

# Αντισεισμικός σχεδιασμός και οργάνωση Καρδίτσας - Σοφάδων

Β' ΜΕΡΟΣ - ΤΕΛΕΥΤΑΙΟ

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Το εφαρμοσμένο ερευνητικό πρόγραμμα «Αντισεισμικός Σχεδιασμός και Οργάνωση Καρδίτσας - Σοφάδων» που εκπονήθηκε για την εκτίμηση, μείωση και διαχείριση του σεισμικού κινδύνου των πολεοδομικών συγκροτημάτων της Καρδίτσας και των Σοφάδων, αποτελεί από επιστημονική άποψη, ένα πολυθεματικό και πολυκλαδικό αντικείμενο στο οποίο συμμετείχαν επιστήμονες και ερευνητές διαφόρων ειδικοτήτων από ιδρύματα και φορείς της χώρας, όπως το Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, το Κέντρο Ερευνών Δημοσίων Έργων, τον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας κλπ.

Οι βασικοί στόχοι του ερευνητικού αυτού προγράμματος ήταν οι ακόλουθοι:

- ➔ Εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου όπως αυτός καθορίζεται τόσο από το σεισμοτεκτονικό δυναμικό της περιοχής όσο και από μια σειρά άλλων, εξίσου σημαντικών, παραμέτρων όπως τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των εδαφών θεμελίωσης, η εκδήλωση δευτερογενών καταστροφικών φαινομένων (ρευστοποιήσεις, καθιζήσεις κλπ.), η τριωτότητα των διαφόρων τυπών κτηρίων και κατασκευών της πόλης, τα πολεοδομικά χαρακτηριστικά και οι κρίσιμες λειτουργίες και δραστηριότητες στις διάφορες χρονικές περιόδους.
- ➔ Κατάρτιση προτάσεων για τις απαραίτητες επεμβάσεις, ρυθμίσεις και περαιτέρω έρευνες που απαιτούνται για τη μείωση του σεισμικού κινδύνου και την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων.
- ➔ Σύνταξη ενός επιχειρησιακού σχεδίου για τη διαχείριση μιας πιθανής καταστροφής από σεισμό και στα τρία επίπεδα πρόληψης, επέμβασης και ανημέρωσης.

Πιο συγκεκριμένα, για τις ανάγκες του προγράμματος καλύφθηκαν τα παρακάτω αντικείμενα που συνοπτικά κατέληξαν στα εξής συμπεράσματα:

### ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Μελετήθηκε και αναλύθηκε το γεωλογικό και νεοτεκτονικό καθεστώς της ευρύτερης περιοχής όπου παρά τις σημαντικές δυσκολίες, όσον αφορά τον ακριβή προσδιορισμό των ρηξιγενών ζωνών που μπορούν να ενεργοποιηθούν και να δημιουργήσουν καταστροφικά γεγονότα, οι έμμεσες μέθοδοι προσέγγισης του προβλήματος καθόρισαν σε γενικές γραμμές μια

αρκετά σαφή εικόνα της περιοχής. Ακολούθως αναφέρονται συνοπτικά τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν διαπιστώθηκαν τα κατωτέρω:

- Η λεκάνη της Δυτικής Θεσσαλίας είναι μια επίπεδη περιοχή που οριοθετείται μορφολογικά από ορεινούς όγκους με μεγάλα υψόμετρα και απότομο ανάγλυφο, κυρίως στα δυτικά και νότια. Η πεδιάδα καλύπτεται από μεταλλικούς σχηματισμούς με μεγάλα πάχη και στο μεγαλύτερο ποσοστό της επιφάνειάς της εμφανίζονται μόνο οι πρόσφατες αποθέσεις του Τεταρτογενούς. Οι γύρω ορεινοί όγκοι δομούνται από Αλπικούς σχηματισμούς της ενότητας Πίνδου, Δυτικής Θεσσαλίας και Ανατολικής Ελλάδας, καθώς επίσης και μολассοί σχηματισμοί.
- Στην περιοχή αναπτύσσονται σημαντικές υδροφορίες. Χαρακτηριστική είναι η ανάπτυξη καρστικών υδροφοριών σε μάγμαρα και ασβεστόλιθους κάτω από τις μεταλλικές αποθέσεις. Επίσης σημαντική είναι η ανάπτυξη υδροφόρου ορίζοντα, του οποίου η στάθμη κατά την υγρά περίοδο ταυτίζεται πολλές φορές με την επιφάνεια του εδάφους και βρίσκεται σε υδραυλική επικοινωνία με τους κύριους άξονες απορροής στην πεδιάδα. Η παρουσία του υδροφόρου ορίζοντα σε πολύ μικρό βάθος δημιουργεί έναν κατ'εξοχή αρνητικό παράγοντα διαμόρφωσης των εδαφοδυναμικών συνθηκών και κατ'επέκταση των εκδηλούμενων καταστροφών.
- Τα γεωφυσικά δεδομένα υποδεικνύουν την ύπαρξη σημαντικών νεοτεκτονικών ρηξιγενών ζωνών κάτω από τις πρόσφατες αποθέσεις. Τα άλματα των ρηγμάτων είναι σε αρκετές περιπτώσεις της τάξης αρκετών εκατοντάδων μέτρων, γεγονός που πιστοποιείται και από τα γεωτρητικά δεδομένα λαμβάνοντας υπόψη τις μεταβολές και τα πάχη των μεταλλικών σχηματισμών.
- Οι κύριες διευθύνσεις των ρηξιγενών ζωνών που έχουν εντοπισθεί με διάφορες μεθοδολογίες είναι ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ, ενώ στα ανατολικά επικρατούν οι διευθύνσεις Α-Δ.
- Η ρηξιγενής ζώνη της Εκκάρδας και η ρηξιγενής ζώνη Αλμυρού - Φαρσάλων έχουν ενεργοποιηθεί σεισμικά κατά τους πρόσφατους ιστορικούς χρόνους και αποτελούν πιθανότατα τις σημαντικότερες ενεργές δομές που απαντώνται στην περιοχή έρευνας.
- Στην περιοχή της Καρδίτσας αναπτύσσονται κάτω από τους μεταλλικούς σχηματισμούς ρήγματα με διευθύνσεις ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ. Ταυτόχρονα η πόλη



Επιστημονικός Υπεύθυνος και Σύμβουλος Μελέτης είναι οι συμπολίτες μας Καθηγητές Δρ. Ε. Α. Λέκκος και Δρ. Δ. Ι. Παπανικολάου

βρίσκεται στην προς τα δυτικά προέκταση της ενεργούς - σεισμικής ρηξιγενούς ζώνης Αλμυρού - Φαρσάλων.

- Η περιοχή των Σοφάδων βρίσκεται στη διασταύρωση των προεκτάσεων των δύο σημαντικών ενεργών - σεισμικών ρηξιγενών ζωνών που αναφέρθηκαν και ειδικότερα της ρηξιγενούς ζώνης της Εκκάρδας και της ρηξιγενούς ζώνης Αλμυρού - Φαρσάλων.
- Η ευρύτερη περιοχή αποτελεί ένα σύνθετο ενεργό νεοτεκτονικό βύθισμα γεγονός που επιβεβαιώνεται από την σημαντική σεισμική δραστηριότητα (ζημίες, θύματα) κατά τους ιστορικούς χρόνους.

### ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Από την έρευνα της σεισμικότητας και της σεισμικής επικινδυνότητας της περιοχής προέκυψαν τα ακόλουθα στοιχεία:

- Από τα διαθέσιμα ιστορικά και ενόργανα σεισμολογικά δεδομένα προκύπτει ότι η εξεταζόμενη περιοχή χαρακτηρίζεται από μέτρια σεισμικότητα. Επισημαίνεται όμως ότι η ευρύτερη περιοχή περιβάλλεται από σεισμικές ζώνες με σχετικά υψηλή σεισμικότητα.
- Σε απόσταση < των 50 km δεν έχει καταγραφεί μέχρι σήμερα σεισμός με  $M > 6.0$ .
- Η μέγιστη μακροσεισμική ένταση που έχει παρατηρηθεί μέχρι σήμερα είναι της τάξης των VII βαθμών της τροποποιημένης κλίμακας Mercalli.
- Από τη στατιστική ανάλυση των σεισμών που έχουν γίνει σε απόσταση 110 km γύρω από την εξεταζόμενη περιοχή, προέκυψαν τα αναμενόμενα μεγέθη σεισμών, με προκαθορισμένη πιθανότητα να μην ξεπεραστούν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους.
- Υπενθυμίζεται ότι για τα συνήθη έργα λαμβάνεται υπόψη ο σεισμός με περίοδο επανάληψης 475 χρόνια (δηλαδή ο σεισμός με πιθανότητα 90% να μην ξεπεραστεί σε 50 χρόνια), ενώ σε έργα μεγάλης σπουδαιότητας λαμβάνεται υπόψη ο σεισμός με περίοδο επανάληψης 759 χρόνια ή 949 χρόνια (δη-



λαδή ο σεισμός με πιθανότητα 90% να μην ξεπεραστεί σε 80 ή 100 χρόνια αντίστοιχα).

- Θεωρείται ότι στην προκει-

όπου υπολογίσθηκαν οι στάθμες των αναμενόμενων εδαφικών σεισμικών επιταχύνσεων, ταχυτήτων και μετατοπίσεων.

- Τα στοιχεία αυτά επεξεργάσθηκαν και προτείνονται, σύμφωνα με τη διεθνή πρακτική, τρεις σεισμοί σχεδιασμού: Ο ΟΒΕ (περίοδος επανάληψης 475 χρόνια, δηλαδή ο σεισμός με πιθανότητα 90% να μην ξεπεραστεί σε 50 χρόνια), ο ΜΣΕ (περίοδος επανάληψης 949 χρόνια, δηλαδή ο σεισμός με πιθανότητα 90% να μην ξεπεραστεί σε 100 χρόνια) και ο ΣΣΕ (περίοδος επανάληψης 10.000 χρόνια, δηλαδή ο σεισμός με πιθανότητα 1% να ξεπεραστεί στη διάρκεια του έργου).

Θεωρείται η πλέον δυσμενής περίπτωση.

- Η δεύτερη αναφέρεται σε σεισμό με ενδιάμεση επικεντρική απόσταση (40km), με  $M_s = 7.0$  και σε εστιακό βάθος 15km.
- Η τρίτη αναφέρεται σε πολύ ισχυρό σεισμό ( $M_s = 8.0$ ), σε μακρινή απόσταση (100km) και σε εστιακό βάθος 30km.
- Ο υπολογισμός των φασμάτων σχεδιασμού έγινε με διάφορες μεθοδολογίες και για διάφορα είδη εδαφών. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται βασίσθηκαν και στους τρεις σεισμούς σχεδιασμού, ΟΒΕ, ΜΣΕ και ΣΣΕ. Προτείνονται τα ελαστικά φάσματα σχεδιασμού που προέκυψαν κατά Ν.Ε.Α.Κ.



μένη περίπτωση ο σεισμός με περίοδο επανάληψης 759 χρόνια, καλύπτει τις ανάγκες των συνηθισμένων έργων. Χωρίς αυτό να είναι δεσμευτικό, οι μελετητές μηχανικοί μπορούν, κατά την κρίση τους, να επιλέξουν συντηρητικότερα ή μικρότερα σεισμικά μεγέθη.

- Βάσει των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι για την εξεταζόμενη περιοχή, οι σεισμοί με περίοδο επανάληψης 475 και 759 χρόνια είναι της τάξης των 7.2 και 7.4 αντίστοιχα.
- Τονίζεται ιδιαίτερα ότι τα μεγέθη έχουν προκύψει από στατιστική ανάλυση των ενόργανων σεισμολογικών δεδομένων, δηλαδή της χρονικής περιόδου 1901-1996. Πιστεύεται ότι το χρονικό διάστημα των 95 χρόνων είναι ικανοποιητικό, ώστε τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης να θεωρούνται αρκετά αξιόπιστα.
- Εκτιμήθηκε η σεισμική επικινδυνότητα μέσα από τη χρήση διαφορετικών μοντέλων σεισμικών πηγών

- Τα αναμενόμενα μεγέθη έχουν ως ακολούθως:  
ΟΒΕ (Operating Basis Earthquake):  
 $A=290\text{cm/sec}^2$   
 $V=25\text{cm/sec}$   $D=10.0\text{cm}$   
ΜΣΕ (Maximum Critical Earthquake)  
 $A=340\text{cm/sec}^2$   
 $V=29\text{cm/sec}$   $D=12.0\text{cm}$   
ΣΣΕ (Safe Shutdown Earthquake)  
 $A=580\text{cm/sec}^2$   
 $V=50\text{cm/sec}$   $D=20.0\text{cm}$
- Με βάση τα στοιχεία της σεισμικότητας και της σπουδαιότητας των έργων, έγινε η σύνθεση των αναμενόμενων χρονικών εξελίξεων (συνθετικά επιταχυνσιογραφήματα) και των φασμάτων απόκρισής τους για το σεισμικό υπόβαθρο της περιοχής (ταχύτητα εγκαρσίων κυμάτων  $V_s = 700\text{m/sec}$ ), για τρεις χαρακτηριστικές περιπτώσεις.
- Η πρώτη αναφέρεται σε κοντινό πεδίο (near field), δηλαδή να γίνει σεισμός με επιφάνεια-εστιακό μέγεθος  $M_s = 6.5$ , σε επικεντρική απόσταση 10 km από την εξεταζόμενη περιοχή, και σε εστιακό βάθος 15km.

Τέλος έγινε υπολογισμός του συντελεστή πλευρικών δυνάμεων, με βάση τις μέγιστες τιμές της οριζόντιας εδαφικής επιταχύνσης για τους τρεις σεισμούς σχεδιασμού, ΟΒΕ, ΜΣΕ και ΣΣΕ.

### ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Με βάση τα στοιχεία της λεπτομερούς γεωτεχνικής έρευνας που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή ενδιαφέροντος από το Τμήμα Γεωτεχνικής Μηχανικής του ΚΕΔΕ προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Οι εδαφικοί σχηματισμοί που ερευνήθηκαν, μέχρι του βάθους των 70 m περίπου στην Καρδίτσα και των 40 m στους Σοφάδες ανήκουν στις αλλουβιακές αποθέσεις, που συνίστανται κυρίως από ισχνές ή παχιές αργίλους με άμμο.
- Κατά την περίοδο εκτέλεσης των ερευνών (Νοέμβριος 1997 - Ιανουάριος 1998) η στάθμη του υπογείου νερού κυμαίνονταν στην Καρδίτσα από 0.70 - 7.00 m και στους Σοφάδες από 3.10 - 4.50 m βάθος.