκεια του τελευταίου κυρίως πειράματος μελετήθηκαν οι παραμορφώσεις σε τομές και επιφανειακά σε στάδια εφελκυσμού 0% (αρχικό), 10%, 15%, 20%, 30% και 48% (τελικό στάδιο) (σχ. 4). Τα μοντέλα φωτογραφήθηκαν σε κανονικά χρονικά διαστήματα, που δείχνουν τη σταδιακή παραμόρφωση. Μετά την ολοκλήρωση του εφελκυσμού (διαστολή) σε 50%, τα μοντέλα βυθίστηκαν σε νερό, καταψύχθηκαν και κόπηκαν σε επιμήκεις τομές για να μελετηθεί η εσωτερική τους δομή. Το σχήμα 4 (γ,ε) είναι τομές σε συνθήκες εφελκυσμού 15% και 50% αντίστοιχα.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η πρώτη επιφανειακή εικόνα σε όλα τα μοντέλα είναι μια μικρή επιφανειακή βύθιση που αντιστοιχεί στο άκρο του επικλινούς και σε συνθήκες εφελκυσμού 6%. Το άκρον του άκαμπτου επικλινούς δρά σαν μια ασυνέχεια και είναι ουσιαστικά υπεύθυνο για το ξεκίνημα των πρώτων "τεκτονικών" δομών, οι οποίες περιγράφονται στην εργασία αυτή ως "ασύμμετρο τεκτονικό βύθισμα" (asymmetric graben). Η διάρρηξη μεταδίδεται από τη βάση προς την επιφάνεια. Η τομή του εφελκυσμού 10% δείχνει αυτό το είδος της διάρρηξης, καθώς οι δομές στο βάθος είναι πιο σαφείς απ' ό,τι στην επιφάνεια (σχ.4 α,β). Καθώς η παραμόρφωση συνεχίζεται ένα νέο ρήγμα εμφανίζεται στην επιφάνεια (15% εφελκυσμός), (σχ. 4γ,δ). Στην τομή φαίνεται ότι αυτό εντοπίζεται στο σημείο επαφής του κατώτερου πλαστικού στρώματος με το άκαμπτο επικλινές σώμα, το οποίο μάλιστα δείχνει μεγαλύτερη μετατόπιση με την αύξηση του βάθους. Η ασυμμετρία του τεκτονικού βύθισματος γίνεται συνεχώς και περισσότερο εμφανής καθώς προχωρά η παραμόρφωση. Αυτό είναι πλέον σαφές σε ποσότητα εφελκυσμού 50% (σχ.4ε,ζ). Σε αντίθεση με τα πειράματα αποκλειστικά συνθηκών θραυσιγενούς τεκτονικής (ομογενής άμμος) (σχ. 3), τα κανονικά ρήγματα, σε συνθήκες ρηξιγενούς-ημιπλαστικής τεκτονικής (άμμος-σιλικόνη), δείχνουν κλιμακωτή δομή, όταν προσεγγίσουν τα στρώματα σιλικόνης (σχ. 4). Αξιοσημείωτο είναι ότι η πάνω επιφάνεια του άκαμπτου επικλινούς σώματος, η οποία αντιπροσωπεύει τις προϋπάρχουσες δομές παραμένει ανεργός μέχρι τις συνθήκες 50% εφελκυσμού. Ενώ αντίθετα το σύστημα ενεργοποιείται σε διαφορετικές θέσεις. Μια χαρακτηριστική θέση ανάπτυξης νέων ρηγμάτων αντιθετικών και συνθετικών του κυρίου ρήματος, εμφανίζεται πάνω ακριβώς από το επικλινές (σχ. 5). Τα ρήγματα αυτά αντιστοιχούν με τα ρήγματα της πεδιάδας της Κοζάνης (βόρειο τμήμα) π.χ. Βαθύλακκου, Κεσσαρείας, Ν. Κώμης.

Ένα άλλο σημαντικό συμπέρασμα της γεωμετρίας του βύθισματος, όπως προκύπτει από αυτή τη σειρά των πειραμάτων με τις συγκεκριμένες συνθήκες, είναι ότι τα στρώματα δεν παρουσιάζουν ουσιαστικά (ή παρουσιάζουν πολύ μικρή) κάμψη (drag geometry-roll overs) σε ολόκληρη την έκταση της λεκάνης, όπως δείχνουν οι Doutsos & Koukouvelas (1988), αλλά αυτή εντοπίζεται κυρίως μέσα στα όρια του βύθισματος. Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόδωρος" Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.



Ext. OVB - 2e

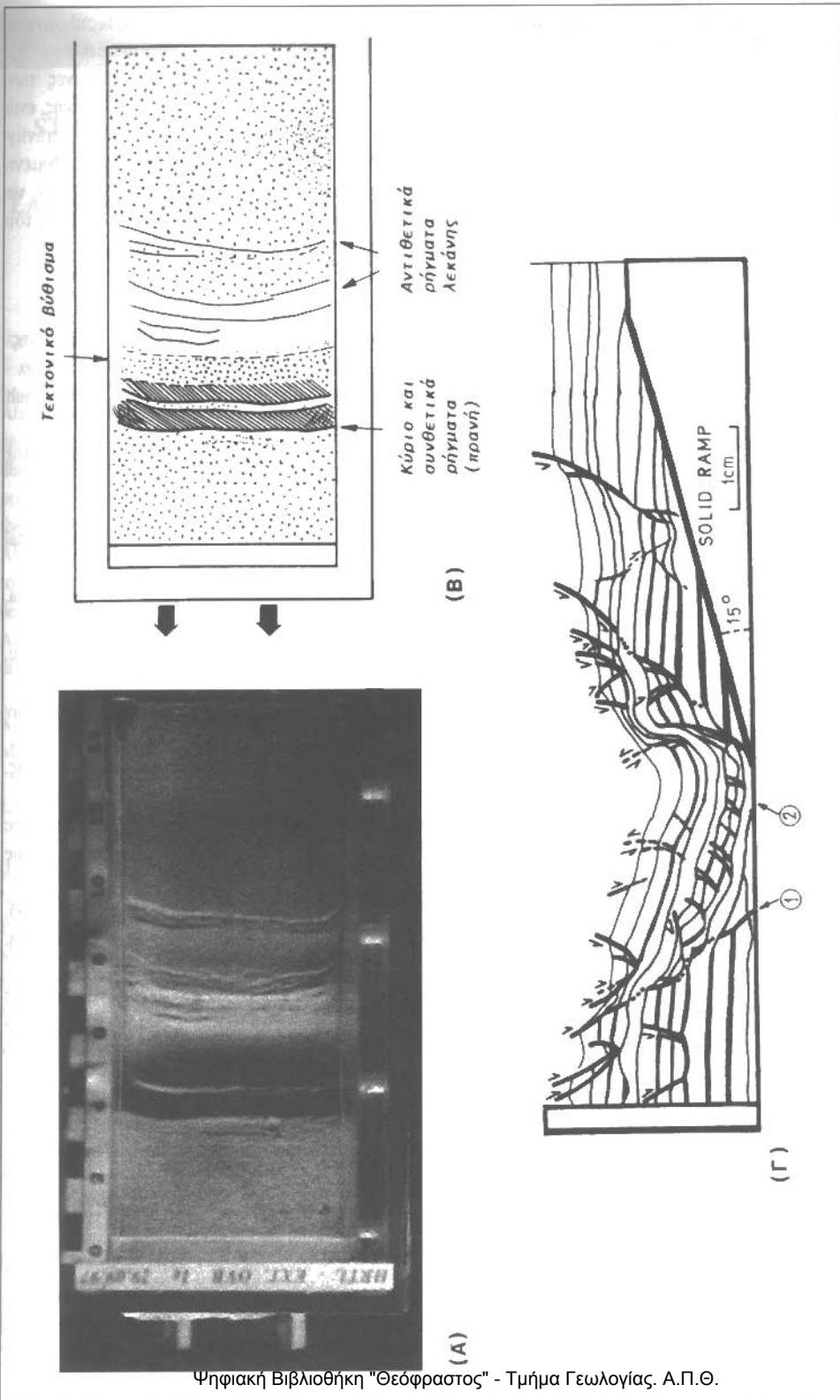


Ext. OVB 3e



Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Σχ. 4: Τομές περιφραγμένων συστημάτων άμμου με δύο στρώματα σιλικόνης (φωτογραφίες-αριστερή στήλη) και οι αναλύσεις τους (σχήμα - δεξιά στήλη) σε ποσοστά εφελκυσμού 10%, 15% και 50% σε στρώση.
Fig. 4: Cross sections of a system created by sand and two silicon layers (photo on the left column) and their analysis (on the right column) in 10%, 15% and 50% bulk extension in comparison.



Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Σχ. 5: α) Πειραματικό μοντέλο (από πάνω), ανάλογο του μορφολογικού βήθους, β) Πειραματική τομή όπου φαίνεται η λεπτομέρεια η εσωτερική δομή του βήθους γ) Analogue to the landscape, b) its sketch, c) experimental cross section where details of internal structure of the graben is shown.

λιγνιτορucheιών Πτολεμαΐδας όπως μελετήθηκε από τους Παυλίδη (1985) και Doutsos & Koukouvelas (1998). Τέλος, αναλυτικά φαίνεται στο σχήμα 5 η εσωτερική παραμόρφωση του κυρίως βυθίσματος, στη βάση του οποίου προσδιορίζεται το αρχικό σημείο διάρρηξης, στη συνέχεια οι ζώνες των ρηγματίων με τη θραυσιγενή δομή έως και την ημιπλαστική (shear zones) στις θέσεις της σιλικόνης, ενώ η διάδοση της διάρρηξης προς τα επιφανειακά στρώματα δημιουργεί βυθίσεις βαρύτητας (gravity collapse), οι οποίες έχουν τη μορφή τυπικών κατολισθήσεων, αλλά οφείλονται στη συνεχιζόμενη εφελκυστική δράση (τεκτονικά αίτια). Το αναλογικό αυτό πειραματικό μοντέλο προσπαθεί να προσομοιάσει τις συνθήκες δημιουργίας του τεκτονικού βυθίσματος των Σερβίων. Η συμβολή του όμως είναι γενικότερη στην κατανόηση της γεωμετρίας των εφελκυστικών δομών παγκόσμια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΑΝΑΣΤΑΣΟΠΟΥΛΟΣ Χ. Ι. και ΜΠΡΟΥΣΟΥΛΗΣ, Δ.Ι. 1973. Λιγνιτοφόρος λεκάνη Κοζάνης-Σερβίων (Γεωλογία-Κουτασματολογία-Γεωτρητική έρευνα). *ΕΙΓΜΕ, Κοιτ. Ερευν. No 1*. 77 pp.
- BRUN, J.-P., SOKOUTIS, D., DRIESSCHE, J.V.D. (1994). Analogue modeling of detachment fault systems and core complexes. *GEOLOGY*, v. 22, 319-322.
- BUCK, R. & SOKOUTIS, D. 1994. Analogue model of gravitational collapse and surface extension during continental convergence. *Nature*, 369, 737-740.
- BYERLEE, J., 1978. Friction of rocks; *Pure and Applied Geophysics*, 116, 615-626.
- DAVY, P. & COBBOLD, P.R., 1991. Experiments on shortening of a 4-layer model of the continental lithosphere. *Tectonophysics*, v. 188, 1-25.
- DOUSOS, TH., & KOUKOUVELAS, I. (1998). Fractal analysis of normal faults in NW Aegean area, Greece. *J. Geodyn.* (in press).
- KOYI, H. 1997. Analogue Modelling: From a Qualitative to a Quantitative Technique-A historical outline. *J. Petrol. Geol.* 20, 223-238.
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ. και ομάδα συνεργατών, 1997. Νεοτεκτονική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής των Φραγματίων Πολυφύτου-Ιλαρίωνα-Ελαφιού. *ΑΠΘ/ΔΕΗ* 123 pp.
- ΠΑΥΛΙΔΗΣ, Σ. (1985). Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης Φλώρινας-Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας. *Διδακτ. Διατρ., Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*, 265 σ.
- PAVLIDES, S. (1997). Active Faulting in northern Greece. Implications on engineering Geology. In: P.G. Marinos, Koukis, G.C., Tsiambaos, G.C., Stourmaras, G.C. Engineering Geology and the Environment, *BALKEMA*, V. 1., 315-320.
- PAVLIDES, S., MOUNTRAKIS, D., CHATZIPETROS, A., ZOUROS, N. and KOSTOPOULOS D. 1995. The 13 May 1995 western Macedonia, Greece (Kozani Grevena) earthquake: preliminary results. *Terra Nova*, 7, 544-549.
- PAVLIDES, S., MOUNTRAKIS, D., ZOUROS, N. & CHATZIPETROS, A. (1998). Active Fault geometry and Kinematics in Greece: The Thessaloniki (Ms=6.5, 1978) and Kozani-Grevena (Ms=6.6, 1995) earthquakes-two cases studies. In: *VSP Proceedings of the 30th International Geological Congress. Beijing China 1996* (in press).
- VENDEVILLE, B. (1987). Champs de failles et tectonique en extension: Modelisation experimentale. *These Doct. Univ. Rennes I No 15*.
- ΨΙΛΟΒΙΚΟΣ, Α., ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ., ΠΑΥΛΙΔΗΣ, Σ. 1989. Μορφολογικές και τεκτονικές συσχετίσεις στο χώρο του "Πελαγονικού Τεμάχου" *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.* XXIII/1, 271-278.