

Ισχυροί Σεισμοί: Μια φονική γεωλογική διαδικασία ή ένα συνοδό φαινόμενο της απαραίτητης για τον άνθρωπο φυσικής εξέλιξης της Γης;

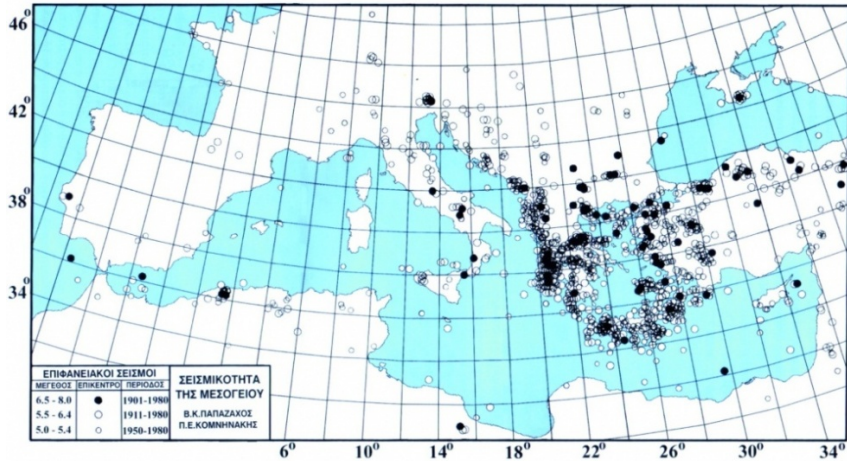
Δημήτριος Γ. Παναγιωτόπουλος

*Καθηγητής Σεισμολογίας και Φυσικής Εσωτερικού της Γης
Τομέας Γεωφυσικής, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ*

Περίληψη: Η εδραίωση της θεωρίας των λιθοσφαιρικών πλακών στη γεωτεκτονική του επιφανειακού μέρους του εσωτερικού της Γης (φλοιός - ανώτερος μανδύας) από τις αρχές της δεκαετίας του 1960 συνέβαλε τα μέγιστα στην δημιουργία επιστημονικών ιδεών για την προστασία του ανθρώπινων κοινωνιών και των επιτευγμάτων τους στο πλαίσιο του τεχνολογικού πολιτισμού με την ανάπτυξη της αντισεισμικής πολιτικής και τεχνολογίας. Οι ισχυροί σεισμοί του ευρύτερου Ελληνικού χώρου αποτέλεσαν τις αιτίες να αναπτυχθεί αλματώδως τα τελευταία 60 χρόνια η επιστήμη της Σεισμολογίας και της Αντισεισμικής Μηχανικής στη χώρα μας με την δημιουργία μόνιμων Εθνικών δικτύων Σεισμογράφων και Επιταχυνσιογράφων βελτιώνοντας έτσι την παραγωγή της βασικής και εφαρμοσμένης έρευνας στο ιδιαίτερα κρίσιμο αυτό πεδίο της επιστήμης. Η σωρευμένη αυτή γνώση, μετά από επίπονες προσπάθειες των σχετικών επιστημόνων, ενσωματώθηκε στον Αντισεισμικό κανονισμό για την πληρέστερη και ασφαλέστερη κατασκευή των οικοδομών και των πάσης φύσεως τεχνικών έργων της χώρας μας.

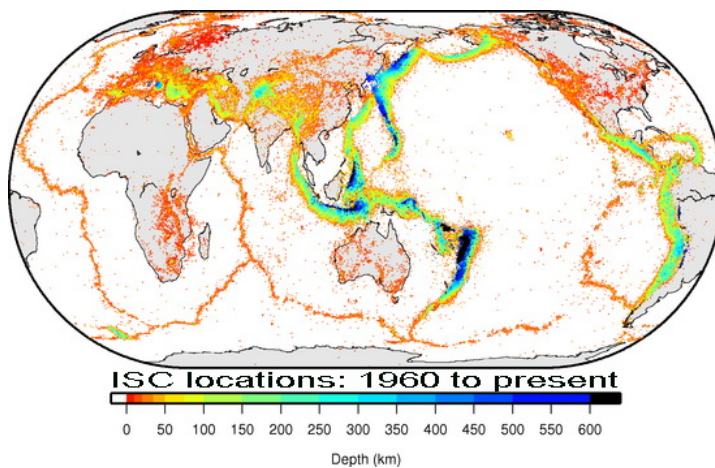
1. Εισαγωγή

Στην διάρκεια των αρκετών εκατομμυρίων ετών του γεωλογικού χρόνου, δημιουργήθηκε πληθώρα γεωλογικών δομών στο χώρο της Μεσογείου που δεν συνδέονται άμεσα με τις σημερινές γεωτεκτονικές διαδικασίες. Τα τελευταία 10 εκατομμύρια χρόνια, η μορφή των γεωτεκτονικών διαδικασιών και η ενεργός τεκτονική που απορρέει από αυτές έδωσαν το σημερινό "σεισμικό αποτύπωμα" στον ευρύτερο χώρο της Μεσογείου (σχήμα 1) που είναι μέρος της ευρύτερης εικόνας της σημερινής παγκόσμιας σεισμικής δράσης όπως φαίνεται στο σχήμα (2). Από το σχήμα (1) προκύπτει ότι η σεισμική δράση των ισχυρών σεισμών με μεγέθη $M \geq 5.0$ εστιάζεται στον Ελληνικό χώρο. Η υψηλή αυτή σεισμική δράση στην Ελλάδα αποδίδεται σε μία πολύπλοκη διαδικασία γεωτεκτονικών μεταβολών της οποίας κορυφαία είναι η σύγκρουση και ταυτόχρονη υποβύθιση του ωκεάνιου τμήματος της Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική πλάκα στον χώρο της Ανατολικής Μεσογείου.



Σχήμα 1: Τοπική αποτύπωση των σεισμικών εστιών της περιοχής της Μεσογείου, από τρία (3) πλήρη δείγματα επιφανειακών σεισμών (Comninakis and Parazachos, 1978) που εμπλουτίστηκαν με δεδομένα μέχρι και το 1980 (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003).

Η ενεργός τεκτονική ορισμένου χώρου συνδέεται με την σεισμική δράση που παρουσιάζει ο χώρος αυτός και αποτελεί μέρος ενός συνόλου γεωδυναμικών φαινομένων που καθορίζονται από τις κινήσεις του συνόλου των λιθοσφαιρικών πλακών στον πλανήτη μας (σχήμα 3).



Σχήμα 2: Παγκόσμια σεισμικότητα που καλύπτει την περίοδο 1960 έως το 2015 (Διεθνές Σεισμολογικό Κέντρο - ISC).

Στο σχήμα (3) παρουσιάζεται το σύνολο των κύριων (μεγάλων και μικρών) λιθοσφαιρικών πλακών που οριοθετούνται από τα δύο συστήματα ζωνών διάρρηξης

του φλοιού της Γης, το ηπειρωτικό σύστημα διάρρηξης με την έντονη γραμμή και τα τριγωνικά σύμβολα και το σύστημα των μεσοωκεάνιων ράχων. Τα βέλη παρουσιάζουν τον τρόπο κίνησης των πλακών αυτών.



Σχήμα 3: Παρουσιάζονται τα δύο συστήματα των ζωνών διάρρηξης της λιθόσφαιρας της Γης. Η έντονη γραμμή με τα τριγωνικά σύμβολα παρουσιάζει το ηπειρωτικό σύστημα διάρρηξης και η αχνότερη μωβ γραμμή το σύστημα των μεσοωκεάνιων ράχων. Η Ελλάδα ανήκει στο ηπειρωτικό σύστημα διάρρηξης και βρίσκεται στην περιοχή σύγκρουσης της Αφρικανικής με την Ευρασιατική λιθοσφαιρική πλάκα στο χώρο της ανατολικής μεσογείου.
(Τροποποιημένο από: <http://www.reddit.com/>).

Το ηπειρωτικό σύστημα διάρρηξης ορίζει το χώρο σύγκλισης των λιθοσφαιρικών πλακών και καταστροφής του γήινου φλοιού, ενώ στο σύστημα των μεσοωκεάνιων ράχων, που διατρέχει τον Ατλαντικό, Ινδικό και Ειρηνικό ωκεανό και διασχίζει κάποια ηπειρωτικά μέρη, συντελείται απόκλιση των λιθοσφαιρικών πλακών και γένεση νέου φλοιού από την άνοδο του μάγματος του γήινου μανδύα.

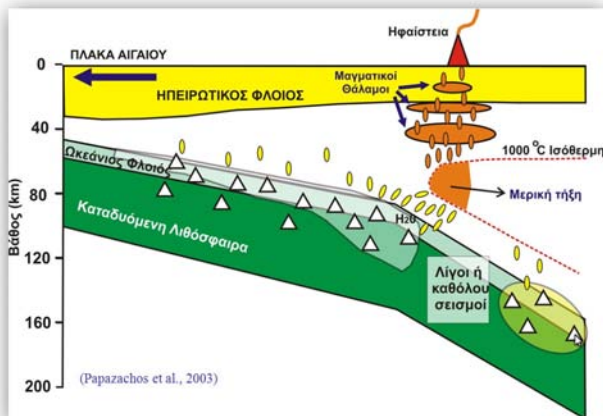
2. Η Γεωτεκτονική του Ελληνικού χώρου

Ο Ελληνικός χώρος βρίσκεται στη Μεσογειακή-Μελανησιακή ζώνη του ηπειρωτικού συστήματος διάρρηξης. Η ενεργός τεκτονική δράση στον χώρο αυτό είναι έντονη. Μαρτυρία αυτού αποτελούν η υψηλή σεισμικότητα (σχήμα 1), η έντονη διάρρηξη και πτύχωση πετρωμάτων, τα ηφαιστειακά και γεωθερμικά φαινόμενα, καθώς και οι κλασικές γεωφυσικές ανωμαλίες των δυναμικών πεδίων. Όλα αυτά τα φαινόμενα είναι τυπικά και παρατηρούνται στα τόξα καταβύθισης λιθοσφαιρικών πλακών σε όλο τον κόσμο στο ηπειρωτικό σύστημα διάρρηξης, εξηγούνται δε πολύ καλά από τη σύγχρονη θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών.



Σχήμα 4: Κύριες κινήσεις των επί μέρους τεκτονικών πλακών οι οποίες καθορίζουν τα κύρια γεωδυναμικά και γεωφυσικά χαρακτηριστικά του Αιγαίου πελάγους και των γύρω περιοχών (Parazachos et al., 1998).

Ένα από τα πιο βασικά τεκτονικά γνωρίσματα του Ελληνικού χώρου είναι το **Ελληγικό τόξο**, το οποίο διαχωρίζει το Αιγαίο Πέλαγος από την υπόλοιπη Μεσόγειο Θάλασσα και έχει τις τυπικές ιδιότητες ενός νησιωτικού τόξου (Parazachos and Comninakis 1971, McKenzie 1978, Le Pichon and Angelier 1979, 1981). Το σχήμα (4) δείχνει χάρτη του Ελληνικού χώρου και των γύρω περιοχών στον οποίο φαίνεται η θέση του Ελληγικού τόξου αλλά και τα κύρια χαρακτηριστικά των λιθοσφαιρικών μικροπλακών της περιοχής με τις κύριες κινήσεις τους. Το Ελληγικό τόξο αποτελείται από ένα εξωτερικό ιζηματογενές τόξο (νότιο τμήμα του τόξου) και από ένα εσωτερικό ηφαιστειακό τόξο (βόρειο τμήμα του τόξου). Το **ιζηματογενές τόξο** αποτελεί τμήμα της Αλπικής πτύχωσης και ακολουθεί την γραμμή: Ελληνίδες Οροσειρές – Κύθηρα – Κρήτη – Κάρπαθος – Ρόδος και ενώνεται με τις Ταυρίδες οροσειρές της Τουρκίας. Το **ηφαιστειακό τόξο** έχει μήκος 500 km, πλάτος 40 km περίπου, ξεκινάει από την ηπειρωτική Ελλάδα και μέσω των νησιών Αίγινα, Μέθανα, Πόρος, Μήλος, Σαντορίνη, Κως, Γυαλί, Νίσυρος καταλήγει στη χερσόνησο του Μποντρούμ στην Τουρκία. Μεταξύ του ιζηματογενούς και του ηφαιστειακού τόξου υπάρχει η λεκάνη του Νοτίου Αιγαίου (Κρητικό Πέλαγος), με μέγιστο βάθος 2000 m. Στο κυρτό μέρος του τόξου βρίσκεται παράλληλα μια σειρά από θαλάσσιους τάφρους, όπως αυτές του Πλινίου και Στράβωνα νότιο-ανατολικά της Κρήτης και η τάφρος του Ιονίου πελάγους, η οποία αναφέρεται συχνά στην βιβλιογραφία ως Ελληνική τάφρος με μέγιστο βάθος 5000 m. Στο βόρειο τμήμα της περιοχής κυριαρχεί η τάφρος του βορείου Αιγαίου με μέγιστο βάθος 1500 m (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003).

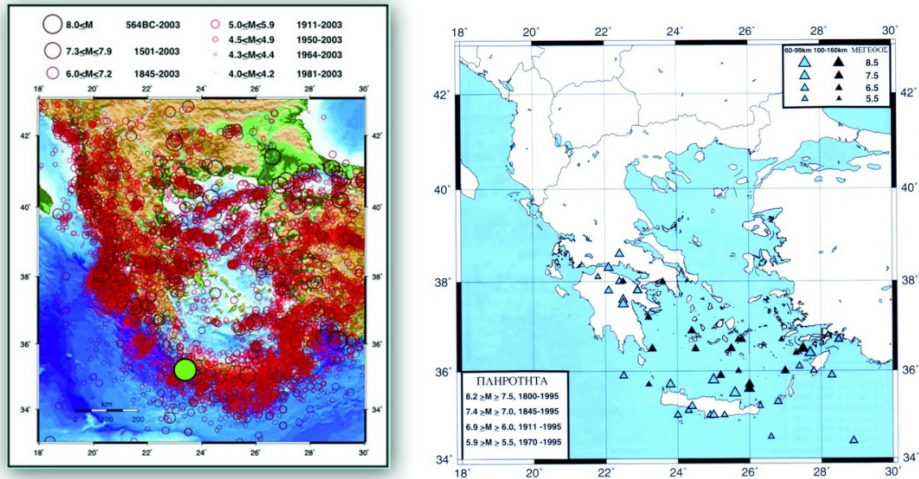


Σχήμα 5: Παρουσιάζεται ένα συνθετικό μοντέλο της σύγκρουσης των λιθосφαιρικών πλακών και των ιδιαίτερων γεωτεκτονικών χαρακτηριστικών της γεωλογικής δομής του χώρου του Νοτίου Αιγαίου. Τονίζονται οι κύριες γεωφυσικές και γεωχημικές διαδικασίες που έχουν σαν αποτέλεσμα τη γένεση των σεισμών ενδιάμεσου βάθους και τη γένεση του πρωτογενούς μάγματος στον ανώτερο μανδύα κάτω από το ηφαιστειακό τόξο στο νότιο κεντρικό Αιγαίο (Parazachos et al., 2005).

Το σχήμα (5) παρουσιάζει ένα πρόσφατο σχηματικό μοντέλο (σε κάθετη τομή με διεύθυνση από NNΔ προς BBA) μέχρι το βάθος των 200χμ με τα κύρια χαρακτηριστικά της ενεργούς τεκτονικής ενδιάμεσου βάθους και της γεωλογικής δομής όπως προτάθηκε από τους Parazachos et al. (2005) για το σύστημα καταβύθισης των λιθосφαιρικών πλακών στον Ελληνικό χώρο, λαμβάνοντας υπόψη πληροφορίες που ερμηνεύουν ικανοποιητικά την κατανομή με το βάθος των σεισμών ενδιάμεσου βάθους και τη θέση και το μέγεθος του πρωτογενούς μαγματικού θύλακα στον ανώτερο μανδύα κάτω από το κεντρικό Αιγαίο.

Η κύρια προτεινόμενη ιδέα από τους Parazachos et al. (2005) είναι ότι η καταδυόμενη λιθόσφαιρα συνεχίζει να έχει αρκετά χαμηλότερη θερμοκρασία από το περιβάλλον υλικό του ανώτερου μανδύα λόγω της πολύ μικρής αγωγιμότητας των περισσότερων πετρωμάτων, ουσιαστικά παρασύροντας τις ισόθερμες. Στο βάθος των περίπου 100-110χμ που επικρατεί μια πίεση της τάξης των ~28 kbars (2.8 GPa) και η θερμοκρασία προσεγγίζει τους 700⁰C πολλά από τα ένυδρα ορυκτά των ιζημάτων (που παρασύρθηκαν στην κάθοδο της πλάκας) και των πετρωμάτων του ωκεάνιου φλοιού λόγω διαδικασιών μεταμόρφωσης χάνουν το μεγαλύτερο τμήμα του νερού που περιέχουν (1η αφυδάτωση) όπως και άλλα χημικά στοιχεία (LILE- Large-Ion Lithophile Elements: K, Rb, Ba, Sr, Cs, U, Th) (Παπαζάχος και Παπαζάχος 2013). Το νερό αυτό με την είσοδό του στο υλικό του μανδύα στο χώρο της ισόθερμης των 1000⁰C προκαλεί μερική τήξη του υλικού αυτού ή και μετεσφμάτωση του υλικού αυτού δημιουργώντας ένυδρα ορυκτά (όπως ο φλογοπίτης) τα

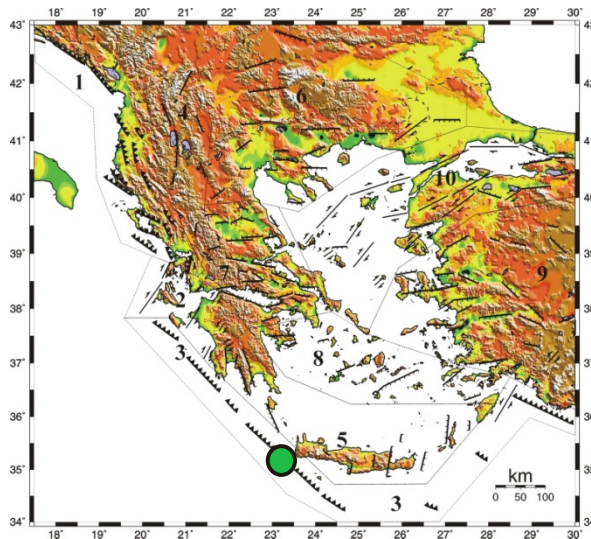
οποία τήκονται πιο εύκολα. Μ' αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ο πρωτογενής θύλακας του μάγματος το οποίο ανερχόμενο προς τον φλοιό του Νότιου κεντρικού Αιγαίου σχηματίζει το ηφαιστειακό τόξο με πέντε (5) χαρακτηριστικά ηφαιστειακά κέντρα (Parazachos and Panagiotopoulos, 1993) σε συμφωνία με τις μεγάλες ρηξιγενείς δομές, τις γεωτεκτονικές ιδιότητες και το πεδίο των τάσεων στο χώρο του κεντρικού Αιγαίου. Το μοντέλο αυτό επιβεβαιώνεται και από επιπρόσθετες πληροφορίες που βασίστηκαν σε δεδομένα ιχνοστοιχείων και ισοτόπων που παρατηρήθηκαν στο ηφαίστειο της Σαντορίνης από τους Zellmer et al., (2000).



Σχήμα 6: Χάρτης σεισμικότητας με τα επίκεντρα των επιφανειακών σεισμών στην Ελλάδα και τις γύρω περιοχές. Με τον πράσινο κύκλο φαίνεται το επίκεντρο του μεγαλύτερου γνωστού φονικού σεισμού της Μεσογείου με μέγεθος $M=8.3$ της 21ης Ιουλίου του 365 Μ.Χ. (αριστερό μέρος). Στο δεξιό μέρος παρουσιάζεται ενδεικτικός χάρτης των επικέντρων των σεισμών ενδιάμεσου βάθους στον Ελληνικό χώρο για την περίοδο 1800 έως το 1995 (Σεισμολογικός Σταθμός ΑΠΘ, Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003).

Οι Parazachos et al. (2005) συσχέτισαν την ζώνη της πρώτης "αφυδάτωσης" της υποβυθιζόμενης πλάκας με τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους μέχρι το βάθος των 110χμ με την ιδιότητα του βασάλτη να γίνεται πιο εύθραυστος λόγω της 1ης αφυδάτωσης στη ζώνη αυτή. Την πιο βαθιά ζώνη των επικέντρων των σεισμών ενδιάμεσου βάθους στα βάθη 140-180χμ τη συσχέτισαν με την αυξημένη ευθραυστότητα του ένυδρου εκλογίτη-βασάλτη λόγω ύπαρξης μιας φάσης 2ης "αφυδάτωσης" στα βάθη αυτά. Η έλλειψη επικέντρων των σεισμών ενδιάμεσου βάθους στα βάθη 110-140χμ αποδόθηκε από τους παραπάνω ερευνητές στην απουσία του φαινομένου της "αφυδάτωσης" στο συγκεκριμένο τμήμα της υποβυθιζόμενης λιθοσφαιρικής πλάκας.

Το μοντέλο που περιγράφηκε παραπάνω σε συσχέτισμό με το σημερινό πεδίο των τάσεων στον ευρύτερο Ελληνικό χώρο όπως προκύπτει από το λεπτομερές μοντέλο των κινήσεων των λιθοσφαιρικών πλακών στο χώρο αυτό, την ευρύτερη "οριοθέτηση" των μεγάλων κύριων "ενεργών" τεκτονικών ρηγμάτων (σχήμα 7) και των υπολογισμένων "σεισμογόνων" ζωνών, εξηγεί με πολύ καλή ακρίβεια την σημερινή σεισμικότητα των επιφανειακών και ενδιάμεσου βάθους σεισμών. Στο σχήμα (6) παρουσιάζονται: α) στο αριστερό μέρος η σεισμικότητα (με πληρότητα για δεδομένα "παράθυρα" μεγεθών) των επιφανειακών σεισμών (Σεισμολογικός Σταθμός ΑΠΘ) και β) στο δεξιό μέρος ένας αντίστοιχος τυπικός χάρτης των σεισμών ενδιάμεσου βάθους για τον Ελληνικό χώρο (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003).



Σχήμα 7: Χάρτης με τα κύρια ενεργά σεισμικά ρήγματα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου και των γύρω περιοχών για την περίοδο από το 480 π.χ. - 2001 (Parazachos et al., 2001). Με τον πράσινο κύκλο φαίνεται το επίκεντρο του μεγαλύτερου γνωστού φονικού σεισμού της Μεσογείου με μέγεθος $M=8.3$ της 21ης Ιουλίου του 365 Μ.Χ.

3. Ισχυρότατοι σεισμοί: Η περίπτωση του Ιουλίου 365μ.χ. με $M=8.3$

Η ενεργός τεκτονική δεν παρουσιάζει την ίδια ένταση σε κάθε περιοχή της Γης. Άλλες περιοχές του πλανήτη παρουσιάζουν έντονη τεκτονική και σεισμική δράση και άλλες πολύ πιο ασθενική. Στην περιοχή της Μεσογείου ο χώρος με την υψηλότερη σεισμική δράση είναι ο Ελληνικός χώρος όπως αυτό φαίνεται σαφώς στο σχήμα (1). Από την καταγεγραμμένη σεισμική δράση στη Μεσόγειο, από την ιστορική αρχαιότητα έως και την σημερινή περίοδο της ενόργανης - υψηλής τεχνολογίας - σεισμολογίας, είναι δεδομένο ότι η ενεργός τεκτονική στο χώρο της Με-

σογείου έχει το δυναμικό να παρουσιάσει ισχυρότατους - φονικούς σεισμούς. Οι Παπαζάχος και Παπαζάχου (2003) παρουσιάζουν εκτενή αναφορά για τον μεγαλύτερο γνωστό σεισμό της περιοχής της Μεσογείου ο οποίος έγινε στον Ελληνικό θαλάσσιο χώρο στις 21 Ιουλίου του 365 Μ.Χ. κοντά στο νοτιοδυτικό άκρο της Κρήτης (35.2⁰ N, 23.4⁰ E) όπως φαίνεται στο αριστερό μέρος του σχήματος (6) και στο σχήμα (7), με πράσινο κύκλο, συνδυασμένο με το μεγάλο ανάστροφο ρήγμα της περιοχής αυτής με ΒΔ κατεύθυνση και κλίση προς το Αιγαίο. Η μετατόπιση πάνω στο ρήγμα κατά τη γένεση του ισχυρότατου αυτού σεισμού εκτιμήθηκε από τον Papazachos (1996) ότι ήταν περίπου 10m και το επίκεντρο αυτού καθορίστηκε κυρίως από γεωλογικές παρατηρήσεις στο ύπαιθρο. Συγκεκριμένα εντοπίστηκε σημαντική ανύψωση του Ρωμαϊκού λιμανιού της Φαλάσαρνας στη δυτική Κρήτη της τάξης των 9 μέτρων (Thommerete et al., 1981, Pirazzoli et al., 1992). Σύμφωνα με τις ιστορικές καταγραφές που υπάρχουν διαθέσιμες οι Παπαζάχος και Παπαζάχου (2003) εκτίμησαν: 1) ότι η εστία του φονικού αυτού σεισμού δημιουργήθηκε σε βάθος $h \leq 50$ χμ οπότε και χαρακτηρίστηκε επιφανειακός (n) και 2) ότι το μέγεθος του ήταν της τάξης του 8.3. Ο σεισμός αυτός συνοδεύτηκε από το ισχυρότερο θαλάσσιο κύμα βαρύτητας (τσουνάμι) που παρατηρήθηκε στη Μεσόγειο.

Οι Γεωργιάδης (1904), Guidoboni et al., (1994), Σπυρόπουλος (1997) και Stiros (2001) συνέλεξαν πλήθος ιστορικών καταγραφών από τους Αμμιανό Μαρκελλίνο, Ιερώνυμο, Αθανάσιο, Σωκράτη Σχολαστικό, Σωζόμενο, Ζώσιμο, Θεοφάνη και Κεδρηνό. Σύμφωνα με τους παραπάνω ιστορικούς παρατηρητές στο "λυκαυγές" της 21ης Ιουλίου του 365 Μ.Χ. ο ισχυρότερος γνωστός σεισμός της Μεσογείου συντάραξε όλον τον τότε γνωστό κόσμο προκαλώντας τρομακτικές πρωτογενείς συνέπειες (με μεγάλα χάσματα να ανοίγουν παντού, όπως ανέφερε ο Σωζόμενος) λόγω των ισχυρότατων σεισμικών κυμάτων που προκλήθηκαν και δευτερογενώς από το ισχυρότερο θαλάσσιο κύμα βαρύτητας (τσουνάμι) που παρατηρήθηκε στη Μεσόγειο. Η απόσυρση της θάλασσας συνέβη σε πολύ μεγάλη έκταση και αναφέρθηκε ότι εμφανίστηκαν σημαντικές εκτάσεις του βυθού με "θαλάσσια όντα, οροσειρές και κοιλάδες του βυθού". Εξ' αυτού όπως είναι φυσικό πάρα πολλά πλοία κάθισαν στο βυθό και πλήθος κόσμου (μη έχοντας πρότερη εμπειρία) στις διάφορες ακτές περιπλανιόνταν στο αποκαλυφθέντα βυθό για τη συλλογή των ψαριών. Η ορμητική επάνοδος των όγκων των θαλασσίων υδάτων (όπως γίνεται συνήθως στα τσουνάμι) με μεγάλο ύψος κυμάτων κατέστρεψε εκτεταμένες εκτάσεις παράκτιων πόλεων και έπνιξε χιλιάδες ανθρώπους. Στην περίπτωση της Αλεξάνδρειας μεγάλα πλοία εκσφενδονίστηκαν στις στέγες των παράκτιων σπιτιών και αρκετά από αυτά βρέθηκαν σε μεγάλη απόσταση μέσα στη στεριά, έως και 2 μίλια. Ο Κεδρηνός αναφέρει ότι μόνο στην Αλεξάνδρεια πνίγηκαν από το τσουνάμι περίπου 50.000 άνθρωποι. Στην αρχαία πόλη της Μεθώνης ο Αμμιανός Μαρκελλίνος αναφέρει ότι ο ίδιος είδε κατεστραμμένο, από τα κύματα του τσουνάμι, πλοίο της Σπάρτης.

Ο Ιερώνυμος στην ιστορική αναφορά του καταγράφει ότι τα αποτελέσματα του τσουνάμι ήταν καταστροφικά στη Σικελία και σε πολλά άλλα νησιά. Ιδιαίτερη

αναφορά κάνει και ο Θεοφάνης για την περιοχή της Επιδαύρου (Δαλματικές ακτές της Αδριατικής - σημερινή πόλη Cavtat) όπου τα τεράστια κύματα "εκσφενδόνισαν τα πλοία στα βουνά" αφού πρώτα αυτά "κάθισαν" στον πυθμένα του λιμανιού κατά την απόσυρση της θάλασσας. Ο δε Αθανάσιος και ο Ζώσιμος κάνουν ιδιαίτερη αναφορά στις καταστροφές που υπέστησαν περισσότερες από 100 πόλεις στην Κρήτη και πολλές άλλες στην Πελοπόννησο πλην της Αττικής.

Η αρχαιολογική σκαπάνη αποκάλυψε πρόσφατα στις περιοχές του Κίσσαμου, στα Ελεύθερα και τη Γόρτυνα σημαντικά ερείπια τα οποία κατά τους Di Vita (1995) και Stiros (2001) μπορούν να συσχετιστούν με μεγάλο βαθμό αξιοπιστίας με τον ισχυρότατο αυτό σεισμό. Ο Rothaus (1996) πρότεινε ότι υπάρχουν αρχαιολογικές ενδείξεις σε ερείπια και στην αρχαία Κόρινθο που μπορούν να συσχετίσουν αυτά τα ερείπια επίσης με τον σεισμό αυτό.

4. Ο σεισμικός κίνδυνος στον Ελληνικό χώρο

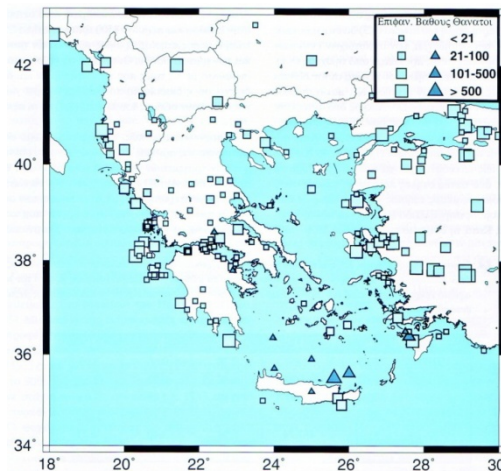
Από την απαρχή της καταγραφής παρατηρήσεων - δεδομένων στους ιστορικούς χρόνους (6ος Π.Χ. αιώνας) αλλά και κυρίως με την εφαρμογή της ενόργανης σεισμολογίας στη χώρα μας (αρχές του 20ου αιώνα) με την εγκατάσταση του πρώτου σειсмоγράφου στην Αθήνα τύπου "Agamemnone" το 1898 και την εγκατάσταση του πρώτου σεισμομέτρου τύπου "Mainka" με δύο οριζόντιες συνιστώσες το 1911, έγινε φανερό ότι στην χώρα εκλύεται το μεγαλύτερο ποσοστό σεισμικής ενέργειας από αυτήν που εκλύεται συνολικά στη Δυτική Ευρασία (σχήμα 1). Σε παγκόσμιο επίπεδο η χώρα μας με τα σημερινά ακριβή δεδομένα κατέχει την έκτη (6η) θέση διεθνώς όσον αφορά την υψηλότερη σεισμικότητα (σχήμα 2).

Στην χώρα μας πάρα πολλά από τα επίκεντρα των ισχυρών σεισμών εντοπίζονται στον υποθαλάσσιο χώρο. Παρ' όλη αυτή την γεωτεκτονική ιδιότητα του χώρου ο σεισμικός κίνδυνος είναι υψηλός καθόσον οι συνέπειες των ισχυρών σεισμών στις κοινωνικές και οικονομικές υποδομές είναι σημαντικές. Οι Παπαζάχος και Παπαζάχου (2003) αναφέρουν ότι κατά το δεύτερο ήμισυ του 20ου αιώνα (1950-2000) σκοτώθηκαν 800 και τραυματίστηκαν 4500 άνθρωποι στην Ελλάδα. Αποτιμήθηκε λοιπόν από τα συνολικά διαθέσιμα δεδομένα ότι ο μέσος ετήσιος αριθμός των νεκρών έφτασε τους 16 και ο αντίστοιχος των τραυματιών στους 90.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι εμμέσως οι ισχυροί σεισμοί επιδρούν στην οικονομική ζωή των περιοχών που επλήγησαν καθόσον αδρανεί ο κοινωνικός ιστός και πλήττεται άμεσα η παραγωγική διαδικασία σε αυτές (συνήθως για μεγάλα χρονικά διαστήματα). Επίσης σημαντικές είναι και οι πολιτιστικές - πολιτισμικές συνέπειες καθόσον μπορούν να καταστραφούν κατ' επανάληψη σημαντικά ιστορικά μνημεία της χώρας μας. Στον δε ψυχολογικό τομέα του κοινωνικού ιστού, δημιουργούνται σημαντικά προβλήματα που προκύπτουν από τον έντονο φόβο και πανικό καθώς και την διαρκή νευρική υπερδιέγερση λόγω της φυσιολογικής ύπαρξης

ισχυρών μετασεισμών στον ευρύτερο εστιακό χώρο, που ταλαιπωρούν σημαντικά τον πληθυσμό των περιοχών που επλήγησαν και ιδίως στην περιοχή του μακροσεισμικού επικέντρου (χώρος μέγιστων βλαβών).

Στο σχήμα (8) παρουσιάζονται από τους Παπαζάχο και Παπαζάχου (2003) τα επίκεντρα των γνωστών φονικών σεισμών του ευρύτερου Ελληνικού χώρου (με τετράγωνα οι επιφανειακοί σεισμοί και με τρίγωνα οι σεισμοί ενδιάμεσου βάθους) κατά την περίοδο 1500 μ.Χ. - 2000.



Σχήμα 8: Χάρτης με τα επίκεντρα των φονικότερων σεισμών (οι επιφανειακοί σεισμοί με τετράγωνα και οι ενδιάμεσου βάθους με τρίγωνα) του Ελληνικού χώρου και των γύρω περιοχών για την περίοδο από το 1500 - 2000 (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003).

Από το σχήμα (8) προκύπτει εύκολα το συμπέρασμα ότι ο σεισμικός κίνδυνος για τη χώρα μας είναι ένα σοβαρότατο πρόβλημα και είναι σημαντικότερο από άλλα προβλήματα φυσικών ή ανθρωπογενών καταστροφών όπως π.χ. οι πλημμύρες και οι πυρκαγιές καθόσον έχει μια ιδιαιτερότητα που τον διαφοροποιεί από αυτές. Αυτή βασίζεται στα: 1) το σεισμικό φαινόμενο δεν ελέγχεται από τον άνθρωπο καθόσον οι αιτίες που το δημιουργούν οφείλονται σε φυσικά αίτια μη ελέγξιμα από αυτόν όπως οι σταθερές κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών σε πλανητικό επίπεδο και 2) τα ελαστικά σεισμικά κύματα, που μας θέτουν σε βίαιη ταλάντωση, πολύ σπάνια θα μας βλάψουν άμεσα όπως οι κατολισθήσεις πρανών δίπλα σε κατοικημένες περιοχές ή θαλάσσια κύματα τσουνάμι. Κατά κύριο λόγο οι συνέπειες για τον κοινωνικό ιστό είναι έμμεσες καθόσον καταστρέφεται η τεχνολογική υποδομή των οικιστικών περιοχών και τα σημαντικά δίκτυα όπως π.χ. των μεταφορών (βασικοί δρόμοι, γέφυρες, λιμάνια κλπ).

Με ευκολία προκύπτει το συμπέρασμα ότι η κατανόηση των ιδιαιτεροτήτων του

σεισμικού κινδύνου από την επίσημη πολιτεία είναι η "μόνη οδός" για τη χάραξη μιας σωστής και αποτελεσματικής αντισεισμικής πολιτικής αφού ληφθούν σοβαρά υπόψη όλα τα δεδομένα της βασικής και εφαρμοσμένης έρευνας των σχετικών επιστημονικών φορέων (Πανεπιστήμια και Ερευνητικά Ινστιτούτα) στην Ελλάδα και το εξωτερικό.

Στο σχήμα (9) παρουσιάζεται χάρτης με τις θέσεις των μόνιμων σεισμολογικών σταθμών του Εθνικού Δικτύου Σειсмоγράφων στον Ελληνικό χώρο (Ε.Δ.Σ.Ε) μετά από σοβαρή προσπάθεια ανάπτυξης του Ε.Δ.Σ.Ε στα τελευταία χρόνια ακριβώς λόγω της κατανόησης από το επιστημονικό δυναμικό και την πολιτεία του προβλήματος του σεισμικού κινδύνου. Με πράσινα τετράγωνα εμφανίζονται οι σταθμοί του Τομέα Γεωφυσικής του ΑΠΘ, με κίτρινα οι σταθμοί του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΓΙΕΑΑ), με ροζ οι αντίστοιχοι σταθμοί του Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών και με κόκκινα οι αντίστοιχοι σταθμοί του Πανεπιστημίου Πατρών (Σεισμολογικός Σταθμός ΑΠΘ).



Σχήμα 9: Χάρτης με τις θέσεις των μόνιμων σεισμολογικών σταθμών του Εθνικού Δικτύου Σειсмоγράφων στον Ελληνικό χώρο. Με πράσινα τετράγωνα εμφανίζονται οι σταθμοί του Τομέα Γεωφυσικής του ΑΠΘ, με κίτρινα οι σταθμοί του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Αστεροσκοπείου Αθηνών, με ροζ οι αντίστοιχοι σταθμοί του Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών και με κόκκινα οι αντίστοιχοι σταθμοί του Πανεπιστημίου Πατρών (Σεισμολογικός Σταθμός ΑΠΘ).

Η αναγκαιότητα της επίλυσης βασικών προβλημάτων αντισεισμικής πολιτικής και τεχνολογίας, με την έντονη επιστημονική παρότρυνση του καθηγητή Γεωφυσικής του ΑΠΘ Βασίλη Παπαζάχου, προς την πολιτεία, μετά τον καταστρεπτικό σεισμό της Θεσσαλονίκης του 1978, οδήγησε στην ίδρυση του Ινστιτούτου Τεχνικής Σει-

σμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ). Το ΙΤΣΑΚ ιδρύθηκε στη Θεσσαλονίκη ως Ν.Π.Δ.Δ. εποπτείας του τ. ΥΠΕΧΩΔΕ. Ως αποστολή του έχει την εφαρμοσμένη έρευνα στους τομείς Τεχνικής Σεισμολογίας, Εδαφοδυναμικής και Αντισεισμικών Κατασκευών για τη μείωση των συνεπειών των σεισμών στον άνθρωπο και στο δομημένο περιβάλλον. Το ΙΤΣΑΚ θεωρείται «ερευνητικό & τεχνολογικό κέντρο» και είναι το μοναδικό ερευνητικό κέντρο στον Ελλαδικό χώρο που δραστηριοποιείται σ' αυτό το σύνθετο επιστημονικό και αναπτυξιακό αντικείμενο και ένα από τα λίγα ευρωπαϊκά κέντρα ειδικευμένα για το σκοπό αυτό.



Σχήμα 10: Χάρτης με τις θέσεις των μόνιμων σταθμών επιταχυνσιογράφων του Δικτύου του ΙΤΣΑΚ (Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών) έως τον Οκτώβριο του 2012 στον Ελληνικό χώρο. Είναι σε εξέλιξη η ολοκλήρωση της εγκατάστασης δικτύου νέων επιταχυνσιογράφων (περίπου 100 νέοι σταθμοί) σε ολόκληρη τη χώρα μετά από χρηματοδότηση έργου από τον ΟΑΣΠ ([Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας](#)) (Ιστοσελίδα, ΙΤΣΑΚ).

Το ΙΤΣΑΚ για να μπορέσει να ανταποκριθεί στο σκοπό της ίδρυσής του και να μπορέσει να συνεργαστεί αποτελεσματικά με τους υπόλοιπους σεισμολογικούς φορείς των Ελληνικών Πανεπιστημίων εγκατέστησε σταδιακά στα τελευταία χρόνια ένα ευρύ και σύγχρονο δίκτυο μόνιμων σταθμών επιταχυνσιογράφων όπως φαίνεται στο σχήμα (10) που αριθμεί σήμερα περίπου 200 σταθμούς καταγραφής της ισχυρής σεισμικής κίνησης. Κατ' αυτόν τον τρόπο και με σημαντική συμμετοχή σε Ελληνικά και διεθνή ερευνητικά προγράμματα συνέβαλε σημαντικά στην επίλυση προβλημάτων της αντισεισμικής τεχνολογίας κατασκευών αλλά και στην αντισεισμική θωράκιση της χώρας μέσα από έναν σύγχρονο αντισεισμικό κώδικα για την προστασία των πολιτών και της τεχνολογικής και κτιριακής υποδομής των οικιστικών εν γένει συγκροτημάτων.

Ο σχεδιασμός λοιπόν και η υλοποίηση μιας ρεαλιστικής και αποτελεσματικής αντισεισμικής πολιτικής απαιτεί λήψη συγκεκριμένων μέτρων τα οποία εξαρτώνται από την επιστημονική γνώση και την ανάπτυξη αντίστοιχων τεχνολογικών δυνατοτήτων στη χώρα μας.

Τα απαραίτητα μέτρα που θα πρέπει να λαμβάνει η επίσημη πολιτεία μπορούν να εξειδικευτούν σε δύο κατηγορίες ως εξής: 1) **Τα ενεργητικά μέτρα της αντισεισμικής προστασίας** τα οποία η πολιτεία εφαρμόζει πριν τη γένεση ενός ισχυρού σεισμού (αντισεισμικός κανονισμός, μικροζωνικές μελέτες, προληπτικός προσεισμικός έλεγχος τεχνικών κατασκευών κρίσιμης σημασίας, επιμόρφωση επιστημονικού δυναμικού, αντισεισμική εκπαίδευση πολιτών και κυρίως μαθητών κλπ), 2) **Τα παθητικά μέτρα αντισεισμικής προστασίας** τα οποία σχεδιάζει η πολιτεία πριν τη γένεση του σεισμού και τα εφαρμόζει το ταχύτερο δυνατόν μετά την γένεσή του (κύριοι τομείς σχετικοί με την άμεση βοήθεια προς τους σεισμόπληκτους, πλήρη σχέδια για απεγκλωβισμό ατόμων, υλικοτεχνική υποδομή για τον απεγκλωβισμό, μόνιμη αποκατάσταση σεισμοπλήκτων κλπ.)

5. Ο ρόλος της σεισμολογίας και οι σημερινές δυνατότητές της

Ο ρόλος της σεισμολογίας στο αντικείμενο της αντισεισμικής προστασίας είναι εξαιρετικής σημασίας σήμερα. Η επιστημονική γνώση, όσον αφορά τη φυσική διαδικασία γένεσης των σεισμών αλλά και την έγκυρη και έγκαιρη πρόγνωση των σεισμών, είναι απαραίτητη για την αντισεισμική προστασία. Τις τελευταίες δεκαετίες η σεισμολογική γνώση για τις φυσικές διαδικασίες γένεσης των σεισμών στον Ελληνικό χώρο έχει αυξηθεί σημαντικά (κίνηση λιθοσφαιρικών πλακών, ταχύτητα κίνησης αυτών, βαθμός τεκτονικής παραμόρφωσης κλπ). Το πρόβλημα που προκύπτει είναι ότι η παραπάνω γνώση δεν είναι γνωστή με την απαραίτητη υψηλή ακρίβεια, σε όλες τις παραμέτρους της γένεσης του σεισμού, ώστε να οδηγηθεί η σεισμολογία σε λύση του προβλήματος της "**Βραχείας Διάρκειας Πρόγνωσης**". Σήμερα είναι αδύνατο να υπολογιστεί με υψηλή ακρίβεια το μέγεθος (με σφάλμα ± 0.2), το επίκεντρο (με σφάλμα ± 20 χμ) και η ακριβής ώρα γένεσης (με σφάλμα ± 2 ώρες) του επερχόμενου σεισμού ώστε αυτό να χρησιμοποιηθεί από την επίσημη πολιτεία για την εκκένωση πολεοδομικών συγκροτημάτων (εφόσον αυτό είναι δυνατόν), απόφαση η οποία είναι εξαιρετικά δύσκολη για την κυβέρνηση της χώρας καθώς πρέπει να απαντηθεί και το ερώτημα του πότε θα επιστρέψει ο πληθυσμός στις εστίες του και στην επαγγελματική ασχολία του.

Η σημερινή σεισμολογική γνώση όμως είναι ικανή να καθορίσει με αξιόπιστο τρόπο την σεισμικότητα και την σεισμική επικινδυνότητα διαφόρων περιοχών της χώρας μας και μπορεί να εκτιμήσει "μεσοπρόθεσμα" την συμπεριφορά της σεισμικής δράσης αναπτύσσοντας σε ικανοποιητικό βαθμό την "**Μεσοπρόθεσμη Διάρκειας Πρόγνωση**".

Η επιστήμη της σεισμολογίας για να μπορέσει να είναι αποτελεσματική στο πεδίο της αντισεισμικής προστασίας είναι απαραίτητο να "δηλώσει" με σαφήνεια τι ακριβώς μπορεί να προβλέψει και τι όχι, δλδ ποιό αποτέλεσμα της βασικής και εφαρμοσμένης έρευνας μπορεί να αξιοποιηθεί με αποτελεσματικό τρόπο. Έτσι είναι απαραίτητο να καταγραφούν τα παρακάτω:

- Σε κάθε θέση του Ελληνικού χώρου όπου προγραμματίζεται η κατασκευή ενός σημαντικού ή όχι κτιρίου, **είναι σε θέση** η επιστήμη σήμερα να εκτιμήσει αξιόπιστα τις **"ισχυρές αναμενόμενες κινήσεις"** (εδαφικές επιταχύνσεις κλπ) που η υποδομή θα υποστεί στον χρόνο ζωής της. Αυτό έχει εφαρμοστεί ήδη με την χάραξη των ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας στον ισχύοντα σύγχρονο Αντισεισμικό Κανονισμό.
- Η πιθανολογική εκτίμηση για τη γένεση ισχυρών σεισμών (**μεσοπρόθεσμη διάρκειας πρόγνωση**) μέσα σε χρονικές περιόδους του κοντινού μέλλοντος (π.χ. 2015-2030) **γίνεται σήμερα με ικανοποιητικό τρόπο** ώστε η πολιτεία να εκτιμήσει τις πιθανές συνέπειες του αναμενόμενου σεισμού. Στο παγκόσμιο συνέδριο του IASPEI το 1997 στη Θεσσαλονίκη, ο διακεκριμένος σεισμολόγος S. Shimazaki δήλωσε ότι η Ιαπωνία άλλαξε φιλοσοφία στο πρόγραμμα πρόγνωσης των σεισμών μετά το καταστροφικό σεισμό του KOBE το 1995. Εγκατέλειψε ουσιαστικά τη μελέτη πρόδρομων φαινομένων για τη "βραχείας διάρκειας πρόγνωση" και εστίασε τις προσπάθειες της στην μακράς διάρκειας εκτίμηση της σεισμικής δράσης.
- Σήμερα επίσης έχουν αναπτυχτεί σε ικανοποιητικό βαθμό διάφορα **"εργαλεία"** για την **βραχυπρόθεσμη εκτίμηση της εξέλιξης μιας μετασεισμικής ακολουθίας ενός ισχυρού σεισμού**, ώστε να στηριχτούν επιστημονικά οι πιθανές ενέργειες της πολιτείας για την πρώτη αντιμετώπιση των σοβαρών προβλημάτων που προκύπτουν στον πληθυσμό και στην υποδομή μετά από ένα ισχυρό σεισμό. Είναι ένα πολύτιμο εργαλείο για να καθοριστεί ο χρόνος έναρξης των ελέγχων των κτιρίων της πληγείσας περιοχής από τους αρμόδιους Πολιτικούς Μηχανικούς, αλλά και να αποφασιστεί η πιθανή ασφαλής επιστροφή του πληθυσμού στις οικίες που δεν έχουν πρόβλημα στατικότητας.
- **Σημαντικό** είναι επίσης ότι **δεν έχει γίνει ακόμα "ρεαλιστικός στόχος"** της σεισμολογίας η **"βραχείας διάρκειας πρόγνωση"** των ισχυρών σεισμών με βασικά αξιοποιήσιμα και αξιόπιστα πρόδρομα φαινόμενα. Είναι αδύνατον σήμερα να δοθεί η οδηγία προληπτικά σε κατοίκους συγκεκριμένης περιοχής να εγκαταλείψουν τις εστίες τους για την προστασία τους σε δεδομένο χρόνο και κυρίως είναι αδύνατον να τους υποδειχθεί πριν τη γένεση του ισχυρού σεισμού η διάρκεια της παραμονής τους εκτός των οικιών τους. Στο παγκόσμιο συνέδριο του IASPEI το 1997 στη Θεσσαλονίκη, ο διακεκριμένος σεισμολόγος καθηγητής Bruce Bolt του Πανεπιστημίου του Berkeley (ΗΠΑ) δήλωσε ότι σε τρεις περασμένες δεκαετίες δαπανήθηκαν τεράστια χρηματικά ποσά για την έρευνα της **"βραχείας διάρκειας πρόγνωση"** με μηδενικό αποτέλεσμα.

Η Ελληνική πολιτεία πρέπει να εκμεταλλευτεί το συντομότερο δυνατόν τα πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα της Ελληνικής σεισμολογικής κοινότητας (Τομέας Γεωφυσικής - ΑΠΘ) πάνω στην επίλυση του προβλήματος της "**μεσοπρόθεσμης διάρκειας πρόγνωσης**". Την τελευταία δεκαετία η επιστημονική γνώση, πάνω στη χρονικά μεταβαλλόμενη σεισμικότητα περιοχών με πληθώρα αξιόπιστων δεδομένων, έχει προχωρήσει πολύ. Τα αποτελέσματα αυτά αν συνδυαστούν και με άλλα κρίσιμα δεδομένα όπως είναι οι σχέσεις απόσβεσης των σεισμικών κυμάτων μπορούν να οδηγήσουν σε πολύ ρεαλιστικούς χάρτες αναμενόμενης σεισμικής επικινδυνότητας οι οποίοι θα έχουν το βασικό πλεονέκτημα ότι θα μπορούν να αναθεωρούνται σε τακτά χρονικά διαστήματα με τη χρήση της νέας γνώσης και των πολύ αξιόπιστων δεδομένων των σύγχρονων σειсмоγράφων και επιταχυνσιογράφων του Εθνικού Δικτύου της χώρας μας.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της σημερινής γνώσης πάνω στην **χρονικά μεταβαλλόμενη σεισμικότητα** των διαφόρων περιοχών, είναι το γεγονός ότι διευκολύνεται η επίσημη πολιτεία να μην εστιάζει στο σύνολο της χώρας τα προσεισμικά μέτρα. Καθοδηγείται με τον τρόπο αυτό από τη σύγχρονη γνώση της **μεσοπρόθεσμης πρόγνωσης** να εστιάζει τα απαραίτητα μέτρα σε 2-3 πιθανές περιοχές που μπορούν να υποστούν τις συνέπειες ισχυρών σεισμών στα επόμενα π.χ. 5 χρόνια (2015-2020). Προκύπτει έτσι ένα πρόγραμμα αντισεισμικού σχεδιασμού και προστασίας του οποίου το οικονομικό κόστος είναι "ρεαλιστικό" για την οικονομική δυνατότητα της χώρας.

6. Δράσεις της πολιτείας: Μέτρα της αντισεισμικής προστασίας

Οι ενδεδειγμένες δράσεις της επίσημης πολιτείας στο σημαντικό πρόβλημα του σεισμικού κινδύνου καθορίζονται από δύο σημαντικούς παράγοντες: **α. το επίπεδο της επιστημονικής και τεχνολογικής γνώσης** σε Εθνικό και διεθνές επίπεδο που έχει παραχθεί και μπορεί να εφαρμοστεί και **β. την διάθεση της πολιτείας να πάρει τις σχετικές πολιτικές αποφάσεις** στο "καυτό" αυτό θέμα και να τις εφαρμόσει με βάση ένα μακροπρόθεσμο επιχειρησιακό πρόγραμμα.

- Η πρώτη και πιο σημαντική δράση της πολιτείας είναι η κατάρτιση **Εθνικού Αντισεισμικού Κανονισμού** ώστε να ορίζονται όλες οι ελάχιστες τεχνικές προϋποθέσεις για να αντέχουν οι κατασκευές τις καταπονήσεις από την ισχυρή σεισμική κίνηση με ένα ελάχιστο "αποδεκτό" ποσοστό βλαβών που μπορούν να επισκευαστούν. Ο πρώτος Αντισεισμικός Κανονισμός ψηφίστηκε στη Βουλή το 1959 και αναθεωρήθηκε μερικώς το 1984. Το 1992 ψηφίστηκε ο Νέος Αντισεισμικός Κανονισμός (NEAK) και άρχισε η εφαρμογή του το 1995. Ο NEAK αναθεωρήθηκε το 2000 και άρχισε να εφαρμόζεται ως "ΕΑΚ-2000" το 2001 μετά από σημαντικές επιστημονικές παρατηρήσεις, σχόλια και απόψεις του επιστημονικών φορέων για τις νέες απόψεις και τα νέα δεδομένα που προέκυψαν

από τους τελευταίους καταστροφικούς σεισμούς στον Ελληνικό χώρο, αλλά και την ανάγκη προσαρμογής του στους Ευρωκώδικες EC8 (Αντισεισμικός Κώδικας) και EC7 (Κώδικας Θεμελιώσεων). Το σημαντικότερο στοιχείο για την προστασία ανθρώπινων ζών και τεχνικών υποδομών είναι η σωστή εφαρμογή του ΕΑΚ-2000. Οι βλάβες όμως που παρατηρήθηκαν στους τελευταίους καταστροφικούς σεισμούς δείχνουν ότι το πρόβλημα των κακοτεχνιών είναι υπαρκτό, άρα ο έλεγχος της πολιτείας πρέπει να είναι αυστηρότατος και συνεχής όσον αφορά την εφαρμογή του ΕΑΚ-2000. Ειδικά για τεχνικά έργα σημαντικής σημασίας είναι απαραίτητο εκτός του ΕΑΚ να πραγματοποιούνται ειδικές μελέτες (σεισμολογικές, γεωφυσικές, γεωλογικές και γεωτεχνικές) για "τελειότερο" σχεδιασμό των κατασκευών αυτών λόγω των μεγάλων κοινωνικών επιπτώσεων από την καταστροφή αυτών. Οι σύγχρονοι επιστημονικοί φορείς (ΙΤΣΑΚ, ΓΙΕΑΑ, Παν/μια) εγκατέστησαν σταδιακά τα τελευταία χρόνια ένα ευρύ και σύγχρονο Εθνικό δίκτυο μόνιμων σταθμών επιταχυνσιογράφων (ειδικά σεισμόμετρα καταγραφής της ισχυρής σεισμικής κίνησης) μέρους του οποίου φαίνεται στο σχήμα (10). Τα δεδομένα του δικτύου αυτού είναι εξαιρετικά κρίσιμης σημασίας για τις πιθανές αναθεωρήσεις του ΕΑΚ-2000 στο μέλλον από νέα δεδομένα που θα προκύψουν από τη γένεση μελλοντικών ισχυρών σεισμών.

- Η δεύτερη σημαντική δράση της πολιτείας είναι η εκπόνηση σωστών "**Μικροζωνικών Μελετών**" στα νέα υπό διαμόρφωση πολεοδομικά συγκροτήματα ή στις επεκτάσεις των ήδη υπαρχόντων. Η μικροζωνική μελέτη συμβάλει τα μέγιστα στην αντισεισμική προστασία καθόσον η περιοχή χωρίζεται σε "μικροζώνες" ίδιας σεισμικής απόκρισης στην ισχυρή σεισμική κίνηση με συνέπεια να καθορίζεται με καλή ακρίβεια η σεισμική επικινδυνότητα αυτής. Εξασφαλίζεται έτσι η καλύτερη δυνατή αντοχή των κτιρίων στον επερχόμενο ισχυρό σεισμό στο μέλλον. Η αξιοπιστία των "Μικροζωνικών Μελετών", που είναι πολύ δύσκολο ερευνητικό πρόβλημα, στηρίζεται σε μια συλλογική προσπάθεια πολλών σχετικών επιστημόνων (Γεωλόγων, Σεισμολόγων, Εφαρμοσμένων Γεωφυσικών, Γεωτεχνικών κλπ) καθόσον πρέπει να γίνει ουσιαστικά "πρόγνωση" των χαρακτηριστικών των αναμενόμενων ισχυρών σεισμικών κινήσεων στην υπό δόμηση περιοχή. Σημαντικό βήμα προς τη σωστή κατεύθυνση θα είναι ο καθορισμός από την πολιτεία (π.χ. ΟΑΣΠ) των προδιαγραφών για την εκπόνηση των "Μικροζωνικών Μελετών" και σε δεύτερο στάδιο η νομική θεσμοθέτηση για την σωστή διαδικασία εφαρμογής των.
- Η τρίτη πολύ σημαντική ενέργεια της πολιτείας αφορά τον "**Προσεισμικό Έλεγχο**" των τεχνικών υποδομών είτε είναι δημόσιες (σχολεία, δημόσιες υπηρεσίες, νοσοκομεία, γέφυρες, αμυντικές υποδομές κλπ) είτε ιδιωτικές (οικίες, ξενοδοχεία κλπ) καθόσον δίνεται έτσι η δυνατότητα για επεμβάσεις αναίρεσης των επικινδυνοτήτων που θα επισημανθούν. Στη πρώτη φάση του ελέγχου δεν παρουσιάζονται σημαντικά προβλήματα παρά μόνο οικονομικά (ανάλογα σε τι επιστημονικό - τεχνικό επίπεδο θα γίνει ο έλεγχος). Στη δεύτερη φάση όμως,

που θα χρειαστεί να γίνουν πιθανές κατεδαφίσεις ή και ανακατατάξεις δομών του πολεοδομικού συγκροτήματος, οι δυσκολίες πιθανόν να γίνουν σημαντικές σε οικονομικό και πολιτικό επίπεδο λόγω των κοινωνικών επιπτώσεων. Κατά τον 20ο αιώνα η πολιτεία δεν έδειξε ιδιαίτερη διάθεση για την πραγματοποίηση του προσεισμικού ελέγχου λόγω των οικονομικών δυσκολιών που απαιτεί ο έλεγχος όλης της χώρας, αλλά και λόγω της αποδεδειγμένης αποτυχίας της βραχυπρόθεσμης πρόγνωσης των ισχυρών σεισμών. Στις τελευταίες δύο δεκαετίες έχει παρατηρηθεί μια θετική μεταστροφή της πολιτείας καθόσον τα αποτελέσματα της μεσοπρόθεσμης πρόγνωσης παρουσιάζουν θετικό πρόσημο. Έτσι η πολιτεία μπορεί να εστιάσει ρεαλιστικά σχέδια προσεισμικού ελέγχου, σε οικονομικό επίπεδο που μπορεί να "αντέξει", σε 1-2 προκαθορισμένες περιοχές της χώρας. Βέβαια θα πρέπει να γίνουν σημαντικές προσπάθειες στο πεδίο της κοινωνικής αποδοχής των μέτρων αυτών καθόσον είναι πολύ εύκολο η κακή επικοινωνιακή πολιτική να δημιουργήσει σημαντικά προβλήματα "πανικού".

- Η πολιτεία θα πρέπει να αναλώσει σημαντικό κεφάλαιο στο θέμα της "**Αντισεισμικής Επιμόρφωσης**" τόσο των "ειδικών ομάδων" που αποτελούνται από τους αρμόδιους φορείς που θα δραστηριοποιηθούν στην περίοδο άμεσα μετά τον ισχυρό σεισμό (δημόσιοι υπάλληλοι, Μηχανικοί, Πυροσβέστες, Αστυνομικοί, Ομάδες Διάσωσης κλπ) όσο και του συνόλου του πληθυσμού εστιάζοντας σε πρώτη φάση σε δασκάλους - καθηγητές και μαθητές οι οποίοι και θα μεταλαμπαδεύσουν τη γενική και ειδική γνώση στις οικογένειες τους. Η αντισεισμική επιμόρφωση περιλαμβάνει διαλέξεις σε κάθε είδους κοινό, ξεναγήσεις στους κεντρικούς σεισμολογικούς σταθμούς, ασκήσεις ετοιμότητας, ενημερωτικά άρθρα στον έντυπο και ηλεκτρονικό τύπο και εξειδικευμένες ανακοινώσεις για το κοινό μετά από ισχυρούς σεισμούς. Όλη αυτή η δραστηριότητα πρέπει να σχεδιάζεται και να υλοποιείται από τους ειδικούς επιστήμονες (σεισμολόγους, πολιτικούς μηχανικούς του τομέα αντισεισμικών κατασκευών κλπ) των πανεπιστημίων και των ερευνητικών ιδρυμάτων της χώρας (ΙΤΣΑΚ, ΓΙΕΑΑ) και θα έχει σημαντικά αποτελέσματα σε βάθος χρόνου αν σχεδιαστεί με προσοχή στο σύνολο της Επικράτειας. Σημαντικό μέρος της διαδικασίας αυτής είναι και η ενημέρωση του κοινού που γίνεται κατά τη διάρκεια των σεισμικών εξάρσεων από τους ειδικούς επιστήμονες. Χρειάζεται εξαιρετική προσοχή για το περιεχόμενο των ανακοινώσεων αυτών γιατί περιέχουν πληροφορίες για την εξέλιξη της μετασεισμικής ακολουθίας που θα ληφθούν υπόψη από την πολιτεία αλλά και έχουν εξαιρετική σημασία για τη συνοχή του κοινωνικού ιστού των πληγέντων περιοχών. Είναι απαραίτητο λοιπόν οι ανακοινώσεις αυτές να γίνονται από έμπειρους σεισμολόγους που έχουν άμεση σχέση με τη λειτουργία και παρακολούθηση του Εθνικού Δικτύου Σεισμογράφων και έχουν στην διάθεση τους τα κατάλληλα "εργαλεία" για την εκτίμηση της εξέλιξης της μετασεισμικής ακολουθίας. Αυτός είναι και ο πρωτεύων λόγος που οι λοιποί επιστήμονες των περιφερειακών επιστημών (π.χ. διαφόρων ειδικοτήτων γεωλόγοι, γεωτεχνι-

κοί, πολιτικοί μηχανικοί αντισεισμικών κατασκευών κλπ) που ασχολούνται και με το φαινόμενο σεισμός θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα προσεκτικοί στο τι θα ανακοινώνουν στα διάφορα ΜΜΕ για την κρίσιμη περίοδο της μετασεισμικής ακολουθίας ώστε να μην προκληθεί πανικός στον κοινωνικό ιστό.

- Σημαντική δράση της πολιτείας είναι η σχεδίαση και η εφαρμογή ειδικών σχεδίων με **"Μέτρα Μετασεισμικής Εφαρμογής"** όπως το **"Σχέδιο Ξενοκράτης"**. Είναι ένα σύνολο δράσεων για την παροχή άμεσης βοήθειας στους σεισμοπαθείς (ομάδες διάσωσης, ιατρικές ομάδες, κινητά νοσοκομεία, άμεση οργάνωση μη μόνιμων οικισμών σεισμοπαθών, διατροφή αυτών, οικονομική βοήθεια κλπ.). Η ιδιαίτερη σύγχρονη γνώση των σεισμολόγων για την εξέλιξη της μετασεισμικής ακολουθίας θα βοηθήσει εξαιρετικά στον χρονικό ορίζοντα εφαρμογής των μέτρων αυτών. Είναι εξαιρετικά σημαντικό η σύγχρονη γνώση των σχετικών επιστημόνων με τις αντισεισμικές κατασκευές να χρησιμοποιηθεί για την οικοδομική αναβάθμιση με τη χρήση του ΕΑΚ-2000, από πλευράς ασφάλειας και αντοχής των πληγέντων κτιρίων και όχι απλά αυτά να επισκευαστούν στο επίπεδο αντοχής τους στη σεισμική καταπόνηση όπως ήταν πριν από την σεισμική έξαρση.

7. Συμπεράσματα

Η γεωλογική διαδικασία του πλανήτη μας είναι αυτή που τον έκανε "όμορφο" και ιδανικά κατοικήσιμο και διατηρείται σταθερή για δεκάδες εκατομμύρια χρόνια. Οι διαδικασίες αυτές είναι μη ελεγχόμενες από την ανθρώπινη γνώση και τεχνολογία με συνέπεια να **"πρέπει να μάθουμε να ζούμε με τους σεισμούς και να μάθουμε να επιβιώνουμε και να διδασκόμαστε από αυτούς"**. Η ενδελεχής μελέτη του "φονικού" αυτού φαινομένου είναι εξαιρετικής σημασίας για την μείωση των επιπτώσεων στον πληθυσμό και τα πολεοδομικά συγκροτήματα που θα πληγούν μειώνοντας έτσι σημαντικά τις απώλειες ανθρώπινων ζώων αλλά και τις αστοχίες-καταρρεύσεις των τεχνολογικών υποδομών.

Απαραίτητες προϋποθέσεις για τα παραπάνω είναι ο σχεδιασμός και η εφαρμογή συχνά αναθεωρημένων Αντισεισμικών Κανονισμών, η σωστή πραγματοποίηση (πολυκλαδική αντιμετώπιση) μικροζωνικών μελετών, ο σωστός προσεισμικός έλεγχος των δημόσιων και ιδιωτικών υποδομών, η διατήρηση και συνεχής τεχνολογική αναβάθμιση των σεισμολογικών δικτύων (σειсмоγράφοι και επιταχυνσιογράφοι) της χώρας και τέλος η ειδική διαρκής χρηματοδότηση ερευνητικών προγραμμάτων βασικής και εφαρμοσμένης έρευνας στη σεισμολογία και την αντισεισμική μηχανική.

References

- Comninakis P.E. and Papazachos B.C., 1978. *A catalogue of earthquakes in the Mediterranean and surrounding area for the period 1901-1975*, Publ. Geophys. Lab. Univ. Thessaloniki, 5, pp. 96.
- Di Vita, A., 1995. Archaeologists and earthquakes: the case of 365 A.D., *Annali di Geofisica*, 38:971-976.
- Γεωργιάδης Σ.Α., 1904. *Περί σεισμών και κατασκευής αντισεισμικών οικοδομημάτων*, Τυπογρ. Σ. Κουσουλίνου, Αθήνα, σελ. 246.
- Guidoboni E., Comastri A. and Traina G., 1994. *Catalogue of ancient earthquakes in the Mediterranean area up to the 10th century*, SGA Storia Geofisica Ambiente, Bologna, pp. 504
- http://www.reddit.com/r/FutureWhatIf/comments/2fbe0l/what_is_the_likeliest_place_the_worlds_first_100/
- <http://www.isc.ac.uk/images/isclocatedevents.png>
- LePichon X. and Angelier J., 1979. *The Hellenic arc and trench system: a key to the neotectonic evolution of the eastern Mediterranean area*, *Tectonophysics*, 60:1-42.
- LePichon X. and Angelier J., 1981. *The Aegean Sea*, *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, 30:357-372.
- McKenzie D.P., 1978. *Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions*, *Geophys. J.R. astr. Soc.*, 55:217-254.
- Papazachos B.C., 1996. *Large seismic faults in the Hellenic arc*, *Analli di Geofisica*, 39:391-203.
- Papazachos B.C. and Comninakis P.E., 1971. *Geophysical and tectonic features of the Aegean arc*, *J. Geophys. Res.*, 76:8517-8533.
- Papazachos B.C. and Panagiotopoulos D.G., 1993. *Normal faults associated with volcanic activity and deep rupture zones in the southern Aegean volcanic arc*, *Tectonophysics*, 220:301-308.
- Παπαζάχος Β και Παπαζάχου Κ., 2003. *Οι σεισμοί της Ελλάδας*, Ζήτη, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα, σελ. 286.
- Παπαζάχος Κ και Παπαζάχου Β., 2013. *Εισαγωγή στη Γεωφυσική*, 2η έκδ., Ζήτη, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα, σελ. 610.
- Papazachos B.C., Papadimitriou E.E., Kiratzi A.A., Papazachos C.B. and Louvari E.K., 1998. *Fault plane solutions in the Aegean sea and the surrounding area and their tectonic implications*, *Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 39:199-218.
- Papazachos B.C., Mountrakis D.M., Papazachos C.B., Tranos M.D., Karakaisis G.F. and Savvaidis A. S., 2001. *The faults which have caused the known major earthquakes in Greece and surrounding region between the 5th century BC and today*, 2nd National Conference Anti-Seismic Engineering and Technical Seismology, November 28-30 2001, Thessaloniki, Greece, pp. 17-26.
- Papazachos B.C., Dimitriadis S.T., Panagiotopoulos D.G., Papazachos C.B. and Papadimit-

- riou E.E., 2005. *Deep structure and active tectonics of the southern Aegean volcanic arc*, Int. Conf. of The South Aegean Active Volcanic Arc: Present Knowledge and Future Perspectives (SAAVA 2003), 17-20 Sept., Milos, Greece, (ed), Elsevier Book Series: Development in Volcanology, 7:47-64.
- Pirazzoli P.A., Ausseil-Badie J., Girese P., Hadjidaki E. and Arnold M., 1992. *Historical environmental changes at Phalasarna harbor, west Crete*, Geoarchaeology, 7:371-392.
- Rothaus R.M., 1996. *Earthquakes and temples in late antique Corinth*, In: Stiros S., Jones R.E. (eds), Archaeology, Public. IGME and Br. Sch. Athens, Fitch Laboratory Occasional Paper, 7:105-112.
- Thommerete Y., Thommerete J., Laborel J., Montaggioni L.F. and Pirazzoli P.A., 1981. *Late Holocene shoreline changes and seismotectonic displacement in western Crete*, Z. Geomorphol. Suppl., 40:127-149.
- Σπυρόπουλος Π.Ι., 1997. *Χρονικό των σεισμών της Ελλάδος, από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα*, Δωδώνη, Αθήνα-Γιάννενα, Ελλάδα, σελ. 454.
- Stiros S.C., 2001. *The AD 365 Crete earthquake and possible seismic clustering during the fourth to sixth centuries AD in the Eastern Mediterranean: a review of historical and archaeological data*, J. Structural Geology, 23:545-562.
- Zellmer G., Turner S. and Hawkesworth C., 2000. *Timescales of destructive plate margin magmatism: new insights from Santorini, Aegean volcanic arc*, Earth Planet. Scie. Lett., 174:265-281.