

**Γ.**

**ΟΛΙΣΘΗΣΗ και ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗ**

**ΜΑΡΜΑΡΙΝΟΥ ΤΥΜΒΟΥ**

**(Νεκροταφείο Ανω Λιοσίων)**

***Γ.Γκαζέτας, Ι. Αναστασόπουλος***

**Νεκροταφείο Άνω Λιοσίων: Λικνισμός και Ολίσθηση**  
**Τύμβου Νο. 1,**

## **1. Εισαγωγικό**

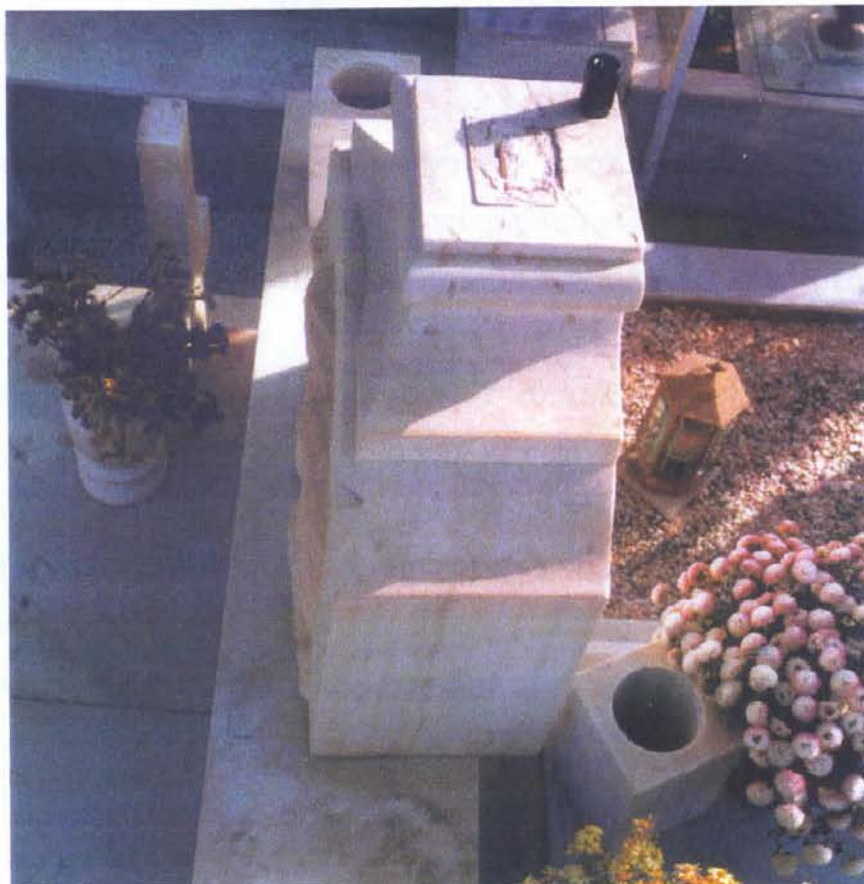
Από παλιά η παρατήρηση μετακινήσεων σε νεκροταφεία που βρίσκονται κοντά στην πλειόσειστη περιοχή, έδινε στοιχεία για τον έμμεσο υπολογισμό των εδαφικών επιταχύνσεων του σεισμικού συμβάντος. Κατά τον σεισμό της 7ης Σεπτεμβρίου 1999 δεν υπήρξε καμιά καταγραφή στις περιοχές Α.Λιοσίων, Αχαρνών (Μενιδίου), και Φυλής καθώς δεν υπήρχε εγκατεστημένος σειсмоγράφος.

Τα νεκροταφεία λοιπόν των ανωτέρω πόλεων προσφέρονται ιδιαίτερώς για τον έμμεσο υπολογισμό των επιταχύνσεων καθώς περιέχουν πληθώρα διακοσμητικών (βάζα, τύμβοι, σταυροί) και δομικών (πλάκες μνημάτων) στοιχείων τα οποία ως επι το πλείστον εδράζονται απλώς, χωρίς συγκόλληση, με αποτέλεσμα κατά την διάρκεια του σεισμού να ολισθαίνουν ή/και να ανατρέπονται.

## **2. Ο Τύμβος Νο. 1**

Κατά την διάρκεια διερευνητικής επισκέψεως στο νεκροταφείο των Άνω Λιοσίων, το οποίο βρίσκεται στην πλειόσειστη περιοχή, εντοπίσαμε μεταξύ των πολλών άλλων έναν μαρμάρينو τύμβο ο οποίος φαινόταν να αποτελεί ιδανικό εύρημα για τον έμμεσο προσδιορισμό των επιταχύνσεων. Ο εν λόγω τύμβος ήταν στην κατάσταση που απεικονίζεται στο Σχήμα 1. Πρόκειται για σημαντικών διαστάσεων καλλιτέχνημα το οποίο είχε ολισθήσει απο την αρχική του θέση. Το σημαντικό του βάρος αποτελεί σημαντικότατο πλεονέκτημα καθώς αποκλείει την περίπτωση της μετά (και πριν) απο τον σεισμό ανθρώπινης

παρέμβασης η οποία φυσικά θα συνεπάγονταν αλλοίωση των επιβληθεισών απο τον σεισμικό κραδασμό μετακινήσεων. Με μάζα περί τα 250 kg, ο τύμβος αυτός είναι ανθρωπίνως αδύνατον να είχε μετακινηθεί επίτηδες και άρα μόνον ο σεισμός μπορεί να είχε προκαλέσει την συγκεκριμένη ολίσθηση.



**Σχήμα 1** Ο τύμβος Νο. 1 όπως βρέθηκε μετά τον σεισμό και όπως εξακολουθεί να ευρίσκεται σήμερα χάρη στο τεράστιο βάρος του

Με προσεκτική παρατήρηση μετά από ξεσκόνισμα του μαρμάρου στο οποίο εδράζεται ο τύμβος διαπιστώθηκε πως υπήρχαν εμφανή σημάδια τα οποία υποδεικνύουν την αρχική θέση του εν λόγω τύμβου. Τα σημάδια αυτά διακρίνονται στις φωτογραφίες των σχημάτων 2 και 3. Το γεγονός αυτό αποτελεί ένα απο τα σημαντικότερα πλεονέκτηματα του συγκεκριμένου ευρήματος καθώς καθίσταται δυνατή η μέτρηση των τελικών

παραμενουσών ολισθητικών μετακινήσεων του τύμβου και της στροφής του.



**Σχήμα 2** Κάτοψη όπου διακρίνεται η αρχική θέση του τύμβου



**Σχήμα 3** Πλάγια όψη όπου διακρίνεται η αρχική θέση του τύμβου



Όπως διακρίνεται στο Σχήμα 1 και στην λεπτομέρεια του Σχήματος 4, στην κορυφή του τύμβου υπήρχαν διάφορες ρωγμές καθώς και μια εσοχή στην οποία βρίσκονταν σπασμένο μάρμαρο. Αυτό οδήγησε στο συμπέρασμα ότι ένας σταυρός θα ήταν κολλημένος στην κορυφή του □ σύμφωνα με το ελληνικό έθιμο. Και όντως ο σταυρός ανακαλύφθηκε στην πλαϊνή ταφόπλακα. Το ότι ο σταυρός αυτός πράγματι κοσμούσε την κορυφή του τύμβου προκύπτει από το ότι *καί* το αναγραφόμενο όνομα ήταν ίδιο με του τύμβου, αλλά *καί* το θραυσθέν μαρμάρινο τμήμα στην εσοχή της κορυφής του τύμβου ταίριαζε πλήρως με την θραυσθείσα βάση του σταυρού (Σχήμα 5). Με τα στοιχεία αυτά έγινε κατανοητό ποιά ήταν η αρχική κατάσταση του τύμβου, η οποία απεικονίζεται στην "αναπράσταση" του Σχήματος 6. Η σεισμική διέγερση πρέπει προφανώς να ήταν αρκετή ώστε να θραυσθεί η βάση του σταυρού.



**Σχήμα 4** Λεπτομέρεια της κορυφής του τύμβου. Το ράγισμα είναι προφανές προϊόν της ισχυρής διατμητικής δύναμης από τον σταυρό, η οποία προκάλεσε και την θραύση στην βάση του



**Σχήμα 5** Λεπτομέρεια της βάσης του σταυρού



**Σχήμα 6** Αναπαράσταση του τύμβου (όπως δηλαδή θα ήταν προτού σπάσει ο σταυρός). Το απόλυτο ταίριασμα είναι προφαν



Η ανακάλυψη του θραυσθέντος σταυρού και η επιβεβαίωση της αρχικής κατάστασης του τύμβου ευλόγως οδήγησαν στο ερώτημα πώς έπεσε ο σταυρός μετά την θράυση του. Είναι λογικό να φαντασθεί κανείς ότι ο σταυρός μετά την θράυση του και με αρχική ταχύτητα την επιβληθείσα από τον σεισμό εξετέλεσε βολή ελευθέρου σώματος. Με παρατήρηση του μνήματος που βρίσκονταν πίσω από το εξεταζόμενο (Σχήμα 7), βρέθηκαν σημάδια θραύσεως τα οποία βασίμως ισχυριζόμαστε ότι οφείλονται στην κρούση του σταυρού σε αυτό. Αντίστοιχο σημάδι παρατηρήθηκε και στην κορυφή του σταυρού (Σχήμα 8). Με βάση τα δεδομένα αυτά μπορεί κανείς κατά προσέγγιση να υποθέσει τον τρόπο με τον οποίο ο σταυρός προσέκρουσε, αφού εξετέλεσε βολή, στο όπισθεν ευρισκόμενο μνήμα. Μια προσεγγιστική αναπαράσταση του στιγμιότυπου της πρόσκρουσης εικονίζεται στο Σχήμα 9.



**Σχήμα 7** Σημάδια από την κρούση του σταυρού στο όπισθεν ευρισκόμενο μνήμα



**Σχήμα 8** Το σημάδι της πρόσκρουσης στην κορυφή του σταυρού

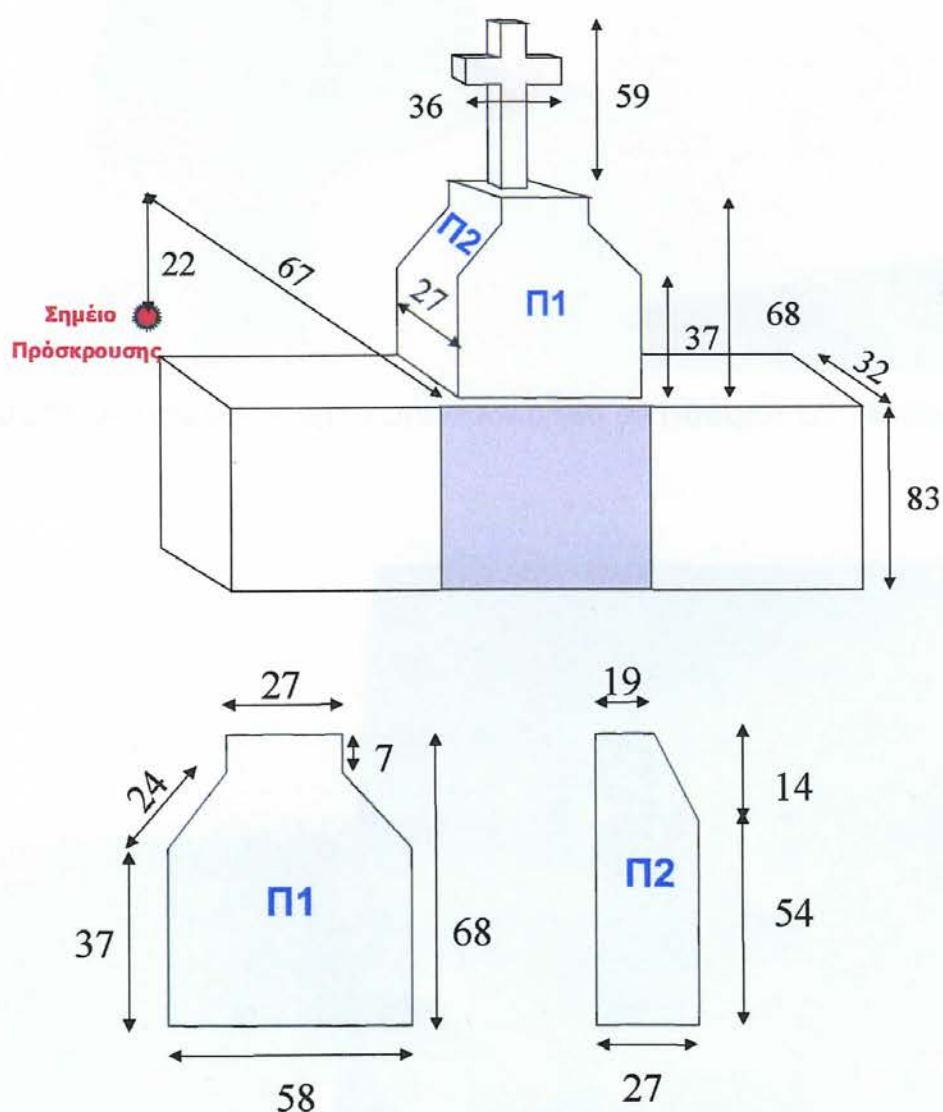


**Σχήμα 9** Αναπαράσταση του στιγμιότυπου της πρόσκρουσης του σταυρού στο όπισθεν ευρισκόμενο μνήμα

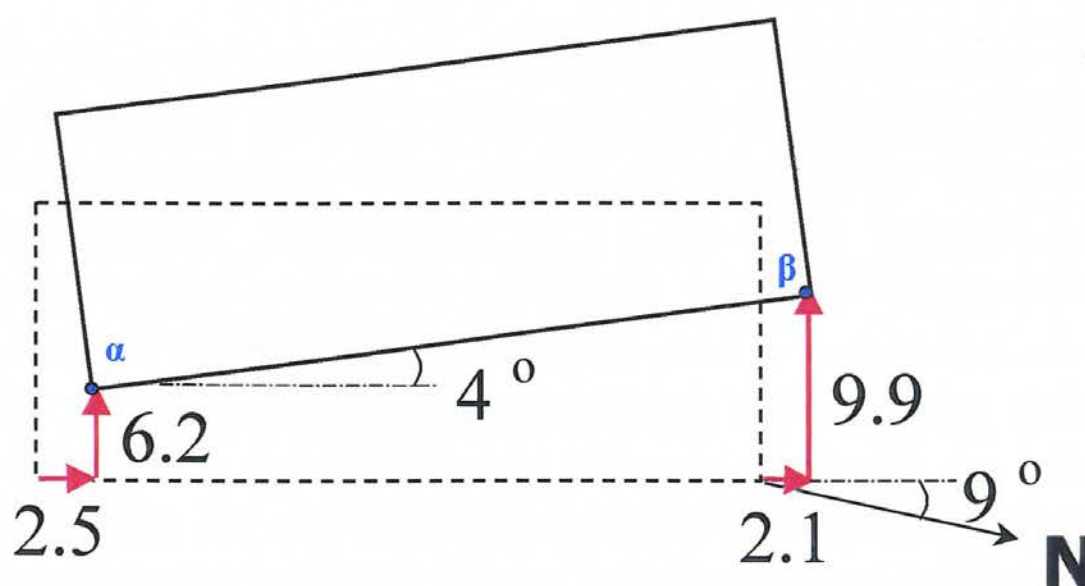


### 3. Επι τόπου μετρήσεις

Για μιά αναλυτική μελέτη και προσομοίωση του εν λόγω ευρήματος έγινε απαραίτητη η καταγραφή των διαστάσεών του, και των παραμενουσών ολισθήσεων. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων απεικονίζονται στα σχήματα 10 και 11. Ο προσανατολισμός μετρήθηκε με πυξίδα.



**Σχήμα 10** Οι μετρηθείσες διαστάσεις (σε προοπτικό και δύο όψεις)

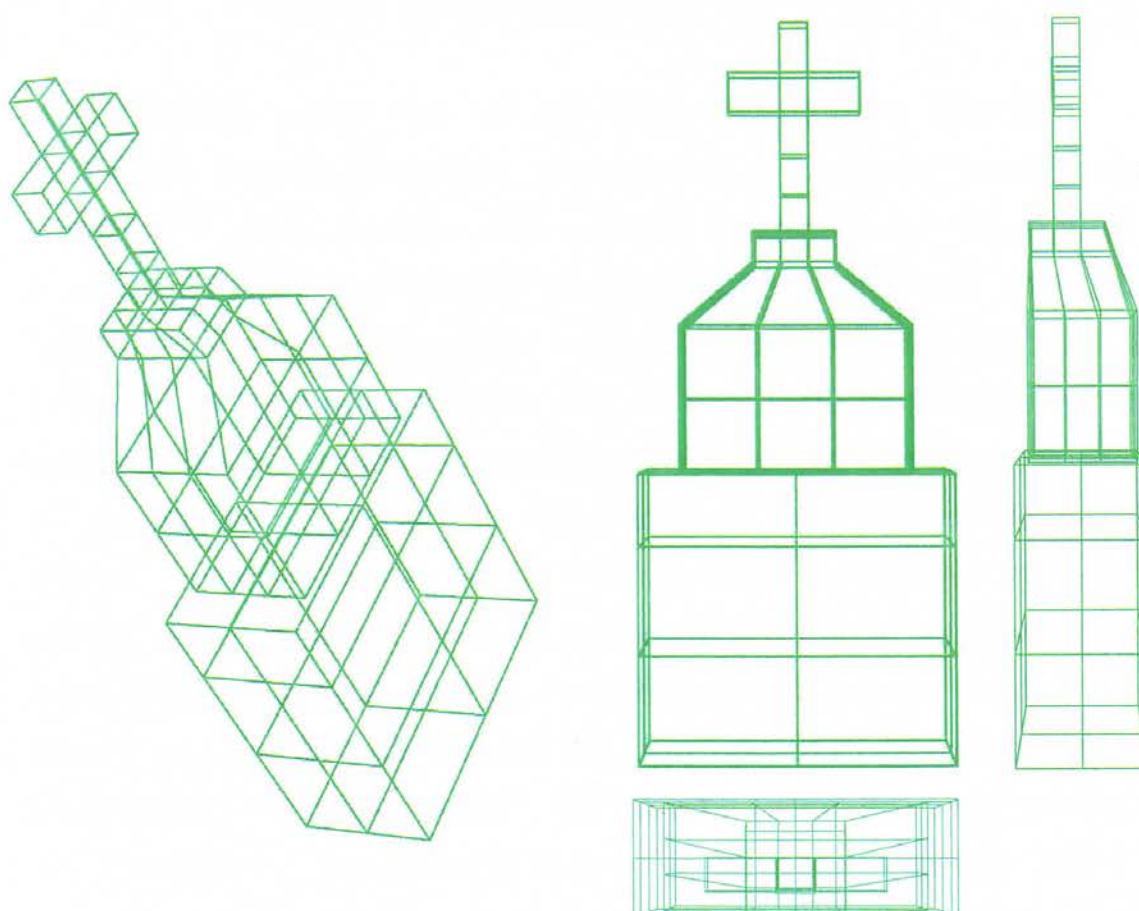


**σχήμα 11** Οι μετρηθείσες παραμένουσες ολισθήσεις και ο προσανατολισμός ως προς τον Βορρά.

Επίσης απαραίτητη ήταν και η επι τόπου μέτρηση του συντελεστή τριβής της διεπιφάνειας τύμβου-μαρμάρου εδράσεως. Δεδομένου του μεγάλου βάρους του τύμβου ήταν αδύνατη η μέτρηση του συντελεστή τριβής επ' αυτού. Μετά απο προσεκτική παρατήρηση διαπιστώθηκε ότι τα παρακείμενα μαρμάρινα βάζα ήταν κατασκευασμένα απο το ίδιο ακριβώς μάρμαρο. Η μέτρηση του συντελεστή τριβής έγινε χρησιμοποιώντας τὸ διπλανό βάζο, κατασκευασμένο από πανομοιότυπο μάρμαρο, ως δομικίμιο. Η μέτρηση έγινε με την χρήση απλού δυναμομέτρου. Πρώτα μετρήθηκε το βάρος του δοκιμίου, το οποίο βρέθηκε ίσο με 11 Kg, και μετά η οριακή δύναμη μόλις το δοκίμιο άρχισε να ολισθαίνει. Η δύναμη αυτή μετά απο αρκετές δοκιμές βρέθηκε ίση με 4.5 Kg (μέσος όρος δοκιμών). Κατά τον τρόπο αυτόν ο συντελεστής τριβής βρέθηκε ίσος με  $\mu = 4.5/11 = 0.42$ . Εναλλακτικά ο συντελεστής τριβής μετρήθηκε με την βοήθεια κεκλιμένου επιπέδου, με παρόμοια αποτελέσματα.

#### 4. Αντίστροφες Αναλύσεις

Προκειμένου να προσεγγισθεί η σεισμική απόκριση του εξεταζομένου τύμβου χρησιμοποιήθηκε ο κώδικας πεπερασμένων στοιχείων *ABAQUS*. Για τον σκοπό αυτόν δημιουργήθηκε το εικονιζόμενο στο Σχήμα 12 τριδιάστατο προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων. Θεωρήθηκε σκόπιμο να συμπεριληφθεί στην ανάλυση και η βάση πάνω στην οποία εδράζεται ο τύμβος καθώς προκαταρκτικές αναλύσεις έδειξαν ότι επηρεάζει σημαντικά, λόγω του υψίκορμου σχηματός της, την σεισμική απόκριση του τύμβου. Έτσι λοιπόν ο τύμβος διαχωρίστηκε από την βάση μέσω διεπιφάνειας ολισθήσεως, ώστε να είναι ελεύθερος προς ολίσθηση και ανασήκωμα.

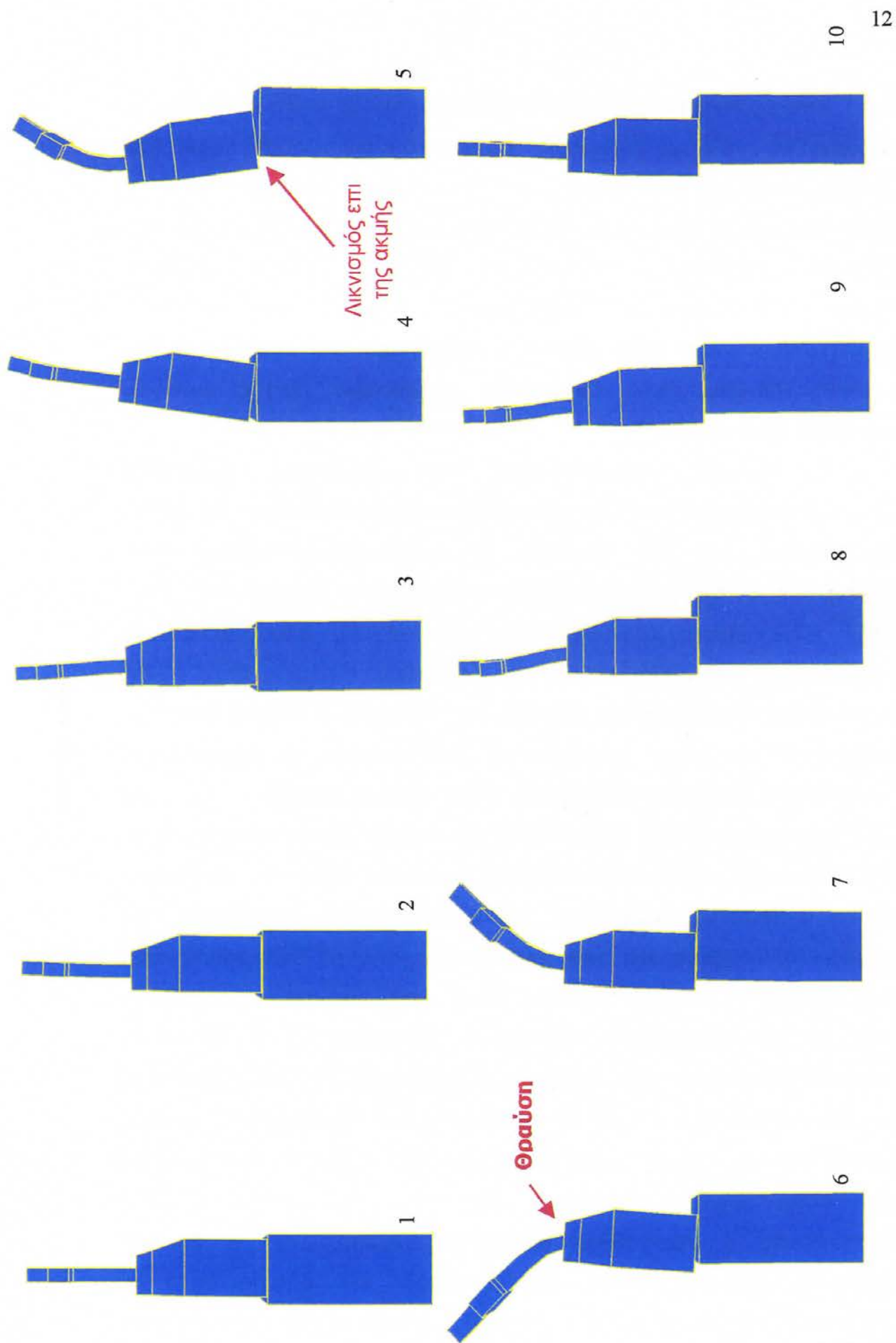


**Σχήμα 12** Το προσομοίωμα των πεπερασμένων στοιχείων



Στόχος της αντίστροφης ανάλυσης ("back analysis") είναι η προσέγγιση των μετρηθεισών παραμενουσών ολισθήσεων του τύμβου με διαδοχικές δοκιμές. Δεδομένου του στόχου αυτού ήταν απαραίτητη η παραμετρική διερεύνηση ως προς τον επιβαλλόμενο σεισμικό κραδασμό. Πρός τούτο διεξήχθη μεγάλος αριθμός δυναμικών ελαστικών αναλύσεων. Χάρη στα σημερινά υπολογιστικά μέσα ήταν δυνατή η διεξαγωγή του μεγάλου αυτού αριθμού μή-γραμμικών δυναμικών αναλύσεων (εντός ευλόγου χρονικού διαστήματος).

Ως μορφή χρονοϊστορίας της σεισμικής διέγερσης χρησιμοποιήθηκαν τα εξής τρία επιταχυνσιογραφήματα: (i) ΚΕΔΕ, (ii) Σεπόλια, και (iii) Temblor. Το τελευταίο επιλέχθηκε διότι κατεγράφη σε σεισμό παρομοίου μεγέθους αλλά αρκετά κοντύτερα στην πλειόσειστη περιοχή, είναι δε κατά τις πλουσιότερο σε μεγαλύτερες περιόδους απ'ότι των Σεπολίων. Και στις τρεις αυτές περιπτώσεις εφαρμόστηκε ταυτόχρονη σεισμική διέγερση στις δύο οριζόντιες και στην κατακόρυφη διευθύνσεις. Η παραμετρική αντίστροφη ανάλυση συνίσταται στον πολλαπλασιασμό της κάθε μιάς συνιστώσας των επιβαλλομένων επιταχυνσιογραφημάτων με διαφορετικούς πολλαπλασιαστικούς συντελεστές. Οι δυναμικές αυτές αναλύσεις, πέρα από τις παραμένουσες ολισθήσεις του τύμβου αξιοποιούν και την πληροφορία της μή-ανατροπής του. Στο Σχήμα 13 παρουσιάζονται δέκα χαρακτηριστικά στιγμιότυπα μιάς εκ των δυναμικών αναλύσεων. Παρατηρείται ξεκάθαρα το γνωστό φαινόμενο του λικνισμού-βηματισμού (rocking-stepping) το οποίο όμως δεν οδηγεί σε ανατροπή, ενώ παράλληλα ο τύμβος ολισθαίνει και τελικά ηρεμεί με παραμένουσα ολίσθηση (γραμμική καί περιστροφική) παρόμοια με την παρατηρηθείσα. Στο στιγμιότυπο 6 του ιδίου σχήματος παρατηρείται η μέγιστη παραμόρφωση και ένταση του σταυρού. Στο σημείο αυτό θα συνέβαινε η θραύση και πτώση αυτού προς το όπισθεν ευρισκόμενο μνήμα.



**Σχήμα 13** Χαρακτηριστικά στιγμιότυπα μίας εκ των αναλύσεων (οι μετακινήσεις είναι μεγεθυμένες). Αν η θράυση και πτώση του σταυρού είχαν ληφθεί υπόψη τα 4 τελευταία στιγμιότυπα θα ήταν φυσικά διαφορετικά



**Σχήμα 14** Λεπτομέρεια της βάσεως του τύμβου. Το ράγισμα εδώ μαρτυρά τον λικνισμό του τύμβου επί της ακμής της βάσεως

Στα πρώτα 4 στιγμιότυπα του Σχήματος 13 ο τύμβος εκτελεί λικνισμό-βηματισμό με αποτέλεσμα να μετακινείται προς την πίσω μεριά της βάσεως του αρκετά ώστε η πίσω παρειά του να εξέχει. Στο στιγμιότυπο 5 του ίδιου σχήματος γίνεται φανερό πως ο τύμβος εκτελεί λικνισμό επί της ακμής της βάσεως. Πρόκειται για μια λεπτομέρεια του όλου συμβάντος η οποία επαληθεύεται στην πραγματικότητα επιβεβαιώνοντας την ρεαλιστικότητα των διενεργηθεισών αναλύσεων. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 14 στην βάση του τύμβου εντοπίστηκε ένα μικρό ράγισμα. Το ράγισμα αυτό ταιριάζει βασίμως ισχυριζόμεστε ότι οφείλεται στην τοπική καταπόνηση του τύμβου κατά την διάρκεια του διενεργηθέντος επί της ακμής λικνισμού.



## 5. Αποτελέσματα των Αντιστρόφων Αναλύσεων

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων συνοψίζονται στους Πίνακες 1 έως 3. Στους πίνακες αυτούς παρουσιάζονται οι τρεις συνιστώσες (PGA) της επιταχύνσεως (σε g) και οι συνεπαγόμενες παραμένουσες ολισθήσεις (σε cm) κατά τις διευθύνσεις  $x$  (διεύθυνση μικρών μετακινήσεων) και  $y$  και στα σημεία  $\alpha$  και  $\beta$  (βλ. Σχήμα 11). Τα αποτελέσματα που πλησιάζουν περισσότερο την πραγματικότητα ως προς τις παραμένουσες μετακινήσεις έχουν επισημανθεί στους πίνακες αυτούς.

Οπως φαίνεται στους προαναφερθέντες πίνακες η επαλληλία των τριών συνιστωσών της επιτάχυνσης σε συνδυασμό με τον αναπόφευκτο λικνισμό-βηματισμό, δίνει έναν ιδιαίτερος *χαστικό* χαρακτήρα στην δυναμική απόκριση του προσομοιώματος. Δεν θα ήταν λοιπόν ρεαλιστική η επιλογή ενός μόνον συνδυασμού επιταχύνσεων ως του πλέον πιθανού. Για τον λόγο αυτόν για κάθε επιταχυνσιογράφημα και με βάση τους επικρατέστερους συνδυασμούς δίνονται πιθανά εύρη επιταχύνσεων, κάτι που θεωρείται ρεαλιστικότερο. Θα πρέπει να τονισθεί πως τα εύρη αυτά έχουν την έννοια ότι κάποιος συνδυασμός των τριών συνιστωσών της επιταχύνσεως εντός του εύρους αυτού θα ήταν ικανός να προκαλέσει παραμένουσες ολισθήσεις οι οποίες πλησιάζουν τις μετρηθείσες. Δεν σημαίνει ότι οποιοσδήποτε συνδυασμός των τριών συνιστωσών της επιτάχυνσης εντός του εύρους αυτού προκαλεί ακριβώς τις μετρηθείσες παραμένουσες ολισθήσεις. Τα πιθανά αυτά εύρη επιταχύνσεων συνοψίζονται στον Πίνακα 4.

**Πίνακας 1** Αποτελέσματα με το επιταχυνσιογράφημα ΚΕΔΕ

<b>A/a</b>	<b>a<sub>x</sub></b>	<b>a<sub>y</sub></b>	<b>a<sub>z</sub></b>	<b>ΔX<sub>α</sub></b>	<b>ΔX<sub>β</sub></b>	<b>ΔY<sub>α</sub></b>	<b>ΔY<sub>β</sub></b>
<b>Μέτρηση</b>	<b>?</b>	<b>?</b>	<b>?</b>	<b>2.5</b>	<b>2.1</b>	<b>6.2</b>	<b>9.9</b>
1	0.66	0.74	0.53	7	7	6.5	12.5
2	0.40	0.60	0.39	0.5	0.5	3	6
3	0.53	0.74	0.39	5.5	5.5	6	13
4	0.45	0.74	0.39	5.5	5.5	6	16
5	0.40	0.74	0.39	8	8	-9	-6
6	0.34	0.74	0.39	1	1	13	16
7	0.42	0.65	0.39	2.5	2.5	6	14
8	<b>0.42</b>	<b>0.65</b>	<b>0.46</b>	<b>2.5</b>	<b>2.5</b>	<b>4</b>	<b>14</b>
9	0.42	0.74	0.49	-5	-5	16	15
10	<b>0.42</b>	<b>0.65</b>	<b>0.47</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	<b>6</b>	<b>13</b>
11	0.42	0.65	0.49	0	0	6	14
12	<b>0.42</b>	<b>0.65</b>	<b>0.39</b>	<b>2.5</b>	<b>2.5</b>	<b>5.5</b>	<b>14</b>
13	<b>0.42</b>	<b>0.65</b>	<b>0.37</b>	<b>2.5</b>	<b>2.5</b>	<b>5</b>	<b>14</b>
14	0.42	0.71	0.42	1	1	5	15
15	<b>0.42</b>	<b>0.65</b>	<b>0.45</b>	<b>2.5</b>	<b>2.5</b>	<b>3</b>	<b>15</b>
16	<b>0.42</b>	<b>0.65</b>	<b>0.47</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	<b>6</b>	<b>13</b>
17	<b>0.42</b>	<b>0.65</b>	<b>0.46</b>	<b>2.5</b>	<b>2.5</b>	<b>4</b>	<b>13</b>
18	<b>0.42</b>	<b>0.68</b>	<b>0.46</b>	<b>2.5</b>	<b>2.5</b>	<b>7.5</b>	<b>12</b>
19	<b>0.42</b>	<b>0.68</b>	<b>0.43</b>	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>	<b>6.5</b>	<b>13</b>
20	0.42	0.68	0.47	-1	-1	10	14
21	0.42	0.71	0.46	-2	-2	14	14
22	0.42	0.71	0.43	0.25	0.25	11	13
23	<b>0.42</b>	<b>0.71</b>	<b>0.41</b>	<b>2.5</b>	<b>2.5</b>	<b>7.5</b>	<b>13</b>
24	0.42	0.71	0.38	2	2	6	15
25	<b>0.42</b>	<b>0.68</b>	<b>0.39</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>13</b>
26	0.42	0.74	0.37	3	3	8.5	17
27	0.42	0.74	0.34	4	4	12	19
28	0.40	0.71	0.33	2.5	2.5	7	15
29	<b>0.37</b>	<b>0.71</b>	<b>0.33</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>14</b>
30	0.40	0.71	0.39	0.5	0.5	5	14
31	0.40	0.65	0.30	0.5	0.5	4	14
32	<b>0.42</b>	<b>0.65</b>	<b>0.46</b>	<b>2.25</b>	<b>2.25</b>	<b>4</b>	<b>13</b>
33	0.42	0.65	0.59	-4.5	-4.5	8	7.5
34	0.42	0.65	0.53	-1	-1	9	14
35	0.42	0.65	0.49	0	0	6.5	15
36	<b>0.42</b>	<b>0.65</b>	<b>0.47</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	<b>6</b>	<b>13.5</b>
37	<b>0.48</b>	<b>0.63</b>	<b>0.47</b>	<b>2.5</b>	<b>2.5</b>	<b>3.5</b>	<b>14</b>
38	0.48	0.63	0.49	2	2	2.5	15
39	0.48	0.63	0.46	1	1	3	17
40	<b>0.48</b>	<b>0.63</b>	<b>0.53</b>	<b>1.5</b>	<b>1.5</b>	<b>6</b>	<b>13</b>
41	<b>0.48</b>	<b>0.63</b>	<b>0.55</b>	<b>1.2</b>	<b>1.2</b>	<b>6</b>	<b>11</b>
42	<b>0.50</b>	<b>0.63</b>	<b>0.55</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	<b>5</b>	<b>11.5</b>
43	<b>0.48</b>	<b>0.63</b>	<b>0.58</b>	<b>-0.25</b>	<b>-0.25</b>	<b>5</b>	<b>11</b>
44	0.48	0.63	0.58	1.5	1.5	-1	8

Αναλύσεις

**Πίνακας 2** Αποτελέσματα με το επιταχυνσιογράφημα Σεπολίων

<b>A/a</b>	<b>a<sub>x</sub></b>	<b>a<sub>y</sub></b>	<b>a<sub>z</sub></b>	<b>ΔX<sub>α</sub></b>	<b>ΔX<sub>β</sub></b>	<b>ΔY<sub>α</sub></b>	<b>ΔY<sub>β</sub></b>
<b>Μέτρηση</b>	<b>?</b>	<b>?</b>	<b>?</b>	<b>2.5</b>	<b>2.1</b>	<b>6.2</b>	<b>9.9</b>
1	0.48	0.51	0.37	2	3	2	16
2	0.51	0.51	0.46	2.5	2.5	1	20
3	0.51	0.51	0.46	3	3	-4	16
4	0.45	0.64	0.46	2	2	6	25
5	0.45	0.64	0.37	2.5	3	5.5	42
6	0.45	0.64	0.55	4	4	5.5	18
7	<b>0.45</b>	<b>0.64</b>	<b>0.64</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>12</b>	<b>12</b>
8	0.51	0.57	0.64	0.5	0.5	0.5	6.5
9	0.57	0.48	0.37	-4	-4	10	30
10	0.54	0.80	0.40	4	4	4	20
11	0.51	0.64	0.37	4	4	5.5	35
12	0.51	0.64	0.33	5	5	2	25
13	0.51	0.64	0.40	5	5	2.5	25
14	0.51	0.64	0.46	12.5	12.5	-6	30
15	0.51	0.57	0.33	6	6	-5	20
16	0.45	0.64	0.42	8	8	1	25
17	0.45	0.64	0.33	10	10	-2.5	45
18	<b>0.51</b>	<b>0.57</b>	<b>0.37</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>16</b>
19	0.51	0.54	0.37	1	1	8	17
20	0.51	0.57	0.40	2	2	1	19
21	<b>0.51</b>	<b>0.57</b>	<b>0.37</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>7.5</b>	<b>15</b>
22	0.51	0.57	0.35	4	4	0	20
23	0.51	0.64	0.37	8	8	7	25
24	0.51	0.64	0.49	9	9	9	20
25	0.45	0.57	0.42	-2.5	-2.5	6	16
26	0.45	0.57	0.38	-1	-1	10	18
27	<b>0.45</b>	<b>0.54</b>	<b>0.37</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	<b>6</b>	<b>14</b>
28	0.45	0.54	0.42	-3	-3	8	18
29	0.45	0.54	0.38	0.5	0.5	11	16
30	0.51	0.57	0.64	0.5	0.5	0.5	6
31	0.51	0.57	0.70	7.5	7.5	1	14
32	0.51	0.57	0.68	6	6	-2	10
33	<b>0.54</b>	<b>0.60</b>	<b>0.64</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>8</b>
34	0.54	0.60	0.60	-3	-3	10	20
35	<b>0.54</b>	<b>0.60</b>	<b>0.55</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>13</b>
36	0.54	0.54	0.51	10	10	0	17.5
37	0.54	0.60	0.57	11	11	-2	18
38	0.51	0.60	0.55	-0.5	-0.5	10	20
39	<b>0.57</b>	<b>0.60</b>	<b>0.55</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>16</b>
40	0.57	0.64	0.55	11	11	-4	25
41	0.57	0.60	0.51	12.5	12.5	4	20
42	0.57	0.60	0.59	3	3	9	20

Αναλύσεις



**Πίνακας 3** Αποτελέσματα με το επιταχυνσιογράφημα Temblor

<b>A/a</b>	<b>a<sub>x</sub></b>	<b>a<sub>y</sub></b>	<b>a<sub>z</sub></b>	<b>ΔX<sub>α</sub></b>	<b>ΔX<sub>β</sub></b>	<b>ΔY<sub>α</sub></b>	<b>ΔY<sub>β</sub></b>
<b>Μέτρηση</b>	<b>?</b>	<b>?</b>	<b>?</b>	<b>2.5</b>	<b>2.1</b>	<b>6.2</b>	<b>9.9</b>
1	0.39	0.75	0.42	6	6	2	6
2	0.44	0.55	0.35	7	7	-2.5	7
3	0.36	0.55	0.35	0.5	0.5	0.5	4
4	0.36	0.69	0.35	5.5	5.5	1.5	7
5	0.36	0.69	0.49	5	5	1.5	6
6	0.55	0.69	0.49	10	10	0	3
7	0.44	0.69	0.35	8	8	-2.5	5
8	0.36	0.55	0.42	1	1	0.5	5
9	0.44	0.69	0.49	6	6	0.5	6
10	0.39	0.75	0.49	6	6	2	3
11	0.39	0.75	0.53	6	6	2	3
12	0.36	0.55	0.42	3.5	3.5	1	6
13	<b>0.44</b>	<b>0.67</b>	<b>0.44</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>4.5</b>	<b>15</b>
14	0.36	0.55	0.44	3.5	3.5	-1	6
15	0.42	0.61	0.37	2	2	-6	4
16	0.44	0.55	0.44	2	2	-3	2.5
17	0.44	0.64	0.44	4.5	4.5	-6	7
18	0.44	0.64	0.69	7	7	-7	8
19	<b>0.39</b>	<b>0.75</b>	<b>0.42</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>12</b>
20	0.39	0.75	0.46	7	7	6	12
21	0.39	0.55	0.42	3.5	3.5	-1.5	7
22	0.39	0.69	0.42	7	7	-4	15
23	0.39	0.75	0.37	8	8	-4	12.5
24	0.44	0.67	0.42	8	8	-7	8
25	<b>0.39</b>	<b>0.75</b>	<b>0.40</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>10.5</b>
26	0.39	0.72	0.40	8	8	-3	10
27	<b>0.39</b>	<b>0.75</b>	<b>0.39</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>11</b>
28	0.50	0.75	0.39	5	5	-2	8
29	0.50	0.61	0.39	5	5	-7	6
30	0.36	0.72	0.37	8	8	-3	12.5
31	<b>0.36</b>	<b>0.75</b>	<b>0.40</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>12.5</b>
32	0.36	0.61	0.69	8	8	-3.5	1.5
33	0.36	0.44	0.69	2.5	2.5	-0.25	3
34	0.36	0.50	0.69	2.25	2.25	0.25	6
35	0.36	0.55	0.69	1	1	2.5	4.5
36	0.39	0.55	0.69	6	6	-0.25	4
37	0.36	0.58	0.69	6.5	6.5	-0.25	4.5
38	<b>0.42</b>	<b>0.50</b>	<b>0.69</b>	<b>2.5</b>	<b>2.5</b>	<b>3</b>	<b>5</b>
39	0.42	0.53	0.69	4.5	4.5	0.25	3.5
40	<b>0.42</b>	<b>0.50</b>	<b>0.67</b>	<b>2.5</b>	<b>2.5</b>	<b>3</b>	<b>4.5</b>
41	<b>0.42</b>	<b>0.50</b>	<b>0.72</b>	<b>2.5</b>	<b>2.5</b>	<b>3</b>	<b>4.5</b>
42	0.42	0.58	0.72	9	9	-1.5	2.5
43	<b>0.42</b>	<b>0.50</b>	<b>0.62</b>	<b>2.5</b>	<b>2.5</b>	<b>3</b>	<b>4.5</b>
44	0.47	0.55	0.62	10.5	10.5	-5	6

Αναλύσεις

**Πίνακας 4** Πιθανά εύρη επιταχύνσεων (εντός παρενθέσεως αναγράφεται ο μέσος όρος του πιθανού εύρους)

	$a_x$ (g)	$a_y$ (g)	$a_z$ (g)
ΚΕΔΕ	0.37 – 0.50 <b>(0.44)</b>	0.63 – 0.71 <b>(0.67)</b>	0.33 – 0.58 <b>(0.45)</b>
Σεπόλια	0.45 – 0.54 <b>(0.51)</b>	0.54 – 0.64 <b>(0.59)</b>	0.37 – 0.64 <b>(0.50)</b>
Temblor	0.36 – 0.44 <b>(0.40)</b>	0.50 – 0.75 <b>(0.62)</b>	0.39 – 0.72 <b>(0.55)</b>

## 6. Συμπεράσματα

Όπως παρατηρείται στον Πίνακα 4, καί τα τρία εξετασθέντα επιταχυνσιογραφήματα συμφωνούν στην υπεροχή της σεισμικής συνιστώσας  $a_y$  ως προς την  $a_x$ . Εξετάζοντας τους μέσους όρους παρατηρείται ότι η συνιστώσα  $a_x$  κυμαίνεται από **0.40 έως 0.50 g**, ενώ αντιστοίχως η συνιστώσα  $a_y$  από **0.60 έως 0.70 g**. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τον προσαντολισμό του τύμβου (η διεύθυνση  $x$  είναι περίπου παράλληλη στην διεύθυνση Βορρά-Νότου) αποτελεί μια σαφή ένδειξη ότι η ισχυρότερη συνιστώσα του κραδασμού ήταν παράλληλη προς το ρήγμα. Επιπροσθέτως, παρατηρείται ότι καί με τα τρία εξετασθέντα επιταχυνσιογραφήματα απαιτείται σημαντική κατακόρυφη επιτάχυνση  $a_z$  η οποία κυμαίνεται κατά μέσον όρο από **0.45 έως 0.55 g**, παρουσιάζοντας όμως αρκετά μεγαλύτερο εύρος σε σχέση αυτό των οριζοντίων συνιστώσων.

Είναι επίσης φανερό ότι το επιταχυνσιογράφημα ΚΕΔΕ, όντας το πλέον υψίσυχνο, απαιτεί τις υψηλότερες επιταχύνσεις. Το επιταχυνσιογράφημα Σεπολίων, το οποίο είναι ελαφρώς πλουσιότερο σε μεγαλύτερες περιόδους, απαιτεί ελαφρώς χαμηλότερες επιταχύνσεις από το ΚΕΔΕ. Το επιταχυνσιογράφημα

Temblor που είναι το πλουσιότερο απο τα τρία σε μεγάλες περιόδους "αρκείται" σε σχετικά χαμηλότερες επιταχύνσεις, χωρίς οι διαφορές να είναι ιδιαιτέρως σημαντικές.

## **7. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα**

Έχοντας καταλήξει σε πιθανά εύρη επιταχύνσεων είναι πλέον δυνατή η πλήρης ανάλυση με προσομοίωση καί της θραύσεως του σταυρού. Είναι αναμενόμενη μια διαφοροποίηση της δυναμικής απόκρισης του τύμβου μετά την αποκόλληση του σταυρού, λόγω της τροποποίησης των χαρακτηριστικών του συστήματος. Πάντως η όποια αλλαγή στα αποτελέσματα δεν περίμενουμε να είναι δραματική λόγω αφενός μεν της μικρής μάζας του σταυρού ως προς την μάζα του τύμβου, αφετέρου δε λόγω της σχετικώς μικρής διάρκειας του κραδασμού (3-4 κύκλοι το πολύ-πολύ). Προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην περίπτωση αυτή στην ρεαλιστική προσομοίωση τόσο των μή γραμμικών σταθερών του υλικού, όσο και του τρόπου με τον οποίο ο σταυρός θα συνδεθεί με τον τύμβο.

Τέλος, το συγκεκριμένο εύρημα θα μπορούσε να δοκιμαστεί και πειραματικά σε κλίμακα 1:1 σε σεισμική τράπεζα, με την χρήση δοκιμίου-ομοιώματος το οποίο εύκολα μπορεί να κατασκευαστεί. Και με τους δύο παραπάνω τρόπους αξιοποιείται και η πληροφορία της θραύσεως όσο και της βολής που εξετέλεσε ο σταυρός μετά απ'αυτήν. Το προαναφερθέν πείραμα πιστεύεται ότι θα μπορούσε να δώσει επίσης αξιόπιστες πληροφορίες ως προς την διέγερση που προκάλεσε τις παρατηρηθείσες μετατοπίσεις και στροφές.