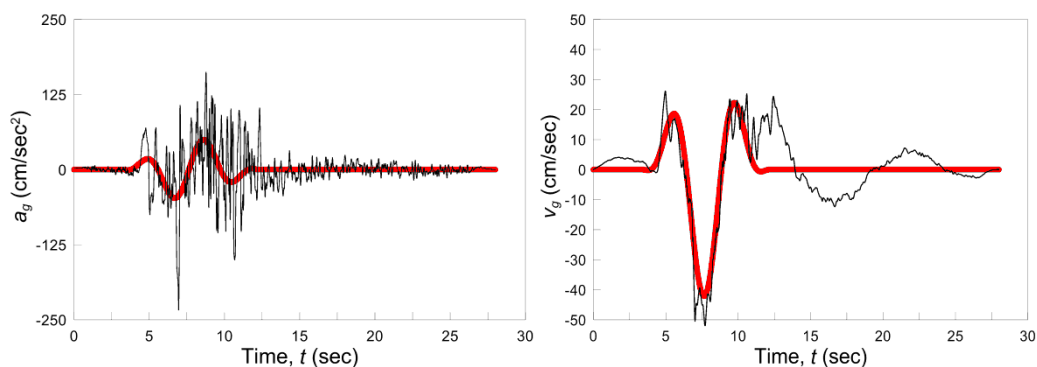




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Δ.Π.Μ.Σ. "ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ
ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ"
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ, ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΤΗΣ ΙΣΧΥΡΗΣ
ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΠΑΛΜΟΥΣ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ



ΕΚΠΟΝΗΣΗ: ΤΩΡΟΥ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ-ΔΗΜΗΤΡΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ

Ι. ΤΑΦΛΑΜΠΑΣ, ΔΙΔΑΚΤΩΡ ΕΜΠ

Μ. ΦΡΑΓΚΙΑΔΑΚΗΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2019

**" Ο καλύτερος τρόπος για να
κάνεις τα όνειρα σου να βγουν
αληθινά, είναι να ξυπνήσεις"**

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας του Τομέα Δομοστατικής του ΕΜΠ, υπό την επίβλεψη του Επίκουρου Καθηγητή Μιχαήλ Φραγκιαδάκη και του Διδάκτορα Ιωάννη Ταφλαμπά.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ. Φραγκιαδάκη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου αυτή την εργασία.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κύριο Ιωάννη Ταφλαμπά για την καθοδήγησή του, για τις χρήσιμες συμβουλές και υποδείξεις του καθόλη τη διάρκειά εκπόνησης της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υποψήφιους διδάκτορες του εργαστηρίου Αντισεισμικής Τεχνολογίας για την πολύτιμη βοήθεια τους με τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν .

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια και τους φίλους μου για τη στήριξη και υπομονή τους όλο αυτό το διάστημα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

"Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας"

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία πραγματοποιήθηκε διερεύνηση της σημαντικής διάρκειας της ισχυρής εδαφικής κίνησης σε σχέση με παλμούς κατευθυντικότητας. Για το σκοπό αυτό εξετάστηκαν καταγραφές χρονοϊστορίας από τη βάση NGA, για τις οποίες εξάχθηκε το παλμικό τους περιεχόμενο και πραγματοποιήθηκε συσχέτιση των φασμάτων επιτάχυνσης και μετακίνησης των αρχικών καταγραφών με αυτές που εμπεριείχαν μόνο τον παλμό. Επίσης, πραγματοποιήθηκε ανάλυση καταγραφών σε πολυβάθμιο σύστημα από την οποία εξάχθηκαν οι μετακινήσεις, τα drifts και οι τέμνουσες για αρχικές και παλμικές καταγραφές και έγινε συσχέτισή τους. Τέλος, εξετάστηκε η μεταβολή στον υπολογιστικό χρόνο της παλμικής με τη συνολική, ομοιόμορφη, οριοθετημένη, σημαντική και δρώσα διάρκεια.

ABSTRACT

'Investigation of the Significant Duration of Strong Ground Motion Related to Directivity Pulses'

In the present Master Thesis significant duration of strong ground motion related to directivity pulses is investigated. For this purpose, analysis of timehistories of the records from NGA base were conducted. More specifically, pulses were extracted from the records and after that acceleration and displacement spectra were found for both originals and pulses records and correlation were implemented. Futhermore, analysis in a multiple degree of freedom system was held for both original and pulses records, which were computed displacements, drifts and shear forces and comparison were materialized. Finally, the variation in the computing time was examined among the pulsive duration and the total, uniform, bracketed, significant and effective duration.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ABSTRACT	7
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
1.1. Γενική Ανασκόπηση.....	10
1.2. Δομή Διπλωματικής Εργασίας.....	11
2. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΤΗΣ ΙΣΧΥΡΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ.....	12
2.1. Η Διάρκεια ως Δείκτης Έντασης της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης.....	12
2.1.1. Οριοθετημένη διάρκεια (Bracketed duration).....	13
2.1.2. Ομοιόμορφη διάρκεια (Uniform duration).....	14
2.1.3. Σημαντική διάρκεια (Significant duration).....	14
2.1.4. Διάρκεια απόκρισης κατασκευής.....	15
2.1.5. Δρώσα διάρκεια (Effective duration).....	15
2.1.6. Διαπιστώσεις ερευνητών σχετικά με τις διάρκειες	15
2.2. Νέα διάρκεια (Παλμική).....	16
3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ.....	17
3.1. Εδαφικές Κινήσεις Κοντινού Πεδίου	17
3.2. Το Φαινόμενο της Κατευθυντικότητας	18
3.3. Εντοπισμός, Προσομοίωση και Χαρακτηριστικά των Παλμών.....	20
3.3.1. Προσομοίωση των παλμών-Προτάσεις ερευνητών.....	20
3.3.2. Χαρακτηριστικά των παλμών.....	21
3.3.3. Η μέθοδος των Μαυροειδή και Παπαγεωργίου	22
3.3.4. Η μέθοδος του Baker.....	23
3.3.5. Η μέθοδος του Εργαστηρίου Αντισεισμικής Τεχνολογίας Ε.Μ.Π.	24
3.4. Ταξινόμηση των Καταγραφών ως Παλμικές και Μη-Παλμικές	26
3.4.1. Ταξινόμηση με τη Μέθοδο Baker.....	26
3.4.2. Ταξινόμηση με τη μέθοδο Kardoutsou et al	28
4. ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΣΕ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	29
4.1. Ελαστική Ανάλυση Μονοβάθμιων Συστημάτων.....	29
4.2. Ανελαστική Ανάλυση Μονοβάθμιων Συστημάτων.....	34
4.2.1. Διαγράμματα των φασμάτων ανελαστικής μετακίνησης αρχικών και κομμένων καταγραφών για τις παλμικές καταγραφές.....	35
4.2.2. Συσχέτιση των φασμάτων ανελαστικής μετακίνησης αρχικών και κομμένων καταγραφών για τις παλμικές καταγραφές.....	37

4.3. Περίπτωση Καταγραφών με Κρυφούς Παλμούς	38
5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕ ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	41
5.1. Περιγραφή του Πολυβάθμιου Συστήματος	41
5.2. Περιγραφή του Μοντέλου Ανάλυσης του Πολυβαθμίου	41
5.3. Αναλύσεις στο Πολυβάθμιο Σύστημα.....	43
5.3.1. Διαγράμματα αναλύσεων πολυβάθμιου συστήματος	43
5.3.2. Συσχέτιση της μέγιστης μετακίνησης αρχικής και παλμικής καταγραφής για το πολυβάθμιο σύστημα	49
6. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ- ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΔΙΑΡΚΕΙΩΝ	53
6.1. Στατιστική Επεξεργασία- Συγκρίσεις Διάρκειών για τις 220 καταγραφές του NGA.....	53
6.2. Στατιστική Επεξεργασία των Διάρκειών για τις Παλμικές Καταγραφές	68
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	74
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	76

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενική Ανασκόπηση

Στα πλαίσια εκτίμησης του σεισμικού κινδύνου ο προσδιορισμός δεικτών έντασης της εδαφικής κίνησης για μελλοντικούς σεισμούς συνιστά αναγκαιότητα. Ο υπολογισμός αυτών των παραμέτρων επιτυγχάνεται μέσω σχέσεων απόσβεσης που προβλέπουν τις τιμές αυτών συναρτήσει της σεισμικής ροπής και της απόστασης από την σεισμική πηγή. Ο ορισμός αυτών των παραμέτρων εξαρτάται από την εκάστοτε χρήση τους καθώς καθίσταται πολύ δύσκολο μία παράμετρος να αποδώσει τη φύση της ισχυρής εδαφικής κίνησης από μόνη της αλλά πρέπει να συνδέεται με τα χαρακτηριστικά του σεισμού και της εγγύτερης περιοχής. Ως εκ τούτου καθίσταται αναγκαία η χρήση επιταχυνσιογραφημάτων και η σύνδεση τους με απλές παραμέτρους μέσω σχέσεων απόσβεσης.

Η εκτίμηση της έντασης πραγματοποιείται με τη χρήση ενός δείκτη που αντιστοιχεί είτε στο εύρος μιας παραμέτρου, είτε στο συχνοτικό περιεχόμενο ή στη διάρκεια της καταγραφής, ενώ πλέον πραγματοποιούνται και προσπάθειες συσχέτισης των επιμέρους δεικτών για την εκτίμηση της έντασης μέσω ενός συνδυαστικού δείκτη καταστροφικότητας.

Η διάρκεια αποτελεί ένα σημαντικό δείκτη εκτίμησης της έντασης καθώς ο αριθμός κύκλων της διέγερσης προκαλεί προβλήματα στις θεμελιώσεις των κατασκευών μέσω ρευστοποίησης ενώ μειώνει την αντοχή και την ακαμψία τους με αποτέλεσμα ενδεχόμενη αστοχία τους βάση της διατειθέμενης πλαστιμότητας.

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία πραγματοποιείται διερεύνηση της σημαντικής διάρκειας της ισχυρής εδαφικής κίνησης σε σχέση με παλμούς κατευθυντικότητας.

Έως τώρα, έχουν οριστεί κάποιες διάρκειες που αφορούν είτε ένα κατώφλι εύρους της καταγραφής, είτε ένα ποσοστό της απεικόνισης της απότομης συσσώρευσης ενέργειας. Οι διάρκειες αυτές έχουν κατηγοριοποιηθεί ως ομοιόμορφη, οριοθετημένη, σημαντική και διάρκεια απόκρισης της κατασκευής.

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η εισαγωγή μίας νέας διάρκειας ως η σημαντική διάρκεια της ισχυρής εδαφικής κίνησης μέσω μίας εναλλακτικής προσέγγισης. Συγκεκριμένα, διερευνάται αν η διάρκεια που αναφέρεται στο παλμικό περιεχόμενο των καταγραφών μπορεί να αντικαταστήσει τη συνολική διάρκεια της καταγραφής αναφορικά με το περιεχόμενο της και ταυτόχρονα να μειωθεί ο υπολογιστικός χρόνος.

Για την επίτευξη του παραπάνω στόχου εξετάστηκαν 220 καταγραφές από τη βάση του NGA, εξάχθηκε το παλμικό τους περιεχόμενο μέσω ενός προγράμματος του Εργαστηρίου Αντισεισμικής Τεχνολογίας ΕΜΠ και ταξινομήθηκαν οι καταγραφές ως παλμικές και μη παλμικές σύμφωνα με τη μέθοδο της Καρδούτσου. Εν συνεχεία, υπολογίστηκαν τα φάσματα επιταχύνσεων για ελαστική ανάλυση και τα φάσματα μετακινήσεων για ανελαστική ανάλυση για τη συνολική διάρκεια και την παλμική διάρκεια κάθε καταγραφής και πραγματοποιήθηκε συσχέτιση. Επιπροσθέτως, διεξήχθηκε ανάλυση σε πολυβάθμιο σύστημα για τη συνολική διάρκεια των καταγραφών και τη νέα, υπολογίστηκαν μετακινήσεις, drifts και τέμνουσες για τις δύο διάρκειες και έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων. Τέλος, πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ της νέας διάρκειας και της συνολικής, ομοιόμορφης, οριοθετημένης, σημαντικής και δρώσας διάρκειας προκειμένου να διερευνηθεί η μεταβολή στον υπολογιστικό χρόνο.

1.2. Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία συμπεριλαμβανομένου του παρόντος, αποτελείται από οκτώ κεφάλαια. Ακολουθεί μία συνοπτική περιγραφή τους.

Στο κεφάλαιο 2 περιγράφεται η αναγκαιότητα εκτίμησης της διάρκειας ως δείκτη ισχυρής εδαφικής κίνησης, οι κατηγορίες διαρκειών που προτείνονται καθώς και οι διαπιστώσεις ερευνητών για αυτές και εισάγεται μία νέα διάρκεια ως δείκτης της ισχυρής εδαφικής κίνησης για την οποία πραγματοποιείται περαιτέρω διερεύνηση στα επόμενα κεφάλαια.

Στο κεφάλαιο 3 αναλύεται εκτενώς η επίδραση του κοντινού πεδίου και της κατευθυντικότητας στις παραμέτρους εδαφικής κίνησης. Επεξηγείται το φαινόμενο κατευθυντικότητας, περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των παλμών και ο τρόπος προσομοίωσης τους από διάφορες μεθόδους, αναλύονται οι μέθοδοι ταξινόμησης των καταγραφών σε παλμικές και μη, όπως έχουν προταθεί από διάφορους ερευνητές, και παρατίθενται η μεθοδολογία προσδιορισμού της νέας διάρκειας.

Στο κεφάλαιο 4 πραγματοποιείται ελαστική και ανελαστική ανάλυση σε μονοβάθμια συστήματα, υπολογίζονται τα φάσματα επιταχύνσεων και μετακινήσεων και πραγματοποιείται συσχέτιση των αρχικών με τις παλμικές καταγραφές, ενώ εξετάζεται και η περίπτωση καταγραφών με κρυφούς παλμούς.

Στο κεφάλαιο 5 πραγματοποιείται ανελαστική ανάλυση ενός πολυβάθμιου συστήματος με τη χρήση ενός μοντέλου ανάλυσης πολυβαθμίων και εξετάζεται η σύγκλιση τεμνουσών, μετακινήσεων και drifts των αρχικών με τις παλμικές καταγραφές.

Στο κεφάλαιο 6 υπολογίζονται η συνολική διάρκεια, η νέα διάρκεια και οι διάρκειες των υπόλοιπων κατηγοριών για κάθε καταγραφή και παρατίθενται η στατιστική επεξεργασία και οι συγκρίσεις της νέας διάρκειας με τη συνολική διάρκεια κάθε καταγραφής καθώς και με τις υπόλοιπες κατηγορίες διαρκειών.

Στο κεφάλαιο 7 αναπτύσσονται τα συμπεράσματα της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας καθώς και οι προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Στο κεφάλαιο 8 αναφέρεται η διεθνής βιβλιογραφία στην οποία στηρίχτηκε η ανάπτυξη των επιμέρους εδαφίων.

2. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΤΗΣ ΙΣΧΥΡΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Η αναγκαιότητα εκτίμησης του σεισμικού κινδύνου συνεπάγεται τον προσδιορισμό των δεικτών έντασης της εδαφικής κίνησης για μελλοντικούς σεισμούς. Η επίτευξη αυτής της ανάγκης πραγματοποιείται μέσω της χρήσης σχέσεων απόσβεσης που προβλέπουν τιμές της επιλεγόμενης παραμέτρου ισχυρής κίνησης σαν συνάρτηση του μεγέθους ροπής του σεισμού και της απόστασης από τη σεισμική πηγή. Ο υπολογισμός των δεικτών ισχυρής κίνησης για την εκτίμηση σεισμικού κινδύνου αλλά και αντισεισμικού σχεδιασμού απαιτεί τον σαφή ορισμό των παραμέτρων που αφορούν στην πιθανότητα καταστροφικής ισχυρής κίνησης. Η επιλογή των παραμέτρων ισχυρής κίνησης εξαρτάται από την εκάστοτε χρήση. Έχει αποδειχθεί ότι πολλοί λίγες παράμετροι ή και καμία μπορεί να δείξει τη φύση της ισχυρής κίνησης από μόνη της. Κάθε παράμετρος που θα χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη ισχυρής κίνησης είναι αναγκαίο να αναπτύξει σχέσεις μεταξύ τιμών αυτής της παραμέτρου και των χαρακτηριστικών της σεισμικής πηγής, της διεύθυνσης διάρρηξης και των χαρακτηριστικών της περιοχής. Για την επίτευξη των παραπάνω είναι σκόπιμη η χρήση των πολύπλοκων ισχυρής κίνησης επιταχυνσιογραφημάτων μέσω απλών παραμέτρων και της ανάπτυξης σχέσεων πρόβλεψης. Η εκτίμηση της έντασης πραγματοποιείται με τη χρήση ενός δείκτη που αντιστοιχεί είτε στο εύρος μιας παραμέτρου, είτε στο συχνοτικό περιεχόμενο ή στη διάρκεια της καταγραφής, ενώ πλέον πραγματοποιούνται και προσπάθειες συσχέτισης των επιμέρους δεικτών για την εκτίμηση της έντασης μέσω ενός συνδυαστικού δείκτη καταστροφικότητας. [2], [5]

2.1. Η Διάρκεια ως Δείκτης Έντασης της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης

Η εκτίμηση της διάρκειας της εδαφικής κίνησης παίζει καθοριστικό ρόλο στη συμπεριφορά των θεμελιώσεων των κατασκευών, δεδομένου ότι ο αριθμός των κύκλων της διέγερσης αυξάνει τον κίνδυνο ρευστοποίησης του εδάφους. Αναφορικά με την απόκριση των κατασκευών, η διάρκεια της ισχυρής εδαφικής κίνησης έχει ιδιαίτερη επίπτωση στη μείωση της διατειθέμενης αντοχής σε συστήματα με ελαστοπλαστική συμπεριφορά. Η μείωση αυτή θεωρείται συνάρτηση των κύκλων φόρτισης και της αυξημένης εισαγόμενης σεισμικής ενέργειας. Όταν η απόκριση των συστημάτων χαρακτηρίζεται από σταδιακή μείωση ακαμψίας και αντοχής, είναι προφανές ότι ο αριθμός των κύκλων φόρτισης είναι καθοριστικός για την εκτίμηση ενδεχόμενης αστοχίας βάσει της διατειθέμενης πλαστιμότητας. Από τα παραπάνω κρίνεται αναγκαία η εκτίμηση του ισχυρού τμήματος της εκάστοτε καταγραφής με τον προσδιορισμό της διάρκειας της εδαφικής κίνησης. [4],[5]

Υπάρχουν θεμελιώδεις δυσκολίες για την πρόβλεψη των παραμέτρων ισχυρής κίνησης. Πιο αναλυτικά, οι σχέσεις απόσβεσης για τη διάρκεια ισχυρής κίνησης εξαρτώνται από τον ορισμό της διάρκειας. Για κάθε ορισμό διάρκειας βρέθηκε ότι αξιόπιστη πρόβλεψη είναι δύσκολο να υπάρξει εξαιτίας της εξάρτησης των χαρακτηριστικών της σεισμικής πηγής, τα οποία δε μπορούν να προβλεφθούν για μελλοντικούς σεισμούς.

Όλες οι σχέσεις διαρκειών που ορίζονται από σχετικά επίπεδα του επιταχυνσιογραφήματος ή το διάγραμμα του Husid προβλέπουν τιμές της διάρκειας που αυξάνουν δυσανάλογα με την απόσταση ενώ όσες ορίζονται από τις απόλυτες τιμές της επιτάχυνσης προβλέπουν διάρκειες που μειώνονται με την απόσταση. [2]

Η δρώσα διάρκεια, όπως ορίζεται από τους Bommer & Martinez-Perreira, παρουσιάζει υψηλή συσχέτιση με τη σεισμική ροπή και δίνεται από τον τύπο:

$$\log(D_E) = 0.69 * M_w - 3.70 \quad (1)$$

, με τυπική απόκλιση 0.28.

Χρησιμοποιώντας την εμπειρική σχέση μεταξύ μήκους διάρρηξης και σεισμικής ροπής οι Wells & Coppersmith (1994) και υποθέτοντας ταχύτητα διάρρηξης σταθερή και ίση με 2.5km/sec καταλήγουν για τη διάρκεια στη σχέση:

$$\log(D_R) = 0.69 * M_w - 3.62 \quad (2)$$

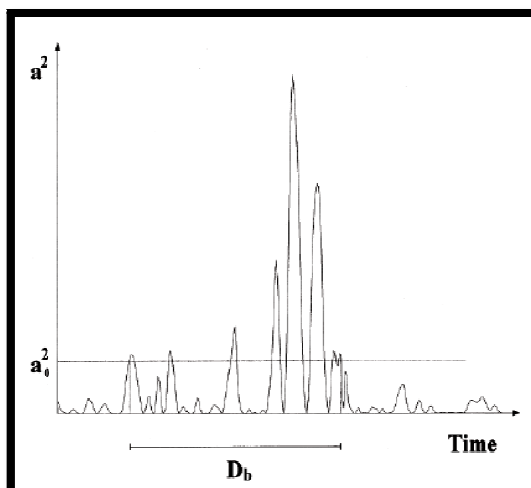
Από τις σχέσεις (1), (2) παρατηρείται μικρή διαφοροποίηση στην σταθερή τιμή.

Ωστόσο, επισημαίνεται ότι αν και μπορεί να προσδιοριστεί η διάρκεια ισχυρής κίνησης για δεδομένη ροπή θα υπάρχει αβεβαιότητα 50% για μελλοντικούς σεισμούς ανάλογα με το αν η διάρρηξη είναι αμφίπλευρη ή μονομερής. [2]

Αφού η συνολική διάρκεια ενός επιταχυνσιογραφήματος εξαρτάται από την ψηφιοποίηση αναλογικών καταγραφών ή τα μεσοδιαστήματα πριν και μετά για ψηφιακές καταγραφές δεν είναι εφικτό να οριστεί η διάρκεια της ισχυρής κίνησης ως ο χρόνος μεταξύ έναρξης και λήξης του επιταχυνσιογραφήματος. Πολλές προσπάθειες απομόνωσης ενός μέρους του επιταχυνσιογραφήματος κατά τη διάρκεια του οποίου συμβαίνει η ισχυρότερη κίνηση έχουν προταθεί. Όλες αυτές οι προσπάθειες έχουν κατηγοριοποιηθεί από τους Bommer & Martinez-Perreira, 1996, σε τέσσερις γενικές κατηγορίες, **την οριοθετημένη διάρκεια, την ομοιόμορφη, τη σημαντική διάρκεια και τη διάρκεια απόκρισης της κατασκευής.** [2]

2.1.1. Οριοθετημένη διάρκεια (Bracketed duration)

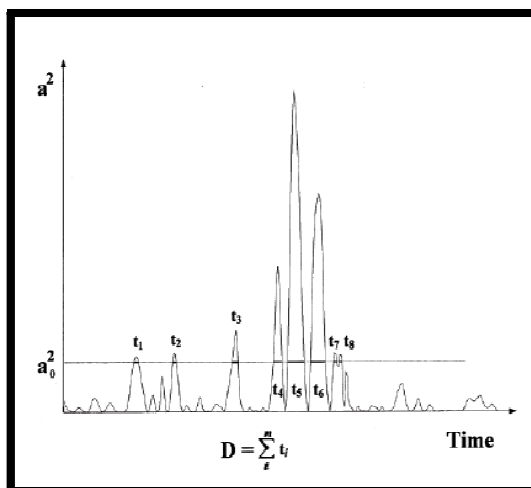
Ως οριοθετημένη ορίζεται η διάρκεια του μεσοδιαστήματος μεταξύ της πρώτης και της τελευταίας τιμής μίας ελάχιστης τιμής εύρους, όπως αυτή έχει τεθεί. Στη παρούσα εργασία το όριο είναι 5% της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης (5%*PGA). Αν η τιμή αυτή ορίζεται ως ένα ποσοστό της μέγιστης απόλυτης τιμής του εύρους τότε η αντίστοιχη διάρκεια χαρακτηρίζεται ως κανονικοποιημένη ή ποσοστιαία. Επισημαίνεται ως μειονέκτημα της μεθόδου ότι αν μεσολαβεί ένα διάστημα εδαφικής κίνησης με τιμές χαμηλότερες του ορίου αναφοράς τότε η διάρκεια ισχυρής εδαφικής κίνησης υπερεκτιμάται. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση ακολουθίας μικρότερων σεισμικών γεγονότων μετά από κύριο σεισμό. Ακόμη ένα μειονέκτημα είναι η μεγάλη ευαισθησία στην εκτίμηση της διάρκειας για μεταβολή του ορίου αναφοράς της επιτάχυνσης ακόμα και για πολύ μικρές διαφοροποιήσεις. Καταγραφές ισχυρής κίνησης για πολλαπλές διαρρήξεις δίνουν μη ρεαλιστικές τιμές της οριοθετημένης διάρκειας, ειδικά για χαμηλές τιμές του ορίου αναφοράς της επιτάχυνσης. [2], [4], [16]



Εικόνα 2.1: Οριοθετημένη διάρκεια [16]

2.1.2. Ομοιόμορφη διάρκεια (Uniform duration)

Ως ομοιόμορφη ορίζεται η διάρκεια του αθροίσματος των τμημάτων εδαφικής κίνησης με εύρος μεγαλύτερο ενός επιλεγμένου ορίου. Το όριο που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι απόλυτο ή σχετικό. Στη παρούσα εργασία το όριο είναι $5\% \cdot PGA$. Η διάρκεια που προκύπτει με αυτό τον ορισμό είναι αρκετά ευαίσθητη στην επιλογή του ορίου επιτάχυνσης. Για υψηλές τιμές αναφοράς της επιτάχυνσης η ομοιόμορφη διάρκεια δίνει μικρές τιμές. Μία ακόμη ατέλεια της αναφερθείσας διάρκειας είναι ότι δεν οριοθετεί ένα συνεχές χρονικό διάστημα στο οποίο να εκλύεται το σημαντικότερο τμήμα της ενέργειας της εδαφικής κίνησης. [2], [4], [16]

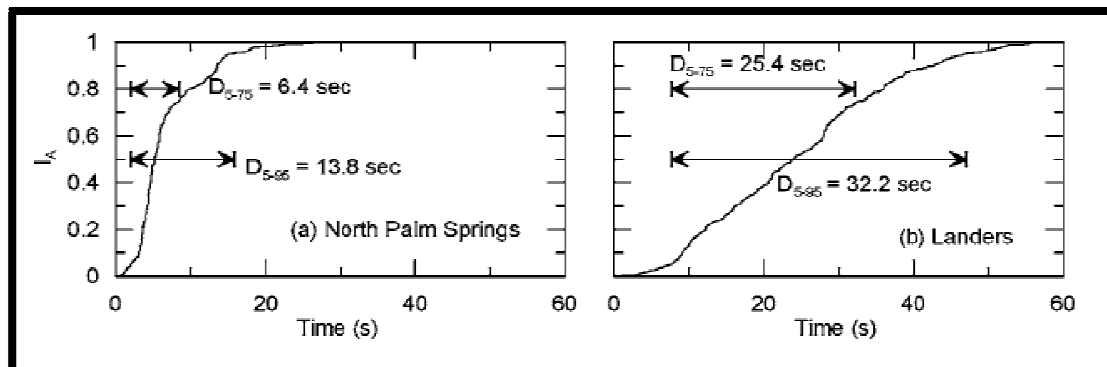


Εικόνα 2.2: Ομοιόμορφη διάρκεια [16]

2.1.3. Σημαντική διάρκεια (Significant duration)

Ως σημαντική ορίζεται η διάρκεια που βασίζεται στην απεικόνιση της απότομης συσσώρευσης ενέργειας στην καταγραφή, όπως αυτή αποδίδεται από τη χρονιοιστορία του ολοκληρώματος του τετραγώνου των εδαφικών επιταχύνσεων, ταχυτήτων ή μετακινήσεων. Στη παρούσα εργασία υπολογίστηκε η σημαντική διάρκεια με τη χρήση επιταχύνσεων και ο δείκτης σχετίζεται με την ένταση κατά Arias. Συγκεκριμένα, η σημαντική διάρκεια υπολογίστηκε σύμφωνα με τους Trifunac & Brandy (1975) ως το χρονικό διάστημα που ορίζεται από τα όρια του 5% και 95% της συνολικής ενέργειας της καταγραφής. Αναφέρεται πως οι Somerville et al

ορίσαν τη σημαντική διάρκεια στο μεσοδιάστημα μεταξύ του 5% και 75% της συνολικής ενέργειας καταγραφής. Πλεονέκτημα της σημαντικής διάρκειας είναι ότι προσδιορίζεται από ένα συνεχές χρονικό διάστημα με βάση το συνολικό ενεργειακό περιεχόμενο της καταγραφής. [2], [4],[5],[16]



Εικόνα 2.3: Σημαντική διάρκεια για τιμές 5%-95% και 5%-75% [16]

2.1.4. Διάρκεια απόκρισης κατασκευής

Ως διάρκεια απόκρισης της κατασκευής ορίζεται οποιαδήποτε από τις τρεις προαναφερθείσες διάρκειες εφαρμοσμένη στην απόκριση ενός συγκεκριμένου μονοβάθμιου ταλαντωτή. [2]

2.1.5. Δρώσα διάρκεια (Effective duration)

Εκτός των κατηγοριών που προτείνουν οι Bommer & Martinez-Perreira, 1996, στην παρούσα εργασία υπολογίστηκε και η δρώσα διάρκεια η οποία βασίζεται στον υπολογισμό της σημαντικής διάρκειας με τη διαφορά ότι τα όρια έναρξης και λήξης της ισχυρής κίνησης αφορούν απόλυτες τιμές της καταγραφής.

2.1.6. Διαπιστώσεις ερευνητών σχετικά με τις διάρκειες

Επισημαίνεται ότι τα κατώφλια που χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό των διαρκειών των τεσσάρων κατηγοριών μπορεί να είναι είτε απόλυτες τιμές της επιτάχυνσης ή της έντασης κατά Arias, είτε σχετικές τιμές ορισμένες ως ένα ποσοστό της μέγιστης τιμής. Μία ακόμη διακριτοποίηση μεταξύ των ορισμών αφορά εκείνα για τα οποία γίνεται χρήση ολόκληρου του επιταχυνσιογραφήματος και αυτών που προσδιορίζονται αφού έχει εφαρμοστεί στην καταγραφή ένα narrow-band φίλτρο προκειμένου να απομονωθεί μία συγκεκριμένη συχνότητα. Αναφέρεται ότι διάρκειες που έχουν οριστεί με διαφορετικό τρόπο για το ίδιο επιταχυνσιογράφημα μπορεί να δίνουν αποτελέσματα που να ποικίλουν περισσότερο από 50%. Επίσης, για ασθενή επιταχυνσιογραφήματα ο ορισμός της διάρκειας βάση απόλυτων κριτηρίων μπορεί να δώσει μηδενικά αποτελέσματα σε αντίθεση με τον ορισμό βάση σχετικών κριτηρίων συνδεδεμένων μόνο με τη γεωμετρία του επιταχυνσιογραφήματος το οποίο θα δώσει κάποια μη μηδενική τιμή για τη διάρκεια. Συγκρίσεις μεταξύ καταγραφών με όμοιες επιταχύνσεις ή ενέργειες υποδεικνύουν σημαντικά διαφορετικές επιρροές στα στατικά συστήματα. Ενώ για ίσες επιταχύνσεις η μεγαλύτερη διάρκεια είναι πιο καταστρεπτική, για ίσες ενέργειες μικρότερη διάρκεια παρουσιάζει μεγαλύτερη σεισμική επικινδυνότητα. Ένας σεισμός μικρής διάρκειας ίσως να μην δημιουργήσει αρκετούς κύκλους φόρτισης ώστε να προκαλέσει ζημιές σε μία κατασκευή ακόμα και αν η σεισμική ροπή της κίνησης είναι υψηλή. Αντιθέτως, εδαφική κίνηση μεσαίου εύρους αλλά μακράς διάρκειας μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές ζημιές εξαιτίας του μεγαλύτερου αριθμού κύκλων φόρτισης. Ακόμη, για δύο επιταχυνσιογραφήματα με όμοιες τιμές εδαφικής επιτάχυνσης (PGA), αυτή με τη μεγαλύτερη

διάρκεια πιθανότατα είναι πιο καταστροφική αν οι συχνότητες είναι όμοιες. Σύμφωνα με τον Housner (1965), για δύο εδαφικές κινήσεις με την ίδια φασματική ένταση θα προκληθούν πιθανότατα διαφορετικές ζημιές αν η διάρκεια της μίας εδαφικής κίνησης είναι μεγαλύτερη από της άλλης. Παρόλα αυτά καταγραφές του σεισμού στο El Salvador (1982) με $M_s=7.3$ και $M_s=5.4$ αποκαλύπτουν ότι η ένταση κατά Arias ήταν σχεδόν η ίδια αλλά ο μικρότερος σεισμός παρότι ήταν διάρκειας 1/10 του μεγαλύτερου πιο απομακρυσμένου σεισμού ήταν πιο καταστροφικός, συμπεραίνοντας ότι η εκπομπή του ίδιου ποσού ενέργειας σε μικρότερο χρονικό διάστημα είχε σαν αποτέλεσμα να συμβούν μεγαλύτερες ζημιές, γεγονός που συμφωνεί και με τις παρατηρήσεις των Tremblay et al (1995, 1996) για συνδέσεις μεταλλικών πλαισίων για τους σεισμούς του Northridge (1994) και Kobe (1995), οι οποίες προκάλεσαν ασυνήθιστες ζημιές. Από σεισμολογικής απόψεως, η διάρκεια της ισχυρής εδαφικής κίνησης σχετίζεται με το χρόνο που απαιτείται για την απελευθέρωση της αθροιστικής ενέργειας παραμόρφωσης της διάρρηξης κατά μήκος του ρήγματος. Όσο η περιοχή ή το μήκος διάρρηξης του ρήγματος αυξάνει τόσο ο χρόνος που απαιτείται για τη διάρρηξη αυξάνει. Όποτε η διάρκεια εδαφικής κίνησης αυξάνει με την αύξηση της σεισμικής ροπής. Επιπροσθέτως, ο λόγος κύκλων φόρτισης- διάρκειας μειώνεται με την απόσταση ως αποτέλεσμα της ταχύτερης απόσβεσης κινήσεων υψηλής συχνότητας (μείωση του αριθμού των κύκλων) και του διαχωρισμού των κύκλων (αύξηση της διάρκειας) εξαιτίας της διαφορετικής διάδοσης των κυμάτων ταχύτητας. Σε βραχώδη εδάφη ο λόγος κύκλων διέγερσης- διάρκειας είναι υψηλότερος, διότι ενώ η διάρκεια σε εδάφη κατηγοριών B και κάτω είναι μεγαλύτερη, στα βραχώδη εδάφη (κατηγορία A) ο αριθμός των κύκλων φόρτισης ίσως είναι σημαντικά υψηλότερος από τις υπόλοιπες κατηγορίες εδαφών εξαιτίας των υψηλών συχνοτήτων κίνησης. Παρατηρείται επίσης ότι ο λόγος κύκλων φόρτισης- διάρκειας μειώνεται με τη ροπή υποθέτοντας ότι κύματα μεγαλύτερων περιόδων εδαφικής κίνησης δημιουργούνται από μεγαλύτερους σεισμούς. Κύκλοι μεγάλων περιόδων, εξ'ορισμού συνεισφέρουν περισσότερο στη διάρκεια της κίνησης. Συνεπώς, η διάρκεια ως δείκτης εδαφικής έντασης ποικίλλει ανάλογα με τη σεισμική ροπή, την απόσταση και τα χαρακτηριστικά του εδάφους, ενώ η επιρροή της εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως είναι ο τρόπος μέτρησης καταστρεπτικότητας (damage metric) καθώς και το στατικό μοντέλο. Από τα ανωτέρω καταλήγουμε ότι για τη χρήση της διάρκειας ως δείκτη ισχυρής εδαφικής κίνησης πρέπει να ληφούν υπόψη πολλές παράμετροι καθώς και ο σκοπός της εκάστοτε χρήσης της προκειμένου τα αποτελέσματα που θα εξαχθούν να είναι αξιόπιστα και συγκρίσιμα. [2], [4],[5], [6]

2.2. Νέα διάρκεια (Παλμική)

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε διερεύνηση της σημαντικής διάρκειας της ισχυρής εδαφικής κίνησης σε σχέση με παλμούς κατευθυντικότητας. Αναλυτικότερα, εξετάστηκε αν η σημαντική διάρκεια της ισχυρής εδαφικής κίνησης μπορεί να προσδιοριστεί από τις ιδιότητες των παλμών της καταγραφής. Για την εξαγωγή της νέας διάρκειας χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα του εργαστηρίου Αντισεισμικής Τεχνολογίας, ΕΜΠ, του κύριου Ιωάννη Ταφλαμπά, από το οποίο εξάγονται έξι παλμοί με τα χαρακτηριστικά τους, τα οποία είναι το εύρος κάθε παλμού, η περίοδος του, ο αριθμός κύκλων του, η διαφορά φάσης με την οποία κάθε παλμός εισέρχεται στο σήμα καθώς και ο συντελεστής συσχέτισης τους με την αρχική καταγραφή. Στο κεφάλαιο 3 αναλύεται διεξοδικώς η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για τον προσδιορισμό της νέας διάρκειας, ενώ στα επόμενα κεφάλαια γίνεται προσπάθεια πειραματικής ανάλυσης με πραγματικές καταγραφές σε μονοβάθμια συστήματα τόσο ελαστικά όσο και ανελαστικά καθώς και σε πολυβάθμια

συστήματα προκειμένου να διαπιστωθεί εάν μπορεί να θεωρηθεί ως η σημαντική διάρκεια της ισχυρής εδαφικής κίνησης και να χρησιμοποιηθεί έναντι της διάρκειας ολόκληρης της καταγραφής ή των ήδη προτεινόμενων διαρκειών παρέχοντας ικανοποιητικά και αξιόπιστα αποτελέσματα με ταυτόχρονη μείωση του υπολογιστικού χρόνου.

3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας που απελευθερώνεται από τη διάρρηξη κατά μήκος του ρήγματος μετατρέπεται σε κύματα τάσεων (stress waves). Αφού η ενέργεια που απελευθερώνεται σε ένα σεισμό συνδέεται με το μέγεθος του, τότε και τα χαρακτηριστικά των κυμάτων θα συνδέονται με το μέγεθος του σεισμού. Καθώς τα κύματα απομακρύνονται από τη σεισμική πηγή διαχέονται και μερικώς απορροφούνται διαμέσου του εδάφους στο οποίο διαδίδονται. Συνεπώς, η ενέργεια ανά μονάδα όγκου μειώνεται με την αυξανόμενη απόσταση από την πηγή. Αφού τα χαρακτηριστικά των κυμάτων συνδέονται με την εκλυόμενη ενέργεια, τότε συνδέονται και με την απόσταση. Η απόσταση μεταξύ σεισμικής πηγής και μίας μεμονωμένης περιοχής ερμηνεύεται με ποικίλους τρόπους. [8] Τα χαρακτηριστικά των σεισμικών κυμάτων μεταβάλλονται καθώς ταξιδεύουν από την πηγή προς μία περιοχή ενδιαφέροντος εξαιτίας της διάχυσης λόγω της διεπαφής τους με το έδαφος, της απόσβεσης και των αλλαγών στο σχήμα των κυμάτων, ενώ οι τοπικές εδαφικές συνθήκες μπορεί να επηρεάζουν σημαντικά το εύρος της εδαφικής κίνησης. [4] Σεισμοί μικρού μεγέθους συχνά αναπαριστούν την πηγή ως ένα σημείο αφού η διάρρηξη του ρήγματος εκτείνεται μόνο λίγα χιλιόμετρα. Αντιθέτως, για σεισμούς μεγάλου μεγέθους η διάρρηξη του ρήγματος μπορεί να είναι μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα μήκους οπότε η σκέδαση των σεισμικών κυμάτων επηρεάζεται από τις διαστάσεις της πηγής. Τα σεισμικά κύματα κατά τη διεύθυνση του ρήγματος διαδίδονται πιο έντονα συγκριτικά με τις άλλες διευθύνσεις. Αυτό επηρεάζει την κατανομή της έντασης της κίνησης και ως εκ τούτου την κατανομή των παραμέτρων εδαφικής κίνησης και καταστροφικότητας. [4]

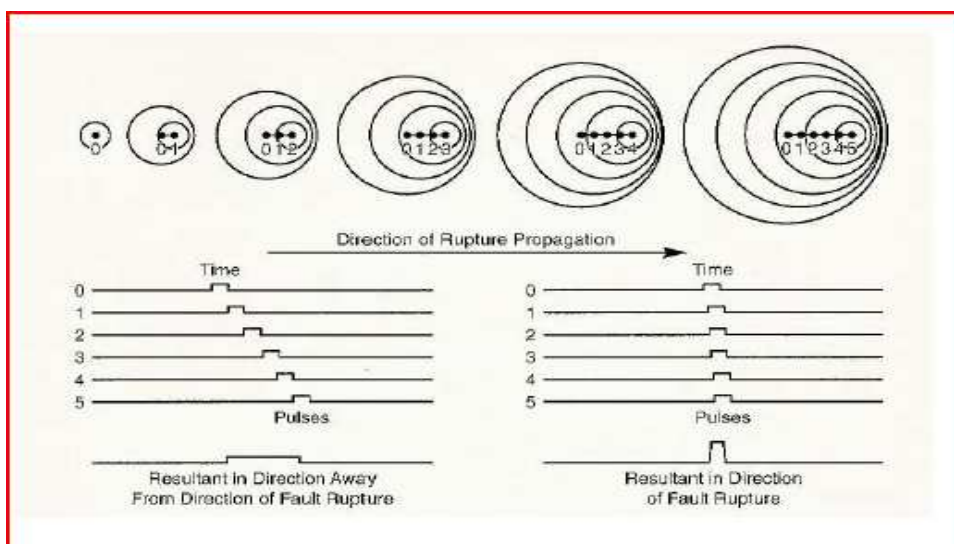
3.1. Εδαφικές Κινήσεις Κοντινού Πεδίου

Οι εδαφικές κινήσεις κοντά στην περιοχή διάρρηξης μπορεί να διαφέρουν σημαντικά από αυτές που βρίσκονται αρκετά μακριά από τη σεισμική πηγή. Η ζώνη κοντινού πεδίου τοποθετείται σε μία απόσταση μεταξύ 20-60 χιλιομέτρων από τη διάρρηξη του ρήγματος. Εντός του κοντινού πεδίου οι εδαφικές κινήσεις επηρεάζονται σημαντικά από το μηχανισμό διάρρηξης, τη διεύθυνση της διάδοσης διάρρηξης σε σχέση με την περιοχή παρατήρησης καθώς και πιθανές μόνιμες εδαφικές μετακινήσεις ως αποτέλεσμα της ολίσθησης του ρήγματος. Οι παράγοντες αυτοί ορίζουν τα φαινόμενα κατευθυντικότητας και fling step και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για τον υπολογισμό της εδαφικής κίνησης. Από το φαινόμενο κατευθυντικότητας, παράγονται σημαντικοί παλμοί ταχύτητας, οι οποίοι ενισχύουν τη συνιστώσα που σχετίζεται με εδαφικές κινήσεις μεγάλης περιόδου και είναι ιδιαίτερα εμφανείς στις χρονοϊστορίες της ταχύτητας και της μετακίνησης καθώς και στο φάσμα απόκρισης.

Όπως γίνεται αντιληπτό ο προσδιορισμός αυτών των παλμών και των χαρακτηριστικών τους κρίνεται αναγκαίος λόγω της επίδρασης του στην ισχυρή εδαφική κίνηση.

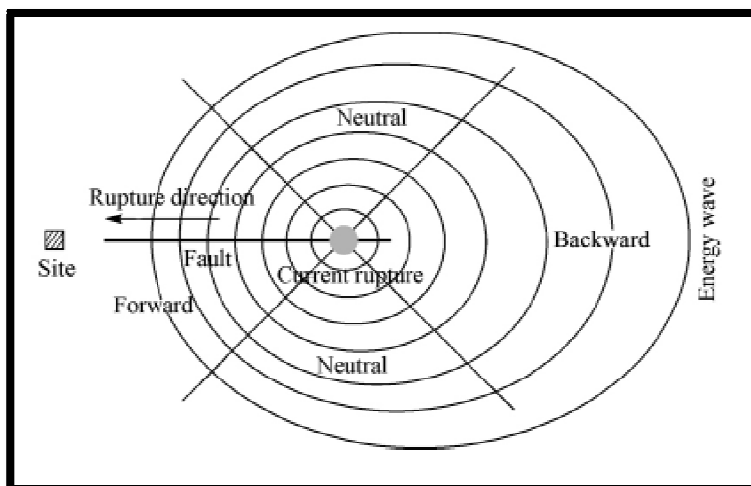
3.2. Το Φαινόμενο της Κατευθυντικότητας

Η διάδοση κυμάτων μακριά από τη διάρρηξη του ρήγματος με διαφορετικές εντάσεις κατά μήκος διαφορετικών διευθύνσεων καλείται κατευθυντικότητα. Η κατευθυντικότητα διακρίνεται σε εμπρόσθια και οπίσθια (forward-backward directivity). Λαμβάνει χώρα ως μία διαδικασία επιμέρους γεγονότων, με το σπάσιμο διαδοχικών κλείθρων (ως κλείθρα ορίζονται εδαφικά σημεία συγκεντρωμένων τάσεων) τα οποία θραύονται όταν ξεπεραστεί η αντοχή τους προκαλώντας μαζική έκλυση ενέργειας. Καθώς η διάρρηξη του ρήγματος μετακινείται από το επίκεντρο παράγει εδαφική κίνηση για κάθε σπασμένο κλείθρο. Η εδαφική κίνηση σκεδάζεται προς όλες τις κατευθύνσεις και η σεισμική ενέργεια διαδίδεται μέσω εκτεινόμενων κυματιδίων. Όταν η ταχύτητα διάρρηξης προς μια θέση πραγματοποιείται με ταχύτητα που προσεγγίζει την ταχύτητα των διατμητικών κυμάτων η σεισμική ενέργεια που εκλύεται φτάνει στη θέση αυτή υπό τη μορφή ενός παλμού. Η συσσώρευση των κυματιδίων από το διαδοχικό σπάσιμο των κλείθρων δημιουργεί επικαλυπτόμενους παλμούς επιφέροντας ταλάντωση μεγάλου εύρους και μικρής διάρκειας στη διεύθυνση διάδοσης της διάρρηξης. Η συσσώρευση της σεισμικής ενέργειας εμφανίζεται με τη μορφή διακριτών παλμών ταχύτητας και ονομάζεται πρόσθια κατευθυντικότητα. Η πρόσθια κατευθυντικότητα συμβαίνει όταν η διάρρηξη κινείται προς μία θέση και η διεύθυνση ολίσθησης ευθυγραμμίζεται με τη θέση αυτή. Στην αντίθετη διεύθυνση από της διάρρηξης εμφανίζονται μικρού εύρους αλλά μεγάλης διάρκειας ταλαντώσεις και δημιουργείται οπίσθια κατευθυντικότητα. Ως οπίσθια κατευθυντικότητα ορίζεται εκείνη για την οποία η άφιξη των σεισμικών κυμάτων κατανέμεται με το χρόνο, δηλαδή αντί για συγκέντρωση της ενέργειας σε έναν παλμό, η ενέργεια κατανέμεται σε περισσότερους παλμούς μεγαλύτερης διάρκειας και μικρότερου εύρους, ώστε το υψίσυχο περιεχόμενο να είναι πιο σημαντικό. Επισημαίνεται ότι η διάρρηξη μπορεί να κινηθεί είτε μονόπλευρα είτε αμφίπλευρα.



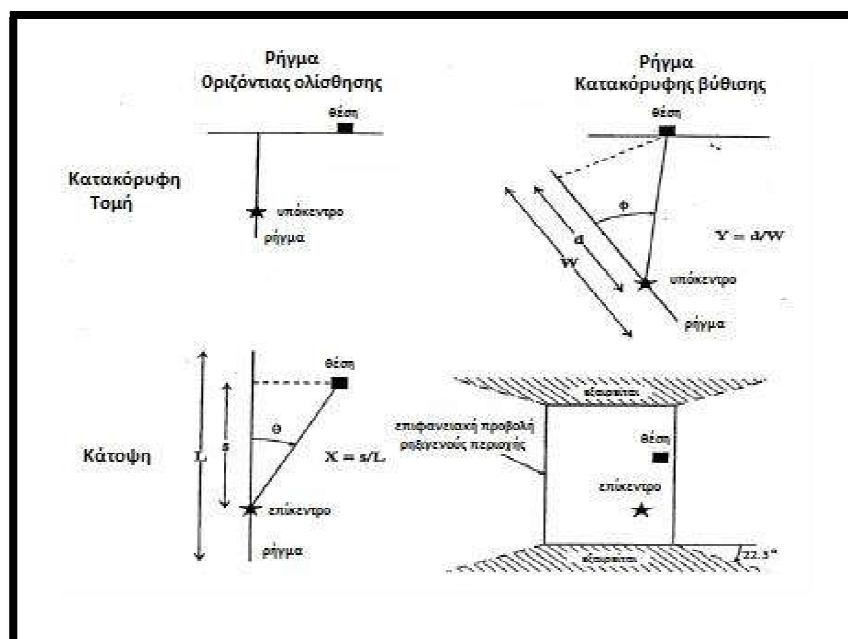
Εικόνα 3.1: Σχηματική απεικόνιση της διεύθυνσης διάδοσης της διάρρηξης του ρήγματος και της δημιουργίας παλμών

Ουδέτερη κατευθυντικότητα πραγματοποιείται για περιοχές ευρισκόμενες έξω από την περιοχή της επιφάνειας διάρρηξης του ρήγματος.



Εικόνα 3.2: Σχηματική απεικόνιση του φαινομένου πρόσθιας και οπίσθιας κατευθυντικότητας

Το φαινόμενο κατευθυντικότητας αποσβένεται όσο η γωνία (θ°) μεταξύ του ίχνους του ρήγματος από το επίκεντρο και της θέσης κατευθυντικότητας αυξάνεται, ενώ εξαρτάται και από το ποσοστό της επιφάνειας διάρρηξης που βρίσκεται μεταξύ επίκεντρου και εξεταζόμενης θέσης ($x=s/L$). Όσο μεγαλύτερο το ποσοστό διάρρηξης μεταξύ εξεταζόμενης θέσης και επίκεντρου τόσο πιο ισχυρά τα αποτελέσματα της κατευθυντικότητας. Σύμφωνα με τον Somerville το φαινόμενο αναμένεται να εμφανίζεται στις περισσότερες περιοχές κατά μήκος του ρήγματος για τα οριζόντια ρήγματα, ενώ για τους άλλους τύπους ρηγμάτων περιορίζεται στην περιοχή άνωθεν του υποκέντρου ανάλογα και με τη γωνία βύθισης.



Εικόνα 3.3: Εξάρτηση της κατευθυντικότητας από τον τύπο του ρήγματος και άλλα γεωμετρικά χαρακτηριστικά

Η κατευθυντικότητα προκαλεί επίσης την πόλωση της εδαφικής κίνησης, η οποία διαφέρει λόγω του τρόπου που τα διατμητικά κύματα διαδίδονται στο χώρο. Ο παλμός είναι συνήθως περισσότερο εμφανής στη συνιστώσα που είναι κάθετη στην επιφάνεια του ρήγματος, όμως έχουν παρατηρηθεί σημαντικοί παλμοί και στην παράλληλη στο ρήγμα διεύθυνση. [4], [9], [10]

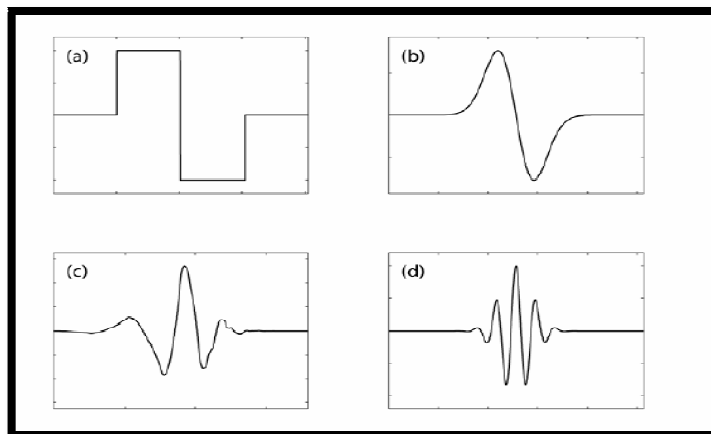
Τονίζεται ότι δεν προέρχονται όλες οι εδαφικές κινήσεις κοντικού πεδίου από παλμούς κατευθυντικότητας ακόμα και αν ικανοποιούνται όλες οι γεωμετρικές προϋποθέσεις που αφορούν στη γεωμετρία της διάρρηξης. Ενώ, επισημαίνεται ότι ακόμη και σημαντικοί παλμοί μπορεί να δημιουργηθούν από φαινόμενα όπως basin effects, εδαφικές συνθήκες, βαθιά διάρρηξη, fling step και όχι λόγω κατευθυντικότητας. [10]

3.3. Εντοπισμός, Προσομοίωση και Χαρακτηριστικά των Παλμών

Πολλοί ερευνητές έχοντας διαπιστώσει την επίδραση των παλμών στις εδαφικές κινήσεις κοντινού πεδίου σε σχέση με φαινόμενα κατευθυντικότητας έχουν προτείνει μεθόδους προσδιορισμού αυτών και των χαρακτηριστικών τους μέσω ποικίλων κυματιδίων.

3.3.1. Προσομοίωση των παλμών-Προτάσεις ερευνητών

Οι Veletsos & Newmark (1964) εξέτασαν μία σειρά από ορθογωνικά και τριγωνικά κυματίδια. Ο Biggs (1964) προσομοίωσε την απόκριση μονοβαθμίων ελαστικών και ανελαστικών συστημάτων με ορθογωνικούς και τριγωνικούς παλμούς που διαθέτουν κλειστές λύσεις. Οι Bertero et al (1976) πρότειναν απλοποιημένους παλμούς για την προσομοίωση παλμών κατευθυντικότητας, εξετάζοντας την επιρροή τους στην απόκριση των κατασκευών. Οι Mena & Mai (2011) χρησιμοποίησαν απλούς ημιτονικούς παλμούς διαφορετικού αριθμού κύκλων για τον εντοπισμό παλμικών καταγραφών και των χαρακτηριστικών τους. Οι Menun & Fu (2002) πρότειναν ένα σύνθετο κυματίδιο ορισμένο από πέντε παραμέτρους για πιο ρεαλιστική προσαρμογή σε πραγματικές καταγραφές. Οι Arroyo & Ordaz (2007) χρησιμοποίησαν ένα απλό ημιτονικό κυματίδιο για την προσομοίωση της χρονοϊστορίας επιταχύνσεων τροποποιημένο προκειμένου να προσεγγίζονται καλύτερα οι χρονοϊστορίες ταχυτήτων και μετακινήσεων. Ειδικότερα, επέβαλαν επιταχύνσεις που να μη ξεπερνούν τον καθαρό ημιτονικό παλμό, να μη δημιουργείται άλμα στις σχετικές χρονοϊστορίες κατά τη συναρμογή, οι εδαφικές τιμές στο τέλος του παλμού να είναι μηδενικές και οι τελικές τιμές των χρονοϊστοριών να ορίζονται από τις τελικές τιμές του ημιτονικού παλμού και όχι από την προσθήκη τέλους. Οι Μαυροειδής και Παπαγεωργίου (2003) εξέτασαν μία σειρά από κυματίδια και κατέληξαν σε ένα μοντέλο τεσσάρων παραμέτρων που προσομοιώνει ικανοποιητικά τους παλμούς ταχύτητας. Οι Makris & Black (2004) εξέτασαν τρεις τύπους κυκλοειδών παλμών διερευνώντας την ελαστική και ανελαστική συμπεριφορά συστημάτων. Οι Vassiliou & Makris (2011) εξέτασαν το κυματίδιο κυκλοειδή παλμού τύπου B, το συμμετρικό Ricker, το αντισυμμετρικό Ricker, τους κυκλοειδείς παλμούς C1, C2, το κυματίδιο Gabor και το κυματίδιο των Μαυροειδή και Παπαγεωργίου, το οποίο διαπιστώθηκε ότι προσεγγίζει καλύτερα τους παλμούς στη χρονοϊστορία των επιταχύνσεων ειδικότερα για απλούστερου τύπου κυματίδια περιορισμένων παραμέτρων. Ο Baker (2007) ανέπτυξε μία αυτοματοποιημένη μέθοδο εντοπισμού παλμικών καταγραφών και των παραμέτρων τους χρησιμοποιώντας το κυματίδιο Daubechies 4ης τάξης και τη μέθοδο ανάλυσης κυματιδίων για τον υπολογισμό των παραμέτρων τους διαμέσου της χρονοϊστορίας ταχυτήτων της αρχικής καταγραφής. [10]



Εικόνα 3.4: Διάφοροι τύποι κυματιδίων (α)κυματίδιο Haar , (b) Γκαουσιανό κυματίδιο 1ης τάξης, (c) κυματίδιο Daubechies 4ης τάξης, (d) κυματίδιο Morlet [1]

3.3.2. Χαρακτηριστικά των παλμών

Σύμφωνα με τα παραπάνω και τις διάφορες κυματομορφές που εξετάστηκαν προκειμένου να βρεθεί η μορφή του κυματιδίου που θα προσεγγίζει καλύτερα τις πραγματικές καταγραφές διερευνήθηκε μία σειρά από κυματίδια απλούστερα ή και πιο σύνθετα, τα οποία προσδιορίζονται από ορισμένες παραμέτρους. Ορισμένες εκ των παραμέτρων είναι η περίοδος του παλμού T_p , καθώς και το εύρος του ενώ ανάλογα με την πολυπλοκότητα του προσομοιούμενο κυματιδίου προσδιορίστηκαν και περαιτέρω παράμετροι.

3.3.2.1. Περίοδος του παλμού (T_p)

Η περίοδος του παλμού προσδιορίστηκε από ποικίλους ερευνητές συσχετισμένη με το μέγεθος του σεισμού. Στην παρούσα εργασία αναφέρονται ορισμένες από αυτές. Οι Μαυροειδής και Παπαγεωργίου (2003,2004) βασιζόμενοι σε ένα δείγμα 20 καταγραφών εξήγαγαν την εξής σχέση [9]:

$$\log T_p = -2.9 + 0.5 * M_w$$

Αντιστοίχως, ο Baker (2007) χρησιμοποιώντας ένα δείγμα 91 καταγραφών και το κυματίδιο Daubechies 4ης τάξης κατέληξε στη σχέση [1]:

$$\ln T_p = -5.78 + 1.02 * M_w$$

, η οποία τροποποιήθηκε από τους Shahi & Baker (2011) ως εξής [13]:

$$\ln T_p = -5.73 + 0.99 * M_w$$

3.3.2.2. Εύρος του παλμού (A)

Λόγω της ευρείας χρήσης ποικίλων κυματιδίων το εύρος μπορεί να συνδέεται με κάποια εδαφική παράμετρο ή όχι. Οι Μαυροειδής και Παπαγεωργίου δε συνδέουν το εύρος με κάποια άλλη τιμή αλλά προτείνουν μία μέγιστη τιμή της τάξης των 100cm/sec ως μία ικανοποιητική περιβάλλουσα. [9]

3.3.2.3. Άλλες παράμετροι

Οι υπόλοιπες παράμετροι των παλμών εξαρτώνται από τον τύπο του κυματιδίου που χρησιμοποιείται. Απλοί παλμοί ορίζονται μόνο από την περίοδο και το εύρος τους και το σχήμα τους είναι προκαθορισμένο. Σε άλλους παλμούς καθορίζονται παράμετροι που

αφορούν το σχήμα του παλμού όπως είναι ο αριθμός κύκλων (γ), ενώ προσδιορίζεται και ο χρόνος έναρξης του παλμού καθώς και η διαφορά φάσης (ν).

3.3.3. Η μέθοδος των Μαυροειδή και Παπαγεωργίου

Για την αναπαράσταση ισχυρών εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου προτάθηκε ένα αναλυτικό μοντέλο από τους Μαυροειδή & Παπαγεωργίου που περιγράφει τον παλμικό χαρακτήρα τους τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά διαμέσου συνθετικών παλμών. Παρότι οι εισαγόμενες παράμετροι του μοντέλου δεν έχουν κάποια φυσική σημασία, το μοντέλο προσομοιώνει επιτυχώς τις χρονοϊστορίες μετακίνησης, ταχύτητας αλλά και σε ορισμένες περιπτώσεις και της επιτάχυνσης κοντινού πεδίου καθώς και τα φάσματα απόκρισης παραμόρφωσης, ταχύτητας και επιτάχυνσης. Για τη δημιουργία του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν 165 καταγεγραμμένες χρονοϊστορίες εδαφικής κίνησης από διαφορετικούς τύπους ρηγμάτων και σεισμικού μεγέθους από 5.6-8.1, ενώ η μέγιστη απόσταση των καταγραφών από το ρήγμα ήταν 20 χιλιόμετρα, με εξαίρεση 5 καταγραφές μεγάλου υποκεντρικού βάρθους οι οποίες όμως παρουσίαζαν παλμικά χαρακτηριστικά κοντινού πεδίου. Οι παράμετροι που προσδιορίζουν τα χαρακτηριστικά παλμών ταχύτητας κοντινού πεδίου είναι η διάρκεια του παλμού (ή η περίοδος), το εύρος, καθώς και ο αριθμός και η φάση των μισών κύκλων. Σύμφωνα με τα παραπάνω επιλέχθηκε το κυματίδιο του Gabor, το οποίο αποτελείται από μία αρμονική ταλάντωση και μία κωδωνοειδή συνάρτηση, τη Γκαουσιανή περιβάλλουσα. Το κυματίδιο του Gabor δίνεται από τη συνάρτηση:

$$f(t) = Ae^{-\left(\frac{2\pi f_p}{\gamma}\right)^2 * t^2} * \cos[2\pi f_p t + \nu]$$

,όπου A το εύρος, f_p η δεσπόζουσα συχνότητα, ν η διαφορά φάσης και γ ο αριθμός των κύκλων που προσδιορίζει το σχήμα του κυματιδίου.

Ωστόσο, το κυματίδιο του Gabor δε μπορεί να προσφέρει μία κλειστή λύση για απόκριση μονοβαθμίου συστήματος προερχόμενη από συνθετικές εδαφικές κινήσεις, οπότε προσαρμόζεται αντικαθιστώντας την Γκαουσιανή περιβάλλουσα με μία συμμετρική κωδωνοειδή συνάρτηση απλούστερης μορφής, τη μετατεθειμένη ημιτονική συνάρτηση, η οποία διατηρεί το τμήμα της αρμονικής ταλάντωσης ίδιο και δίνεται από τη σχέση:

$$f(t) = A * \frac{1}{2} * \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi f_p t}{\gamma}\right)\right] \cos(2\pi f_p t + \nu)$$

Επειδή η μετατεθειμένη ημιτονική συνάρτηση είναι μία περιοδική συνάρτηση η οποία δεν παράγει ένα μοναδικό ακρότατο όπως η Γκαουσιανή εισάγεται ο εξής περιορισμός:

$$-\frac{\gamma}{2f_p} \leq t \leq \frac{\gamma}{2f_p}$$

Επιπλέον, επειδή η περίοδος της αρμονικής ταλάντωσης πρέπει να είναι μικρότερη της περιόδου της περιβάλλουσας ώστε να παράγει αποδεκτά σήματα, ορίζεται:

$$\frac{1}{f_p} < \frac{\gamma}{f_p} \rightarrow \gamma > 1$$

Προκειμένου να υπάρχει ευελιξία στο σήμα εισάγεται και μία χρονική μετάθεση ώστε να οριστεί ακριβώς η μέγιστη τιμή της περιβάλλουσας. Οπότε:

$$t \rightarrow t-t_0$$

και το προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο για παλμούς ταχύτητας κοντινού πεδίου δίνεται από τη σχέση:

$$v(t) = \begin{cases} A * \frac{1}{2} * \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi f_p(t - t_0)}{\gamma}\right) \right] * \cos[2\pi f_p(t - t_0) + \nu] \\ 0, \end{cases}$$

, με $t_0 - \frac{\gamma}{2f_p} \leq t \leq t_0 + \frac{\gamma}{2f_p}$ για $\gamma > 1$

Επισημαίνεται ότι από το παραπάνω μοντέλο η διάρκεια του παλμού ορίζεται από τις εισαγόμενες παραμέτρους ως η αντίστροφη της δεσπόζουσας συχνότητας:

$$T_p = \frac{1}{f_p}$$

Πιο συγκεκριμένα, η περίοδος του παλμού προσδιορίζεται από τα ψευδοφάσματα απόκρισης ταχυτήτων της συνθετικής και της καταγεγραμμένης καταγραφής κοντινού πεδίου ώστε οι μέγιστες τιμές τους να δίνουν περίπου την ίδια περίοδο. Αναφορικά με το εύρος υπολογίζεται ώστε να ταιριάζουν καλά το εύρος του συνθετικού παλμού ταχύτητας και της μέγιστης ψευδοφασματικής ταχύτητας με τις αποκρινόμενες της πραγματικής καταγραφής. Οι παράμετροι γ , ν προσαρμόζονται ώστε να βελτιστοποιούν τις συνθετικές καταγραφές ταχύτητας και μετακίνησης. Τονίζεται ότι ο προσδιορισμός των παραμέτρων A , γ , ν πραγματοποιείται ταυτόχρονα με τη μέθοδο δοκιμής- λάθους αφού το γ επηρεάζει το εύρος της φασματικής ψευδοταχύτητας. [9]

3.3.4. Η μέθοδος του Baker

Ο Baker ανέπτυξε μία μέθοδο για την αναγνώριση και ποσοτικοποίηση ισχυρών παλμών ταχύτητας οι οποίοι προκαλούνται από φαινόμενα κατευθυντικότητας. Στην προσέγγιση του χρησιμοποιεί την μέθοδο ανάλυσης κυματιδίων μέσω της οποίας εξάγει το μεγαλύτερο παλμό ταχύτητας από μία καταγραφή εδαφικής κίνησης προκειμένου να διαπιστωθεί αν αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό ποσοστό του αρχικού σήματος. Για να διαπιστωθεί αν αυτός ο παλμός οφείλεται σε κατευθυντικότητα διερευνώνται δύο επιπλέον κριτήρια. Ελέγχεται αν ο παλμός βρίσκεται στην αρχή της καταγραφής, γεγονός που υποδεικνύει κατευθυντικότητα, και αν η εδαφική κίνηση δίνει υψηλή τιμή ταχύτητας, ώστε να εξαλειφθούν εδαφικές κινήσεις προερχόμενες από μικρού μεγέθους σεισμούς οι οποίες εμφανίζουν παλμικές καταγραφές εξαιτίας της απλότητας στις χρονοϊστορίες. Αναλυτικότερα, για την εξαγωγή του παλμού χρησιμοποιείται ως μητρικό το κυματίδιο Daubechies 4ης τάξης, το οποίο προσεγγίζει το σχήμα αρκετών παλμών ταχύτητας και ταιριάζει καλύτερα συγκριτικά με άλλα μητρικά κυματίδια. Για την αξιολόγηση της εδαφικής κίνησης υπολογίζεται ο μετασχηματισμός του κυματιδίου στη χρονοϊστορία της ταχύτητας και εντοπίζεται ο συντελεστής με τη μεγαλύτερη απόλυτη τιμή. Το κυματίδιο συσχετισμένο με αυτό τον συντελεστή αναγνωρίζει την περίοδο και τη θέση του παλμού. Επισημαίνεται ότι ο συντελεστής του κυματιδίου έχει την ίδια ενέργεια με το συσχετισμένο κυματίδιο, οπότε ο επιλεγμένος παλμός είναι αυτός με την μέγιστη ενέργεια. Το προαναφερθέν κυματίδιο αφαιρείται από την καταγραφή και ο μετασχηματισμός του κυματιδίου υπολογίζεται για την εναπομείνασα εδαφική κίνηση. Εφόσον η θέση και η περίοδος του παλμού έχουν προσδιορισθεί, εξετάζονται μόνο τα κυματίδια με την ίδια περίοδο και γειτονικές θέσεις. Παρά το γεγονός ότι χρειάζονται μόνο ένας-δύο συντελεστές για να περιγράψουν έναν παλμό, εντοπίζονται δέκα συντελεστές σε ένα εύρος γύρω από τη θέση και την περίοδο του παλμού ώστε να διασφαλιστεί ότι ο παλμός

αναπαρίσταται λεπτομερώς. Σημειώνεται ότι ο εξαγόμενος παλμός συλλαμβάνει παλμούς ταχυτήτων και μετακινήσεων ενώ αγνοεί το υψηλό συχνοτικό περιεχόμενο που κυριαρχεί στη χρονοϊστορία επιτάχυνσης της αρχικής καταγραφής, ενώ επισημαίνεται ότι δε θα εντοπιστούν επιδράσεις fling step διότι εξ'ορισμού οι συναρτήσεις των κυματιδίων δίνουν μηδενικές εναπομείνουσες μετακινήσεις. Τέλος, καθίσταται σαφές ότι με αυτή τη διαδικασία εξάγεται παλμός από οποιαδήποτε εδαφική κίνηση είτε αφορά παλμό γενόμενο από κατευθυντικότητα είτε όχι. Ωστόσο, ο εξαγόμενος παλμός για μη παλμικές καταγραφές έχει τόσο μηδαμινά χαρακτηριστικά που η εναπομείνουσα εδαφική κίνηση είναι σχεδόν πανομοιότυπη με την αρχική καθιστώντας σαφές αν πρόκειται για παλμούς κατευθυντικότητας ή όχι. [1]

3.3.5. Η μέθοδος του Εργαστηρίου Αντισεισμικής Τεχνολογίας Ε.Μ.Π.

Το εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας ΕΜΠ ανέπτυξε ένα πρόγραμμα βασισμένο στο κυματίδιο των Μαυροειδή και Παπαγεωργίου για τον εντοπισμό και προσδιορισμό, μέσω των χαρακτηριστικών τους, παλμών ταχύτητας. Το εν λόγω πρόγραμμα διαβάζει τις χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετακίνησης και υπολογίζει το γινόμενο των φασμάτων μετακίνησης και ταχύτητας ($S_d * S_v$) για απόσβεση 5%. Εν συνεχεία, εντοπίζει για ποια τιμή περιόδου το γινόμενο παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή του και ορίζει αυτή την περίοδο ως μέγιστη T_{max} , η οποία θεωρείται η περίοδος του παλμού και από αυτή την περίοδο προσδιορίζεται η αντίστοιχη τιμή της φασματικής ψευδοταχύτητας ($PS_v(T_{max})$). Για τον υπολογισμό του εύρους χρησιμοποιούμε το λόγο της φασματικής ψευδοταχύτητας για την μέγιστη περίοδο προς την αθροιστική απόλυτη μετακίνηση που δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{PSv, max}{CAD} = \frac{\pi(1 - e^{-2\pi\gamma\xi})[1 + (\gamma - 1)\xi]}{4\gamma\xi T_p} \quad (1)$$

,όπου $CAD = \gamma * A * T_p / \pi$ (2) για το κυματίδιο των Μαυροειδή & Παπαγεωργίου

Από τις σχέσεις (1), (2) υπολογίζεται το εύρος του παλμού ως:

$$A = \frac{4\xi PSv(T_p)}{(1 - e^{-2\pi\gamma\xi}) * [1 + (\gamma - 1)\xi]}$$

Για κάθε ζεύγος A, γ δημιουργούνται όλα τα πιθανά κυματίδια για όλες τις παραμέτρους φάσης ν μεταξύ $0^\circ - 360^\circ$. Έπειτα εφαρμόζεται πράξη διασυσχέτισης μεταξύ κάθε κυματιδίου και της χρονοϊστορίας ταχυτήτων, για κάθε πιθανή θέση του κυματιδίου από την οποία υπολογίζεται ο συντελεστής διασυσχέτισης για κάθε κυματίδιο σε κάθε θέση και επιλέγεται το κυματίδιο με τη μεγαλύτερη διασυσχέτιση. Συνεπώς υπολογίζονται οι παράμετροι του κυματιδίου αλλά και η χρονική του θέση σε σχέση με το αρχικό σήμα. Επισημαίνεται ότι επειδή είναι επιθυμητό οι παλμοί που υπολογίζονται να προσεγγίζουν όσο το δυνατόν καλύτερα την πραγματική καταγραφή, οι συνδυασμοί που δίνουν τιμές εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας ή μετακίνησης μεγαλύτερες από αυτές της καταγραφής απορρίπτονται. Εκτενέστερα, για την εξαγωγή του παλμού το πρόγραμμα δέχεται ως εισερχόμενα δεδομένα τα υπολογισθέντα χρονοϊστορία της ταχύτητας, απόσβεση ($=5\%$), φασματική ψευδοταχύτητα για την περίοδο T_{max} ($PS_v(T_{max})$), και την $T_p = T_{max}$. Για κάθε ζεύγος τιμών ν, γ ξεκινώντας από τη χρονική στιγμή $t=0$ sec πραγματοποιεί διασυσχέτιση του κυματιδίου με την αρχική καταγραφή από τον τύπο που πρότειναν οι Kardoutsou et al (2017):

$$r = \frac{\sum_t [(x(t) - mx) * (y(t - t1) - my)]}{\sqrt{\sum_t [(x(t) - mx)^2]} * \sqrt{(y(t - t1) - my)^2}}$$

Η πράξη της διασυσχέτισης εφαρμόζεται στην ιστορία της ταχύτητας στην οποία οι παλμοί φαίνονται πιο καθαρά και δεν παρουσιάζονται τα ενδεχόμενα σημαντικά σφάλματα της ιστορίας της μετακίνησης ούτε και το υψίσυχο περιεχόμενο της καταγραφής των επιταχύνσεων. Μόλις πραγματοποιηθεί η διασυσχέτιση για μία χρονική θέση τότε το κυματίδιο μετατίθεται με χρονικό βήμα ίσο με της ιστορίας της ταχύτητας και εξετάζεται η διασυσχέτιση του νέου κυματιδίου. Αν η νέα διασυσχέτιση είναι μεγαλύτερη της προηγούμενης τότε το προηγούμενο κυματίδιο αντικαθίσταται από το νέο αλλιώς διατηρείται το παλιό. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε δυνατό συνδυασμό γ, ν και χρονικής θέσης και προσδιορίζονται οι παράμετροι A (εύρος), γ , ν , η θέση του αλλά και ο συντελεστής διασυσχέτισης. Επισημαίνεται ότι το γ παίρνει τιμές από 1-6 με βήμα 0.1 το οποίο παρέχει ικανοποιητική ακρίβεια. Μικρότερο βήμα θεωρείται αντιοικονομικό σε υπολογιστικό χρόνο, ενώ τιμές μεγαλύτερες του 6 μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά περίπτωση αλλά συνήθως παραπέμπουν σε μη παλμικές συνιστώσες της καταγραφής γι' αυτό και σε αυτό το πρόγραμμα έχει οριστεί ως $\gamma_{\max}=6$. Αναφορικά με το ν , οι τιμές του κυμαίνονται από 0° - 360° με βήμα 5° διότι η προσαρμογή του κυματιδίου πραγματοποιείται και στην ιστορία ταχύτητας. Αν οι τιμές περιορίζονταν στις 180° , η διαφορά στην τιμή του κυματιδίου δε θα επέτρεπε τη βέλτιστη προσαρμογή του στη ιστορία της ταχύτητας. Ο χρόνος έναρξης του παλμού προκύπτει ως η διαφορά της χρονική θέσης εντοπισμού του από το γινόμενο του αριθμού κύκλων επί το μισό της περιόδου του παλμού

$$t_0 = t - \gamma * \frac{T_p}{2}$$

Συνεπώς, από το πρόγραμμα και όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 2.2 προκύπτει μία νέα διάρκεια από τις ιδιότητες των παλμών της καταγραφής, η οποία ορίζεται ως εξής:

$$t = \gamma * T_p$$

και για την οποία θα διεξαχθεί περαιτέρω διερεύνηση προκειμένου να διαπιστωθεί αν μπορεί να οριστεί ως η σημαντική διάρκεια της ισχυρής εδαφικής κίνησης. [10]

3.3.5.1. Αναγκαιότητα προσδιορισμού πολλαπλών παλμών-Μέθοδος εργαστηρίου

Εξαιτίας της αναγκαιότητας εντοπισμού περισσότερων παλμών όπως έχει διαπιστωθεί από πολλούς ερευνητές, μερικοί εκ των οποίων είναι οι Μαυροειδής & Παπαγεωργίου (2003,2004), Lu (2014), Lu & Panagiotou (2014) το παρόν πρόγραμμα επεκτείνεται για τον υπολογισμό πρόσθετων παλμών. Ειδικότερα, ακολουθώντας τη διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω προσδιορίζεται ο πρώτος παλμός, ο οποίος αφαιρείται από την ιστορία της ταχύτητας με απλή αλγεβρική αφαίρεση σημάτων και από το εναπομένον σήμα εντοπίζεται ο επόμενος παλμός με την ίδια διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω χρησιμοποιώντας αντί της αρχικής καταγραφής το εναπομένον σήμα. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε νέο εναπομένον σήμα έως ότου υπολογιστεί ο επιθυμητός αριθμός παλμών. Οι Lu & Panagiotou (2014) εντοπίζουν έως τρεις σημαντικούς παλμούς, επειδή όμως διαπιστώθηκε ότι ο παλμός που εξάγεται δεν είναι απαραίτητα ο πιο σημαντικός, το προτεινόμενο πρόγραμμα εξάγει έξι παλμούς καθώς μπορεί να εντοπιστούν πρώτα παλμοί ήσσονος σημασίας οι οποίοι να βρίσκονται στο τέλος της καταγραφής ή να έχουν μικρή πρακτική σημασία λόγω μεγάλης περιόδου. Τελός, θεωρείται αναγκαίο να αναφερθεί ότι από τον τρόπο εξαγωγής των παλμών,

ο οποίος προκύπτει από την αφαίρεση του σήματος του προηγούμενου παλμού αλλά και λόγω του κυματιδίου που χρησιμοποιείται, κάθε επόμενος παλμός εξαρτάται άμεσα από τον προηγούμενο και δεν έχει υπόσταση μεμονωμένα σε σχέση με την αρχική καταγραφή. Αν χρησιμοποιηθεί διαφορετικό κυματίδιο ή άλλος τρόπος υπολογισμού της περιόδου τότε τα αποτελέσματα που θα εξαχθούν θα είναι διαφορετικά. [10]

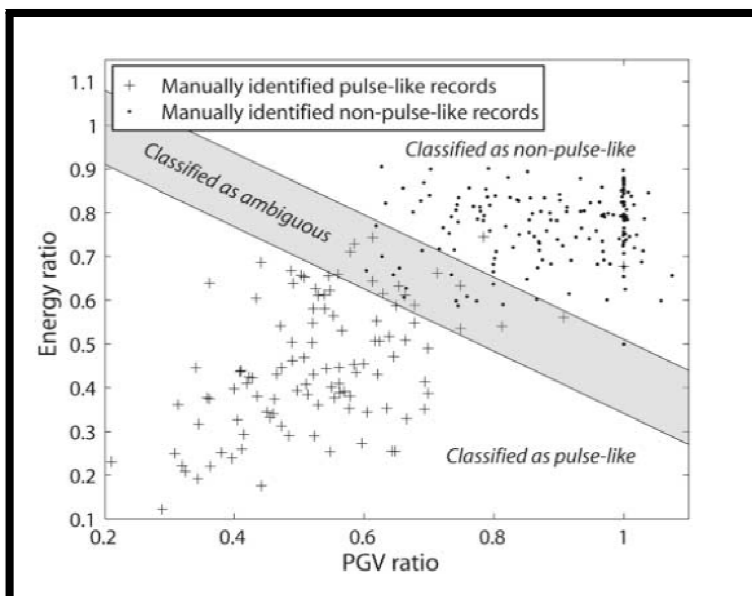
3.4. Ταξινόμηση των Καταγραφών ως Παλμικές και Μη-Παλμικές

3.4.1. Ταξινόμηση με τη Μέθοδο Baker

Για τον προσδιορισμό της σημαντικότητας των εξαγόμενων παλμών ώστε να προβλεφθεί αν αφορούν παλμικές καταγραφές χρησιμοποιήθηκαν οι αρχικές καταγραφές και οι εναπομένουσες μετά την εξαγωγή του παλμού όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 3.3.4. Ως βάση δεδομένων για την κατηγοριοποίηση ο Baker έλαβε όλες τις καταγραφές κανονικών ρηγμάτων μεγέθους μεγαλύτερου του 5.5 και σε απόσταση μέχρι 30 χιλιομέτρων από το δημιουργούμενο γεγονός της βάσης NGA (Next Generation Attenuation). Από τα ανωτέρω επιλέχθηκαν 398 καταγραφές οι οποίες κατηγοριοποιήθηκαν χειροκίνητα αναγνωρίζοντας οπτικά παλμούς στις χρονοϊστορίες της ταχύτητας. Από τη χειροκίνητη κατηγοριοποίηση αναγνωρίστηκαν 124 πιθανές παλμικές καταγραφές, 190 μη παλμικές και 84 ασαφείς καταγραφές. Μετά τη χειροκίνητη ταξινόμηση χρησιμοποιήθηκαν στατιστικά εργαλεία πρόβλεψης ώστε να αναπαράγουν τα αποτελέσματα με αυτοματοποιημένο τρόπο χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση της μεθόδου κυματιδίων. Για την αξιολόγηση της ταξινόμησης ορίστηκε ένα σύνολο πιθανών μεταβλητών και πραγματοποιήθηκε γραμμική διακριτή ανάλυση. Οι μεταβλητές που υπολογίζονταν ευκολότερα και παρείχαν ικανοποιητική πρόβλεψη ήταν ο λόγος της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας της εναπομένουσας καταγραφής προς τη μέγιστη εδαφική ταχύτητα της αρχικής καταγραφής και ο λόγος της ενέργειας της εναπομένουσας καταγραφής προς την ενέργεια του αρχικού σήματος. Η ενέργεια υπολογίστηκε ως η αθροιστική ενέργεια των τετραγώνων της ταχύτητας του σήματος. Με τη χρήση αυτών των παραμέτρων και με λογαριθμική παλινδρόμηση εξάχθηκε ένας δείκτης παλμικότητας που προβλέπει την πιθανότητα παλμικής καταγραφής ανάλογος της χειροκίνητης ταξινόμησης. Ο δείκτης λαμβάνει τιμές από 0 έως 1, με τις υψηλότερες τιμές να παρέχουν μία ισχυρή ένδειξη για παλμική καταγραφή. Ο δείκτης περιγράφεται από την παρακάτω σχέση:

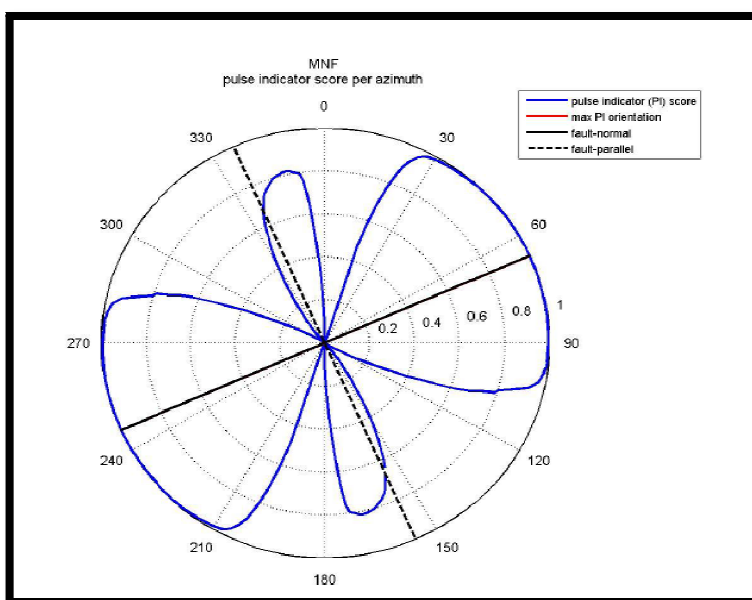
$$P.I. = \frac{1}{[1 + e^{-23.3+14.6(PGV_{ratio})+20.5(energy_{ratio})}]}$$

Καταγραφές με δείκτη μεγαλύτερο του 0.85 θεωρούνται ως παλμικές, ενώ με δείκτη μικρότερο του 0.15 ως μη παλμικές, ενώ οι καταγραφές που βρίσκονται μεταξύ αυτών των ορίων παραμένουν απροσδιόριστες.



Εικόνα 3.5: Ταξινόμηση καταγραφών ως παλμικές και μη παλμικές σύμφωνα με τη μέθοδο Baker [1]

Επισημαίνεται ότι η ταξινόμηση με τη μέθοδο του Baker αναγνωρίζει τις καταγραφές με παλμικά χαρακτηριστικά ακόμα και αν δεν προέρχονται από φαινόμενα κατευθυντικότητας, άρα δεν αφορούν παλμικές καταγραφές. Για τον προσδιορισμό μόνο των παλμικών καταγραφών που οφείλονται σε επιρροές κοντινού πεδίου και κατευθυντικότητας εισάγει δύο ακόμη κριτήρια εκτός της τιμής του δείκτη άνω του 0.85. Οι προϋποθέσεις αυτές επιβάλλουν ο παλμός να βρίσκεται στην αρχή της καταγραφής και η αρχική καταγραφή να έχει μία τιμή εδαφικής ταχύτητας μεγαλύτερη από ένα κατώφλι.



Εικόνα 3.6: Διάγραμμα πεταλούδας με περιοχές παλμικότητας ανάλογα με τον τύπο του ρήγματος [15]

Από το παρόν διάγραμμα πεταλούδας φαίνονται οι περιοχές μέγιστης παλμικότητας, οι οποίες για κανονικού τύπου ρήγματος εμφανίζονται κοντά στις 55° - 65° και αντιδιαμετρικά, ενώ για οριζόντιου τύπου ρήγμα εμφανίζονται σαφώς σε μικρότερη περιοχή κυρίως κοντά στις 160° - 170° και αντιδιαμετρικά. [15] Όπως γίνεται αντιληπτό και από το παραπάνω διάγραμμα, φαινόμενα κατευθυντικότητας και παλμικών καταγραφών έχουν μεγαλύτερη

πιθανότητα εμφάνισης προς το τέλος του ρήγματος, ενώ διαπιστώνεται ότι για οριζόντια ρήγματα η πιθανότητα εμφάνισης παλμικής καταγραφής είναι παράλληλα στο ίχνος της διάρρηξης αντίθετα με τα κανονικά ρήγματα όπου η πιθανότητα εμφάνισης παλμικής καταγραφής μπορεί να είναι σε οποιαδήποτε διεύθυνση εντός της επιφάνειας του επιπέδου του ρήγματος.

3.4.2. Ταξινόμηση με τη μέθοδο Kardoutsou et al

Η παρούσα μέθοδος βασίζεται στη σχέση μεταξύ φασματικής απόκρισης που συναντάται στην περίοδο του παλμού και το δείκτη αθροιστικής απόλυτης μετακίνησης που μετράει τα χαρακτηριστικά της εδαφικής κίνησης. Ο προσδιορισμός της περιόδου του παλμού προκύπτει για τη χρονική στιγμή του μέγιστου του γινομένου της φασματικής απόκρισης μετακινήσεων με τη φασματική απόκριση ταχυτήτων για απόσβεση 5%. Η αθροιστική απόλυτη μετακίνηση CAD (Cumulative Absolute Displacement) προκύπτει ως το ολοκλήρωμα της απόλυτης εδαφικής ταχύτητας στο χρόνο και δίνεται από τη σχέση:

$$CAD = \int_0^{t_{tot}} |vg|dt$$

Η προτεινόμενη μέθοδος στηρίχτηκε στην παρατήρηση ότι προκύπτει σταθερή τιμή μεταξύ του λόγου της φασματικής μετακίνησης και της αθροιστικής απόλυτης μετακίνησης για μηδενική απόσβεση κατά το συντονισμό ως:

$$\frac{S_{d,0}(T_{res})}{CAD} = \frac{\pi}{4}$$

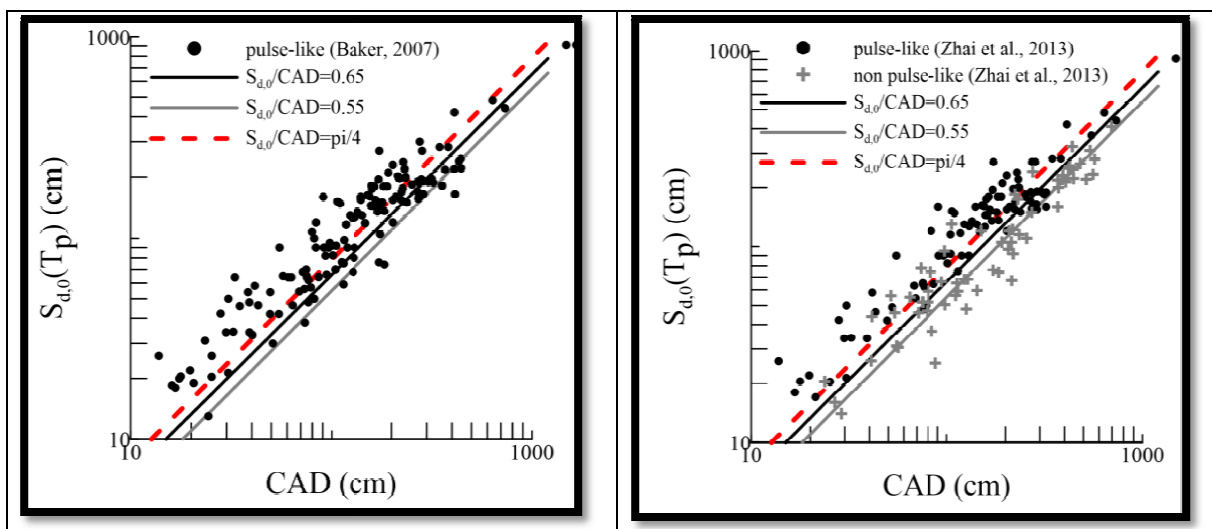
, για αρμονική εδαφική κίνηση αρκετών κύκλων εφαρμοσμένη ως βασική διέγερση σε έναν μονοβάθμιο ταλαντωτή μηδενική απόσβεσης. [10] Για εδαφικές κινήσεις που εμπεριέχουν παλμούς ταχύτητας, η φασματική μετακίνηση απόκρισης για μηδενική απόσβεση, η οποία προσεγγίζει το φάσμα Fourier της εδαφικής κίνησης παρουσιάζει ένα μεγάλο εύρος γύρω από την περίοδο του παλμού και ο δείκτης $S_{d,0}(Tr)/CAD$ πλησιάζει την τιμή $\pi/4$, ενώ για μη παλμικές εδαφικές κινήσεις το φάσμα Fourier των εδαφικών ταχυτήτων είναι πιο στρωτό και ο δείκτης $S_{d,0}(Tr)/CAD$ λαμβάνει τιμές αρκετά μικρότερες της τιμής $\pi/4$. Προτείνεται ο δείκτης CAD να μην υπολογίζεται για όλη τη χρονική διάρκεια της εδαφικής κίνησης αλλά μεταξύ ενός μικρότερου χρονικού μεσοδιαστήματος από t_{min} έως t_{max} , όπου το t_{min} προσδιορίζεται ως η χρονική στιγμή για την οποία υπάρχει υπέρβαση της τιμής 0.4PGV (Peak Ground Velocity) για πρώτη φορά και το t_{max} ως η χρονική στιγμή υπέρβασης της τιμής 0.4PGV για τελευταία φορά. Οπότε η σχέση προσαρμόζεται ως:

$$CAD = \int_{t_{min}}^{t_{max}} |vg|dt$$

Από τα ανωτέρω προκύπτει ένας νέος δείκτης για την ταξινόμηση των καταγραφών ως παλμικές ή μη παλμικές, ο οποίος συγκρινόμενος με τα αποτελέσματα του Baker (2007) αλλά και του Zhai et al (2013), θέτει ένα κατώφλι ελαφρώς μικρότερο του $\pi/4$ κοντά στην τιμή $\pi/5$ (0.65). Πιο συγκεκριμένα, προτείνει το εξής κριτήριο για τη ταξινόμηση των καταγραφών σε παλμικές και μη παλμικές:

- Αν ο συντελεστής διασυσχέτισης $r > 0.65$ τότε η καταγραφή είναι παλμική.

- Αν ο συντελεστής διασυσχέτισης $r < 0.55$ τότε η καταγραφή είναι μη-παλμική.
- Αν ο συντελεστής διασυσχέτισης είναι $0.55 < r < 0.65$ τότε η καταγραφή θεωρείται απροσδιόριστη.



Εικόνα 3.7: Σύγκριση της μεθόδου Kardoutsou et al με τις μεθόδους Baker και Zhai et al σχετικά με την ταξινόμηση παλμικών καταγραφών [7]

Η ταξινόμηση σύμφωνα με τη μέθοδο Kardoutsou et al αναφορικά για παλμικές και μη καταγραφές λόγω φαινομένων κατευθυντικότητας είναι η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία για τη διάκριση των πειραματικών δεδομένων σε παλμικές ή μη παλμικές καταγραφές. Η μέθοδος εφαρμόστηκε σε 229 καταγραφές, από τη βάση δεδομένων ισχυρής κίνησης NGA, με μέγιστη εδαφική ταχύτητα μεγαλύτερη των 30cm/sec. Από τις 229 καταγραφές 143 ταξινομήθηκαν ως παλμικές εκ των οποίων 120 χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία για ανάλυση. [7]

4. ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΣΕ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

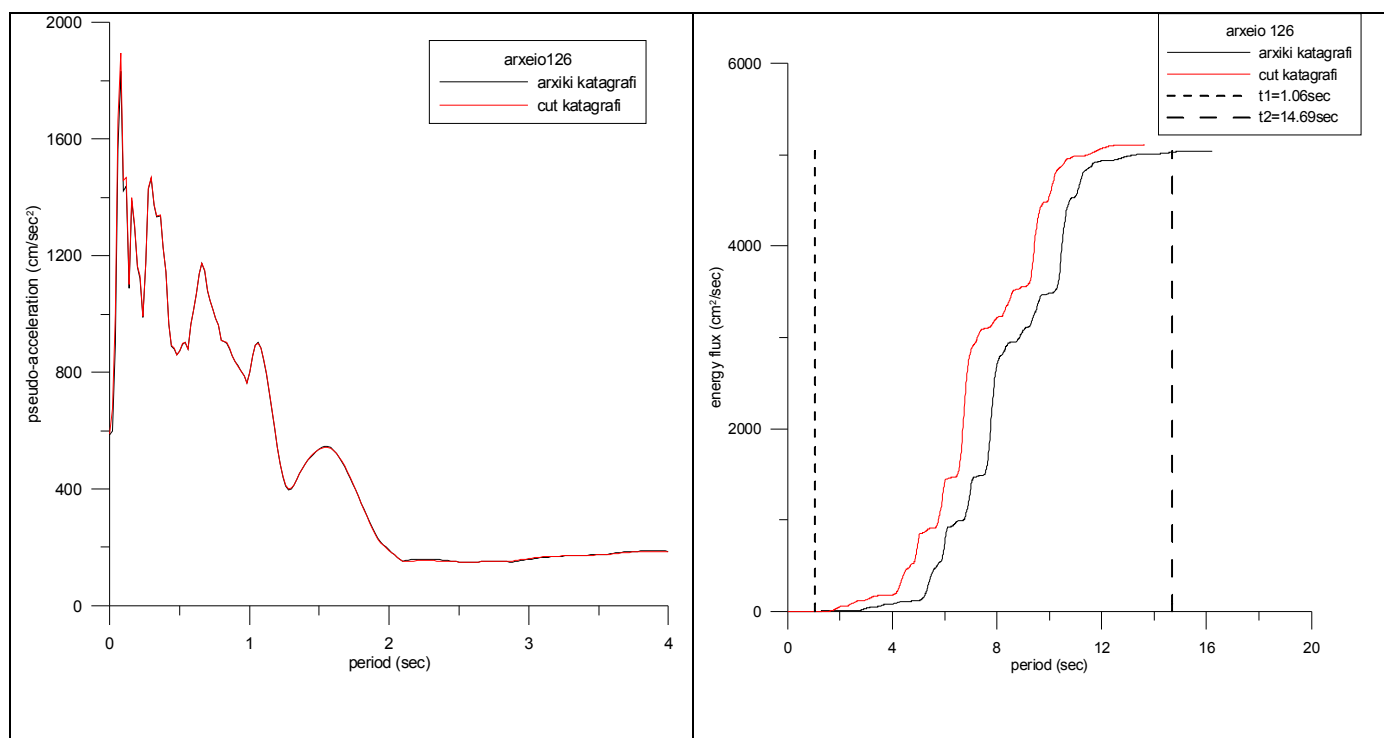
Για το σκοπό της παρούσας διπλωματικής εργασίας διεξήχθησαν αναλύσεις σε καταγραφές σεισμού για μονοβάθμια συστήματα τόσο ελαστικά όσο και ανελαστικά προκειμένου να υπολογιστεί μία νέα σημαντική διάρκεια, το χρονικό διάστημα της οποίας να αντικατοπτρίζει την ισχυρή εδαφική κίνηση της εκάστοτε καταγραφής στον ελάχιστο δυνατό χρόνο.

4.1. Ελαστική Ανάλυση Μονοβάθμιων Συστημάτων

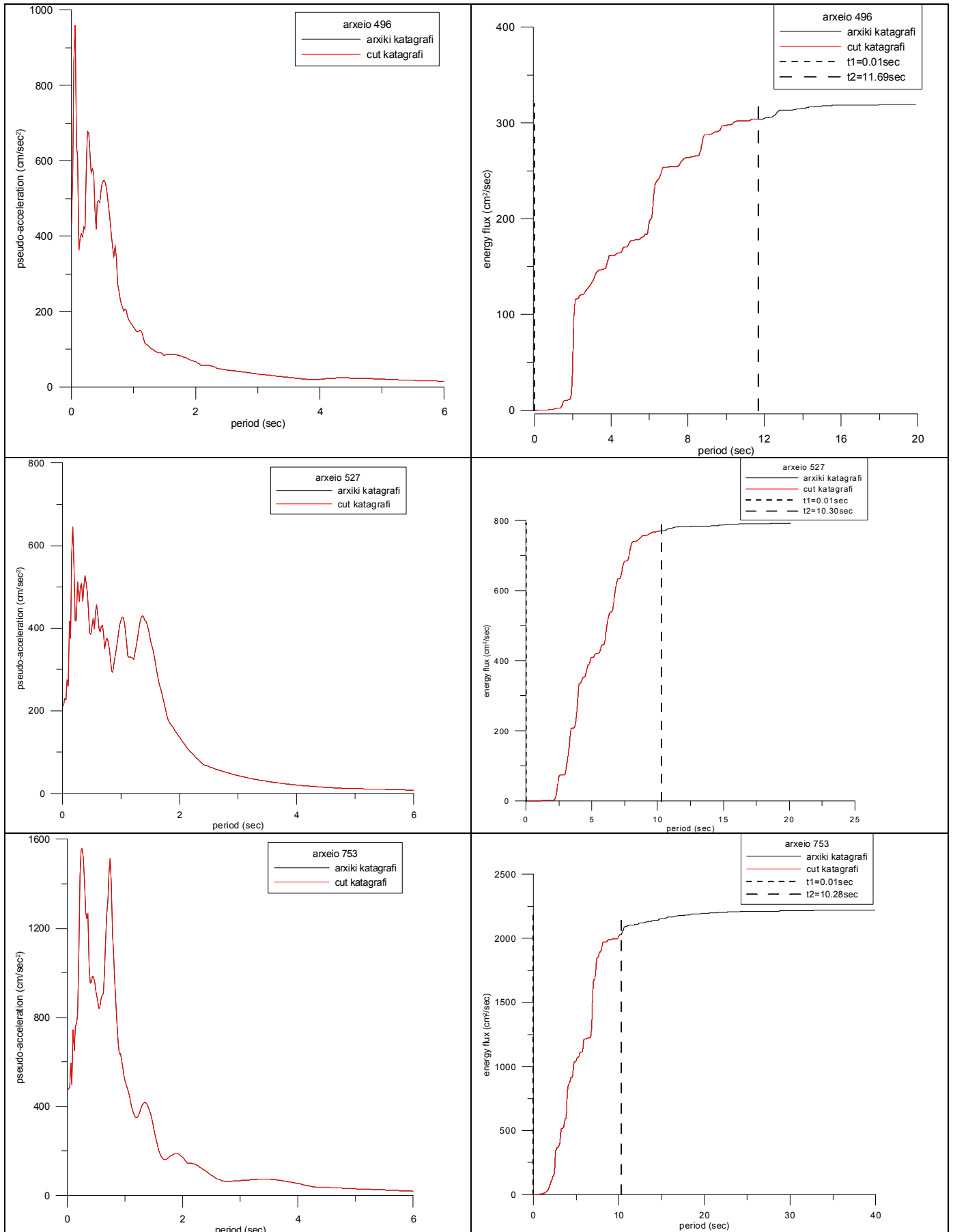
Για τις αναλύσεις των μονοβαθμίων συστημάτων ελαστικά χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων του NGA, από την οποία πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις σε 220 καταγραφές σεισμού με το πρόγραμμα εξαγωγής παλμών του εργαστηρίου Αντισεισμικής Τεχνολογίας, Ε.Μ.Π., το οποίο περιγράφηκε αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο. Πιο συγκεκριμένα, από τη βάση δεδομένων και με την εφαρμογή του προγράμματος διαβάστηκαν οι χρονοϊστορίες της επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετακίνησης και εξάχθηκαν οι έξι σημαντικοί παλμοί καθώς και η σημαντική διάρκεια του πρώτου παλμού. Εν συνεχεία, με τη βοήθεια του προγράμματος Seismosignal παρατηρήθηκαν τόσο τα φάσματα επιτάχυνσης και τα ενεργειακά διαγράμματα για την αρχική καταγραφή όσο και για την κομμένη καταγραφή. Κομμένη ονομάστηκε η καταγραφή η οποία περιέχει τις χρονοϊστορίες της επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετακίνησης για το χρονικό διάστημα που υπολογίστηκε ο πρώτος παλμός, δηλαδή για το χρονικό διάστημα μεταξύ έναρξης και λήξης του πρώτου παλμού. Σκοπός αυτών των παρατηρήσεων

ήταν να διαπιστωθεί αν τα φάσματα επιταχύνσεων της αρχικής και κομμένης καταγραφής συμπίπτουν, προκειμένου να διερευνηθεί αν μπορεί να γίνεται ανάλυση μόνο ενός περιορισμένου χρονικού διαστήματος της καταγραφής το οποίο θα θεωρείται ότι εμπεριέχει την ισχυρή εδαφική κίνηση, το διάστημα δηλαδή που περιέχει τον παλμό, και όχι της συνολικής διάρκειας της καταγραφής ώστε να μειωθεί ο υπολογιστικός χρόνος.

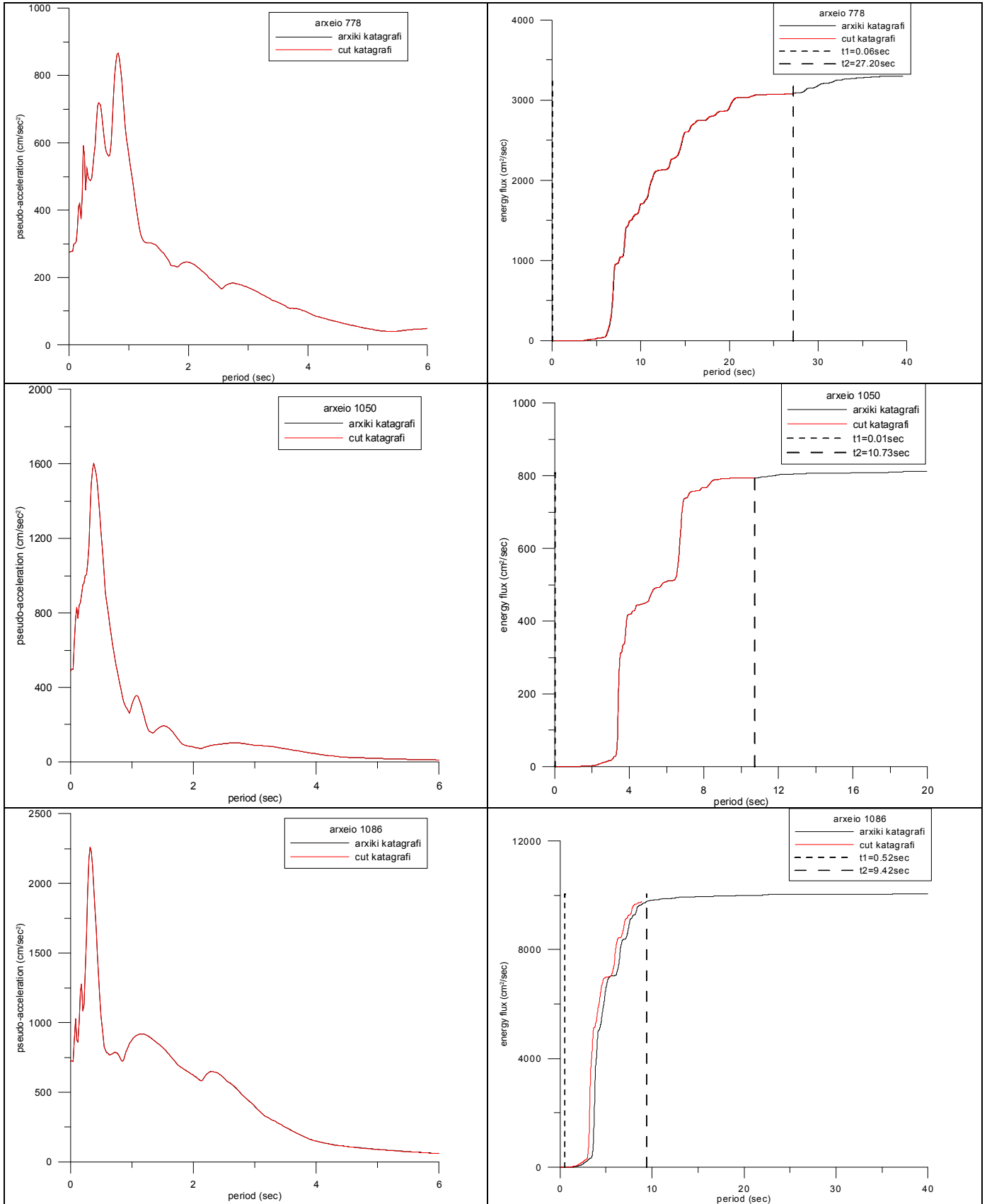
Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα φασματικών επιταχύνσεων αρχικών και κομμένων καταγραφών για ορισμένες από τις αναλύσεις που διεξήχθησαν, σύμφωνα με τα παραπάνω, καθώς και τα ενεργειακά τους διαγράμματα μαζί με τα χρονικά όρια έναρξης και λήξης του παλμού, ενώ στο παράρτημα Α παρουσιάζονται όλα τα φάσματα επιταχύνσεων αρχικών και κομμένων καταγραφών και για τις 220 καταγραφές της βάσης NGA.

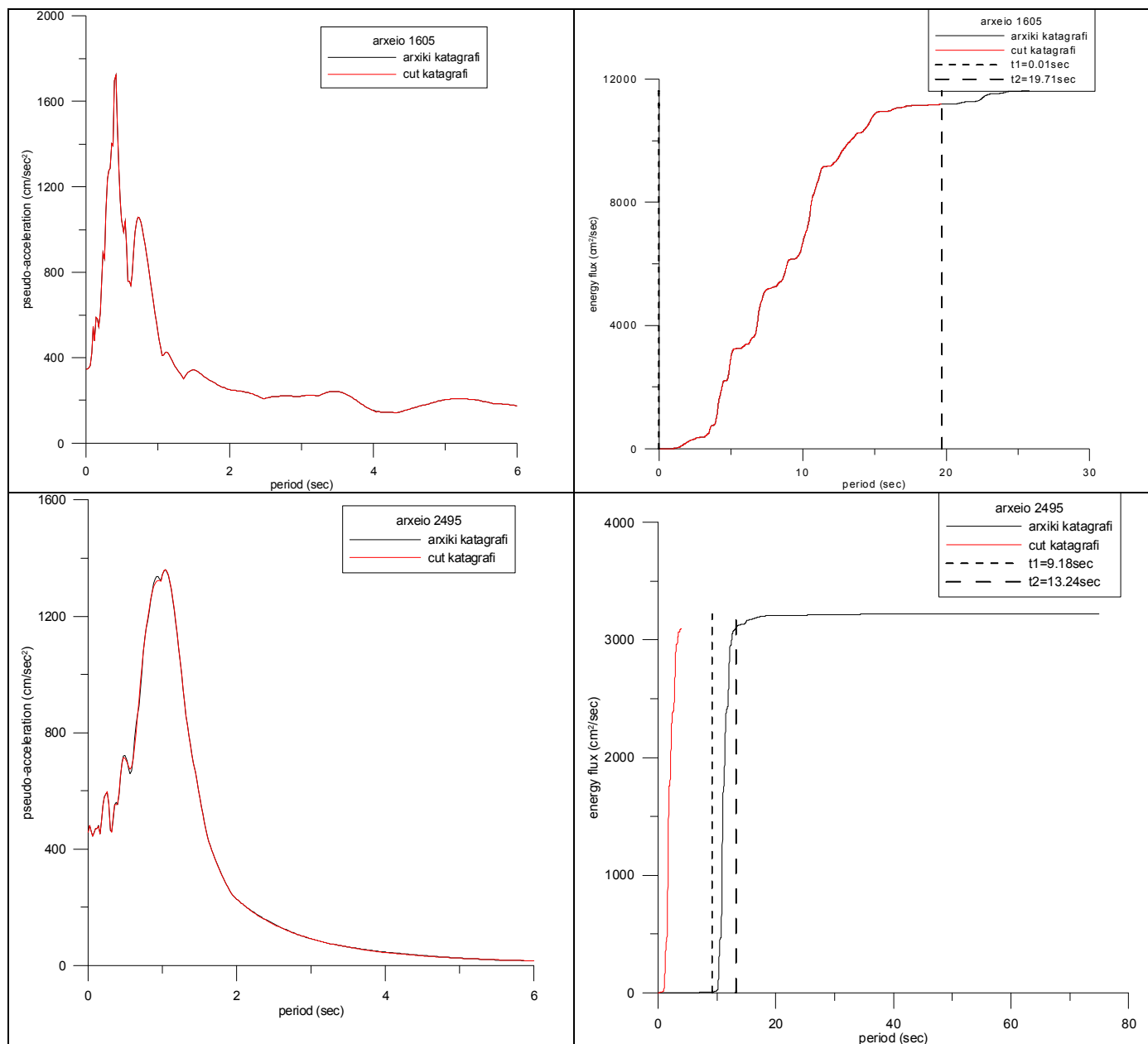


Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



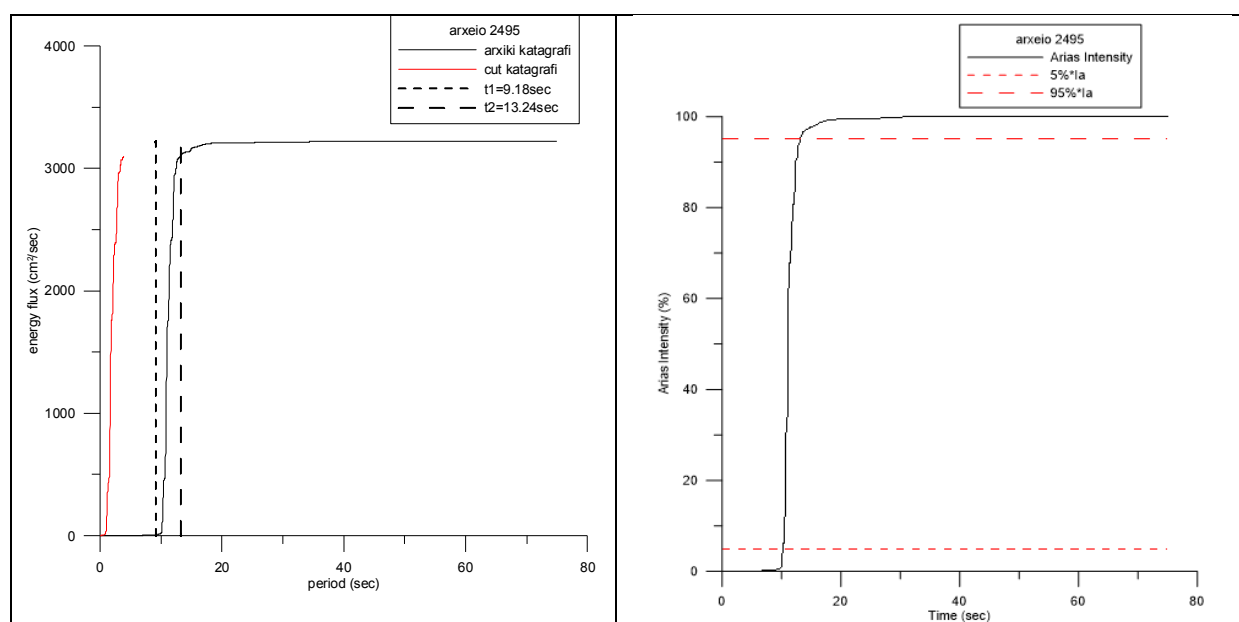


Διάγραμμα 4.1: Φάσματα επιταχύνσεων και ενεργειακά διαγράμματα αρχικών και κομμένων καταγραφών για ελαστική ανάλυση

Όπως παρατηρείται από τα φάσματα επιταχύνσεων παραπάνω η κομμένη καταγραφή συσχετίζεται με την αρχική σε ικανοποιητικό βαθμό, ώστε να μπορεί να υποτεθεί ότι η παλμική καταγραφή συμπεριλαμβάνει την ισχυρή εδαφική κίνηση και κατ'επέκταση ότι η παλμική διάρκεια θα μπορούσε να ληφθεί ως η σημαντική διάρκεια της ισχυρής εδαφικής κίνησης. Η υπόθεση αυτή θα αναλυθεί διεξοδικότερα στις παλμικές καταγραφές για ανελαστική ανάλυση καθώς και σε ένα πολυβάθμιο σύστημα προκειμένου να υπάρξει μία ευρεία εικόνα των αποτελεσμάτων για τη διάρκεια του παλμού σε σύγκριση με τη συνολική διάρκεια της καταγραφής, ώστε να εξαχθούν ακριβή συμπεράσματα.

Αναφορικά με τα ενεργειακά διαγράμματα τα όρια της προτεινόμενης διάρκειας παρουσιάζονται με μηδενική εφαπτομένη, δηλαδή η πρώτη παράγωγος στην έναρξη και τη λήξη της παλμικής διάρκειας είναι μηδενική με αποτέλεσμα να μη δημιουργείται μετακίνηση της γραμμής βάσης σε αντίθεση με τα όρια της σημαντικής διάρκειας, 5%-95% του

ενεργειακού διαγράμματος που λαμβάνονται σε τυχαία εφαπτομένη προκαλώντας ενδεχόμενα σφάλματα μετατόπισης της γραμμής βάσης. Αναλυτικότερα, το κυματίδιο των Μαυροειδή και Παπαγεωργίου προκύπτει ως το γινόμενο μίας ημιτονοειδούς περιοδικής συνάρτησης και μίας κωδωνοειδούς περιβάλλουσας. Τα όρια της περιβάλλουσας αποσβένουν την αρμονική συνάρτηση και ομαλοποιούν τα όρια αποκοπής της γραμμής βάσης. Συνεπώς, η παλμική διάρκεια εξαλείφει τη μετακίνηση της γραμμής βάσης. Από τα παρακάτω σχήματα διαπιστώνεται η αποκοπή των ορίων της παλμικής διάρκειας με μηδενική εφαπτομένη (σχήμα αριστερά) έναντι της αποκοπής των ορίων της σημαντικής διάρκειας στο 5% και 95% όπου η πρώτη παράγωγος είναι διάφορη του μηδενός δημιουργώντας πιθανά σφάλματα μετατόπισης της γραμμής βάσης (σχήμα δεξιά).



Διάγραμμα 4.2: Σύγκριση ενεργειακών διαγραμμάτων για τα όρια αποκοπής της παλμικής διάρκειας (αριστερά) με τα όρια αποκοπής της σημαντικής διάρκειας (δεξιά)

4.2. Ανελαστική Ανάλυση Μονοβάθμιων Συστημάτων

Από τις 220 καταγραφές που χρησιμοποιήθηκαν από τη βάση του NGA, σύμφωνα με τη μέθοδο ταξινόμησης της Kardoutsou et al που αναφέρθηκε στο 3ο κεφάλαιο, οι 120 καταγραφές ταξινομήθηκαν ως παλμικές. Για τις οριζόμενες παλμικές καταγραφές διερευνήθηκε αν η ισχυρή εδαφική κίνηση σχετίζεται με τους παλμούς κατευθυντικότητας και κατ'επέκταση αν η σημαντική διάρκεια μπορεί να συνδεθεί με τη διάρκεια του παλμού. Για τις παλμικές καταγραφές πραγματοποιήθηκε ανελαστική ανάλυση των μονοβαθμίων, από το οποίο εξήχθησαν οι ανελαστικές μετακινήσεις τόσο των αρχικών όσο και των κομμένων καταγραφών. Αναφορικά με την ανελαστική ανάλυση δημιουργήθηκε ένα διγραμμικό μοντέλο ελαστικό - τελείως πλαστικό με συντελεστή συμπεριφοράς $q=4$ και απόσβεση $\zeta=5\%$. Για τον προσδιορισμό του σημείου διαρροής του ταλαντωτή διαιρείται το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων καταγραφής με το συντελεστή συμπεριφοράς και προσδιορίζεται η επιτάχυνση διαρροής για κάθε ιδιοπερίοδο ως :

$$SA_y(T) = \frac{SA(T)}{q}$$

,όπου $SA_y(T)$ η επιτάχυνση διαρροής και $SA(T)$ η ελαστική φασματική επιτάχυνση για περίοδο T .

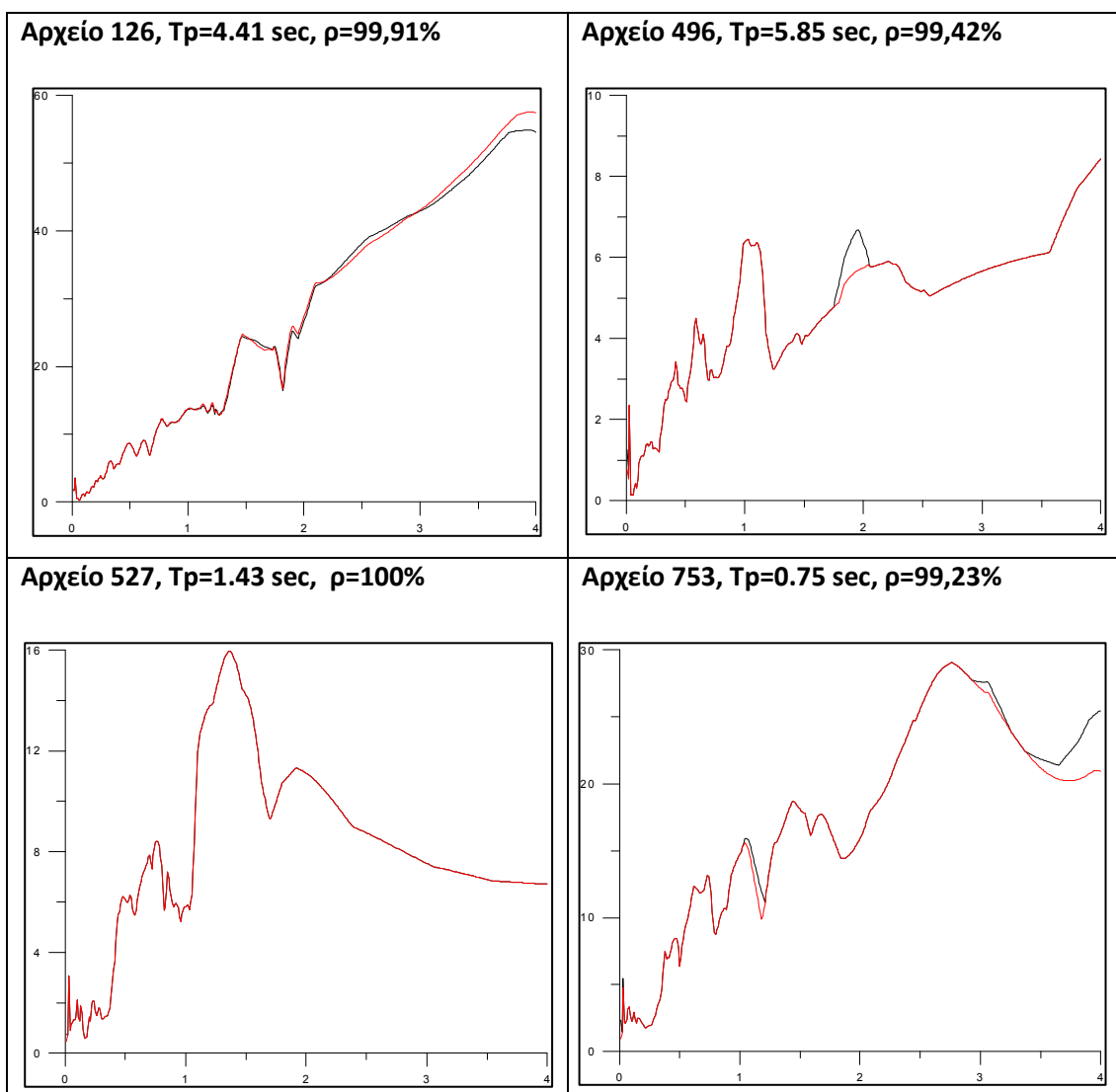
Από τον προσδιορισμό της επιτάχυνσης διαρροής για κάθε περίοδο (T) υπολογίστηκε η μετακίνηση διαρροής ως :

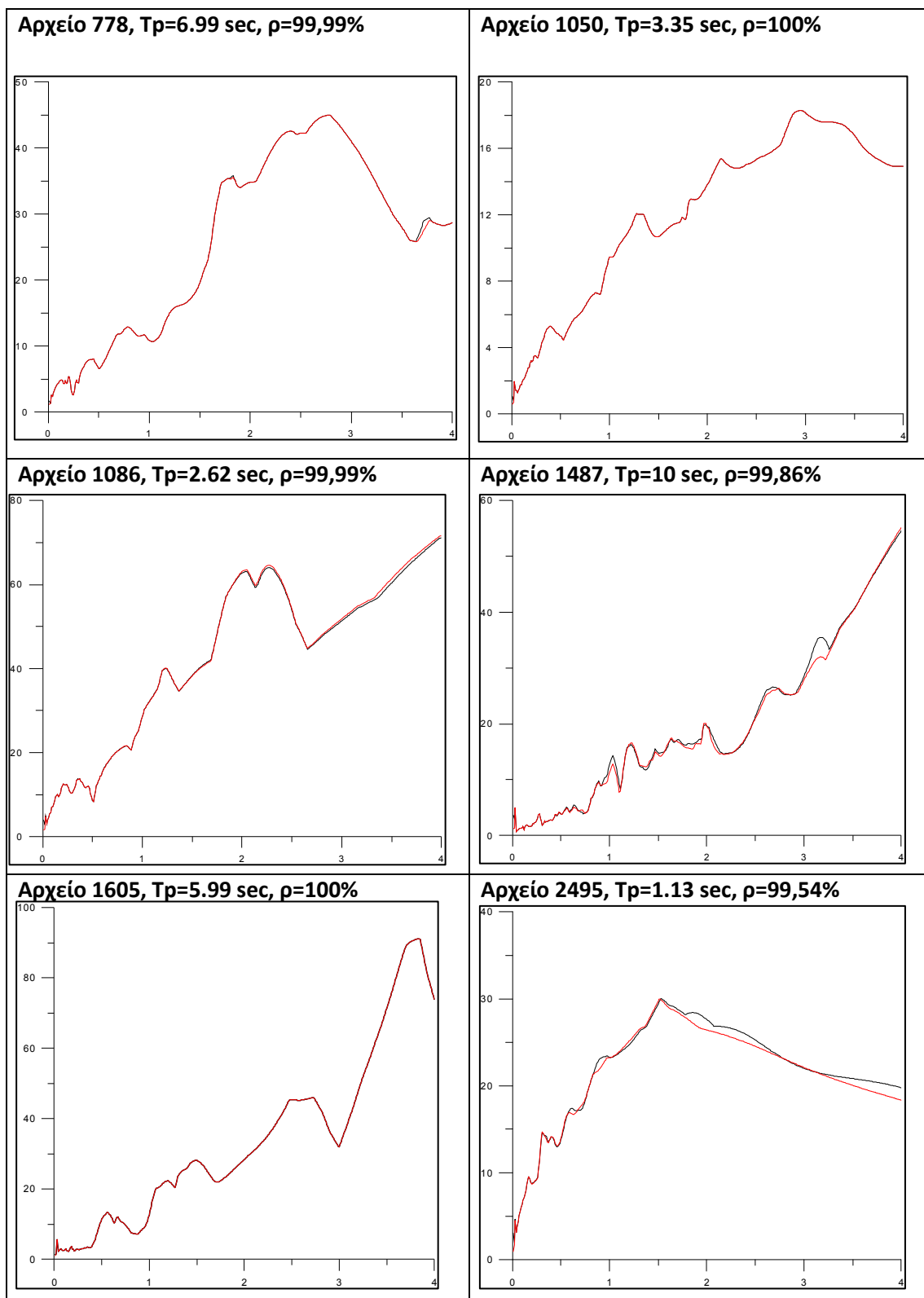
$$SD_y(T) = SA_y(T) \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2$$

Έπειτα, υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης των αρχικών και κομμένων φασματικών ανελαστικών μετακινήσεων προκειμένου να διερευνηθεί ο βαθμός συσχέτισής τους.

4.2.1. Διαγράμματα των φασμάτων ανελαστικής μετακίνησης αρχικών και κομμένων καταγραφών για τις παλμικές καταγραφές

Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα ανελαστικών μετακινήσεων ορισμένων από τις αναλύσεις που διεξήχθησαν, σύμφωνα με την παραπάνω μεθοδολογία, ενώ στο παράρτημα Β παρουσιάζονται όλα τα φάσματα ανελαστικών μετακινήσεων αρχικών και κομμένων καταγραφών για τις 120 παλμικές καταγραφές της βάσης NGA, καθώς και ο συντελεστής συσχέτισης τους αλλά και η περίοδος του παλμού. Επισημαίνεται ότι τα φάσματα δόθηκαν μέχρι τη χρονική στιγμή T=4 sec, η οποία κρίνεται επαρκής για τις περιόδους σύνηθων κατασκευών.





Διάγραμμα 4.3: Φάσματα μετακινήσεων αρχικών και παλμικών καταγραφών για ανελαστική ανάλυση

Από τα διαγράμματα ανελαστικών μετακινήσεων των παλμικών καταγραφών παρατηρείται υψηλή συσχέτιση των αρχικών καταγραφών με αυτές που περιέχουν μόνο τη χρονική διάρκεια του παλμού με αποτέλεσμα να δημιουργείται η υπόθεση ότι η παλμική διάρκεια θα μπορούσε να οριστεί ως η σημαντική διάρκεια της ισχυρής εδαφικής κίνησης.

4.2.2. Συσχέτιση των φασμάτων ανελαστικής μετακίνησης αρχικών και κομμένων καταγραφών για τις παλμικές καταγραφές

Για τις παλμικές καταγραφές, όπως αυτές ταξινομήθηκαν σύμφωνα με το κριτήριο των Kardoutsou et al, υπολογίστηκαν οι ανελαστικές μετακινήσεις από την επίλυση ενός διγραμμικού ελαστικού-τελείως πλαστικού μοντέλου με συντελεστή συμπεριφοράς $q=4$ και απόσβεση $\zeta=5\%$, τόσο για τις αρχικές καταγραφές, όπως αυτές λήφθηκαν από τη βάση του NGA, όσο και για τις κομμένες καταγραφές, όπως αυτές εξήχθησαν από πρόγραμμα του εργαστηρίου σύμφωνα με τη χρονική διάρκεια του πρώτου παλμού. Μετά τον προσδιορισμό των ανελαστικών μετακινήσεων πραγματοποιήθηκε συσχέτιση μεταξύ των ανελαστικών μετακινήσεων των αρχικών με τις κομμένες καταγραφές μέχρι τη χρονική στιγμή των τεσσάρων δευτερολέπτων, η οποία θεωρείται μία ικανοποιητική χρονική περίοδος για συνήθεις κατασκευές. Ο συντελεστής συσχέτισης για κάθε καταγραφή αποδίδεται στον παρακάτω πίνακα, ενώ στο τέλος του πίνακα εμφανίζονται το πλήθος των καταγραφών καθώς και ο μέσος όρος συσχέτισης, ο οποίος ανέρχεται σε ποσοστό 96.44% υποδηλώνοντας υψηλή συσχέτιση μεταξύ των ανελαστικών μετακινήσεων αρχικών και κομμένων καταγραφών. Επομένως, παρατηρείται ότι οι ανελαστικές μετακινήσεις των αρχικών καταγραφών που αφορούν όλη τη χρονική διάρκεια της καταγραφής παρουσιάζουν υψηλή συσχέτιση με τις ανελαστικές μετακινήσεις που έχουν προέλθει από τις κομμένες καταγραφές, δηλαδή μόνο για τη χρονική διάρκεια του παλμού.

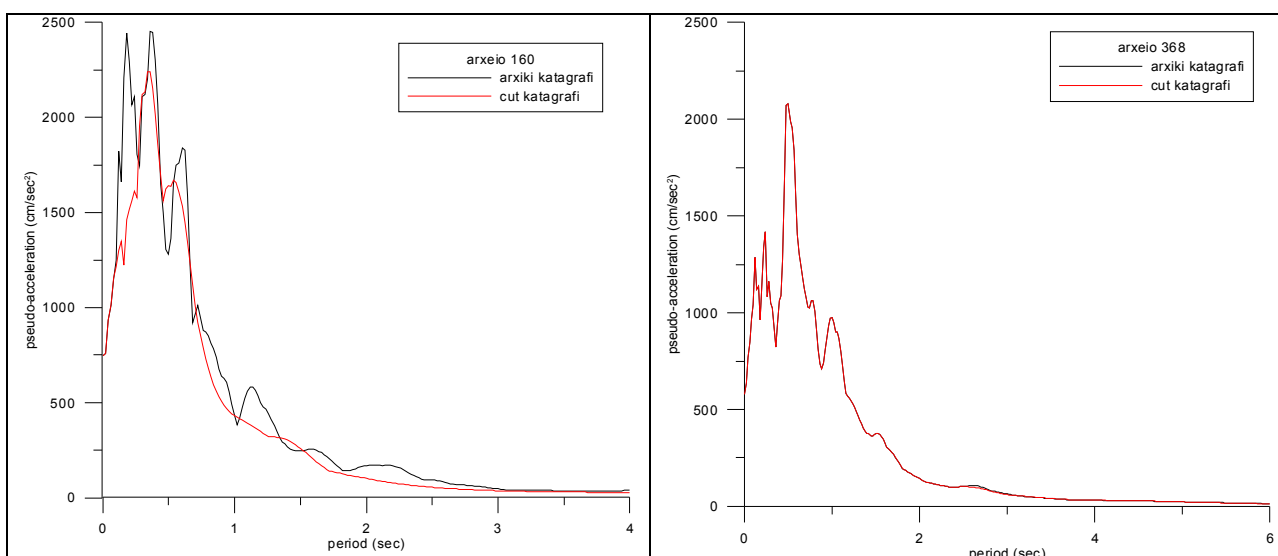
ΑΡΧΕΙΟ	ρ (%)	ΑΡΧΕΙΟ	ρ (%)	ΑΡΧΕΙΟ	ρ (%)
77	91,86	778	99,99	1475	99,81
126	99,91	779	99,92	1476	96,67
150	97,22	783	91,81	1479	98,83
158	99,07	787	99,79	1482	99,98
159	96,76	802	99,89	1483	99,41
161	99,98	803	99,96	1484	99,09
170	99,19	806	95,62	1485	99,74
171	99,77	821	98,16	1486	99,73
173	100	825	99,97	1487	99,86
174	100	828	99,47	1489	98,15
178	99,98	829	91,59	1491	98,92
179	99,94	838	95,56	1493	98,48
180	100	900	99	1494	99,57
181	99,99	952	93,16	1496	98,73
182	99,98	959	94,52	1503	98,75
183	100	982	100	1510	99,94
184	99,96	983	100	1511	99,15
185	99,73	1009	81,92	1515	90,14
292	100	1013	94,39	1519	97,83
316	98,91	1044	96,21	1523	99,9
338	90,15	1045	99,7	1528	98,85
418	95,84	1050	100	1529	99,67
451	93,55	1052	95,22	1530	99,74
459	74,15	1063	94	1532	100
496	99,42	1077	96,19	1542	97,86
503	70,34	1084	99,95	1545	97,09
508	98,29	1085	99,45	1548	98,94

ΑΡΧΕΙΟ	ρ (%)	ΑΡΧΕΙΟ	ρ (%)	ΑΡΧΕΙΟ	ρ (%)
527	100	1086	99,99	1550	99,74
529	97,36	1116	87,88	1595	99,1
568	89,42	1158	94,94	1596	95,27
569	96,41	1161	99,76	1605	100
615	71,55	1182	93,25	1629	98,41
645	76,37	1193	92,92	1752	95,19
723	85,39	1194	100	2457	99,16
738	98,87	1198	99,34	2495	99,54
753	99,23	1202	78,18	2627	86,74
758	76,73	1244	97,48	3317	96,49
764	92,76	1403	99,85	3548	97,06
766	99,9	1410	97,16	πλήθος	120
767	98,34	1471	98,97	Άθροισμα ποσοστών	11572,79
768	99,88	1472	99,9	Μέσος Όρος ρ(%)	96,44

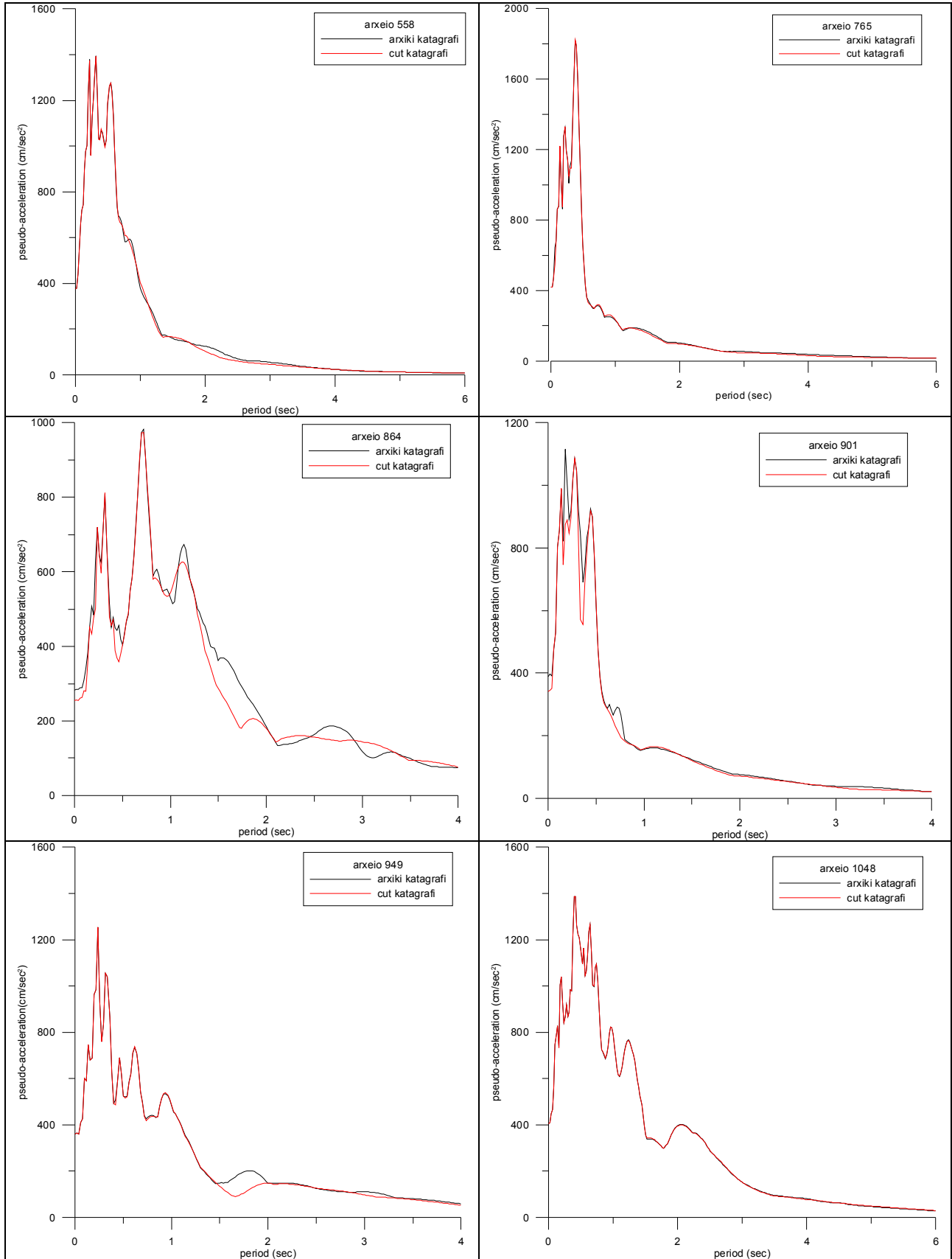
Πίνακας 4.1: Συσχέτιση φασμάτων ανελαστικών μετακινήσεων αρχικών και παλμικών καταγραφών

4.3. Περίπτωση Καταγραφών με Κρυφούς Παλμούς

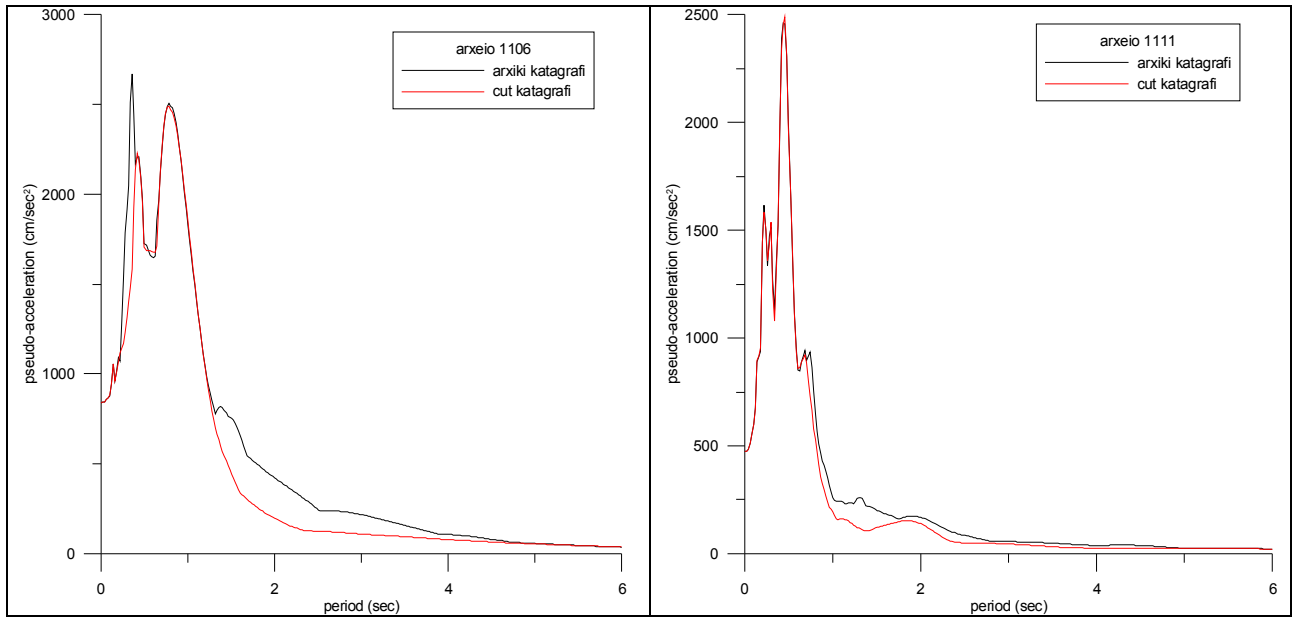
Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4.2 από τις 220 καταγραφές της βάσης NGA οι 120 χαρακτηρίστηκαν ως παλμικές σύμφωνα με τη μέθοδο των Kardoutsou et al και πραγματοποιήθηκε ανελαστική ανάλυση με σκοπό τη διερεύνηση τους για να εξεταστεί αν η ισχυρή εδαφική κίνηση μπορεί να συνδεθεί με τους παλμούς κατευθυντικότητας και η παλμική διάρκεια να οριστεί ως η σημαντική διάρκεια της εδαφικής κίνησης. Ωστόσο, παρατηρήθηκε ότι ορισμένες καταγραφές, που έχουν χαρακτηριστεί ως μη παλμικές σύμφωνα με τη μέθοδο ταξινόμησης που εφαρμόστηκε, παρουσιάζουν υψηλή συσχέτιση στα φάσματα επιταχύνσεων μεταξύ αρχικών και κομμένων καταγραφών. Από την υψηλή συσχέτιση συμπεραίνεται η παρουσία κρυφών παλμών στις καταγραφές, οι οποίες χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης. Παρακάτω παρατίθενται οι προαναφερθείσες καταγραφές:



Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας

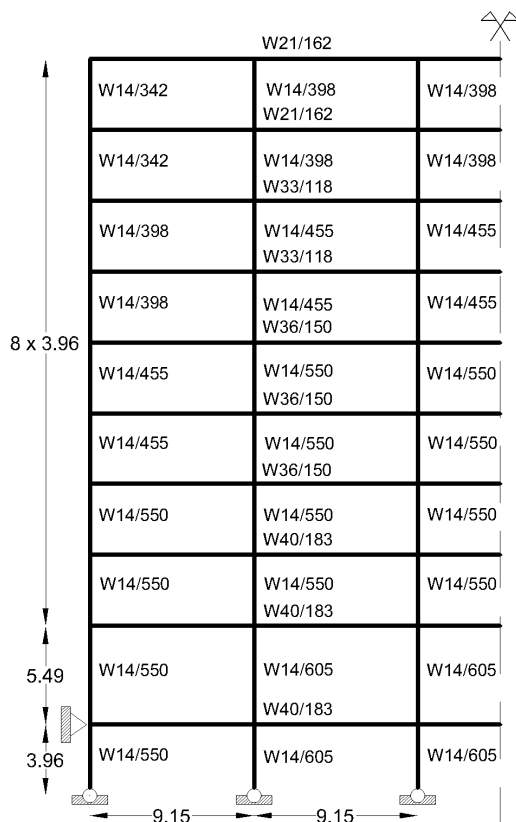


Διάγραμμα 4.4: Φάσματα επιταχύνσεων αρχικών και παλμικών καταγραφών για κρυφούς παλμούς

5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕ ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

5.1. Περιγραφή του Πολυβάθμιου Συστήματος

Η ανάλυση του πολυβάθμιου συστήματος πραγματοποιήθηκε σε ένα εννιαώροφο μεταλλικό πλαίσιο ροπής, το οποίο παρουσιάζεται στην εικόνα παρακάτω.

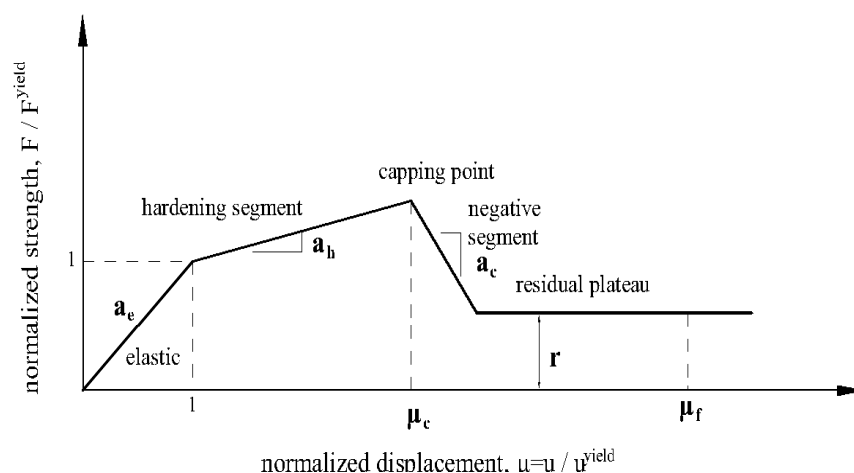


Εικόνα 5.1: Το εννιαώροφο μεταλλικό πλαίσιο ροπής

Το παραπάνω κτήριο αφορά ένα κλασικό εννιαώροφο πλαίσιακό φορέα σχεδιασμένο σύμφωνα με τις διατάξεις NEHRP του 1997. Αποτελείται από πέντε ανοίγματα ενώ οι δεσμεύσεις του υπογείου είναι αρθρώσεις. Οι διατομές του παρουσιάζονται στην εικόνα. Τα βαρυτικά φορτία και η μάζα των εσωτερικών πλαισίων τοποθετούνται σε μία βαρυτική κολώνα, η οποία δε συνεισφέρει στην πλευρική δυσκαμψία. Η δεσπόζουσα περίοδος του πλαισίου είναι $T_1=2.35$ sec και το ποσοστό συμμετοχής των μαζών της πρώτης ιδιομορφής του ανέρχεται στο 84% της συνολικής του μάζας. Οπότε στο κτήριο κυριαρχεί η πρώτη ιδιομορφή ενώ ιδιομορφές ανωτέρας τάξεως συνεισφέρουν κι αυτές στην απόκριση.

5.2. Περιγραφή του Μοντέλου Ανάλυσης του Πολυβαθμίου

Υιοθετήθηκε ένα συμμετρικό μοντέλο ως προς το κέντρο από την πλατφόρμα OpenSees (McKenna & Fenves, 2001), το οποίο λαμβάνει υπόψιν γεωμετρικές μη γραμμικότητες στη σχέση P-δ. Τα υποστυλώματα θεωρήθηκαν ότι αποκρίνονται γραμμικά-ελαστικά, ενώ για τις συνδέσεις δοκού-υποστυλώματος υιοθετήθηκε ένα τετραγραμμικό μοντέλο, το οποίο παρουσιάζεται στο διάγραμμα 5.1.

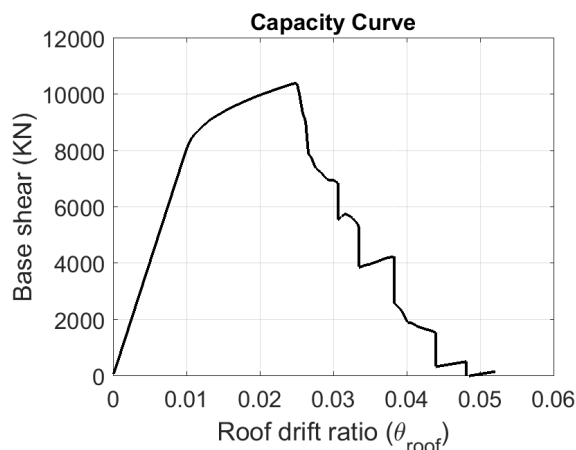


Διάγραμμα 5.1: Τετραγραμμικό μοντέλο συνδέσεων δοκού-υποστυλώματος

Αυτό το μοντέλο επιτρέπει την ανακυκλιζόμενη απομείωση της μονοτονική περιβάλλουσας αφού αποτελείται από κλάδους. Πιο αναλυτικά, ο κλάδος κράτυνσης σταματά σε ένα άνω όριο και έπειτα ακολουθεί ένας κλάδος αρνητικής δυσκαμψίας. Απότομη κλίση του αρνητικού κλάδου υποδηλώνει θραυστότητα, ενώ μία πιο ήπια κλίση συνδυασμένη με ένα μεγαλύτερο μετελαστικό τμήμα υποδεικνύει ένα πιο πλαστικό σύστημα. Το φθίνον τμήμα καταλήγει σε ένα εναπομένον πλατώ λόγω του τετραγραμμικού μοντέλου. Εκτενέστερα, ο πρώτος κλάδος είναι ελαστικός και ακολουθείται από ένα κλάδο κράτυνσης μετά τη διαρροή με κλίση a_h . Εν συνεχεία, ο κλάδος κράτυνσης λήγει σε ένα άνω όριο με πλαστιμότητα μ_c , ενώ ο φθίνων κλάδος λαμβάνει αρνητική δυσκαμψία ίση με $-a_c$ και καταλήγει σε ένα οριζόντιο πλατώ με κανονικοποιημένη ικανότητα r , η οποία υποδηλώνει την εναπομένουσα ικανότητα.

Η μονοτονική περιβάλλουσα (backbone) του τετραγραμμικού μοντέλου περιγράφεται από έξι παραμέτρους: την ελαστική κλίση (a_{el}) και τη δύναμη διαρροής (F_y), όπως ορίζονται στο διγραμμικό μοντέλο, καθώς και τα a_h , a_c , μ_c και r , όπως περιγράφηκαν παραπάνω. Μία ακόμη παράμετρος που θα μπορούσε να εισαχθεί είναι η ολική πλαστιμότητα μ_f , η οποία δείχνει την ολική αστοχία του συστήματος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απότομη πτώση της ικανότητας του συστήματος στο μηδέν. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 5.1 το σημείο διαρροής έχει οριστεί ίσον με ένα, οπότε όλες οι παράμετροι που ορίζουν το backbone είναι κανονικοποιημένες. Πιο συγκεκριμένα, οι παράμετροι a_h και a_c έχουν οριστεί ως ένα ποσοστό της ελαστικής κλίσης a_{el} , ενώ οι πλαστιμότητες (μ_c και μ_f) κανονικοποιήθηκαν από τη μετακίνηση διαρροής. Η εναπομείνουσα ικανότητα r λήφθηκε ως ποσοστό της δύναμης διαρροής. Ειδικότερα για τη σχέση M-θ οι παράμετροι έχουν λάβει τις εξής τιμές: $a_h=10\%$, $a_c=-50\%$, $\mu_c=3$, $r=50\%$, οι οποίες έχουν θεωρηθεί όμοιες για κάθε σύνδεση δοκού-υποστυλώματος.

Για τη δημιουργία καμπύλης ικανότητας του κτηρίου εφαρμόστηκε στατική pushover ανάλυση χρησιμοποιώντας ένα μοτίβο εγκάρσιας φόρτισης βασισμένο στην πρώτη ιδιομορφή. Εξαιτίας της θραυστότητας των συνδέσεων δοκού-υποστυλώματος, η pushover καμπύλη ακολουθεί ένα μοτίβο όμοιο με αυτό της απομείωσης ενός μονοβάθμιου ταλαντωτή. Η καμπύλη ικανότητας που προήλθε από στατική pushover ανάλυση παρουσιάζεται στο διάγραμμα 5.2.



Διάγραμμα 5.2: Pushover καμπύλη ικανότητας πολυβαθμίου

5.3. Αναλύσεις στο Πολυβάθμιο Σύστημα

Η ανάλυση σε πολυβάθμιο σύστημα πραγματοποιήθηκε στο εννιαώροφο μεταλλικό πλαίσιο ροπής που περιγράφεται στο μέρος 5.1 με το μοντέλο ανάλυσης που εξηγήθηκε στην ενότητα 5.2. Στο μοντέλο εφαρμόστηκαν 30 καταγραφές χρονοϊστορίας επιτάχυνσης με χρονικό βήμα τα 0.01 sec και περίοδο παλμού όπως παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα. Επισημαίνεται ότι οι καταγραφές που επιλέχθηκαν έχουν ιδιοπερίοδο κοντά στην ιδιοπερίοδο του κτηρίου ($T_1=2.35$ sec).

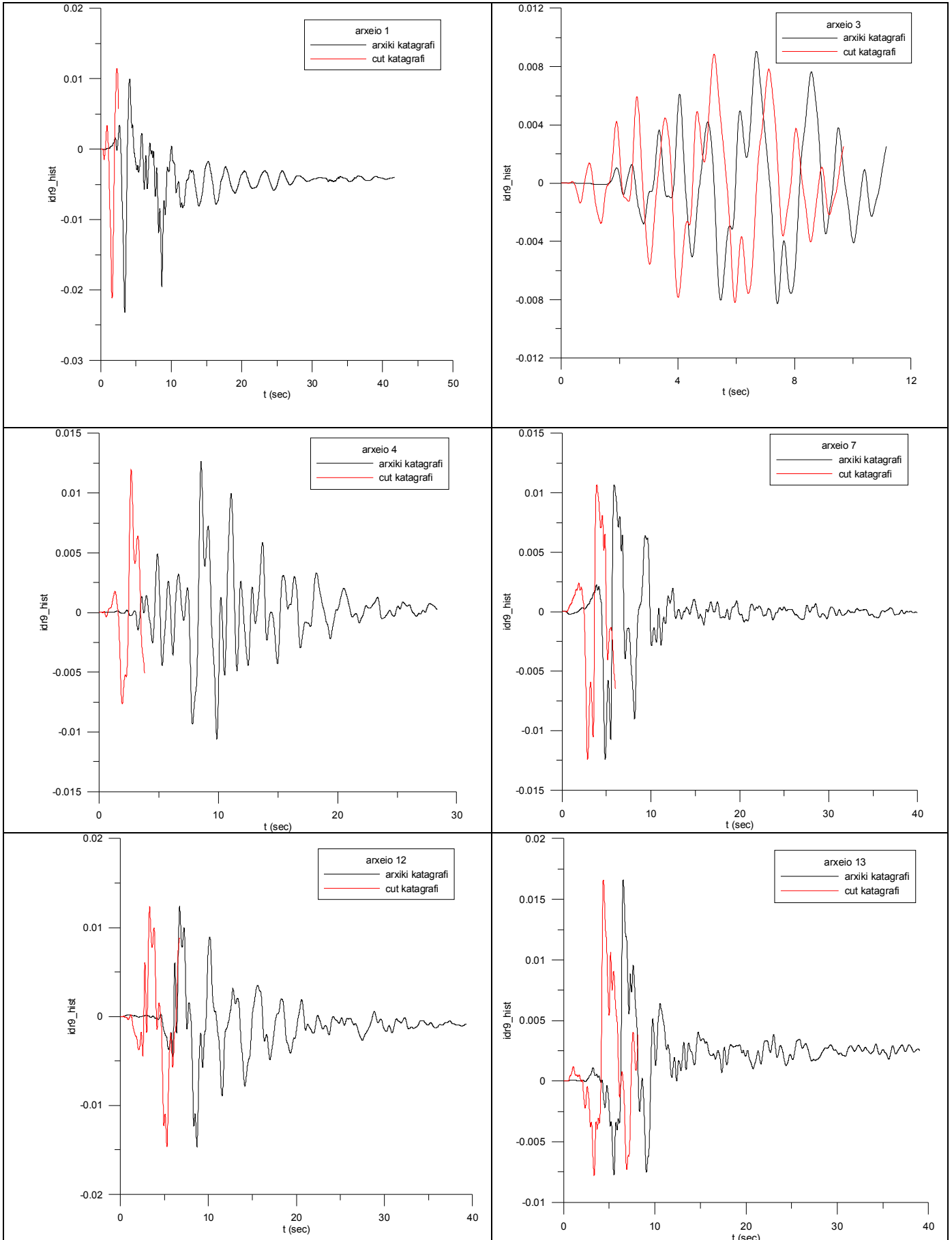
α/α	Record	T_p (sec)	α/α	Record	T_p (sec)
1	1	1.399	16	33	2.300
2	3	1.630	17	34	1.530
3	4	1.900	18	35	1.510
4	7	2.999	19	37	2.420
5	12	3.760	20	38	2.680
6	13	3.890	21	42	2.930
7	14	3.490	22	43	2.930
8	18	1.130	23	44	2.340
9	19	2.630	24	45	2.160
10	20	3.000	25	46	2.380
11	25	1.160	26	47	3.350
12	26	1.490	27	49	1.110
13	27	1.390	28	50	2.950
14	28	1.420	29	51	3.060
15	32	2.400	30	52	2.620

Πίνακας 5.1: Καταγραφές και περίοδος παλμού

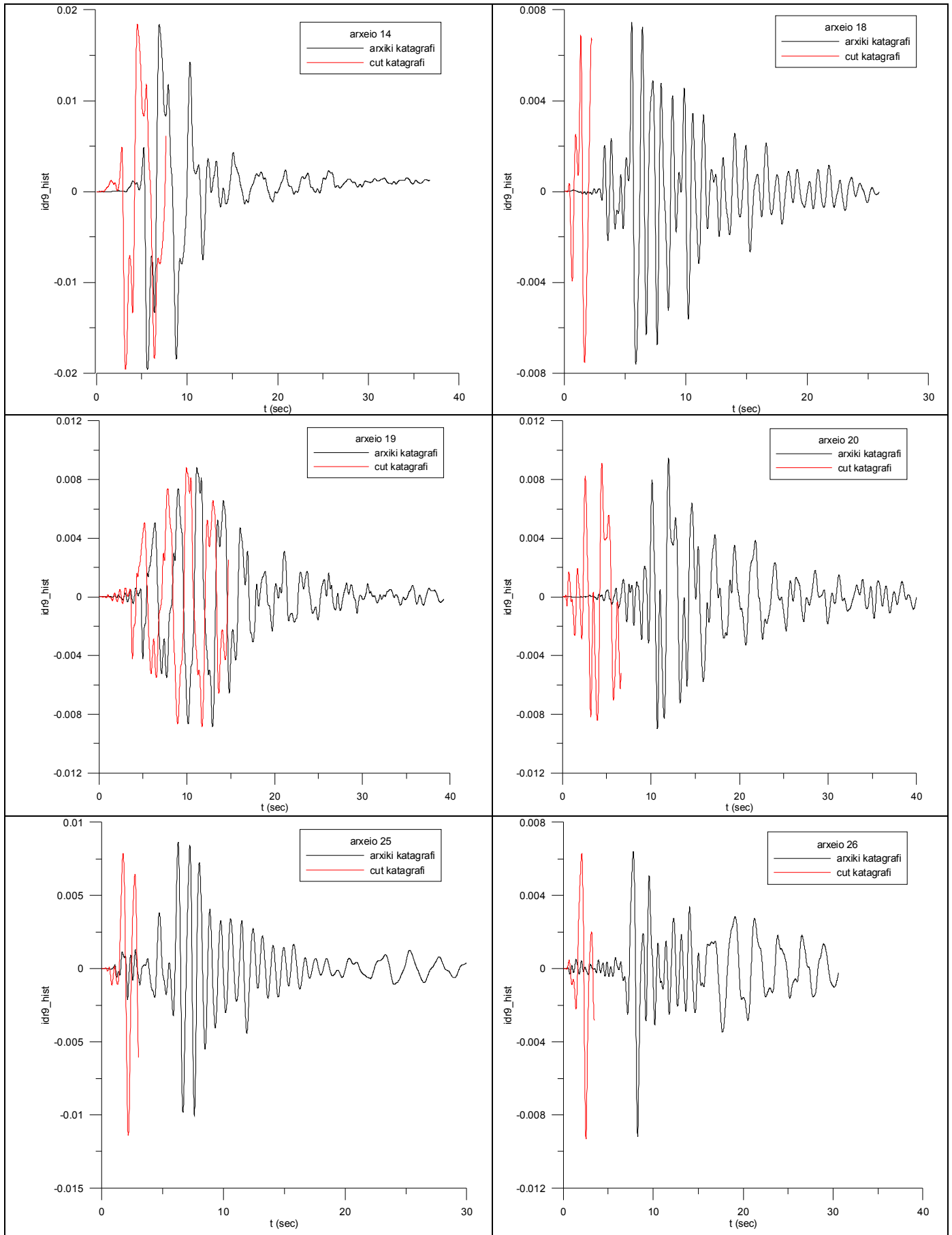
5.3.1. Διαγράμματα αναλύσεων πολυβάθμιου συστήματος

- Στα παρακάτω γραφήματα παρουσιάζονται οι χρονοϊστορίες των σχετικών drift του 9ου ορόφου του πολυβαθμίου για κάποιες από τις αρχικές και κομμένες καταγραφές.

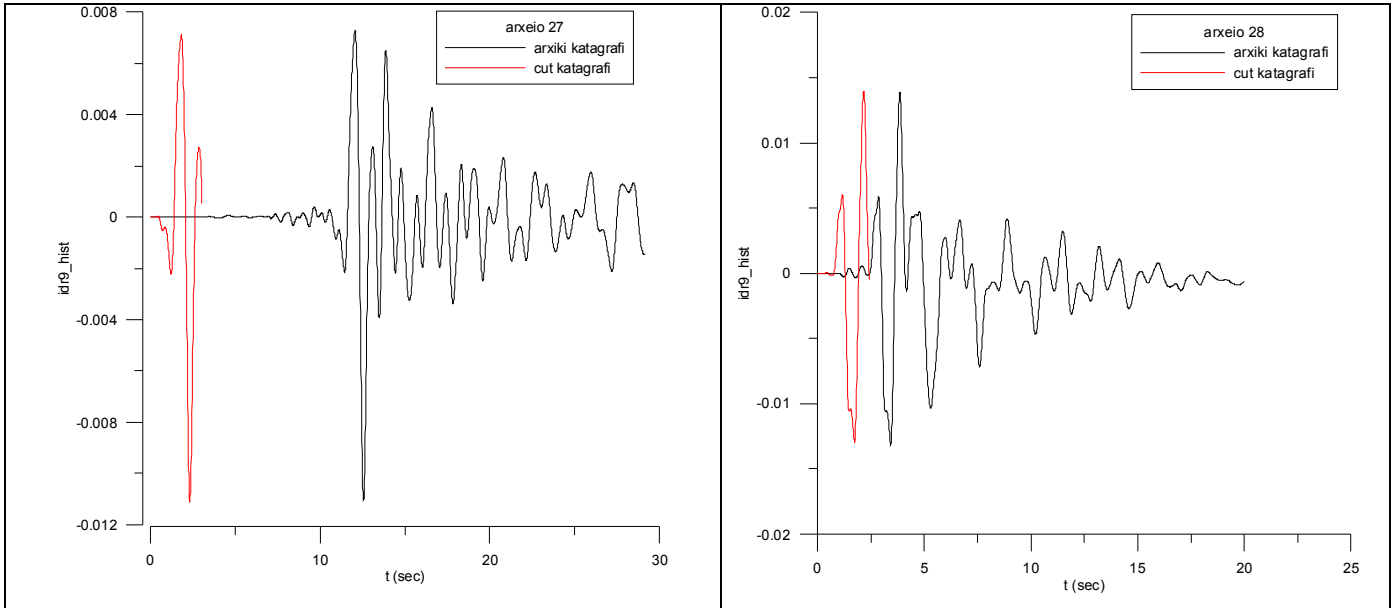
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



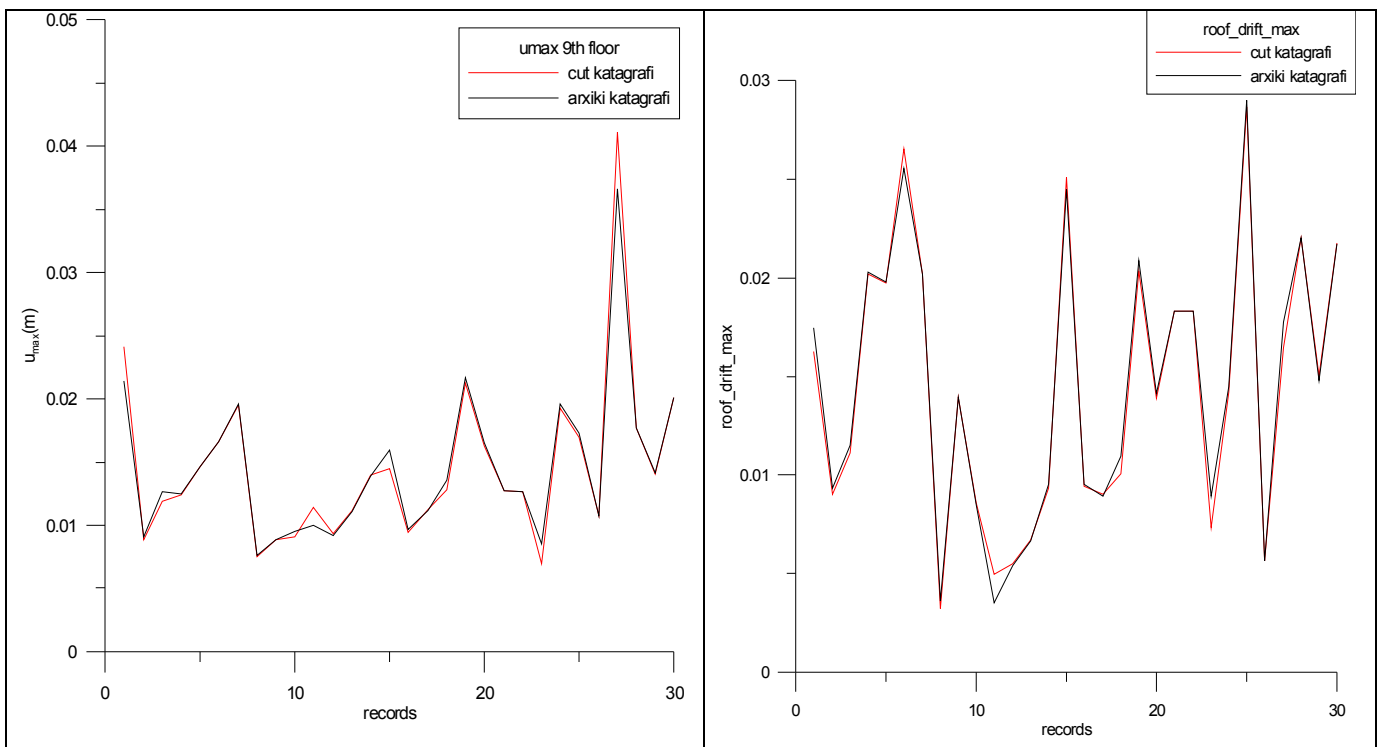
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



Διάγραμμα 5.3: Χρονοϊστορίες drifts οροφής αρχικών και παλμικών καταγραφών

Παρατηρείται ότι η χρονοϊστορία των drifts της παλμικής καταγραφής έχει κατά πολύ μικρότερη διάρκεια από την αρχική καταγραφή.

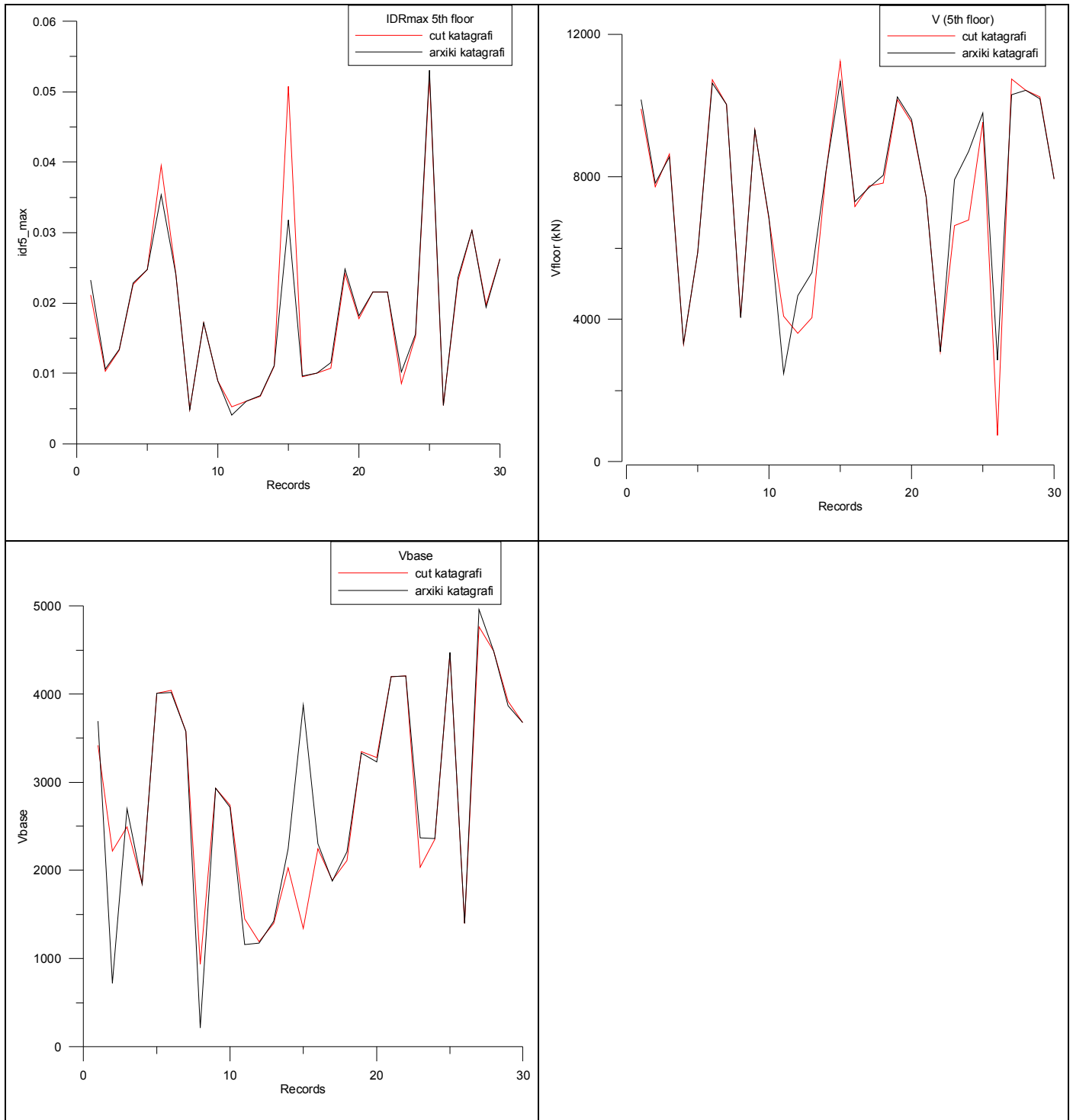
- Στα παρακάτω γραφήματα φαίνονται οι μετακινήσεις οροφής του πολυβαθμίου (u_{max} , $roofdrift_{max}$) από τις διεγέρσεις αρχικών και κομμένων καταγραφών.



Διάγραμμα 5.4: Μετακινήσεις οροφής αρχικών και παλμικών καταγραφών

Όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα οι αρχικές με τις παλμικές καταγραφές συμπίπτουν σε υψηλό βαθμό για τις μετακινήσεις οροφής.

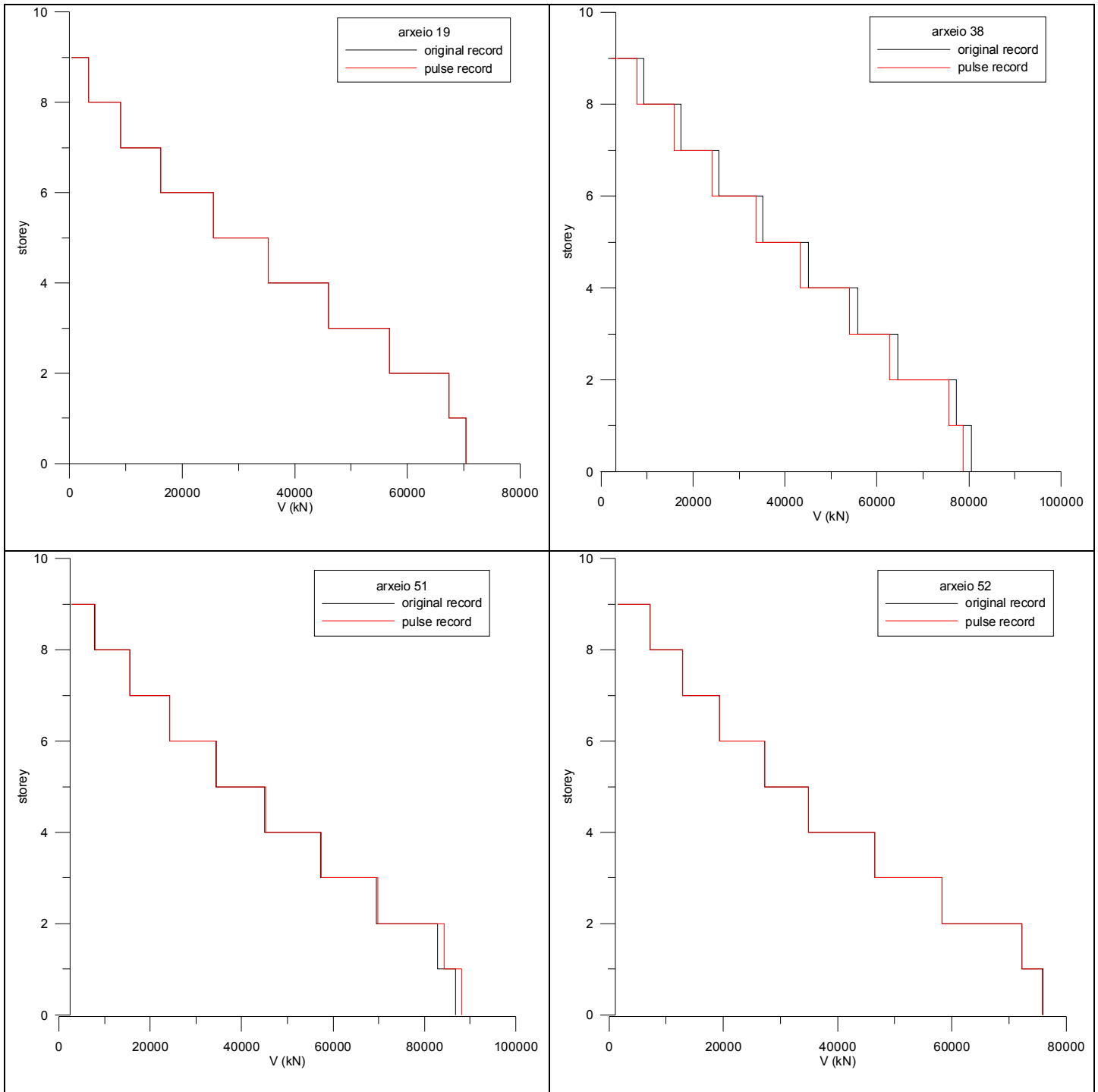
- Στα παρακάτω γραφήματα παρουσιάζεται το σχετικό drift του 5ου ορόφου, η τέμνουσα του και η τέμνουσα βάσης για αρχικές και κομμένες καταγραφές.



Διάγραμμα 5.5: Μέγιστο drift 5ου ορόφου, τέμνουσες 5ου ορόφου, τέμνουσες βάσης αρχικών και παλμικών καταγραφών

Επισημαίνεται ότι και σε αυτά τα γραφήματα παρουσιάζεται ικανοποιητική ταύτιση μεταξύ αρχικών και παλμικών καταγραφών για τις περισσότερες καταγραφές.

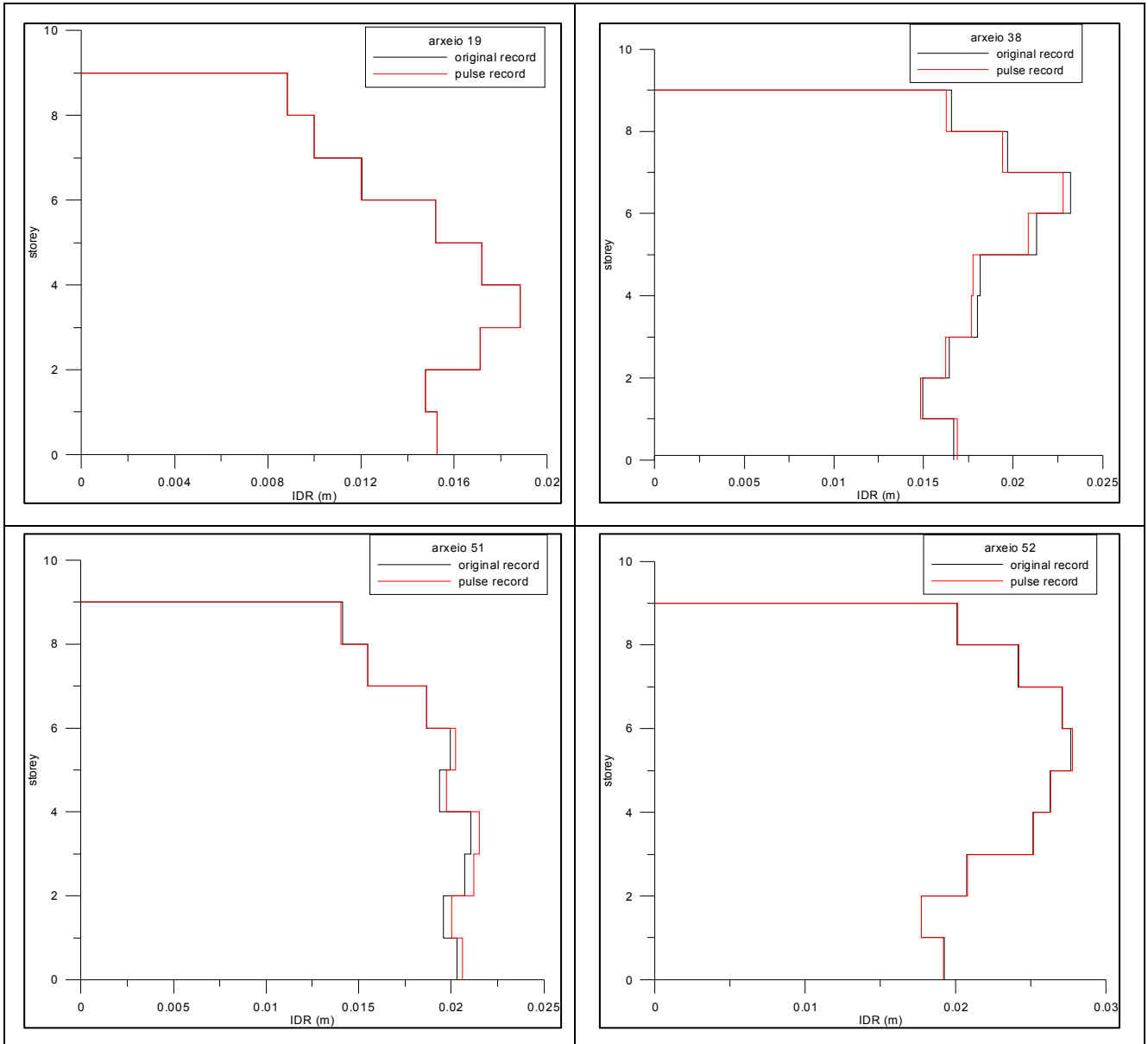
- Στα παρακάτω γραφήματα παρουσιάζονται οι κατανομές τεμνουσών καθ' ύψος του κτηρίου για τα αρχεία 19, 38, 51, 52 για αρχικές και παλμικές καταγραφές.



Διάγραμμα 5.6: Κατανομές τεμνουσών καθ' ύψος του κτηρίου αρχικών και παλμικών καταγραφών

Αναφορικά με την κατανομή τεμνουσών καθ' ύψος του κτηρίου διαπιστώνεται υψηλή συσχέτιση μεταξύ των αρχικών και των παλμικών καταγραφών.

- Στα παρακάτω γραφήματα παρουσιάζονται οι σχετικές μετακινήσεις μεταξύ των ορόφων για ορισμένα αρχεία για αρχικές και παλμικές καταγραφές.

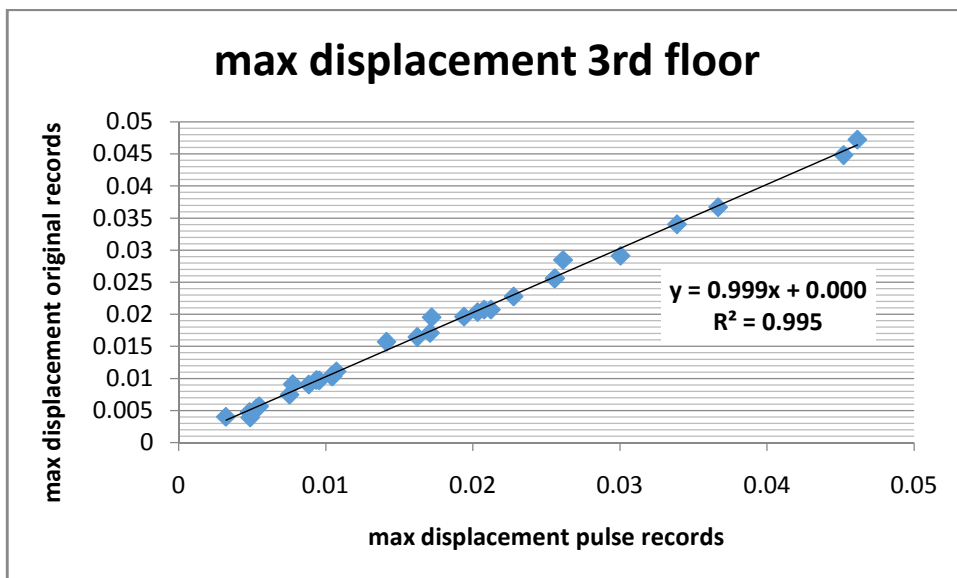
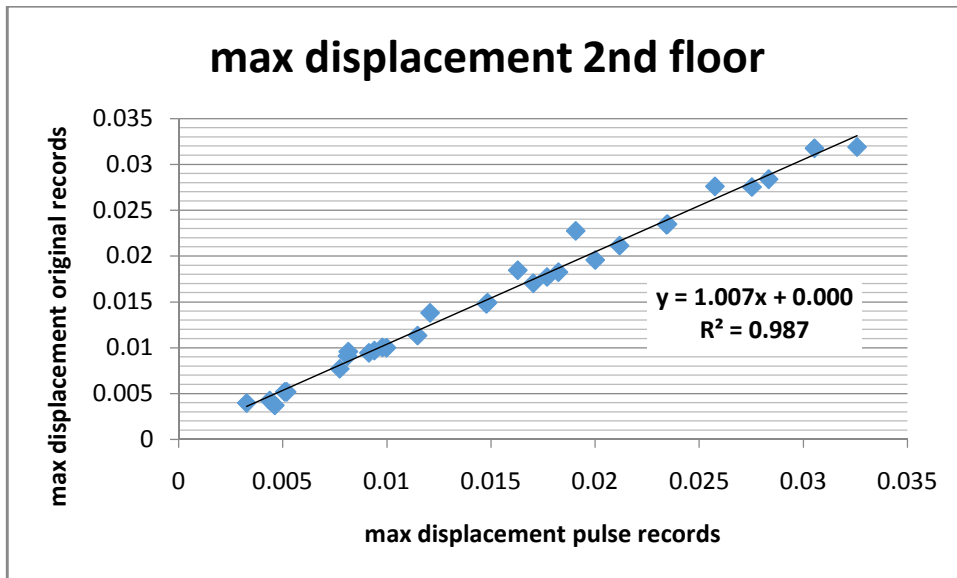
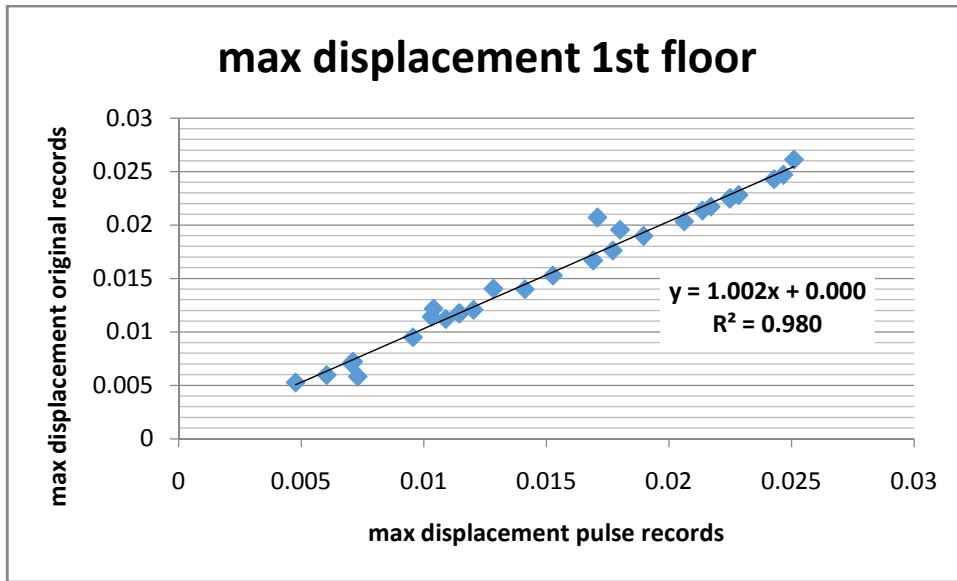


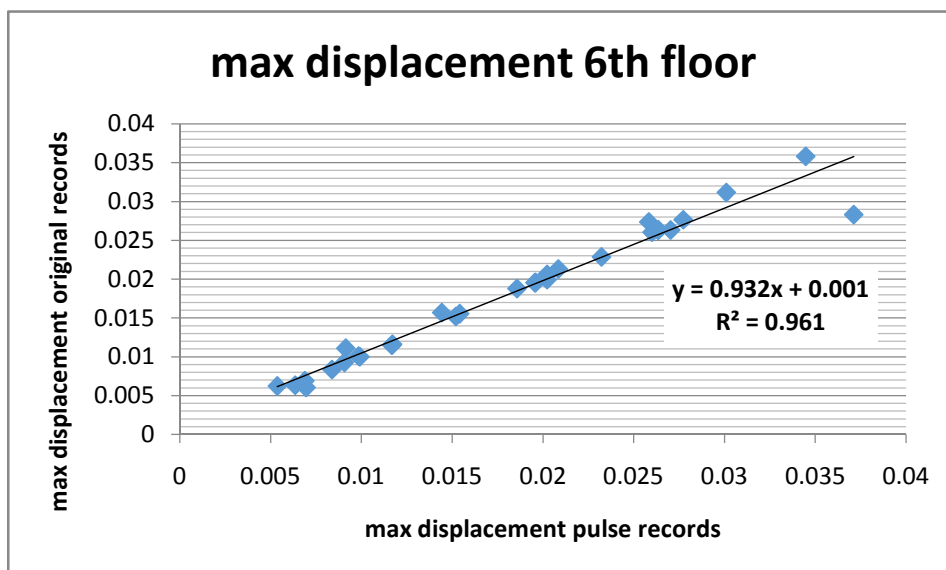
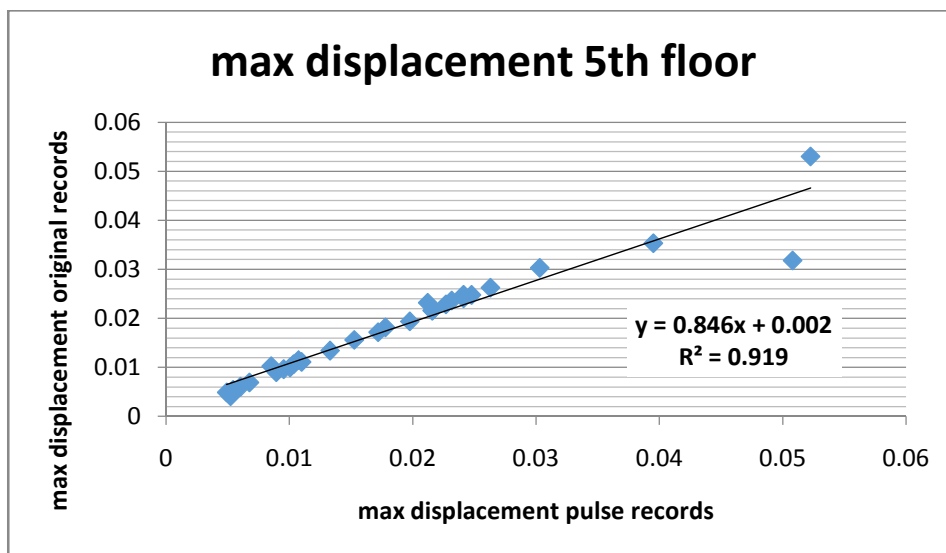
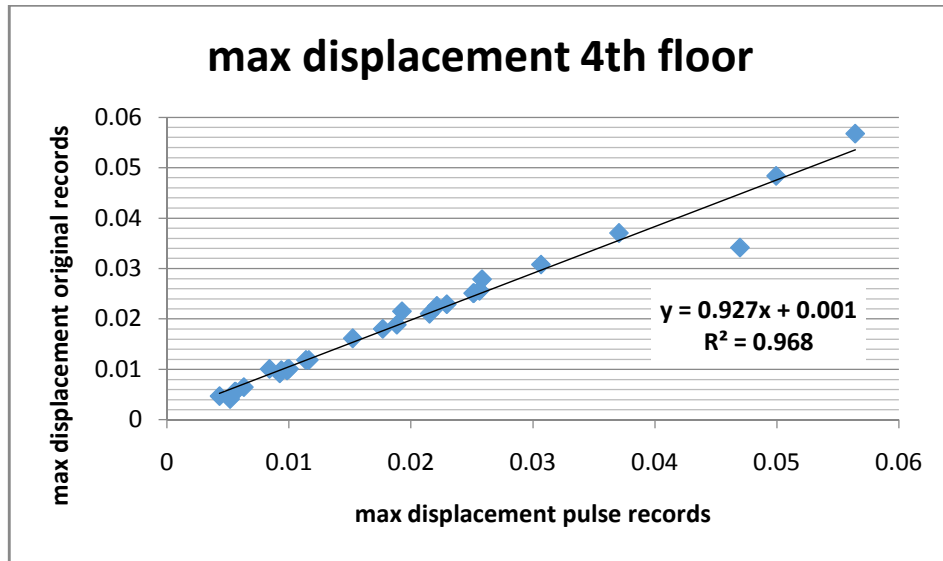
Διάγραμμα 5.7: Κατανομές drifts καθ'ύψος του κτηρίου αρχικών και παλμικών καταγραφών

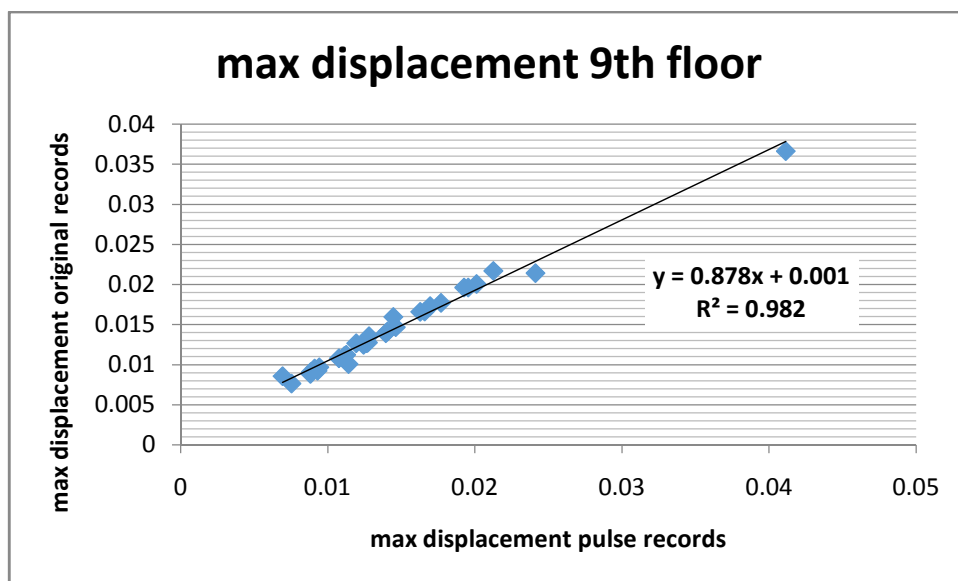
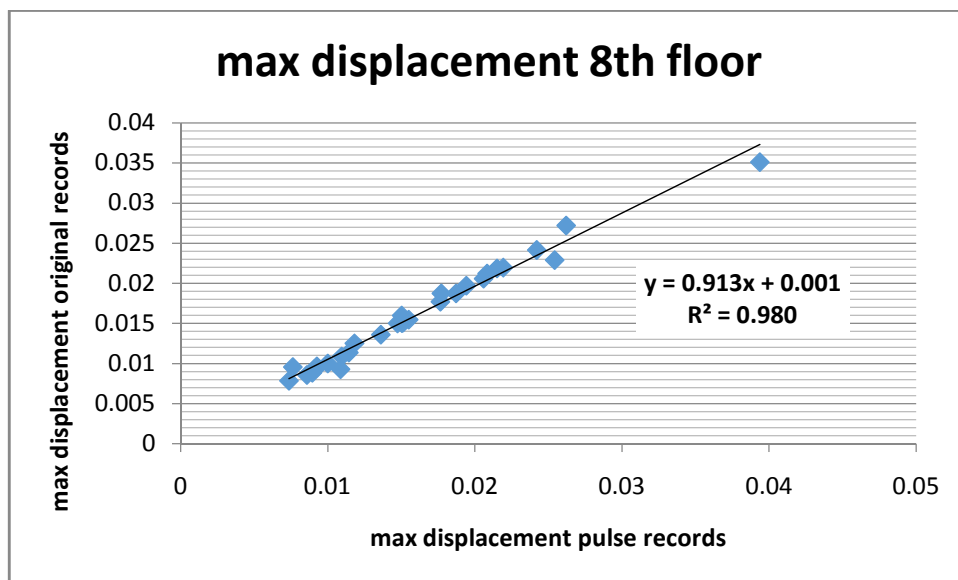
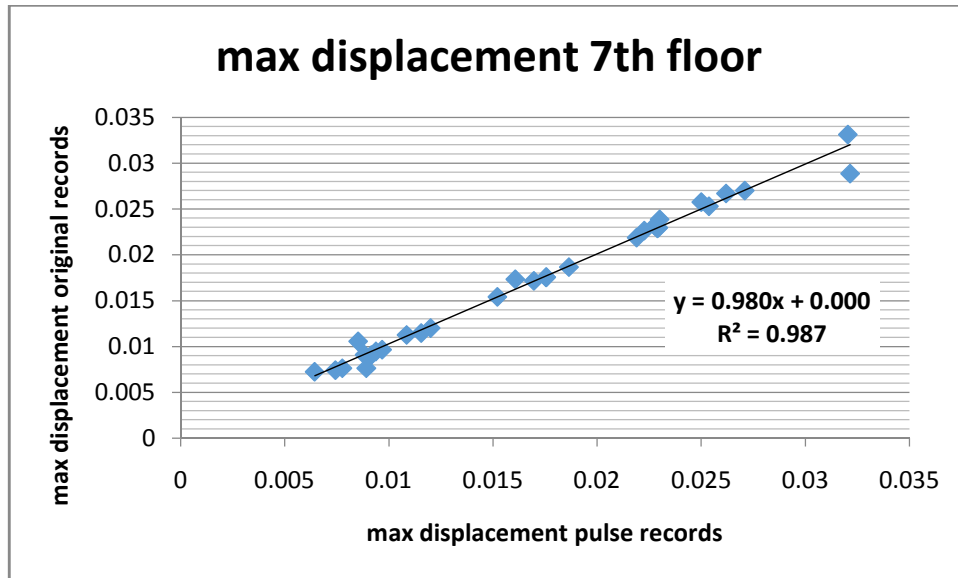
Οι σχετικές μετακινήσεις των ορόφων για αρχικές και παλμικές καταγραφές παρουσιάζουν υψηλή συσχέτιση μεταξύ τους.

5.3.2. Συσχέτιση της μέγιστης μετακίνησης αρχικής και παλμικής καταγραφής για το πολυβάθμιο σύστημα

Στα παρακάτω διαγράμματα παρατίθενται οι μέγιστες μετακινήσεις αρχικών και παλμικών καταγραφών, ο συντελεστής συσχέτισης τους και η σχέση γραμμικής παλινδρόμησης που τις συνδέει για κάθε όροφο.







Διάγραμμα 5.8: Συσχέτιση μέγιστων μετακινήσεων αρχικών και κομμένων καταγραφών για κάθε όροφο

Από τα διαγράμματα παρατηρείται υψηλή συσχέτιση μεταξύ των μέγιστων μετακινήσεων αρχικών και παλμικών καταγραφών με την ελάχιστη να ανέρχεται στο 91.9% για τον 5ο όροφο και τη μέγιστη στο 99.5% για τον 3ο όροφο. Ο μέσος όρος των συντελεστών συσχέτισης για όλους τους ορόφους είναι της τάξης του 97.3%.

6. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ- ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΔΙΑΡΚΕΙΩΝ

6.1. Στατιστική Επεξεργασία- Συγκρίσεις Διάρκειών για τις 220 καταγραφές του NGA

Για τις 220 καταγραφές που χρησιμοποιήθηκαν από τη βάση του NGA για ανάλυση, υπολογίστηκαν οι 4 κατηγορίες διάρκειών (ομοιόμορφη, οριοθετημένη, σημαντική και δρώσα) καθώς και η συνολική διάρκεια κάθε καταγραφής και συγκρίθηκαν με τη διάρκεια του παλμού προκειμένου να διερευνηθεί κατά πόσο μεταβάλλεται ο υπολογιστικός χρόνος με την εισαγωγή της νέας διάρκειας.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται όλες οι διάρκειες όπως υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα Seismosignal για κάθε καταγραφή και η νέα παλμική διάρκεια όπως υπολογίστηκε από το πρόγραμμα του εργαστηρίου. Πιο αναλυτικά, η ομοιόμορφη διάρκεια υπολογίστηκε ως το άθροισμα των τμημάτων της εδαφικής έντασης με εύρος μεγαλύτερο από το 5% της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης (5%*PGA), η οριοθετημένη υπολογίστηκε ως η διάρκεια μεταξύ της πρώτης και της τελευταίας τιμής με εύρος μεγαλύτερο του 5% της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, η σημαντική προσδιορίστηκε από τα όρια μεταξύ 5%-95% της συνολικής ενέργειας καταγραφής και η δρώσα βασίστηκε στον υπολογισμό της σημαντικής διάρκειας με τη διαφορά ότι τα όρια έναρξης και λήξης της καταγραφής αφορούν απόλυτες τιμές της.

α/α	ΑΡΧΕΙΟ	Total	Uniform	Bracketed	Significant	Effective	New
1	6	39,94	26,41	37,89	24,05	24,05	9,09
2	77	41,61	7,94	32,99	7,08	7,08	2,52
3	126	16,23	8,82	12,44	6,41	6,40	13,63
4	150	27,07	5,01	9,42	3,41	3,43	1,47
5	158	11,13	7,77	9,94	7,08	7,06	10,75
6	159	28,33	14,84	25,83	11,47	11,18	3,79
7	160	37,57	10,06	26,46	9,71	9,71	2,41
8	161	37,8	18,03	33,38	15,25	15,54	20,94
9	170	39,96	18,2	34,64	14,89	15,47	8,6
10	171	39,96	9,6	20,89	6,23	6,22	6
11	173	36,95	18,33	33,48	12,97	12,75	22,42
12	174	39,01	12,9	28,57	8,29	7,87	23,48
13	178	39,52	15,76	29,38	14,17	13,85	9,99
14	179	38,98	10,94	23,23	10,24	9,65	8,17
15	180	39,26	12,96	28,67	9,43	9,51	6,76
16	181	39,01	10,87	22,96	8,5	8	8,16
17	182	36,8	7,78	18,69	4,79	4,8	7,67
18	183	37,54	8,03	24,62	5,8	5,73	10,64
19	184	38,94	10,76	26,84	6,89	7	11,79
20	185	37,72	14,8	27,99	11,84	12,02	7,2

Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας

α/α	ΑΡΧΕΙΟ	Total	Uniform	Bracketed	Significant	Effective	New
21	250	25,93	8,41	19,58	7,2	7,4	2,26
22	292	39,31	20,98	35,36	16,64	18,06	14,99
23	316	39,98	21,61	35,93	17,31	18,08	6,6
24	319	39,96	9,86	28,33	6,36	6,77	5,18
25	338	39,94	18,36	35,17	9,47	9,39	7,63
26	368	39,92	11,61	29,08	8,04	7,9	11,97
27	407	21,22	4,66	11,06	2,87	2,88	1,92
28	415	21,74	4,67	12,98	3,76	3,73	2,29
29	418	39,98	1,57	7,37	0,72	0,73	0,68
30	451	29,93	4,69	8,49	3,08	3,02	3,26
31	459	29,96	9,8	22,08	6,88	7,04	3,01
32	495	20,53	7,1	13,25	7,81	7,81	6,66
33	496	19,92	8,85	17,23	9,96	9,52	11,68
34	503	30,57	14,1	25,44	11,18	11,97	3,42
35	508	29,1	9,32	20,1	7,76	8,83	3,05
36	527	20,12	10,69	18,23	6,51	5,71	10,29
37	529	20,01	5,64	13,02	4,47	4,46	2,41
38	540	19,99	6,83	17,9	5,13	4,61	3,49
39	558	39,94	10,84	32,65	7,01	7,02	5,65
40	568	9,01	4,72	8,21	3,77	3,77	1,72
41	569	20,22	8,08	17,15	5,89	5,9	2,95
42	615	39,97	10,09	26,77	8,14	7,58	2,02
43	645	32,08	9,31	27,43	8,22	9,11	1,92
44	721	39,96	19,29	34,21	18,83	18,87	42,69
45	723	22,28	14,96	19,82	10,5	10,6	4,07
46	725	22,24	15,93	20,52	13,02	13,02	7,77
47	727	22,15	11,86	19,29	12,1	12,09	7,55
48	729	43,97	25,52	40,64	28,93	29,08	21,16
49	732	35,8	13,85	24,19	8,25	8,2	7,36
50	738	29,56	8,37	26,46	6,01	6,11	13,33
51	741	24,94	13,63	17,59	9,47	9,47	8,06
52	752	39,92	20,15	33,68	14,66	14,48	10,29
53	753	39,91	10,83	20,03	7,86	7,97	10,27
54	758	39,17	15,11	32,36	12,03	11,89	6,61
55	759	59,96	23,76	43,16	21,57	20,38	12,34
56	764	39,92	11,7	22,61	12,42	13,12	4,53
57	765	39,91	7,47	18,12	5,14	5,22	2,51
58	766	39,93	10,86	22,49	10,07	9,35	7,34
59	767	39,91	8,97	21,75	7,67	7,88	2,82
60	768	39,91	14,54	33,77	13,65	14,04	10,43
61	776	59,92	24,71	52,62	20,05	20,02	22,01
62	777	39,05	20,46	33,63	15,89	15,61	23,83
63	778	39,6	16,43	32,72	13,14	13,07	27,14
64	779	24,94	12,78	19,4	10,12	10,11	10,1
65	783	39,96	8,36	23,51	5,98	5,98	5,28
66	787	39,54	15,75	32,51	11,23	11,77	11,69
67	802	39,93	11,45	30,35	8,43	8,42	8,89
68	803	39,91	14,13	31,41	12,42	13,27	10,16

Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας

α/α	ΑΡΧΕΙΟ	Total	Uniform	Bracketed	Significant	Effective	New
69	806	39,21	25,44	34,21	25,38	24,89	12,55
70	811	24,94	14,73	21,7	10,92	10,88	2,34
71	821	20,76	9,38	19,06	6,88	6,95	5,08
72	825	29,94	4,61	19,35	7,02	7,15	6,28
73	828	35,96	12,56	23,25	16,21	16,2	4,55
74	829	35,9	13,17	31,32	14,88	14,9	1,75
75	838	39,96	20,62	35,71	17,26	19,07	14,4
76	864	43,97	29,23	41,64	25,99	25,88	11,35
77	879	48,11	17,44	37,12	12,88	12,86	7,29
78	900	43,97	21,83	39,26	16,95	16,6	14,65
79	901	59,93	12,57	45,01	10,65	10,63	3,19
80	949	39,9	14,74	31,57	13,79	13,86	7,4
81	952	23,92	9,86	21,34	7,6	7,6	2,12
82	953	29,93	13,72	21,92	9,94	9,86	3,74
83	959	24,93	15,06	21,53	11,09	11,12	4,23
84	960	19,93	9,46	17,29	6,1	6,15	10,16
85	963	39,9	15,78	30,27	8,62	8,58	3,08
86	982	28,59	11,11	24,92	8,04	8,19	8,78
87	983	28,59	11,12	24,92	8,04	8,17	8,78
88	1003	31,53	10,05	23,12	11,54	11,52	1,44
89	1009	55,31	15,94	41,35	15,31	14,81	4,91
90	1012	59,99	10,18	21,72	7,6	7,96	1,25
91	1013	26,55	6,95	17,4	6,46	6,5	3,23
92	1044	39,9	8,78	22,5	6,16	6,17	1,8
93	1045	24,96	9,78	20,1	7,07	7,08	3,56
94	1048	29,93	16,72	27,25	11,8	11,76	11,03
95	1050	19,96	4,43	15,62	3,81	3,82	10,71
96	1051	39,96	7,27	23,64	5,98	5,99	1,45
97	1052	39,9	19,05	35,38	10,61	10,33	10,62
98	1063	19,88	10	18,27	7,15	7,15	2,1
99	1077	39,9	10,81	26,71	9,8	9,94	13,99
100	1080	24,93	5,7	12,9	5,76	5,78	2,21
101	1081	39,94	10,16	21,15	7,56	7,24	2,49
102	1082	30,22	17,33	27,98	15,58	15,89	15,56
103	1084	39,98	15,27	34,96	13,51	13,25	10,02
104	1085	39,98	8,09	19,6	7,25	7,24	5,2
105	1086	39,96	7,57	15,28	5,77	5,76	8,9
106	1087	39,9	12,29	27,07	12,57	12,57	7,97
107	1106	47,91	11,06	21,89	9,54	9,56	2,63
108	1111	40,9	13,33	29,24	9,54	9,55	4,55
109	1116	40,9	17,45	30,43	13,32	12,72	4,54
110	1119	40,93	7,64	16,33	5,07	5,1	2,82
111	1120	40,93	16,03	26,34	10,78	10,78	6,44
112	1141	27,95	19,15	26,31	16,67	16,39	10,85
113	1147	150,32	33,42	70,54	36,91	36,92	23,63
114	1158	27,12	14,7	23,23	11,65	11,64	7,71
115	1161	27,98	10,04	20,39	7,49	7,8	8,49
116	1176	34,94	14,11	25,87	14,79	14,72	9,38

Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας

α/α	ΑΡΧΕΙΟ	Total	Uniform	Bracketed	Significant	Effective	New
117	1180	149,9	71,63	116,03	54,8	54,75	33,82
118	1182	149,97	28,69	57,54	25,86	26,07	3,65
119	1193	89,94	30,25	55,11	24,13	24,52	8,69
120	1194	89,94	44,75	61,6	33,65	34,42	49,92
121	1195	89,94	51,97	64,42	43,11	43,16	33,98
122	1197	89,94	13,63	40,59	8,28	8,29	5,96
123	1198	89,94	23,15	56,01	25,02	25,03	17,88
124	1201	196,91	31,74	79,4	27,74	27,54	3,23
125	1202	89,98	30,39	57,57	28,11	27,87	6,29
126	1203	89,94	37,43	60,81	27,68	27,67	27,96
127	1231	89,94	14,19	32,77	16,56	16,55	3,65
128	1238	149,9	63,28	111,49	43,3	43,03	17,09
129	1244	89,98	26,81	57,74	29,09	29,24	11,71
130	1246	149,9	68,01	107,13	50,63	50,72	26,07
131	1403	52,91	24,43	36,65	19,3	19,62	30,01
132	1410	174,98	49,78	108,24	29,37	30,05	9,76
133	1462	52,91	31,73	45,71	22,51	22,65	8,8
134	1463	89,94	52,49	64,34	41,01	41,16	28,64
135	1471	89,94	35	56,49	26,18	26,16	20,17
136	1472	89,94	40,97	57,92	26,16	25,55	19
137	1475	89,94	32,55	57,71	22,62	25,31	16,95
138	1476	89,98	24,49	48,68	19,19	20,07	11,99
139	1477	89,98	39,17	56,77	24,09	23,02	13,32
140	1478	89,94	33,31	54,05	25,46	25,46	24,11
141	1479	89,98	22,35	47,09	19,28	19,37	18,45
142	1480	89,98	35,63	55,12	22,94	22,91	10,49
143	1481	89,98	36,64	56,59	27,65	26,59	11,81
144	1482	89,94	36,85	57,71	26,61	26,31	32,75
145	1483	89,98	35,83	56,66	25,25	25,51	12,49
146	1484	89,98	27,67	50	18,47	18,33	28,75
147	1485	89,94	13,98	31,68	12,68	12,84	18,99
148	1486	84,98	25,59	47,37	18,55	18,76	19,68
149	1487	89,94	17,36	40,07	14,37	14,49	20,17
150	1489	89,98	24,6	43,98	21,51	21,36	20,64
151	1490	89,94	34,11	61,98	25,54	25,78	23,96
152	1491	89,94	32,32	60,25	24,73	24,24	20,17
153	1492	89,94	26,42	47,11	17,67	17,67	12,33
154	1493	89,98	25,62	45,96	22,03	21,69	21,55
155	1494	89,98	31,78	59,51	22,89	22,91	15,23
156	1495	55,91	30,52	47,49	23,45	23,35	8,17
157	1496	89,98	39,4	62,18	26,95	25,79	24,65
158	1497	89,94	36,21	59,58	27,32	27,27	15,97
159	1498	89,94	44,79	58,73	33,46	33,59	15,29
160	1499	89,98	24,63	45,28	21,28	21,97	26,35
161	1500	89,94	44,55	62,36	35,15	34,33	16,16
162	1501	89,94	43,78	62,43	33,22	33,54	19,72
163	1502	89,94	37,77	58,08	27,51	27,28	29,03
164	1503	89,98	25,62	48,12	28,19	28,48	17,46

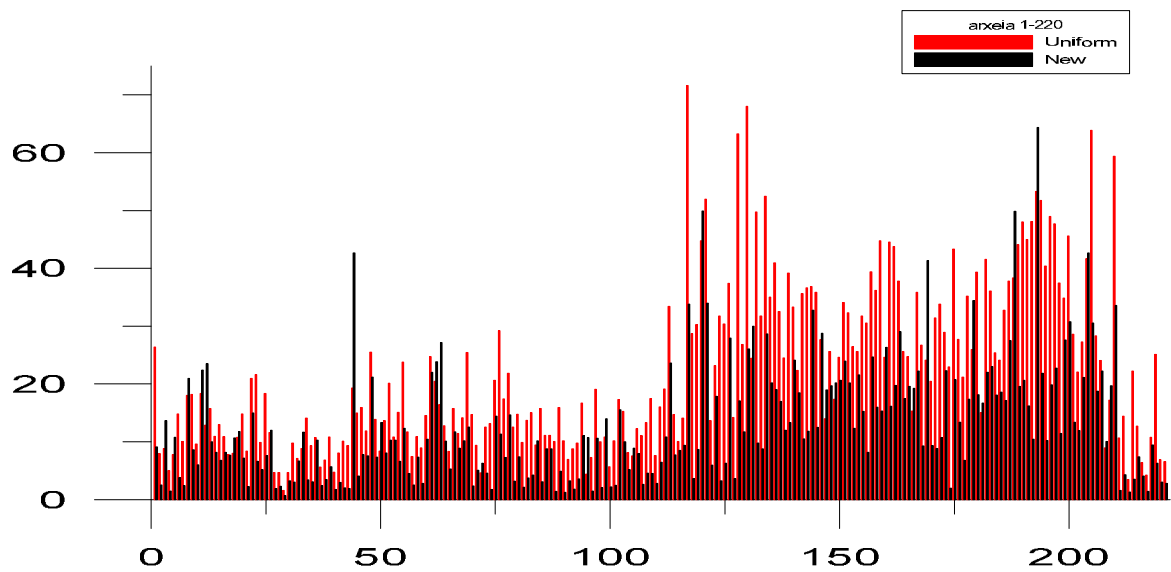
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας

α/α	ΑΡΧΕΙΟ	Total	Uniform	Bracketed	Significant	Effective	New
165	1504	89,94	24,71	46,49	21,92	21,81	19,55
166	1505	89,98	15,29	32,19	12,54	12,58	19,27
167	1506	89,94	35,83	58,9	27,83	27,6	22,21
168	1507	89,94	26,73	61,15	24,37	24,38	9,29
169	1508	89,94	24,1	48,33	21,9	21,86	41,36
170	1509	89,94	20,44	45,06	12,35	12,35	9,35
171	1510	89,98	31,41	59,11	27,03	27,11	8,81
172	1511	89,98	33,79	59,91	29,48	29,68	10,73
173	1512	89,94	28,96	47,26	25,98	26,06	22,31
174	1514	89,94	43,34	59,96	33,67	33,77	20,72
175	1515	89,98	27,69	54,5	22,6	23,12	13,39
176	1517	89,94	21,19	34,89	14,63	14,66	6,76
177	1519	89,98	35,19	57,3	21,85	22,04	17,36
178	1521	78,9	25,93	40,54	24,13	24,08	34,4
179	1523	89,94	39,36	59,52	30,02	30,11	18,14
180	1524	89,94	15,01	36,51	13,86	13,58	16,67
181	1526	89,98	41,55	59,7	33,23	33,38	22,03
182	1527	89,94	36,1	59,5	26,39	26,39	23,01
183	1528	48,98	25,41	40,16	18,76	19,19	18,06
184	1529	89,98	24,11	48,65	16,51	16,53	18,59
185	1530	89,98	32,74	56,96	20,92	21,06	17,15
186	1531	89,98	37,77	60,12	28,71	29,07	27,52
187	1532	89,94	38,37	57,11	28,2	27,56	49,89
188	1533	89,94	44,11	63,3	33,69	33,68	19,6
189	1534	89,94	48,03	64,47	37,46	37,21	20,63
190	1535	89,94	44,98	61,2	32,31	31,83	16,19
191	1536	89,94	48,1	64,98	34,48	34,5	10,44
192	1538	89,94	53,29	64,59	49,09	49,42	64,39
193	1540	89,94	51,77	64,55	44,13	44,49	21,83
194	1541	89,94	40,42	61,18	28,98	29,27	10,23
195	1542	89,94	48,96	62,09	32,54	32,64	19,83
196	1543	89,94	47,72	62,41	44,36	43,77	22,74
197	1545	89,94	37,47	63,61	32,03	31,92	11,44
198	1546	89,94	34,87	60,81	30,93	31,21	27,59
199	1547	89,94	45,59	62,46	35,32	35,18	30,75
200	1548	89,98	28,58	49,05	20,69	21,03	13,39
201	1549	89,94	22,06	47,24	27,01	27,06	11,91
202	1550	89,97	27,27	54,52	19,76	19,62	21,11
203	1551	149,9	41,69	75,75	34,02	33,88	42,65
204	1553	149,9	63,85	114,47	50,74	51,93	30,56
205	1595	58,91	28,32	46,26	27,35	27,29	18,73
206	1596	59,91	24,06	47,41	26,98	26,97	22,24
207	1602	55,81	8,94	17,21	8,47	8,47	10,07
208	1605	25,82	17,19	24,04	10,91	10,95	19,7
209	1629	82,88	59,39	78,94	43,25	40,94	33,58
210	1752	59,97	10,65	36,63	9,44	11,85	1,56
211	1787	45,23	14,42	29,65	9,7	9,35	4,32
212	1853	71,98	3,47	11,14	3,25	3,28	1,32

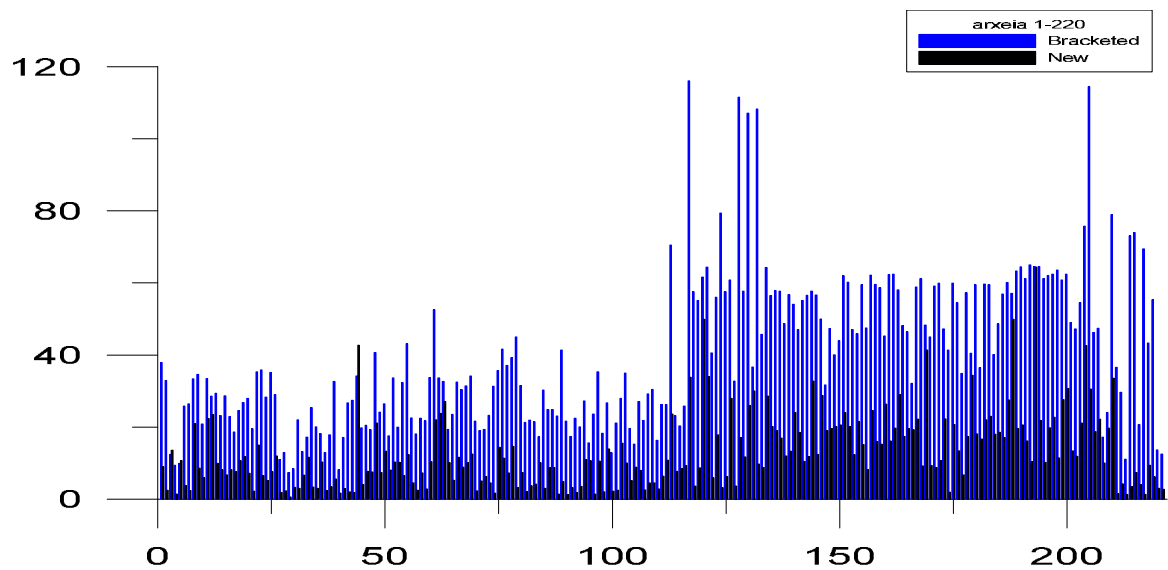
α/α	ΑΡΧΕΙΟ	Total	Uniform	Bracketed	Significant	Effective	New
213	2114	92,02	22,24	73,08	19,04	19,27	3,52
214	2457	99,02	12,73	74,01	8,56	8,48	7,37
215	2495	74,98	6,39	20,71	2,92	2,92	4,06
216	2627	95,98	4,22	69,42	3,01	3,0	1,39
217	2734	111,99	10,75	43,38	6,0	6,01	9,45
218	3317	71,98	25,09	55,32	18,4	18,56	6,26
219	3474	69,96	6,88	13,72	3,99	3,98	3,03
220	3548	39,86	6,55	12,55	4,35	4,35	2,78

Πίνακας 6.1: Διάρκειες καταγραφών σε (sec)

Στα παρακάτω γραφήματα παρουσιάζονται οι τέσσερις κατηγορίες διαρκειών συγκρινόμενες με τη νέα διάρκεια.

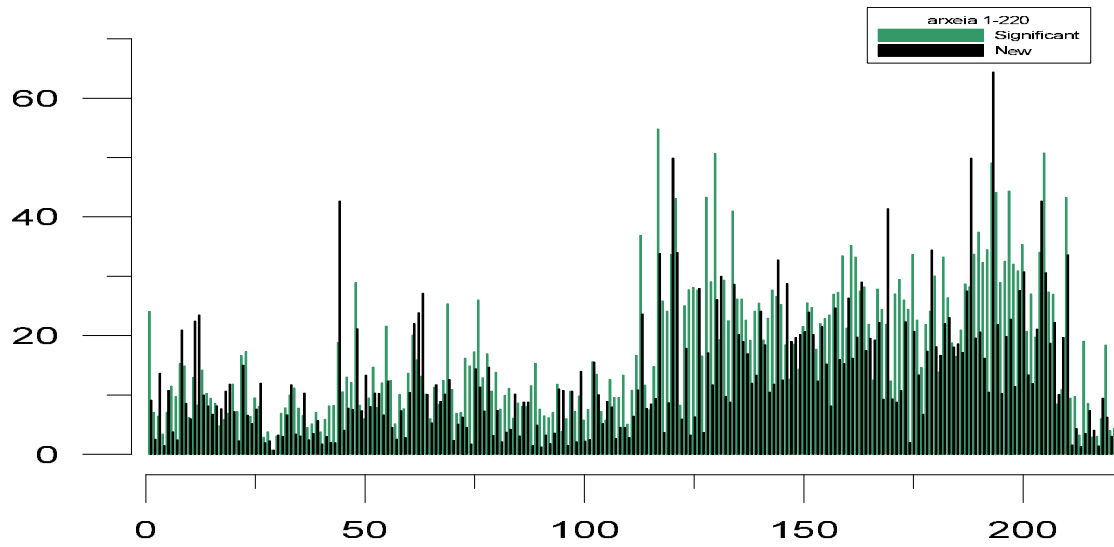


Διάγραμμα 6.1: Σύγκριση ομοιόμορφης με νέα διάρκεια

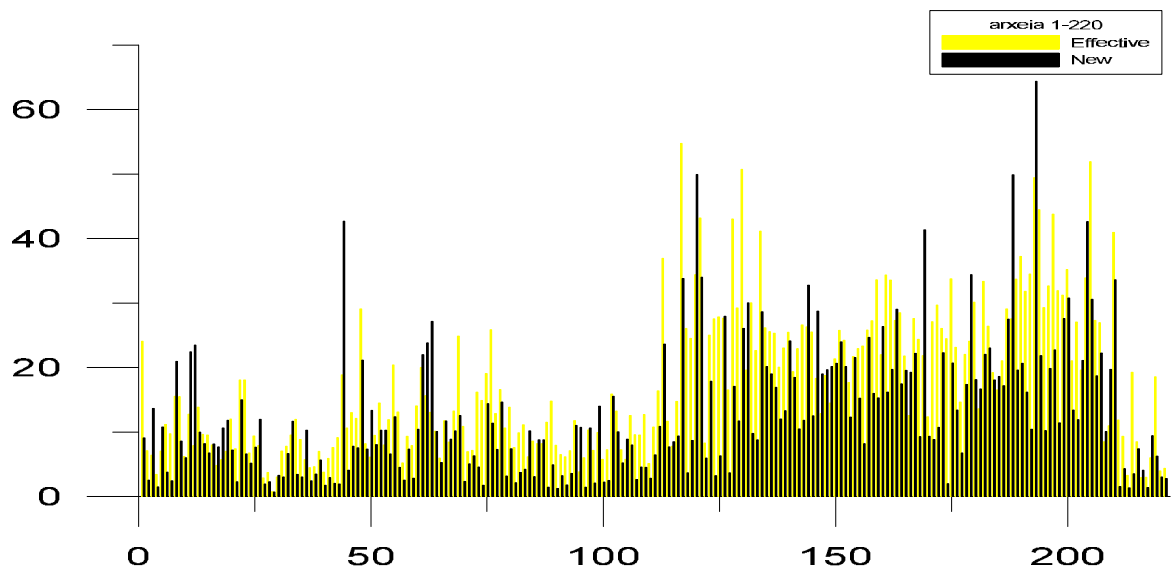


Διάγραμμα 6.2: Σύγκριση οριοθετημένης με νέα διάρκεια

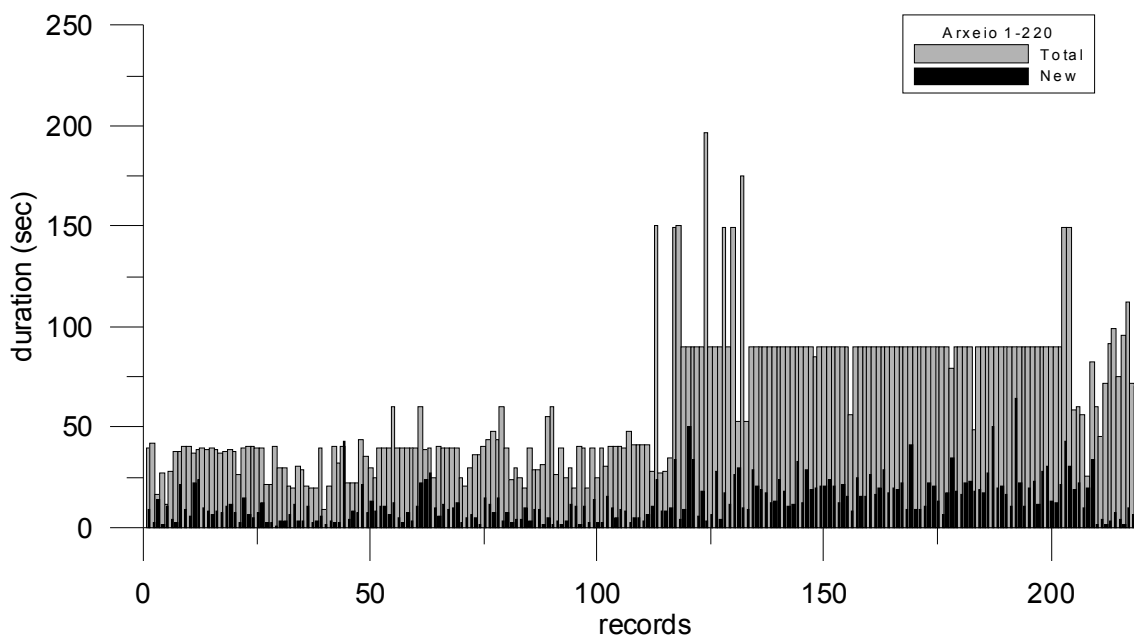
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



Διάγραμμα 6.3: Σύγκριση σημαντικής με νέα διάρκεια



Διάγραμμα 6.4: Σύγκριση δρώσας με νέα διάρκεια



Διάγραμμα 6.5: Σύγκριση συνολικής με νέα διάρκεια

Όπως παρατηρείται από τα παραπάνω γραφήματα, για τις περισσότερες καταγραφές η παλμική διάρκεια έχει τη μικρότερη διάρκεια από τις υπόλοιπες, με τις μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις να παρουσιάζονται αρχικά μεταξύ της συνολικής με την παλμική διάρκεια και έπειτα μεταξύ της οριοθετημένης με την παλμική διάρκεια, ενώ λόγω των ορισμών τους η σημαντική και η δρώσα διάρκεια παρουσιάζουν σχεδόν τις ίδιες διαφοροποιήσεις σε σύγκριση με τη νέα διάρκεια.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η ποσοστιαία μεταβολή των πέντε διαρκειών έναντι της παλμικής διάρκειας, καθώς και η μέση μεταβολή κάθε μίας από αυτές σε σχέση με τη νέα. Επισημαίνεται ότι θετική μεταβολή υποδεικνύει ότι η παλμική διάρκεια είναι μικρότερη από τις άλλες κατηγορίες διαρκειών, ενώ αντιστοίχως αρνητική μεταβολή υποδεικνύει ότι η παλμική διάρκεια είναι μεγαλύτερη από αυτές.

ΑΡΧΕΙΟ	Μεταβολή Total (%)	Μεταβολή Uniform (%)	Μεταβολή Bracketed (%)	Μεταβολή Significant (%)	Μεταβολή Effective (%)
6	77,241	65,58	76,01	62,20	62,20
77	93,944	68,26	92,36	64,41	64,41
126	16,020	-54,54	-9,57	-112,64	-112,97
150	94,570	70,66	84,39	56,89	57,14
158	3,414	-38,35	-8,15	-51,84	-52,27
159	86,622	74,46	85,33	66,96	66,10
160	93,585	76,04	90,89	75,18	75,18
161	44,603	-16,14	37,27	-37,31	-34,75
170	78,478	52,75	75,17	42,24	44,41
171	84,985	37,50	71,28	3,69	3,54
173	39,323	-22,31	33,03	-72,86	-75,84
174	39,810	-82,02	17,82	-183,23	-198,35
178	74,722	36,61	66,00	29,50	27,87
179	79,041	25,32	64,83	20,21	15,34
180	82,781	47,84	76,42	28,31	28,92

Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας

ΑΡΧΕΙΟ	Μεταβολή Total (%)	Μεταβολή Uniform (%)	Μεταβολή Bracketed (%)	Μεταβολή Significant (%)	Μεταβολή Effective (%)
181	79,082	24,93	64,46	4,00	-2,00
182	79,158	1,41	58,96	-60,13	-59,79
183	71,657	-32,50	56,78	-83,45	-85,69
184	69,723	-9,57	56,07	-71,12	-68,43
185	80,912	51,35	74,28	39,19	40,10
250	91,284	73,13	88,46	68,61	69,46
292	61,867	28,55	57,61	9,92	17,00
316	83,492	69,46	81,63	61,87	63,50
319	87,037	47,46	81,72	18,55	23,49
338	80,896	58,44	78,31	19,43	18,74
368	70,015	-3,10	58,84	-48,88	-51,52
407	90,952	58,80	82,64	33,10	33,33
415	89,466	50,96	82,36	39,10	38,61
418	98,299	56,69	90,77	5,56	6,85
451	89,108	30,49	61,60	-5,84	-7,95
459	89,953	69,29	86,37	56,25	57,24
495	67,560	6,20	49,74	14,72	14,72
496	41,365	-31,98	32,21	-17,27	-22,69
503	88,813	75,74	86,56	69,41	71,43
508	89,519	67,27	84,83	60,70	65,46
527	48,857	3,74	43,55	-58,06	-80,21
529	87,956	57,27	81,49	46,09	45,96
540	82,541	48,90	80,50	31,97	24,30
558	85,854	47,88	82,70	19,40	19,52
568	80,910	63,56	79,05	54,38	54,38
569	85,410	63,49	82,80	49,92	50,00
615	94,946	79,98	92,45	75,18	73,35
645	94,015	79,38	93,00	76,64	78,92
721	-6,832	-121,31	-24,79	-126,71	-126,23
723	81,732	72,79	79,47	61,24	61,60
725	65,063	51,22	62,13	40,32	40,32
727	65,914	36,34	60,86	37,60	37,55
729	51,876	17,08	47,93	26,86	27,24
732	79,441	46,86	69,57	10,79	10,24
738	54,905	-59,26	49,62	-121,80	-118,17
741	67,682	40,87	54,18	14,89	14,89
752	74,223	48,93	69,45	29,81	28,94
753	74,267	5,17	48,73	-30,66	-28,86
758	83,125	56,25	79,57	45,05	44,41
759	79,420	48,06	71,41	42,79	39,45
764	88,652	61,28	79,96	63,53	65,47
765	93,711	66,40	86,15	51,17	51,92
766	81,618	32,41	67,36	27,11	21,50
767	92,934	68,56	87,03	63,23	64,21
768	73,866	28,27	69,11	23,59	25,71
776	63,268	10,93	58,17	-9,78	-9,94
777	38,976	-16,47	29,14	-49,97	-52,66

Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας

ΑΡΧΕΙΟ	Μεταβολή Total (%)	Μεταβολή Uniform (%)	Μεταβολή Bracketed (%)	Μεταβολή Significant (%)	Μεταβολή Effective (%)
778	31,465	-65,19	17,05	-106,54	-107,65
779	59,503	20,97	47,94	0,20	0,10
783	86,787	36,84	77,54	11,71	11,71
787	70,435	25,78	64,04	-4,10	0,68
802	77,736	22,36	70,71	-5,46	-5,58
803	74,543	28,10	67,65	18,20	23,44
806	67,993	50,67	63,31	50,55	49,58
811	90,617	84,11	89,22	78,57	78,49
821	75,530	45,84	73,35	26,16	26,91
825	79,025	-36,23	67,55	10,54	12,17
828	87,347	63,77	80,43	71,93	71,91
829	95,125	86,71	94,41	88,24	88,26
838	63,964	30,16	59,68	16,57	24,49
864	74,187	61,17	72,74	56,33	56,14
879	84,847	58,20	80,36	43,40	43,31
900	66,682	32,89	62,68	13,57	11,75
901	94,677	74,62	92,91	70,05	69,99
949	81,454	49,80	76,56	46,34	46,61
952	91,137	78,50	90,07	72,11	72,11
953	87,504	72,74	82,94	62,37	62,07
959	83,032	71,91	80,35	61,86	61,96
960	49,022	-7,40	41,24	-66,56	-65,20
963	92,281	80,48	89,82	64,27	64,10
982	69,290	20,97	64,77	-9,20	-7,20
983	69,290	21,04	64,77	-9,20	-7,47
1003	95,433	85,67	93,77	87,52	87,50
1009	91,123	69,20	88,13	67,93	66,85
1012	97,916	87,72	94,24	83,55	84,30
1013	87,834	53,53	81,44	50,00	50,31
1044	95,489	79,50	92,00	70,78	70,83
1045	85,737	63,60	82,29	49,65	49,72
1048	63,147	34,03	59,52	6,53	6,21
1050	46,343	-141,76	31,43	-181,10	-180,37
1051	96,371	80,06	93,87	75,75	75,79
1052	73,383	44,25	69,98	-0,09	-2,81
1063	89,437	79,00	88,51	70,63	70,63
1077	64,937	-29,42	47,62	-42,76	-40,74
1080	91,135	61,23	82,87	61,63	61,76
1081	93,766	75,49	88,23	67,06	65,61
1082	48,511	10,21	44,39	0,13	2,08
1084	74,937	34,38	71,34	25,83	24,38
1085	86,993	35,72	73,47	28,28	28,18
1086	77,728	-17,57	41,75	-54,25	-54,51
1087	80,025	35,15	70,56	36,60	36,60
1106	94,511	76,22	87,99	72,43	72,49
1111	88,875	65,87	84,44	52,31	52,36
1116	88,900	73,98	85,08	65,92	64,31

Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας

ΑΡΧΕΙΟ	Μεταβολή Total (%)	Μεταβολή Uniform (%)	Μεταβολή Bracketed (%)	Μεταβολή Significant (%)	Μεταβολή Effective (%)
1119	93,110	63,09	82,73	44,38	44,71
1120	84,266	59,83	75,55	40,26	40,26
1141	61,181	43,34	58,76	34,91	33,80
1147	84,280	29,29	66,50	35,98	36,00
1158	71,571	47,55	66,81	33,82	33,76
1161	69,657	15,44	58,36	-13,35	-8,85
1176	73,154	33,52	63,74	36,58	36,28
1180	77,438	52,79	70,85	38,28	38,23
1182	97,566	87,28	93,66	85,89	86,00
1193	90,338	71,27	84,23	63,99	64,56
1194	44,496	-11,55	18,96	-48,35	-45,03
1195	62,219	34,62	47,25	21,18	21,27
1197	93,373	56,27	85,32	28,02	28,11
1198	80,120	22,76	68,08	28,54	28,57
1201	98,360	89,82	95,93	88,36	88,27
1202	93,010	79,30	89,07	77,62	77,43
1203	68,913	25,30	54,02	-1,01	-1,05
1231	95,942	74,28	88,86	77,96	77,95
1238	88,599	72,99	84,67	60,53	60,28
1244	86,986	56,32	79,72	59,75	59,95
1246	82,608	61,67	75,67	48,51	48,60
1403	43,281	-22,84	18,12	-55,49	-52,96
1410	94,422	80,39	90,98	66,77	67,52
1462	83,368	72,27	80,75	60,91	61,15
1463	68,157	45,44	55,49	30,16	30,42
1471	77,574	42,37	64,29	22,96	22,90
1472	78,875	53,62	67,20	27,37	25,64
1475	81,154	47,93	70,63	25,07	33,03
1476	86,675	51,04	75,37	37,52	40,26
1477	85,197	65,99	76,54	44,71	42,14
1478	73,193	27,62	55,39	5,30	5,30
1479	79,495	17,45	60,82	4,30	4,75
1480	88,342	70,56	80,97	54,27	54,21
1481	86,875	67,77	79,13	57,29	55,58
1482	63,587	11,13	43,25	-23,07	-24,48
1483	86,119	65,14	77,96	50,53	51,04
1484	68,048	-3,90	42,50	-55,66	-56,85
1485	78,886	-35,84	40,06	-49,76	-47,90
1486	76,842	23,09	58,45	-6,09	-4,90
1487	77,574	-16,19	49,66	-40,36	-39,20
1489	77,062	16,10	53,07	4,04	3,37
1490	73,360	29,76	61,34	6,19	7,06
1491	77,574	37,59	66,52	18,44	16,79
1492	86,291	53,33	73,83	30,22	30,22
1493	76,050	15,89	53,11	2,18	0,65
1494	83,074	52,08	74,41	33,46	33,52
1495	85,387	73,23	82,80	65,16	65,01

Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας

ΑΡΧΕΙΟ	Μεταβολή Total (%)	Μεταβολή Uniform (%)	Μεταβολή Bracketed (%)	Μεταβολή Significant (%)	Μεταβολή Effective (%)
1496	72,605	37,44	60,36	8,53	4,42
1497	82,244	55,90	73,20	41,54	41,44
1498	83,000	65,86	73,97	54,30	54,48
1499	70,716	-6,98	41,81	-23,83	-19,94
1500	82,032	63,73	74,09	54,03	52,93
1501	78,074	54,96	68,41	40,64	41,20
1502	67,723	23,14	50,02	-5,53	-6,41
1503	80,596	31,85	63,72	38,06	38,69
1504	78,263	20,88	57,95	10,81	10,36
1505	78,584	-26,03	40,14	-53,67	-53,18
1506	75,306	38,01	62,29	20,19	19,53
1507	89,671	65,25	84,81	61,88	61,89
1508	54,014	-71,62	14,42	-88,86	-89,20
1509	89,604	54,26	79,25	24,29	24,29
1510	90,209	71,95	85,10	67,41	67,50
1511	88,075	68,25	82,09	63,60	63,85
1512	75,195	22,96	52,79	14,13	14,39
1514	76,962	52,19	65,44	38,46	38,64
1515	85,119	51,64	75,43	40,75	42,08
1517	92,484	68,10	80,62	53,79	53,89
1519	80,707	50,67	69,70	20,55	21,23
1521	56,401	-32,66	15,15	-42,56	-42,86
1523	79,831	53,91	69,52	39,57	39,75
1524	81,465	-11,06	54,34	-20,27	-22,75
1526	75,517	46,98	63,10	33,70	34,00
1527	74,416	36,26	61,33	12,81	12,81
1528	63,128	28,93	55,03	3,73	5,89
1529	79,340	22,90	61,79	-12,60	-12,46
1530	80,940	47,62	69,89	18,02	18,57
1531	69,415	27,14	54,22	4,14	5,33
1532	44,530	-30,02	12,64	-76,91	-81,02
1533	78,208	55,57	69,04	41,82	41,81
1534	77,062	57,05	68,00	44,93	44,56
1535	81,999	64,01	73,55	49,89	49,14
1536	88,392	78,30	83,93	69,72	69,74
1538	28,408	-20,83	0,31	-31,17	-30,29
1540	75,728	57,83	66,18	50,53	50,93
1541	88,626	74,69	83,28	64,70	65,05
1542	77,952	59,50	68,06	39,06	39,25
1543	74,716	52,35	63,56	48,74	48,05
1545	87,280	69,47	82,02	64,28	64,16
1546	69,324	20,88	54,63	10,80	11,60
1547	65,811	32,55	50,77	12,94	12,59
1548	85,119	53,15	72,70	35,28	36,33
1549	86,758	46,01	74,79	55,91	55,99
1550	76,537	22,59	61,28	-6,83	-7,59
1551	71,548	-2,30	43,70	-25,37	-25,89

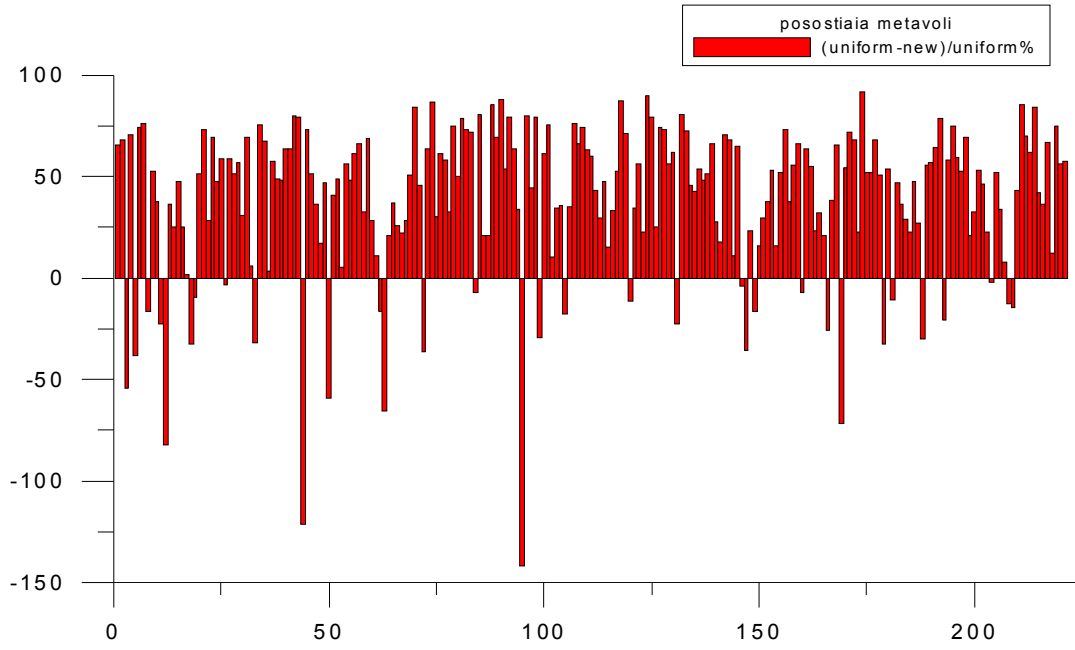
ΑΡΧΕΙΟ	Μεταβολή Total (%)	Μεταβολή Uniform (%)	Μεταβολή Bracketed (%)	Μεταβολή Significant (%)	Μεταβολή Effective (%)
1553	79,613	52,14	73,30	39,77	41,15
1595	68,206	33,86	59,51	31,52	31,37
1596	62,878	7,56	53,09	17,57	17,54
1602	81,957	-12,64	41,49	-18,89	-18,89
1605	23,703	-14,60	18,05	-80,57	-79,91
1629	59,484	43,46	57,46	22,36	17,98
1752	97,399	85,35	95,74	83,47	86,84
1787	90,449	70,04	85,43	55,46	53,80
1853	98,166	61,96	88,15	59,38	59,76
2114	96,175	84,17	95,18	81,51	81,73
2457	92,557	42,11	90,04	13,90	13,09
2495	94,585	36,46	80,40	-39,04	-39,04
2627	98,552	67,06	98,00	53,82	53,67
2734	91,562	12,09	78,22	-57,50	-57,24
3317	91,303	75,05	88,68	65,98	66,27
3474	95,669	55,96	77,92	24,06	23,87
3548	93,026	57,56	77,85	36,09	36,09
πλήθος	220	220	220	220	220
άθροισμα	17008,1971	8405,17	14781,18	4669,35	4656,90
Μ.Ο. μεταβολής (%)	77,31	38,21	67,19	21,22	21,17

Πίνακας 6.2: Μεταβολή διαρκειών έναντι της νέας

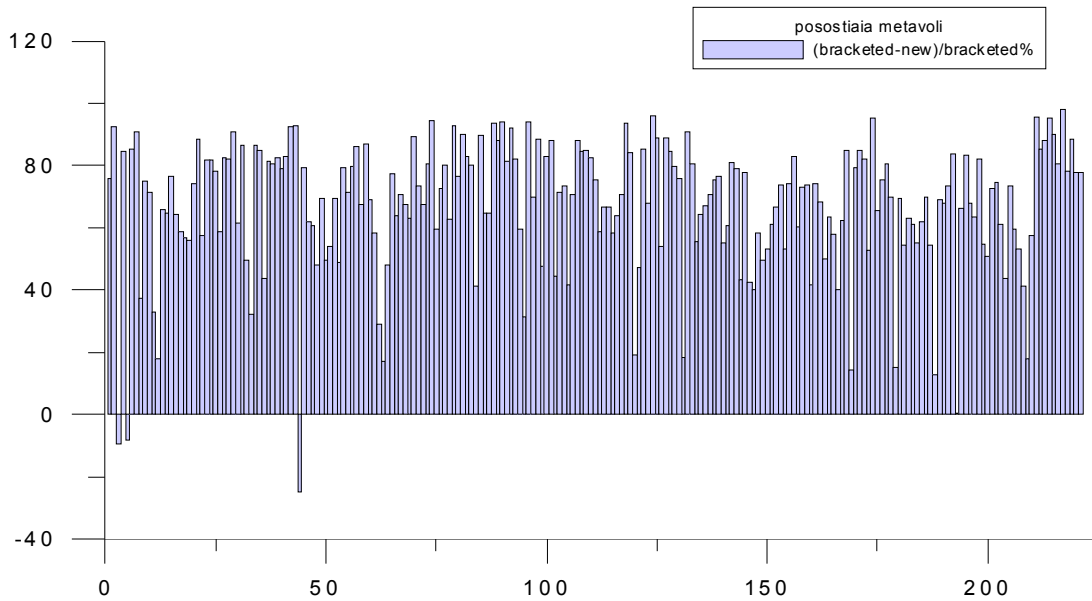
Όπως γίνεται αντιληπτό από τον πίνακα οι μέσες τιμές διάρκειας για την συνολική, ομοιόμορφη, οριοθετημένη, σημαντική και δρώσα διάρκεια είναι μεγαλύτερες από την παλμική σε ποσοστό 77.31 %, 38.21%, 67.19%, 21.22%, 21.17%, αντίστοιχα.

Στα γραφήματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η ποσοστιαία μεταβολή των πέντε διαρκειών σε σύγκριση με την παλμική διάρκεια.

Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας

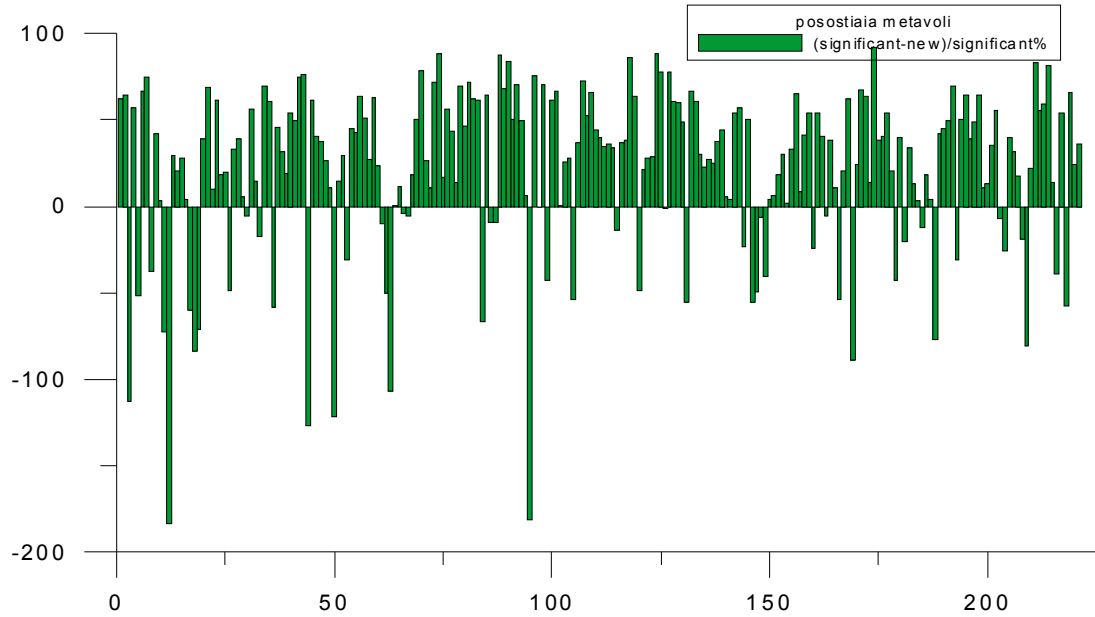


Διάγραμμα 6.5: Ποσοστιαία μεταβολή ομοιόμορφης με νέα διάρκεια

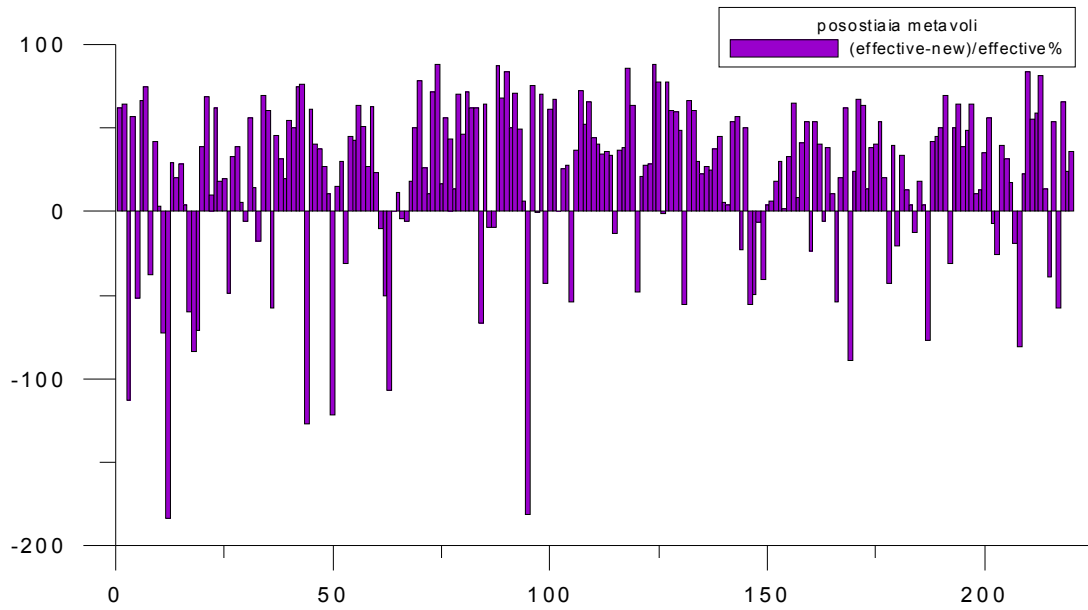


Διάγραμμα 6.6: Ποσοστιαία μεταβολή οριοθετημένης με νέα διάρκεια

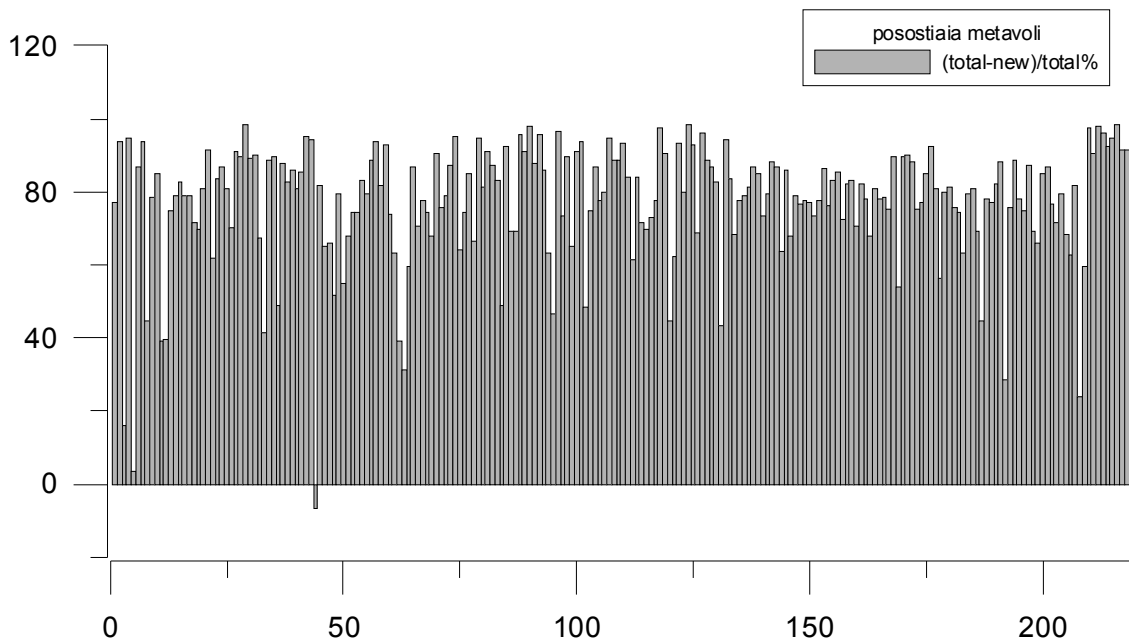
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



Διάγραμμα 6.7: Ποσοστιαία μεταβολή σημαντικής με νέα διάρκεια



Διάγραμμα 6.8: Ποσοστιαία μεταβολή δρώσας με νέα διάρκεια



Διάγραμμα 6.9: Ποσοστιαία μεταβολή συνολικής με νέα διάρκεια

6.2. Στατιστική Επεξεργασία των Διαρκειών για τις Παλμικές Καταγραφές

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι αναλογίες της παλμικής διάρκειας ως προς τις άλλες κατηγορίες διαρκειών μόνο για τις καταγραφές που έχουν οριστεί ως παλμικές σύμφωνα με το κριτήριο ταξινόμησης των Kardoutsou et al, όπως αυτό αναλύθηκε στο τρίτο κεφάλαιο. Τονίζεται ότι τιμές αναλογίας μεγαλύτερες της μονάδας αντικατοπτρίζουν ότι η παλμική διάρκεια είναι μεγαλύτερη από την κάθε άλλη κατηγορία διάρκειας ενώ τιμές αναλογίας μικρότερες της μονάδας υποδεικνύουν ότι η παλμική διάρκεια είναι μικρότερη από τις υπόλοιπες κατηγορίες, αντίστοιχα.

ΑΡΧΕΙΟ	New/Total	New/Uniform	New/Bracketed	New/Significant	New/Effective
77	0,061	0,317	0,076	0,356	0,356
126	0,840	1,545	1,096	2,126	2,130
150	0,054	0,293	0,156	0,431	0,429
158	0,966	1,384	1,081	1,518	1,523
159	0,134	0,255	0,147	0,330	0,339
161	0,554	1,161	0,627	1,373	1,347
170	0,215	0,473	0,248	0,578	0,556
171	0,150	0,625	0,287	0,963	0,965
173	0,607	1,223	0,670	1,729	1,758
174	0,602	1,820	0,822	2,832	2,983
178	0,253	0,634	0,340	0,705	0,721
179	0,210	0,747	0,352	0,798	0,847
180	0,172	0,522	0,236	0,717	0,711
181	0,209	0,751	0,355	0,960	1,020
182	0,208	0,986	0,410	1,601	1,598
183	0,283	1,325	0,432	1,834	1,857
184	0,303	1,096	0,439	1,711	1,684
185	0,191	0,486	0,257	0,608	0,599
292	0,381	0,714	0,424	0,901	0,830
316	0,165	0,305	0,184	0,381	0,365

Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας

ΑΡΧΕΙΟ	New/Total	New/Uniform	New/Bracketed	New/Significant	New/Effective
338	0,191	0,416	0,217	0,806	0,813
418	0,017	0,433	0,092	0,944	0,932
451	0,109	0,695	0,384	1,058	1,079
459	0,100	0,307	0,136	0,438	0,428
496	0,586	1,320	0,678	1,173	1,227
503	0,112	0,243	0,134	0,306	0,286
508	0,105	0,327	0,152	0,393	0,345
527	0,511	0,963	0,564	1,581	1,802
529	0,120	0,427	0,185	0,539	0,540
568	0,191	0,364	0,210	0,456	0,456
569	0,146	0,365	0,172	0,501	0,500
615	0,051	0,200	0,075	0,248	0,266
645	0,060	0,206	0,070	0,234	0,211
723	0,183	0,272	0,205	0,388	0,384
738	0,451	1,593	0,504	2,218	2,182
753	0,257	0,948	0,513	1,307	1,289
758	0,169	0,437	0,204	0,549	0,556
764	0,113	0,387	0,200	0,365	0,345
766	0,184	0,676	0,326	0,729	0,785
767	0,071	0,314	0,130	0,368	0,358
768	0,261	0,717	0,309	0,764	0,743
778	0,685	1,652	0,829	2,065	2,077
779	0,405	0,790	0,521	0,998	0,999
783	0,132	0,632	0,225	0,883	0,883
787	0,296	0,742	0,360	1,041	0,993
802	0,223	0,776	0,293	1,055	1,056
803	0,255	0,719	0,323	0,818	0,766
806	0,320	0,493	0,367	0,494	0,504
821	0,245	0,542	0,267	0,738	0,731
825	0,210	1,362	0,325	0,895	0,878
828	0,127	0,362	0,196	0,281	0,281
829	0,049	0,133	0,056	0,118	0,117
838	0,360	0,698	0,403	0,834	0,755
900	0,333	0,671	0,373	0,864	0,883
952	0,089	0,215	0,099	0,279	0,279
959	0,170	0,281	0,196	0,381	0,380
982	0,307	0,790	0,352	1,092	1,072
983	0,307	0,790	0,352	1,092	1,075
1009	0,089	0,308	0,119	0,321	0,332
1013	0,122	0,465	0,186	0,500	0,497
1044	0,045	0,205	0,080	0,292	0,292
1045	0,143	0,364	0,177	0,504	0,503
1050	0,537	2,418	0,686	2,811	2,804
1052	0,266	0,557	0,300	1,001	1,028
1063	0,106	0,210	0,115	0,294	0,294
1077	0,351	1,294	0,524	1,428	1,407
1084	0,251	0,656	0,287	0,742	0,756
1085	0,130	0,643	0,265	0,717	0,718

Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας

ΑΡΧΕΙΟ	New/Total	New/Uniform	New/Bracketed	New/Significant	New/Effective
1086	0,223	1,176	0,582	1,542	1,545
1116	0,111	0,260	0,149	0,341	0,357
1158	0,284	0,524	0,332	0,662	0,662
1161	0,303	0,846	0,416	1,134	1,088
1182	0,024	0,127	0,063	0,141	0,140
1193	0,097	0,287	0,158	0,360	0,354
1194	0,555	1,116	0,810	1,484	1,450
1198	0,199	0,772	0,319	0,715	0,714
1202	0,070	0,207	0,109	0,224	0,226
1244	0,130	0,437	0,203	0,403	0,400
1403	0,567	1,228	0,819	1,555	1,530
1410	0,056	0,196	0,090	0,332	0,325
1471	0,224	0,576	0,357	0,770	0,771
1472	0,211	0,464	0,328	0,726	0,744
1475	0,188	0,521	0,294	0,749	0,670
1476	0,133	0,490	0,246	0,625	0,597
1479	0,205	0,826	0,392	0,957	0,953
1482	0,364	0,889	0,567	1,231	1,245
1483	0,139	0,349	0,220	0,495	0,490
1484	0,320	1,039	0,575	1,557	1,568
1485	0,211	1,358	0,599	1,498	1,479
1486	0,232	0,769	0,415	1,061	1,049
1487	0,224	1,162	0,503	1,404	1,392
1489	0,229	0,839	0,469	0,960	0,966
1491	0,224	0,624	0,335	0,816	0,832
1493	0,239	0,841	0,469	0,978	0,994
1494	0,169	0,479	0,256	0,665	0,665
1496	0,274	0,626	0,396	0,915	0,956
1503	0,194	0,681	0,363	0,619	0,613
1510	0,098	0,280	0,149	0,326	0,325
1511	0,119	0,318	0,179	0,364	0,362
1515	0,149	0,484	0,246	0,592	0,579
1519	0,193	0,493	0,303	0,795	0,788
1523	0,202	0,461	0,305	0,604	0,602
1528	0,369	0,711	0,450	0,963	0,941
1529	0,207	0,771	0,382	1,126	1,125
1530	0,191	0,524	0,301	0,820	0,814
1532	0,555	1,300	0,874	1,769	1,810
1542	0,220	0,405	0,319	0,609	0,608
1545	0,127	0,305	0,180	0,357	0,358
1548	0,149	0,469	0,273	0,647	0,637
1550	0,235	0,774	0,387	1,068	1,076
1595	0,318	0,661	0,405	0,685	0,686
1596	0,371	0,924	0,469	0,824	0,825
1605	0,763	1,146	0,819	1,806	1,799
1629	0,405	0,565	0,425	0,776	0,820
1752	0,026	0,146	0,043	0,165	0,132
2457	0,074	0,579	0,100	0,861	0,869

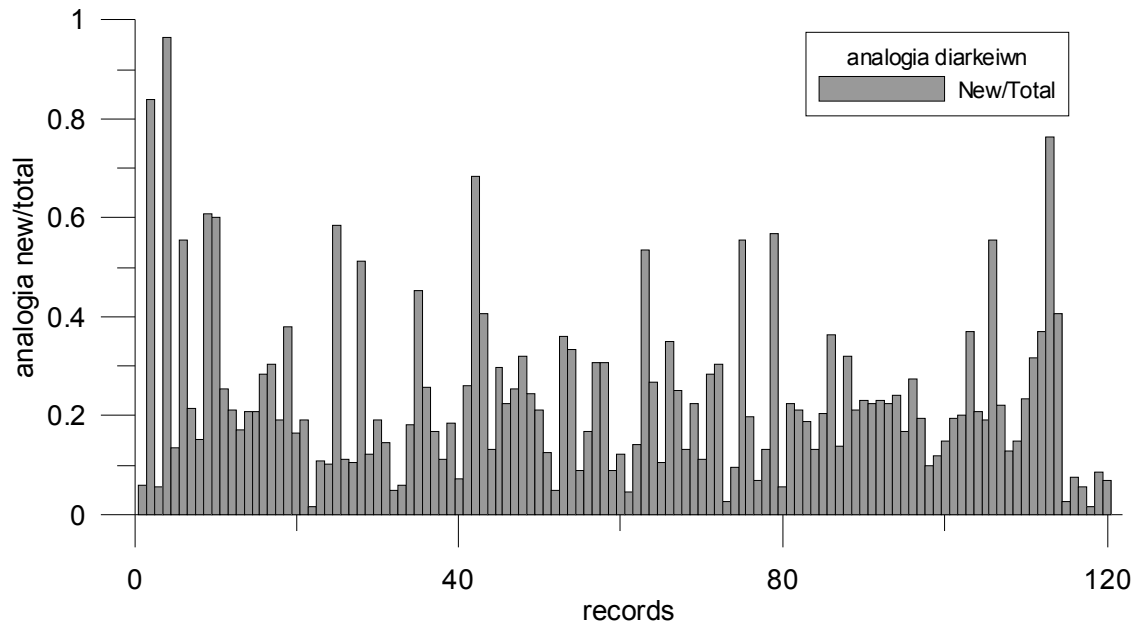
ΑΡΧΕΙΟ	New/Total	New/Uniform	New/Bracketed	New/Significant	New/Effective
2495	0,054	0,635	0,196	1,390	1,390
2627	0,014	0,329	0,020	0,462	0,463
3317	0,087	0,250	0,113	0,340	0,337
3548	0,070	0,424	0,222	0,639	0,639
Μέση Τιμή	0,237	0,664	0,336	0,861	0,861
Τυπική απόκλιση	0,174	0,402	0,214	0,532	0,541
Πλήθος (>1)	0	21	2	35	35
P % (>1)	0,00	17,50	1,67	29,17	29,17
P % (<1)	100,00	82,50	98,33	70,83	70,83
Μ.Τ. μείωσης υπολογιστικού χρόνου με τη νέα διάρκεια (%)	76.3	33.6	66.4	13.9	13.9

Πίνακας 6.3: Αναλογίες της νέας διάρκειας έναντι των υπόλοιπων κατηγοριών

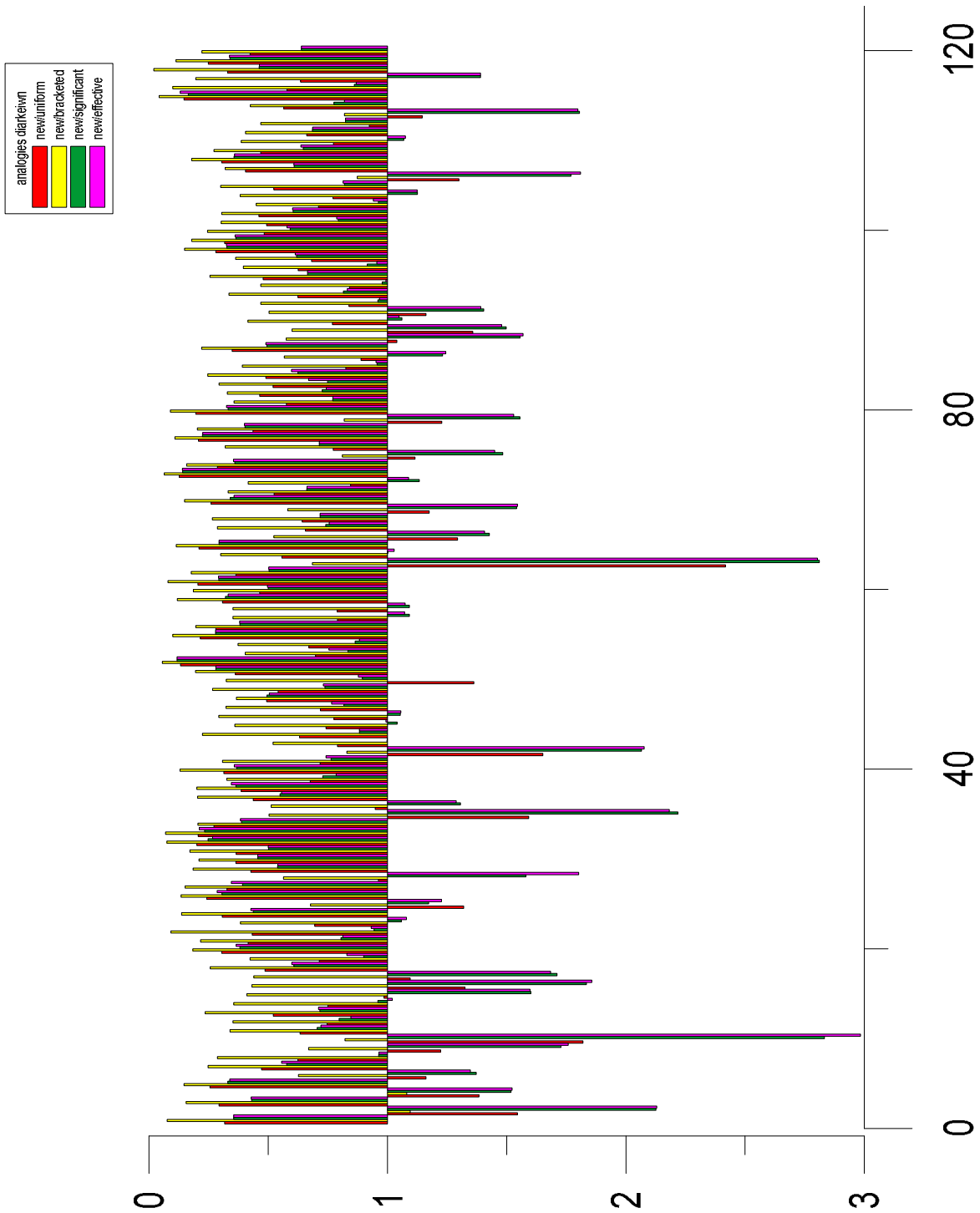
Καθίσταται σαφές από τα αποτελέσματα του πίνακα ότι η μέση τιμή των αναλογιών για όλες τις κατηγορίες διαρκειών είναι μικρότερη της μονάδας, δηλαδή η παλμική διάρκεια για το μέσο όρο των καταγραφών είναι μικρότερη εν συγκρίσει με τις άλλες κατηγορίες διαρκειών. Πιο αναλυτικά, το ποσοστό για το οποίο η νέα διάρκεια είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την ομοιόμορφη, οριοθετημένη, σημαντική και δρώσα διάρκεια ανέρχεται σε 17.5%, 1.67%, 29.17%, και 29.17% αντιστοίχως. Παρατηρείται ότι η μικρότερη μέση τιμή αναλογίας εμφανίζεται μεταξύ νέας και συνολικής διάρκειας αλλά και μεταξύ νέας με οριοθετημένη, δηλαδή η παλμική διάρκεια είναι κατά πολύ μικρότερη ενώ και η τυπική απόκλιση είναι η μικρότερη για αυτές τις αναλογίες, οπότε δεν υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις από τη μέση τιμή τους. Επισημαίνεται ότι η μεγαλύτερη μέση τιμή παρουσιάζεται για τις αναλογίες σημαντικής με νέα και δρώσας με νέα διάρκεια συμπεραίνοντας ότι η παλμική διάρκεια διαφέρει λιγότερο κατά απόλυτη τιμή από αυτές τις κατηγορίες διαρκειών ενώ η αυξημένη τυπική απόκλιση υποδεικνύει μεγάλη διασπορά στο δείγμα.

Στα παρακάτω γραφήματα παρουσιάζονται οι αναλογίες μεταξύ των προαναφερθείσων διαρκειών με άξονα βάσης την μονάδα. Όσες είναι πάνω από τον άξονα κυμαίνονται από 0 έως 1 και η παλμική διάρκεια είναι μικρότερη των άλλων διαρκειών. Αντίστοιχα, όσες είναι κάτω από τον άξονα υποδεικνύουν ότι η παλμική διάρκεια είναι μεγαλύτερη των άλλων διαρκειών.

Όπως γίνεται αντιληπτό και από τη σχηματική απεικόνιση για τις περισσότερες καταγραφές η παλμική διάρκεια είναι μικρότερη των άλλων διαρκειών, ενώ επισημαίνεται ότι είναι μεγαλύτερη για κάποιες μεμονωμένες καταγραφές κυρίως για τη σημαντική και τη δρώσα διάρκεια.



Διάγραμμα 6.10: Απεικόνιση των αναλογιών νέας με τη συνολική διάρκεια



Διάγραμμα 6.11: Απεικόνιση των αναλογιών νέας με τις τέσσερις κατηγορίες διάρκειών

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας ήταν η εύρεση μίας νέας διάρκειας ως η σημαντική διάρκεια της ισχυρής εδαφικής κίνησης. Συγκεκριμένα, εξετάστηκε αν η διάρκεια που εξάγεται από τους παλμούς κατευθυντικότητας της εκάστοτε καταγραφής μπορεί να ληφθεί ως η σημαντική διάρκεια της ισχυρής εδαφικής κίνησης υποκαθιστώντας το συνολικό χρόνο της καταγραφής μειώνοντας ταυτόχρονα και την υπολογιστική διάρκεια. Έως τώρα οι διάρκειες που έχουν προταθεί για τον προσδιορισμό της ισχυρής εδαφικής κίνησης (ομοιόμορφη, οριοθετημένη, σημαντική, δρώσα) προκύπτουν αυθαίρετα είτε από ένα κατώφλι που ορίζεται από τον ερευνητή είτε από ένα ποσοστό της έντασης κατά Αγίας της κάθε καταγραφής. Συνεπώς καθίσταται αναγκαία η διερεύνηση μίας νέας διάρκειας η οποία να παρουσιάζει ικανοποιητική σύγκλιση των εξεταζόμενων μεγεθών με αυτά που προκύπτουν από το συνολικό χρόνο της καταγραφής.

Για τους σκοπούς της ανάλυσης για πληθώρα καταγραφών υπολογίστηκε ο κύριος παλμός κατευθυντικότητας (εύρος, περίοδος παλμού, αριθμός κύκλων, διαφορά φάσης) σε μονοβάθμια συστήματα και η χρονική διάρκεια για την οποία εμφανίζεται στην εκάστοτε καταγραφή. Από το σύνολο των καταγραφών πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση σε παλμικές και μη παλμικές καταγραφές και για το δείγμα των παλμικών καταγραφών υπολογίστηκαν τα φάσματα επιταχύνσεων ελαστικά, τα φάσματα μετακινήσεων ανελαστικά και ο συντελεστής συσχέτισης προκειμένου να εξεταστεί αν υπάρχει επαρκής συσχέτιση της συνολικής καταγραφής με το τμήμα της καταγραφής που περικλείει τον παλμό. Οι παλμικές διάρκειες συγκρίθηκαν με τη συνολική διάρκεια καθώς και την ομοιόμορφη, οριοθετημένη, σημαντική και δρώσα ώστε να εξεταστεί αν υπάρχει μείωση του υπολογιστικού χρόνου. Ανάλυση πραγματοποιήθηκε και σε πολυβάθμιο σύστημα όπου συγκρίθηκαν οι μετακινήσεις, τα drifts και οι τέμνουσες των συνολικών με τις παλμικές καταγραφές προκειμένου να εξεταστεί η σύγκλιση των μεγεθών.

Από την επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων, στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- ✓ Ως προς την ελαστική ανάλυση μονοβάθμιων συστημάτων, τα φάσματα επιταχύνσεων των αρχικών και των κομμένων καταγραφών ταυτίζονται για τις καταγραφές που χαρακτηρίστηκαν παλμικές σύμφωνα με τη μέθοδο ταξινόμησης που εφαρμόστηκε.
- ✓ Ως προς την ανελαστική ανάλυση μονοβάθμιων συστημάτων, τα φάσματα μετακινήσεων των αρχικών και των κομμένων καταγραφών παρουσιάζουν υψηλή συσχέτιση, της τάξης των 96.44% κατά μέσο όρο, για τις παλμικές καταγραφές.
- ✓ Ως προς την ανάλυση πολυβάθμιου συστήματος, τα υπολογισθέντα μεγέθη μετακινήσεων, drifts και τέμνουσών των αρχικών καταγραφών συγκλίνουν ικανοποιητικά με τα αντίστοιχα μεγέθη των παλμικών καταγραφών.
- ✓ Το παλμικό περιεχόμενο των καταγραφών επηρεάζει τα ελαστικά και ανελαστικά φάσματα μονοβαθμίων και πολυβαθμίων συστημάτων, οπότε καθορίζει μία νέα διάρκεια.
- ✓ Στα ενεργειακά διαγράμματα αρχικών και παλμικών καταγραφών τα όρια έναρξης και λήξης της προτεινόμενης διάρκειας παρουσιάζουν μηδενική πρώτη παράγωγο, οπότε η νέα διάρκεια είναι απαλλαγμένη από σφάλματα μετακίνησης της γραμμής βάσης.
- ✓ Η νέα διάρκεια κατά μέσο όρο αντιστοιχεί στο 23.7% της συνολικής διάρκειας, στο 66.4% της ομοιόμορφης, στο 33.6% της οριοθετημένης, στο 86.1% της σημαντικής και της δρώσας διάρκειας. Συνεπώς η μέση τιμή της είναι μικρότερη από όλων των άλλων

διαρκειών, μειώνοντας τον υπολογιστικό χρόνο κατά μέσο όρο σε λιγότερο από το 1/4 της συνολικής διάρκειας.

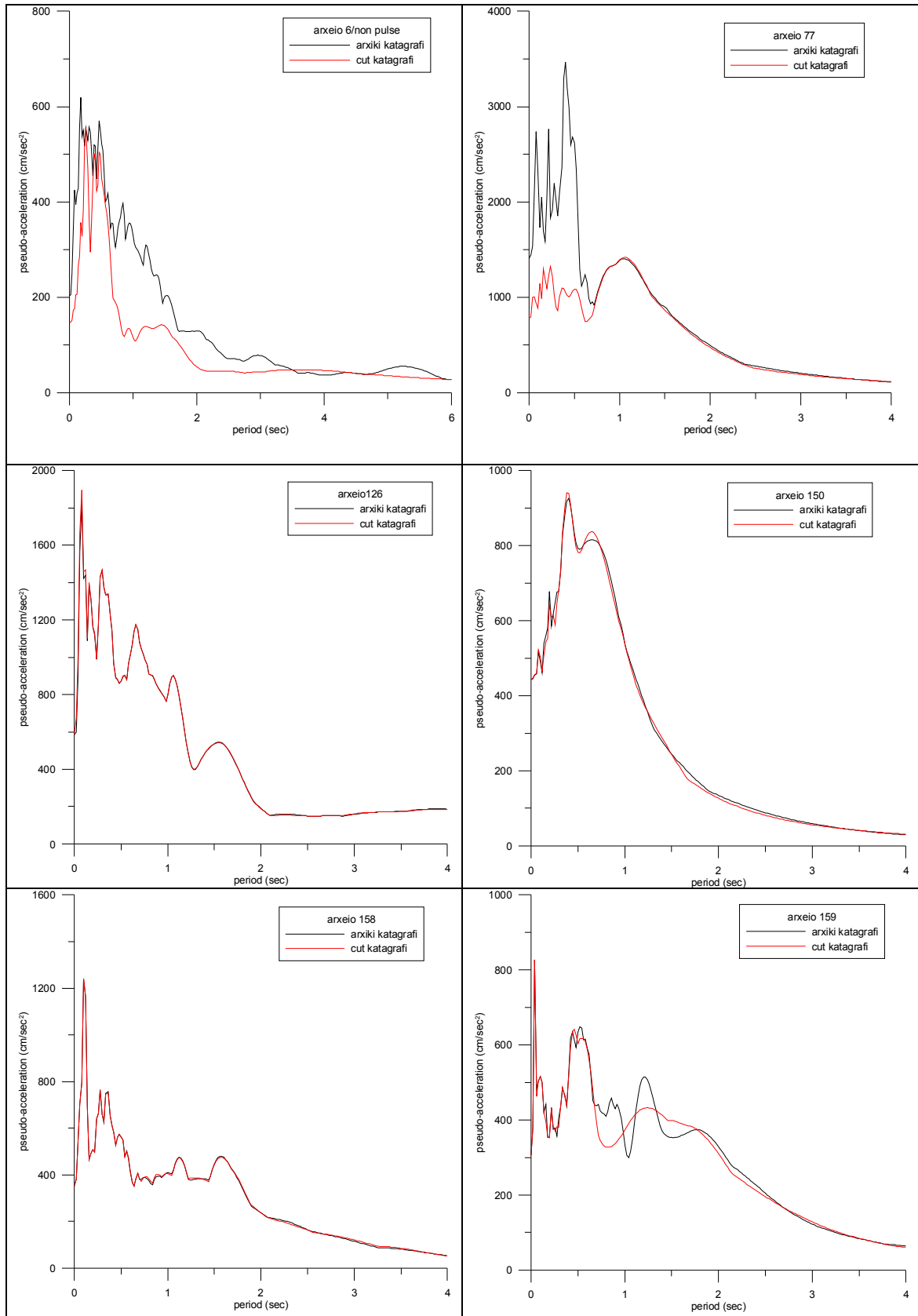
- ✓ Από τα ανωτέρω συμπεραίνουμε ότι η νέα διάρκεια που προκύπτει από το παλμικό περιέχομενο της καταγραφής, ως το γινόμενο της περιόδου του παλμού επί τον αριθμό των κύκλων ($t = \gamma * T_p$), μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως η διάρκεια της ισχυρής εδαφικής κίνησης για παλμικές καταγραφές αντικαθιστώντας τη συνολική διάρκεια της καταγραφής με ικανοποιητική έως υψηλή ακρίβεια μειώνοντας ταυτόχρονα τον υπολογιστικό χρόνο έως 76.3%.
- ✓ Για ορισμένες καταγραφές οι οποίες χαρακτηρίστηκαν μη παλμικές σύμφωνα με τη μέθοδο ταξινόμησης που εφαρμόστηκε, τα φάσματα επιταχύνσεων των αρχικών και των κομμένων καταγραφών για ελαστική ανάλυση παρουσιάζουν υψηλή συσχέτιση οδηγώντας στο συμπέρασμα παρουσίας κρυφών παλμών στις καταγραφές.

Πιθανή πρόταση για περαιτέρω διερεύνηση είναι αν η νέα διάρκεια μπορεί να γενικευτεί και για καταγραφές που έχουν ταξινομηθεί ως μη παλμικές και εμπεριέχουν κρυφούς παλμούς. Ειδικότερα, να υπολογιστούν τα φάσματα επιταχύνσεων και μετακινήσεων για μη παλμικές καταγραφές τόσο ελαστικά όσο και ανελαστικά, να εξεταστεί η συσχέτισή τους για αρχικές και κομμένες καταγραφές και αν είναι υψηλή να εξαχθούν ενδεχόμενοι κρυφοί παλμοί στην καταγραφή από τους οποίους θα υπολογιστεί μία γενικευμένη νέα διάρκεια της καταγραφής.

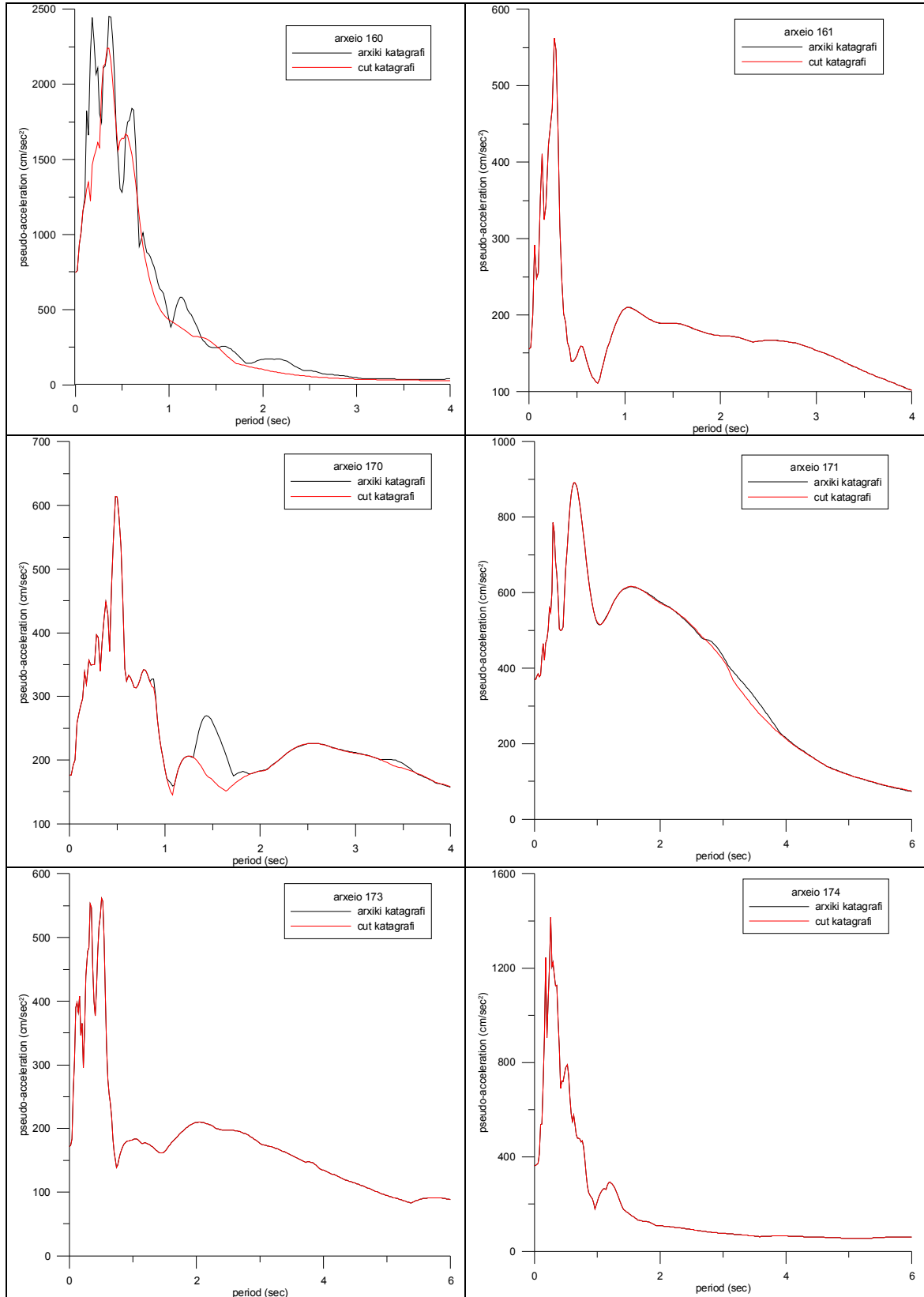
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Baker, J.W. "Quantitative classification of Near-Fault ground motions using wavelet analysis", 2007
- [2] Bommer, J.J. & Martinez-Perreira, A. "Strong- motion Parameters: Definition, Usefulness and Predictability", 2000
- [3] Cosenza, E. & Manfredi, G. "Damage Indices and Damage Measures", 2000
- [4] Elnashai, A. S. & Di Sarno, L. "Fundamentals of Earthquake Engineering", 2015
- [5] Hancock, J. & Bommer, J.J. "The Effective Number of Cycles of Earthquake Ground Motion", 2004
- [6] Hancock, J. & Bommer, J.J. " A State-of-Knowledge Review of the Influence of Strong-Motion Duration on Structural Damage", 2006
- [7] Kardoutsou, V. Taflampas, I. & Psycharis, I. N. "A New Method for the Classification of Ground Motions as Pulse-like or Non Pulse-like, 2014
- [8] Kramer, S. L. "Geotechnical Earthquake Engineering", 1996
- [9] Mavroeidis, G.P. & Papageorgiou, A.S. "A mathematical representation of Near-Fault Ground Motions", 2003
- [10] Mimoglou, P. Psycharis, I.N. Taflampas, I.M. "Determination of the parameters of the directivity pulse embedded in near-fault ground motions and its effect on structural response"
- [11] Raghunandan, M. & Liel, A.B. "Effect of Ground Motion Duration on Earthquake-induced Structural Collapse", 2013
- [12] Riddell, R. "On Ground Motion Intensity Indices", 2007
- [13] Shahi, S. K. & Baker, J.W. "An Empirically Calibrated Framework for Including the Effects of Near-Fault Directivity in Probabilistic Seismic Hazard Analysis", 2011
- [14] Taflampas, I. "Near Field Ground Motion", Σημειώσεις Μαθήματος (Μέθοδοι Επεξεργασίας Σημάτων και Εφαρμογή τους στον Αντισεισμικό Σχεδιασμό), 2018
- [15] Taflampas, I. "Pulse-Like", Σημειώσεις Μαθήματος (Μέθοδοι Επεξεργασίας Σημάτων και Εφαρμογή τους στον Αντισεισμικό Σχεδιασμό), 2018
- [16] Taflampas, I. "Δείκτες της Εδαφικής Κίνησης", Σημειώσεις Μαθήματος (Μέθοδοι Επεξεργασίας Σημάτων και Εφαρμογή τους στον Αντισεισμικό Σχεδιασμό), 2018

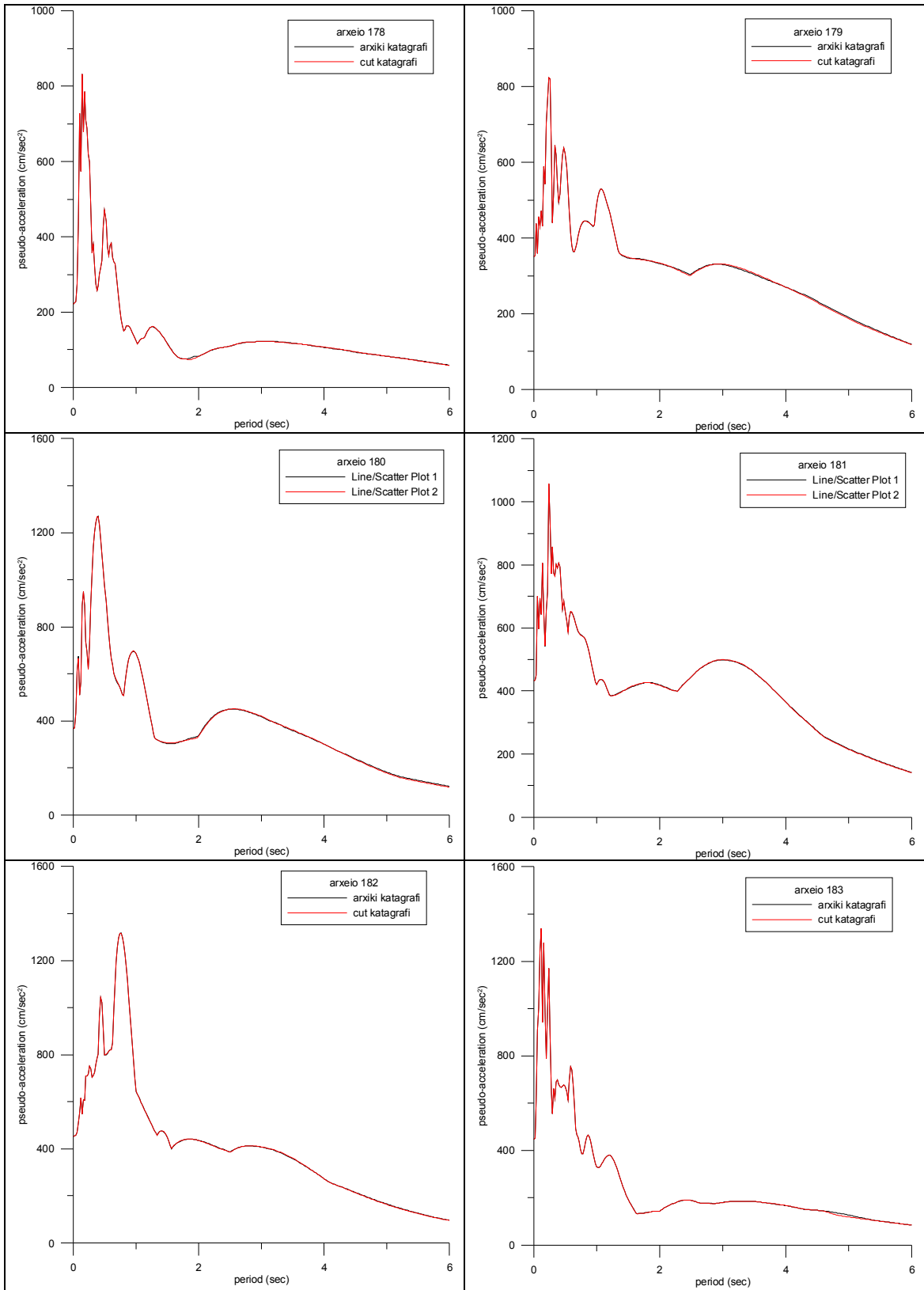
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΦΑΣΜΑΤΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΚΑΙ ΚΟΜΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ



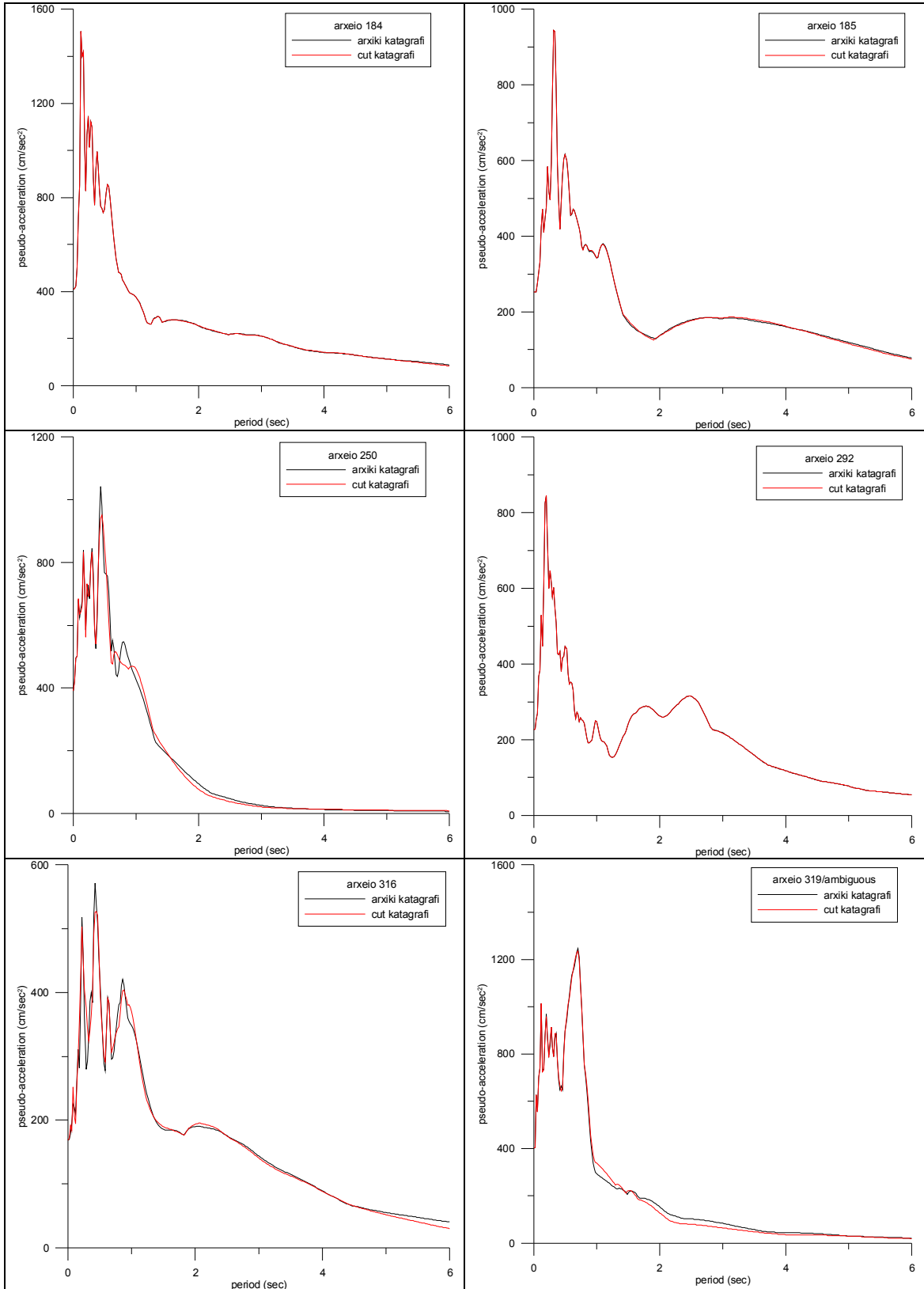
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



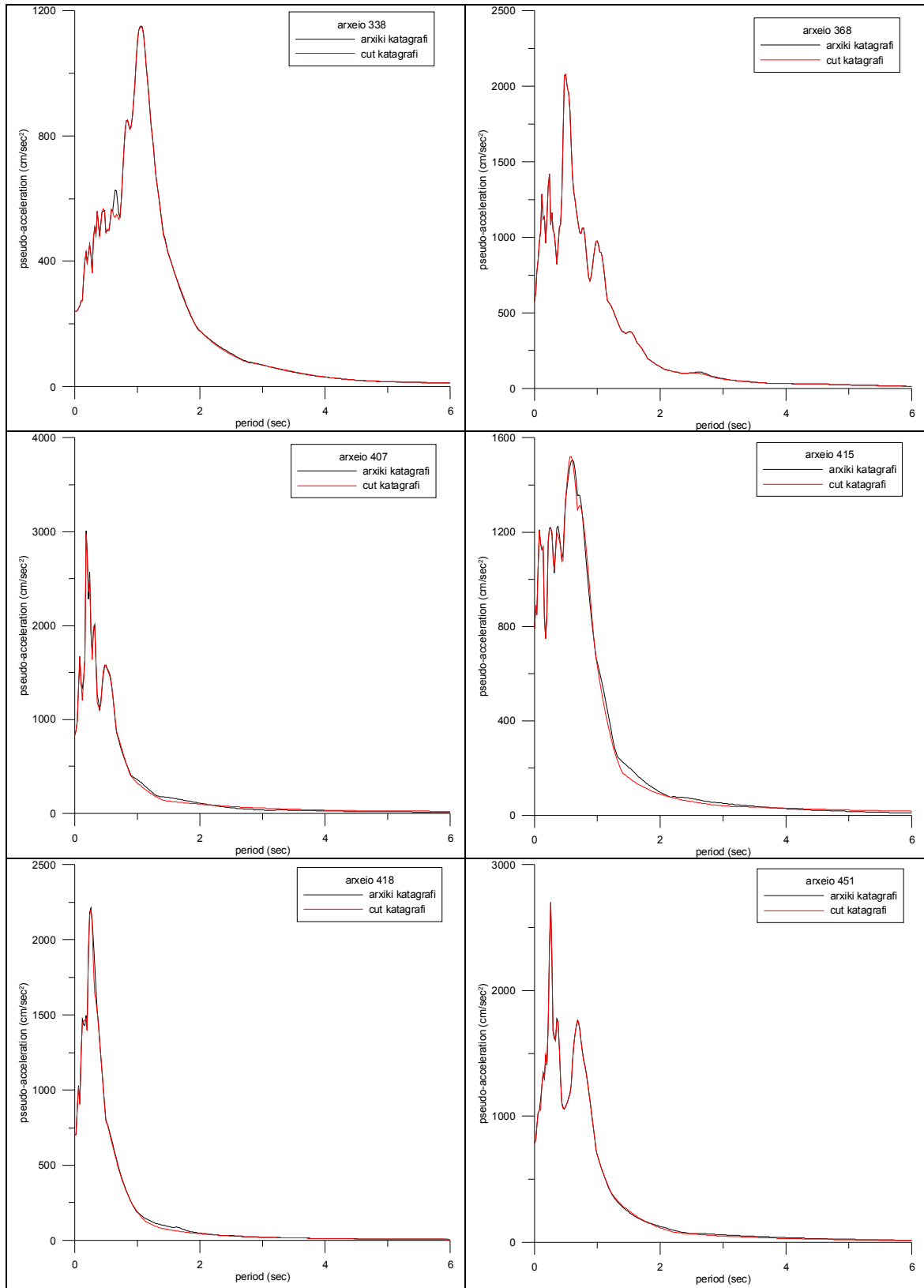
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



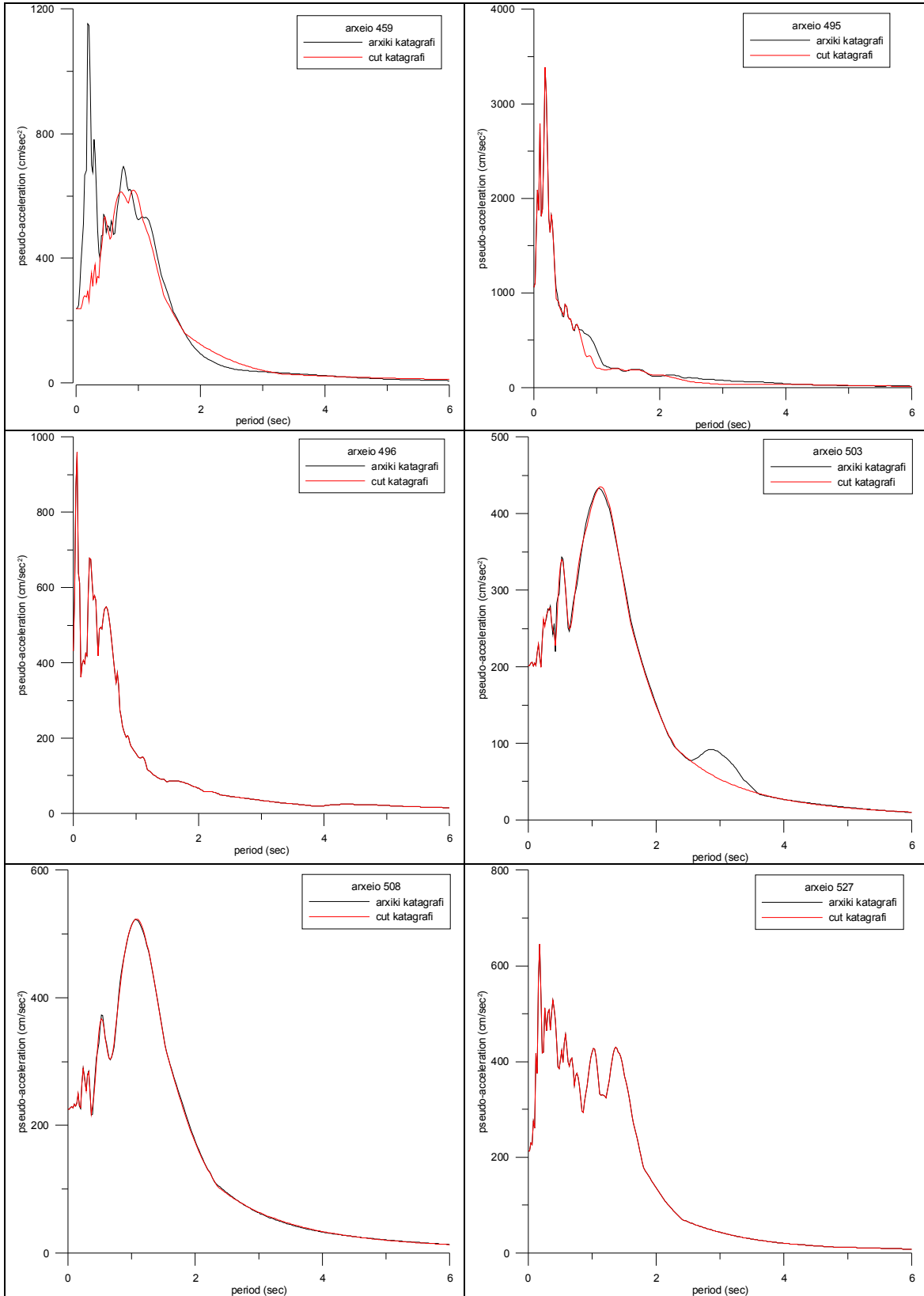
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



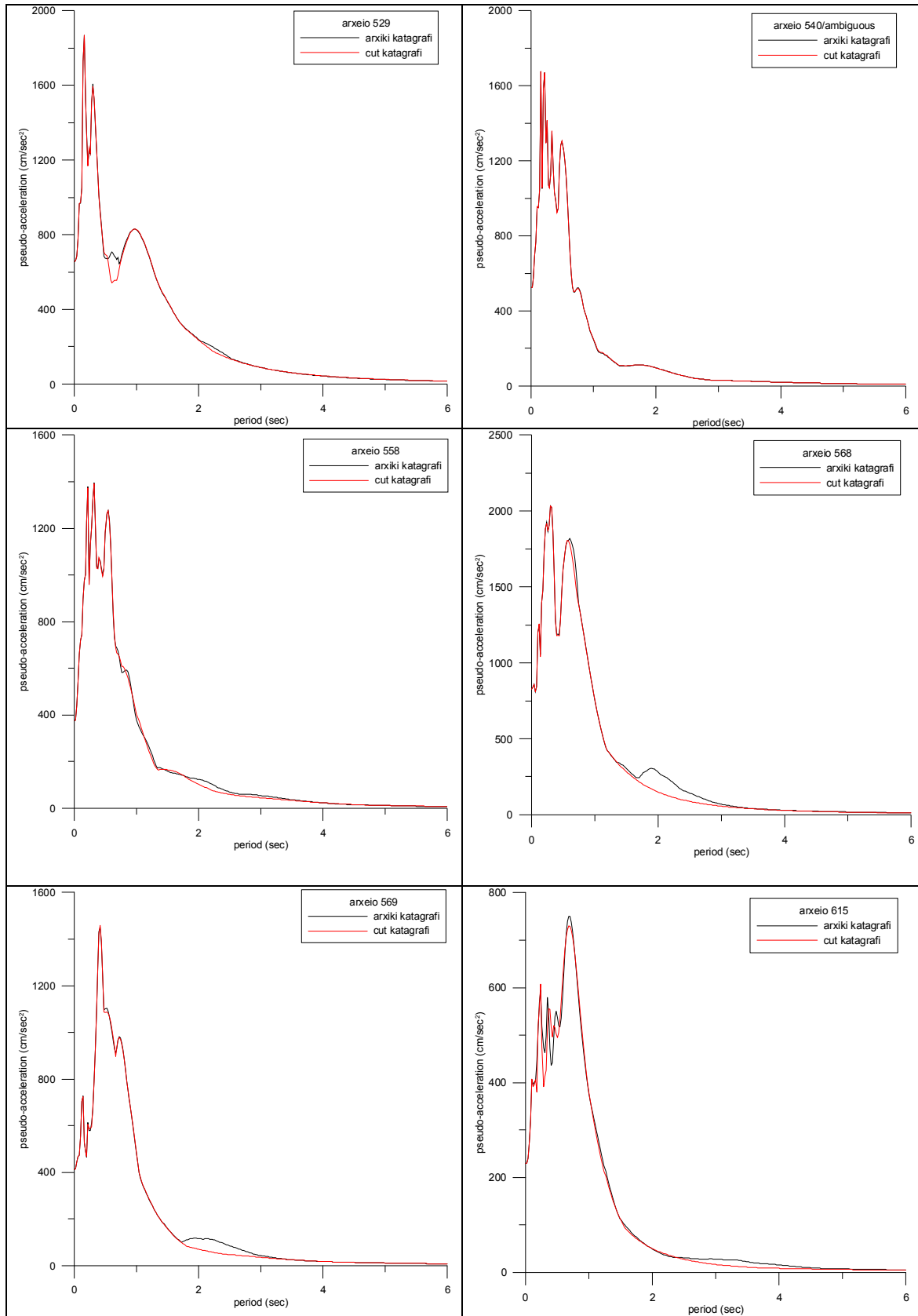
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



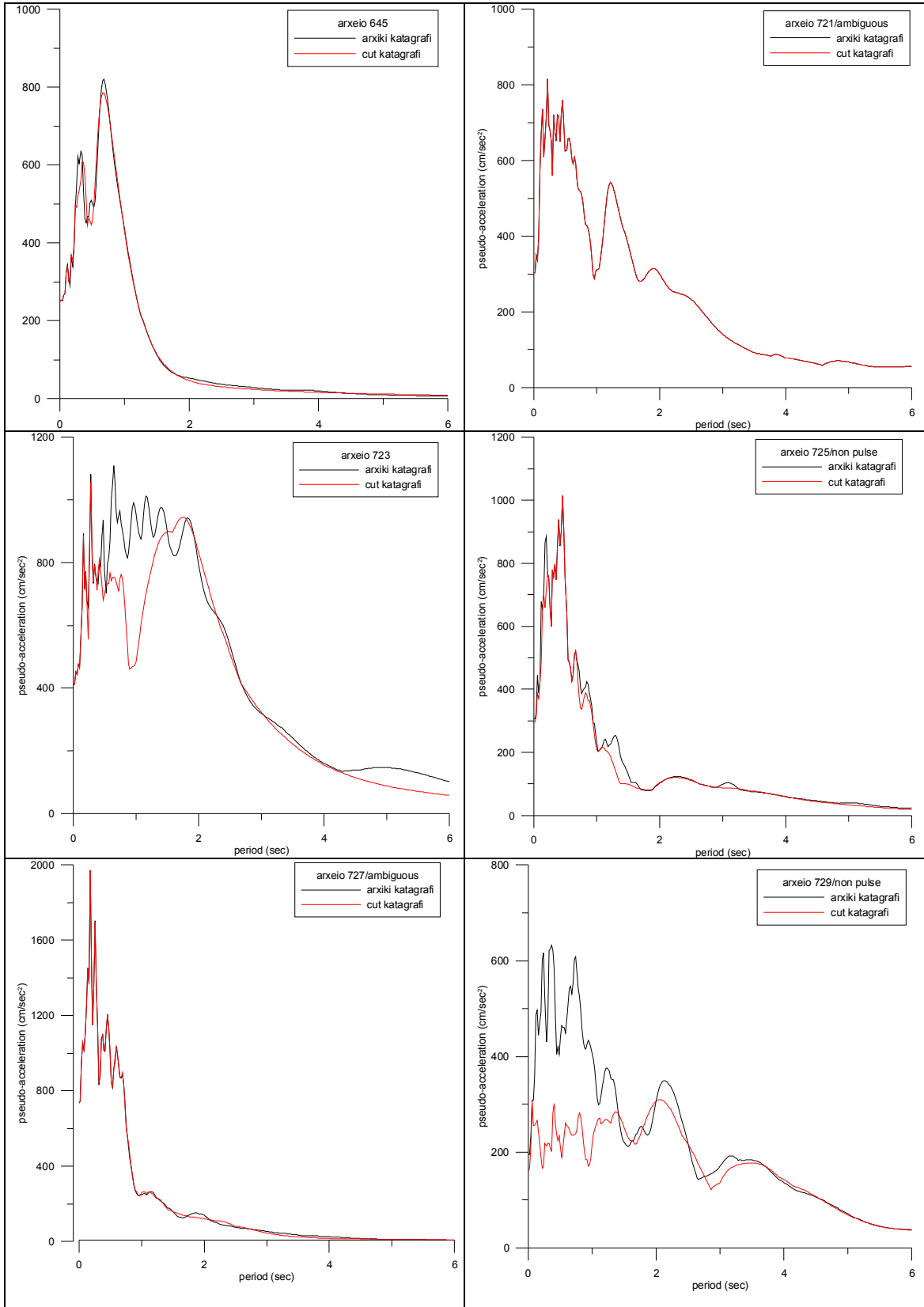
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



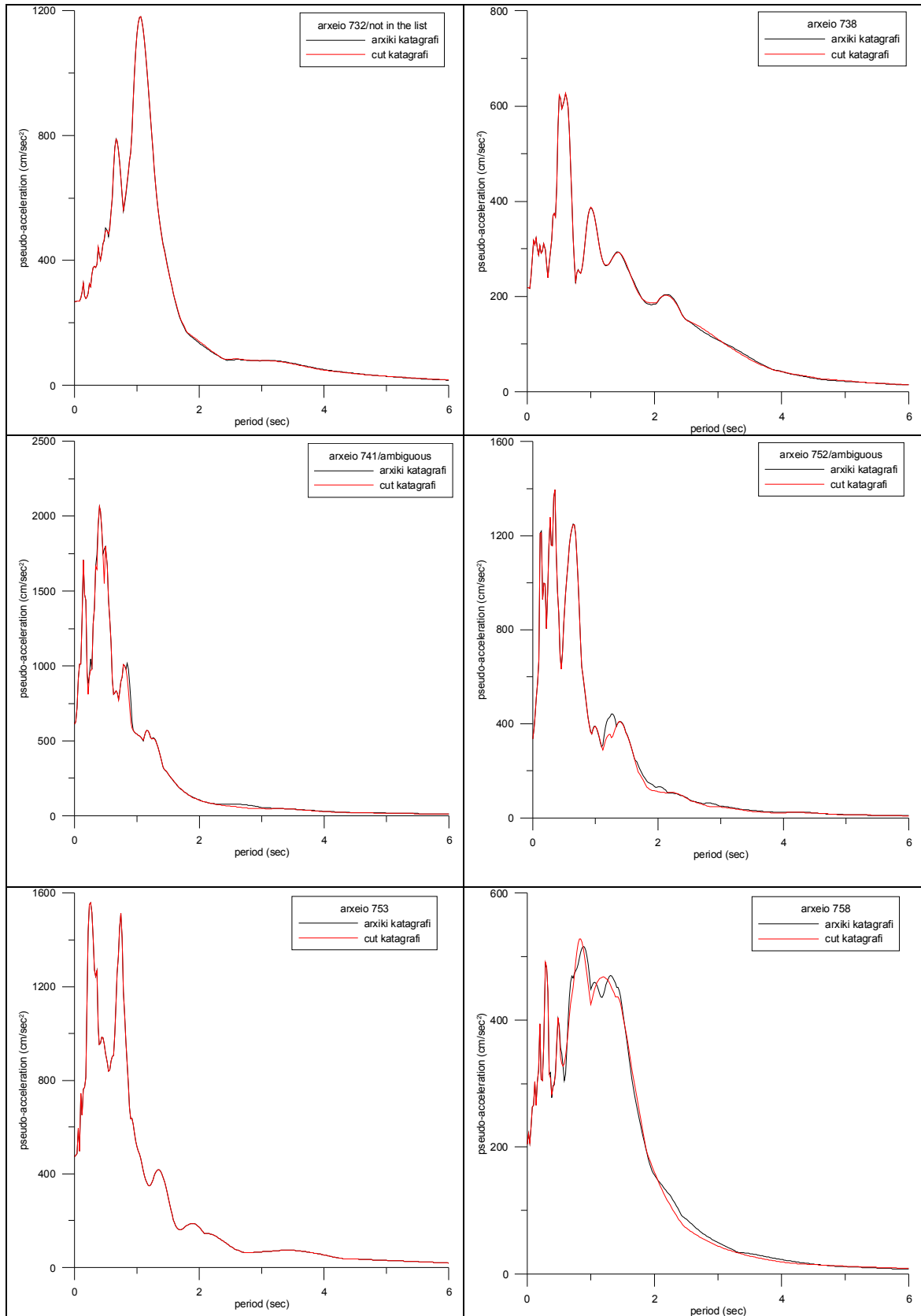
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



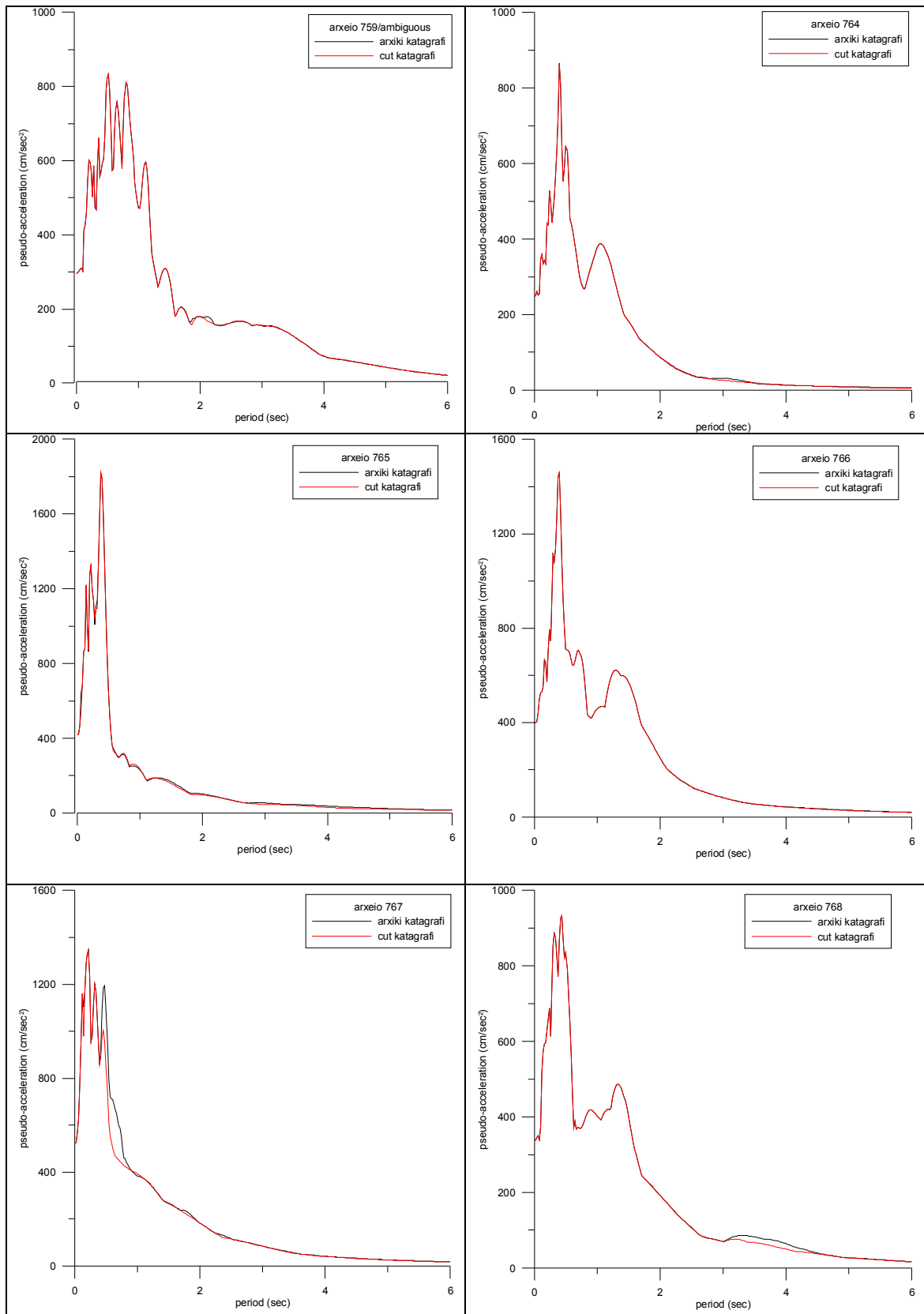
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



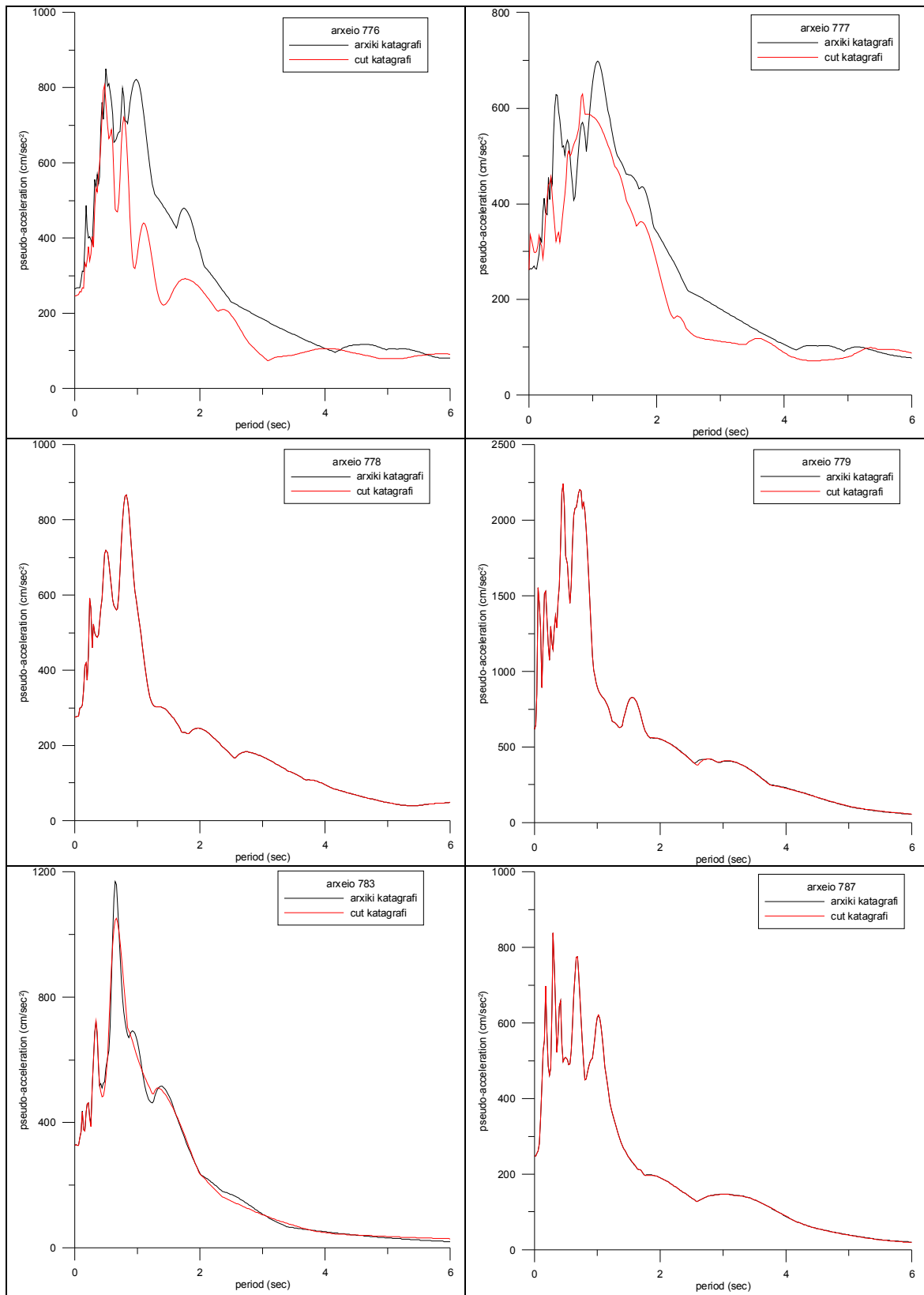
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



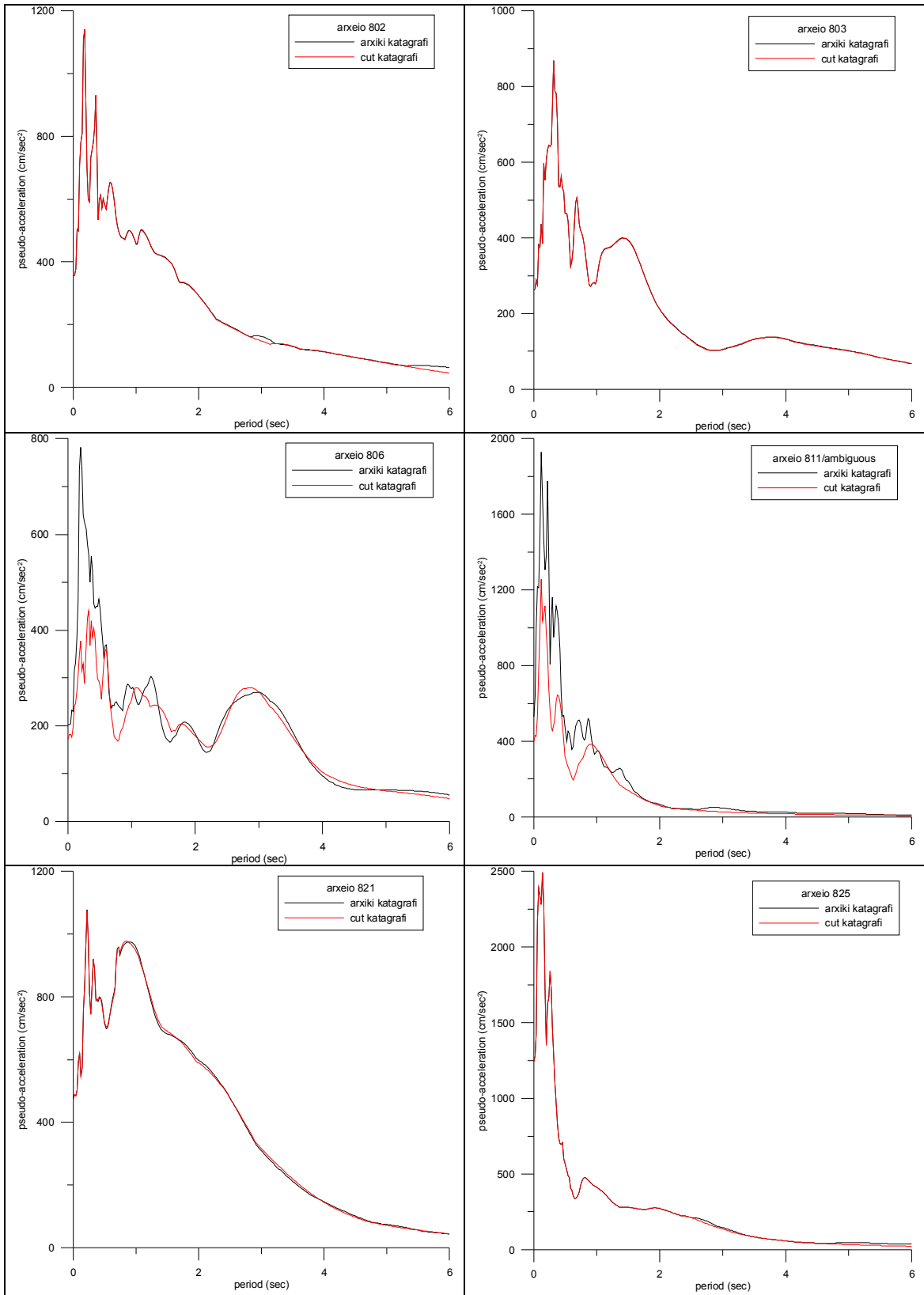
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



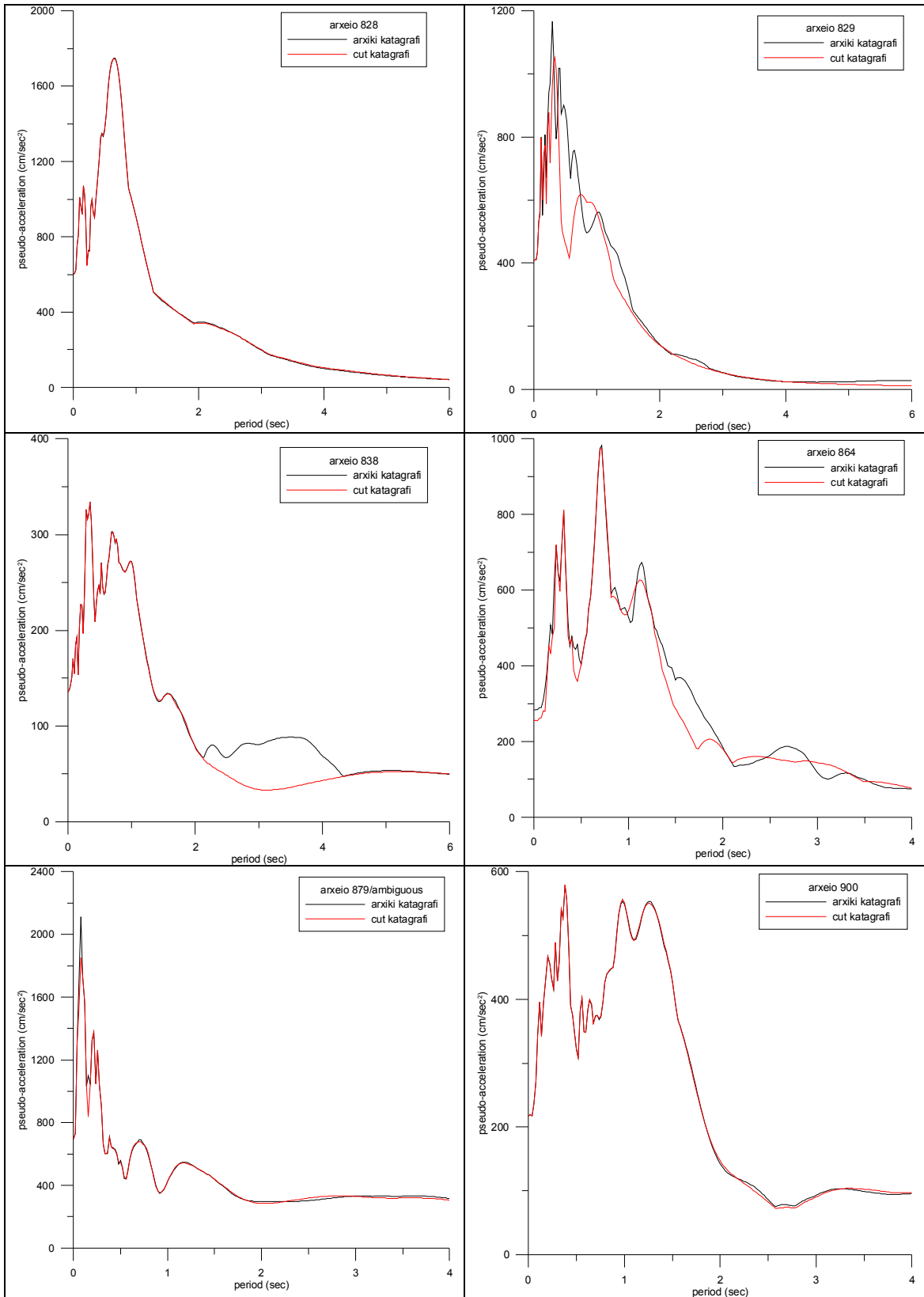
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



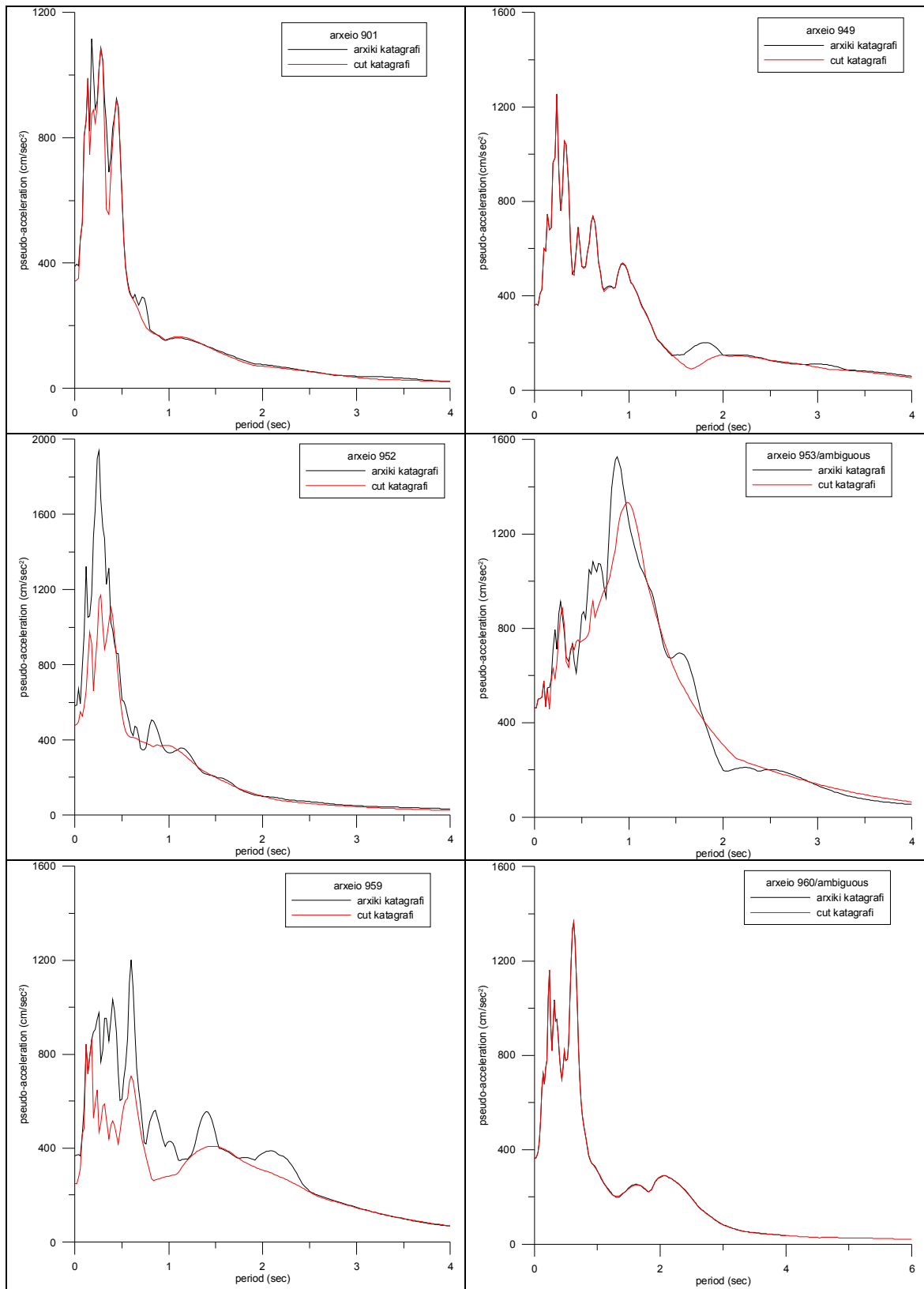
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



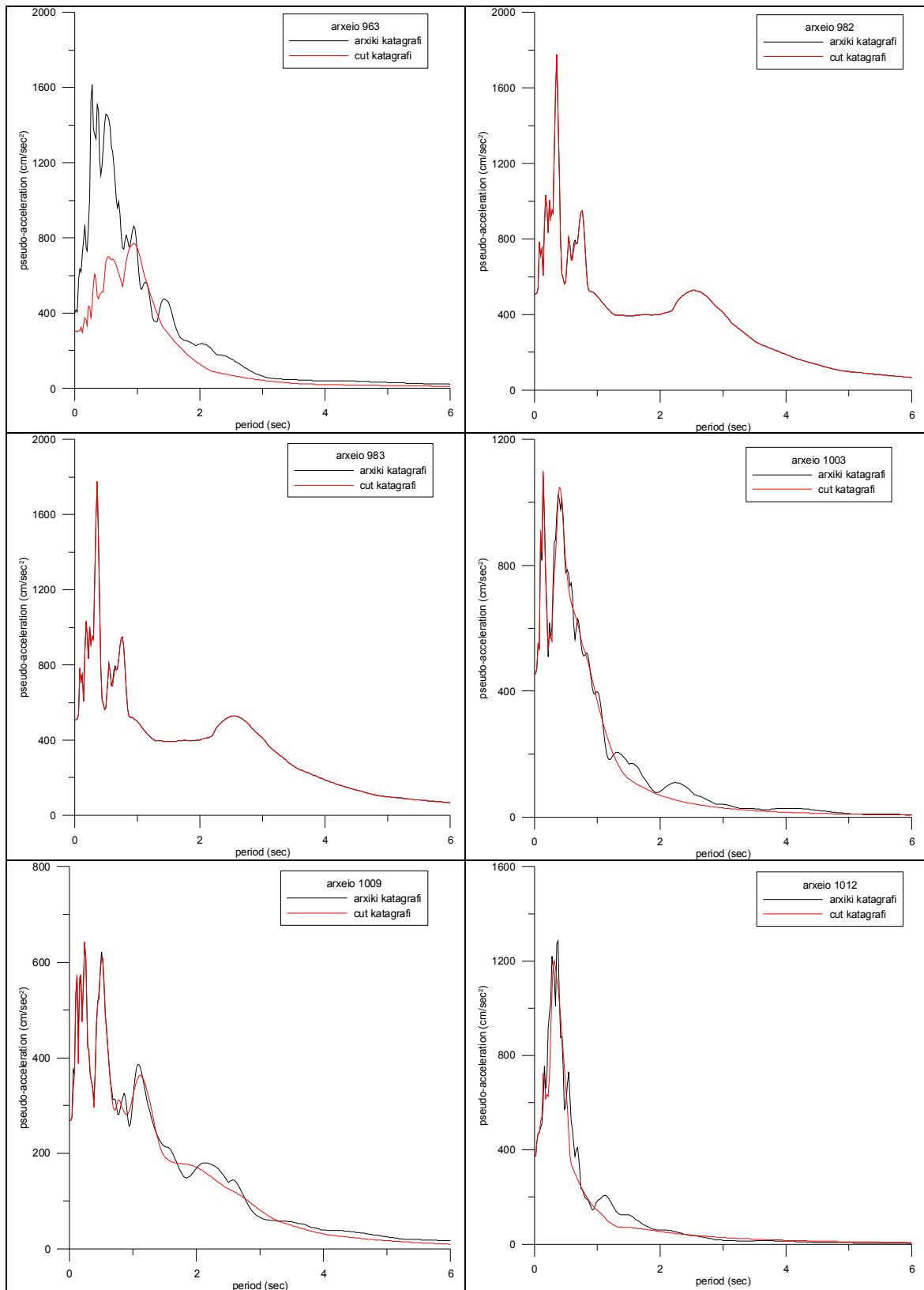
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



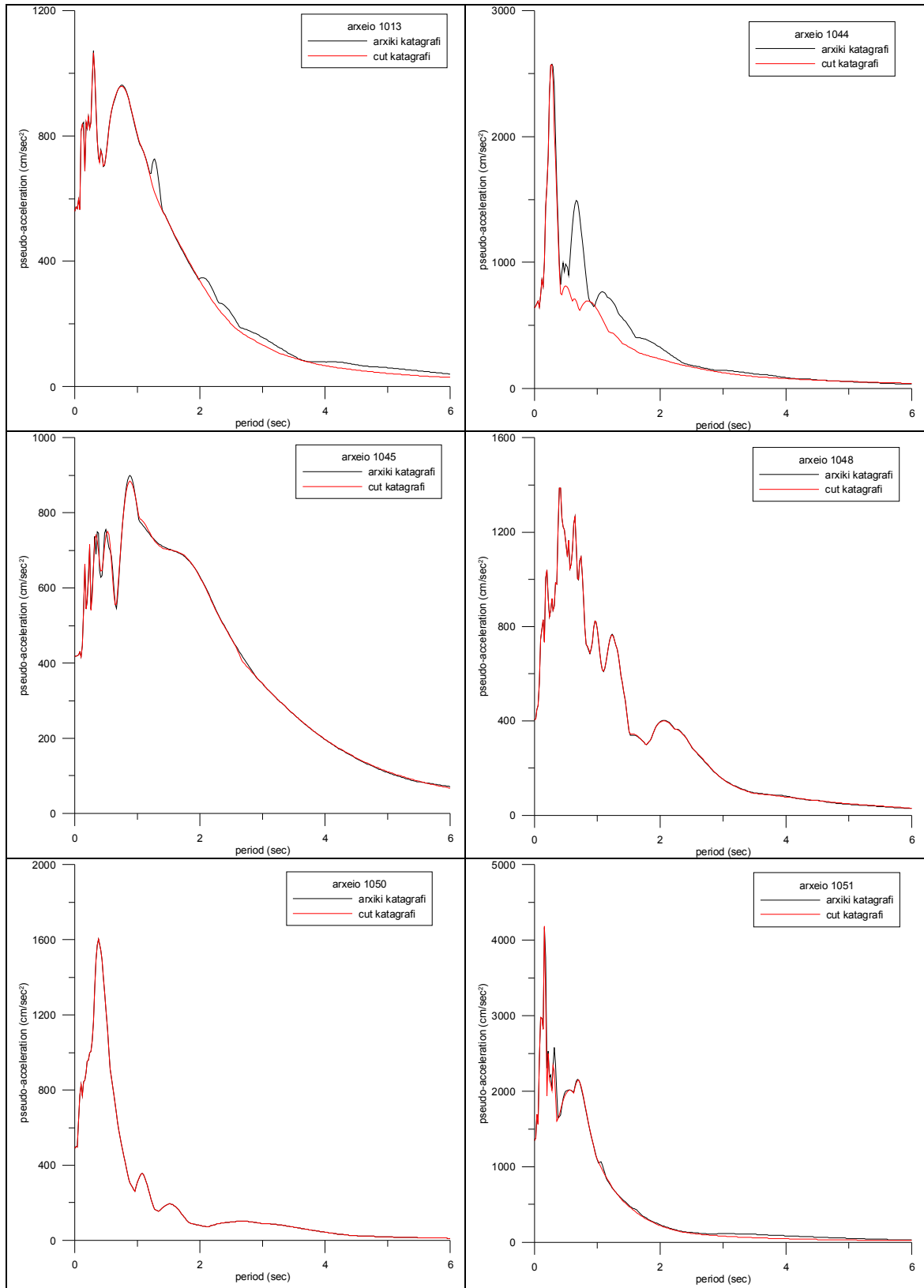
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



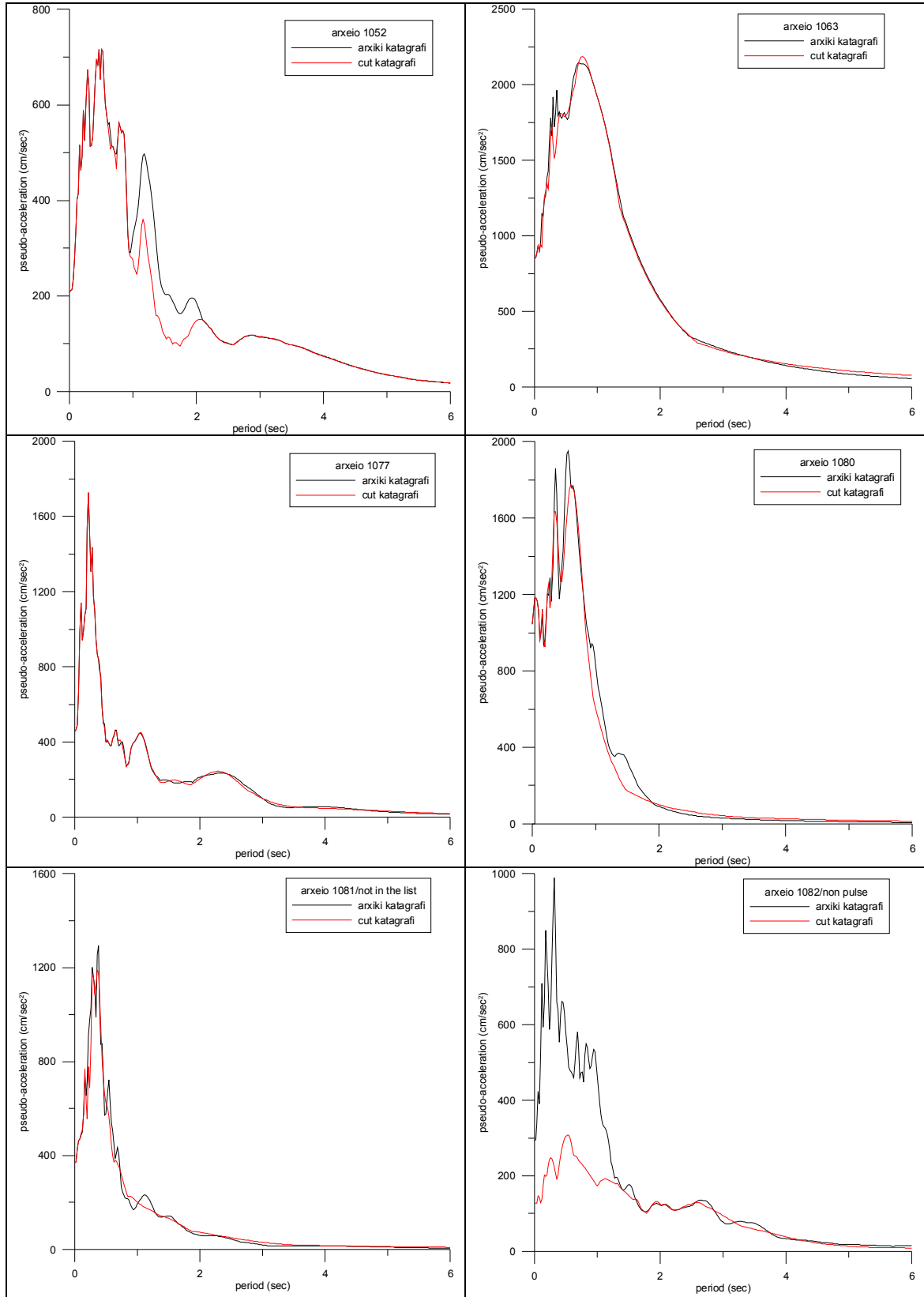
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



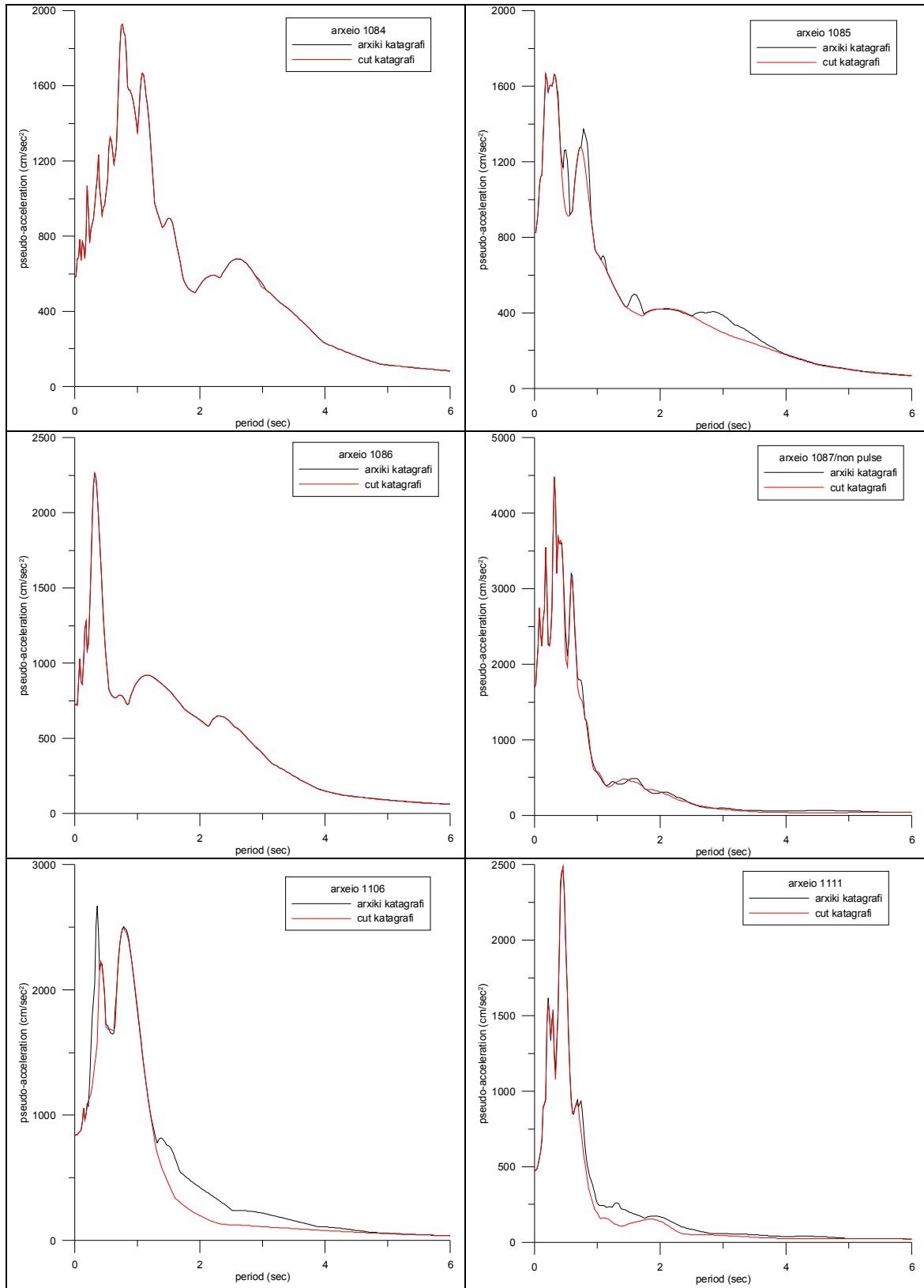
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



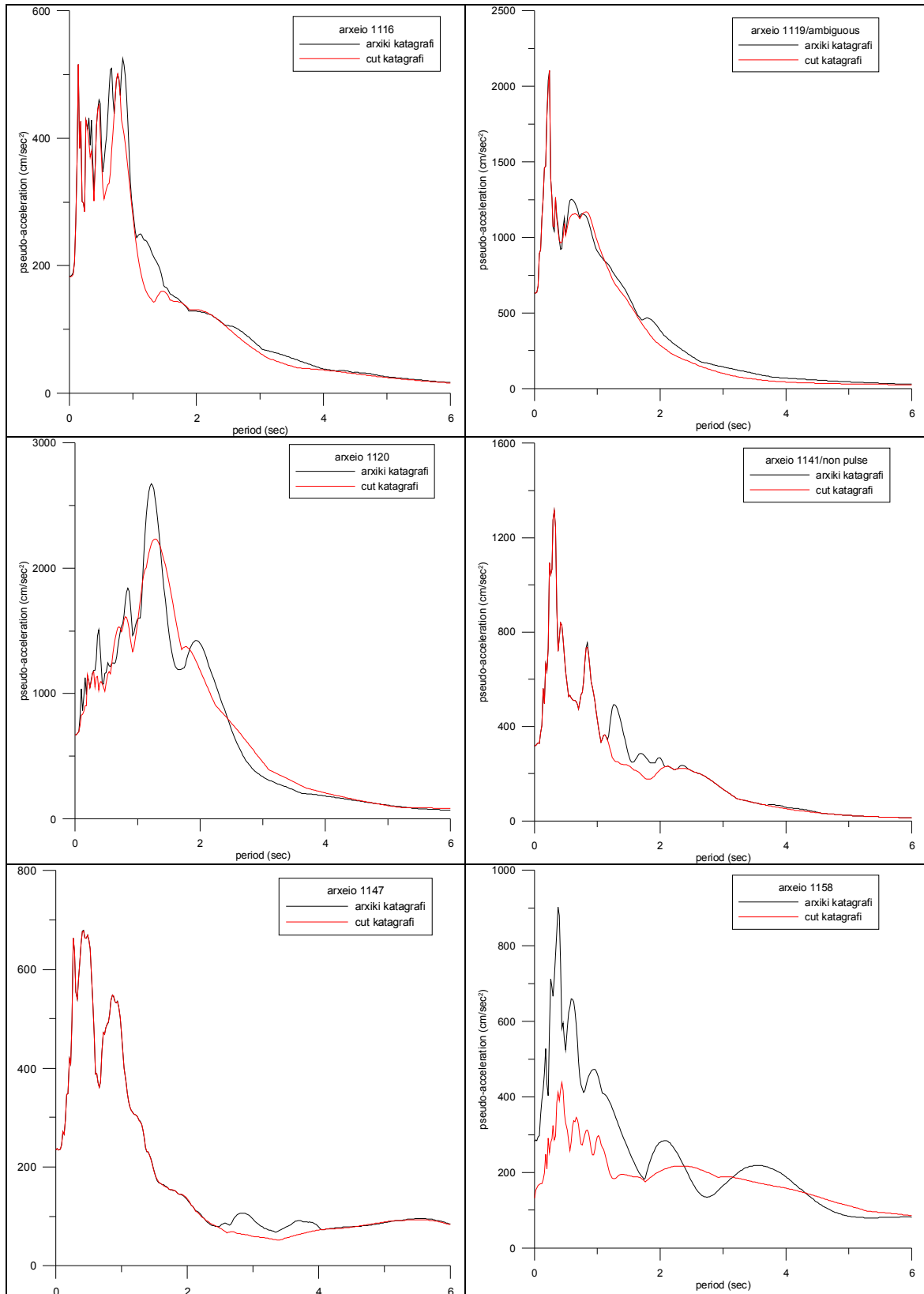
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



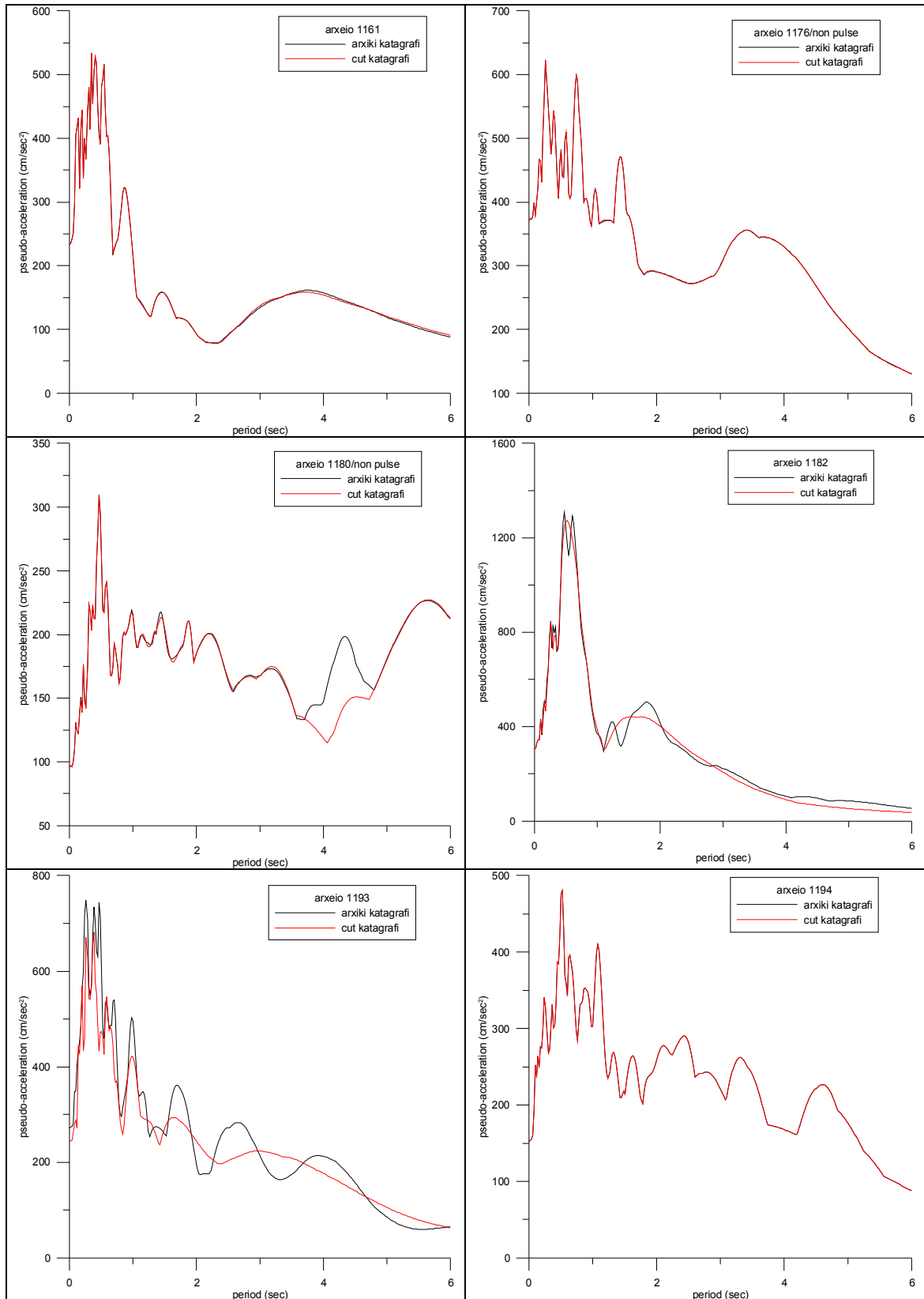
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



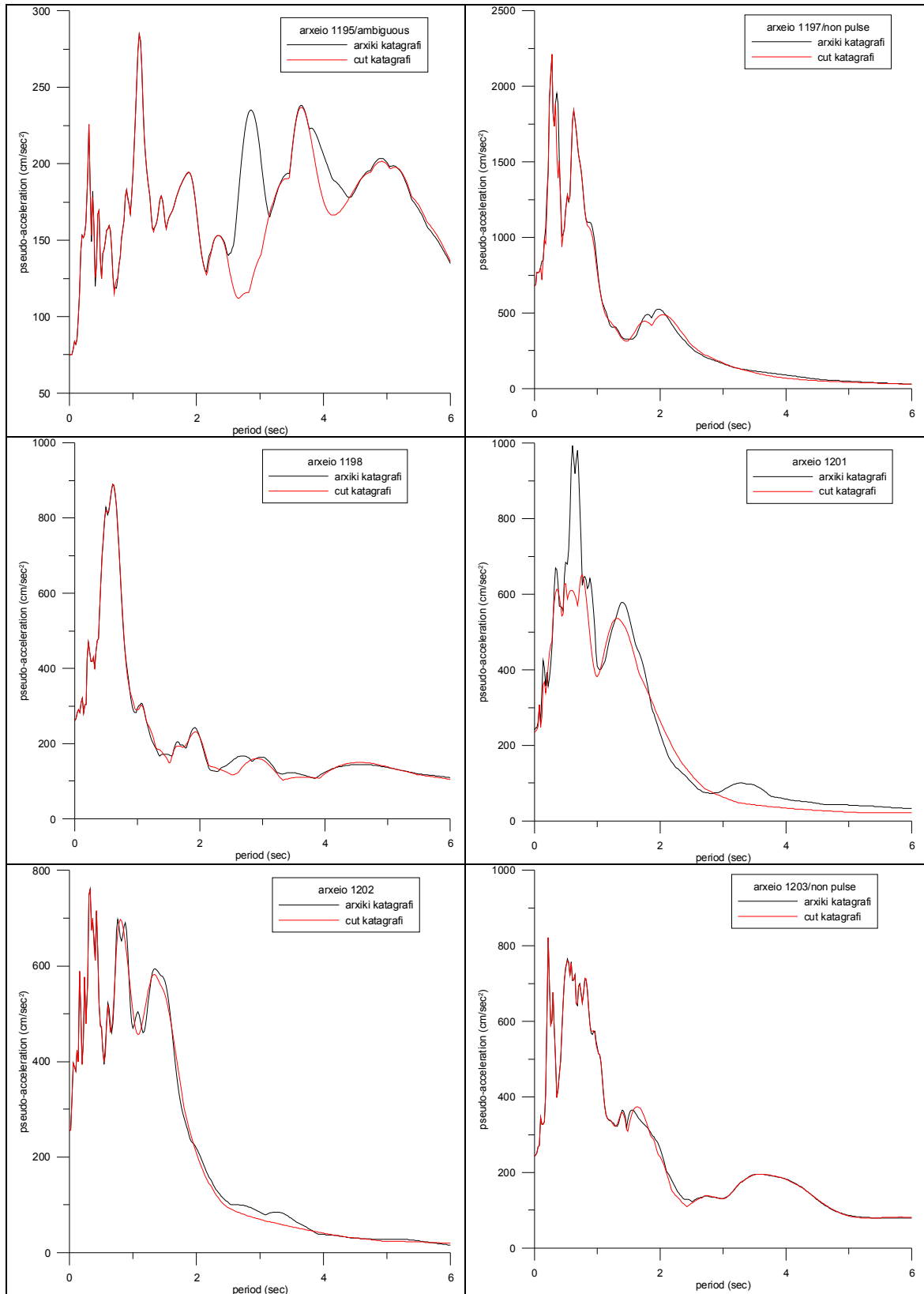
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



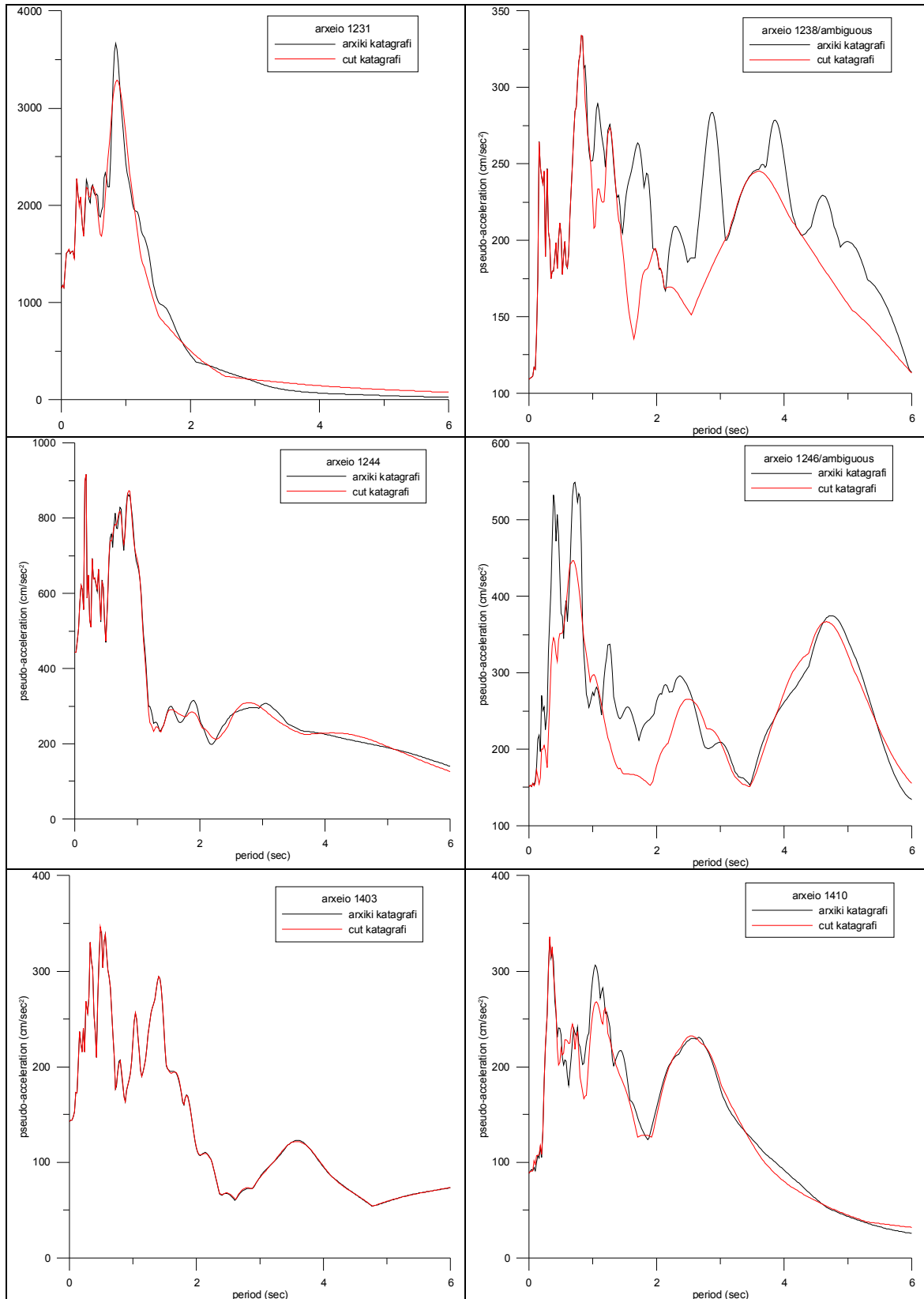
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



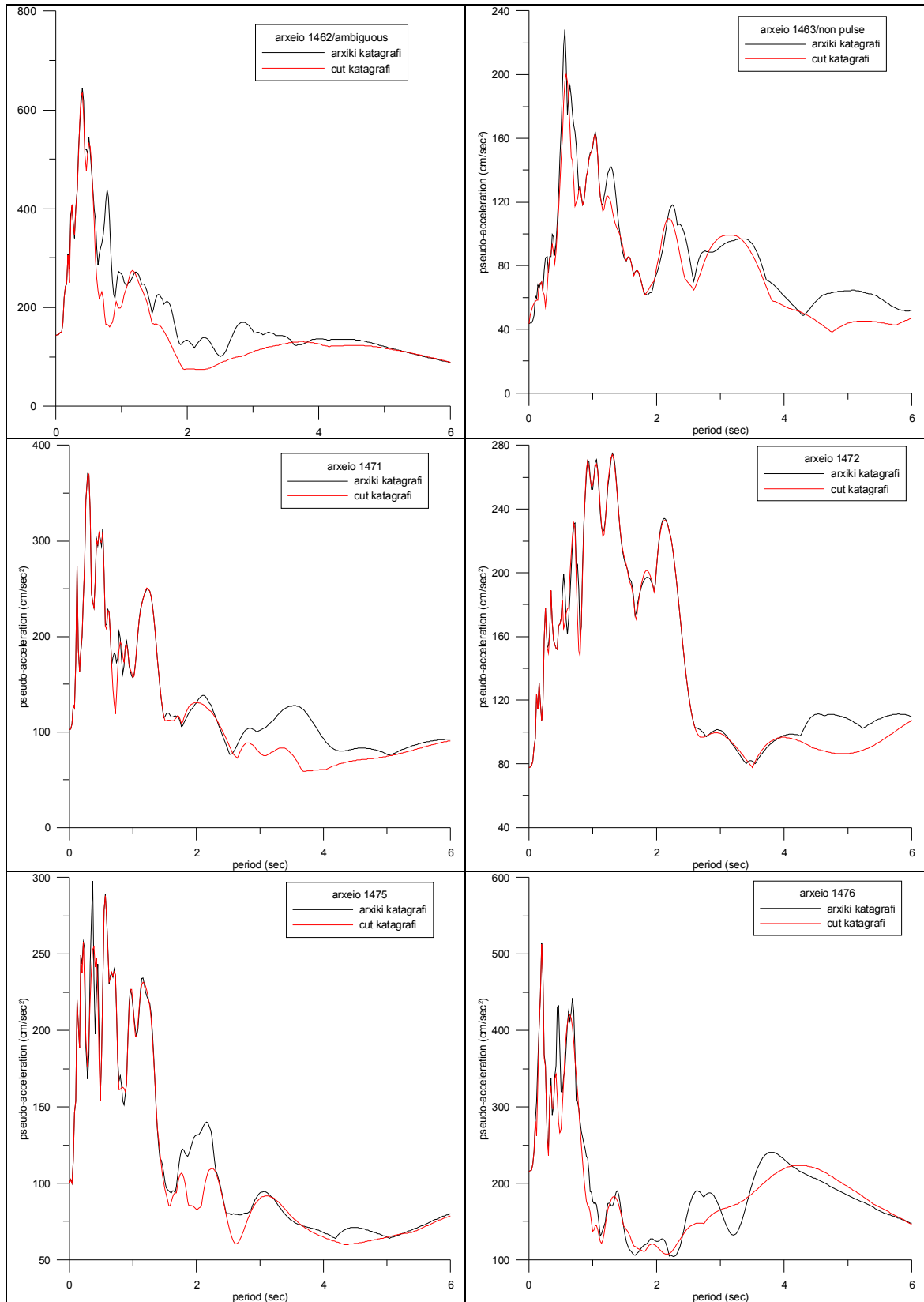
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



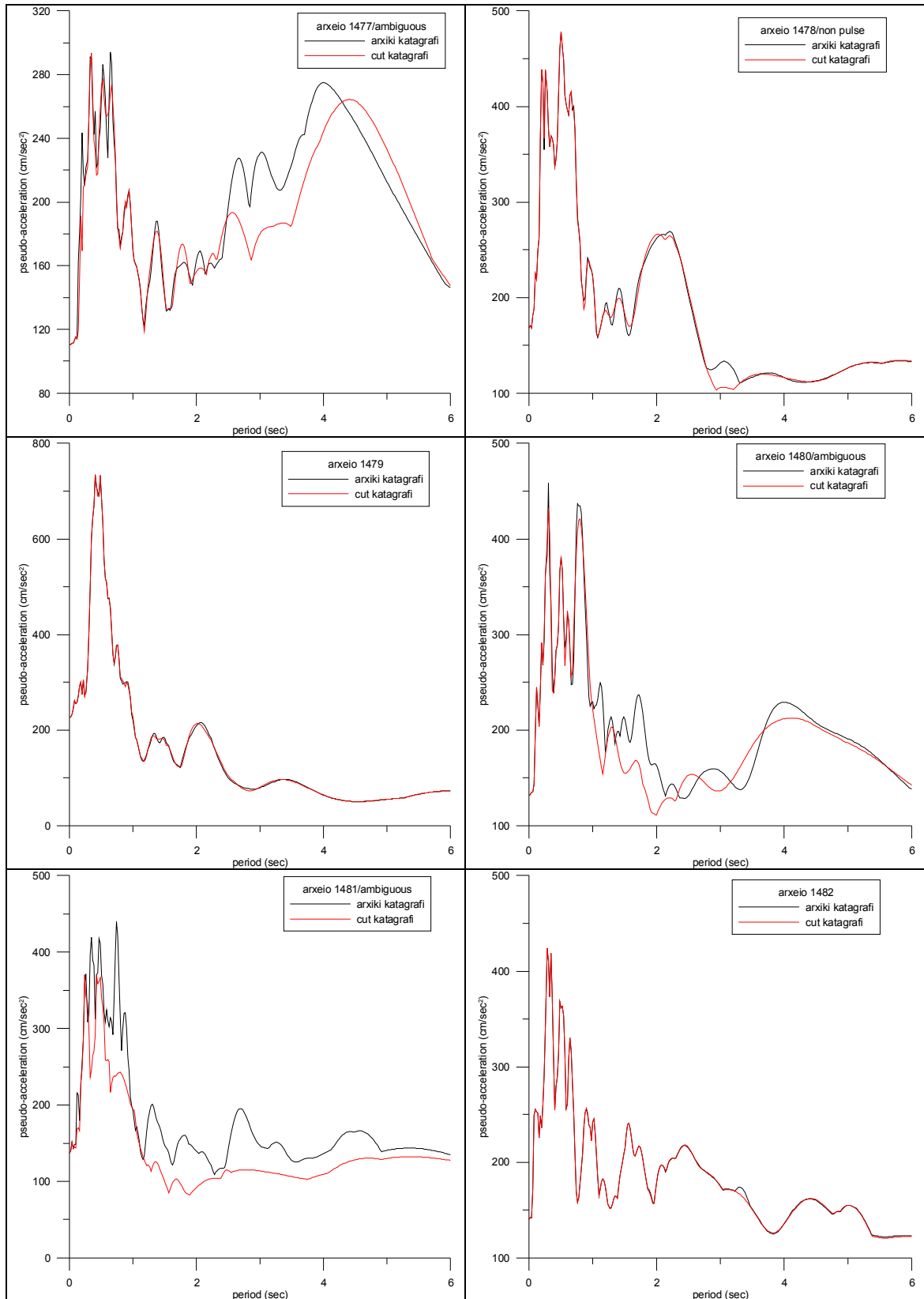
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



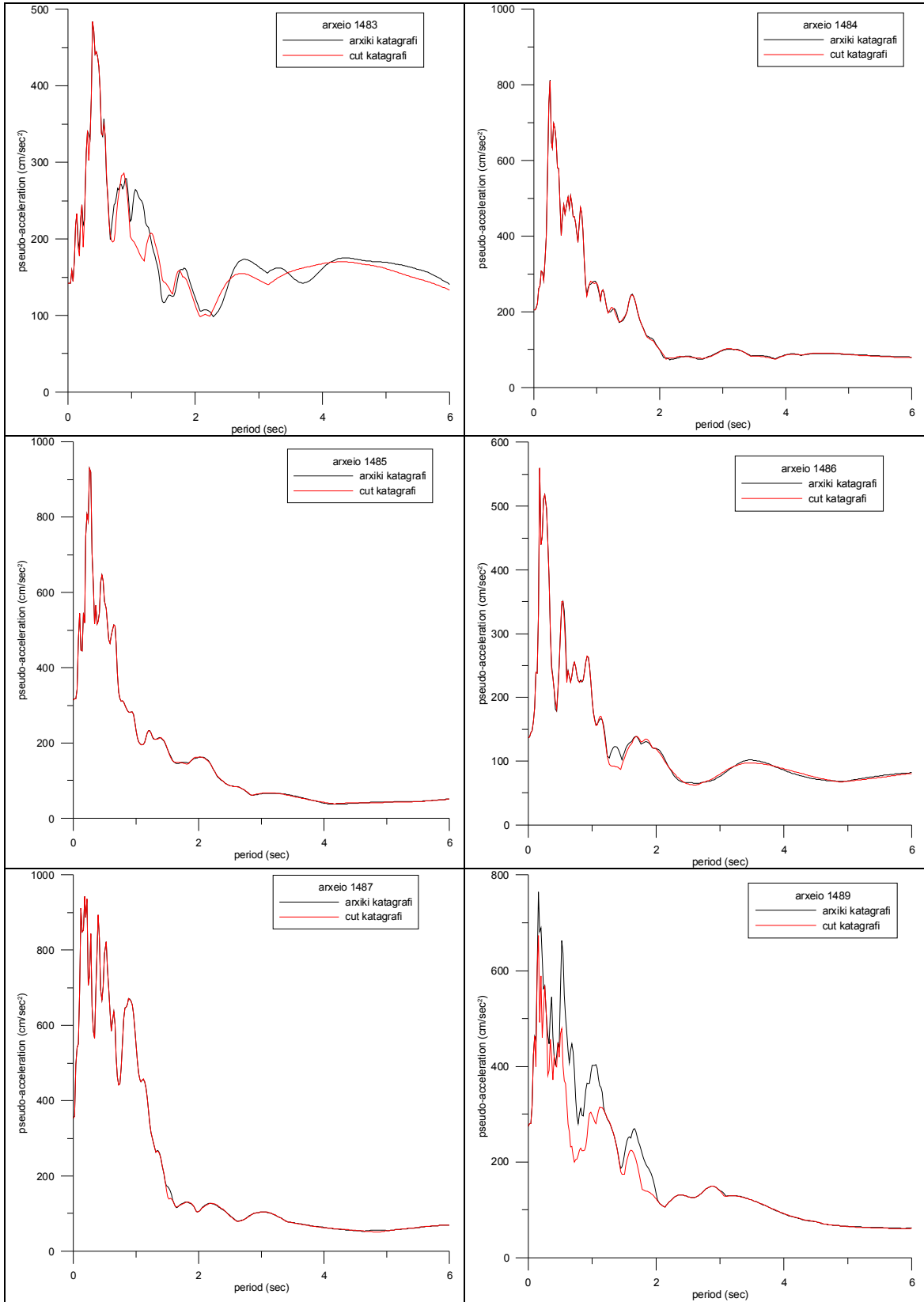
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



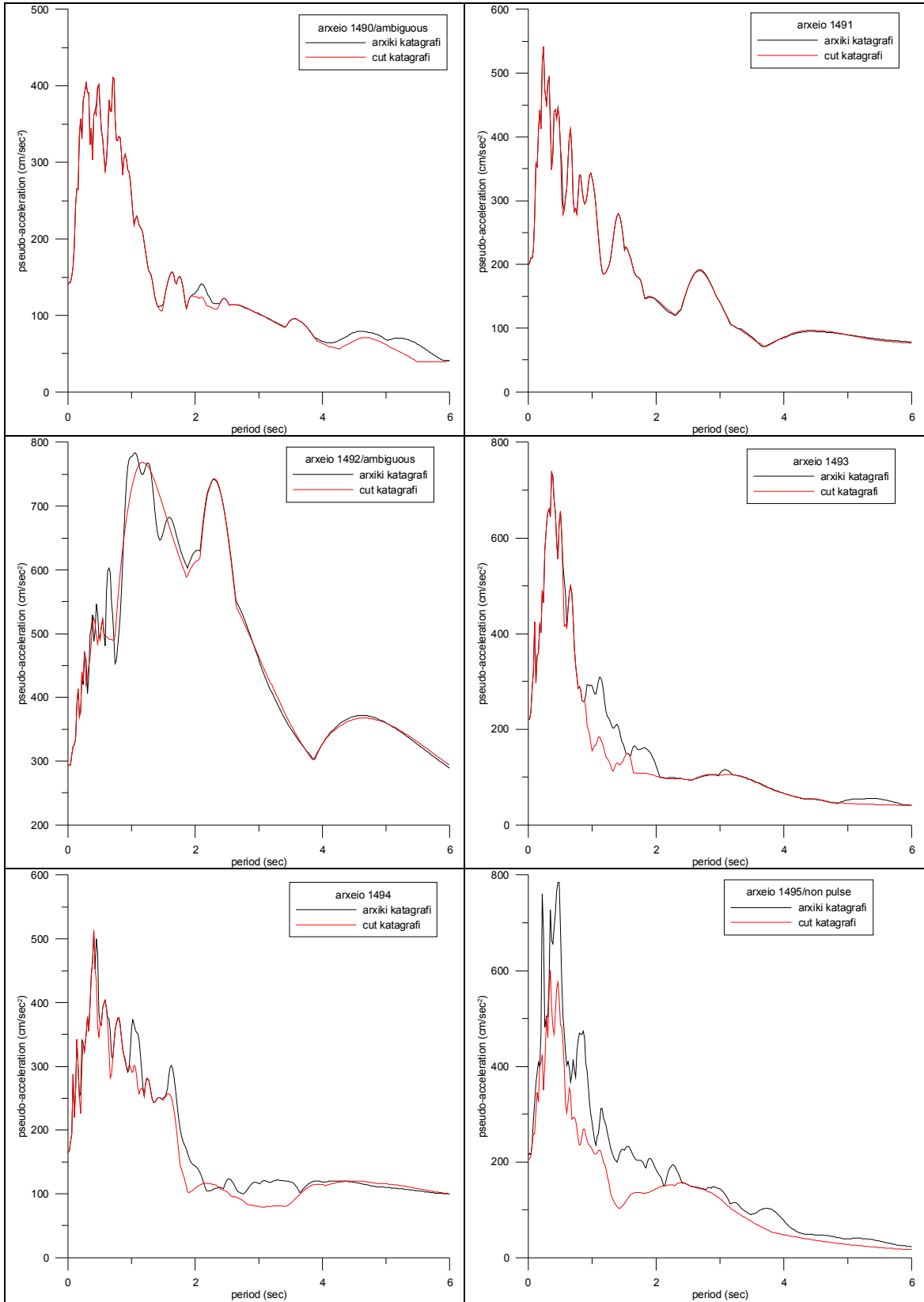
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



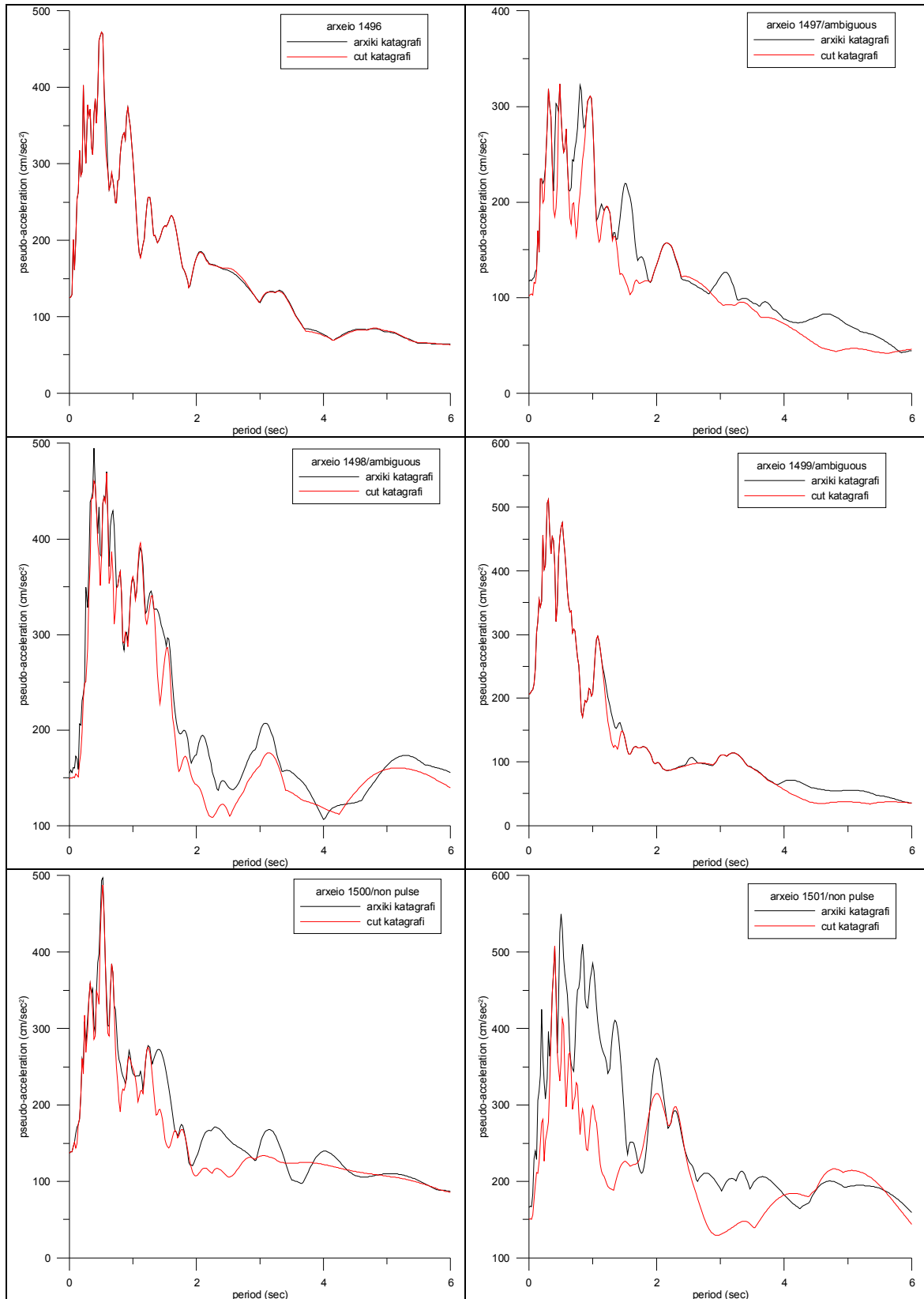
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



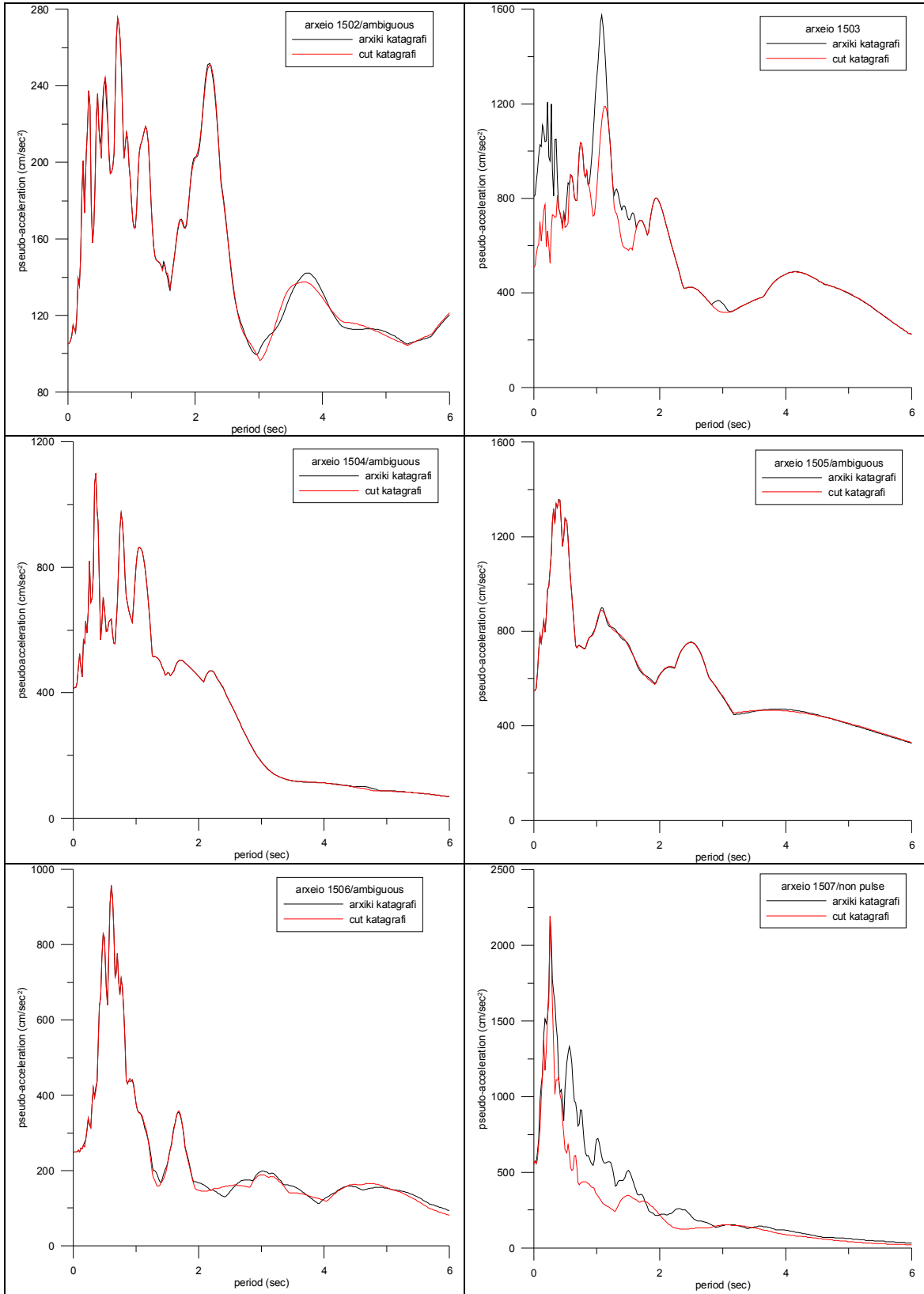
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



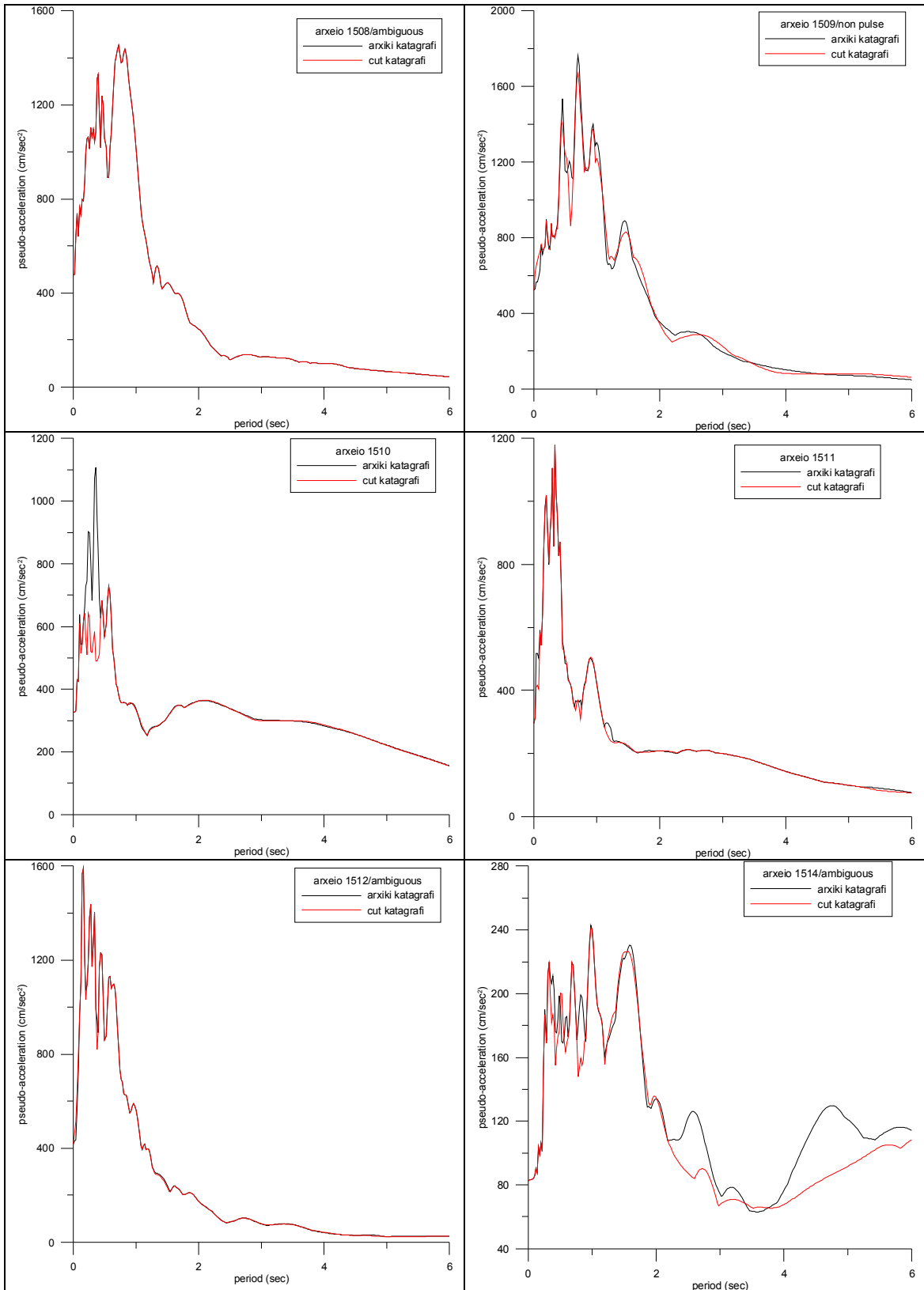
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



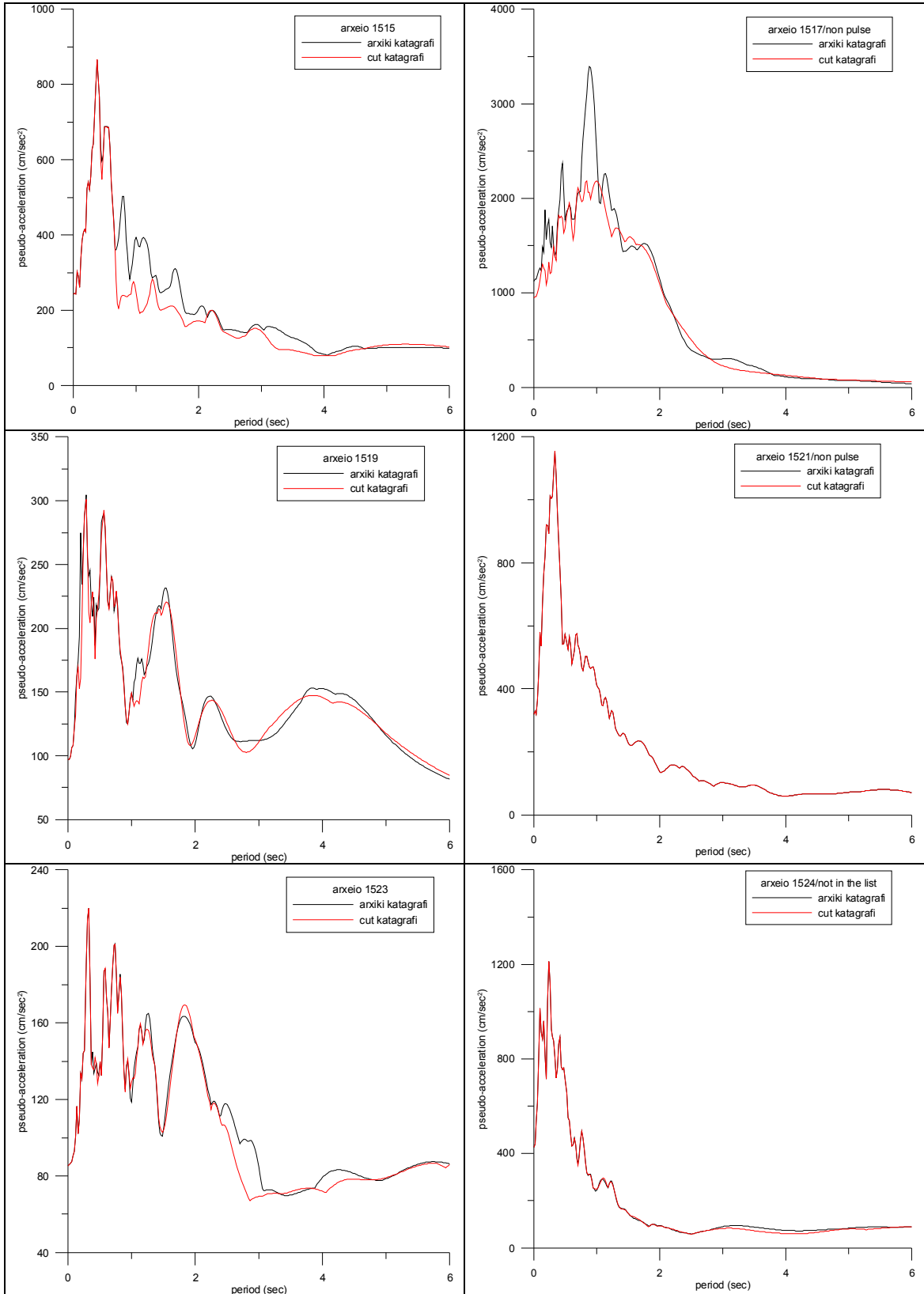
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



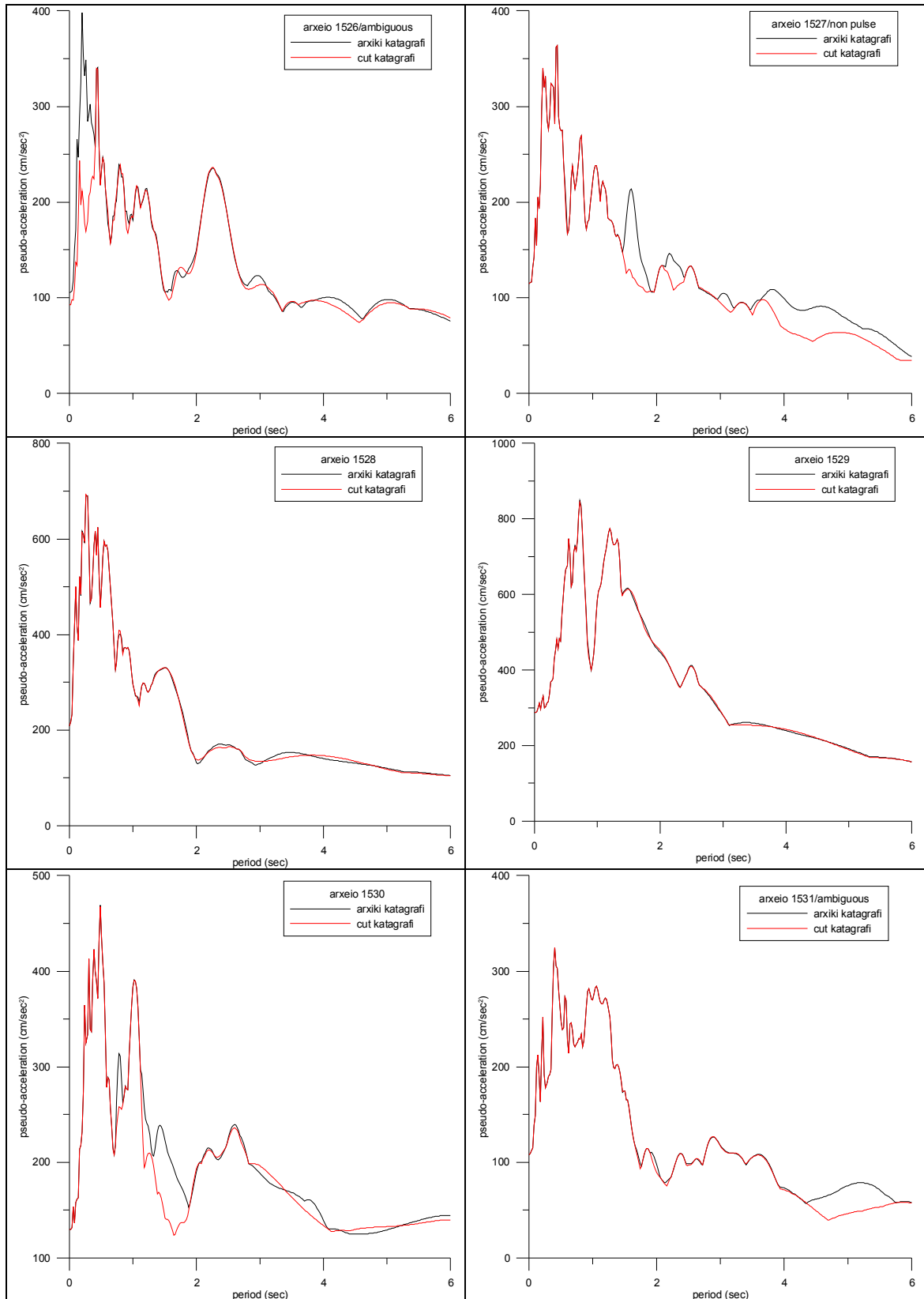
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



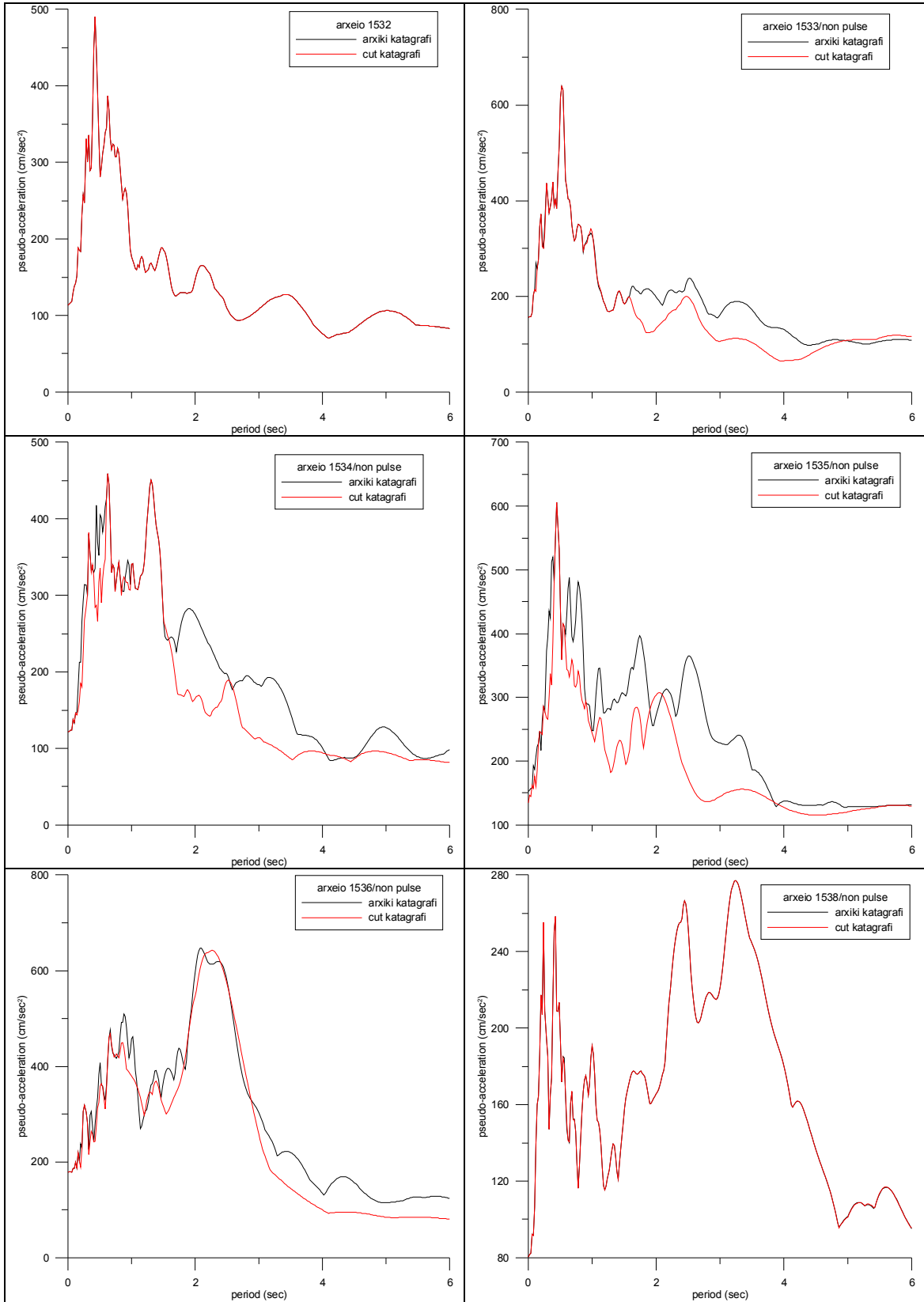
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



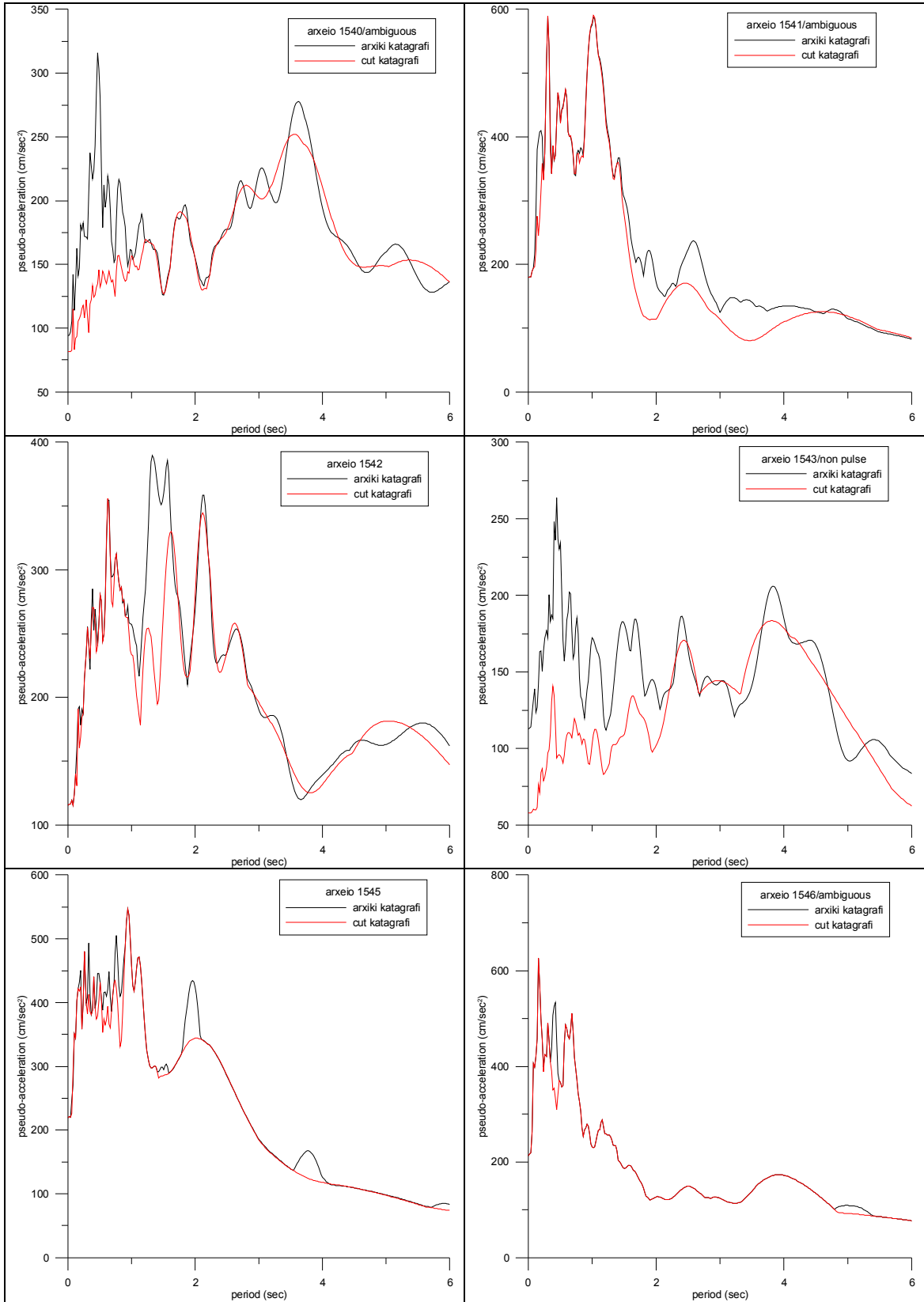
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



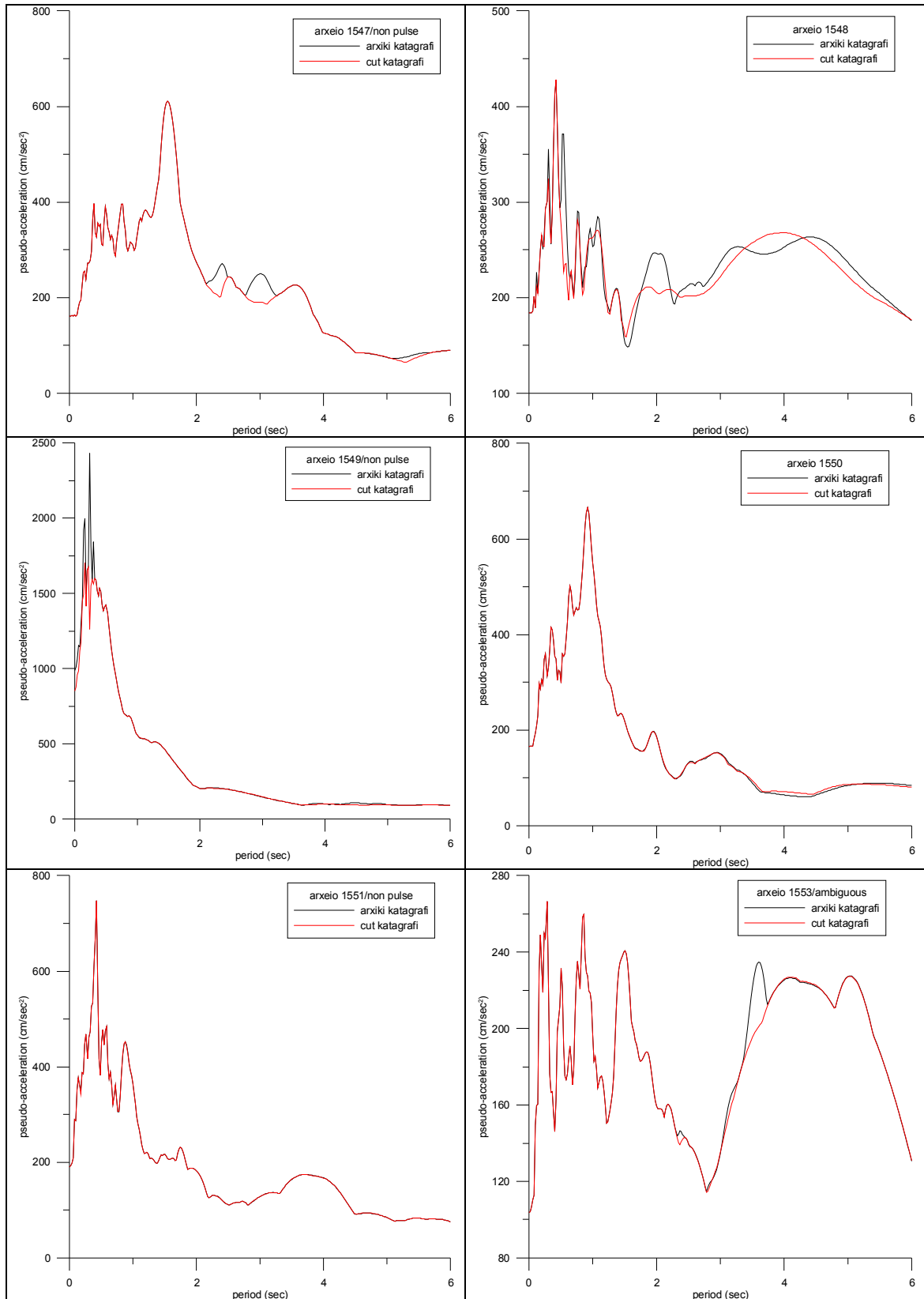
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



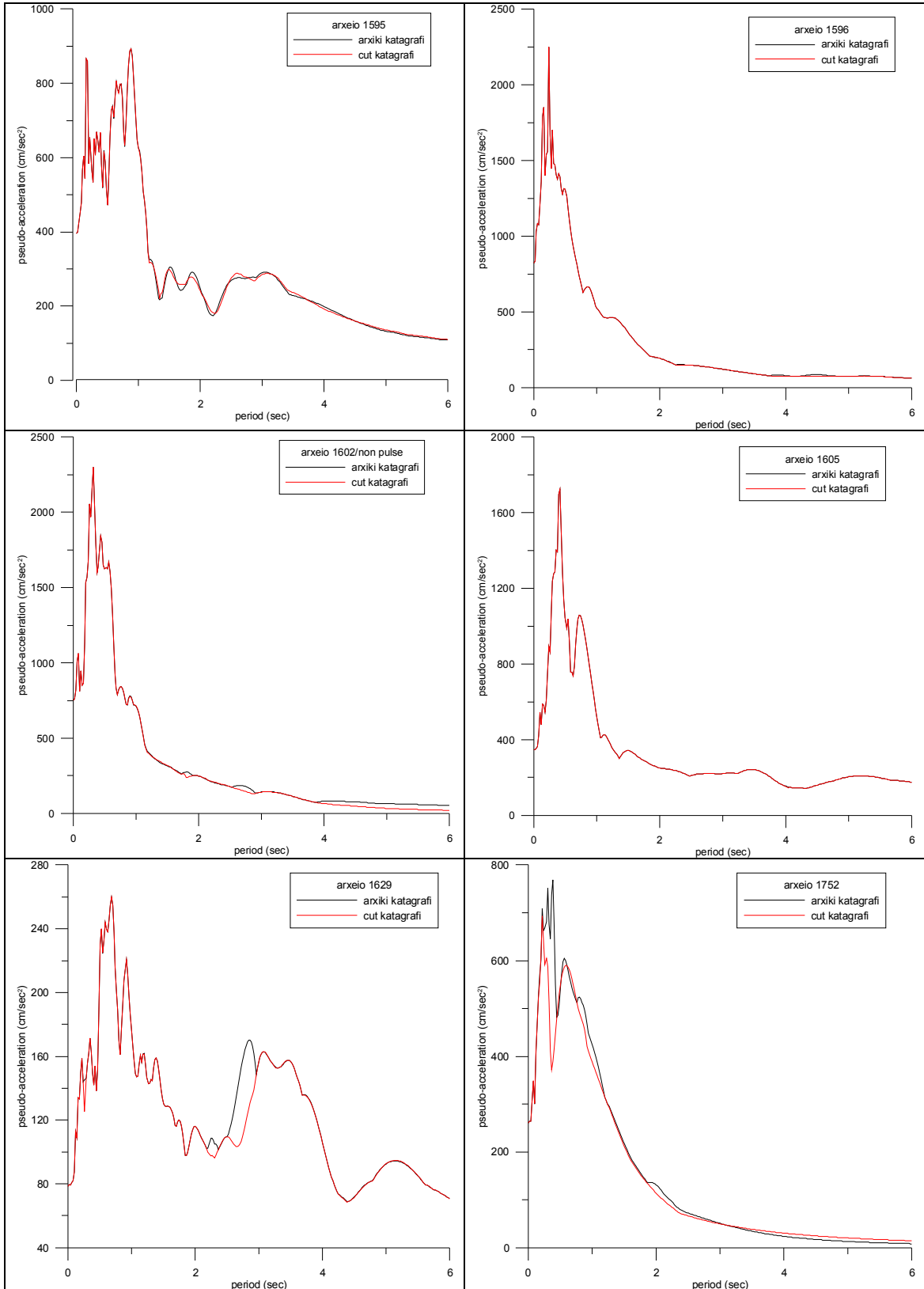
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



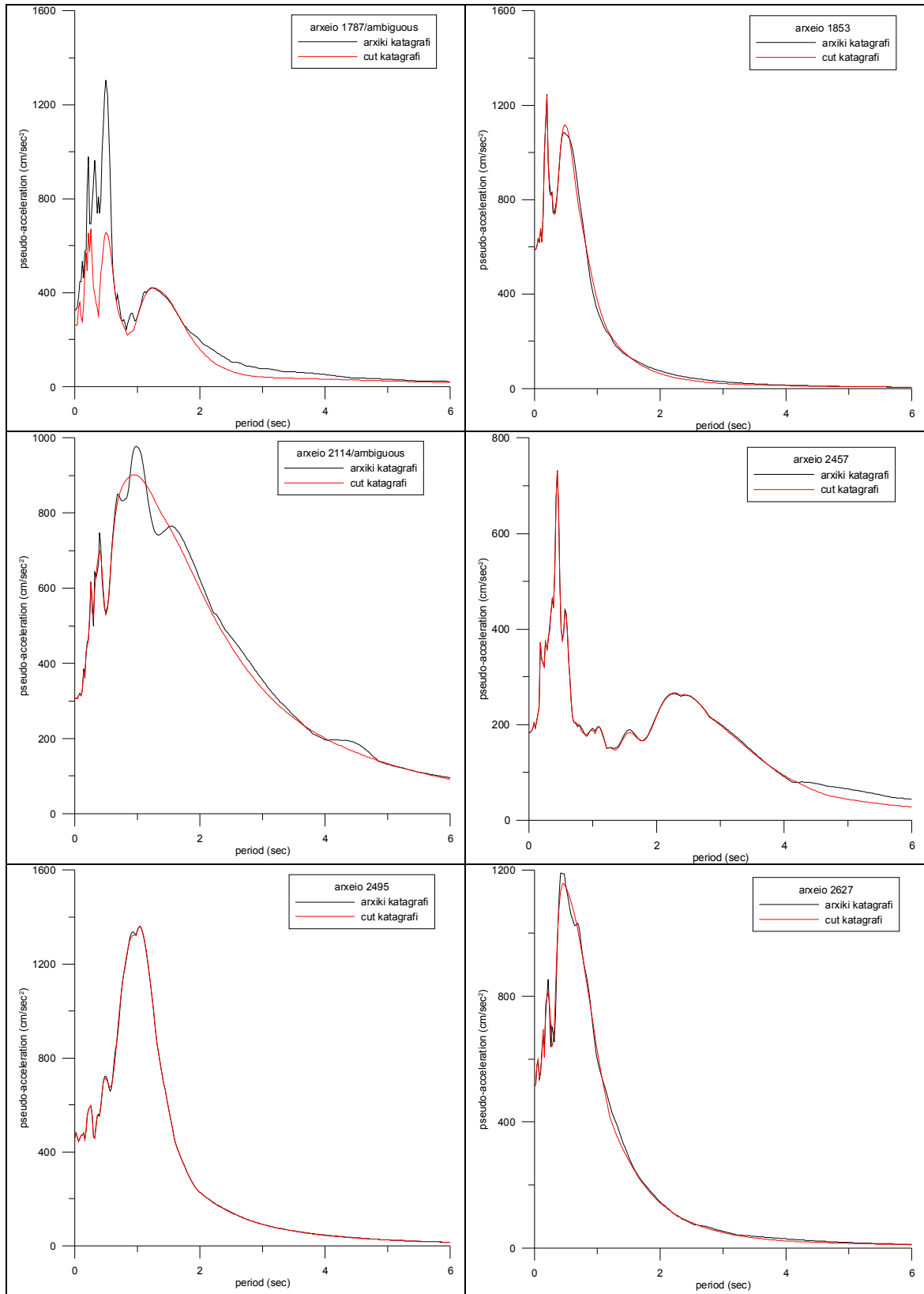
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



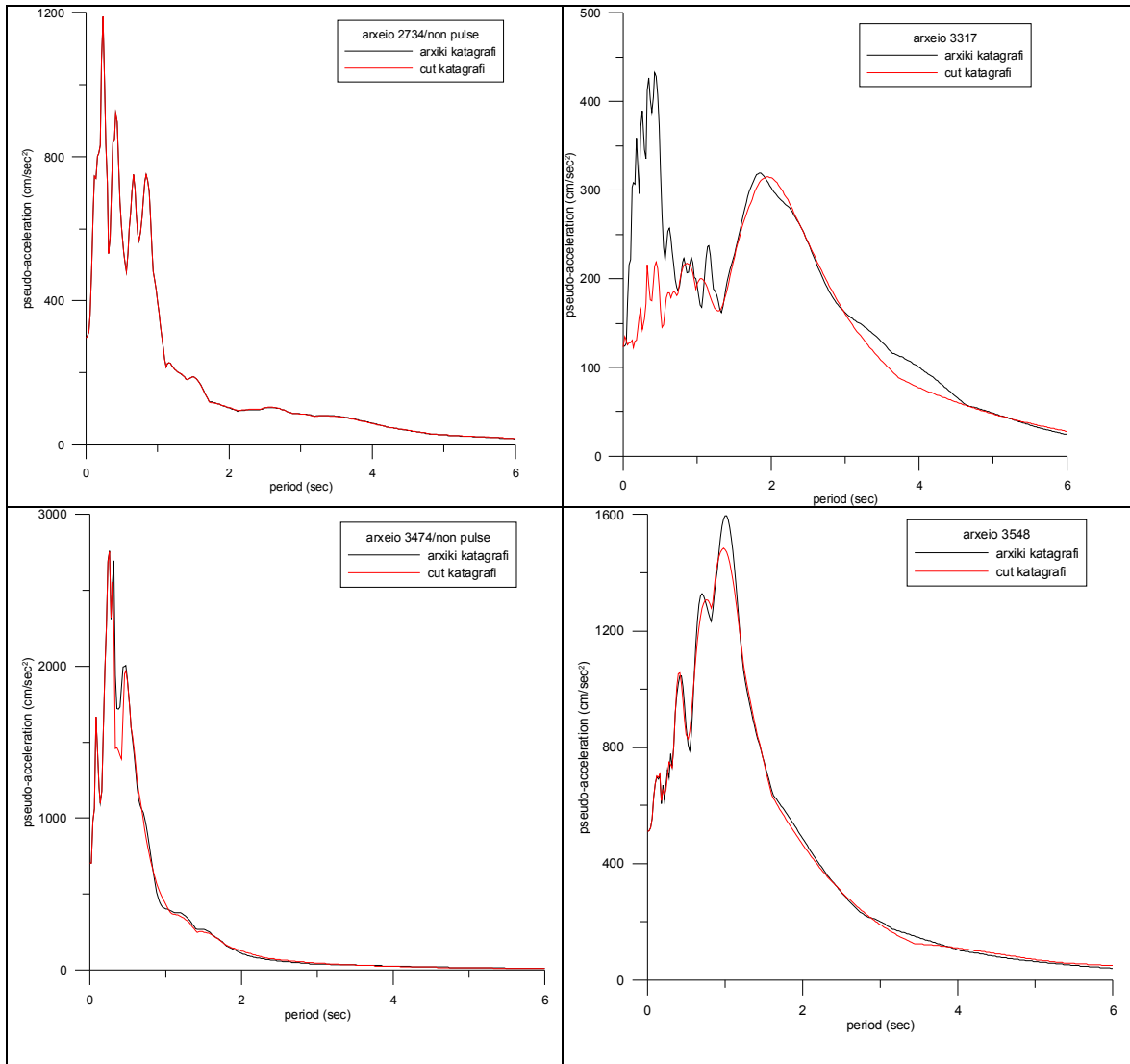
Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας



Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας

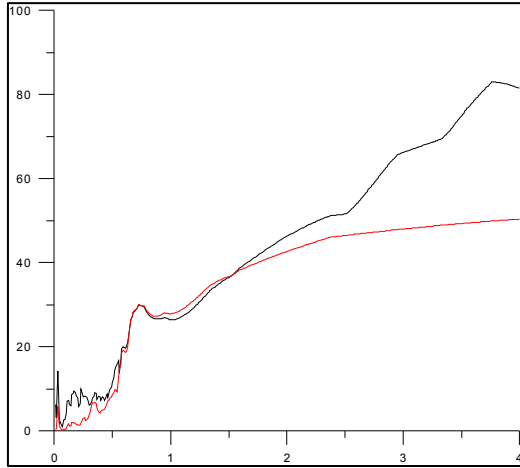


Διερεύνηση της Σημαντικής Διάρκειας της Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης σε Σχέση με Παλμούς Κατευθυντικότητας

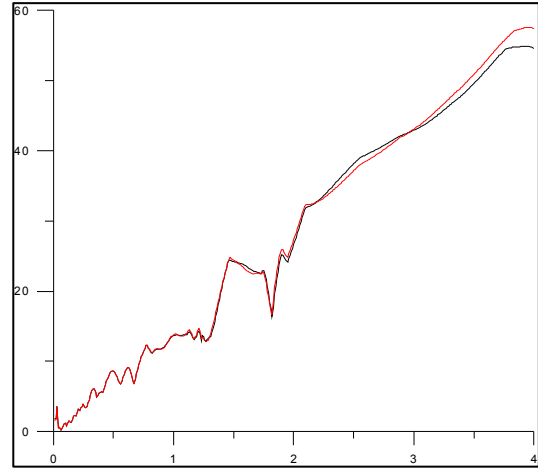


**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΦΑΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ
ΑΡΧΙΚΩΝ ΜΕ ΠΑΛΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ**

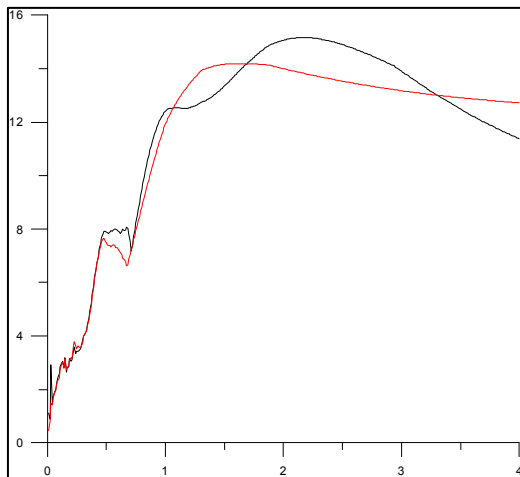
Αρχείο 77, $T_p=1.40$ sec, $\rho=91,86\%$



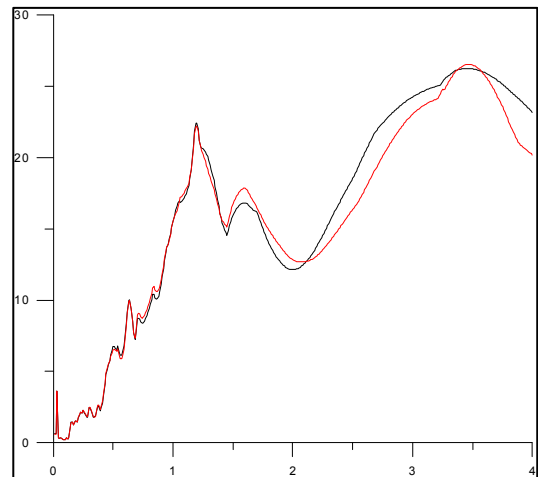
Αρχείο 126, $T_p=4.41$ sec, $\rho=99,91\%$



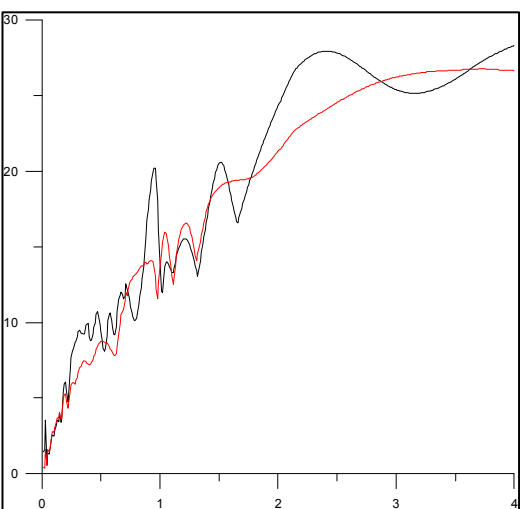
Αρχείο 150, $T_p=0.92$ sec, $\rho=97,22\%$



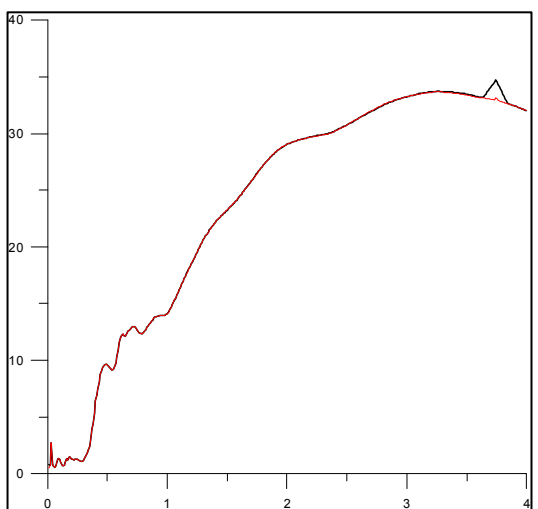
Αρχείο 158, $T_p=1.63$ sec, $\rho=99,07\%$



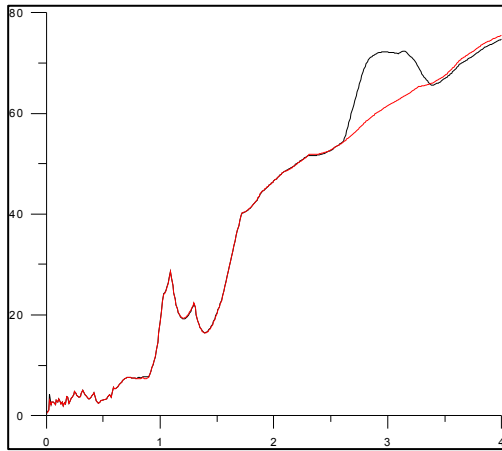
Αρχείο 159, $T_p=1.63$ sec, $\rho=96,76\%$



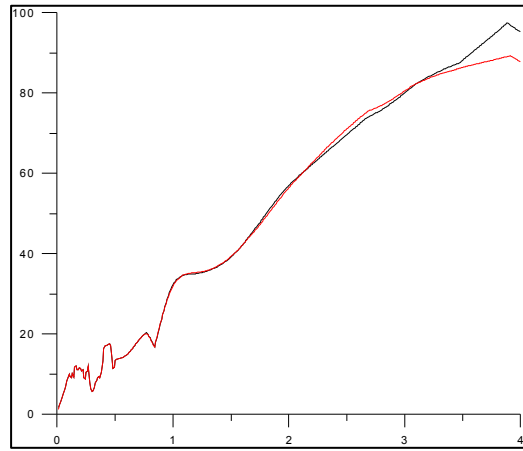
Αρχείο 161, $T_p=4.76$ sec, $\rho=99,98\%$



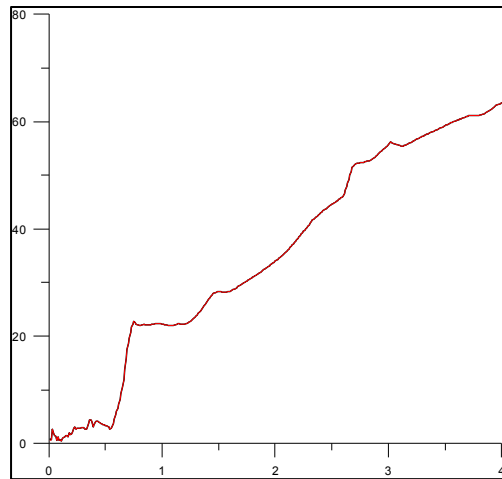
Αρχείο 170, $T_p=4.78$ sec, $\rho=99,19\%$



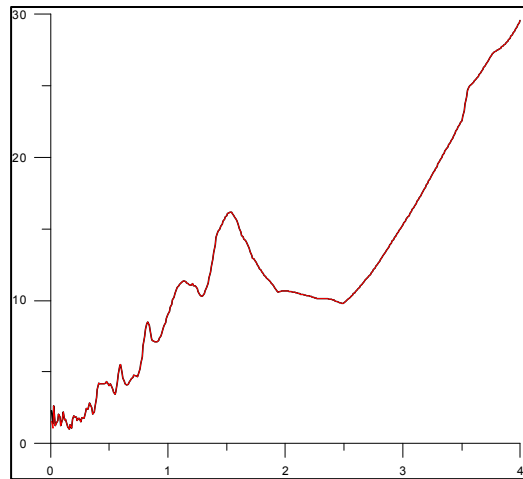
Αρχείο 171, $T_p=3$ sec, $\rho=99,77\%$



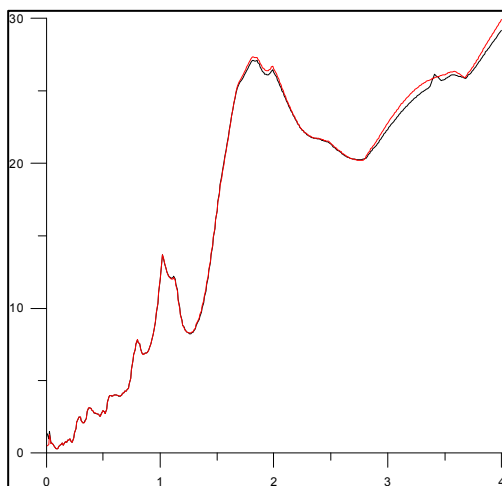
Αρχείο 173, $T_p=6.23$ sec, $\rho=100\%$



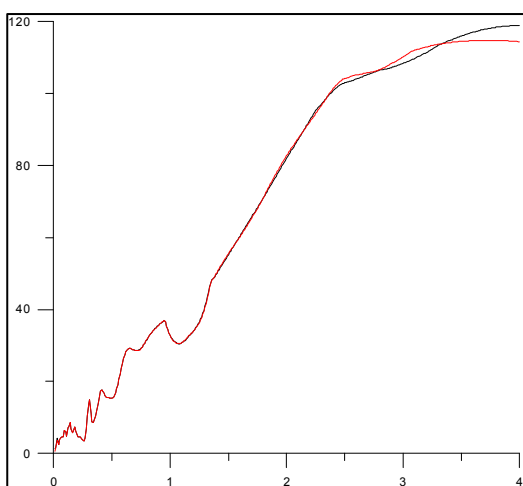
Αρχείο 174, $T_p=7.35$ sec, $\rho=100\%$



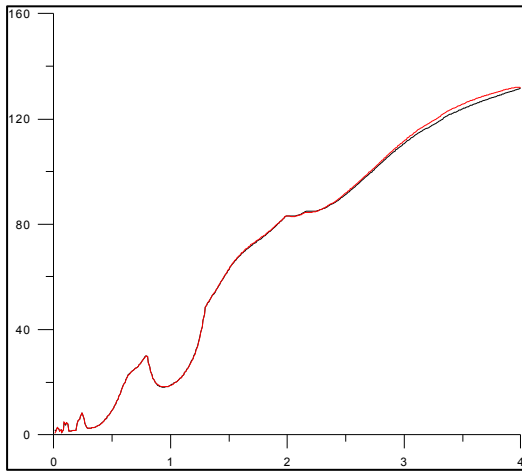
Αρχείο 178, $T_p=5.56$ sec, $\rho=99,98\%$



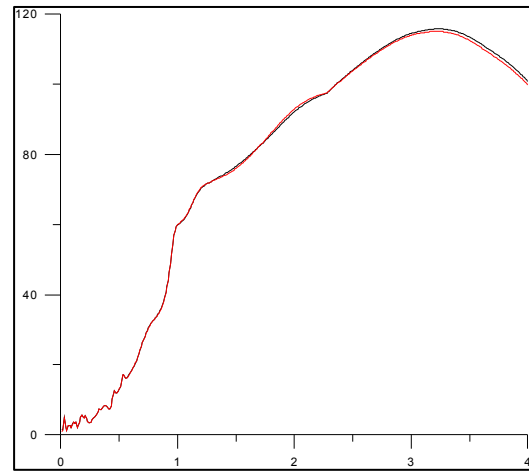
Αρχείο 179, $T_p=4.31$ sec, $\rho=99,94\%$



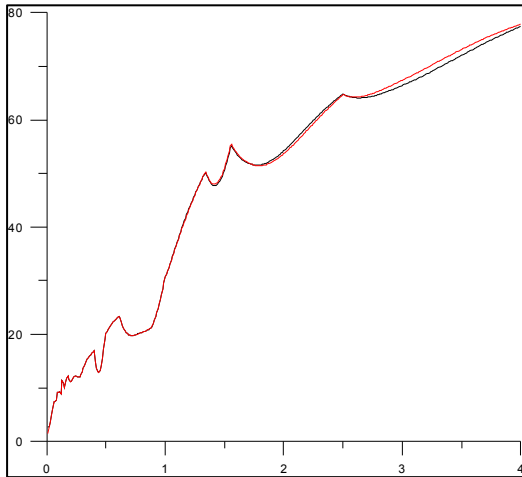
Αρχείο 180, $T_p=3.77$ sec, $\rho=100\%$



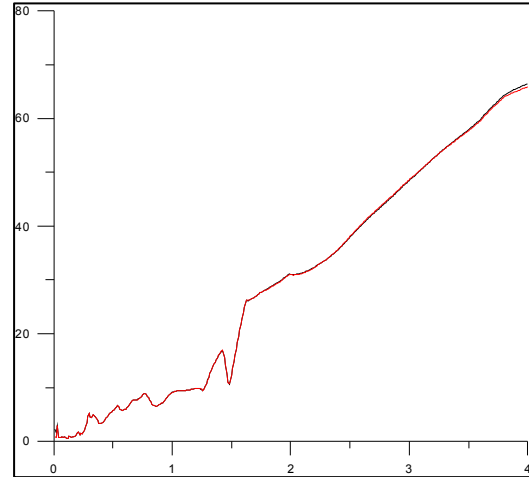
Αρχείο 181, $T_p=3.89$ sec, $\rho=99,99\%$



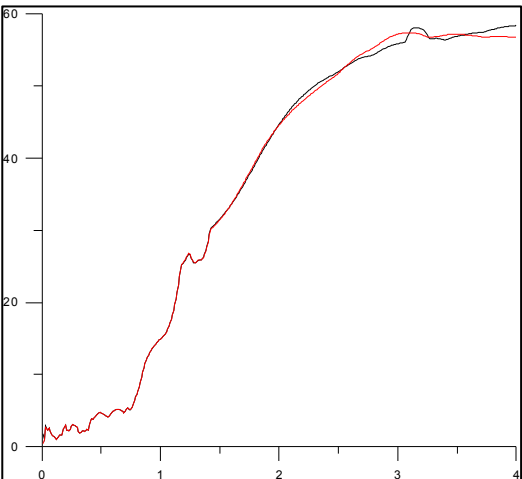
Αρχείο 182, $T_p=3.49$ sec, $\rho=99,98\%$



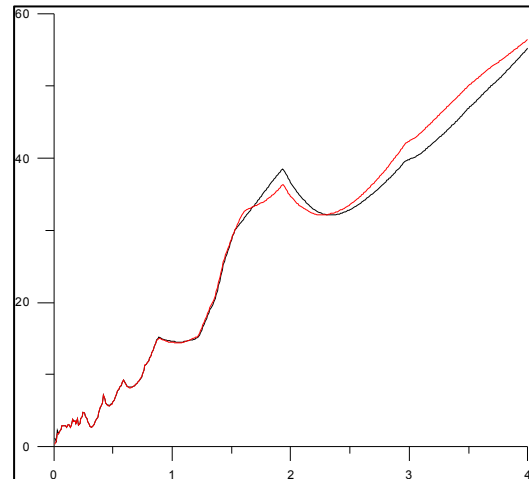
Αρχείο 183, $T_p=5.07$ sec, $\rho=100\%$



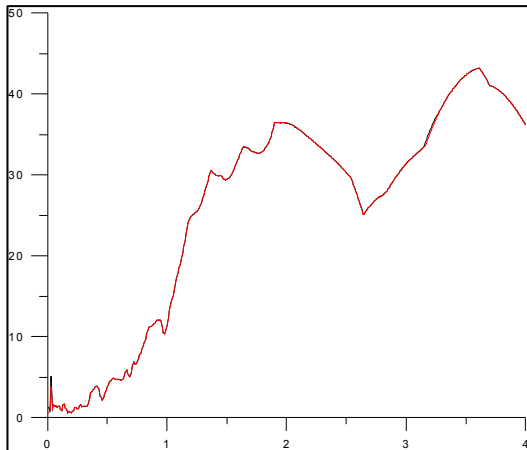
Αρχείο 184, $T_p=5.91$ sec, $\rho=99,96\%$



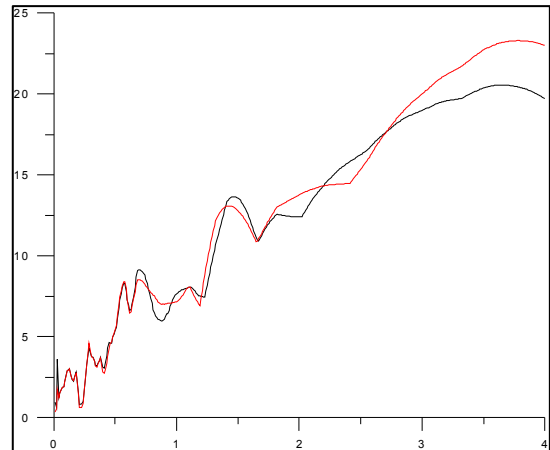
Αρχείο 185, $T_p=4.24$ sec, $\rho=99,73\%$



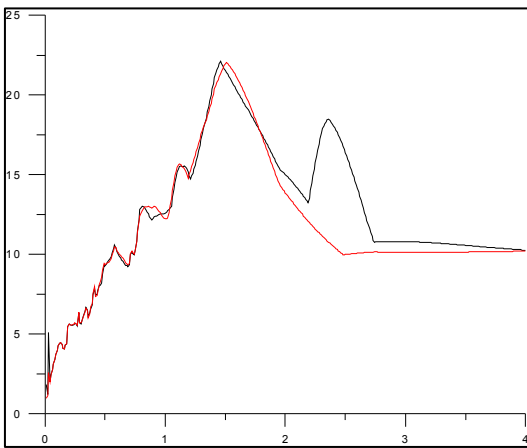
Αρχείο 292, $T_p=2.63$ sec, $\rho=100\%$



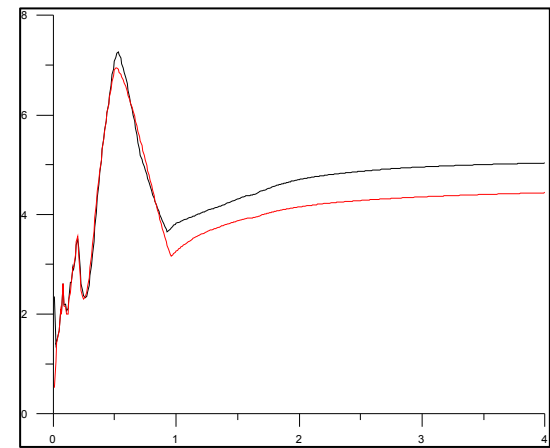
Αρχείο 316, $T_p=3.0$ sec, $\rho=98,91\%$



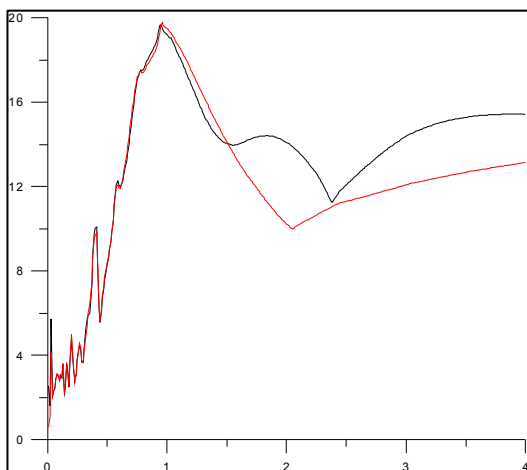
Αρχείο 338, $T_p=1.09$ sec, $\rho=90,15\%$



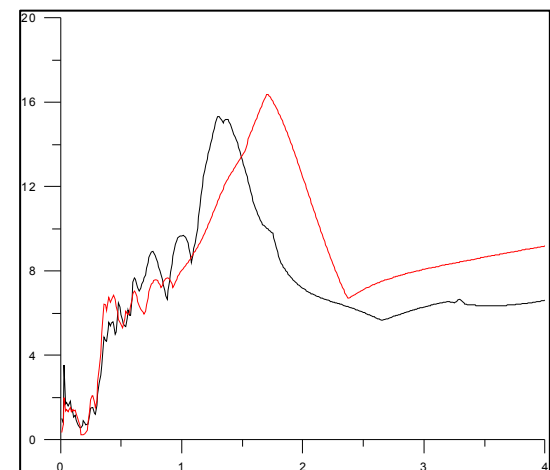
Αρχείο 418, $T_p=0.38$ sec, $\rho=95,84\%$



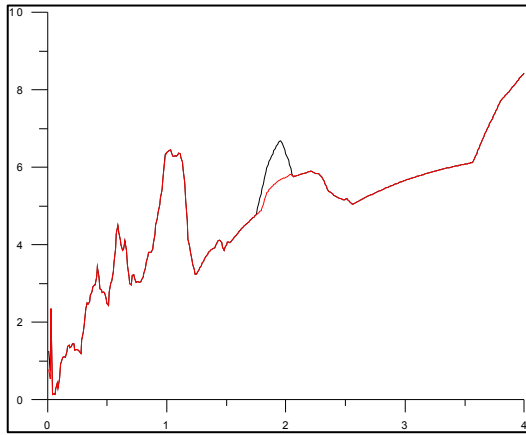
Αρχείο 451, $T_p=0.76$ sec, $\rho=93,55\%$



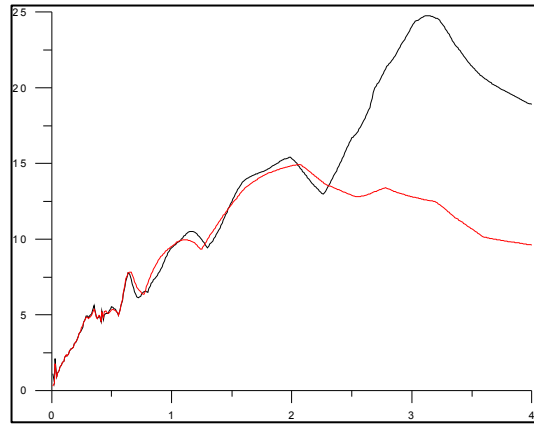
Αρχείο 459, $T_p=1.16$ sec, $\rho=74,15\%$



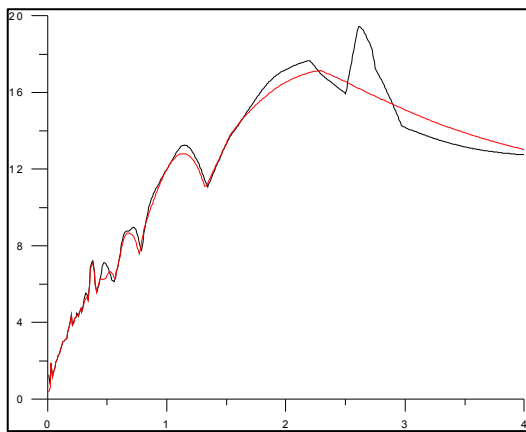
Αρχείο 496, $T_p=5.85$ sec, $\rho=99,42\%$



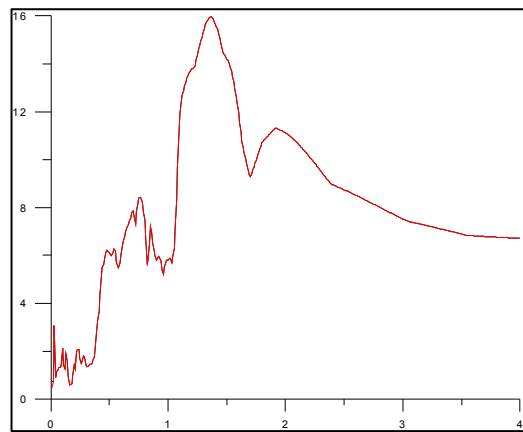
Αρχείο 503, $T_p=1.49$ sec, $\rho=70,34\%$



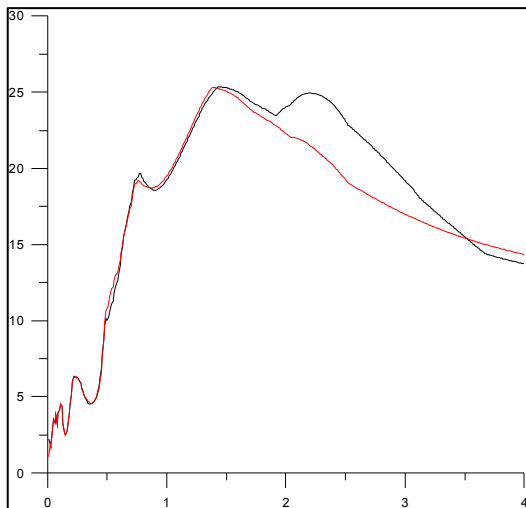
Αρχείο 508, $T_p=1.39$ sec, $\rho=98,29\%$



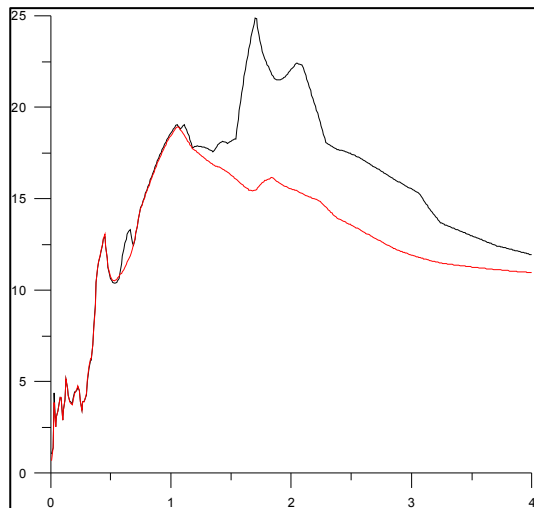
Αρχείο 527, $T_p=1.43$ sec, $\rho=100\%$



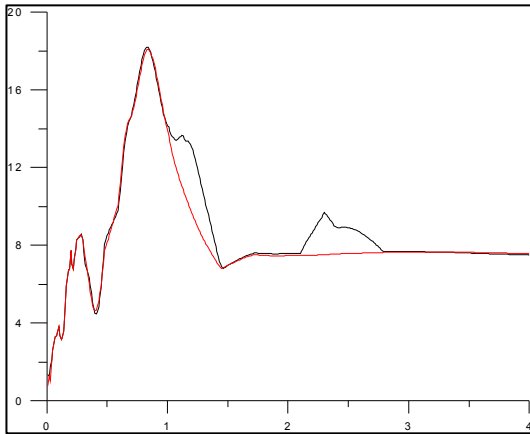
Αρχείο 529, $T_p=1.42$ sec, $\rho=97,36\%$



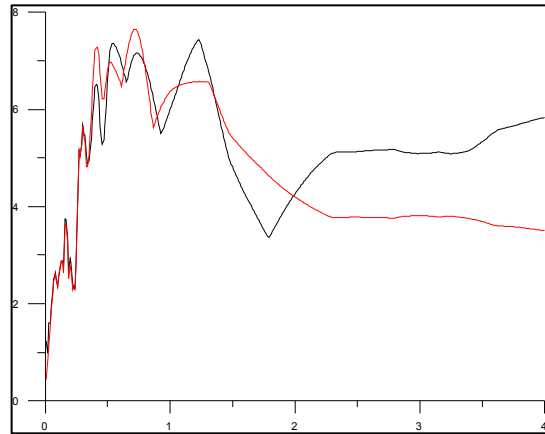
Αρχείο 568, $T_p=0.69$ sec, $\rho=89,42\%$



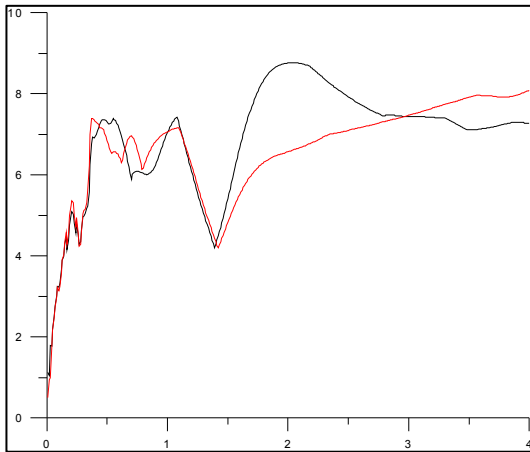
Αρχείο 569, $T_p=0.8$ sec, $\rho=96,41\%$



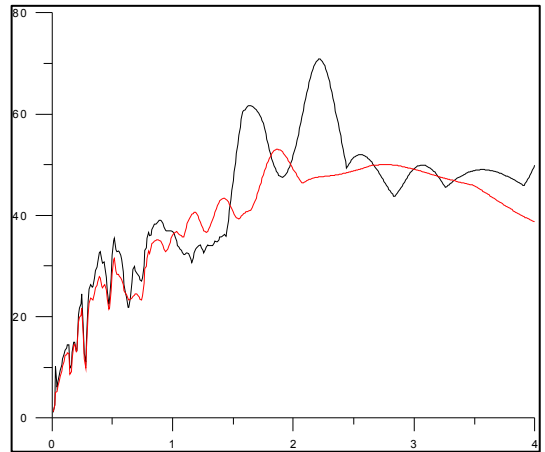
Αρχείο 615, $T_p=0.81$ sec, $\rho=71,55\%$



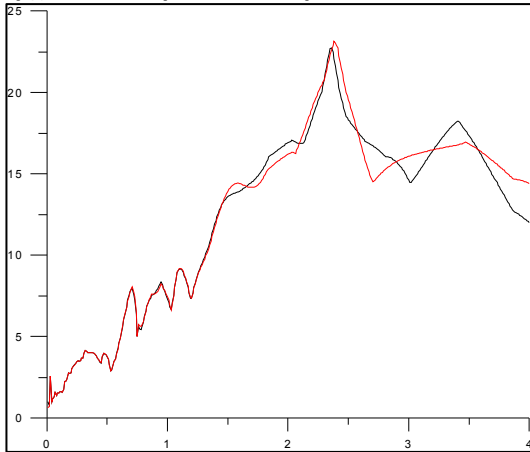
Αρχείο 645, $T_p=0.77$ sec, $\rho=76,37\%$



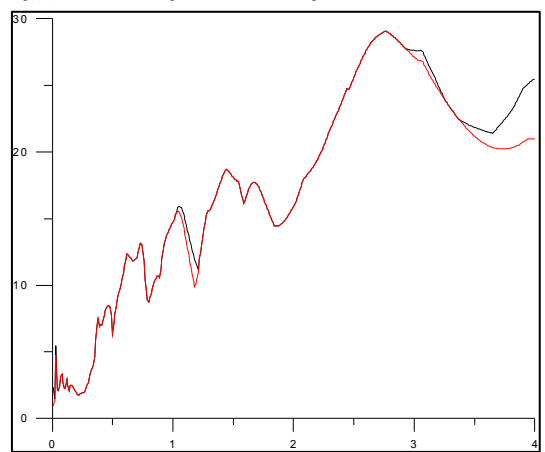
Αρχείο 723, $T_p=2.40$ sec, $\rho=85,39\%$



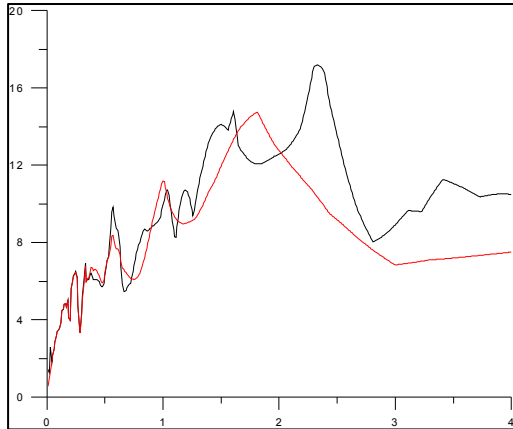
Αρχείο 738, $T_p=2.30$ sec, $\rho=98,97\%$



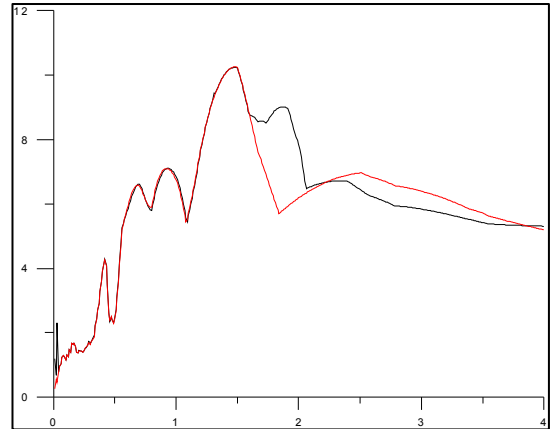
Αρχείο 753, $T_p=0.75$ sec, $\rho=99,23\%$



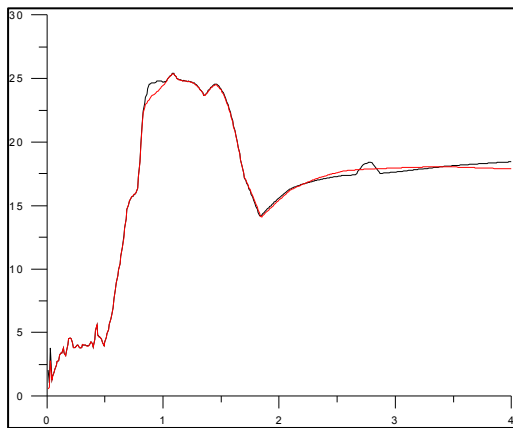
Αρχείο 758, $T_p=1.47$ sec, $\rho=76,73\%$



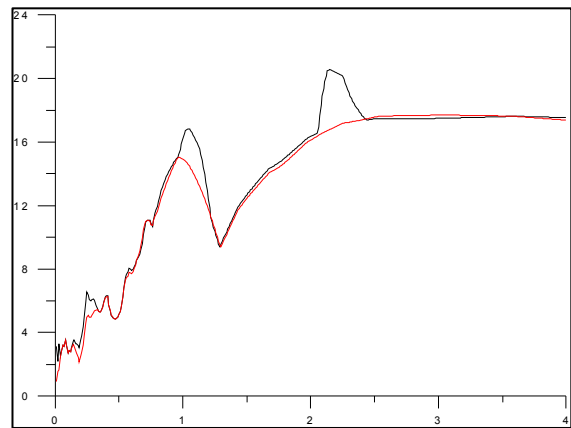
Αρχείο 764, $T_p=1.26$ sec, $\rho=92,74\%$



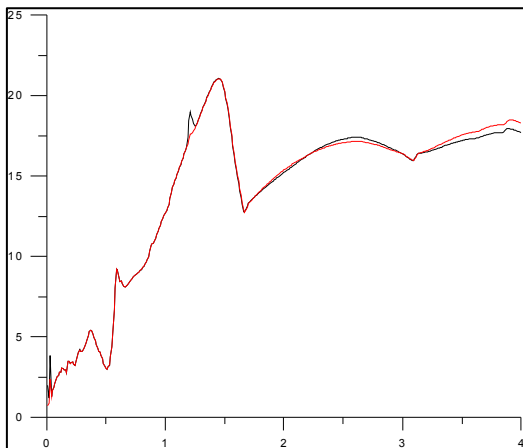
Αρχείο 766, $T_p=1.53$ sec, $\rho=99,9\%$



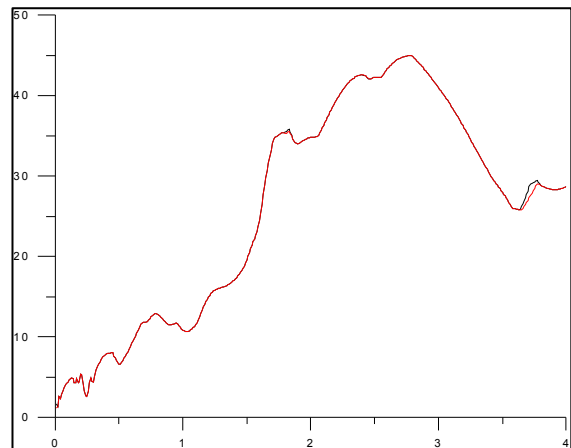
Αρχείο 767, $T_p=2.02$ sec, $\rho=98,34\%$



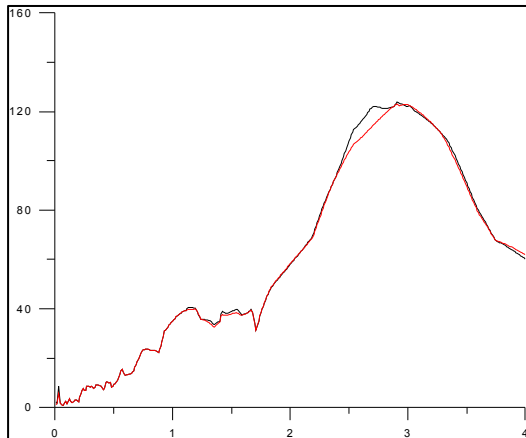
Αρχείο 768, $T_p=1.45$ sec, $\rho=99,88\%$



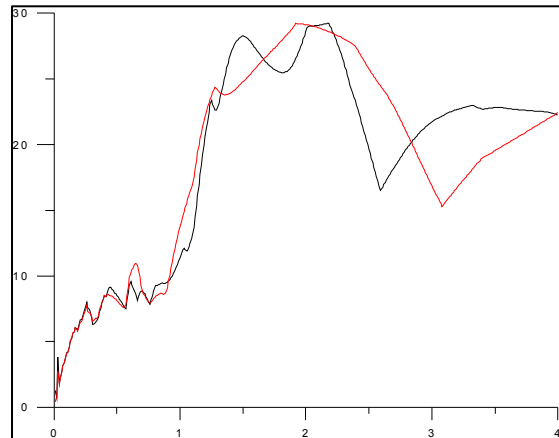
Αρχείο 778, $T_p=6.99$ sec, $\rho=99,99\%$



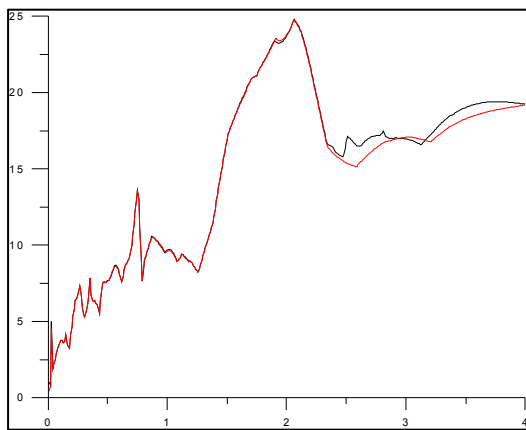
Αρχείο 779, $T_p=3.27$ sec, $\rho=99,92\%$



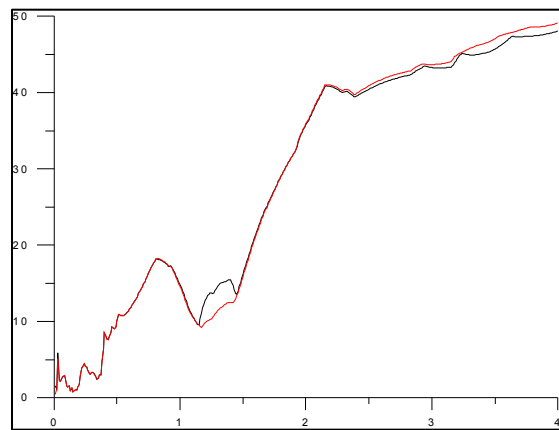
Αρχείο 783, $T_p=1.51$ sec, $\rho=91,81\%$



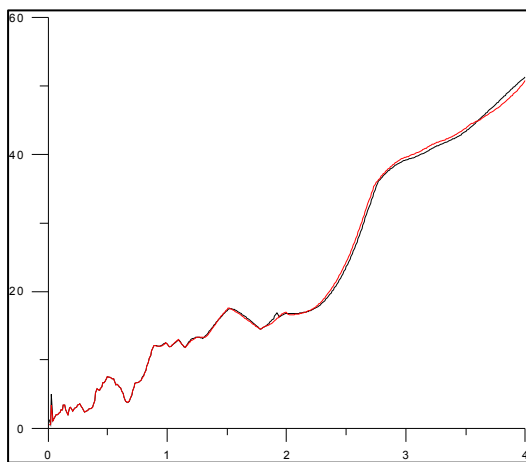
Αρχείο 787, $T_p=3.16$ sec, $\rho=99,79\%$



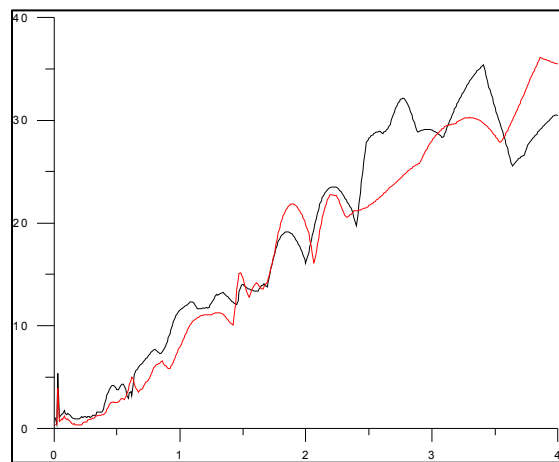
Αρχείο 802, $T_p=5.95$ sec, $\rho=99,89\%$



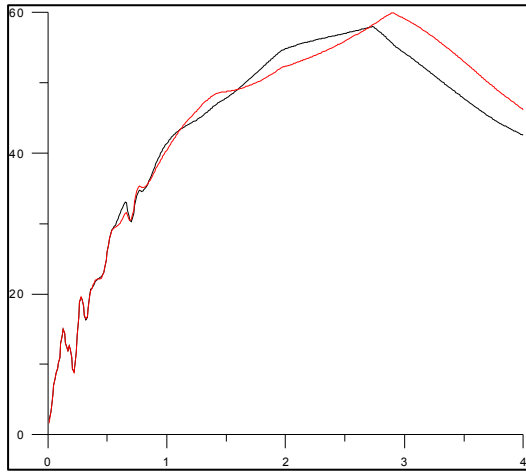
Αρχείο 803, $T_p=4.63$ sec, $\rho=99,96\%$



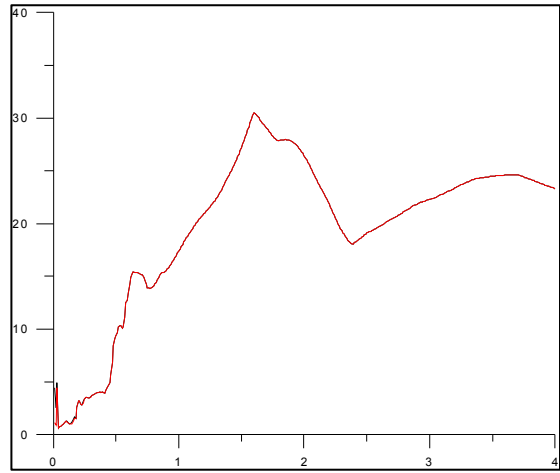
Αρχείο 806, $T_p=3.14$ sec, $\rho=95,62\%$



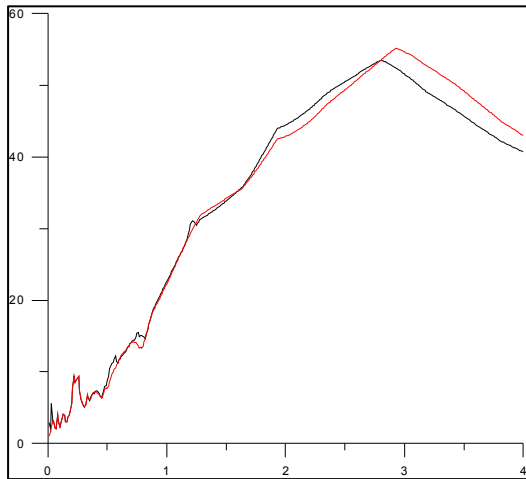
Αρχείο 821, $T_p=2.42$ sec, $\rho=98,16\%$



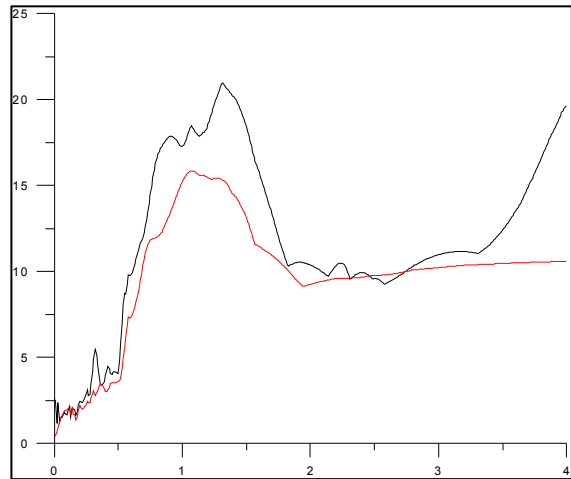
Αρχείο 825, $T_p=2.62$ sec, $\rho=99,97\%$



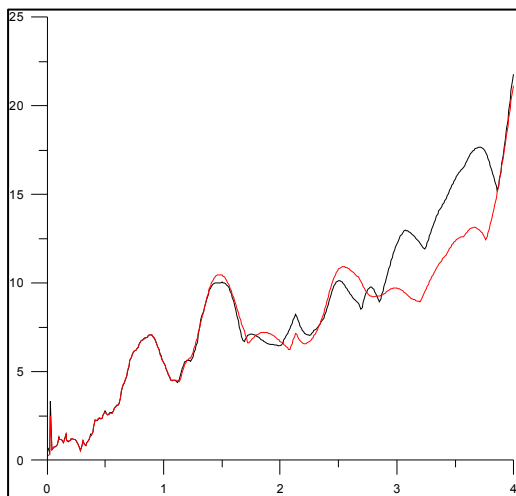
Αρχείο 828, $T_p=2.68$ sec, $\rho=99,47\%$



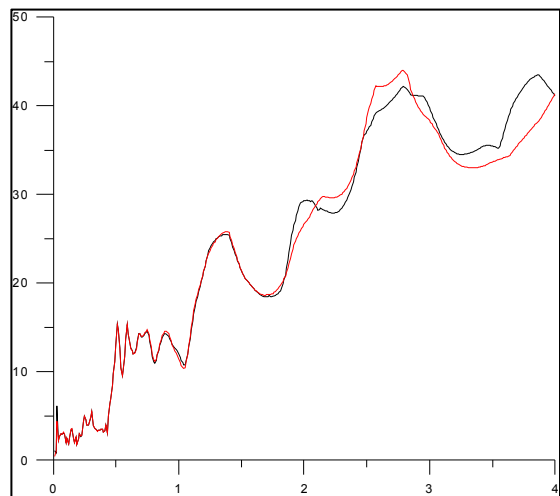
Αρχείο 829, $T_p=1.35$ sec, $\rho=91,59\%$



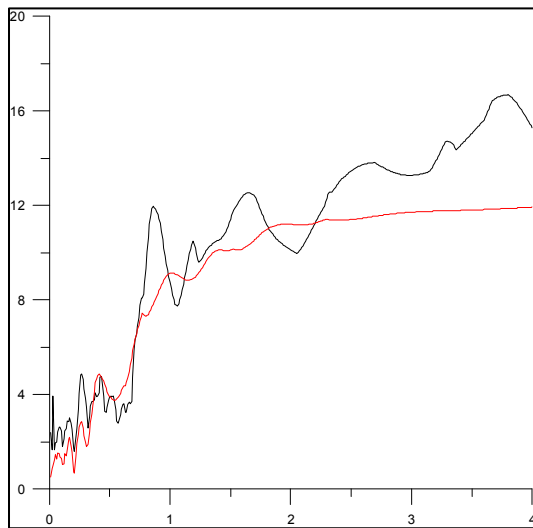
Αρχείο 838, $T_p=7.63$ sec, $\rho=95,56\%$



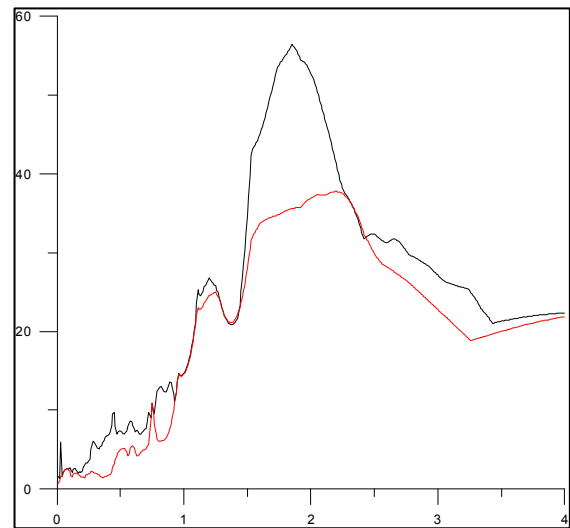
Αρχείο 900, $T_p=7.35$ sec, $\rho=99\%$



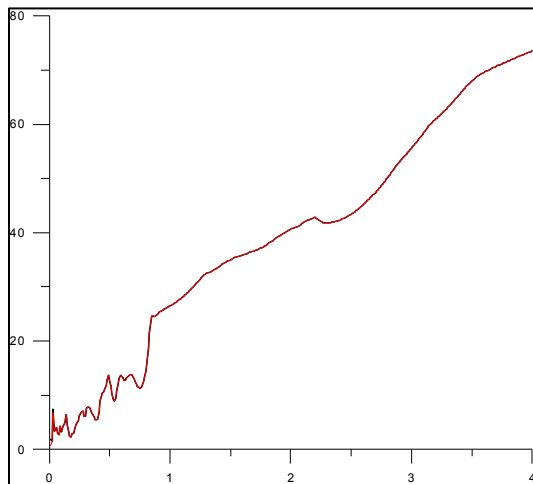
Αρχείο 952, $T_p=1.18$ sec, $\rho=93,16\%$



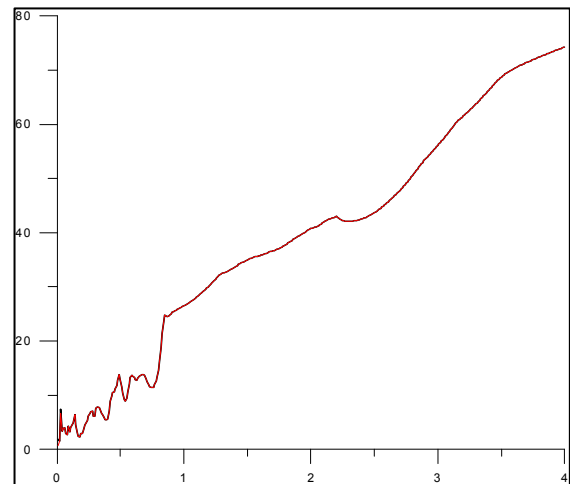
Αρχείο 959, $T_p=2.12$ sec, $\rho=94,52\%$



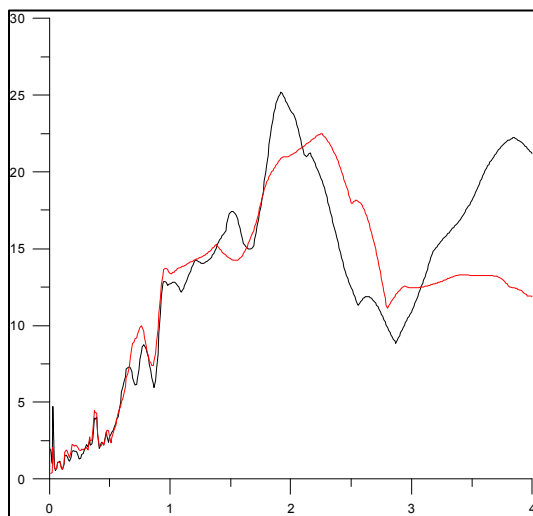
Αρχείο 982, $T_p=2.93$ sec, $\rho=100\%$



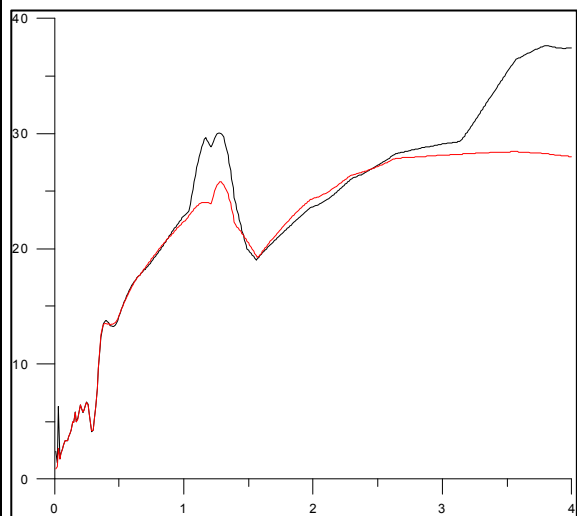
Αρχείο 983, $T_p=2.93$ sec, $\rho=100\%$



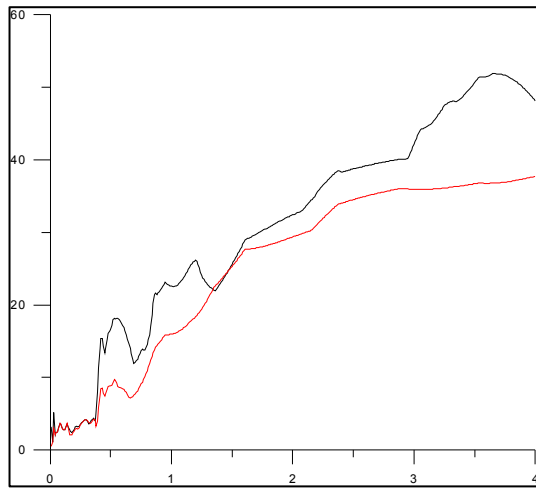
Αρχείο 1009, $T_p=2.34$ sec, $\rho=81,92\%$



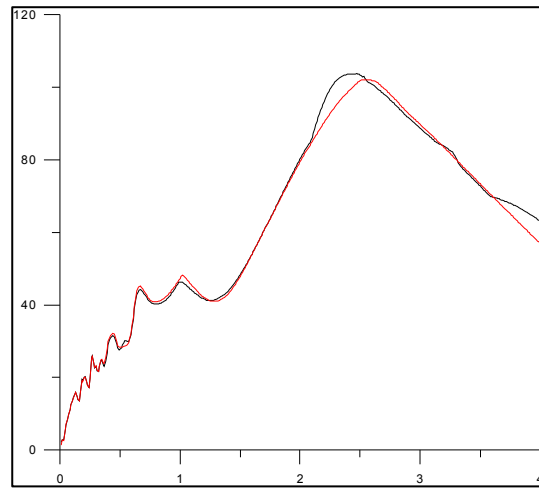
Αρχείο 1013, $T_p=2.16$ sec, $\rho=94,39\%$



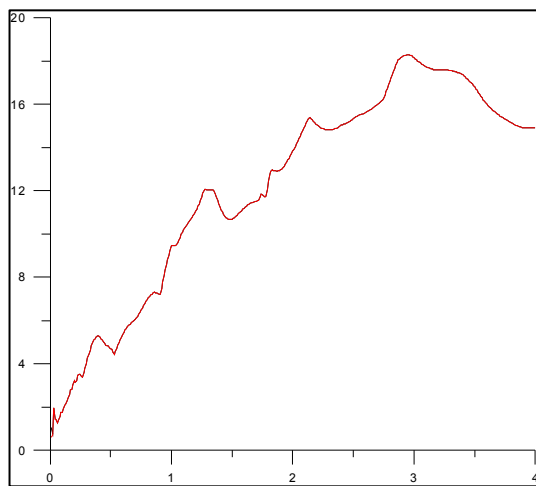
Αρχείο 1044, $T_p=1.29$ sec, $\rho=96,21\%$



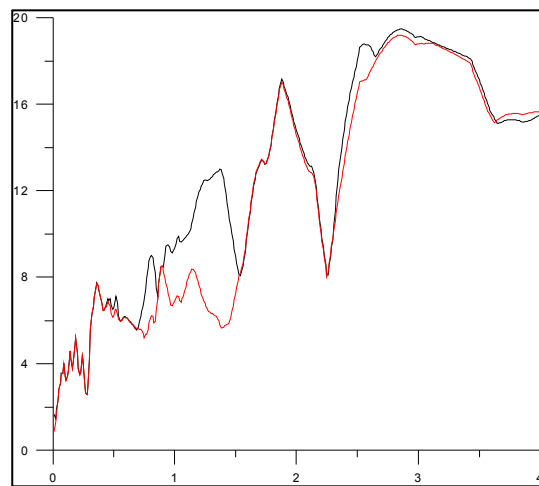
Αρχείο 1045, $T_p=2.38$ sec, $\rho=99,7\%$



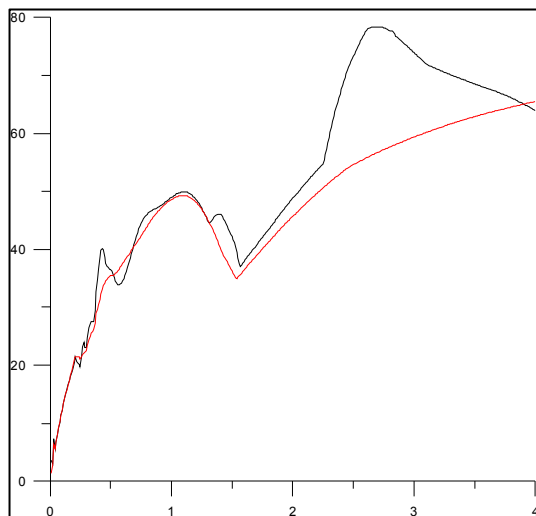
Αρχείο 1050, $T_p=3.35$ sec, $\rho=100\%$



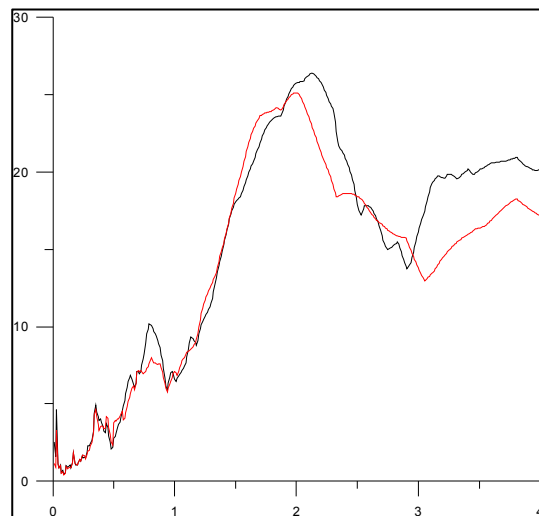
Αρχείο 1052, $T_p=3.32$ sec, $\rho=95,22\%$



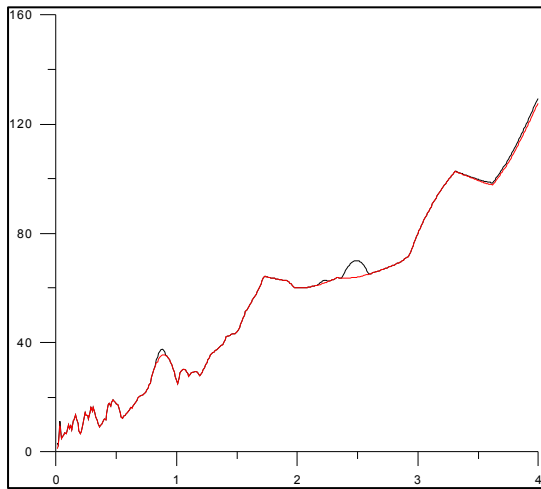
Αρχείο 1063, $T_p=1.11$ sec, $\rho=94\%$



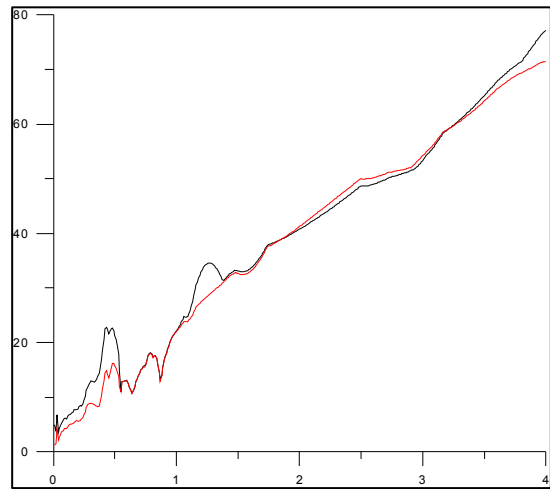
Αρχείο 1077, $T_p=2.50$ sec, $\rho=96,19\%$



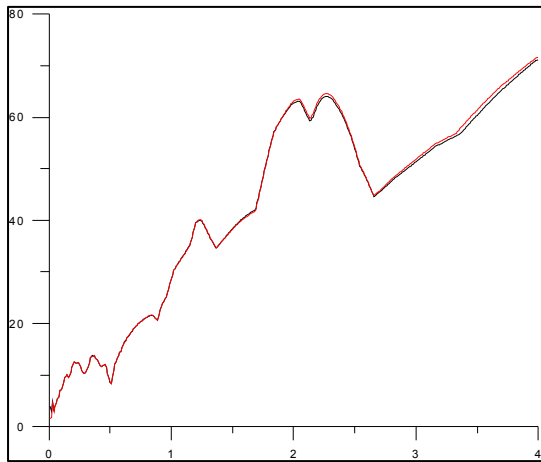
Αρχείο 1084, $T_p=2.96$ sec, $\rho=99,95\%$



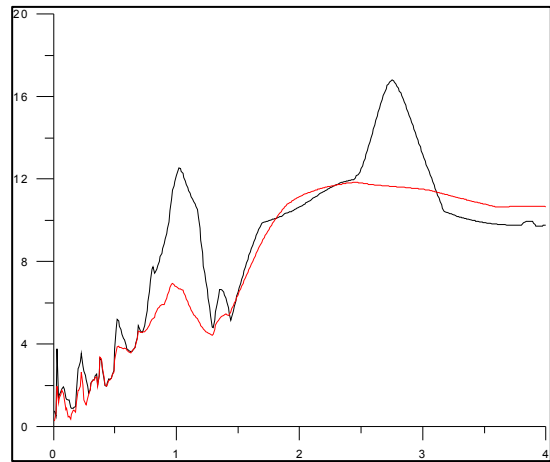
Αρχείο 1085, $T_p=3.06$ sec, $\rho=99,45\%$



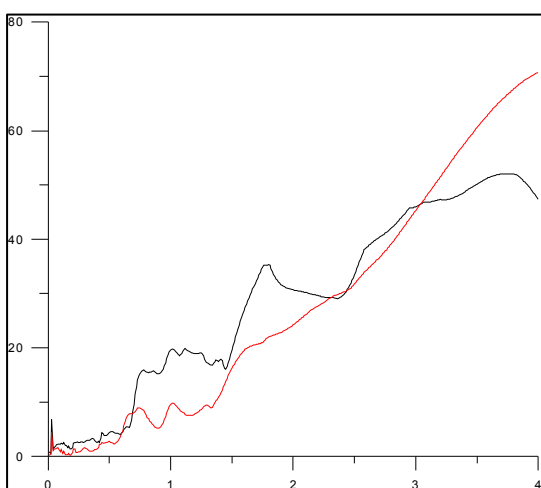
Αρχείο 1086, $T_p=2.62$ sec, $\rho=99,99\%$



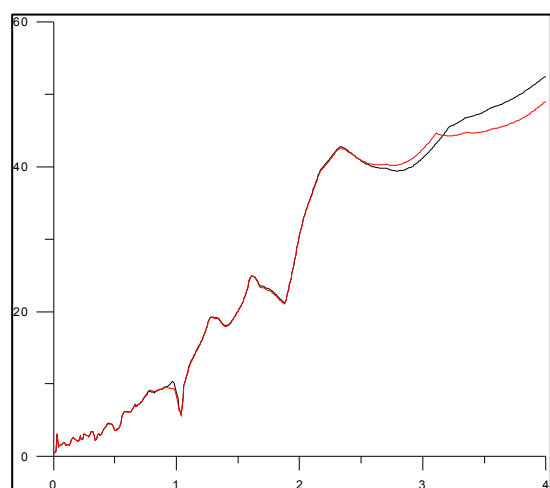
Αρχείο 1116, $T_p=2.84$ sec, $\rho=87,88\%$



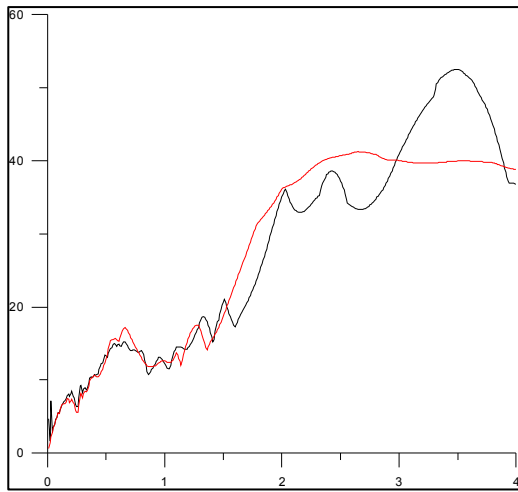
Αρχείο 1158, $T_p=3.86$ sec, $\rho=94,94\%$



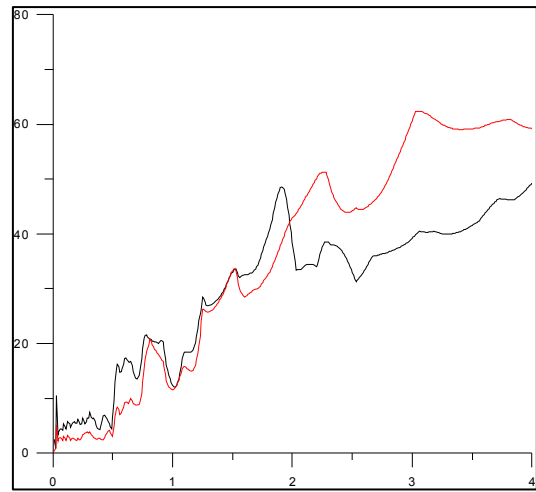
Αρχείο 1161, $T_p=4.48$ sec, $\rho=99,76\%$



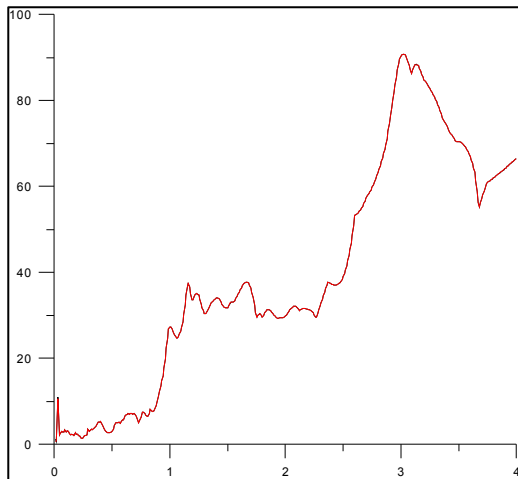
Αρχείο 1182, $T_p=1.83$ sec, $\rho=93,25\%$



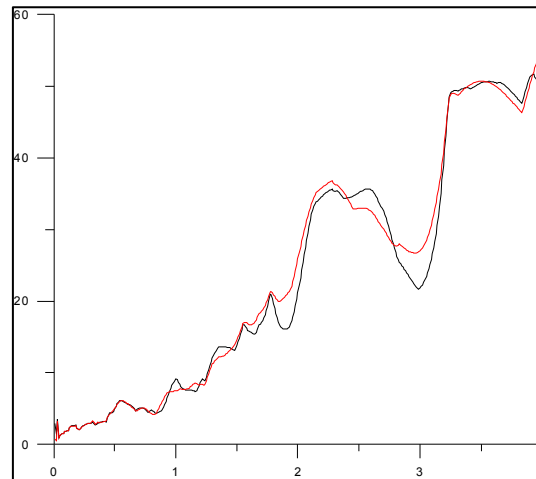
Αρχείο 1193, $T_p=4.15$ sec, $\rho=92,92\%$



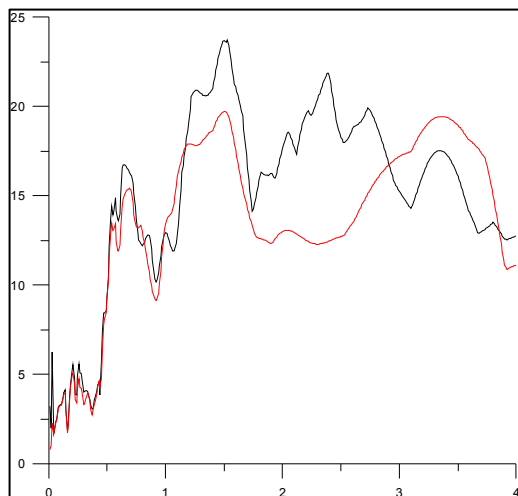
Αρχείο 1194, $T_p=4.71$ sec, $\rho=100\%$



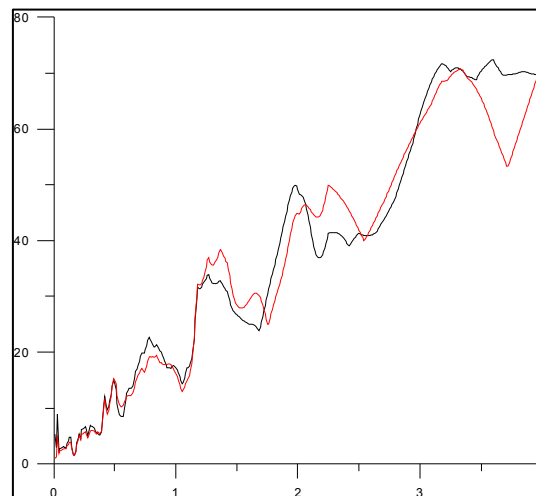
Αρχείο 1198, $T_p=5.78$ sec, $\rho=99,34\%$

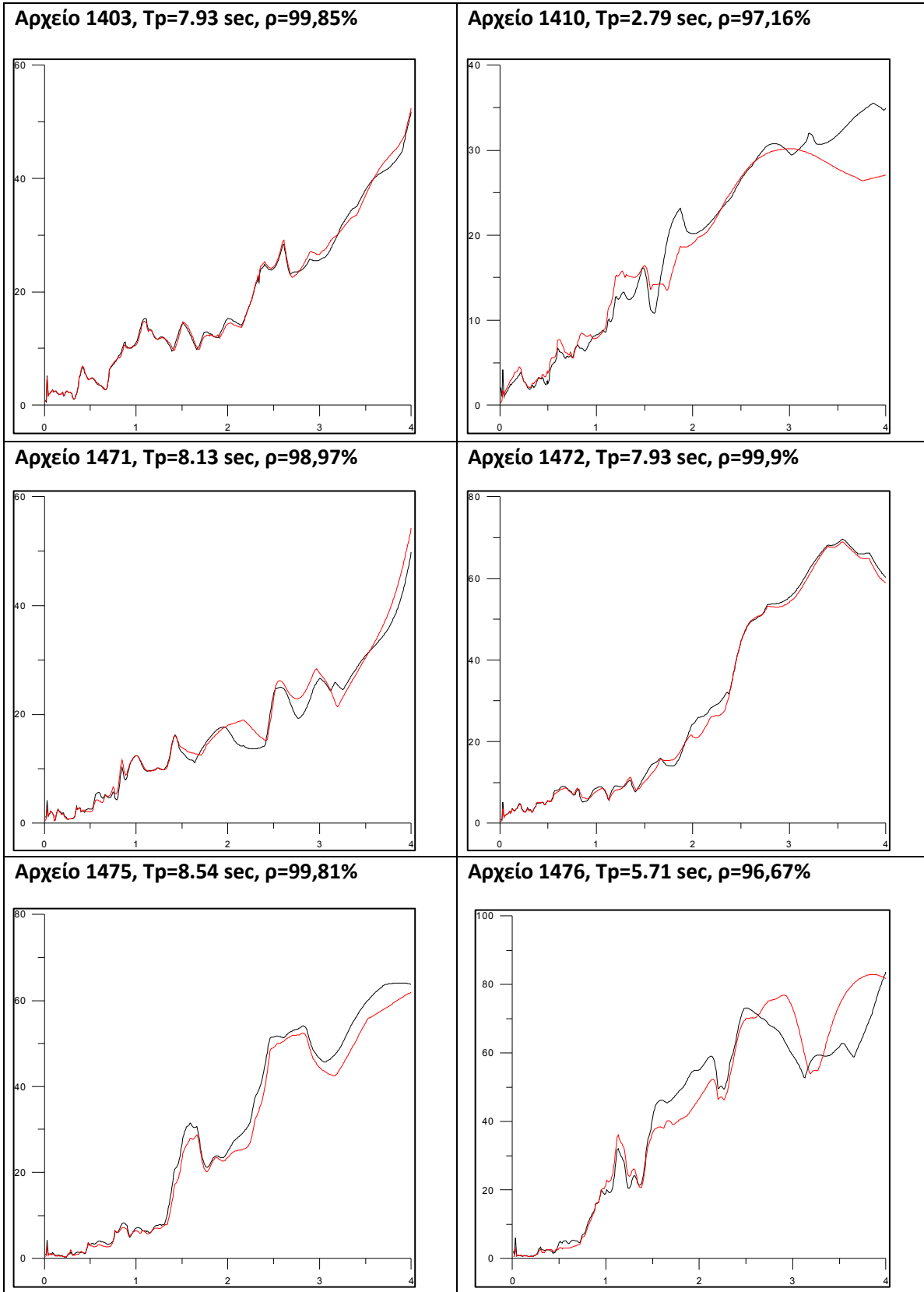


Αρχείο 1202, $T_p=1.50$ sec, $\rho=78,18\%$

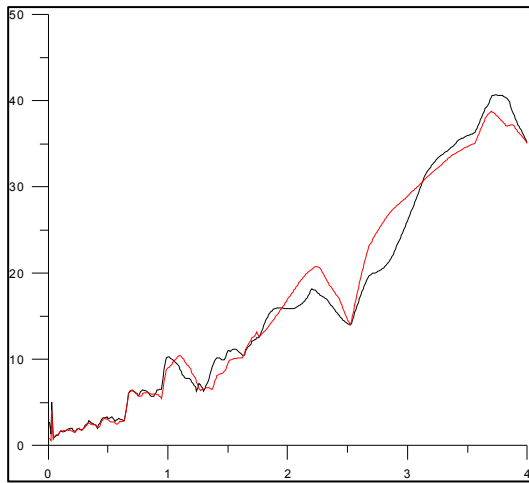


Αρχείο 1244, $T_p=5.58$ sec, $\rho=97,48\%$

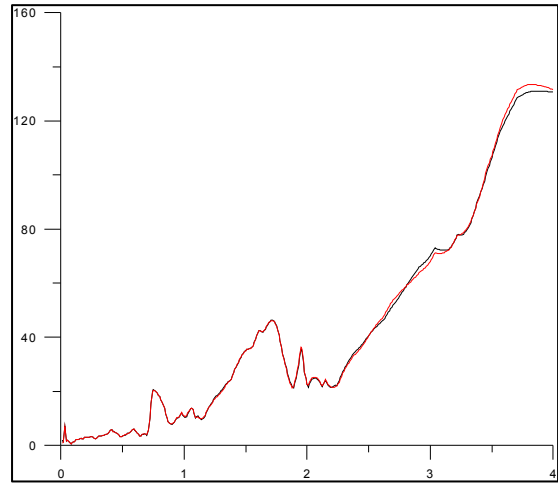




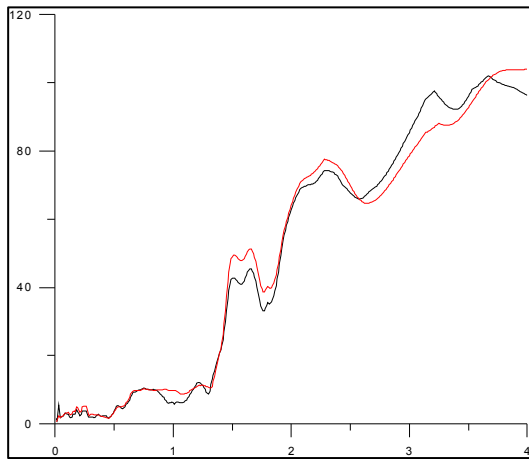
Αρχείο 1479, $T_p=7.14$ sec, $\rho=98,83\%$



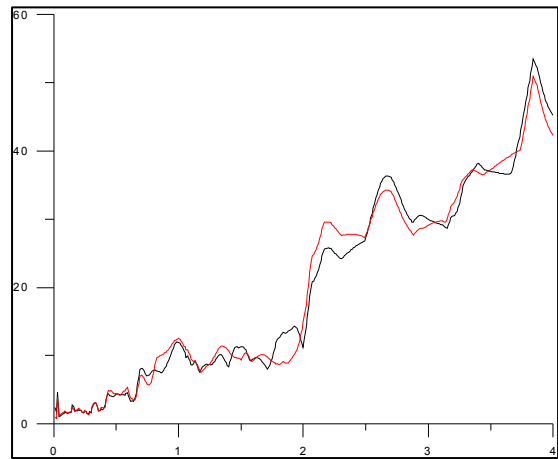
Αρχείο 1482, $T_p=8.40$ sec, $\rho=99,98\%$



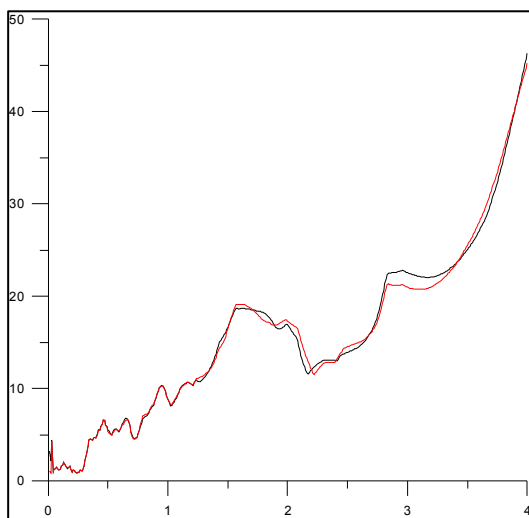
Αρχείο 1483, $T_p=5.68$ sec, $\rho=99,41\%$



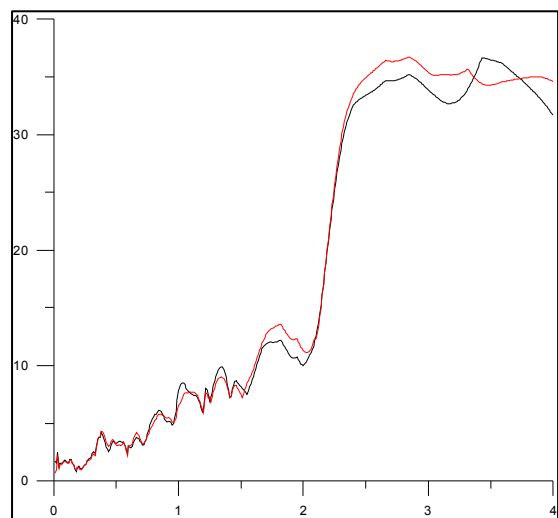
Αρχείο 1484, $T_p=7.19$ sec, $\rho=99,09\%$



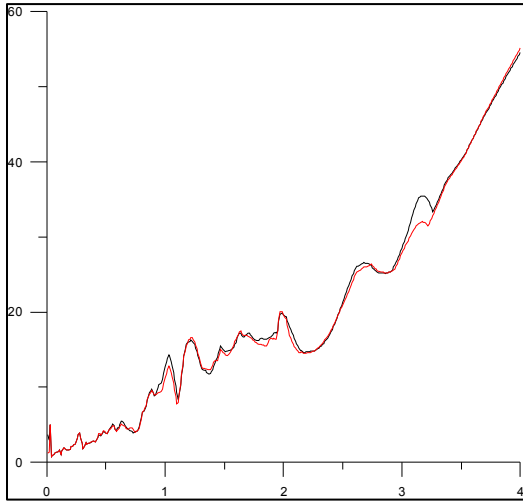
Αρχείο 1485, $T_p=9.52$ sec, $\rho=99,74\%$



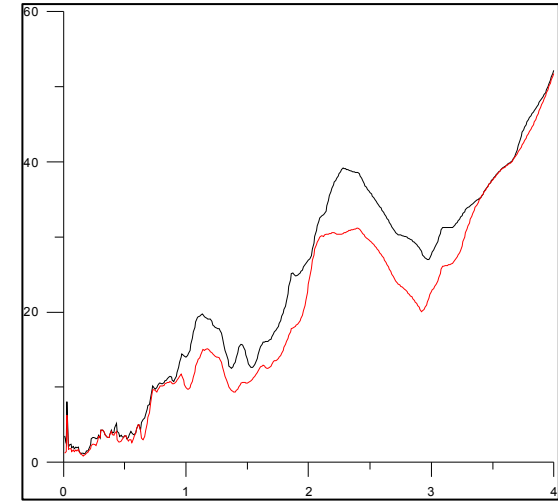
Αρχείο 1486, $T_p=9.57$ sec, $\rho=99,73\%$



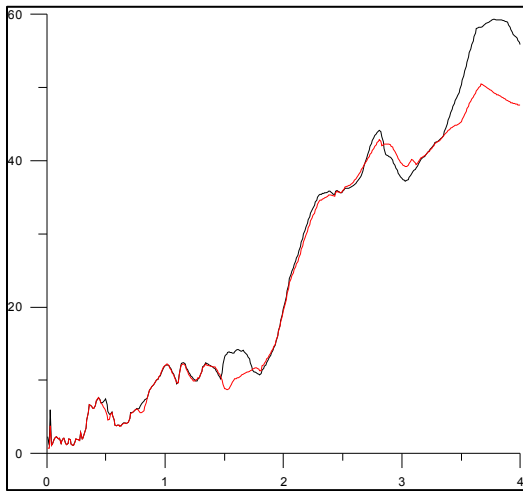
Αρχείο 1487, $T_p=10$ sec, $\rho=99,86\%$



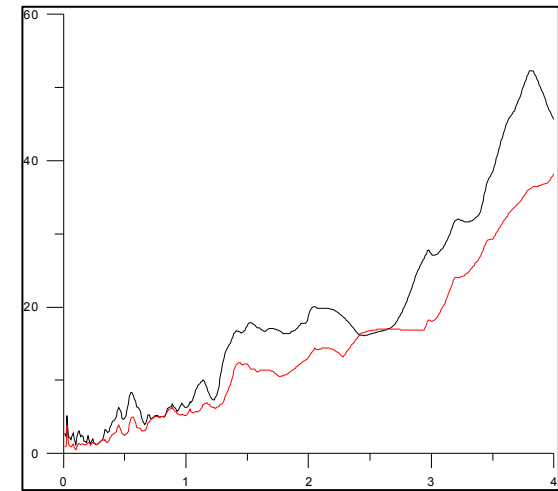
Αρχείο 1489, $T_p=11.47$ sec, $\rho=98,15\%$



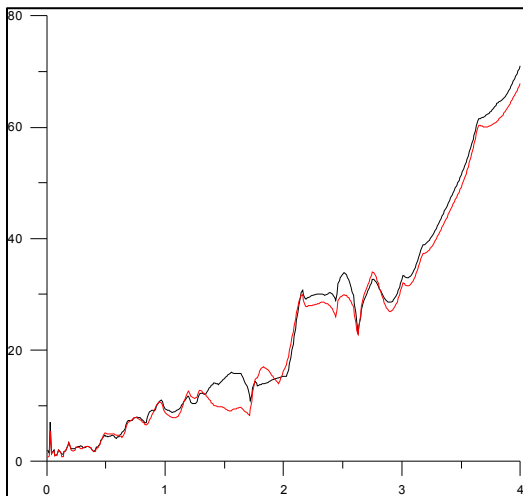
Αρχείο 1491, $T_p=11.21$ sec, $\rho=98,92\%$



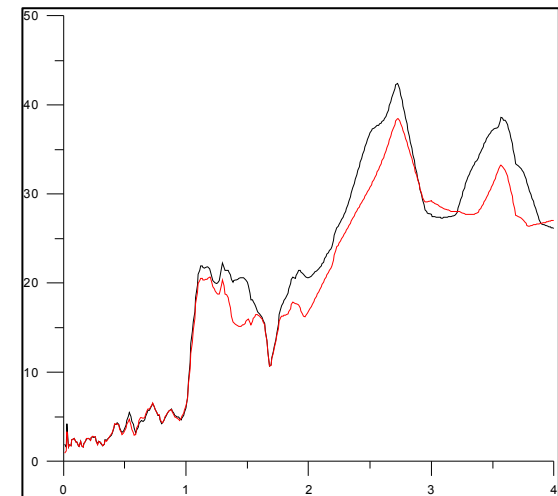
Αρχείο 1493, $T_p=9.80$ sec, $\rho=98,48\%$



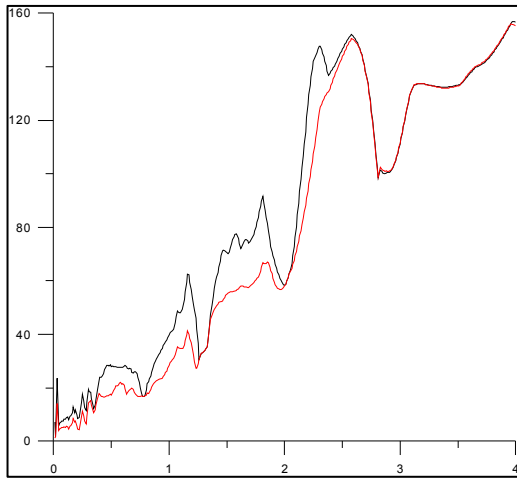
Αρχείο 1494, $T_p=9.52$ sec, $\rho=99,57\%$



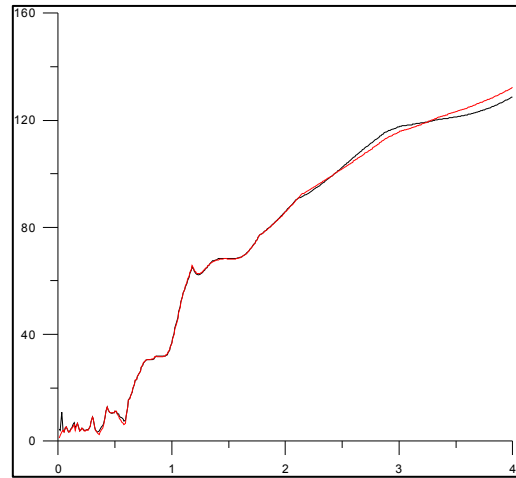
Αρχείο 1496, $T_p=11.74$ sec, $\rho=98,73\%$



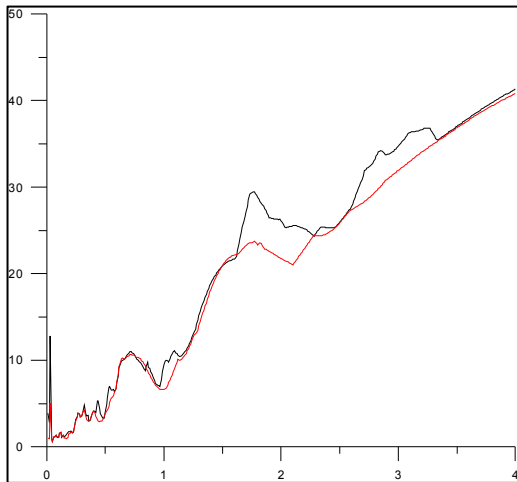
Αρχείο 1503, $T_p=4.74$ sec, $\rho=98,75\%$



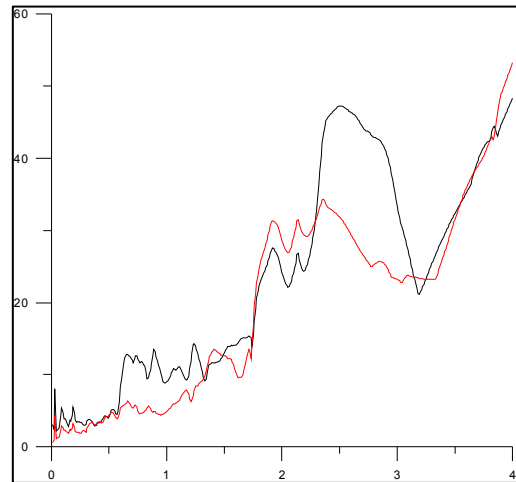
Αρχείο 1510, $T_p=5.52$ sec, $\rho=99,94\%$



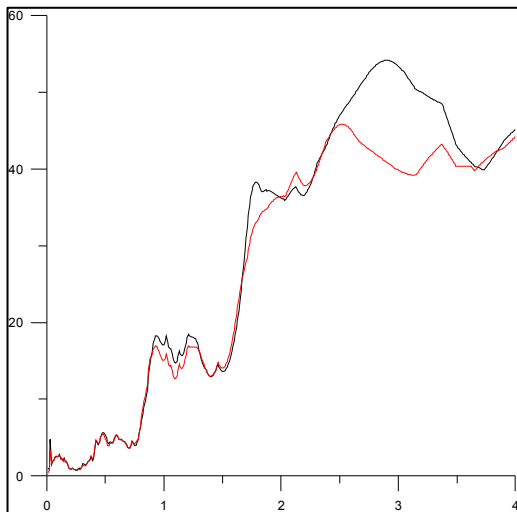
Αρχείο 1511, $T_p=5.37$ sec, $\rho=99,15\%$



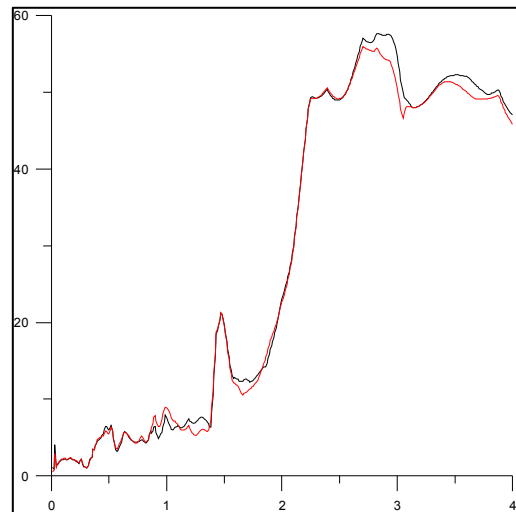
Αρχείο 1515, $T_p=7.93$ sec, $\rho=90,14\%$



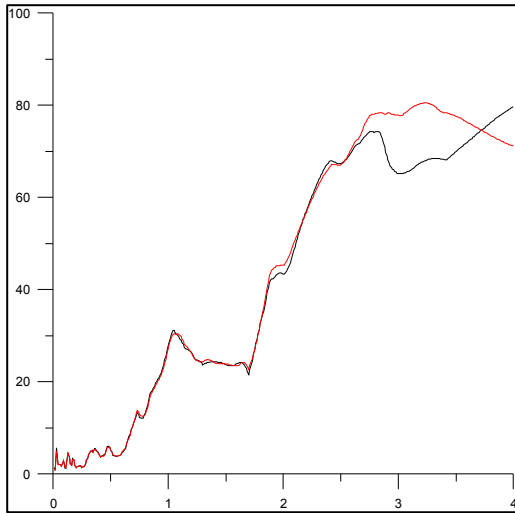
Αρχείο 1519, $T_p=9.17$ sec, $\rho=97,83\%$



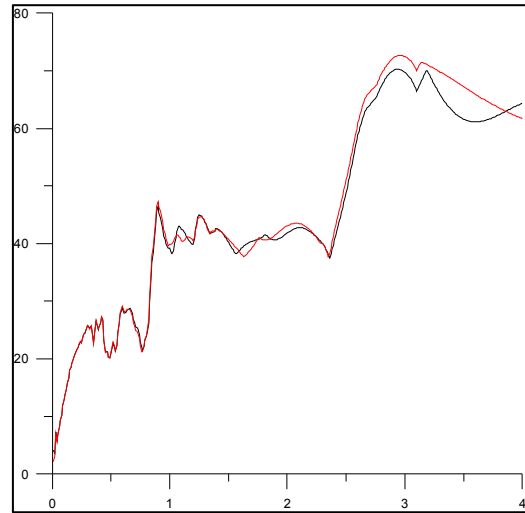
Αρχείο 1523, $T_p=8.69$ sec, $\rho=99,9\%$



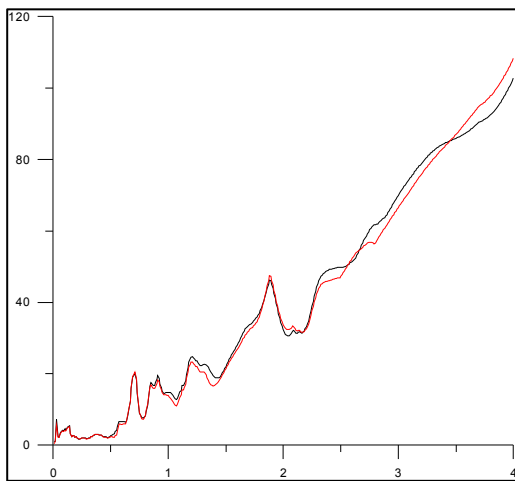
Αρχείο 1528, $T_p=9.52$ sec, $\rho=98,85\%$



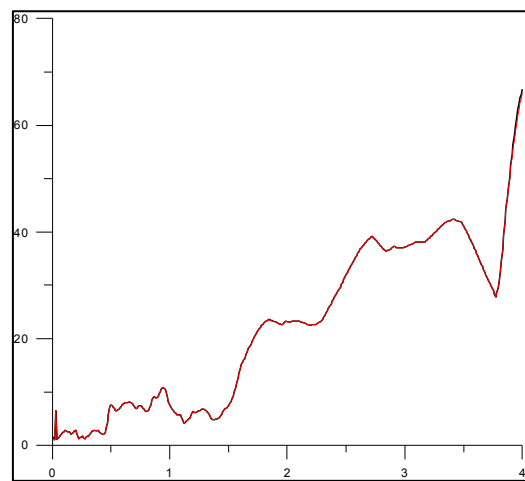
Αρχείο 1529, $T_p=9.34$ sec, $\rho=99,67\%$



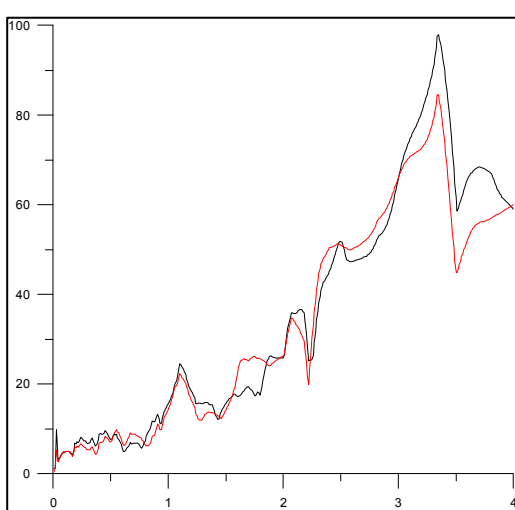
Αρχείο 1530, $T_p=8.19$ sec, $\rho=99,74\%$



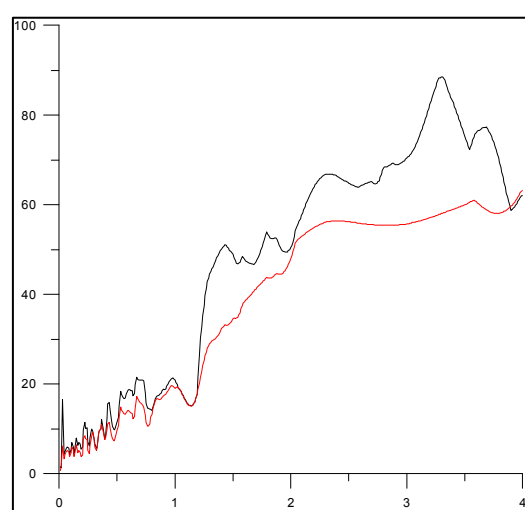
Αρχείο 1532, $T_p=11.34$ sec, $\rho=100\%$



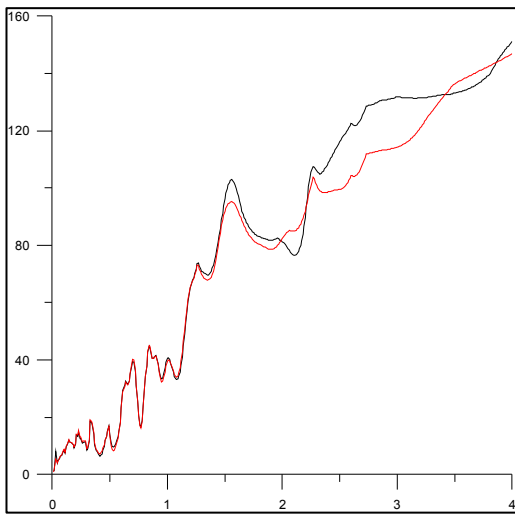
Αρχείο 1542, $T_p=6.02$ sec, $\rho=97,86\%$



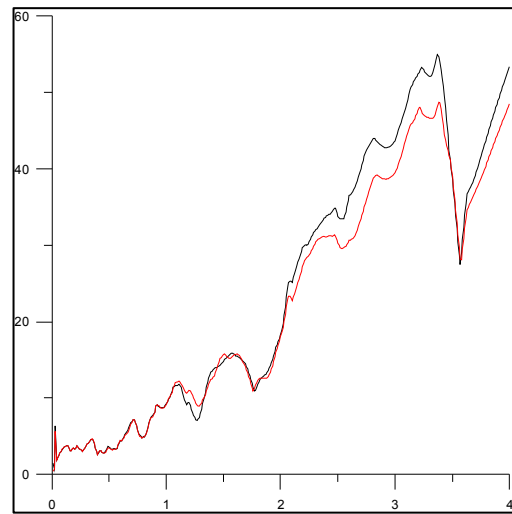
Αρχείο 1545, $T_p=6.73$ sec, $\rho=97,09\%$



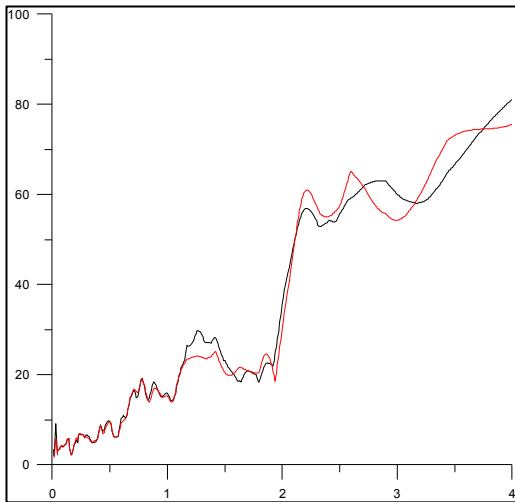
Αρχείο 1548, $T_p=7.46$ sec, $\rho=98,94\%$



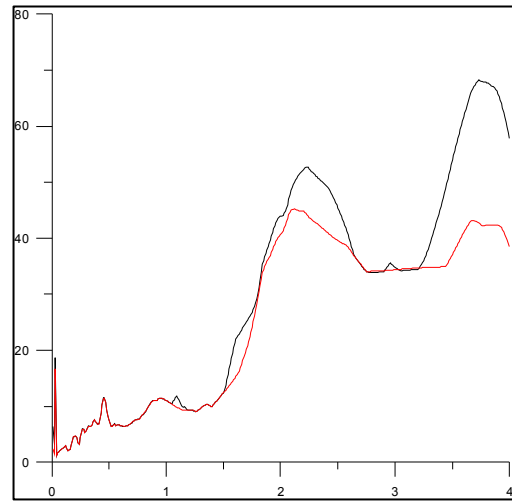
Αρχείο 1550, $T_p=10.56$ sec, $\rho=99,74\%$



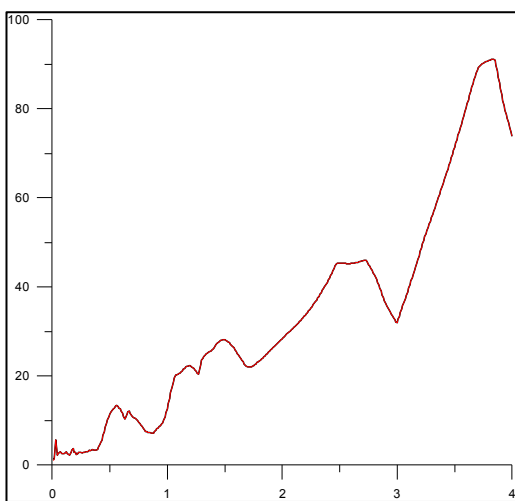
Αρχείο 1595, $T_p=6.49$ sec, $\rho=99,1\%$



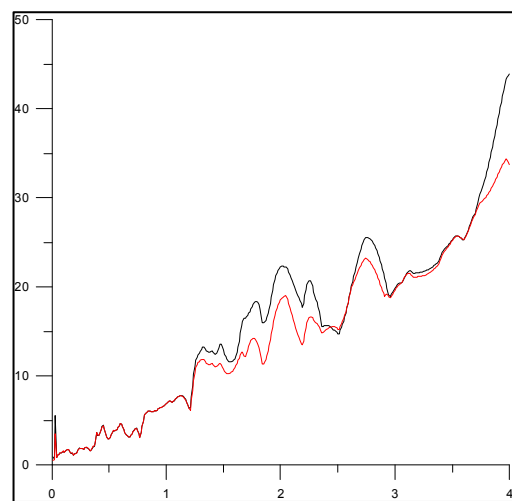
Αρχείο 1596, $T_p=12.36$ sec, $\rho=95,27\%$



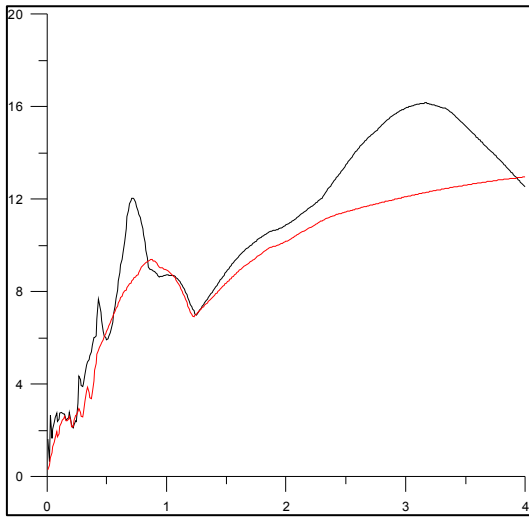
Αρχείο 1605, $T_p=5.99$ sec, $\rho=100\%$



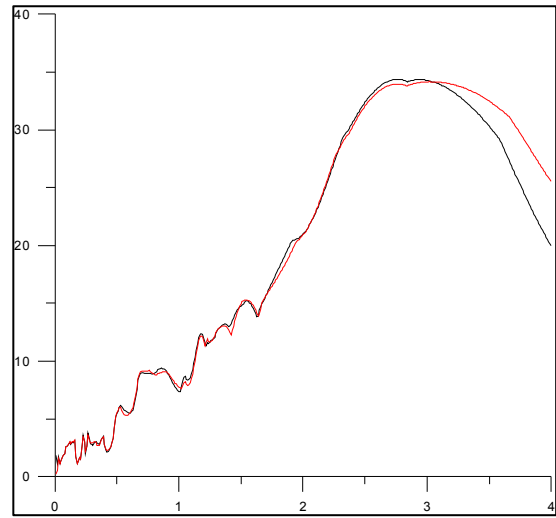
Αρχείο 1629, $T_p=5.79$ sec, $\rho=98,41\%$



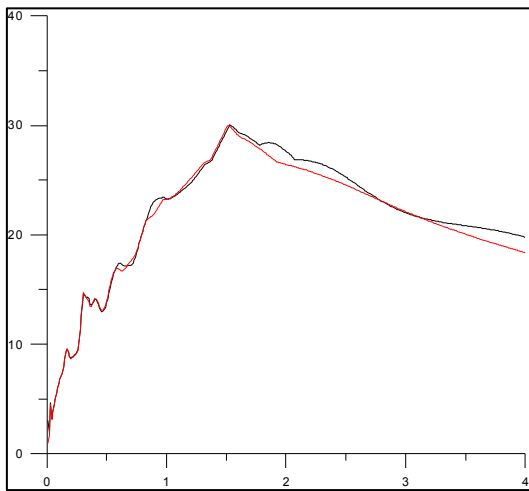
Αρχείο 1752, $T_p=0.98$ sec, $\rho=95,19\%$



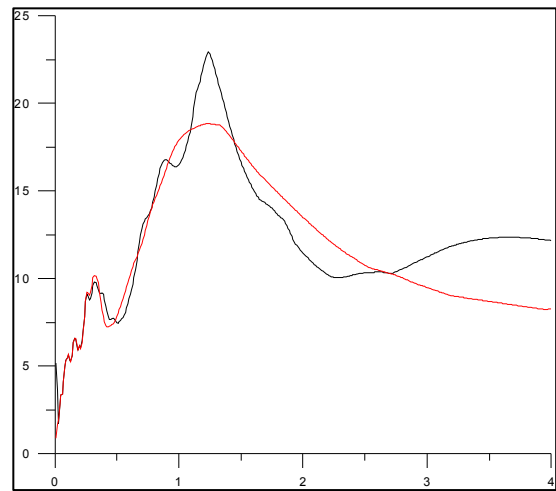
Αρχείο 2457, $T_p=2.95$ sec, $\rho=99,16\%$



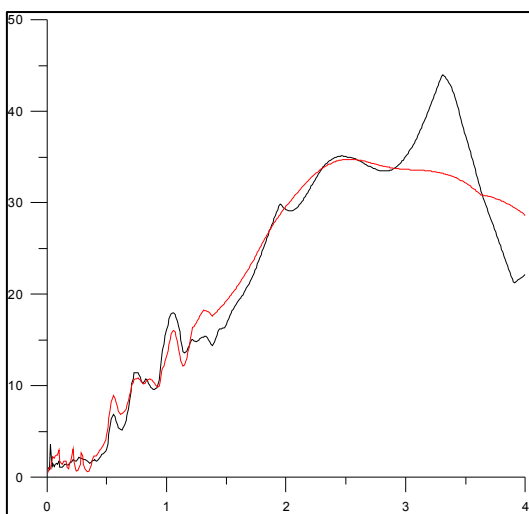
Αρχείο 2495, $T_p=1.13$ sec, $\rho=99,54\%$



Αρχείο 2627, $T_p=0.87$ sec, $\rho=86,74\%$



Αρχείο 3317, $T_p=2.41$ sec, $\rho=96,49\%$



Αρχείο 3548, $T_p=1.07$ sec, $\rho=97,06\%$

