

## 6.

### ΜΕΡΙΚΕΣ ΣΚΕΨΕΙΣ από την ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΤΙΡΙΩΝ

Το παρόν κεφάλαιο δεν αποσκοπεί στην λεπτομερή ανάλυση και ερμηνεία της δομητικής συμπεριφοράς των κτιρίων της νήσου στον σεισμό : απλώς μέσω των παρατηρήσεων των βλαβών ή μή των κτιρίων της πόλης επιχειρείται η έμμεση αιτιολόγηση της έντασης και του συχνотικού περιεχομένου του καταγραφέντος επιταχυν-- σιογραφήματος.

Πράγματι, η κατά γενική ομολογίαν καλή συμπεριφορά των δομημάτων της πόλης φαίνεται να έρχεται σε αντίθεση με τον ισχυρότατο κραδασμό στο Νοσοκομείο. Πως είναι δυνατόν να είχαμε τόσο περιορισμένες βλάβες όταν η φασματική επιτάχυνση σε ιδιοπεριόδους  $T \approx 0.50 \text{ sec}$  έφθασε ή και ενδεχομένως ξεπέρασε το  $2g$  (για  $\xi = 5\%$ ).

Βασιζόμενοι στις παρατηρήσεις μας, αλλά και στις αναλύσεις συγκεκριμένων "ιστορικών" και "σύγχρονων" δομημάτων από την καθηγήτρια στο ΕΜΠ κα Ελλη Βιντζηλαίου, προσφέρουμε την ακόλουθη απάντηση στο προαναφερθέν ερώτημα :

Τα δομήματα της Λευκάδας ήταν υπολογισμένα με σεισμικών συντελεστή  $\varepsilon = 0.16$ , βάσει του αντισεισμικού κανονισμού του 1959. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε συντελεστή  $\Phi_d \approx 0.28g$  σε όρους οριακού φορτίου—τιμή αρκετά υψηλή (η υψηλότερη στην ελληνική επικράτεια). Σε αντιδιαστολή : στα κτίρια της Αθήνας, για παράδειγμα, η αντίστοιχη τιμή ήταν  $\Phi_d = 0.07g$ .

Τα περισσότερα "ιστορικά" δομήματα χαρακτηρίζονται από πολύ μικρές ιδιοπεριόδους. Κατά Βιντζηλαίου (2003) η ιδιοπερίοδος των διορόφων κτιρίων ήταν της τάξεως των  $0.20 \text{ sec}$  — τιμή πολύ μικρή ώστε τα κτίρια αυτά να ανέπτυξαν σχετικώς μικρές φασματικές επιταχύνσεις. Σε συνδυασμό με την

συνήθως-ξύλινη στέγη η οποία έχει πολύ μικρή μάζα, οι επιβληθείσες απ' τον σεισμό τέμνουσες δυνάμεις ήταν πολύ μικρές για να προκαλέσουν βλάβες.

Αντίθετα, όπου υπήρχαν σύγχρονα κτίρια Ω.Σ. με αρκετούς ορόφους, οπότε και η ιδιοπερίοδος ήταν μεγάλη και οι μάζες σημαντικές, οι βλάβες ήταν μεγάλες. Παράδειγμα το 5όροφο κτίριο "Γράψα" κοντά στο Λιμάνι της Πόλης.

Τέλος σημειώνεται ότι, σύμφωνα με το κεφάλαιο 5, ο σεισμικός κραδασμός δεν ήταν παντού τόσο ισχυρός (σε ένταση και φασματικό περιεχόμενο) όσο η καταγραφή στο Νοσοκομείο. Ενδέχεται λοιπόν σε αρκετές περιοχές να είχαμε μικρότερη ένταση, γεγονός που θα επηρέαζε θετικά την στατιστική των βλαβών και την περιέουσα αντίληψη περί συμπεριφοράς κτιρίων.

Τα επισυναπτόμενα Σχήματα 6.1–6.9 προσφέρουν μια αδρή τεκμηρίωση των ανωτέρω. Ιδίως από τα Σχήματα 6.3 και 6.4 γίνονται φανερά μερικά από τα αίτια της καλής συμπεριφοράς των παραδοσιακών διωρόφων της Λευκάδας.

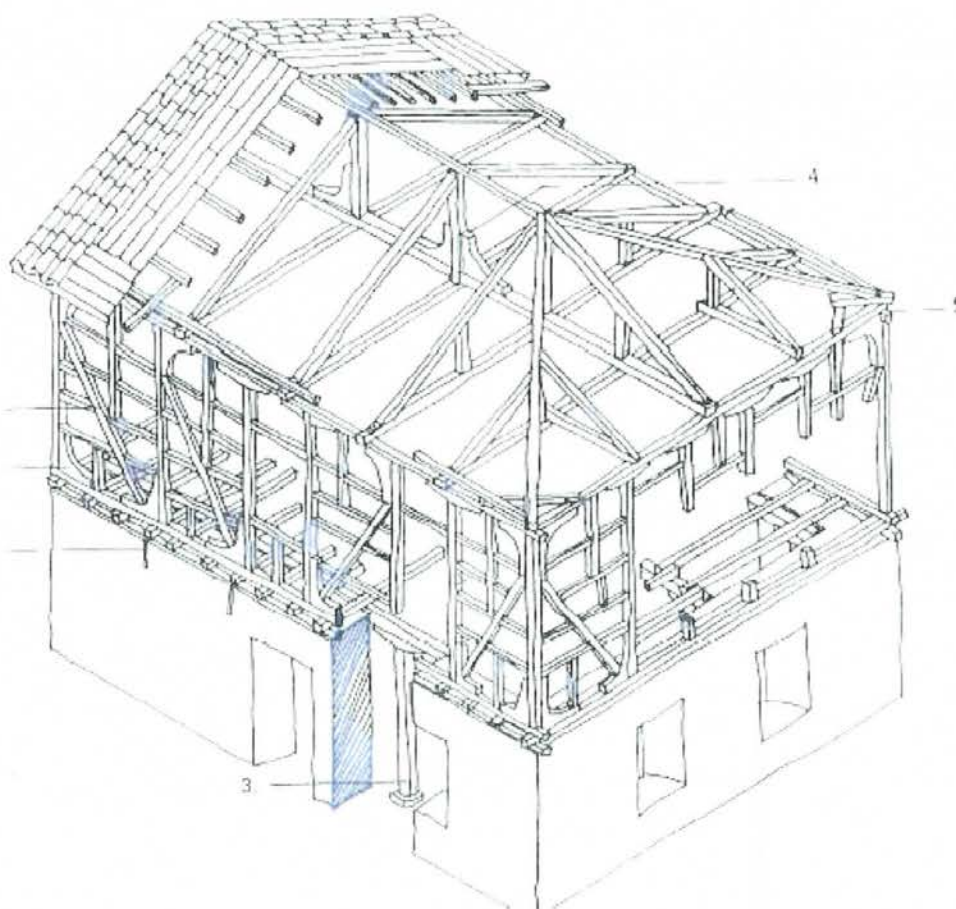


**Σχήμα 6.1** Τυπικά κτίρια 1.5 - 2 ορόφων στην πόλη της Λευκάδας τα οποία δεν υπέστησαν σοβαρές βλάβες

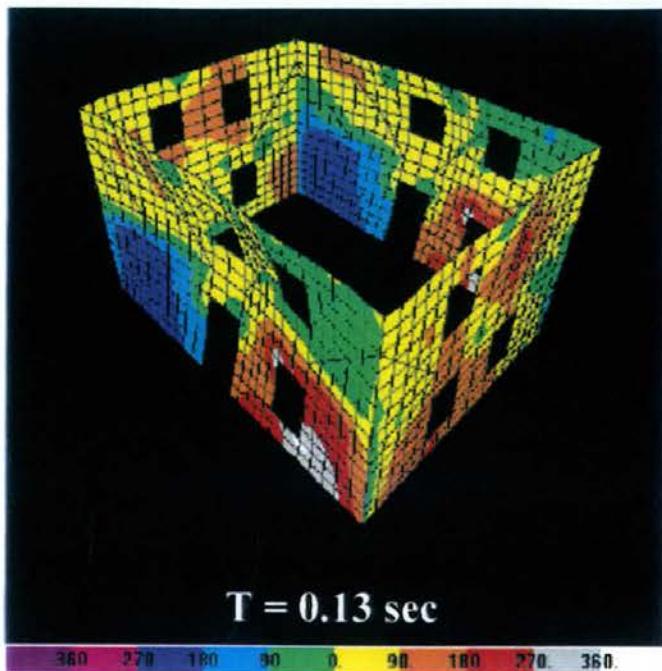




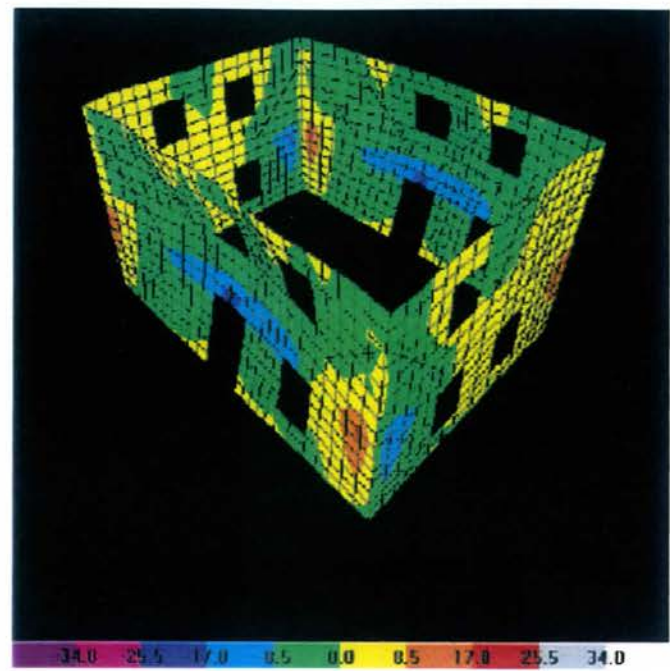
**Σχήμα 6.2** Τυπικές Βλάβες σε Παραδοσιακή Κατασκευή της Λευκάδας



**Σχήμα 6.3** Το τυπικό παραδοσιακό στατικό σύστημα της Λευκάδας  
[ Τουλιάτος & Γαντές, 1995]

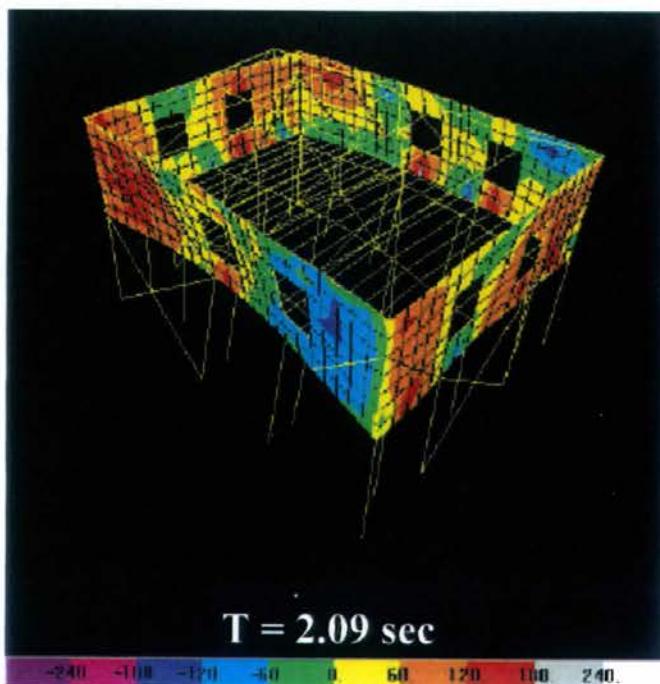


Τάσεις (kPa)

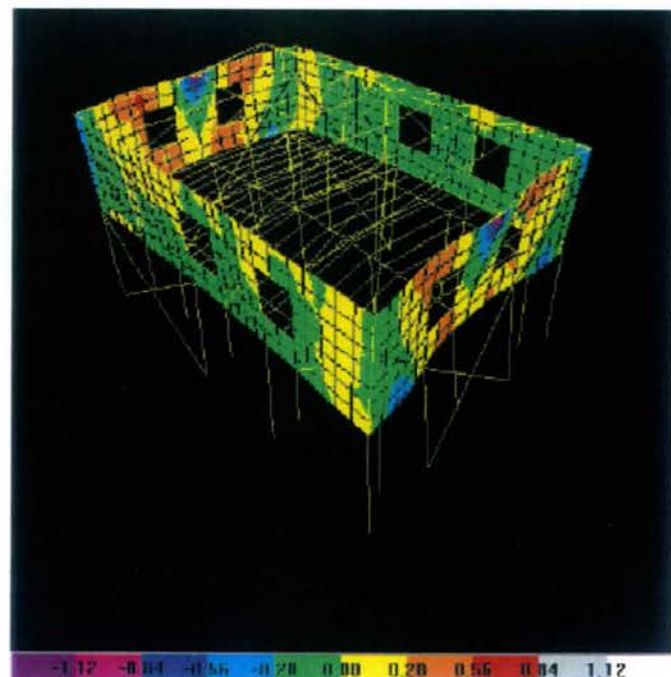


Εκτός Επιπέδου Ροπές (kNm)

(α) Πλήρες Κτίριο



Τάσεις (kPa)



Εκτός Επιπέδου Ροπές (kNm)

(β) Χωρίς Τοιχοποιία Ισογείου

**Σχήμα 6.4** Ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία τυπικού παραδοσιακού κτιρίου [προσφορά της καθ. Ε. Βιντζηλαίου από την δημοσίευση : (Βιντζηλαίου, Ζέρης, & Ρεπαπής, 2003)]





**Σχήμα 6.5** Τριώροφο κτίριο με σοφίτα το οποίο κατέρρευσε μερικώς. Πρόκειται για την μοναδική κατάρρευση στον σεισμό της Λευκάδας (βλ. χάρτη – σημείο 17).





(α) Πίσω τμήμα του κτιρίου



(β) Έμπροσθεν τμήμα του κτιρίου

**Σχήμα 6.6** (α) Το πίσω μέρος του κτιρίου (επάνω) χάρη στην ύπαρξη των τοίχων δεν κατέρρευσε. (β) Αντιθέτως, το έμπροσθεν τμήμα κατέρρευσε ολοσχερώς (αστοχία τύπου κοντού υποστυλώματος).





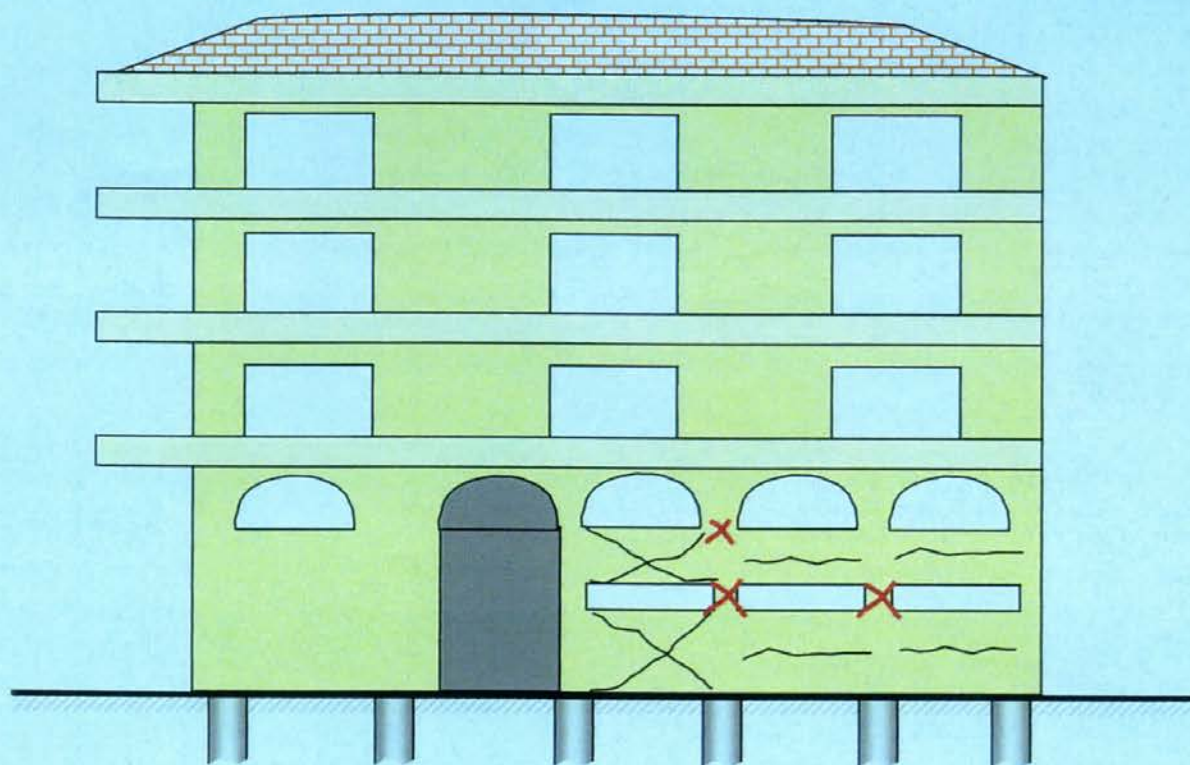
**Σχήμα 6.7** Πενταόροφο κτίριο "Γράψα" θεμελιωμένο με πασσάλους το οποίο υπέστη ιδιαίτερα σοβαρές βλάβες : διατμητικές αστοχίες υποστυλωμάτων τύπου "κοντού υποστυλώματος" λόγω της υπάρξεως φεγγίτη (βλ. χάρτη – σημείο 6).



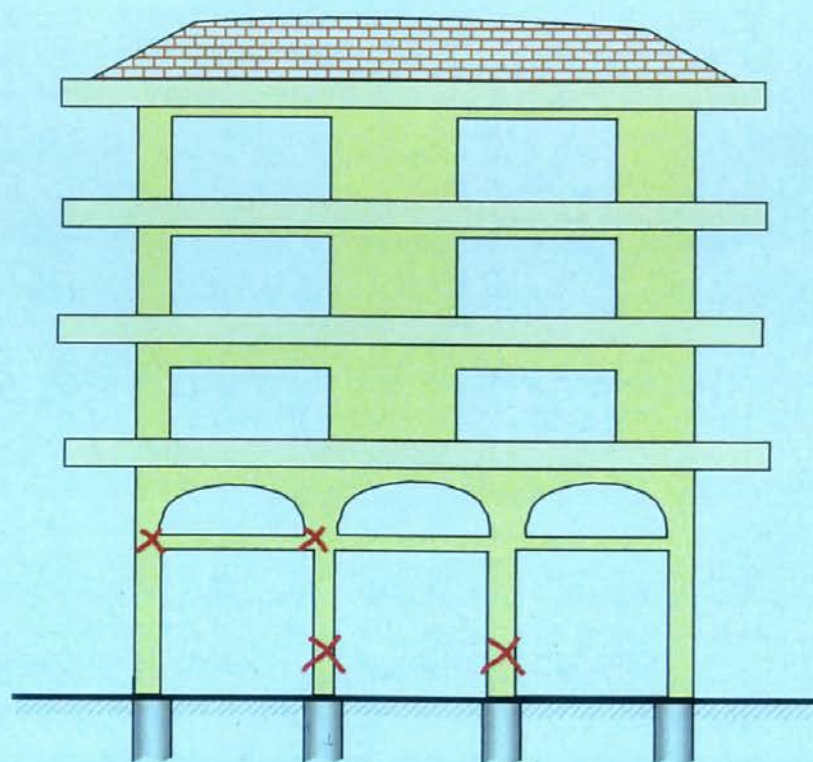


**Σχήμα 6.8** Πενταόροφο κτίριο “Γράψα” : αστοχίες υποστυλωμάτων στο έμπροσθεν μέρος του κτιρίου. Η εμπορική χρήση του ισογείου και η απουσία τοίχων μετέτρεψε το έμπροσθεν μέρος του ισογείου σε Pilotis.





(α) Πλάγια όψη του κτιρίου



(β) Εμπρόσθια όψη του κτιρίου

**Σχήμα 6.9** Πενταόροφο κτίριο “Γράψα” : σχηματική παράσταση των παρατηρηθεισών βλαβών (α) στην πλάγια όψη, και (β) στην εμπρόσθια όψη του κτιρίου



## 7.

### ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Όταν χαλαρές και υδατικώς-κορεσμένες ιλυοαμμώδεις εδαφικές στρώσεις υποβάλλονται σε ανακυκλική διάτμηση κατά την διέλευση των σεισμικών κυμάτων, αντιδρούν με ανάπτυξη όχι μόνον γωνιακής παραμόρφωσης, αλλά και πρόσθετης υδατικής πίεσης ("υπερ-πίεσης") στους εδαφικούς πόρους. Η "δηλητηριώδης" αυτή υπερ-πίεση συντελεί :

- (i) σε απομείωση της διατμητικής αντοχής του εδαφικού υλικού, η οποία ενδέχεται να λάβει δραματικές διαστάσεις, μέχρι σχεδόν-μηδενισμού της αντοχής ("ρευστοποίηση"),
- (ii) σε απότομη διαφυγή του υπο-πίεσιν "ρευστού" εδαφικού υλικού, δηλαδή του "μίγματος" εδαφικών κόκκων και ύδατος προς την ελεύθερη επιφάνεια — η διαφυγή αυτή έχει την μορφή εκτίναξης του μίγματος μέσα από ρωγμές που δημιουργούνται στο υπερκείμενο στρώμα, και σχηματισμό στην επιφάνεια "λευκών κώνων" ιλυοαμμώδους συστάσεως, υπό την προϋπόθεση ότι το βάθος της ρευστοποιημένης εδαφικής στρώσης δεν ξεπερνά τα 2 ή 3 μέτρα,
- (iii) σε καθίζηση της ελεύθερης επιφάνειας ( ή της εδραζόμενης σ' αυτήν ανωδομής) λόγω μετασεισμικής συνίζησης του ρευστοποιηθέντος εδαφικού στρώματος.

Ενώ οι συνέπειες του φαινομένου (i) είναι οι πιό επώδυνες για τις κατασκευές του μηχανικού ή της φύσης (αστοχία θεμελίου, τοίχου αντιστηρίξεως, φυσικού πρανούς, εγκαβωτισμένης σωληνωτής κατασκευής, κλπ.), τα φαινόμενα (ii) και (iii) είναι οι συνηθέστεροι απλοί μάρτυρες της δημιουργίας ρευστοποιήσεως σε μικρά βάθη (βλ. Ishihara 1985, Γκαζέτας 2002).

Στο υπέδαφος της πόλης της Λευκάδας επικρατούν ως επί το πλείστον ιλυο-αργιλώδεις στρώσεις — υλικά προβληματικά μόνον στην συνήθη στατική επιπόνηση που επιβάλλουν οι κατασκευές μας, αλλά "παραδόξως" ανθεκτικό σε δυναμική εξαίτηση, τουλάχιστον εφόσον η έντασή της δεν είναι "υπερβολικά" ισχυρή. Παρόλ' αυτά εντοπίστηκαν ήδη ευάριθμες περιπτώσεις ρευστοποιήσεως, μέσα κι έξω απ' την πόλη. Η πρώτη (αδρή οπτική) αναγνώριση του φαινομένου βασίζεται στην ανεύρεση στην επιφάνεια του εδάφους ιλυοαμμώδους υλικού (υγρού αμέσως μετά το σεισμικό συμβάν, στεγνού αργότερα). Εάν η μόνη δυνατή πηγή του υλικού αυτού αποδειχθεί ότι είναι το υπέδαφος, η υπόθεση ότι τούτο προήλθε από την εκτίναξη μίγματος εδαφικών κόκκων-ύδατος πόρων, σύμφωνα με την προαναφερθείσα συνέπεια (ii), είναι συνήθως η πιό εύλογη υπόθεση.

Χαρακτηριστικές περιπτώσεις εκδηλώσεις ρευστοποίησης τύπου (ii) δείχνονται στις Φωτογραφίες 7.1 – 7.4. Συγκεκριμένα :

- Οι φωτογραφίες 7.1 και 7.2 προέρχονται από την αυλή της Δημοτικής Βιβλιοθήκης Λευκάδας, μόλις 200 m από την θέση του επιταχυνσιογράφου του ΙΤΣΑΚ, στο Νοσοκομείο, στο κέντρο ακριβώς της παλιάς πόλης. Ο πράσινος φυσικός τάπητας της αυλής έχει σπλωθεί από μικρού πάχους αμμοιλυώδες κάλυμμα σε πέντ' έξη διαφορετικές θέσεις — ένδειξη ή, τουλάχιστον, "μερικής" ρευστοποιήσεως, ή το πολύ-πολύ "πλήρους" ρευστοποιήσεως σε περιορισμένη όμως έκταση και μικρό βάθος (της τάξεως του μέτρου). Μεγαλύτερο βάθος δεν φαίνεται προς το παρόν πιθανό, εφόσον το εδαφικό προφίλ δεν βρεθεί να είναι απροσδόκητα διαφορετικό από τα μέχρι σήμερα γνωστά εδαφικά προφίλ της γύρω περιοχής (π.χ. στο Νοσοκομείο και στο Πολιτιστικό Κέντρο]. Είναι εμφανείς και οι ρωγμές στο εδαφικό κάλυμμα μέσω των οποίων προφανώς έγινε η εκτίναξη του υδατικού μείγματος.
- Οι Φωτογραφίες 7.3 και 7.4 είναι από την μικρή παραλία (επονομαζόμενη "αμμόγλωσσα") στον Φάρο του Φρουρίου Αγ. Μαύρας, δίπλα σχεδόν στην κινητή γέφυρα που συνδέει το νησί με την Στερεά Ελλάδα. Τα φαινόμενα είναι παρόμοια με τα συμβάντα στην αυλή της Βιβλιοθήκης. Εάν ευλόγως



υποτεθεί ότι το εδαφικό προφίλ είναι παραπλήσιο με το εδαφικό προφίλ στην γειτονική κινητή γέφυρα, η ρευστοποίηση θα μπορούσε να δικαιολογηθεί πλήρως : τουλάχιστον δύο χαλαρές αμμώδεις στρώσεις κυριαρχούν στον εδαφικό σχηματισμό μέχρι το τελικό βάθος (20 m).

- Άλλες παρόμοιες εκδηλώσεις ρευστοποιήσεως έχουν αναφερθεί στις περιοχές : Πευκούλια, Νυδρί, Λυγιά, και Βασιλική.

Στις ανωτέρω περιπτώσεις δεν είναι καθόλου εμφανείς τυχόν άλλες συνέπειες της ρευστοποίησης [π.χ., τύπου (i) και (iii) κατά τα ανωτέρω]. Αντίθετα στα περιστατικά των φωτογραφιών 7.5–7.9 οι συνέπειες : της μερικής απώλειας διατμητικής αντοχής (i), της εκτίναξης (ii), και της μετασεισμικής συνίζησης (iii), είναι κατά το μάλλον-ή-ήττον προφανείς. Συγκεκριμένα :

- Οι φωτογραφίες 7.5 και 7.6 δείχνουν την σχετική ως προς τον περιβάλλοντα χώρο καθίζηση κτιρίου στην οδό Ηρώων Πολυτεχνείου, μόλις 100 m απ' την εσωτερική γωνία του λιμένος Λευκάδας. Το εκτιναχθέν ιλυοαμμο-χαλικώδες υλικό έχει (ως αναμένεται) συγκεντρωθεί στα βαθύτερα σημεία : στα όρια κτιρίου-πεζοδρομίου και πεζοδρομίου-δρόμου. Προσέξτε τις ρωγμές στο πεζοδρόμιο από όπου κατά πάσαν πιθανότητα διέφυγε το υπό-πίεσιν ρευστοποιηθέν (μερικώς ή πλήρως) έδαφος. Από την σύγκριση ενός παλιού και ενός νέου χάρτη της πόλης προκύπτει ότι το κτίριο θεμελιώθηκε επί επιχώσεως. Θεωρούμε λοιπόν ως εύλογη την παραδοχή ότι η ρευστοποίηση έγινε σε υλικό της επίχωσης.
- Οι φωτογραφίες 7.7 και 7.8 από το λιμάνι της Λευκάδας δείχνουν το αναδυθέν αμμοϊλυώδες υλικό σε διάφορες θέσεις της επίχωσης η οποία εξικνείται σε συνολικό πλάτος 20 m περίπου, από την μέση του δρόμου, όπου και το όριο της παλιάς φυσικής ακτογραμμής, μέχρι τον κρηπιδότοιχο. Ένα ποσοστό από την προκύψασα βύθιση της επιφάνειας της επίχωσης (μέγιστη διαφορική τιμή 20 cm περίπου) οφείλεται καί στην διαφυγή του υλικού αυτού. (Περισσότερες πληροφορίες δίδονται παρακάτω, στην περιγραφή των αστοχιών στους λιμένες.)

- Στην νεο-κατασκευασθείσα Μαρίνα Αναψυχής της Λευκάδας, παρά την μικρή ποσότητα ιλυοαμμώδους υλικού που ανευρέθηκε στην επιφάνεια, υπάρχει έμμεση ένδειξη (ή έστω υποψία) μερικής τουλάχιστον ρευστοποίησης : φαινόμενα "οριζόντιας εξάπλωσης" (lateral spreading) και εδαφικής συνίζησης. Η σχετική συζήτηση αναβάλλεται για παρακάτω.

**Συμπερασματικά :** Η εκτεταμένη παρουσία αργίλων στο υπέδαφος των περισσότερων οικισμών της νήσου συνέβαλε στην ελαχιστοποίηση των θέσεων όπου ρευστοποίηση ήταν κατ' αρχήν δυνατή. Η ύπαρξη όμως ακόμη και μικρού-πάχους χαλαρών ιλυοαμμωδών στρώσεων στις θαλάσσιες επιχώσεις ή στο φυσικό έδαφος, σε πολύ μικρό βάθος απ' την επιφάνεια, οδήγησε σε ρευστοποίηση (μικρής πάντως κλίμακας). Οι συνέπειες της ρευστοποίησης στις θέσεις που εξετάσαμε δεν υπήρξαν βεβαίως θεαματικές για τις παρακείμενες κατασκευές, με εξαίρεση την περίπτωση "οριζόντιας εξάπλωσης" στην Μαρίνα.



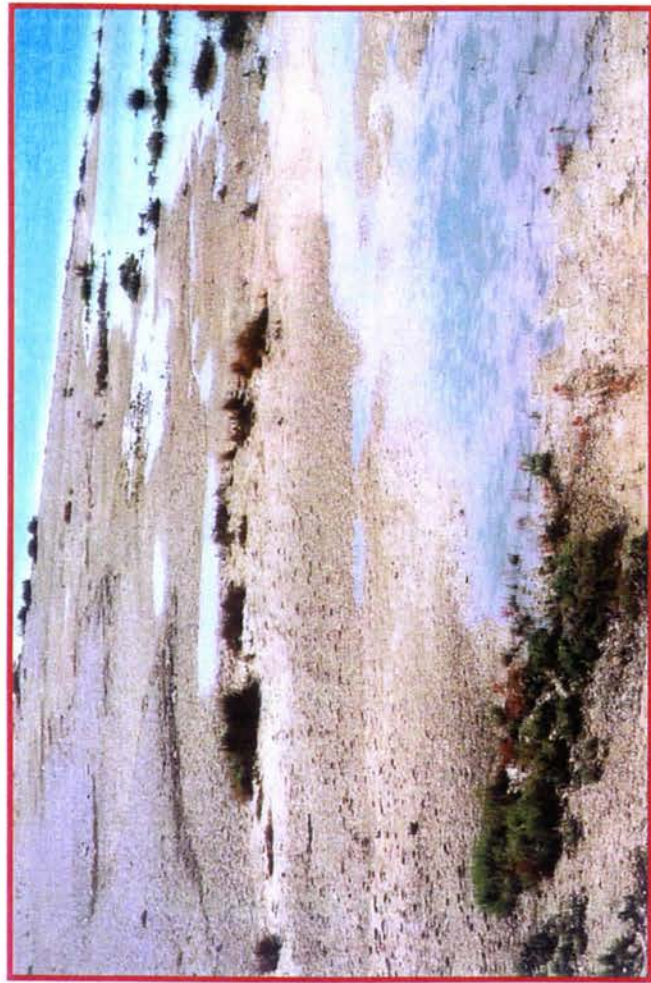


**Σχήματα 7.1 και 7.2** Επιφανειακή εμφάνιση της ρευστοποίησης στην αυλή της Δημοτικής Βιβλιοθήκης



Σχήμα 7.3 Πανοραμική άποψη της ρευστοποιηθείσας περιοχής στην Αμμόγλωσσα





**Σχήμα 7.4** Η επιφανειακή εκδήλωση ρευστοποίησης στην περιοχή στην Αμμόγlossας





Σχήματα 7.5 και 7.6 Εμφάνιση ρευστοποιημένου υλικού και καθίζηση κτιρίου



Σχήμα 7.7 Ρευστοποιηθείσα αμμο-ιλύς στον Λιμένα Λευκάδας



Σχήμα 7.8 Ρευστοποιηθείσα αμμο-ιλύς και καθιζήσεις στον Λιμένα Λευκάδας



## 8.

### ΟΙ ΒΛΑΒΕΣ στα ΛΙΜΑΝΙΑ και τις ΜΑΡΙΝΕΣ της ΛΕΥΚΑΔΑΣ

#### 8.1 Εισαγωγή

Ο σεισμός της 14ης Αυγούστου 2003, μεγέθους  $M_w \approx 6.4$  σε απόσταση 14 km απ' την πόλη της Λευκάδας (Φωτο. 1), θα μείνει στην σεισμική ιστορία της χώρας μας και για τις πολυάριθμες βλάβες που προκάλεσε σε όλα σχεδόν τα λιμάνια της νήσου. Σε αντίθεση μάλιστα με την ενγένει θαυμαστή απόκριση των κτιριακών κατασκευών και τον ελάχιστο αριθμό τραυματιών ! Τούτο όμως δεν πρέπει να θεωρηθεί και καμιά μεγάλη έκπληξη : η παγκόσμια εμπειρία έχει σαφώς δείξει πόσο ευάλωτοι είναι οι πάσης φύσεως λιμενικοί κρηπιδότοιχοι και οι συναφείς κατασκευές κι επιχώσεις σε ισχυρή σεισμική δόνηση. Πρόσφατο παράδειγμα, η κολοσσιαία-εκτάσεως καταστροφή 195 κρηπιδοτοίχων στο Κόμπε της Ιαπωνίας, στον σεισμό του 1995 (π.χ. Γκαζέτας 1996). Στην Ελλάδα βλάβες στα λιμάνια έχουν παρατηρηθεί σε όλους σχεδόν τους πρόσφατους σεισμούς που έπληξαν παραθαλάσσιες πόλεις :

- λιμένας Κιάτου στους σεισμούς  $M_s$  6.6 και  $M_s$  6.4 των Αλκυονίδων του 1981,
- λιμένας Καλαμάτας στον ομώνυμο σεισμό  $M_s$  6.2 του 1986,
- λιμένας Κυλλήνης στον σεισμό του Βαρθολομίου  $M_s$  5.6 του 1988,
- προβλήτα Αιγίου στον ομώνυμο σεισμό  $M_s$  6.2 του 1995.

Από τους κάπως παλιότερους σεισμούς, αξιομνημόνευτη είναι η καταστροφή του λιμένα Αργοστολίου στον διαβόητο σεισμό μεγέθους  $M_s = 7.3$  της Κεφαλονιάς της 12ης Αυγούστου 1953.



Εάν υπάρχει κάποιο στοιχείο έκπληξης στις βλάβες των λιμανιών της Λευκάδας αυτό πηγάζει από το *μικρό ύψος* των κρηπιδοτοίχων και επιχώσεων — μόλις της τάξεως των 2–4 μέτρων. Το παρόν άρθρο τεκμηριώνει και υποδεικνύει πιθανούς μηχανισμούς των "αστοχιών". Επιπλέον, με μία σειρά απλών αναλύσεων δείχνει (βλ. §3) ότι τα χαρακτηριστικά της σεισμικής δόνησης αποτελούν το κυριότερο φυσικό αίτιο των "αστοχιών", διότι αποδεικνύονται δυσμενέστατα *καί για ένα ολισθαίνον σύστημα (όπως ο κρηπιδότοιχος) καί για ένα χαλαρό επίχωμα (όπως στην ουσία είναι οι θαλάσσιες επιχωματώσεις)* — δηλαδή τα δύο συστατικά στοιχεία ενός λιμενικού έργου.

## **8.2. Περιγραφή – Τεκμηρίωση Λιμενικών Ζημιών**

Το κείμενο που ακολουθεί περιγράφει τις ζημιές και αστοχίες κάθε ενός λιμένα.

### **8.2.1 Το Λιμάνι της Λευκάδας**

Ζημιές παρατηρήθηκαν σε όλο το μήκος της προκυμαίας. Διακρίνονται τρεις περιοχές με διαφορετικού τύπου συμπτώματα βλάβης : (i) το νότιο τμήμα του λιμένος (μήκους περίπου 400 m), όπου οι βλάβες είναι σημαντικές, εκτεινόμενες σε απόσταση 20 m απ' το κρηπίδωμα, και περιλαμβάνουν : κατακόρυφη διαφορική βύθιση, οριζόντια μετακίνηση, ρευστοποίηση· (ii) το κεντρικό τμήμα του λιμένος όπου (σε μήκος  $\approx 100$  m) η ζημιά έχει την μορφή βύθισης του εδάφους εντός ζώνης 4 m από τον κρηπιδότοιχο (μέγιστη διαφορική βύθιση 30 cm) και (iii) το βόρειο τμήμα της προκυμαίας, όπου οι ζημιές περιορίστηκαν στην ρηγμάτωση (πλάτους 10 cm) στο έδαφος αμέσως πίσω από την αντιστηριζόμενη επίχωση και την διαφορική βύθιση 10 cm στο μέσον της πλακόστρωτης επίχωσης.

Στο κείμενο που ακολουθεί αναφερόμαστε *μόνον* στο πρώτο τμήμα, δηλαδή το νότιο τμήμα του λιμένος Λευκάδας, το οποίο υπέστη και τις σημαντικότερες ζημιές.

Οι **Φωτογραφίες 2–5** δείχνουν την ζημιά του τμήματος αυτού, όπως τελικώς εκδηλώνεται στην επιφάνεια, από διάφορες οπτικές γωνίες. Στο Σχ. 8.1 γίνεται

μιά πρώτη προσπάθεια ερμηνείας των αντιστοιχών εισβάθος παραμορφώσεων και των διαφορικών μετατοπίσεων του κρηπιδοτοίχου, της επίχωσης, και των γειτονικών διορόφων δομημάτων του παραλιακού τετραγώνου. Παρατηρούμε :

- την οριζόντια μετατόπιση του κρηπιδοτοίχου, της τάξεως των 10 cm, και την περιστροφή του προς τα έξω.
- την βύθιση της πλακόστρωτης επίχωσης με τοπικώς μέγιστη τιμή 30 cm και την συνακόλουθη περιστροφή (μέχρι και πλήρους ανατροπής) των στύλων φωτισμού προς την ξηρά
- το εκτιναχθέν ρευστοποιημένο αμμοϊλυώδες υλικό, πιθανή προέλευση του οποίου είναι η επίχωση
- την μικρότερη μετατόπιση του παλιού μικρού κρηπιδοτοίχου και το συνεπαγόμενο άνοιγμα σχεδόν κατακόρυφης ρωγμής στο μέσον περίπου της παραλιακής οδού
- την καθίζηση 15 cm της πρώτης σειράς διορόφων δομημάτων και τις μικρότερες καθιζήσεις της δεύτερης και τρίτης σειράς

Προσθέτουμε και την περιστροφή περί οριζόντιον άξονα των δίδυμων φαναριών ενός αριθμού στύλων φωτισμού.

### **8.2.2 Η Μαρίνα Αναψυχής της Λευκάδας**

Στις 14 Αυγούστου η κατασκευή της Μαρίνας Αναψυχής της Λευκάδας (με εκσκαφή και επίχωση εν ξηρώ στην ρηχή λιμνοθάλασσα) λίγα μέτρα από το λιμάνι της Λευκάδας, μόλις είχε ολοκληρωθεί. Οι πρώτοι ένοικοι των 20 περίπου κτιρίων καταστημάτων, γραφείων, ξενοδοχείου, κλπ. είχαν αρχίσει να εγκαθίστανται όταν έγινε ο σεισμός που ίσως ανέτρεψε τα σχέδιά τους. Οι ζημιές (λόγω κυρίως εδαφικών μετατοπίσεων) ήταν από επιστημονική σκοπιά οι πιο σημαντικές ίσως των λιμανιών της Λευκάδας (αν και επ' ουδενί λόγω καταστροφικές). Ο χάρτης της Μαρίνας με τις θέσεις ενδιαφέροντος δίδεται στα Σχ. 8.2 .

Ο κρηπιδότοιχος της Μαρίνας, τετραγωνικής διατομής με ύψος και πλάτος 5.00 m, αποτελείται από πρόχυτους συμπαγείς τεχνητούς ογκολίθους, εδραζομένους στα -3.80 m επί (τεχνητής) λιθορριπής πάχους 3.20 m. Πρόκειται για μία "κλασσική" λύση, με αρκετά συντηρητική μάλιστα διατομή κρηπιδοτοίχου. Τα δομήματα της Μαρίνας (μέχρι 2 ορόφων) είναι θεμελιωμένα με πασσάλους, μήκους 15-20 μέτρων.

Ισως να μὴν περίμενε κανείς προβλήματα σ' έναν σεισμό που λίγες μόνον βλάβες προξένησε στα κτίρια της πόλης. Κι όμως, όπως φανερώνουν οι Φωτογραφίες 6 - 10, συναντά εδώ κανείς τους περισσότερους τύπους βλαβών εδαφικής προελεύσεως που θα μπορούσαν να συμβούν σε μια λιμενική ζώνη. Συγκεκριμένα (με αναφορά στον χάρτη του Σχ. 8.2) παρατηρούμε την εκδήλωση των ακόλουθων φαινομένων :

(α) "Οριζόντια εξάπλωση" \* στην γωνία "α", η οποία εκτείνεται πίσω από τις άκρες του μικρού ξενοδοχείου μέχρι τους δύο καθέτους-μεταξύ τους κρηπιδοτοίχους, περικλείει δε την περιοχή της (αχρησιμοποίητης ακόμη) πισίνας. Το φαινόμενο εκδηλώνεται μέσω :

- επιφανειακών ρηγματώσεων του εδάφους, διατεταγμένων σε σειρές χονδροειδώς-κυκλικού σχήματος, περίπου παράλληλες μεταξύ τους. Το κέντρο τους βρίσκεται στην κατεύθυνση της σχεδόν οριζόντιας μετακίνησης, δηλαδή στην διχοτόμο περίπου της γωνίας "α". Η απόσταση από την γωνία των μακρινότερων εδαφικών ρωγμών είναι της τάξεως των 25 m ,
- οριζόντιας μετακίνησης 10-20 cm και ελαφράς περιστροφής των κρηπιδοτοίχων,
- ρηγματώσεων των μικρών τοίχων στην «περίμετρο» τής προφανώς μετακινηθείσης εδαφικής μάζας, και αποκόλληση του εδάφους από την βάση τού (θεμελιωμένου σε πασσάλους) ξενοδοχείου .

---

\* απόδοση του σχετικώς νεόκοπου διεθνούς όρου "lateral spreading".



Πιθανολογείται ότι το φαινόμενο οφείλεται σε ολίσθηση όλης της εδαφικής μάζας πάνω σε μία οριζόντια ή ελαφρώς-κεκλιμένη εδαφική επιφάνεια πολύ μικρής διατμητικής αντοχής. Εναυσμα της ολίσθησης : η προς τα έξω μετακίνηση του κρηπιδοτοίχου, με ταυτόχρονη ρευστοποίηση (έστω και μερική) μιάς αμμο-ιλυώδους λεπτής εδαφικής στρώσης, σε βάθος της τάξεως των 3 m. Ακολουθεί η προς τα έξω αθροιστική ολίσθηση του υπερκειμένου στρώματος υπό την επίδραση της σεισμικής ταλάντωσης του υποκειμένου εδάφους, η οποία δρά ως διέγερση. Η ρηγμάτωση του προς-τα-έξω-ολισθαίνοντος εδάφους είναι αναπόφευκτη λόγω: (i) της μηδαμινής εφελκυστικής του αντοχής σε όποιο κατακόρυφο επίπεδο, (ii) των έστω και ελάχιστα διαφορετικών ιδιοτήτων του στο μήκος των 20 m, και (iii) της συνεχιζόμενης για αρκετούς κύκλους πλευρικά-ανυποστήρικτης ασύμμετρης ταλάντωσής του.

*(β) Σχετική βύθιση της επιφάνειας του εδάφους ως προς :*

- τα επί-πασσάλων-θεμελιωμένα δομήματα των περιοχών "γ" και "δ", τα οποία παρεπιπτόντως ουδεμίαν υπέστησαν μετατόπιση, βύθιση, ή ζημιά (Φωτο. 8-10)
- τον διπλό κρηπιδότοιχο της προβλήτας "ε"
- τους κρηπιδοτοίχους των περιοχών "γ" και "δ".

Δύο είναι τα πιθανότερα αίτια αυτής της σχετικής βύθισης :

(i) η διατμητική συνίζηση του υποκειμένου εδάφους, η οποία συνοδεύει (με κάποια καθυστέρηση βέβαια) την ρευστοποίηση,

(ii) η οριζόντια μετατόπιση-περιστροφή του κρηπιδοτοίχου.

Με τα σημερινά γεωτεχνικά στοιχεία είναι δύσκολο να αποφανθούμε περί του ποσοστού συμμετοχής του κάθε αιτίου στην εκάστοτε παρατηρηθείσα βύθιση. Δεδομένου όμως ότι η διαφορική καθίζηση σε όλες τις προαναφερθείσες περιπτώσεις συνοδεύεται καί από (μικρότερη) διαφορική οριζόντια μετατόπιση, είναι εύλογη η υπόθεση της συμμετοχής καί των δύο ανωτέρω μηχανισμών.

(γ) *Διαφορική οριζόντια μετατόπιση* γειτονικών κρηπιδοτοιχών διαφορετικής γεωμετρίας και θεμελίωσης. Όπως δείχνεται στην Φωτογραφία 10 και σκιαγραφείται στο Σχ. 8.3, η διαφορική μετατόπιση αυτού του τύπου μεταξύ του "βάθρου" της πεζογέφυρας "ζ" και των δύο διπλανών κρηπιδοτοιχών έφθασε τα 15 cm. Το φαινόμενο θυμίζει τις παραλιμάνιες γέφυρες του Κόμπε τον Ιανουάριο του 1995 : σχεδόν παντού όπου υπήρχε βάθρο γεφύρας κοντά σε κρηπίδωμα θεμελιωμένο μέσω φρέατος ή πασσάλων, εκεί η μετατόπιση της κρηπίδας ήταν ένα μικρό κλάσμα (το 1/5 έως το 1/10) της μετατόπισης των διπλανών κρηπιδοτοιχών. Κλασσική πλέον περίπτωση η τοξωτή γέφυρα Port-Island Ohashi: μετακίνηση κρηπιδώματος μπρός απ' το βάθρο της γέφυρας: 30 cm, έναντι μετατοπίσεως των διπλανών κρηπιδοτοιχών της τάξεως των 2 m (βλ. Γκαζέτας 1996, Iai 1996).

### **8.2.3 Το Λιμάνι της Λυγιάς**

Παρά το μικρό του βάθος (της τάξεως των 2.5 m) μία περιοχή του μικρού αυτού λιμανιού υπέστη την εντυπωσιακότερη (όχι όμως και σημαντικότερη) βλάβη : πλήρη αστοχία, με ανατροπή του κρηπιδοτοιχού σε μήκος 30 m περίπου (Φωτο. 11-12).

Πρόκειται ασφαλώς περί κλασσικού-τύπου αστοχίας τοίχου αντιστηρίξεως, υπό την επήρεια της αδρανειακής του δύναμης και της εδαφικής ώθησης. Οι μετατοπίσεις και ρηγματώσεις στο αντιστηριζόμενο έδαφος περιορίζονται σε μία απόσταση 2-3 μέτρων από τον τοίχο — δηλαδή εντός της ενεργητικής ζώνης (σεισμικά επαυξημένης βέβαια). Αρα σαφώς εδώ δεν υπήρξε "οριζόντια εξάπλωση" του αντιστηριζομένου εδάφους. Ένας πιθανός μηχανισμός αστοχίας υποδεικνύεται στο Σχ. 8.4.

Δεν διακρίναμε κανένα σημάδι ρευστοποιήσεως του εδάφους θεμελιώσεως στον πόδα της αντιστήριξης. Απεναντίας μία ακόμη μικρή ένδειξη της αργιλο-ιλυώδους φύσεως του επιφανειακού τουλάχιστον εδάφους εκεί προκύπτει από την θολότητα του ύδατος αμέσως μετά τον σεισμό. Οι φωτογραφίες της "αστοχίας" 11

και 12 είναι τραβηγμένες 7 ώρες και 50 ώρες, αντιστοίχως, μετά τον σεισμό. Μόνον στην δεύτερη είναι ορατός ο ανατραπείς κρηπιδότοιχος. Η θολότητα του νερού που προκλήθηκε από την αναμόχλευση του επιφανειακού εδαφικού υλικού κατά την πτώση προφανώς τον είχε καταστήσει αρχικώς αόρατον (τουλάχιστον επί 7 ώρες). Πιστεύουμε ότι ένα επιφανειακό ιλύο-αμμώδες υλικό (που θα είχε τυχόν προκύψει από ρευστοποίηση) θα είχε ως τότε ήδη κατακαθίσει.

Οι άλλες μικρότερης-έκτασης βλάβες στο λιμάνι της Λυγιάς δεν συζητούνται στο παρόν άρθρο.

#### **8.2.4 Το Λιμάνι της Βασιλικής**

Το λιμάνι της Βασιλικής, είναι ίσως το σημαντικότερο της νήσου, και περιλαμβάνει συνολικά 5 αποβάθρες, μαρίνες, και προβλήτες. Οι περισσότερες υπέστησαν κάποιας μορφής βλάβη. (Φωτο. 13)

Η κύρια αποβάθρα (βάθους περί τα 4.5 m) υπέστη καθιζήσεις έως 35 cm, χωρίς όμως ένδειξη σημαντικής ταυτόχρονης οριζόντιας μετατόπισης ή στροφής των κρηπιδωμάτων. (Βλ. Φωτο. 13). Ούτε ένδειξη ρευστοποίησης υπήρξε στην περιοχή αυτή, γεγονός που συνάδει με τον αργιλικό χαρακτήρα των εδαφικών στρώσεων της μιάς διαθέσιμης γεώτρησης (στο μέσον του αντιστοιχού μώλου). Επομένως προς το παρόν μόνον εικασίες μπορούμε να προβάλουμε ως προς τον μηχανισμό δημιουργίας τόσο σημαντικών βυθίσεων. Οπωσδήποτε όμως η μορφολογία της αστοχίας αυτής δέν προδίδει καθόλου μιά συνήθη λιμενική αστοχία, πιθανότατα δε συνδέεται με τον τρόπο στήριξης της πλάκας δαπέδου της αποβάθρας και την αναπόφευκτη μετατόπιση του κρηπιδοτοίχου.

Οι αστοχίες στους άλλους "βραχίονες" του λιμένα περιλαμβάνουν μετατοπίσεις, περιστροφές, ρηγματώσεις, και καταπτώσεις τμημάτων του κρηπιδώματος.



### **8.2.5 Το Λιμάνι του Νυδρίου**

Για τον Λιμένα Νυδρίου, τα διατιθέμενα γεωτεχνικά στοιχεία είναι τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών που εκτελέστηκαν το 1984 από το μελετητικό γραφείο ΤΡΙΤΩΝ ( κατά την γεωτεχνική αναγνώριση του εδάφους θεμελιώσεως του νέου Λιμένα Νυδρίου) καθώς και αποτελέσματα δοκιμής SPT εκτελεσθείσας από το εργαστήριο του ΚΕΔΕ μετά τον πρόσφατο σεισμό. Αμφότερες οι περιγραφές συμφωνούν ότι το έδαφος μέχρι βάθους 20 m περίπου είναι ιδιαιτέρως χαλαρό. Εντούτοις, διαφοροποιούνται κάπως ως προς την αναγνώριση της σύνθεσής του (αργιλώδης ή αμμώδης). Τούτο είναι ενδεικτικό της μεταβλητότητας του εδάφους από θέση σε θέση, η οποία συνεπάγεται αβεβαιότητα ως προς τις ιδιότητές του.

Τοπογραφική αποτύπωση η οποία εκτελέσθηκε για λογαριασμό του μελετητή του έργου, (ΤΡΙΤΩΝ) διαπίστωσε συνολική (οριζόντια και κατακόρυφη) μετακίνηση του κρηπιδοτοίχου και της επίχωσης κατά 10 cm. Οι ρωγμές της Φωτο. 8.15 είναι ενδεικτικές των μετακινήσεων αυτών. Η συμπεριφορά του κρηπιδότοιχου εξηγείται εν μέρει με βάση τα όσα αναφέρονται στο παρόν κεφάλαιο σχετικά με την δυσμενή φύση του επιταχυνσιογραφήματος.

Επιπλέον, επιτόπου εξέταση του κρηπιδοτοίχου από δύτη αποκάλυψε σημαντικές κακοτεχνίες κατά την τοποθέτηση των ογκολίθων, όπως η ύπαρξη κενών μεταξύ τους. Η επίδρασή όλων αυτών στην συνολική συμπεριφορά του έργου δεν μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα.

Η υπόθεση μακροχρόνιας στατικής στερεοποίησης-καθίζησης επίσης δεν μπορεί να αποκλεισθεί από το εδαφικό προφίλ στο λιμάνι Νυδρίου, το οποίο περιλαμβάνει : πρώτον, μια επιφανειακή στρώση μαλακής αργίλου πάχους 12 m με υψηλό ποσοστό υγρασίας, και δεύτερον μία στρώση 10 m παρόμοιας αλλά κατάτι σκληρότερης αργίλου. (Δεν υπάρχουν στοιχεία από βαθύτερες γεωτρήσεις.)

### **8.2.6 Τα Λιμάνια Νικιάνας και Βλυχού**

Παρά το μικρό τους βάθος ούτε αυτά τα δύο λιμάνια απέφυγαν τις βλάβες. Πέρα από τις οριζόντιες μετατοπίσεις των κρηπιδωμάτων και τις συνακόλουθες ρηγματώσεις στα αντιστηριζόμενα πρίσματα, υπήρξαν βυθίσεις των κρηπιδωμάτων (βλ. Φωτο. 14). Δεν είμαστε σε θέση να αποφανθούμε αξιόπιστα εάν η σημαντική απομείωση του ελευθέρου ύψους των κρηπιδωμάτων, τα οποία σε μερικές θέσεις υπερ-καλύφθηκαν από την θάλασσα, αντιπροσωπεύουν αποκλειστικώς σεισμική καθίζηση. Αντιθέτως, βάσιμα υποψιαζόμαστε ότι ένα σημαντικό τμήμα αυτών των βυθίσεων οφείλεται καί σε στατική μακροχρόνια καθίζηση λόγω στερεοποιήσεως του εδάφους, ίσως δε και στην διαφορά στάθμης μεταξύ πλήμμης και ρηχίας. Επίσης βάσιμη είναι η υποψία υπάρξεως κακοτεχνιών στην τοποθέτηση των ογκολίθων, όπως απέδειξαν και οι φωτογραφήσεις με δύτη στο λιμάνι του Νυδρίου.

### **8.3 Πιθανά Βαθύτερα Αίτια της Μεγάλης Εκτασης των Λιμενικών Ζημιών**

Το πρώτο ερώτημα που τίθεται είναι εάν και κατά πόσον η τόσο μεγάλη έκταση βλαβών είναι αποτέλεσμα ανεπάρκειας των μελετών ή κακοτεχνίας των κατασκευών των έργων αυτών.

Αναμφισβήτητα μερικά από τα προαναφερθέντα λιμάνια είχαν κατασκευαστεί "παλαιότερες εποχές", με υποτυπώδεις μελέτες και πάντως με μικρούς σεισμικούς συντελεστές σε σύγκριση με τις αναπτυχθείσες εδαφικές επιταχύνσεις. Όμως, μόνιμες παραμορφώσεις υπέστησαν και πρόσφατα έργα, των οποίων η μελέτη ήταν επαρκής κατά τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό, ο σχεδιασμός συντηρητικός, η δε κατασκευή έγινε υπό ελεγχόμενες συνθήκες (π.χ., Μαρίνα Λευκάδας). Αλλού λοιπόν πρέπει να αναζητηθούν τα βαθύτερα αίτια της μεγάλης κλίμακας των "αστοχιών" και όχι σε κακή μελέτη ή σε τυχόν κακοτεχνίες.

### **8.3.1 Η "Καταστρεπτικότητα" του Επιταχυνσιογραφήματος Λευκάδας : Συγκριτική Μελέτη**

Καθοριστικόν λόγο στην απόκριση ενός δομήματος στον σεισμό παίζει η σεισμική του διέγερση. Ακριβής γνώση της διέγερσης (δηλαδή του εδαφικού κραδασμού) δεν υπάρχει για κανένα από τα λιμάνια που εξετάσαμε. Ωστόσο το (ένα και μοναδικό) επιταχυνσιογράφημα στην πόλη της Λευκάδας (στο ημι-υπόγειο του νοσοκομείου) αποτελεί έναν πολύτιμο αντιπρόσωπο της εδαφικής δόνησης στην πόλη. Όπως θα εξηγηθεί αμέσως παρακάτω, οι (άγνωστοι) πραγματικοί κραδασμοί που θα διείγχαν τον λιμένα και την μαρίνα της Λευκάδας δεν μπορεί παρά ελάχιστα να διέφεραν απ' τον κραδασμό που περιγράφεται απ' το επιταχυνσιογράφημα του νοσοκομείου ...

Οι τρεις συνιστώσες του επιταχυνσιογραφήματος με τα αντίστοιχα φάσματα αποκρίσεως απεικονίζονται στο Σχ. 8.5. Είναι προφανή τα ακόλουθα :

- η εδαφική δόνηση είναι ισχυροτάτη, με υψηλές τιμές οριζόντιας επιτάχυνσης (0.42 g και 0.35 g) στις δύο διευθύνσεις
- ο αριθμός των σημαντικών κύκλων (περί τις 8 κορυφές με πλάτος μεγαλύτερο του 0.30 g !) είναι πρωτοφανής στις καταγραφές του ελλαδικού χώρου
- η δεσπόζουσα περίοδος του κραδασμού κυμαίνεται περί τα 0.55 sec, ενώ το εύρος σημαντικών περιόδων εξικνείται από 0.30 – 0.70 sec. Οι τιμές αυτές είναι από τις δυσμενέστερες που έχουν καταγραφεί στον ελληνικό χώρο (βλ. Γκαζέτας 2002)
- οι φασματικές επιταχύνσεις έχουν μέγιστες τιμές (στο ανωτέρω εύρος περιόδων) που ξεπερνούν τα 1.5 g, αντιστοιχούν δε σε μέγιστη ενεργό επιτάχυνση  $A$  (κατά ΕΑΚ) ίση με 0.60 g περίπου.

Αναμφισβήτητα πρόκειται για έναν επικίνδυνο σεισμικό κραδασμό. Δύο άλλοι επίσης ισχυροί σεισμικοί κραδασμοί οι οποίοι είχαν καταγραφεί στο Αίγιο το 1995 και στην ίδια την Λευκάδα το 1973, συγκρίνονται με τον κραδασμό του 2003 (χρονοϊστορίες και φάσματα) στο Σχ. 8.6. Οι κραδασμοί 1995 και 1973



μοιάζουν τρομερά μεταξύ τους, αλλά είναι τελείως διαφορετικοί από τον κραδασμό 2003 : είναι δύο "παλμικοί" κραδασμοί με ουσιαστικώς έναν μόνον σημαντικό μακροπερίοδο παλμό μεγάλης επιτάχυνσης ( $\approx 0.53 \text{ g}$ ), αντιστοίχως μεγάλης ταχύτητας ( $\approx 0.54 \text{ m/s}$ ), και μεγάλου βήματος ταχύτητας ( $\approx 0.75 \text{ m/s}$  το 1995, και  $\approx 1.0 \text{ m/s}$  το 1973).

Από την σύγκριση των (ελαστικών) φασμάτων αποκρίσεως γίνεται φανερό ότι η πρόσφατη καταγραφή (2003) υπερέχει της μεν καταγραφής Αιγίου σε όλες σχεδόν τις περιόδους, της δε καταγραφής Λευκάδας (1973) μόνον στο εύρος περιόδων  $0.20 < T < 0.65 \text{ sec}$ .

Μεγαλύτερου όμως ενδιαφέροντος είναι η σύγκριση των επιπτώσεων των τριών καταγραφών σε μή-ελαστικές κατασκευές. Αναλύουμε προς τούτο δύο απλά μεν, αλλά χαρακτηριστικά συστήματα μή-ελαστικής συμπεριφοράς (Σχ. 8.7):

- (α) Στερεό σώμα εδραζόμενο μέσω απλής τριβής Coulomb σε οριζόντια βάση η οποία υποβάλλεται σε οριζόντια σεισμική διέγερση, και
- (β) Στερεό σώμα εδραζόμενο μέσω απλής τριβής Coulomb σε κεκλιμένο επίπεδο (γωνίας  $25^\circ$ ), το οποίο επίσης υποβάλλεται σε οριζόντια σεισμική διέγερση.

Τα δύο αυτά συστήματα, πέρα από την καθαρώς γεωτεχνική τους σημασία, αντιπροσωπεύουν (ποιοτικά, αλλά και ποσοτικά) ελαστοπλαστικά συστήματα *συμμετρικής* (ως προς τις δύο κατευθύνσεις, αριστερά-δεξιά) και *μή-συμμετρικής* (μόνον προς την μία κατεύθυνση δηλαδή) απόκρισης. Οι κτιριακές κατασκευές ανήκουν ενγένει στην πρώτη κατηγορία, *συμμετρικής* ή "*δι-κατευθυντικής*" απόκρισης. Οι τοίχοι αντιστηρίξεως και τα πρανή ανήκουν στην κατηγορία της *μή-συμμετρικής* "*μονο-κατευθυντικής*" απόκρισης. (Παραπέμπουμε στα άρθρα : Newmark 1965, Ambraseys & Sarma 1967, Makdisi & Seed 1978, Richards & Elms 1979, Gazetas & Uddin 1994, Γκαζέτας 1996, Paglietti & Porcu 2001).

Τα Σχ. 8.8 και 8.9 αναφέρονται στην απόκριση των δύο τέτοιων συστημάτων όταν διεγερθούν με τα δύο επιταχυνσιογραφήματα της Λευκάδας : του 2003 και του 1973. Συγκεκριμένα:

Το Σχ. 8.8 απεικονίζει τις χρονοϊστορίες αποκρίσεως του ολισθαίνοντος σώματος σε οριζόντια βάση, με συντελεστή τριβής  $\mu = 0.20$  α, όπου  $\alpha = \max A / g$  είναι η ανηγμένη ως προς g κορυφαία επιτάχυνση της διέγερσης. Μία λεπτομερής ερμηνεία των χρονοϊστοριών ξεφεύγει από τους στόχους ετούτου του άρθρου.

Εστιάζουμε την προσοχή μας στο τελικό αποτέλεσμα : την ολίσθηση δ του στερεού σώματος ("κατασκευής") ως προς την βάση. Διαπιστώνουμε αμέσως την μεγάλη "καταστρεπτικότητα" της καταγραφής του 1973, η οποία δίδει διπλάσια μόνιμη ολίσθηση απ' ό,τι η καταγραφή του 2003.

Αντιστοίχως το Σχ. 8.9 απεικονίζει τις χρονοϊστορίες των A, Δ για σώμα επί κεκλιμένου επιπέδου ( $\beta = 25^\circ$ ) με επιτάχυνση ολισθήσεως  $\alpha_c = 0.20$  α. [Ορισμός :  $\alpha_c = \eta$  οριζόντια δύναμη  $F_c$  η οποία στατικώς επιβαλλόμενη οδηγεί σε συντελεστή ασφαλείας έναντι ολισθήσεως ίσον με 1, διαιρεμένη με το βάρος τού προς ολίσθησιν σώματος.] Τώρα πιά, προς κατάπληξή μας, "καταστρεπτικότερο" είναι το επιταχυνσιογράφημα του 2003, το οποίο οδηγεί σε μόνιμη προς τα κάτω ολίσθηση (0.50 m) δυόμισι φορές μεγαλύτερη από την ολίσθηση (0.20 m) που προκαλεί το επιταχυνσιογράφημα του 1973 !).

Αυτή η (παράδοξη αλλά όχι τελείως σπάνια) αντιστροφή ρόλων των δύο καταγραφών εξακολουθεί και για όλες σχεδόν τις τιμές του λόγου  $\alpha_c/\alpha$  ή  $\mu/\alpha$ , όπως φανερώνει το Σχ. 8.10.

Η ποιοτική ερμηνεία της διαφορετικής συμπεριφοράς κτιρίων και λιμένων στον σεισμό της 14<sup>ης</sup> Αυγούστου 2003 είναι πρόδηλη : (α) η προκληθείσα εδαφική δόνηση δεν οδηγεί σε μεγάλη συσσώρευση πλαστικών παραμορφώσεων σε μία κατασκευή με περίπου συμμετρικών φορέα, όπως είναι ένα σύνθηδες κτίριο, σε αντίθεση με τον ισχυρό παλμό του 1973, (β) η "ιδιοσυγκρασία" όμως της δόνησης αυτής είναι τέτοια ώστε να οδηγεί σε μεγάλη συσσώρευση πλαστικών

παραμορφώσεων μή-συμμετρικών συστημάτων, όπως είναι οι λιμενικοί κρηπιδότοιχοι !

Αξίζει να τονισθεί και η υπεροχή της καταγραφής του 2003 έναντι μερικών απ' τις ισχυρότερες καταγραφές στην Ελλάδα : Αιγίου, Καλαμάτας, Σεπολίων, και Μοναστηρακίου. Ως προς την ασύμμετρη ολίσθηση, η υπεροχή είναι συντριπτική : 3 φορές μεγαλύτερη παραμόρφωση από το Αίγιο και την Καλαμάτα, 10 φορές μεγαλύτερη από τα Σεπόλια, Μοναστηράκι. Ως προς την συμμετρική ολίσθηση ωστόσο, τα επιταχυνσιογραφήματα Λευκάδας 2003, Αιγίου 1995, Καλαμάτας 1986 δίνουν παραπλήσιες τιμές  $\Delta_{\max}$ , γεγονός και πάλι σε ποιοτική συμφωνία με την έκταση των δομικών βλαβών στα τρία αυτά σεισμικά επεισόδια.

Δύο ακόμη αρνητικά χαρακτηριστικά του επιταχυνσιογραφήματος του 2003 ενδέχεται να έχουν σημαντική συμβολή στην μεγάλη έκταση των λιμενικών "αστοχιών" :

(1) Ο μεγάλος αριθμός επαναληπτικών κύκλων μεγάλου πλάτους επιταχύνσεως (  $> 0.25 \text{ g}$  ) είναι άκρως δυσμενής για εκδήλωση φαινομένων "κοπώσεως", όπως είναι η ρευστοποίηση ιλυοαμμωδών εδαφικών στρώσεων, και η συνακόλουθη συνίζηση. Πολλές από τις προαναφερθείσες λιμενικές "αστοχίες", οφείλονται σε μεγάλο βαθμό σε τέτοια ακριβώς φαινόμενα (λιμένας Λευκάδας, μαρίνα Λευκάδας κ.λ.π.) .

(2) Η ύπαρξη σαφούς δεσπόζουσας περιόδου στον κραδασμό, απόρροια σε μεγάλο βαθμό του μηχανισμού γενέσεως του σεισμού, σε συνδυασμό με την τιμή αυτής της περιόδου,  $T_p \approx 0.55 \text{ sec}$ , και με τον μεγάλο αριθμό σημαντικών κύκλων (της τάξεως του 8), οδηγούν εύκολα σε συντονιστικά φαινόμενα, όταν διεγείρουν επιχώματα και μαλακούς εδαφικούς σχηματισμούς. Είναι πολύ πιθανόν, επομένως, τα επιχώματα και οι κρηπιδότοιχοι να υπέστησαν ακόμη μεγαλύτερες επιταχύνσεις απ' ό,τι φανερώνει η καταγραφή στο νοσοκομείο.



### **8.3.2 Σεισμική Ανάλυση Κρηπιδοτοίχου με Καθιερωμένες Μεθόδους της Βιβλιογραφίας και με τον ΕΑΚ**

Κατά τον σεισμό της 14-8-2003, καταγράφησαν οριζόντιες μετακινήσεις (της τάξεως των 10-20 cm) στους νεόδμητους κρηπιδοτοίχους της Μαρίνας. Οι μετακινήσεις αυτές θεωρήθηκαν σημαντικές και ενδεχομένως ανεπίτρεπτες. Για τον λόγο αυτόν, στα πλαίσια του παρόντος ερευνητικού προγράμματος εξετάζονται καταρχάς οι παραδοχές και αναλύσεις της επίσημης Γεωτεχνικής Μελέτης του εν-λόγω λιμένος (MAPNET, 1998), και κατόπιν υπολογίζεται η σεισμική συμπεριφορά των συγκεκριμένων κρηπιδοτοίχων σύμφωνα με τις κλασσικές αναλυτικές μεθόδους της διεθνούς βιβλιογραφίας. Απώτερος στόχος είναι η ερμηνεία των μάλλον απρόσμενων μετακινήσεων που κατεγράφησαν σε έναν λιμένα που φαίνεται να πληροί τις αντισεισμικές προδιαγραφές της χώρας (NEAK).

Σύμφωνα με την γεωτεχνική μελέτη (MAPNET 1998), ο έλεγχος του κρηπιδοτοίχου πραγματοποιήθηκε μέσω ελέγχου ευστάθειας πρανούς. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των λωρίδων, ενώ έγινε θεώρηση ψευδοστατικώς-επιβαλλόμενης επιτάχυνσης. Ως σεισμική επιτάχυνση σχεδιασμού ελήφθη η  $0.5A$ , όπου  $A$  η προβλεπόμενη από τον ΕΑΚ επιτάχυνση ( $= 0.36 \text{ g}$ ). Ο ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας που προέκυψε από τις αναλύσεις ήταν 1.20, φυσικά δε θεωρήθηκε επαρκής. Τούτο σημαίνει ότι η κρίσιμη επιτάχυνση γι' αυτόν τον μηχανισμό είναι περίπου  $0.23 \text{ g}$ .

Η κρίσιμη επιτάχυνση ολισθήσεως  $A_Y (= a_{Yg})$  για έναν άλλον μηχανισμό, την ολίσθηση στην διεπιφάνεια της βάσης κρηπιδοτοίχου-εδάφους υπολογίζεται με βάση την ισορροπία των στατικών και ψευδοστατικών (σύμφωνα με την μέθοδο Mononobe-Okabe) δυνάμεων που ασκούνται στον κρηπιδοτοίχο. Αν αγνοήσουμε τις υδροδυναμικές πιέσεις, οι δυνάμεις αυτές είναι οι εξής:

- (α). η αδρανειακή δύναμη  $F$  επί της μάζας του τοίχου,
- (β) η στατική ώθηση γαιών  $P_A$

$$\Delta \approx 0.087 \frac{V_{\max}^2 A_{\max}^3}{A_C^4}$$

όπου  $V_{\max}$  και  $A_{\max}$  η κορυφαία ταχύτητα και κορυφαία επιτάχυνση της διέγερσης, αντιστοίχως.

Με βάση την διαθέσιμη καταγραφή της 14-8-2003, προκύπτει:

$$V_{\max} = 0.35 \text{ m}, \text{ και } A_{\max} = 0.42 \text{ g}$$

Οπότε  $\Delta \approx 2.4 \text{ cm}$

(β) Κατά Yegian et al. (1991)

Με δεδομένο τον λόγο της κρίσιμης προς την μέγιστη επιτάχυνση ( $A_C/A_{\max}$ ) προκύπτει γραφικώς η κανονικοποιημένη παραμένουσα μετακίνηση  $\Delta'$ , η οποία ισούται με  $\Delta / (A_{\max} n_{eq} T^2)$ , όπου :

$n_{eq}$  : το πλήθος των κύριων κύκλων της δόνησης, και

$T$  : η δεσπόζουσα περίοδος της δόνησης

Από το επιταχυνσιογράφημα και το ελαστικό φάσμα της καταγραφής προκύπτουν τα εξής :

- το επιταχυνσιογράφημα περιέχει περί τους 8 σημαντικούς κύκλους φόρτισης, οπότε  $N_{eq} \approx 8$
- η δεσπόζουσα περίοδος της δόνησης εμφανίζεται περί τα 0.5 sec ( $T = 0.5 \text{ sec}$ )

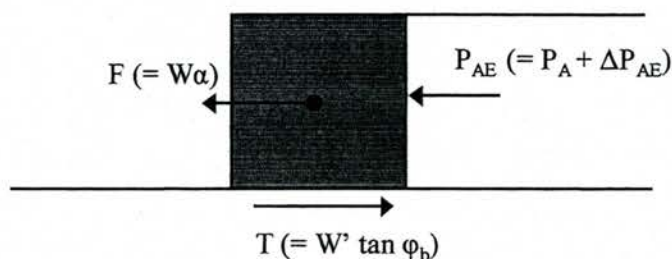
Οπότε για λόγο  $a_C / a_{\max} = 0.24 / 0.42 \approx 0.57$

προκύπτει  $\Delta' = 0.0035$  καί  $\Delta = \Delta' A_{\max} n_{eq} T^2 = 0.0035 \times 4.2 \times 8 \times 0.5^2 \approx 0.03 \text{ m}$   
ή  $\Delta \approx 3 \text{ cm}$ .

(γ) η ψευδοστατική ώθηση  $\Delta P_{AE}$

(δ) η τριβή  $T$  στη βάση του κρηπιδοτοίχου

Η ισορροπία δυνάμεων εκφράζεται ως εξής:



$$F + P_A + \Delta P_{AE} = T$$

- Η δύναμη  $F$  ισούται με  $W\alpha$ , όπου

$W$ : το βάρος του τοίχου, και

$$\alpha = A/g$$

- Η στατική ώθηση  $P_A$  ισούνται με  $0.5 \gamma' K_A \cdot H^2$ , όπου

$\gamma'$ : το υπό άνωση ειδικό βάρος του αντιστηριζομένου εδάφους,

$K_A$ : ο συντελεστής ενεργητικών γεωστατικών ωθήσεων

$H$ : το ύψος του τοίχου

- Η ψευδοστατική ώθηση γαιών  $\Delta P_{AE}$  μπορεί προσεγγιστικά να υπολογισθεί

κατά Seed & Whitman (1970) από την σχέση 
$$\Delta P_{AE} \approx - \frac{3}{8} \gamma_s \alpha H^2$$

$\gamma_s$ : το ειδικό βάρος του κορεσμένου αντιστηριζομένου εδάφους

- Η δύναμη τριβής στη βάση του κρηπιδοτοίχου ισούται με  $W' \tan(\varphi_b)$

$W'$ : το υπό άνωση βάρος του τοίχου

$\varphi_b$ : γωνία τριβής στην διεπιφάνεια τοίχου–εδάφους στην βάση

Οπότε, η κρίσιμη επιτάχυνση ολίσθησης δίδεται από τη σχέση:



$$\alpha_y = \frac{W' \tan \phi_b - \gamma' K_A H^2 / 2}{W + \frac{3}{8} \gamma_s H^2}$$

Για διαστάσεις κρηπιδοτοίχου 5 m x 5 m και ειδικό βάρος  $\approx 25 \text{ kN/m}^3$ , προκύπτουν:

$$W = 625 \text{ kN/m} \quad \text{και} \quad W' = 375 \text{ kN/m}$$

Για το αντιστηριζόμενο έδαφος λαμβάνονται : ειδικό βάρος εν-ξηρώ,  $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$ , ειδικό βάρος κορεσμένου εδάφους  $\gamma_s = 20 \text{ kN/m}^3$ , και γωνία τριβής  $\phi = 30^\circ$ . Επιπλέον, για την γωνία τριβής στην διεπιφάνεια τοίχου – εδάφους στην βάση  $\phi_b$  γίνεται η παραδοχή ότι αυτή ισούται επίσης με  $30^\circ$  (παραδοχή αρκετά ρεαλιστική για το βελτιωμένο υλικό της βάσης). Τελικώς η κρίσιμη επιτάχυνση ολίσθησης

$$\alpha_c \approx 0.24 \text{ (σε μονάδες } g \text{)}$$

σημειώνεται ότι στους ανωτέρω υπολογισμούς αγνοήθηκε η επίδραση της κατακόρυφης συνιστώσας, επειδή αναλύσεις πεπερασμένων στοιχείων (βλ. παράγραφο 8.3.2) απέδειξαν την αμελητέα επιρροή της.

Με βάση την τιμή της  $\alpha_c$  μπορεί να υπολογισθεί η μετακίνηση (ολίσθηση) που προβλέπουν οι καθιερωμένες σχέσεις της βιβλιογραφίας της μεθοδολογίας Newmark (1994). Συγκεκριμένα:

#### (α) Κατά Richards & Elms (1979)

Η παραμένουσα μετακίνηση  $\Delta$  κατά Richards & Elms (1979) δίδεται από τη σχέση :

$$\Delta \approx 0.087 \frac{V_{\max}^2 A_{\max}^3}{A_C^4}$$

όπου  $V_{\max}$  και  $A_{\max}$  η κορυφαία ταχύτητα και κορυφαία επιτάχυνση της διέγερσης, αντιστοίχως.

Με βάση την διαθέσιμη καταγραφή της 14-8-2003, προκύπτει:

$$V_{\max} = 0.35 \text{ m, και } A_{\max} = 0.42 \text{ g}$$

Οπότε  $\Delta \approx 2.4 \text{ cm}$

(β) Κατά Yegian et al. (1991)

Με δεδομένο τον λόγο της κρίσιμης προς την μέγιστη επιτάχυνση ( $A_C/A_{\max}$ ) προκύπτει γραφικώς η κανονικοποιημένη παραμένουσα μετακίνηση  $\Delta'$ , η οποία ισούται με  $\Delta / (A_{\max} n_{eq} T^2)$ , όπου :

$n_{eq}$  : το πλήθος των κύριων κύκλων της δόνησης, και

$T$  : η δεσπόζουσα περίοδος της δόνησης

Από το επιταχυνσιογράφημα και το ελαστικό φάσμα της καταγραφής προκύπτουν τα εξής :

- το επιταχυνσιογράφημα περιέχει περί τους 8 σημαντικούς κύκλους φόρτισης, οπότε  $N_{eq} \approx 8$
- η δεσπόζουσα περίοδος της δόνησης εμφανίζεται περί τα 0.5 sec ( $T = 0.5 \text{ sec}$ )

Οπότε για λόγο  $a_C / a_{\max} = 0.24 / 0.42 \approx 0.57$

προκύπτει  $\Delta' = 0.0035$  και  $\Delta = \Delta' A_{\max} n_{eq} T^2 = 0.0035 \times 4.2 \times 8 \times 0.5^2 \approx 0.03 \text{ m}$   
ή  $\Delta \approx 3 \text{ cm}$ .

(γ) Κατά Cai & Bathurst (1996)

Από τον λόγο  $A_C/A_{\max}$  προκύπτει μέσω γραφικής παράστασης η κανονικοποιημένη μέγιστη = παραμένουσα μετακίνηση  $\Delta$ , η οποία ισούται  $(\Delta A_{\max})/V_{\max}^2$ . Για  $a_C/a_{\max} = 0.57$ , προκύπτει:

$$\Delta = 1 \quad \text{και} \quad \Delta = \Delta V_{\max}^2 / A_{\max} = 1(0.35)^2 / 4.2 \approx 3 \text{ cm}$$

(δ) Διάγραμμα Makdisi & Seed (1978)

Το διάγραμμα Makdisi & Seed (1978) απαιτεί την χρήση του μεγέθους  $M$ , και επειδή το μέγεθος του σεισμού της Λευκάδας είναι  $M = 6.4$ , χρησιμοποιείται το διάγραμμα που αντιστοιχεί με μέγεθος  $M = 6.5$ . Καθώς οι Makdisi & Seed για τιμές του λόγου  $A_C/A_{\max}$  δίνουν ένα εύρος τιμών μετακίνησης, διαπιστώνεται ότι (για  $A_C/A_{\max} = 0.57$ ) λαμβάνοντας υπ' όψιν την μέση περίπου τιμή

$$\Delta \approx 3 \text{ cm}$$

περίπου, ενώ για το άνω περίπου όριο της διασποράς προκύπτει

$$\Delta \approx 6 \text{ cm.}$$

Σημειώνεται ότι για τον σεισμό της Λευκάδας θεωρείται πιο αντιπροσωπευτικό άνω όριο διασποράς (και όχι η μέση τιμή) διότι το επιταχυνσιογράφημα χαρακτηρίζεται από σχετικώς πολλούς κύκλους για το μέγεθός του.

(ε) Αριθμητικές Αναλύσεις Ολίσθησης

Για τον ακριβέστερο υπολογισμό της ολίσθησης με την μέθοδο Newmark πραγματοποιούνται αριθμητικές αναλύσεις στις οποίες (α) η καταγραφή ως διέγερση στην βάση χρησιμοποιείται, και (β) η χρονοϊστορία της επιτάχυνσης στον κρηπιδότοιχο της περιοχής "γ", όπως υπολογίσθηκε στο Κεφάλαιο 5.

Τα αποτελέσματα δίδονται στο Σχήμα 8.11, υπό την μορφή χρονοιστοριών :



- επιτάχυνσης  $A$  του ολισθαίνοντος σώματος
- ταχύτητας  $V$  του ολισθαίνοντος σώματος
- σχετικής μετατόπισης (ολίσθησης)  $\Delta$  σώματος-βάσης.

Παρατηρούμε ότι η παραμένουσα (τελική) ολίσθηση είναι  $\Delta = 5 \text{ cm}$  με διέγερση στην βάση την καταγραφή του Νοσοκομείου, και  $\Delta = 3 \text{ cm}$  με διέγερση το υπολογισθέν επιταχυνσιογράφημα για την περιοχή της Μαρίνας.

Είναι προφανές ότι τα ανωτέρω όρια

$$3 \text{ cm} \leq \Delta \leq 5 \text{ cm}$$

είναι εντός των ορίων που εκτιμήθηκαν από τα διαγράμματα της βιβλιογραφίας, με μόνη εξαίρεση την άνω οριακή τιμή  $\Delta \approx 6 \text{ cm}$  του διαγράμματος Makdisi & Seed (1978). Είναι ωστόσο φανερό η αδυναμία των μεθόδων τύπου Newmark να "προσεγγίσουν" το μέγεθος των μετακινήσεων, 10–20 cm, που καταγράφηκαν. Η αιτιολογία αυτής της διαφοράς πρέπει να αναζητηθεί είτε στις χρησιμοποιηθείσες εδαφικές παραμέτρους, είτε στην σεισμική διέγερση, είτε στον μηχανισμό της μετακίνησης. Οθεν, οι διδιάστατες αναλύσεις που ακολουθούν...

### **8.3.3 Μια Αριθμητική Σεισμική Ανάλυση του Κρηπιδοτοίχου**

Για να επιβεβαιωθεί καί ποσοτικά η πολλαπλώς-δυσμενής φύση του σεισμικού κραδασμού για επιχώματα και κρηπιδοτοίχους, επιχειρείται μία προκαταρκτική ανάλυση ενός τυπικού κρηπιδοτοίχου. Η ανάλυση (με χρήση πεπερασμένων στοιχείων) βασίζεται σε διαθέσιμα εδαφικά προφίλ της Μαρίνας.

Διενεργείται ισοδύναμη γραμμική ανελαστική διδιάστατη ανάλυση με την χρήση του κώδικα ABAQUS. Η διακριτοποίηση των πεπερασμένων στοιχείων και το χρησιμοποιηθέν εδαφικό προφίλ παρουσιάζονται στο Σχήμα 8.12. Το πάχος της εδαφικής στρώσης επιλέγεται ίσο με 17 m, όσο δηλαδή το μέσο βάθος όπου συναντάται η μάργα στην υπο-μελέτην περιοχή, η οποία και θεωρείται ως το

“οιονεί” βραχώδες υπόβαθρο. Στο ίδιο Σχήμα αναγράφονται και οι χρησιμοποιηθείσες παράμετροι αντοχής, οι οποίες αποτελούν μια εύλογη επιλογή.

Της διδιάστατης μη-γραμμικής αναλύσεως προηγείται μονοδιάστατη ανάλυση με χρήση του κώδικα *SHAKE*. Τα απομειωμένα μέτρα ελαστικότητας, και οι βαθμοί αποσβέσεως της τελευταίας επανάληψης της ισοδύναμης γραμμικής ανάλυσης εισάγονται στο διδιάστατο αναλυτικό προσομοίωμα. Στην διδιάστατη προσομοίωση, το εδαφικό υλικό θεωρείται ελαστοπλαστικό που υπακούει στον νόμο Mohr-Coulomb. Με τον τρόπο αυτόν, η μεν δυναμική απόκριση του συστήματος εδάφους – κρηπιδοτοίχου προσομοιώνεται με την μέγιστη δυνατή αξιοπιστία (αφού πρόκειται για διδιάστατη ισοδύναμη γραμμική ανάλυση), οι δε παραμένουσες μετακινήσεις προσεγγίζονται ικανοποιητικά με την ολίσθηση του τοίχου και του αστοχούντος εδαφικού πρίσματος στην σχηματιζόμενη διεπιφάνεια αστοχίας.

Η προσομοίωση της κυματικής ακτινοβολίας τόσο στα πλευρικά σύνορα του δικτύου όσο και στην βάση του επιτυγχάνεται με την χρήση ειδικών στοιχείων κυματικής μετάδοσης–απορρόφησης (transmitting boundaries). Ως σεισμική διέγερση χρησιμοποιείται η καταγραφή του σεισμού της Λευκάδας (Νοσοκομείο Λευκάδας) και το επιταχυνσιογράφημα του σεισμού του Αιγίου, προκειμένου να γίνει δυνατή η εκτίμηση της σχετικής καταστρεπτικότητας του πρόσφατου σεισμού σε σχέση με την ισχυρή καταγραφή του Αιγίου. Και οι δυο καταγραφές έχουν μέγιστη επιτάχυνση περί τα 0.40 g, η δε κυριότερη διαφορά τους είναι ο αριθμός των κύκλων. Το Αίγιο αποτελείται πρακτικά από έναν κύκλο, σε αντίθεση με τον πρόσφατο σεισμό της Λευκάδας ο οποίος διαθέτει τουλάχιστον 7 σημαντικούς κύκλους.

Στο Σχήμα 8.13 δίδονται οι χρονοϊστορίες των επιταχύνσεων σε χαρακτηριστικά σημεία του προσομοιώματος, με διέγερση την πρόσφατη καταγραφή της Λευκάδας. Παρατηρείται μικρή ενίσχυση του σεισμικού κραδασμού στο ελεύθερο πεδίο, όπου η μέγιστη επιτάχυνση φθάνει τα 0.52 g. Η μέγιστη επιτάχυνση του κρηπιδοτοίχου είναι μικρότερη και δεν ξεπερνά τα 0.36 g.

Αυτό συμβαίνει αφενός μεν λόγω της αλληλεπίδρασης εδάφους- κρηπιδοτοίχου, αφετέρου δε λόγω της μη-γραμμικής συμπεριφοράς του εδάφους στην εγγύς του τοίχου περιοχή. Επίσης δείχνεται και η χρονοϊστορία της σχετικής μετακίνησης του κρηπιδοτοίχου ως προς το ελεύθερο πεδίο. Η παραμένουσα μετακίνηση του κρηπιδοτοίχου φθάνει τα 11 cm. Η τελική μετακίνηση συμβαίνει σταδιακά καθ' όλη την διάρκεια του σεισμικού κραδασμού. Φαίνεται σαφώς ότι σε κάθε σημαντικό κύκλο της διέγερσης προστίθεται επιπλέον μετακίνηση του τοίχου προς τα έξω, με αποτέλεσμα η τελική μετακίνηση να είναι αρκετά μεγάλη. Αν η ίδια καταγραφή είχε μόνον λίγους σημαντικούς κύκλους τότε η παραμένουσα μετακίνηση θα περιοριζόνταν σε μικρότερες τιμές.

Στο Σχήμα 8.14 δίδονται οι χρονοϊστορίες των επιταχύνσεων σε χαρακτηριστικά σημεία του προσομοιώματος, με διέγερση το επιταχυνσιογράφημα βράχου του σεισμού του Αιγίου. Παρατηρείται τώρα ανεπαίσθητη ενίσχυση του σεισμικού κραδασμού στο ελεύθερο πεδίο, όπου η μέγιστη επιτάχυνση είναι ίση με 0.43 g. Η μέγιστη επιτάχυνση του κρηπιδοτοίχου είναι σαφώς μικρότερη :  $\approx 0.31$  g. Επίσης δείχνεται και η χρονοϊστορία της σχετικής μετακίνησης του κρηπιδοτοίχου ως προς το ελεύθερο πεδίο. Η παραμένουσα μετακίνηση του κρηπιδοτοίχου είναι μόλις 1 cm. Εδώ, ο μοναδικός κύκλος της εν λόγω καταγραφής δεν είναι ικανός από μόνος του να προκαλέσει σημαντική παραμένουσα μετακίνηση. Αν κανείς απομονώσει έναν από τους σημαντικούς κύκλους της καταγραφής της Λευκάδας, και συγκρίνει την προκαλούμενη μετακίνηση με την αντίστοιχη του μοναδικού κύκλου της καταγραφής του Αιγίου, οι προκύπτουσες διαφορές δεν είναι δραματικές. Κάτι το αναμενόμενο άλλωστε λόγω του παραπλήσιου συχνοτικού τους περιεχομένου.

Στις αναλύσεις του Σχ. 8.12 ο κίνδυνος ρευστοποίησης αγνοήθηκε εντελώς. Είναι επομένως λογικό η ολίσθηση να περιορίζεται στα 10 cm περίπου. Η βασίμως-πιθανολογούμενη ανάπτυξη υδατικών υπερπίεσεων πόρων, *μέ ή χωρίς* ρευστοποίηση, θα οδηγούσε σε ακόμη μεγαλύτερες ανελαστικές παραμορφώσεις, ή ενδεχομένως και σε "οριζόντια εξάπλωση".

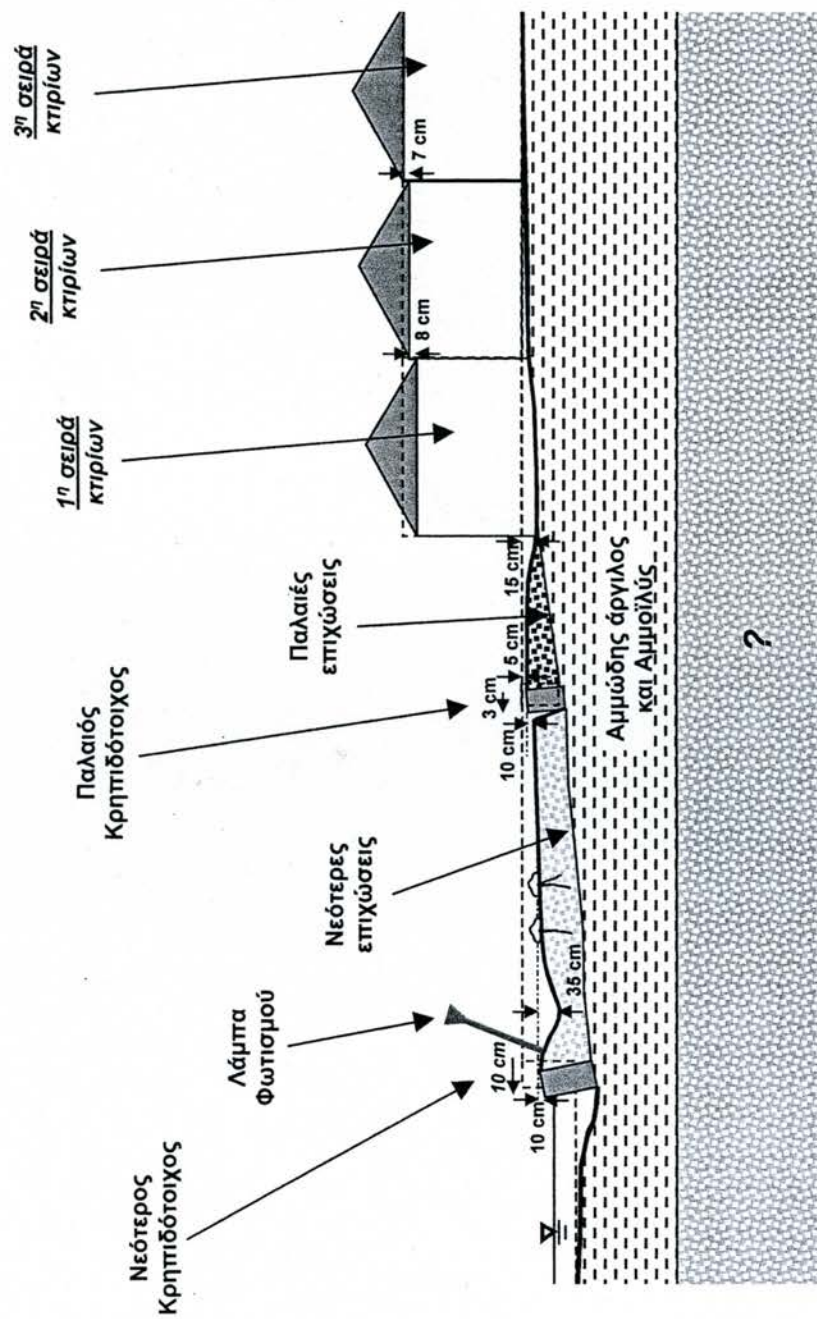


#### **8.3.4 Συμπεράσματα και Ανακλύπτοντα Ερωτήματα**

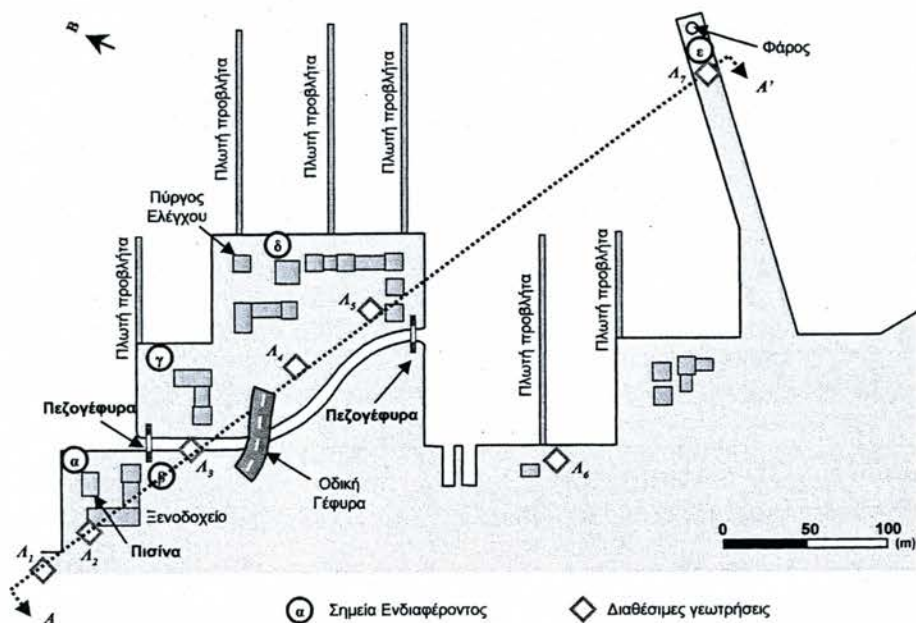
Τα συμπεράσματα και ερωτήματα που ανακλύπουν από την μελέτη των αποτελεσμάτων των αριθμητικών αναλύσεων έχουν ως εξής :

- Είναι εμφανές ότι η καταστρεπτικότητα του σεισμού της Λευκάδας για τους λιμενικούς κρηπιδοτοίχους είναι σαφώς υψηλότερη από την καταγραφή του Αιγίου. Αυτό είναι ιδιαιτέρως σημαντικό δεδομένου ότι η καταγραφή του Αιγίου θεωρείτο μέχρι σήμερα η κορυφαία στον ελληνικό χώρο.
- Η παραμένουσα μετακίνηση που “προβλέπεται” από την διδιάστατη ισοδύναμη γραμμική ανελαστική ανάλυση είναι τουλάχιστον υπό-διπλάσια της μέγιστης μετρηθείσας μετακινήσεως. Η ανάλυση προβλέπει παραμένουσα μετακίνηση ίση με 11 cm, ενώ μετρήθηκαν τουλάχιστον 10–22 cm στους κρηπιδοτοίχους της Μαρίνας.
- Στις αναλύσεις δεν ελήφθη υπόψιν η πιθανότητα ανάπτυξης υδατικών υπερπιέσεων ή, ακόμη περισσότερο, ρευστοποιήσεως των άμμο-ιλυωδών εδαφικών στρώσεων. Τότε, η υπολογιζόμενη διαφορική μετακίνηση θα είναι σαφώς μεγαλύτερη. Η (μερική έστω) ρευστοποίηση αποτελεί μια πιθανή εξήγηση των μεγαλύτερων της αναλύσεως πραγματικών παραμενουσών μετακινήσεων.
- Η επιρροή των πολλών κύκλων της καταγραφής της Λευκάδας στους λιμενικούς κρηπιδοτοίχους είναι σαφής. Οι παρατηρηθείσες μετακινήσεις της τάξεως των 20 cm δεν θα είχαν λάβει χώρα, αν δεν υπήρχαν τόσο πολλοί σημαντικοί κύκλοι. Δεδομένου ότι ο κρηπιδοτοίχος δεν μπορεί να ολισθήσει παρά μόνον προς τα έξω, ο κάθε κύκλος προσθέτει επιπλέον ολίσθηση. Η συσσώρευση των ολισθήσεων αυτών προκαλεί τις σχετικά μεγάλες παραμένουσες μετακινήσεις. Αντιθέτως, οι κτιριακές κατασκευές οι οποίες μπορούν αστοχώντας να “ολισθήσουν” εξίσου προς τις δυο κατευθύνσεις δεν υπέφεραν σημαντικά από τους πολλούς κύκλους.

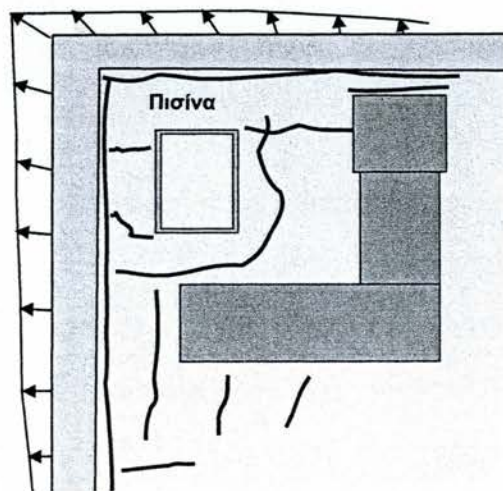
- Τα ανωτέρω μπορούν ποιοτικά να εξηγηθούν μέσα από το μηχανικό ανάλογο του Σχήματος 8.7. Η παραμένουσα ολίσθηση σε κεκλιμένο επίπεδο, λόγω της σταδιακής συσσώρευσης των επιμέρους ολισθήσεων, είναι τάξη μεγέθους μεγαλύτερη από την ολίσθηση επί οριζοντίου επιπέδου. Η περίπτωση του κρηπιδοτοίχου είναι προφανώς αντίστοιχη με την ολίσθηση επί κεκλιμένου επιπέδου : ο τοίχος ολισθαίνει μόνον προς τα έξω, χωρίς να μπορεί να επιστρέψει. Η περίπτωση των κτιριακών κατασκευών είναι ποιοτικά αντίστοιχη με την ολίσθηση επί οριζοντίου επιπέδου : η κατασκευή όταν αστοχεί μπορεί να ολισθήσει και στις δύο διευθύνσεις, και άρα καί να επιστρέψει, μην παθαίνοντας σημαντικές βλάβες.



**Σχήμα 8.1** Νότιο τμήμα Λιμένος Λευκάδας: Σκαρίφημα διαφορικών καθιζήσεων και εδαφικών μετακινήσεων κατά μήκος νοητής τομής κάθετης στον λιμενικό κρητιδότοιχο.

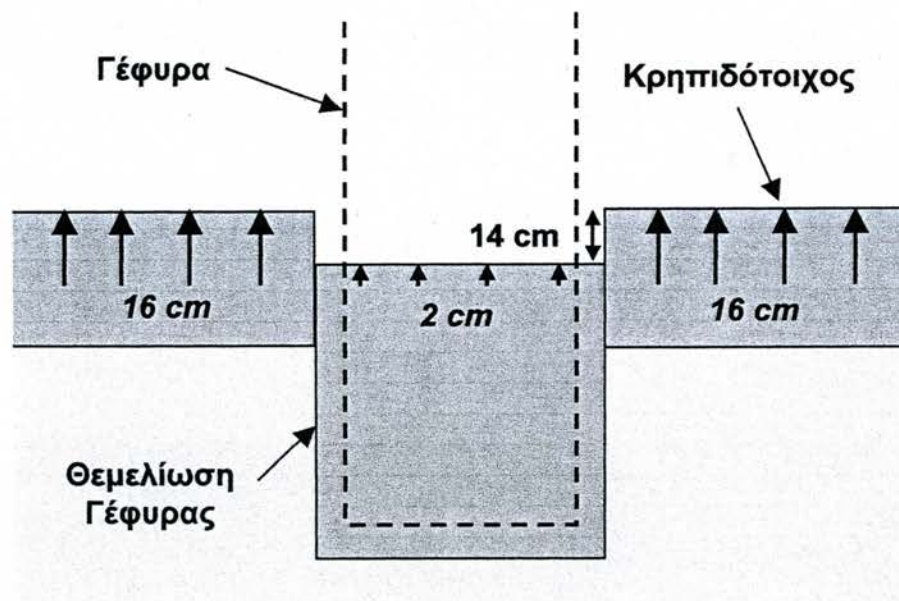


Σχήμα 8.2(α) Μαρίνα Λευκάδας : Σκαριφηματική απεικόνιση σε κάτοψη

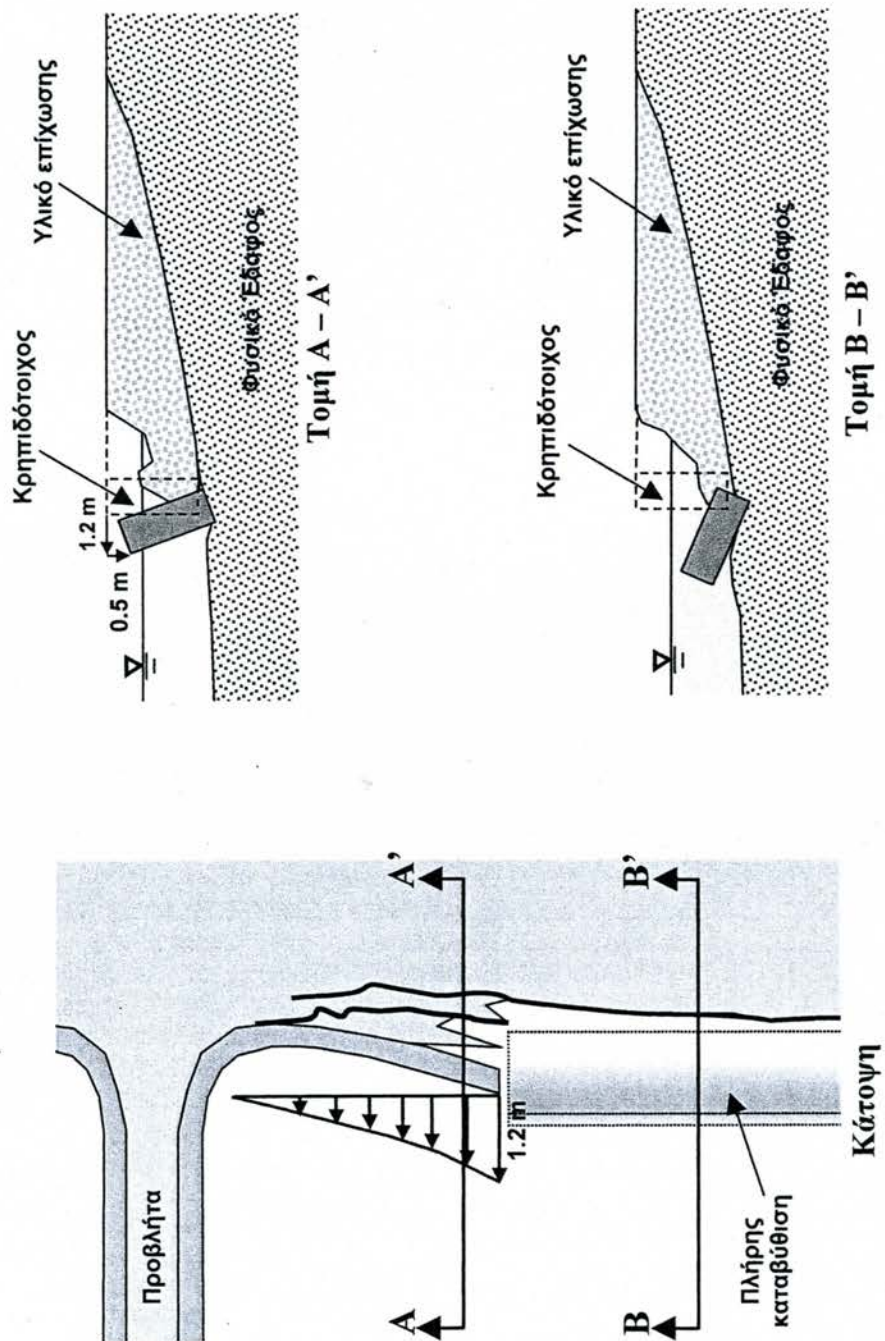


Σχήμα 8.2(β) Η εκδήλωση της “οριζόντιας εξάπλωσης” στην επιφάνεια της περιοχής  
α

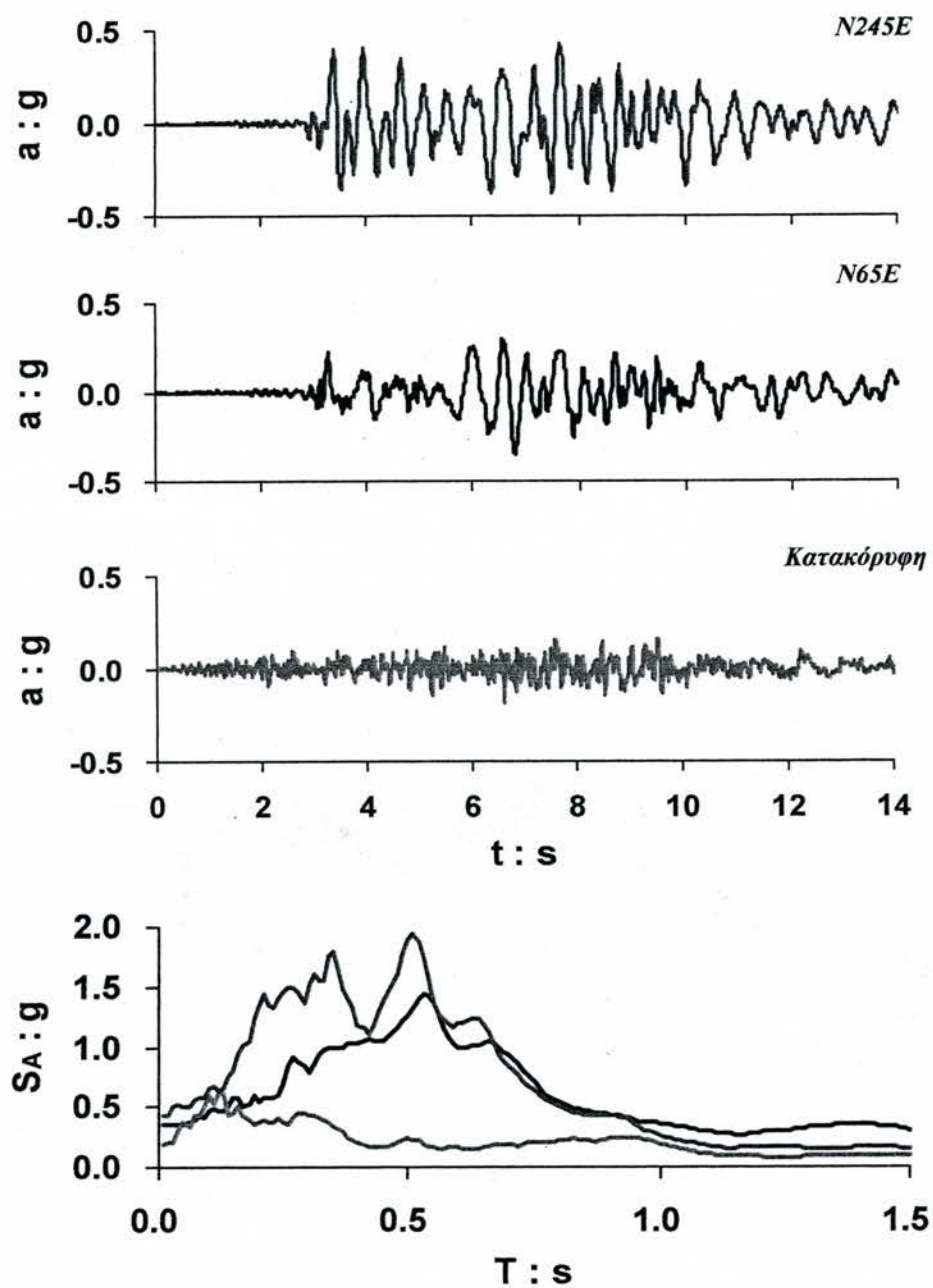




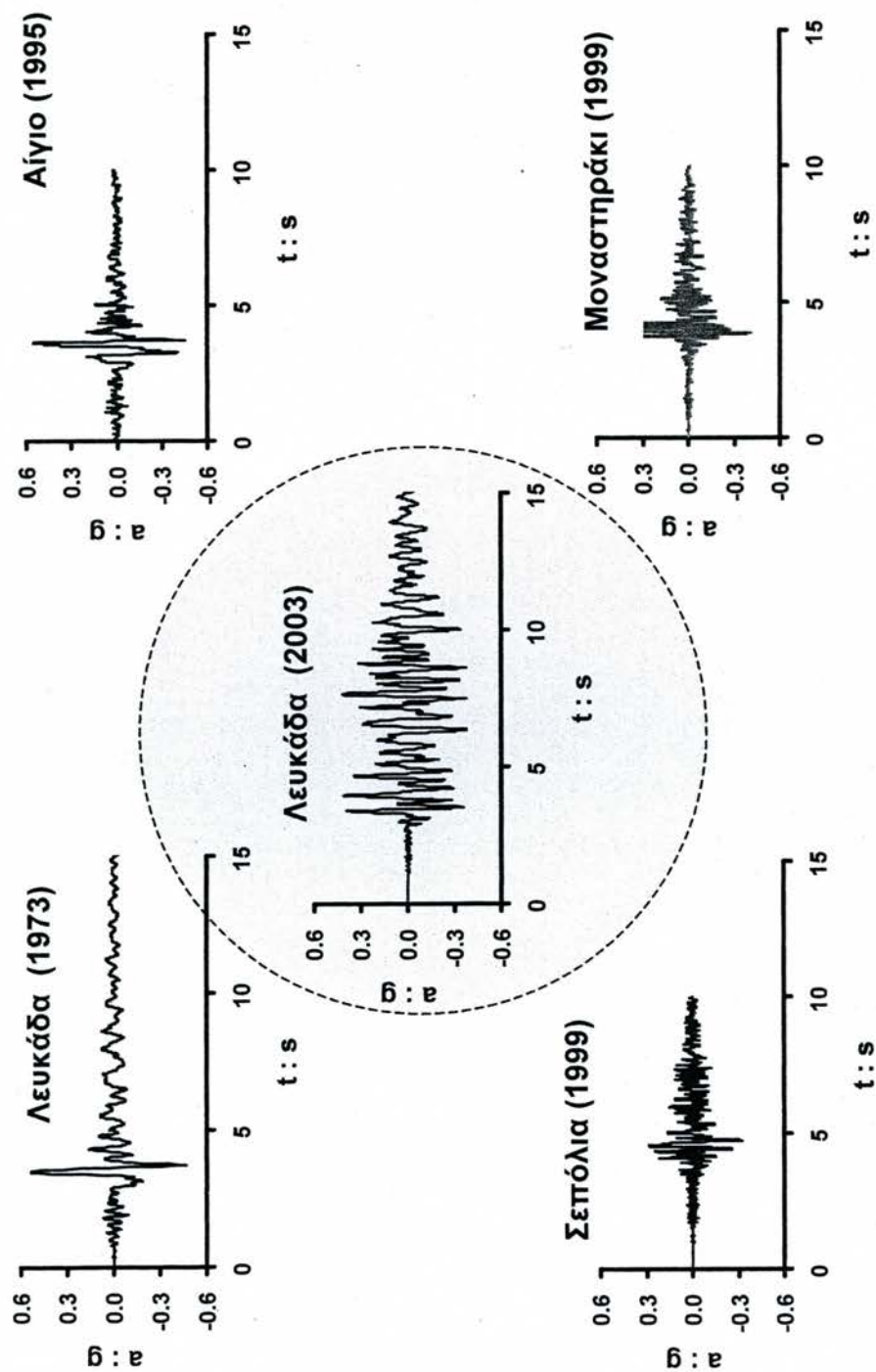
Σχήμα 8.3 Σκαριφηματική κάτοψη της διαφορικής εγκάρσιας μετακίνησης κρηπιδοτοίχου και βάθρου πεζογέφυρας



**Σχήμα 8.4** Λιμάνι Λυγιάς : Σκαρίφημα μετακινήσεων κρητιδότοιχου. Η μετακίνηση αυξάνεται με την απομάκρυνση από την προβλήτα η οποία έπαιξε τον ρόλο αντιρίδας. Σε απόσταση 40 m από τον προβλήτα, ο κρητιδότοιχος ανατράπηκε πλήρως.

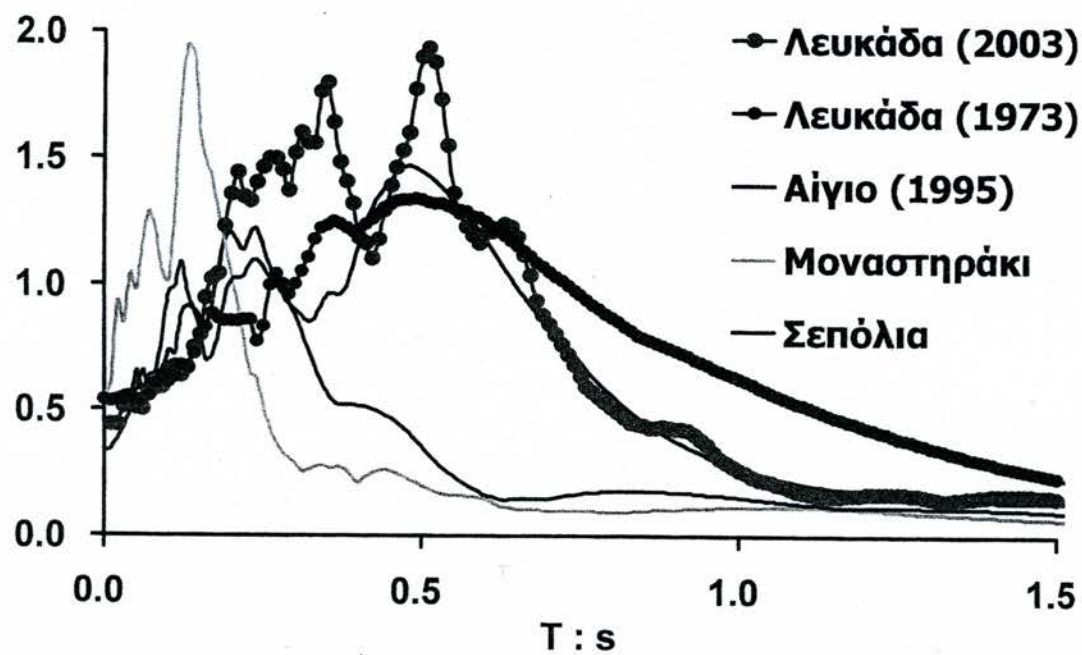


Σχήμα 8.5 Οι τρεις συνιστώσες της καταγραφής στο Νοσοκομείο Λευκάδας και τα φάσματα τους [καταγραφή ΙΤΣΑΚ]

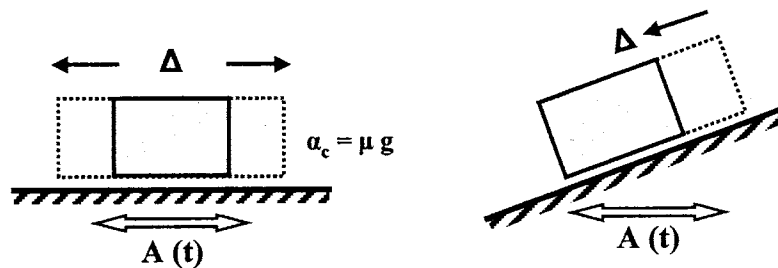


Σχήμα 8.6(α) Σύγκριση Καταγραφής Λευκάδας 2003 με τέσσερις άλλες καταγραφές του ελληνικού χώρου

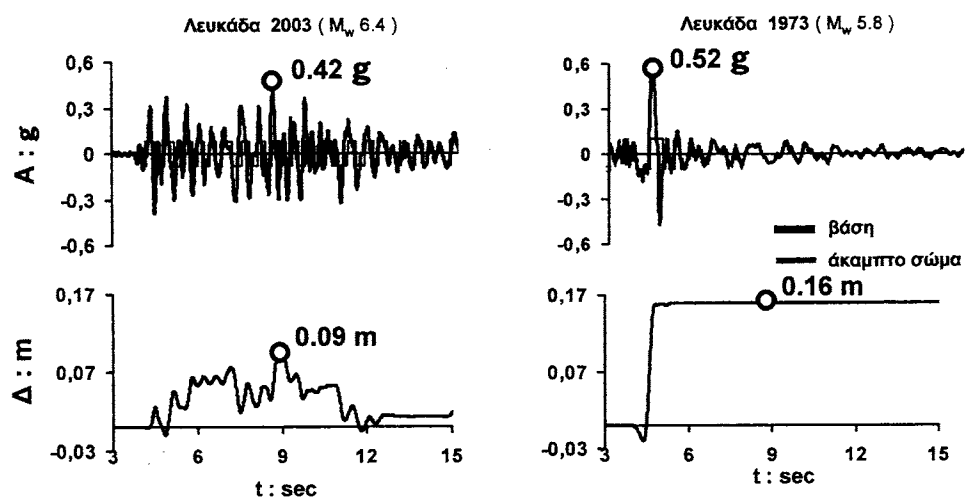




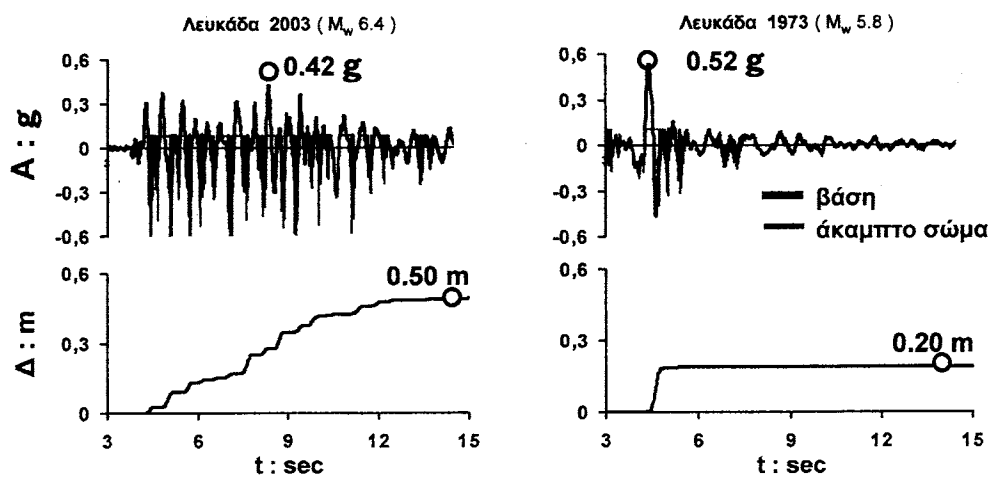
Σχήμα 8.6(β) Σύγκριση αντιστοίχων Φασμάτων Αποκρίσως



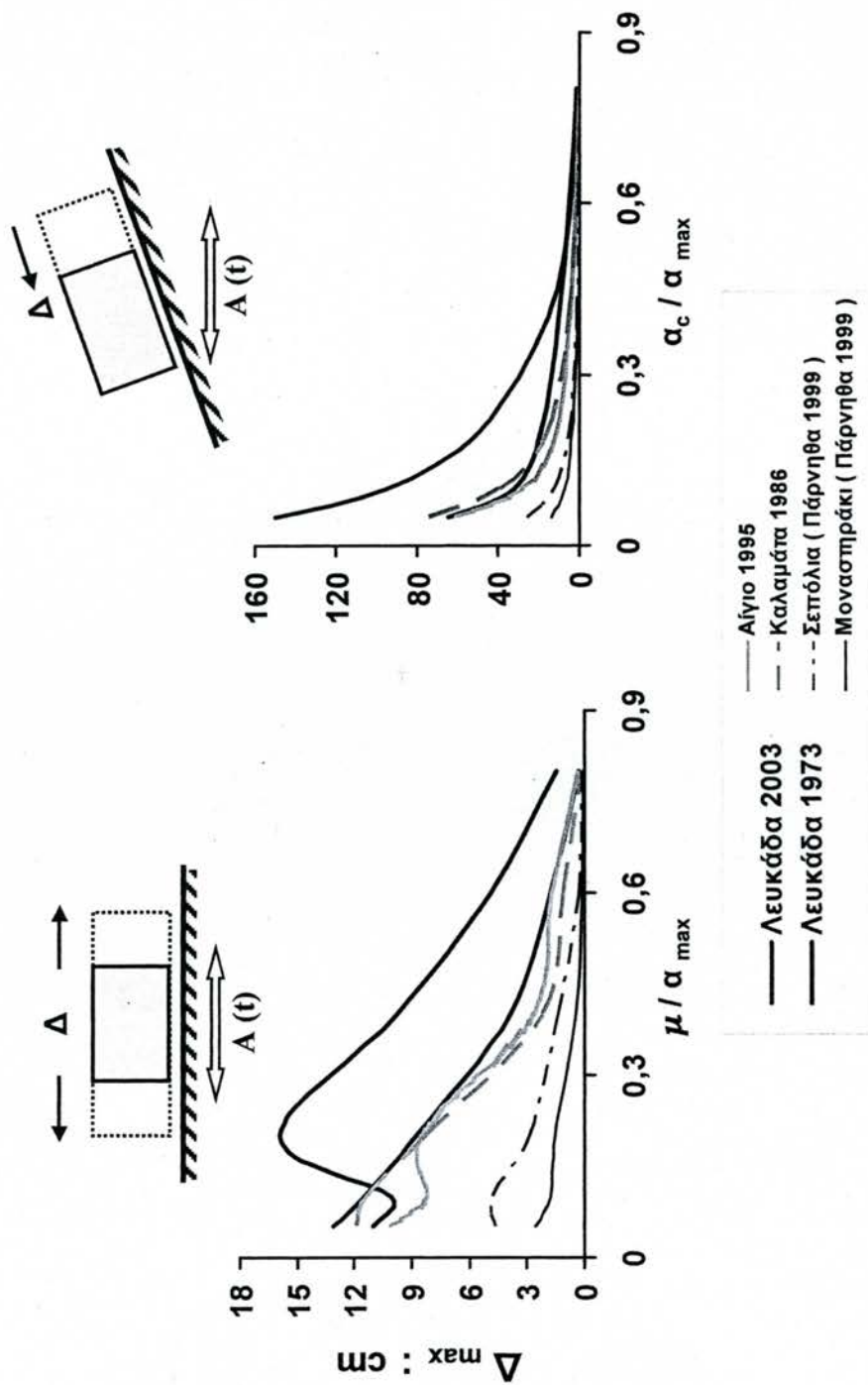
Σχήμα 8.7 Δύο απλά ανελαστικά συστήματα, συμμετρικής και ασύμμετρης ολίσθησης



Σχήμα 8.8 Σύγκριση των αποτελεσμάτων των καταγραφών Λευκάδας 2003 και 1973 σε συμμετρική ολίσθηση

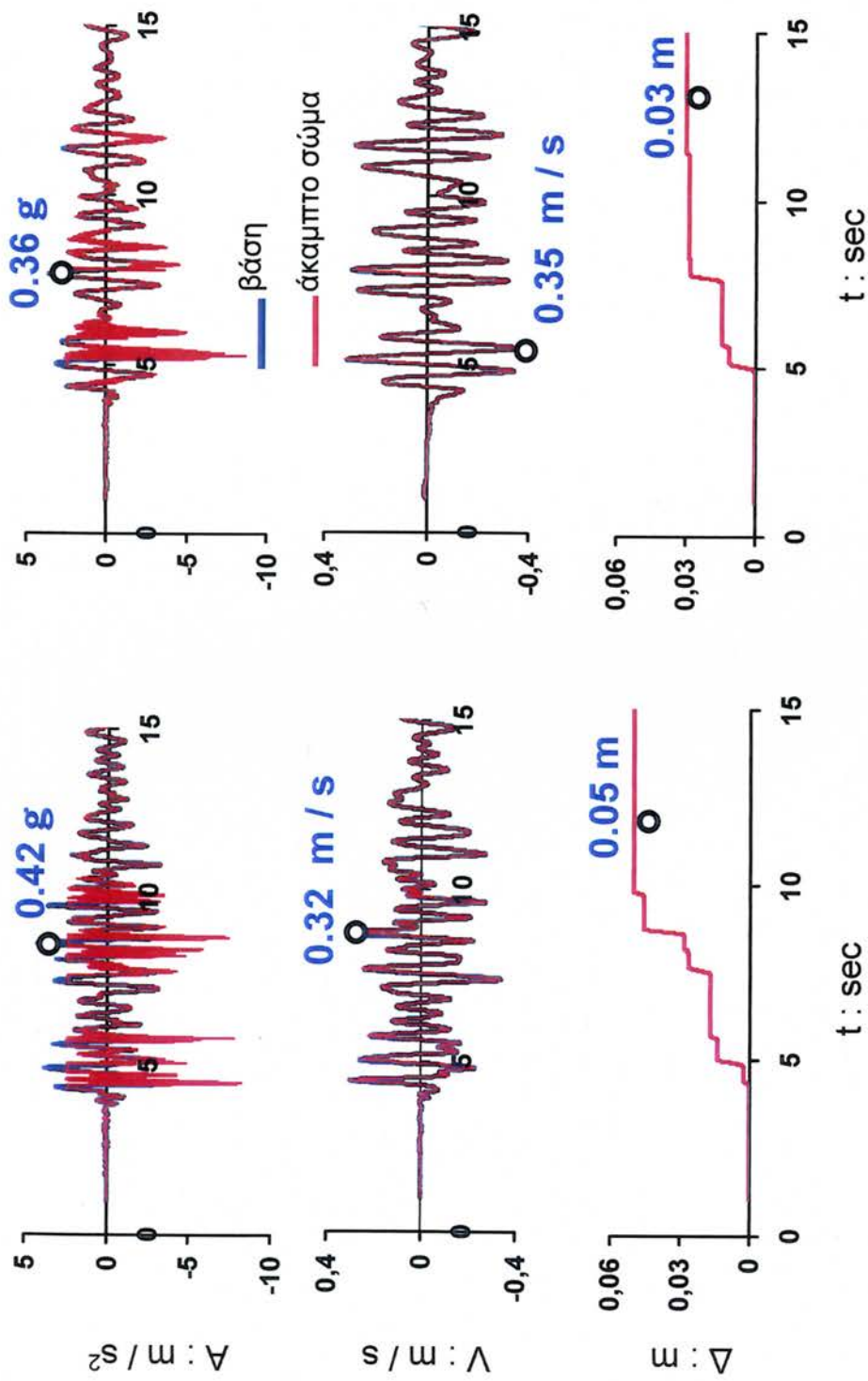


Σχήμα 8.9 Σύγκριση των αποτελεσμάτων των καταγραφών Λευκάδας 2003 και 1973 σε ασύμμετρη ολίσθηση

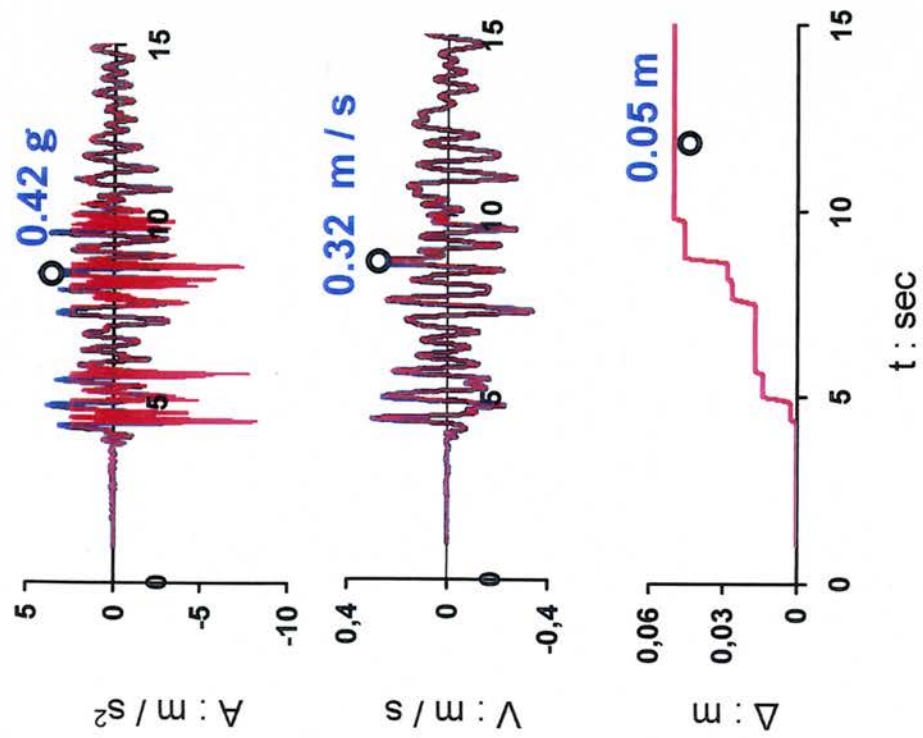


Σχήμα 8.10 Σύγκριση Φασμάτων Συμμετρικής και Ασύμμετρης ολίσθησης

## Υπολογισθείσα Επιτάχυνση Μαρίνας

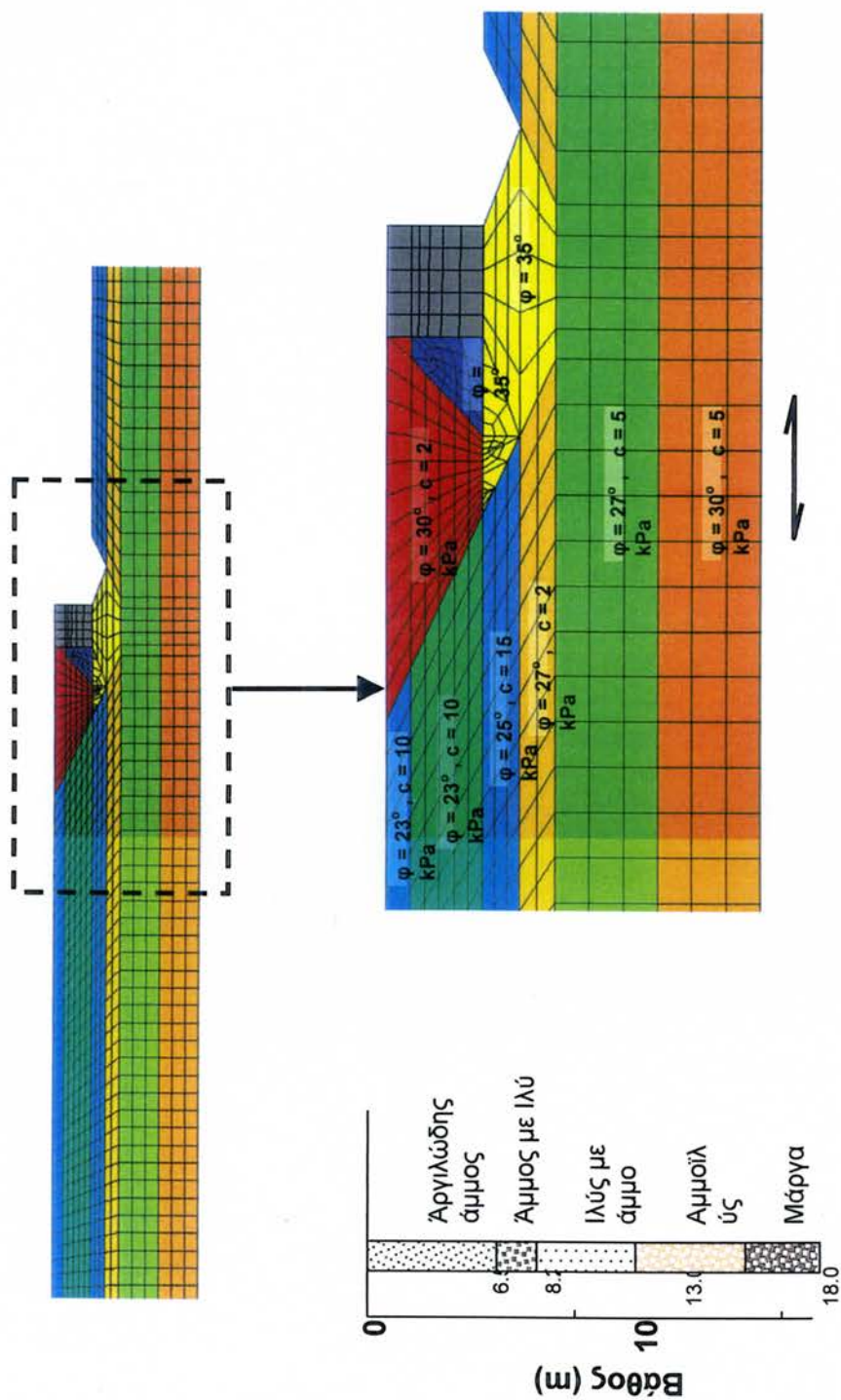


## Καταγραφή Νοσοκομείου

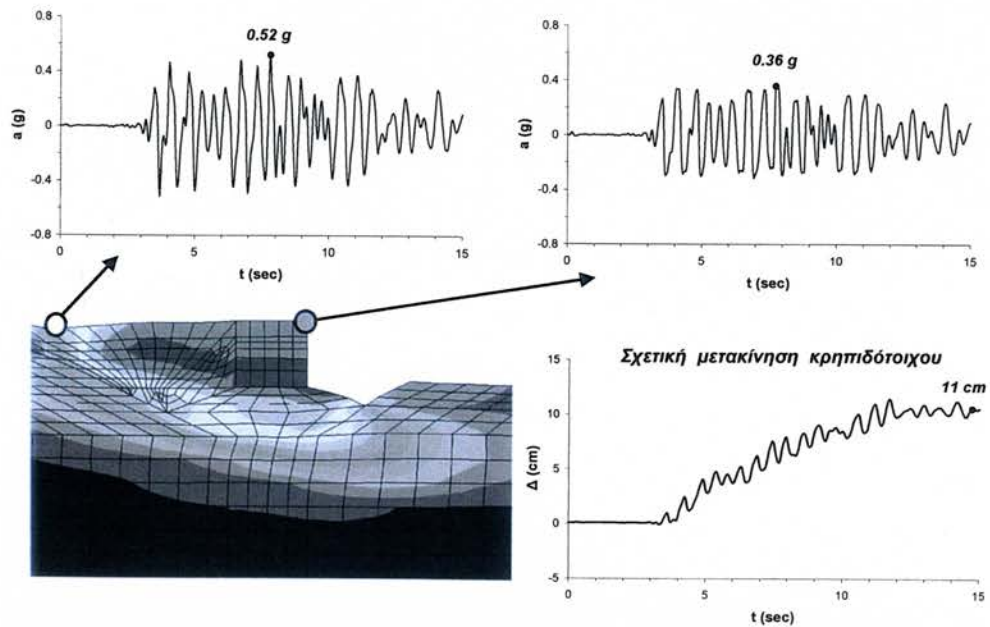


**Σχήμα 8.11** Αποτελέσματα Αναλύσεων ασύμμετρης ολίσθησης με  $\alpha_z/\alpha = 0.57$  και  $0.67$  για διεγέρσεις την καταγραφή Νοσοκομείου και την υπολογισθείσα επιτάχυνση της Μαρίνας

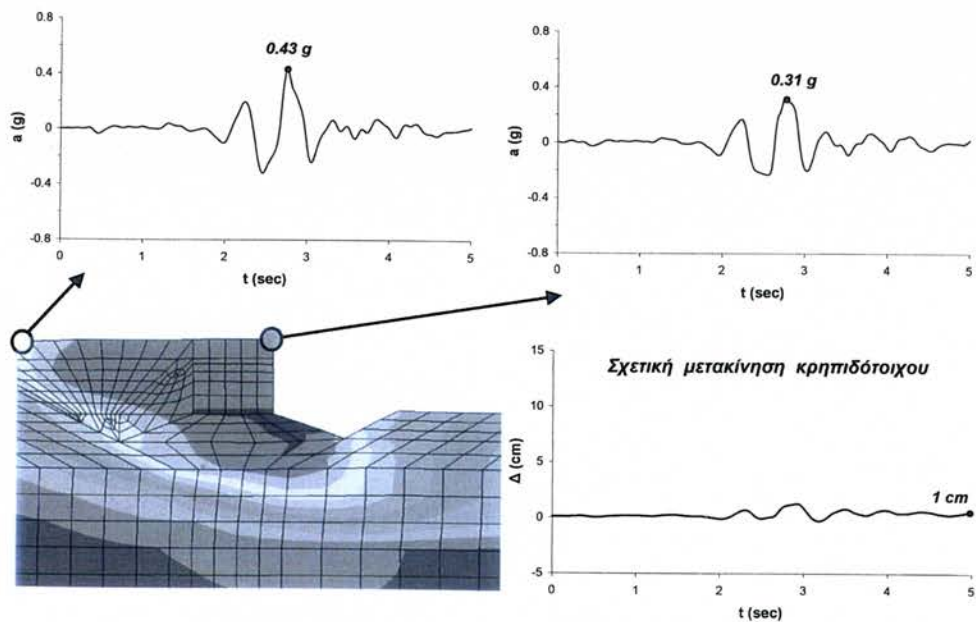




Σχήμα 8.12 Το αριθμητικό προσομοίωμα για την ανάλυση των παραμορφώσεων του κρητιδοτόιχου



**Σχήμα 8.13** Αποτελέσματα αριθμητικής ανάλυσης της σεισμικής απόκρισης τυπικού κρηπιδοτοίχου στον σεισμό Λευκάδας 2003



**Σχήμα 8.14** Αποτελέσματα αριθμητικής ανάλυσης της σεισμικής απόκρισης τυπικού κρηπιδοτοίχου στον σεισμό Αγίου 1995



**Φωτο.8. 1** Αεροφωτογραφίες της νήσου και της πόλης της Λευκάδας με την θέση του σεισμογόνου ρήγματος

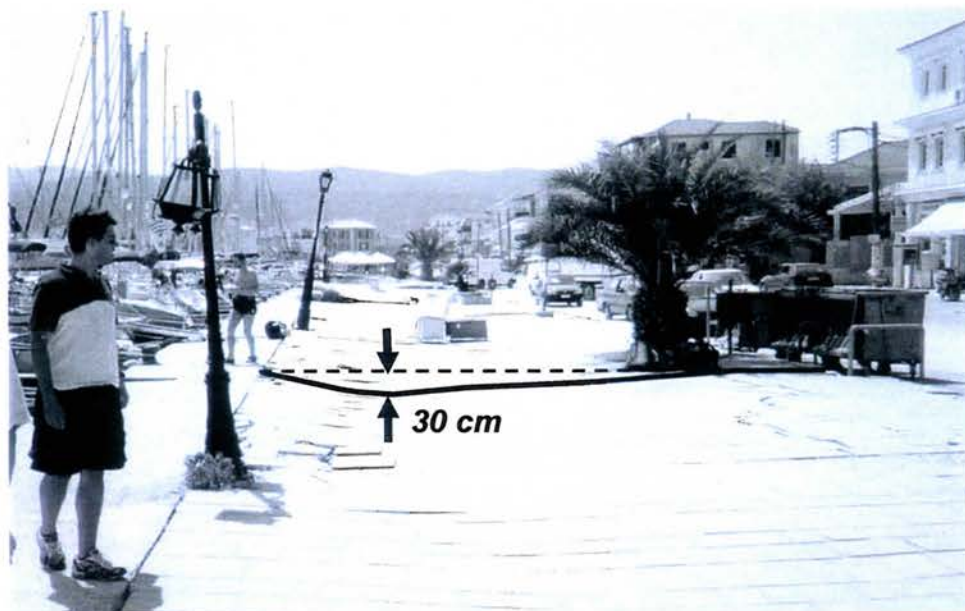




**Φωτο. 8.2** Ρευστοποιηθείσα αμμο-ιλύς στο Νότιο τμήμα του Λιμένος Λευκάδας



**Φωτο. 8.3** Ρευστοποιηθείσα αμμο-ιλύς και διαφορεικές μετακινήσεις στο Νότιο τμήμα του Λιμένος Λευκάδας



Φωτο. 8.4 Διαφορικές Καθιζήσεις στον Λιμένα Λευκάδας



Φωτο. 8.5 Παραμορφωμένη διατομή κρηπιδοτοίχου και επιχώσεως στον Λιμένα





**Φωτο. 8.6** Επιφανειακές ρωγμές λόγω της οριζόντιας εξάπλωσης στην Μαρίνα Λευκάδας (σημείο α)



**Φωτο. 8.7** Επιφανειακές ρωγμές λόγω της οριζόντιας εξάπλωσης στην Μαρίνα Λευκάδας (σημείο α)



**Φωτο. 8.8** Σχετική βύθιση και οριζόντια μετατόπιση του εδάφους ως προς το θεμελιωμένο-με-πασσάλους κτίριο (σημείο δ)



**Φωτο. 8.9** Σχετική μετατόπιση και στροφή κρηπιδοτοίχου – αντιστηριζομένου εδάφους (σημείο δ)

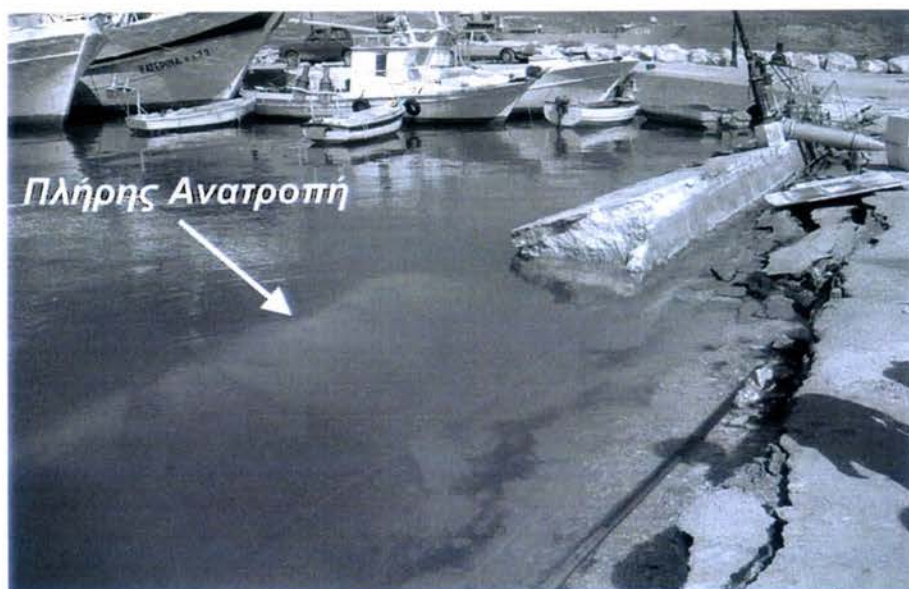


**Φωτο. 8.10** Φωτογραφία διαφορετικής εγκάρσιας μετακίνησης κρηπιδοτοίχου και βάθρου πεζογέφυρας





**Φωτο. 8.11** Λιμάνι Λυγιάς : Πλήρης ανατροπή κρηπιδοτοίχου (φωτογραφία 7 ώρες μετά το συμβάν)



**Φωτο. 8.12** Λιμάνι Λυγιάς : Πλήρης ανατροπή κρηπιδοτοίχου (φωτογραφία 50 ώρες μετά το συμβάν)





**Φωτο. 8.13** Λιμάνι Βασιλικής : Διαφορικές καθιζήσεις στην αποβάθρα

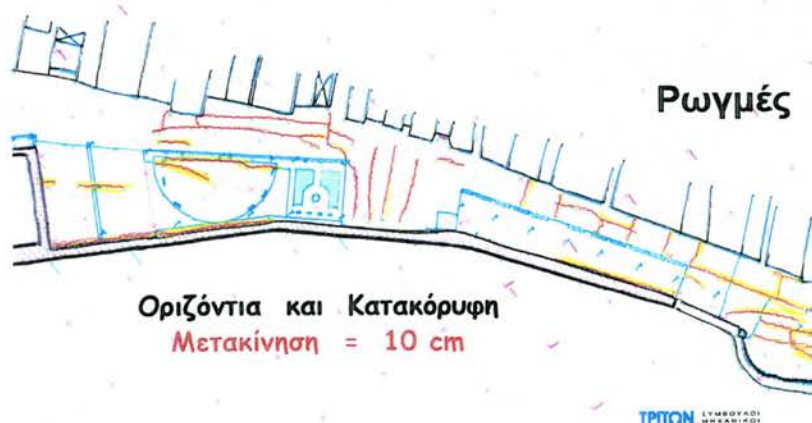


(β)



(α)

**Φωτο.8. 14** Προκυμμία Βλυχού : Στροφή και βύθιση στην προκυμμία του Βλυχού



Φωτο. 8.15 Βλάβες στον λιμένα Νυδρίου



## 9.

### ΟΙ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ

Το παρόν κεφάλαιο δεν είναι παρά μία συγκεφαλαίωση παρατηρήσεων και αναλύσεων. Σε μεγάλο μέρος του βασίζεται στην επισυναπτόμενη εμπειριστατωμένη έκθεση του Καθηγητή **κ. Γ. Κούκη** με τίτλο :

*"Ο Σεισμός της Λευκάδας : Ερμηνεία των Κατολισθήσεων στο Οδικό Δίκτυο—Προτάσεις Αντιμετώπισης".*

#### **9.1 Εισαγωγή : Γεωλογικές Συυθήκες και Αστάθεια Πρανών**

Η Λευκάδα έχει έντονο μορφολογικό ανάγλυφο καθώς και σύνθετη γεωλογική και τεκτονική δομή. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί του υποβάθρου ανήκουν σε δύο διαφορετικές γεωτεκτονικές ζώνες (Ιονίου και Παξών), των οποίων η σχέση καθορίζεται από μια μεγάλη γραμμή επώθησης, διευθύνσεως περίπου Β-Ν.

Το μεγαλύτερο μέρος της νήσου αποτελείται από ασβεστολιθικής –δολομιτικής σύστασης πετρώματα, τα οποία τοπικώς καλύπτονται από ιζήματα φλύσχη (κυρίως ιλυολίθους με ενστρώσεις λατυποπαγών ασβεστολίθων και ψαμμιτών). Νεώτερα ιζήματα του Νεογενούς (κυρίως κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, μάργες και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι) απαντούνται στο βόρειο-ανατολικό τμήμα της νήσου ενώ η παρουσία των τεταρτογενών και πρόσφατων αποθέσεων περιορίζεται στην ευρύτερη περιοχή της πόλης της Λευκάδας και στις μικρές πεδινές εκτάσεις του Νυδρίου και της Βασιλικής.



Χαρακτηριστική για την Λευκάδα είναι η παρουσία μεγάλου πάχους πλευρικών κορημάτων, των οποίων η ανάπτυξη οφείλεται τόσο στο έντονο ανάγλυφο όσο και σε τεκτονικά αίτια.

Το ιδιαίτερο γεωδυναμικό περιβάλλον της Λευκάδας, λόγω της θέσης της στο βόρειο-δυτικό άκρο του ελληνικού τόξου, την καθιστά μαζί με τις γειτονικές νήσους του Ιονίου περιοχή με την υψηλότερη σεισμικότητα στον ελληνικό χώρο. Η υψηλή αυτή σεισμική δραστηριότητα, εκτός των βλαβών τις οποίες προκαλεί στο δομημένο περιβάλλον, συνδέεται και με την εκδήλωση σημαντικών "δευτερογενών" φαινομένων : κατολισθήσεων, καταπτώσεων βράχων, καθιζήσεων και τοπικών ρευστοποιήσεων.

Τα μεγαλύτερα γεωλογικά προβλήματα που προκάλεσε ο σεισμός συνδέονται με εκτεταμένες αποκολλήσεις και καταπτώσεις βράχων, και είναι ιδιαιτέρως έντονα κατά μήκος της ΒΔ ακτογραμμής, όπου εντοπίζονται πολύ απότομα φυσικά ή τεχνητά πρηνή διαμορφωμένα σε κατακερματισμένα και επομένως μικρής συνοχής ασβεστολιθικά και δολομιτικά πετρώματα.

Η νήσος έχει υποστεί κατά τη διάρκεια της γεωλογικής της ιστορίας πολλαπλές τεκτονικές διεργασίες που οδήγησαν στην παρουσία έντονου αναγλύφου και σύνθετης γεωλογικής δομής. Γεωδυναμικώς, η νήσος τοποθετείται στα όρια του ελληνικού τόξου, οι δε γεωλογικοί σχηματισμοί του έχουν υποστεί τις συνέπειες έντονης τεκτονικής, καταπόνησης.

Η τελευταία συμπιεστική παροξυσμική φάση έλαβε χώραν κατά την διάρκεια του Κατώτερου Πλειστοκαίνου, εκφράζεται δε μέ την δράση κανονικών ρηγμάτων και κυρίως ρηγμάτων οριζόντιας ολίσθησης, τα μεγαλύτερα από τα οποία είναι δεξιόστροφα.

Τέλος, μέχρι σήμερα εξακολουθούν να δημιουργούνται κατακόρυφες μετακινήσεις συνδεόμενες τόσο με τεκτονικά αίτια όσο και με μεταβολές της στάθμης της θάλασσας. Αποτέλεσμα : η ελαφρά ανύψωση του δυτικού τμήματος της νήσου και η καταβύθιση του υπολοίπου.

## **9.2 Μορφολογικό Ανάγλυφο, Αίτια των Κατολισθήσεων**

### **9.2.1 Οδικός Άξονας «Τσουκαλάδες–Πευκούλια–Αγ. Νικήτας»**

Τμήμα του συγκεκριμένου άξονα βρίσκεται σε μεγάλα υψόμετρα, έτσι ώστε ανάντι του δρόμου να υπάρχουν φυσικά πρανή με πολύ ισχυρές κλίσεις, ενώ άλλα τμήματα συνεχίζονται σε σχετικά ηπιότερες κλίσεις. Η έντονη καταπόνηση των ανθρακικών σχηματισμών λόγω της ισχυρής τεκτονικής δράσης στα απότομα πρανή ανάντη του δρόμου, καθιστά μεγάλα τμήματα των πρανών επιρρεπή σε αστοχίες ιδιαίτερα υπό δυναμική φόρτιση. Κατά μήκος του υπόψιν τμήματος, η βραχομάζα των ασβεστολιθικών σχηματισμών ταξινομείται με το σύστημα RMR ως κακής–πολύ κακής ποιότητας. Για τις πέντε θέσεις έρευνας που επελέγησαν, οι τιμές RMR προέκυψαν παραπλήσιες, το οποίο σημαίνει ότι τα εν λόγω ασβεστολιθικά πετρώματα είναι πολύ χαμηλής ποιότητας και η αστάθειά τους γενικά δεν καθορίζεται από τα επίπεδα ασυνεχειών που τα διατέμνουν αλλά κυρίως από σύνθετους μηχανισμούς εδαφικής αστοχίας. Βάσει του συστήματος SMR η ποιότητα της βραχομάζας κατηγοριοποιείται και πάλι ως κακή με ευρείας κλίμακας αναμενόμενες ολισθήσεις. Στην βιβλιογραφία, γι' αυτήν την κατάταξη επιβάλλεται η λήψη προστατευτικών έργων : τοίχοι αναχαίτισης, διαμορφώσεις πρανών, αποστραγγίσεις. Τέλος, με χρήση του συστήματος GSI, ο δείκτης για τις διάφορες θέσεις έρευνας κυμαίνεται από 35 έως 50, ενδεικτικό εντόνως τεμαχισμένης και τοπικώς αποδομημένης βραχομάζας.

Συγκεφαλαιωτικά συμπεραίνεται ότι για το υπόψιν τμήμα η βραχομάζα διατέμνεται από τρία κύρια συστήματα ασυνεχειών και ένα δευτερεύον σύστημα διακλάσεων με τοπική εμφάνιση. Η δυνητική εκδήλωση ολισθήσεων λόγω των ασυνεχειών αναφέρεται σε όλους τους τύπους (σφήνες, επίπεδες ολισθήσεις, ανατροπές), η παρουσία των οποίων επιβεβαιώνεται σε όλες τις θέσεις.

Τα αποτελέσματα της γεωτεχνικής έρευνας στην περιοχή ανέδειξαν ασβεστολιθικούς σχηματισμούς σε βάθος από 2.5 m και μέχρι το πέρας των γεωτρήσεων. Οι σχηματισμοί αυτοί εμφανίζονται εντόνως αποδομημένοι και

μυλωνιτιωμένοι με συμπεριφορά εδαφικού χαρακτήρα. Τα αποτελέσματα των δοκιμών SPT σε κάποιες θέσεις υποδηλώνουν την παρουσία ζωνών υλικού με σημαντικά ασθενέστερη συμπεριφορά.

### **9.2.2 Οδικός Άξονας "Αγ. Πέτρος-Κομηλιό"**

Ο δρόμος βρίσκεται και σε αυτήν την περίπτωση σε μεγάλο υψόμετρο με αποτέλεσμα πρανή να έχουν συχνά ισχυρή κλίση, η οποία γίνεται ισχυρότερη στις θέσεις απόθεσης των υλικών εκσκαφής. Η έντονη τεκτονική καταπόνηση των ανθρακικών σχηματισμών στα απότομα πρανή ανάντη του δρόμου καθιστά μεγάλα τμήματα των πρανών αυτών επιρρεπή σε αστοχία, ιδίως υπό δυναμική εξαίτηση. Οι σχηματισμοί αυτοί εμφανίζονται κερματισμένοι έως μυλωνιτιωμένοι. Η διασπορά του προσανατολισμού των ασυνεχειών δεν είναι τόσο έντονη όσο στην περίπτωση του προαναφερθέντος άξονα.

Διεξήχθησαν εργαστηριακές δοκιμές βραχωδών δειγμάτων τα οποία χαρακτηρίζονται κατά Bieniawski (1974) ως "*μέσης έως υψηλής αντοχής*". Η ασβεστολιθική βραχομάζα κατά μήκος του συγκεκριμένου τμήματος ταξινομείται με χρήση του συστήματος RMR ως κακής μάλλον ποιότητας. Οι τιμές του RMR είναι παραπλήσιες για όλες τις εξετασθείσες θέσεις, πράγμα που σημαίνει ότι η ποιότητα των πετρωμάτων είναι κακή, η δε γενικότερη αστάθειά τους καθορίζεται από σύνθετου τύπου αστοχίες. Αναμενόμενες επίσης είναι οι αστοχίες τοπικού χαρακτήρα.

Βάσει του συστήματος SMR η ποιότητα της βραχομάζας είναι κακή με ευρείας κλίμακος αναμενόμενες αστάθειες. Από την βιβλιογραφημένη παγκόσμια εμπειρία, προτείνονται καί για το τμήμα αυτό σοβαρά τεχνικά έργα αναχαιτίσεως. Οι τιμές του δείκτη GSI κυμαίνονται για το εν λόγω τμήμα από 35 έως 50, ενδεικτικές πολύ τεμαχισμένης και κατακερματισμένης βραχομάζας.

### **9.2.3 Δευτερεύοντες Οδικοί Αξονες**

Σε διάφορα σημεία του δευτερεύοντος οδικού δικτύου παρατηρήθηκαν πτώσεις κορημάτων. Στην Οδό «Καλαμίτσι–Παραλία» το υπόβαθρο αποτελείται από εβαπορίτες οι οποίοι εξασφαλίζουν στεγανότητα και επομένως αυξημένη κινητικότητα των υπερκειμένων κορημάτων. Στην περίπτωση της Οδού «Νικολή–Σύμβρου», τα κορήματα ανάντη του δρόμου εμφανίζονται κατακερματισμένα και διαμορφώνουν επικρεμάμενους ογκολίθους. Η κινητικότητα των διαπερατών αυτών υλικών ενισχύεται από την παρουσία στεγανών μαργών και την επακόλουθη κυκλοφορία νερού στη διεπιφάνειά τους. Τέλος, στην περίπτωση της Οδού "Καλαμίτσι –Χορτάτα" οι ασβεστόλιθοι παρουσιάζουν πλακώδη ανάπτυξη με θετικό για την ευστάθειά τους προσανατολισμό των διεπιφανειών. Οι αστοχίες που παρατηρούνται είναι μικρής μόνον έκτασης, εντοπίζονται δε στις θέσεις ρηξιγενών ζωνών όπου το πέτρωμα είναι καταπονημένο. Το ανάντη πρανές έχει μεγάλο σχετικώς ύψος, με απότομες κλίσεις. Έτσι επιτείνεται το πρόβλημα αυτού του τμήματος. Σημειώνεται ότι το πρανές εμφανίζει ασταθή δομή σε μεγαλύτερο πάχος πετρώματος (πέραν αυτού που ενεργοποιήθηκε εξαιτίας του σεισμού), με αποτέλεσμα την προοδευτική απολέπιση, χωρίς απαραίτητα την συνδρομή της σεισμικής επιπόνησης.





Φωτ. 9.1. Γενική άποψη των εκτεταμένων κατολισθήσεων στον παραλιακό δρόμο Τσουκαλάδες – Αγ. Νικήτας



Φωτ. 9.2. Εκτεταμένη κατολίσθηση στους έντονα καταπονημένους δολομίτες (1998)





Φωτ. 9.3. Καταπτώσεις βράχων από το ασβεστολιθικό πρανές



Φωτ. 9.4. Καταπτώσεις βράχων στην είσοδο του Αγ. Νικήτα

## 10.

### **ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ των ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΒΛΑΒΩΝ**

#### **10.1 Γενικές Αρχές Προτεινομένων Επεμβάσεων**

Με βάση τις αναλύσεις του Κεφαλαίου 8, αλλά και την εξέταση των μελετών και των κατασκευαστικών στοιχείων κάθε λιμένος εξετάσθηκαν διάφορες λύσεις αποκατάστασης. Βασικό κριτήριο : η αποφυγή καθαιρέσεως των υφισταμένων διατομών, ή η αποφυγή κατασκευής νέων λιμένων που αφενός μεν θα οδηγούσε σε μεγιστοποίηση της συνολικής δαπάνης επισκευής, αφετέρου δε θα απαιτούσε νέες περιβαλλοντικές εγκρίσεις που θα επιβράδυναν την εκτέλεση των προβλεπομένων εργασιών. Η τελευταία παράμετρος αποτέλεσε σημαντικό κριτήριο σχεδιασμού για τις προτεινόμενες εργασίες δεδομένου ότι η Λευκάδα είναι μία σημαντική τουριστική περιοχή της χώρας μας. Επιπλέον σε κανένα σημείο των προτεινομένων επεμβάσεων δεν μεταβάλλεται η γραμμή αιγιαλού.

Η σχεδιαστική υλοποίηση των προτάσεων του παρόντος κεφαλαίου δεν εμπίπτει στα αντικείμενα του ερευνητικού μας προγράμματος.

Οι εργασίες αποκατάστασης που προτείνονται έχουν ως σκοπό την βελτίωση των συνθηκών ευστάθειας των διατομών χωρίς όμως πάντοτε να επιτυγχάνονται οι προδιαγραφές μελετών και οι συντελεστές ασφαλείας που καθορίζονται από τον *σημερινό* Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ). Τούτο δε διότι οι πολύ αυστηρότερες θεωρήσεις (είτε των παραμέτρων σχεδιασμού, είτε των μεθοδολογιών υπολογισμού, είτε τέλος των σεισμικών επιταχύνσεων) οδηγούν σε σημαντικές προσauξήσεις των απαιτούμενων μαζών των διατομών, με αποτέλεσμα συχνά να είναι ουσιαστικώς αδύνατη η εναρμόνιση των παλαιών κατασκευών με τις νέες απαιτήσεις. Ενδεχόμενη πλήρης αποκατάσταση παλαιών κατασκευών μπορεί να επιτευχθεί μόνον με ιδιαίτερος δαπανηρές λύσεις — ουσιαστικά με πλήρη

επανακατασκευή των έργων.

Η ανωτέρω παρατήρηση δεν αφορά το σύνολο των λιμενικών εγκαταστάσεων. Στις περιπτώσεις που είτε η έκταση των προτεινομένων εργασιών το επιτρέπει, είτε η σημασία της λιμενικής εγκατάστασης το απαιτεί (π.χ. στα ανακατασκευαζόμενα τμήματα του Λιμένα Λυγιάς), οι κατασκευές αποκαταστάθηκαν στον μεγαλύτερο δυνατό βαθμό με τους συντελεστές ασφαλείας να προσεγγίζουν τα επιθυμητά όρια και τις προδιαγραφές μελετών του εν ισχύει "Αντισεισμικού Κανονισμού". Οπου προτείνεται καθαίρεση των υφισταμένων κατασκευών και επανακατασκευή των παλαιών έργων, ο σχεδιασμός και οι προδιαγραφές μελέτης έχουν προφανώς καθορισθεί με τους εν ισχύει κανονισμούς και διεθνείς συστάσεις λιμενικών έργων. Σημειώνεται ιδιαιτέρως ότι στον Λιμένα Λευκάδας αποφεύχθηκαν δαπανηρές λύσεις καθώς τέθηκε υπόψη μας το πιθανό ενδεχόμενο μελλοντικής επέκτασης τμήματος της γραμμής κρηπίδωσης κατά περίπου 10 m στα πλαίσια της Μελέτης εκβάθυνσης διαύλου Λευκάδας. Οι προταθείσες εργασίες αποκατάστασης ανά λιμενικό έργο παρουσιάζονται συνοπτικά και αιτιολογούνται ακολούθως.

## **10.2 Λιμένας Λευκάδας**

Ο Λιμένας της Λευκάδας χωρίζεται σε τέσσερις επιμέρους περιοχές, ως προς τα χαρακτηριστικά των υφισταμένων έργων και τις προτεινόμενες εργασίες αποκατάστασης. Για καθεμία από τις τέσσερις αυτές περιοχές σχεδιάστηκαν περισσότερες από μία τομές λόγω της εκτιμώμενης διαφοροποίησης των δεδομένων. Η ακριβής μορφή και έκταση των διατομών του κρηπιδώματος δεν ήταν δυνατόν να εξακριβωθεί, δεδομένου ότι πρόκειται για τμήματα των έργων που είτε είναι ύφαλα είτε είναι εγκιβωτισμένα. Ο καθορισμός των τελικών διατομών μπορεί να γίνει μόνον κατά την διάρκεια των προτεινομένων εργασιών αποκατάστασης.

Σε ότι αφορά στο πρώτο τμήμα του Λιμένα και δεδομένης της σχετικά καλής απόκρισης της κατασκευής στην σεισμική διέγερση αποφασίσθηκε μία μικρού εύρους επέμβαση, η οποία αφορά στο άνω κυρίως τμήμα της διατομής. Ο τρόπος



δόμησης του υφισταμένου μετώπου (ο οποίος διαμορφώνεται με τεχνητό ογκόλιθο λευκού χρώματος), δίνει μια ωραία εικόνα παραδοσιακής δόμησης και διατήρησης της ιστορίας, γι' αυτό και στην λύση αποκατάστασης που δίνεται η δόμηση αυτή διατηρείται και αποκαθίσταται.

Για την επιλογή της συγκεκριμένης επέμβασης συνεκτιμήθηκαν η παρούσα κατάσταση του κρηπιδώματος, η σημαντική θέση στην οποία βρίσκεται σε σχέση με την είσοδο στην πόλη της Λευκάδας, η ηλικία του κρηπιδώματος και το πολύ πιθανό ενδεχόμενο επέκτασης τμήματος της γραμμής κρηπίδωσης προς την θάλασσα με δημιουργία νέας κρηπίδας στα πλαίσια μιάς πιθανής εκβάθυνσης του Διαύλου της νήσου η μελέτη της οποίας έχει επιβλεφθεί από την Περιφέρεια Ιονίων Νήσων.

Ιδιαίτερα με το τελευταίο δεδομένο θα ήταν ανούσια η εκτεταμένη δομική επέμβαση στο υφιστάμενο κρηπίδωμα, την στιγμή που με την κατασκευή νέου κρηπιδώματος το παλαιό θα αποφορτιστεί. Επιλέχθηκε, έτσι, η λύση της καθαίρεσης τμήματος της ανωδομής και των επάλληλων επιστρώσεων με διατήρηση του ιδιαίτερου χαρακτήρα που προσδίδουν οι υφιστάμενοι γωνιακοί ογκόλιθοι και την διαμόρφωση ενιαίας ανωδομής με διαμόρφωση από «σταμπωτό» σκυρόδεμα καταλλήλου σχεδίου. Η λύση αυτή συνδυάζει τα ευνοϊκά χαρακτηριστικά της μονολιθικότητας ανωδομής και επιστρώσεων με την κατάλληλη αισθητική διαμόρφωση της ορατής επιφάνειας της ανωδομής και επιστρώσεων.

Η δεύτερη περιοχή διαφοροποιείται σημαντικά από την προηγούμενη περιοχή ως προς τον βαθμό των επεμβάσεων, καθώς στην σημερινή της μορφή η ανωδομή είναι πλακοστρωμένη πρόσφατα και έχουν τοποθετηθεί τα βασικά δίκτυα Η/Μ συμπεριλαμβανομένων και των κολώνων Η/Μ (pillars).

Με τα παραπάνω δεδομένα κρίθηκε ότι η πιο ενδεδειγμένη λύση είναι η επέμβαση πίσω από την υπερυψωμένη ανωδομή ώστε να αποκατασταθούν οι καθιζήσεις του οδοστρώματος που εμφανίστηκαν. Αν και τεκμαίρεται πως η ανωδομή και τα κρηπιδώματα της δεύτερης περιοχής παρουσιάζουν εν γένει τα ίδια χαρακτηριστικά και κατασκευαστικά προβλήματα που παρουσιάστηκαν στην

περιοχή Α, επιλέχθηκε η λύση της *μή* επέμβασης στην ανωδομή τόσο λόγω του σημαντικού κόστους που συνεπάγεται αυτή η επέμβαση όσο και λόγω του ενδεχόμενου επέκτασης της γραμμή κρηπίδωσης προς την θάλασσα.

Η Τρίτη περιοχή θεωρείται ότι κατά τον σεισμό "αστόχησε" σε ολίσθηση και σε ανατροπή. Καθώς δεν είναι γνωστά τα χαρακτηριστικά της διατομής που έχει εφαρμοστεί, αποφασίστηκε η επέμβαση με τα παρακάτω γενικά χαρακτηριστικά :

- Ενίσχυση της διατομής του κρηπιδώματος μέσω της προσθήκης πρόσθετης διατομής σκυροδέματος στην πίσω παρειά του.
- Αγκύρωση και σύνδεση (που θα λειτουργεί μόνον σε εφελκυσμό) της ανωδομής με νέο τοποθετούμενο γεώπλεγμα αντοχής 40 kN/m και αγκύρωση του γεωπλέγματος τόσο κάτω από το βάρος των γαιών όσο και με την αγκύρωσή τους σε βαρέα στοιχεία σκυροδέματος που θα χρησιμοποιηθούν για φύτευση (ζαρντινιέρες).
- Κλείσιμο των κατακορύφων αρμών των τεχνητών ογκολίθων μέσω της έγχυσης σκυροδέματος πίσω από το προκατασκευασμένο πέτασμα.

Οι επιμέρους επεμβάσεις περιλαμβάνουν:

- Εκσκαφή όλης της επιφάνειας σε στάθμη -0.10.m και επιπλέον εκσκαφή μορφής πρίσματος στην περιοχή πίσω από τους τεχνητούς ογκολίθους ώστε να αποκαλυφθεί η πίσω παρειά της ανωδομής και των τεχνητών ογκολίθων.
- Τοπικές καθαιρέσεις στα σημεία τοποθέτησης φρεατίων για την μελλοντική τοποθέτηση κολώνων H/M (pillars)
- Επίχωση με θραυστό υλικό οδοποιίας και κατόπιν διαμόρφωση πλάκας εδράσεως η οποία θα συνδέεται με γεώπλεγμα με το σκυρόδεμα της ανωδομής
- Τοποθέτηση κυβολίθων τελικής επιφάνειας επάνω σε στρώμα άμμου 4cm στην πλάκα εδράσεως .
- Τοποθέτηση ελαστικών παρεμβλημάτων από ελαστομερή πολυουρεθάνη χρώματος μπλέ μαρίν, με αγκύρωση σε κατάλληλα προετοιμασμένες οπές στο προκατασκευασμένο μέτωπο.

### **10.3 Λιμένας Λυγιάς**

Ο λιμένας της Λυγιάς χωρίζεται σε τρεις επιμέρους περιοχές, σε σχέση με τις προτεινόμενες εργασίες αποκατάστασης,

Στο πρώτο τμήμα του παλαιού παραλιακού κρηπιδοτοίχου (ΒΔ τμήμα του έργου) δεδομένης της σχετικά καλής απόκρισης της κατασκευής στην σεισμική διέγερση, αποφασίσθηκε μικρού εύρους επέμβαση, η οποία αφορά στο άνω κυρίως τμήμα της διατομής. Επιπρόσθετο κριτήριο για την συγκεκριμένη απόφαση υπήρξε η σχετικά μικρή χρονική διάρκεια των προβλεπόμενων εργασιών, δεδομένου ότι σε τμήμα του χερσαίου χώρου του εν λόγω κρηπιδώματος, υφίστανται και εμπορικά-τουριστικά καταστήματα. Παράλληλα, προτείνεται διάστρωση γεωφάσματος και τοποθέτηση γεωπλέγματος εκ πολυπροπυλενίου : το μεν πρώτο κυρίως ως διαχωριστικό υλικό στην διεπιφάνεια μεταξύ παλαιών επιχώσεων και νέων θραυστών υλικών, το δε δεύτερο για την ενίσχυση της διατομής σε ολίσθηση και ανατροπή. Το γεώπλεγμα όπως θα περιγραφεί αναλυτικά στη συνέχεια αγκυρώνεται επί των υφισταμένων ανωδομών των κρηπιδοτοίχων, επιβάλλοντας μία πρόσθετη αντίδραση στην τάση του κρηπιδοτοίχου είτε σε ολίσθηση είτε σε ανατροπή. Περαιτέρω στο ίδιο τμήμα αποκαθίστανται τα δίκτυα ηλεκτροφωτισμού, ενώ παράλληλα προβλέπεται η εγκατάσταση νέου υπογείου δικτύου υποδομής για την μελλοντική τοποθέτηση Η/Μ παροχών, εάν και όταν ο Δήμος αποφασίσει να δημιουργήσει υπηρεσίες εξυπηρέτησης τουριστικών (ή και αλιευτικών) σκαφών.

Στο αμέσως επόμενο τμήμα του παραλιακού κρηπιδώματος και δεδομένης της καταστροφής σημαντικού τμήματος του έργου (35 m ήδη έχουν καταπέσει και 20 m έχουν πρακτικά ολισθήσει και ανατραπεί), αποφασίσθηκε η καθαίρεση και του υπόλοιπου τμήματος των κρηπιδωμάτων. Η απόφαση αυτή στηρίχθηκε στο γεγονός ότι τα χαρακτηριστικά του κρηπιδοτοίχου που δεν κατέρρευσε είναι ίδια με τα αντίστοιχα αυτού που καταστράφηκε. Κατά συνέπεια σε καμία περίπτωση δεν εξασφαλίζονται έναντι μελλοντικής σεισμικής φόρτισης αντιστοίχου μεγέθους. Μικρού εύρους επεμβάσεις όπως αυτές στο προηγούμενο τμήμα δεν

κρίθηκαν ικανές για τη διασφάλιση της κατασκευής, δεδομένων των μεγαλύτερων γενικά διαστάσεων των κρηπιδοτοίχων. Επιπροσθέτως υπάρχουν βάσιμες υποψίες ότι είχε εκτελεσθεί σχετικώς πρόσφατα εκτεταμένη εκβάθυνση της λιμενολεκάνης, η οποία μπορεί και να επέδρασε καταλυτικά στην κατάρρευση του έργου.

Τέλος και με δεδομένο ότι στο κατεστραμμένο τμήμα του έργου οι διατομές που θα επανακατασκευασθούν προβλέπονται με ωφέλιμο βάθος στον πόδα 2,60 m, η παραμονή ενός τμήματος, με βάθος που δεν υπερβαίνει τα 1,5 έως 1,60m. θα αποτελούσε λειτουργικό πρόβλημα για τα εξυπηρετούμενα σκάφη. (Σε ευθύγραμμη κρηπίδωση ο διαχωρισμός των θέσεων εξυπηρέτησης σκαφών δεν είναι ευχερής).

Στο τμήμα αυτό όπως και στο προηγούμενο θα αποκατασταθούν οι παροχές ηλεκτροφωτισμού, ενώ θα εγκατασταθεί και νέο υπόγειο δίκτυο υποδομής για ενδεχόμενη μελλοντική διέλευση παροχών εξυπηρέτησης σκαφών (ύδρευση, παροχή ρεύματος κ.λ.π.).

Τέλος για τους χερσαίους χώρους και των δύο τμημάτων, πέραν της αντικατάστασης των επιφανειακών 50 cm. προβλέπεται και η αποκατάσταση των τελικών επιστρώσεων που σε αντίθεση με τις παλαιές ασφαλτικές θα είναι από τεχνητούς κυβόλιθους σκυροδέματος για λόγους κυρίως αισθητικής.

Η καλή συμπεριφορά των στηλών των Τ.Ο. στην υπήνεμη πλευρά του έργου δεν καταδεικνύει απαίτηση μέτρων ενίσχυσης. Επιπροσθέτως ενδεχόμενη εκσκαφή για αντικατάσταση του παλαιού υλικού επίχωσης θα απαιτούσε αποξήλωση όλου του κορμού του έργου. Με δεδομένο το μεγάλος βάθος θεμελίωσης και σημαντικού τμήματος των εξωτερικών στρώσεων θωράκισης των φυσικών ογκολίθων, δεν θα ήταν δυνατή η εφαρμογή της λύσης που προτείνεται π.χ. στο λιμένα του Νυδρίου (βλ. επόμενη παράγραφο), λόγω έλλειψης διαθέσιμου χερσαίου χώρου. Ενδεχόμενη υιοθέτηση παρόμοιας λύσης θα ισοδυναμούσε πρακτικά με επανακατασκευή του έργου.



Σε ότι αφορά στο πρόβλημα της υποχώρησης των επιστρώσεων των χερσαίων χώρων, που οφείλεται καί στην απώλεια υλικού από τους διευρυμένους αρμούς των στηλών των κρηπιδοτοίχων, και τα διάκενα των φυσικών ογκολίθων, πέραν φυσικά από την μετασεισμική συνίζηση των αμμοδών υλικών που ρευστοποιήθηκαν, αποφασίσθηκε η ελάχιστη επέμβαση με διάστρωση νέων επιστρώσεων σκυροδέματος. Δεδομένης της δυσκολίας εκτέλεσης εκτεταμένης εκσκαφής που θα παρείχε την δυνατότητα της σφράγισης των αρμών, και με τη θεώρηση ότι η διαρροή υλικού θα έχει ήδη «ολοκληρωθεί» με αποτέλεσμα να μην αναμένεται περαιτέρω σημαντική τουλάχιστον υποχώρηση επελέγη η προτεινόμενη λύση. Αντίστοιχη θεώρηση αφορά και στη διαρροή υλικού από τα διάκενα των φυσικών ογκολίθων (ότι η απώλεια υλικού έχει κατά πάσα πιθανότητα ολοκληρωθεί). Στην περίπτωση που αποφασιζόταν σφράγιση της διατομής και από την εξωτερική πλευρά, τότε πράγματι το απαιτούμενο κόστος αποκατάστασης θα ανέρχονταν σε πολύ υψηλά επίπεδα. Διότι θα απαιτούνταν άρση τμήματος της στέψης της διατομής (των φυσικών ογκολίθων), διάστρωση μή υφαντού γεωυφάσματος για την σφράγιση της παλαιάς διατομής, διαμόρφωση στρώσεως από λίθους κατάλληλα επιλεγμένης διαβάθμισης, και τέλος διαμόρφωση νέας εξωτερικής θωράκισης από φυσικούς ογκολίθους αντιστοίχων διαστάσεων με τους υφιστάμενους (η διαμόρφωση της ενδιάμεσης στρώσης θα απαιτείτο ως φίλτρο). Είναι προφανές ότι μία τέτοια λύση, με δεδομένο το μήκος του εξωτερικού έργου καθώς και το ότι οι απαιτούμενες στρώσεις λίθων και φυσικών ογκολίθων θα εκτείνονταν σε μεγαλύτερα βάθη (διατομές τραπεζοειδούς μορφής) θα οδηγούσε σε πολύ μεγάλες απαιτήσεις υλικών και ιδιαιτέρως υψηλή δαπάνη κατασκευής.

Με την προτεινόμενη λύση της διάστρωσης χυτού επί τόπου σκυροδέματος, ακόμη και στην περίπτωση συνέχισης του φαινομένου της διαρροής (που πάντως θα είναι πολύ μικρότερη της αρχικής του εξέλιξης), θα εμφανισθούν μικρές καθιζήσεις στους χερσαίους χώρους. Διότι λόγω της ενιαίας λειτουργίας των επιστρώσεων εξαιτίας κυρίως του προβλεπόμενου δομικού οπλισμού (άνω και κάτω πλέγμα), προβλέπονται σχεδόν ομοιόμορφες καθιζήσεις.

Όπως και στα δύο προηγούμενα τμήματα προβλέπεται αποκατάσταση των δικτύων ηλεκτροφωτισμού και εγκατάσταση υπόγειου δικτύου σωλήνων για τη μελλοντική εγκατάσταση Η/Μ παροχών.

#### **10.4 Λιμένας Νυδρίου**

Όπως ήδη αναφέρθηκε ο λιμένας του Νυδρίου χωρίζεται σε τρεις περιοχές, με βάση : τις προτεινόμενες εργασίες αποκατάστασης, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υφισταμένων διατομών (όπως αποτυπώθηκαν κατά την εκτέλεση της ύφαλής αυτοψίας), και τις λειτουργικές απαιτήσεις τους.

Η πρώτη περιοχή είναι αυτή του παλαιού λιθόδμητου κρηπιδοτοίχου, για την οποία αποφασίσθηκε η πλήρης καθαίρεση. Η απόφαση αυτή στηρίζεται αφενός μεν στο μικρό μήκος του εν λόγω τμήματος (περίπου 20 m), αφετέρου δε στο μικρό ωφέλιμο βάθος κρηπίδας του συγκεκριμένου τμήματος. Η συνολική απαιτούμενη δαπάνη δεν κρίνεται ιδιαίτερος υψηλή, σε σύγκριση με το υπόλοιπο έργο, ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται και ομοιομορφία στο μέτωπο των ανωδομών όλων των παραλιακών κρηπιδοτοίχων. Τέλος η προτεινόμενη διατομή ανακατασκευάζεται με τον νέον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό. Το προτεινόμενο έργο θα κατασκευασθεί με ωφέλιμο βάθος αντίστοιχο του υφισταμένου, έτσι ώστε να μην τροποποιείται και η μέχρι σήμερα λειτουργία του. Το κρηπίδωμα κατασκευάζεται ως έργο βαρύτητας με στήλες Τ.Ο., ωφέλιμου βάθους ποδός 1,5 m .

Στο δεύτερο τμήμα, ήτοι στην περιοχή των κυρίως παραλιακών κρηπιδοτοίχων, προβλέπεται γενικά σημαντική ενίσχυση της διατομής, με τους τελικούς συντελεστές ασφαλείας να είναι σχεδόν πλήρως επαρκείς κατά Ε.Α.Κ. Η προτεινόμενη λύση αποκατάστασης περιλαμβάνει την σφράγιση των υφιστάμενων διευρυμένων αρμών, έτσι ώστε να σταματήσει η διαρροή υλικού ανακουφιστικού πρίσματος δια μέσω αυτών. Για την επίτευξη του ανωτέρω προβλέπεται εκσκαφή του υφισταμένου ανακουφιστικού πρίσματος και επαναδιαμόρφωσή του με κατάλληλο υλικό χαμηλού ειδικού βάρους, για την «αποφόρτιση» της κατασκευής. Το μέτρο αφορά κυρίως στην ενίσχυση της ευστάθειας της διατομής

έναντι ολισθήσεως και ανατροπής. Πρακτικά με τον τρόπο αυτό ελαχιστοποιούνται οι ωθήσεις των γαιών.

Η σφράγιση των υφισταμένων ανοιχτών αρμών επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση προκατασκευασμένου πετάσματος οπλισμένου σκυροδέματος σε καθορισμένη απόσταση από την εσωτερική παρειά των υφιστάμενων *Τ.Ο.*, και εν συνεχεία πλήρωση με χυτό ύφαλο σκυρόδεμα του μεταξύ τους τμήματος. Για την αποφυγή διαρροής σκυροδέματος από τους εν λόγω αρμούς προβλέπεται διάστρωση μή υφαντού γεωυφάσματος. Η όλη κατασκευή προβλέπεται και για την περαιτέρω ενίσχυση της διατομής του τοίχου με την συμπλήρωση της συνολικής του μάζας με σκυρόδεμα.

Περαιτέρω στην περιοχή που εκτείνεται μετά το ωθούν πρίσμα, προβλέπεται εκσκαφή των υφισταμένων επιχώσεων, μέχρι την στάθμη  $-0,5\text{m}$ . και εν συνεχεία επαναδιάστρωση με επιλεγμένα θραυστά υλικά και συνολική αποκατάσταση τόσο των υποδομών οδοστρώσεως όσο και των τελικών επιστρώσεων.

Επιπλέον η ενίσχυση της όλης διατομής (κρηπιδώματος καί χερσαίων χώρων) επαυξάνεται και με τη διάστρωση μή υφαντού γεωυφάσματος και γεωπλέγματος εκ πολυπροπυλαίνιου. Τα ανωτέρω υλικά νέας τεχνολογίας έχουν διπλή λειτουργία. Το γεώπλεγμα ενισχύει αφενός μεν την διατομή σε μερική (ολίσθηση και ανατροπή) και γενική ευστάθεια, όπως και το γεωύφασμα (αλλά σε πολύ μικρότερο βαθμό), ενώ παράλληλα ισοκατανέμει και τις αναπτυσσόμενες τάσεις από τα κατακόρυφα κινητά φορτία με αποτέλεσμα να ελαχιστοποιεί την πιθανότητα εμφάνισης νέων καθιζήσεων. Στην περίπτωση δε εμφάνισης καθιζήσεων, η συνολική επιφάνεια των χερσαίων χώρων θα μπορεί να αποκριθεί σχετικώς ομοιόμορφα. Το γεωύφασμα κατά κύριον λόγο χρησιμοποιείται ως διαχωριστικό υλικό μεταξύ των νέων υπό διαμόρφωση στρώσεων και των υποκειμένων επιχώσεων των χερσαίων χώρων. Η συνολική ενίσχυση της ευστάθειας της διατομής με τη χρήση κυρίως του γεωπλέγματος επιτυγχάνεται με την αγκύρωση του υλικού εντός της μάζας της υπό κατασκευήν νέας ανωδομής του κρηπιδοτοίχου. Στην περίπτωση ανάπτυξης οριζοντίων δυνάμεων μεγαλύτερων των προβλεπομένων, η ολίσθηση της διατομής θα απαιτεί την

υπερνίκηση των δυνάμεων τριβής που θα αναπτυχθούν μεταξύ γεωπλέγματος και υπερκείμενων εδαφικών στρώσεων.

Στην περιοχή του εξωτερικού έργου του μικρού λιμενίσκου (διαμήκους προβλήτα) και με δεδομένη την κατά τεκμήριο καλή συμπεριφορά της κατασκευής στην σεισμική δράση (πλην των καθιζήσεων) αποφασίσθηκε η διατήρηση της σημερινής μορφής των διατομών, με συμπλήρωση αποκλειστικά των υφισταμένων ανωδομών μέχρι την στάθμη + 0,80m. Ενδεχόμενη ενίσχυση της μάζας των διατομών, θα μπορούσε να οδηγήσει σε δυσανάλογη προσαύξηση των σεισμικών αδρανειακών δυνάμεων που η κατασκευή ενδεχομένως να μην μπορούσε να φέρει (δεδομένου ότι η ακριβής υλοποίηση της διατομής στην κατασκευή δεν μας είναι γνωστή).

Τέλος στα πλαίσια της γενικότερης βελτίωσης των διατομών των έργων, αποφασίσθηκε η προστασία ποδός των υφιστάμενων κρηπιδοτοίχων. Στα προτεινόμενα μέτρα περιλαμβάνονται η επιτεδοποίηση του υφισταμένου πυθμένα έμπροσθεν των κρηπιδοτοίχων (με ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην υποσκαφθούν οι κρηπιδότοιχοι) και η διάστρωση κυβολίθων με ενσωματωμένο γεωύφασμα. Τα εν λόγω στρώματα παρουσιάζουν σημαντική ευκαμψία με αποτέλεσμα να μπορούν να ακολουθούν τη μορφή του υφισταμένου πυθμένα. Στις περιοχές που εμφανίζονται υποσκαφές υπό την στάθμη θεμελίωσης των Τ.Ο. έδρασης, θα ακολουθείται η ίδια διαδικασία ενίσχυσης με τη διαφορά ότι οι εν λόγω υποσκαφές θα πληρούνται αρχικά και στον μέγιστο δυνατό βαθμό, με χυτό ύφαλο σκυρόδεμα.

Στα πλαίσια της γενικότερης αποκατάστασης των ζημιών που προέκυψαν από τη σεισμική δράση προβλέπεται και ανακατασκευή των ασφαλικών επιστρώσεων της παραλιακής οδού, καθόλο το μήκος της παραλιακής περιοχής.

### **10.5 Λιμένας Βασιλικής**

Ο Λιμένας Βασιλικής παρουσιάζει έντονες διαφοροποιήσεις από περιοχή σε περιοχή και έτσι παρουσιάζεται και σχετική διαφοροποίηση των λύσεων. Για τον σχεδιασμό των επεμβάσεων ελήφθησαν υπόψη οι εξής παράγοντες :



- η υφιστάμενη χρήση των κρηπιδωμάτων
- η προγραμματιζόμενη χρήση των κρηπιδωμάτων σύμφωνα με την μελέτη «Χωροθέτηση καταφυγίου τουριστικών σκαφών στον όρμο της Βασιλικής του Νομού Λευκάδας Τροποποίηση εγκεκριμένης μελέτης χωροθέτησης και Μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων» Ιούλιος 2001 των μελετητών Μπίτζιου -Αζοράκου αλλά και σύμφωνα με τις σχετικές επαφές και με την Δημοτική αρχή .
- η ετερογένεια των υφισταμένων έργων και η έλλειψη σχετικών μελετών
- ο τουριστικός χαρακτήρας του Λιμένος
- η οικονομικότητα των επεμβάσεων σε σχέση τόσο με την βελτίωση της ευστάθειας των κρηπιδωμάτων όσο και με την λειτουργικότητα των κρηπιδωμάτων και χερσαίων χώρων

Συγκεκριμένα προτείνονται οι παρακάτω επεμβάσεις :

Στην περιοχή του εμπορικού λιμένος έχουν εμφανιστεί εκτεταμένες αστοχίες στην ανωδομή και στις επιστρώσεις με υποχωρήσεις μέχρι και 25 cm και θραύσεις της ανωδομής και των επιστρώσεων από άοπλο σκυρόδεμα σε όλο το μήκος των 90 m.

Προτείνεται να καθαιρεθεί το σκυρόδεμα ανωδομής εξ ολοκλήρου αποκαλύπτοντας τους τεχνητούς ογκολίθους, και να ανακατασκευαστεί. Κατόπιν πραγματοποιείται εκσκαφή σε όλο το πλάτος της χερσαίας ζώνης ώστε να αντικατασταθεί το κακής ποιότητας υλικό επιχώσεων με βέλτιστο. Για την επίτευξη καλύτερης σύνδεσης μεταξύ των ογκολίθων και για την μελλοντική αποφυγή απόπλυσης υλικού γίνεται χρήση χυτού ύφαλου σκυροδέματος το οποίο συγκρατείται ανάντι με την τοποθέτηση προκατασκευασμένου πετάσματος από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Στην περιοχή υιοθετείται λύση παρόμοιας φιλοσοφίας : καθαιρείται το σκυρόδεμα ανωδομής εξ ολοκλήρου αποκαλύπτοντας τους τεχνητούς ογκολίθους ώστε να ανακατασκευαστεί. Κατόπιν πραγματοποιείται εκσκαφή σε όλο το πλάτος

της χερσαίας ζώνης ώστε να αντικατασταθεί το κακής ποιότητας υλικό επιχώσεων με βέλτιστο. Για την επίτευξη καλύτερης σύνδεσης μεταξύ των ογκολίθων και για την μελλοντική αποφυγή απόπλυσης υλικού γίνεται χρήση χυτού ύφालου σκυροδέματος το οποίο συγκρατείται ανάντι με την τοποθέτηση προκατασκευασμένου πετάσματος από οπλισμένο σκυρόδεμα

Για την προβλήτα του Λιμένος Βασιλικής (μήκους 40 m), προτείνεται η διάστρωση οπλισμένης πλάκας σκυροδέματος για την ενοποίηση όλων των μαζών της προβλήτας. Συγκεκριμένα η δομική αποκατάσταση θα επιτευχθεί με την διάστρωση πρόσθετης πλάκας οπλισμένου σκυροδέματος επί της υπάρχουσας ανωδομής με διατμητικές συνδέσεις από βλήτρα που αγκυρώνονται στην υπάρχουσα ανωδομή. Η επέμβαση αυτή αναμένεται να ενοποιήσει δομικά τις ανομοιογενείς περιοχές ώστε να αποφευχθούν οι καθιζήσεις, ρηγματώσεις και ενδεχόμενες αστοχίες από μελλοντική σεισμική δράση. Η νέα πλάκα σκυροδέματος με την οποία ενοποιείται η διατομή σχεδιάζεται με μεγαλύτερο ποσοστό οπλισμού από αυτόν της περιοχής Δ.

## Βιβλιογραφικές Παραπομπές

---

1. Ambraseys N.N., and Sarma, A.K. (1967). "The response of earth dams to strong earthquake", *Geotechnique*, 17, 181–213.
2. Cai, Z. and Bathurst, R.J., (1996). Deterministic Sliding Block Methods for Estimating Seismic Displacements of Earth Structures, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 15, No, 4, pp. 255-268.
3. Γκαζέτας Γ., (1995) . "Ο σεισμός του Αιγίου 15–6– 1995 : Ανάλυση των αιτίων των βλαβών στις εύκαμπτες πυλωτές, με έμφαση στην αστοχία του κτιρίου Διοικήσεως Ε.Β.Ο.", *Ενημερωτικό Δελτίο ΤΕΕ*, Αθήνα, 30–92.
4. Γκαζέτας Γ., (1996). "Εδαφοδυναμική και Σεισμική Μηχανική : Ιστορικά Περιστατικά", *Εκδόσεις Συμεών*, Αθήνα. (Βλ. Κεφ. 4 και 5.)
5. Γκαζέτας Γ., (2001). "Υπολογιστική και πειραματική εκτίμηση των σεισμικών επιταχύνσεων στην πλειόσειστη περιοχή του σεισμού της Αθήνας (7–9–99)", *Ερευνητική Εκθεση, ΕΜΠ*, Τόμοι 1–3, Αθήνα .
6. Gazetas G. and Uddim N. (1994). " Permanent deformation on preexisting sliding surfaces in dams", *Journal of Geotechnical Engineering Division*, ASCE, 120(11), 2041–2061.
7. Gazetas G., Dakoulas P. & Dennehy K. (1990). "Empirical seismic design method for waterfront anchored sheetpile walls", *Proceedings of ASCE, Specialty Conference on Design and Performance of Earth Retaining Structures*, ASCE, *Geotechnical Special Publication*, 25, 232–250.
8. ΕΑΚ (2000) . "Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός", *Εκδοση ΟΑΣΠ/ΣΠΜΕ*
9. Iai S. (1998). "Seismic analysis and performance of retaining structures", *Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics III, Geotechnical Special Publication*, 75, ASCE, 1020–1044.

10. Ishihara K. And Towhata I. (1980). "One-dimensional soil response analysis during earthquakes based on effective stress model", *Journal of the Faculty of Engineering, University of Tokyo*, Vol. 35, No.4.
11. Kramer, S.L. *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice Hall, 1996
12. Makdisi F.I. & Seed H.B. (1978). Simplified procedure for estimating dam and embankment earthquake-induced deformations. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, Vol. 104, No. GT7, pp. 849-867.
13. Makdisi F.I., and Seed, H.B. (1978). "Simplified procedure for estimating dam and embankment earthquake-induced deformation", *Journal of Geotechnical Engineering Division*, ASCE, 104(7), 849-867.
14. Μαλακάσης Δ.,(2000) "Τα παλαιά σπίτια της Λευκάδας", Εκδόσεις Fagotto-Θρόισμα
15. MAPNET ATE. (1998) Λιμένας Αναψυχής Λευκάδας – Γεωτεχνική Μελέτη και Έρευνα, Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Λευκάδας, Τόμος 1.
16. Mononobe N. and Matsuo H. (1929). On the determination of earth pressures during earthquakes. *Proceedings of the World Engineering Congress*, 9 p.
17. Mylonakis, G., Voyagaki, E., and Price, T. (2003). "Damage Potential of the 1999 Athens, Greece, Accelerograms", *Bulletin of Earthquake Engineering*, Vol. 1, No. 2, pp. 205-240
18. Newmark , N.M (1965). "Effect of earthquakes on dams and embankments", *Geotechnique*, London, England, 15(2), 139-160.
19. Okabe S. (1926). General theory of earth pressures. *Journal of the Japan Society of Civil Engineering*, Vol. 12, No. 1.
20. Paglietti A. and Porcu, M.C. (2001). "Rigid-plastic approximation to predict plastic motion under strong earthquakes", *Earthquake Engineering and Structural Dynamis*, 30(1), 115-126.

21. Παπαζάχος Β. Παπαζάχου Κ. (2003). "Οι σεισμοί της Ελλάδας". Εκδόσεις Ζήτη.
22. Ροντογιάννης Π. (1995), "Σεισμολόγιο Λευκάδας (1469–1971)", Επετηρίς 8<sup>η</sup> σειρά, Εταιρεία Λευκαδικών Μελετών
23. Richards R. Jr. & Elms D., (1979). "Seismic behavior of gravity retaining walls", *Journal of Geotechnical Engineering Division*, ASCE, 105 (GT4), 449–464.
24. Richards R.J. and Elms D. (1979). Seismic behavior of gravity retaining walls, *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, Vol. 105, No. GT4, pp. 449-464.
25. Seed H.B. & Whitman R.V. (1970). Design of earth retaining structures for dynamic loads, *ASCE speciality conference on lateral stresses in the ground and design of earth retaining structures*, pp. 103-147.
26. Σπυρόπουλος Π.Ι. (1997) "Χρονικό των Σεισμών της Ελλάδος", Εκδόσεις Δωδώνη.
27. Vucetic M., Dobry R.(1989). "Effect of soil plasticity on cyclic response", *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 117, pp. 89–107, 1989.
28. Yegian M.K., Marciano E., and Gharaman V.G. (1991). Earthquake-induced permanent deformations: probabilistic approach. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 117, No. 1, pp. 35-50.