



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΗΜΙΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΟΔΩΡΟΥ ΜΑΡΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Ι. Ν. Ψυχάρης, καθηγητής Ε.Μ.Π

ΣΥΝΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Ι. Ταφλαμπάς, Επιστημονικός Συνεργάτης

Αθήνα, Ιούλιος 2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Διερεύνηση μεθοδολογιών κατασκευής ημισυνθετικών επιταχυνσιογραφημάτων για σεισμούς κοντινού πεδίου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΟΔΩΡΟΥ ΜΑΡΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Ι. Ν. Ψυχάρης, καθηγητής Ε.Μ.Π

ΣΥΝΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Ι. Ταφλαμπάς, Επιστημονικός Συνεργάτης

Αθήνα, Ιούλιος 2017

Μαρία Θεοδώρου, 2017

Διερεύνηση μεθοδολογιών κατασκευής ημισυνθετικών επιταχυνσιογραφημάτων
για σεισμούς κοντινού πεδίου

Διπλωματική Εργασία

Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Maria Theodorou, 2017

Investigation of methodologies in the construction of semi-synthesized near-fault ground
motion accelerograms

Diploma Thesis

Laboratory for Earthquake Engineering, National Technical University of Athens, Greece

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την περάτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και συνεπώς των Προπτυχιακών σπουδών μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Αρχικά τον επιβλέποντα καθηγητή του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. κ. Ιωάννη Ν. Ψυχάρη, για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος και την επιστημονική του καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω εξίσου και στον επιστημονικό συνεργάτη και συνεπιβλέποντα Dr. Πολιτικό Μηχανικό κ. Ιωάννη Ταφλαμπά, για τις προτάσεις και συμβουλές του.

Ένα εγκάρδιο ευχαριστώ οφείλω και στην Υποψήφια Διδάκτορα Ε.Μ.Π. Βασιλική Καρδούτσου για την πολύτιμη βοήθεια, τη συνεχή στήριξη της και το ουσιαστικό ενδιαφέρον που έδειξε σε κάθε βήμα της εργασίας.

Τέλος, στην οικογένειά μου για την αγάπη, την κατανόηση και τη στήριξή τους, καθώς επίσης και στους φίλους μου, οι οποίοι στάθηκαν δίπλα μου κατά τη διάρκεια των πέντε τελευταίων χρόνων των προπτυχιακών μου σπουδών.

Μαρία Θεοδώρου

Αθήνα, Ιούλιος, 2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Διερεύνηση μεθοδολογιών κατασκευής ημισυνθετικών επιταχυνσιογραφημάτων
για σεισμούς κοντινού πεδίου

ΘΕΟΔΩΡΟΥ ΜΑΡΙΑ

Επιβλέπων: Ψυχάρης Ν. Ιωάννης, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής ΕΜΠ
Συνεπιβλέπων: Ταφλαμπάς Ιωάννης, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Επιστημονικός Συνεργάτης ΕΜΠ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι σεισμοί πλησίον της περιοχής ενός ρήγματος αποτελούν τις τελευταίες δεκαετίες ένα αρκετά ενδιαφέρον και σημαντικό πεδίο έρευνας των Πολιτικών Μηχανικών, λόγω της σημαντικής τους επίδρασης και απαιτήσεων στις κατασκευές. Οι εν λόγω εδαφικές κινήσεις εντός της ζώνης κοντινού πεδίου - όπως ονομάζεται - επηρεάζονται από το μηχανισμό διάρρηξης, καθώς επίσης και φαινόμενα κατευθυντικότητας με κυρίαρχο παλμό στη χρονοϊστορία της ταχύτητας. Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετώνται μεθοδολογίες κατασκευής ενός πλήθους διαφορετικών ημισυνθετικών επιταχυνσιογραφημάτων που αφορούν στους σεισμούς κοντινού πεδίου.

Για το σκοπό αυτό έχει μελετηθεί ένα σύνολο 91 καταγραφών της βάσης δεδομένων NGA (Next Generation Attenuation), οι οποίες έχουν χαρακτηριστεί από τον Baker (2007) ως παλμικές. Επίσης, έχει ληφθεί ένα τυχαίο δείγμα τριών διαφορετικών καταγραφών οι οποίες έχουν χαρακτηριστεί ως μη-παλμικές βάσει δύο διαφορετικών κριτηρίων, σύμφωνα με τους Baker (2007) και Kardoutsou et al. (2017).

Ως βασική αρχή έχει θεωρηθεί η λογική ότι μια μη-παλμική καταγραφή μπορεί να μετατραπεί σε παλμική με την προσθήκη ενός κατάλληλου μοντέλου παλμού για ένα συγκεκριμένο σενάριο σεισμικής διέγερσης. Η κατασκευή πέντε διαφορετικών επιταχυνσιογραφημάτων έχει μελετηθεί, βάσει αυτής της αρχής, με σκοπό να διερευνηθεί εάν και ποιο εξ αυτών προσεγγίζει κατά το δυνατό βέλτιστο τρόπο την αρχική καταγραφή.

Από την αρχική καταγραφή εξάγεται και απομονώνεται ο πρώτος σημαντικός παλμός, μέσω της μεθοδολογίας των *Mimoglou et al.* (2014). Σαν πρώτη μεθοδολογία μελετάται η προσαρμογή μιας τυχαίας μη παλμικής -εκ των τριών που λήφθηκαν- καταγραφής, στο ελαστικό φάσμα σχεδιασμού Ευρωκώδικα 8 (EC8), για έδαφος κατηγορίας Β, στο οποίο προστίθεται ένας παλμός κατευθυντικότητας. Δεύτερη προσέγγιση αποτελεί μια παρεμφερής με την προηγούμενη διαδικασία, αυτή τη φορά όμως τη θέση της μη-παλμικής καταγραφής παίρνει η εναπομένουσα καταγραφή, για κάθε μία από τις 91 παλμικές καταγραφές. Επιπρόσθετα, έχουν κατασκευαστεί ημισυνθετικά επιταχυνσιογραφήματα για τρεις ακόμα περιπτώσεις. Κατά την πρώτη, το επιταχυνσιογράφημα προκύπτει από την πρόσθεση των τυχαίων καταγραφών με τον αντίστοιχο παλμό του κάθε ενός από τις 91 καταγραφές. Στη συνέχεια, μελετάται η περίπτωση του επιταχυνσιογραφήματος αποκλειστικά με τις τυχαίες και τις εναπομένουσες καταγραφές. Τέλος, γίνεται σύγκριση των ημισυνθετικών επιταχυνσιογραφημάτων με τις παλμικές καταγραφές του Baker (2007) και γίνεται αποτίμηση των αποτελεσμάτων μέσω της μη γραμμικής απόκρισης μονοβαθμίων συστημάτων.



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
LABORATORY FOR EARTHQUAKE ENGINEERING

DIPLOMA THESIS

Investigation of methodologies in the construction of semi-synthetic near-fault ground motion
accelerograms

THEODOROU MARIA

Supervisor: Psycharis N. Ioannis, Dr. Civil Engineer, Professor NTUA
Co-supervisor: Taflampas Ioannis, Dr. Civil Engineer, Research Associate NTUA

ABSTRACT

Near-fault ground motions constitute a significant and interesting field to Structural Engineers, in the last decades, due to their impact and large inelastic demands on structures. Inside the Near-Fault zone –as it is called- ground motions are influenced by the rupture mechanism and the directivity phenomena with a predominant pulse in their velocity time history. This diploma thesis investigates a number of methods of making near-fault ground motion semi-synthetic accelerograms.

For this purpose, a total of 91 records of the *NGA (Next Generation Attenuation)* Database characterized as pulse-like by *Baker (2007)* was used. Also, a sample of three random non-pulse ground motions, according to both *Baker (2007)* and *Kardoutsou et al. (2017)* was taken into account.

The basic principle that a non-pulse like motion can be converted into a pulse-like motion by the addition of suitable modeled pulse(s) for a given seismic scenario was considered. A number of five different accelerograms was formed, in order to determine whether which approach simulates in the best possible way the original pulse-like motion.

Firstly, the dominant pulse was extracted from the original record of near-fault ground motion, according to the *Mimoglou et al. (2014)* method. In the first proposed method the adjustment of a random –out of the three selected- *non-pulse like* motion on the Inelastic design spectrum of Eurocode 8 (EC8), is examined, for soil type B, on which a pulse is added in the end of the procedure. A similar approach to this comes the second method, in which the residual record is used instead of the random non-pulse like motion, for each one of the total 91 records. In addition to these, three more semi-synthetic accelerograms were examined as possible approaches to the original records. In the first case, the accelerogram was formed out of a superposition of the random non-pulse like motions and the corresponding pulse of each one of the 91 pulse-like ground motions. The last two cases investigated are consisted of the random non-pulse like and the residual motions. At the end of the construction of all five types of accelerograms, they are compared to the original ones, in terms of ductility and displacements.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εδαφικές κινήσεις κοντινού πεδίου.....	12
1.1. Εισαγωγή.....	13
1.2. Ρήγματα (Faults).....	13
1.2.1.Γενικά.....	13
1.2.2.Γεωμετρικά χαρακτηριστικά ρήγματος.....	13
1.2.3.Κατηγορίες ρηγμάτων.....	15
1.3. Φαινόμενο κατευθυντικότητας.....	16
1.4. Παράμετροι των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου.....	21
1.4.1.Η σχετική θέση ως προς το ρήγμα.....	21
1.4.2.Ο παλμός στη χρονοϊστορία ταχύτητας.....	23
1.4.3.Προσδιορισμός της περιόδου του παλμού κατευθυντικότητας.....	24
2. Ποσοτική ταξινόμηση εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου.....	31
2.1. Εισαγωγή.....	32
2.2. Ανάλυση με κυματίδια (wavelet analysis).....	32
2.3. Ταξινόμηση χρονοϊστοριών.....	34
2.3.1.Γενικά.....	34
2.3.2.Απομόνωση του παλμού ταχύτητας.....	34
2.3.3.Σημαντικότητα αφαιρούμενου παλμού.....	35
2.3.4.Εξαίρεση των παλμών με αργή άφιξη.....	38
2.3.5.Εξαίρεση εδαφικών κινήσεων με $PGV \leq 30$ cm/sec.....	40
2.3.6.Εντοπισμός παλμών κατευθυντικότητας σε ένα εύρος προσανατολισμών.....	41
2.3.7.Προσδιορισμός περιόδου του παλμού.....	42
2.3.8.Επιρροή στα ελαστικά και ανελαστικά φάσματα.....	47
3. Αναπαράσταση και εξαγωγή του παλμού με χρήση κυματομορφών.....	50
3.1. Εισαγωγή.....	51
3.2. Η μέθοδος Μανροειδής & Παπαγεωργίου.....	51
3.2.1.Βάση δεδομένων ισχυρών εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου.....	51
3.2.2.Προσομοίωση ενός απλού μοντέλου για παλμούς κοντινού πεδίου.....	53
3.2.3.Προσαρμογή του μοντέλου στις καταγραφές εδαφικών κινήσεων της βάσης δεδομένων.....	58
3.2.4.Επιρροή του αναλυτικού μοντέλου στα ελαστικά και ανελαστικά φάσματα.....	62
3.3. Μέθοδος εξαγωγής πολλαπλών παλμών με τη χρήση κυματομορφών.....	64
3.3.1.Γενικά.....	64
3.3.2.Η μέθοδος CPE.....	64
4. Προσδιορισμός των παλμών μέσω κυματικής ανάλυσης με χρήση του φάσματος συνέλιξης.....	68
4.1. Εισαγωγή.....	69
4.2. Προσδιορισμός παραμέτρων του παλμού.....	70
4.2.1.Περίοδος του παλμού.....	70
4.2.2.Το εύρος, η διάρκεια, η διαφορά φάσης και η στιγμή έναρξης του παλμού.....	74
5. Μεθοδολογίες κατασκευής ημισυνθετικών επιταχυνσιογραφημάτων.....	80

5.1. Εισαγωγή...	81
5.2. Αναγνώριση του παλμού.....	81
5.3. Απομόνωση παλμού ταχύτητας.....	84
5.4. Τύποι εξαγόμενων παλμών.....	88
5.5. Προσομοίωση παλμών Τύπου 1 και Τύπου 2.....	89
5.6. Απεικόνιση του προτεινόμενου προσομοιώματος.....	90
6. Συμπεράσματα.....	92
Παράρτημα Α.....	116
Παράρτημα Β.....	123
Παράρτημα Γ.....	126

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εδαφικές κινήσεις κοντινού πεδίου

1.1 Εισαγωγή

Τα πρώτα δείγματα εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου εμφανίστηκαν μετά το σεισμό του Port Hueneleme (1957), όταν μηχανικοί και σεισμολόγοι κλήθηκαν να αντιμετωπίσουν βλάβες που δεν μπορούσαν να αιτιολογήσουν βάσει τις μέχρι τότε γνώσεις που είχαν για τους σεισμούς μακρινού πεδίου (Li and Xie, 2007). Έπειτα από μακροχρόνιες έρευνες, οι σεισμοί στο *Northridge (California - 1994)*, το *Kobe (Japan - 1995)*, το *Izmit (Turkey - 1999)* και το *Chi-Chi (Taiwan - 1999)* όρισαν μια ειδική κατηγορία εδαφικών κινήσεων, η οποία αναγνωρίστηκε από την επιστημονική κοινότητα ως 'Σεισμοί Κοντινού Πεδίου'

Η σημαντικότητα τους οφείλεται στην πολυπλοκότητα προσδιορισμού τους, της δυσμενούς επίδρασης τους στις κατασκευές αλλά κυρίως στο γεγονός ότι μέχρι σήμερα δεν έχει βρεθεί ένας αξιόπιστος τρόπος να λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό.

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται αρχικά κάποιες βασικές έννοιες που αφορούν στο μηχανισμό διάρρηξης (χαρακτηριστικά και τύποι ρηγμάτων). Στη συνέχεια περιγράφεται ο τρόπος γένεσης και μετάδοσης του φαινομένου κατευθυντικότητας, καθώς επίσης η διαφοροποίηση της επιρροής του σε περιοχές με διαφορετικές σχετικές θέσεις ως προς την επιφάνεια του ρήγματος. Τέλος, γίνεται αναφορά στις βασικές παραμέτρους ενός παλμού ταχύτητας και χρησιμοποιούνται για τη μαθηματική αναπαράστασή του, βάσει διαφορετικών ερευνητών που ασχολήθηκαν εκτενώς με τέτοιες εδαφικές κινήσεις.

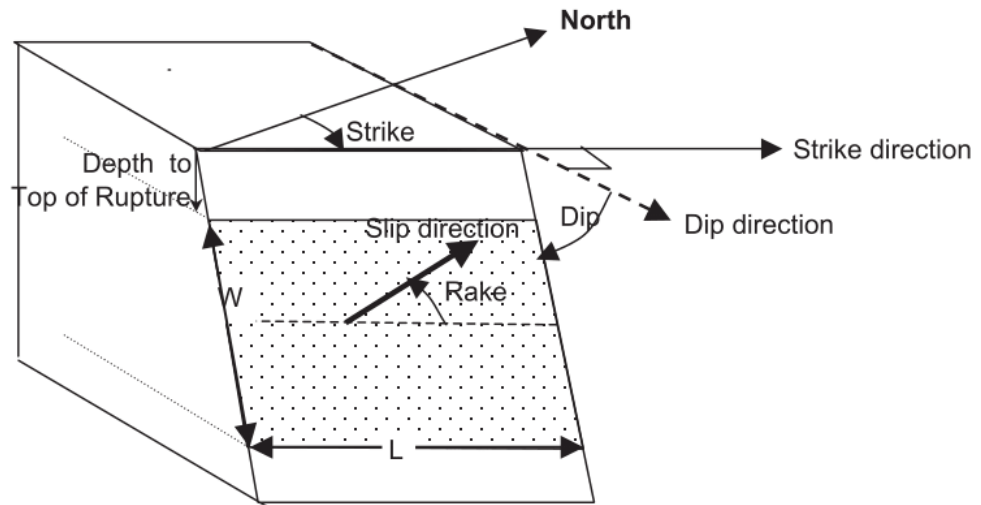
1.1 Ρήγματα (Faults)

1.1.1 Γενικά

Με τον όρο ρήγμα ονομάζεται στη γεωλογία η διακοπή της συνέχειας μιας ομάδας στρωμάτων πετρωμάτων του στερεού φλοιού της Γης, η οποία συμβαίνει κατά επίπεδη επιφάνεια και σε μεγάλη έκταση και οφείλεται κυρίως σε δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την κίνηση των λιθσφαιρικών πλακών. Όταν οι τάσεις που αναπτύσσονται σε ένα στρώμα, λόγω των κινήσεων αυτών, υπερβούν το όριο θραύσης του, τότε το πέτρωμα διαρρηγνύεται και αρχίζει η σχετική κίνηση μεταξύ των δύο εκατέρωθεν τμημάτων.

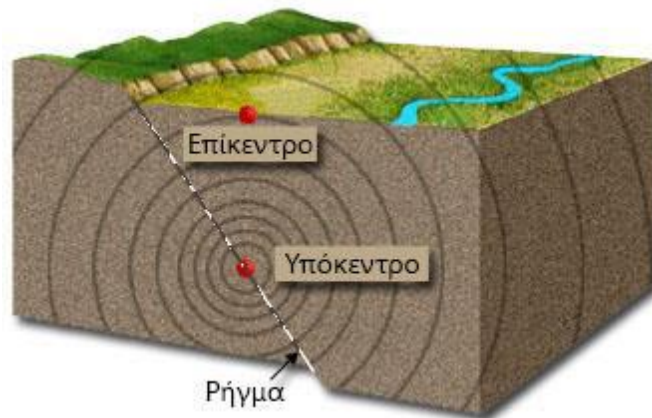
1.2.2 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά ρήγματος

Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 1.1) φαίνονται οι βασικές έννοιες που αφορούν ένα ρήγμα. Στον εστιακό χώρο ορίζεται το επίπεδο του ρήγματος πάνω στο οποίο γίνεται η ολίσθηση, ενώ η τομή του με το οριζόντιο καλείται ίχνος του ρήγματος. Το επίπεδο της ρηξιγενούς επιφάνειας προσδιορίζεται στο χώρο από τη *διεύθυνση (strike)* ή *παράταξη*. Αυτή ορίζεται από τη δεξιόστροφη γωνία που σχηματίζει το ίχνος του ρήγματος με το Βορρά ($0^\circ \div 360^\circ$) και την *κλίση* του (*dip*), δηλαδή τη γωνία της επιφάνειας του ρήγματος με το οριζόντιο επίπεδο ($0^\circ \div 90^\circ$). Για να ορισθεί ο μηχανισμός διάρρηξης (*rupture mechanism*) χρησιμοποιείται η γωνία *rake*, η οποία μετράται πάνω στο επίπεδο του ρήγματος και σχηματίζεται μετρώντας αντισωρολογιακά από τη γωνία διεύθυνσης μέχρι τη διεύθυνση μέσης ολίσθησης της επιφάνειας διάρρηξης ($-180^\circ \div 180^\circ$). Επί της επιφάνειας διάρρηξης μετρώνται επίσης και οι διαστάσεις του ρήγματος, με μήκος *L* και πλάτος *W* όπως απεικονίζονται πιο κάτω.



Σχήμα 1.1: Γεωμετρικές παράμετροι ρήγματος (*NGA Database Documentation File*).

Εστία του σεισμού ορίζεται ως η περιοχή πάνω στην επιφάνεια του ρήγματος από την οποία αρχίζει η διάρρηξη. Εάν αυτή η περιοχή θεωρηθεί σημείο, τότε αυτό ονομάζεται υπόκεντρο, και η οριζόντια προβολή του στην επιφάνεια της γης επίκεντρο, με την κατακόρυφη μεταξύ τους απόσταση να καλείται εστιακό βάθος. Οι έννοιες απεικονίζονται στο Σχήμα 1.2.



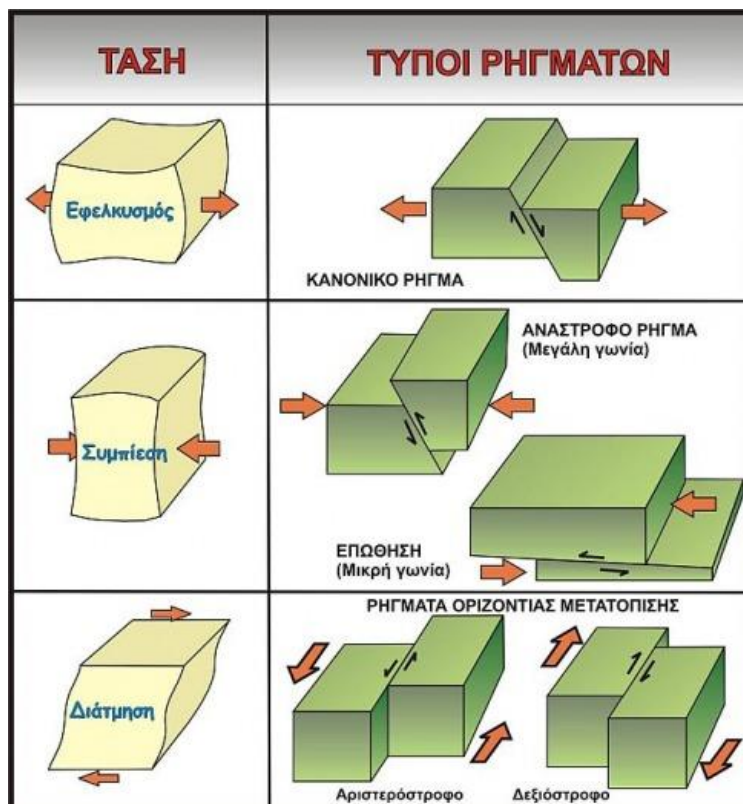
Σχήμα 1.2: Ρήγμα, επίκεντρο και υπόκεντρο ρήγματος

1.2.3 Κατηγορίες ρηγμάτων

Αναλόγως της διεύθυνσης και της φοράς της σχετικής κίνησης μεταξύ των τεμαχών κατά τη διάρρηξη, τα ρήγματα κατηγοριοποιούνται σε *Οριζόντιας Ολίσθησης (Strike-slip fault)* και *Κεκλιμένης Ολίσθησης ή Κατακόρυφης Βύθισης (Dip-slip faults)*. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, η πρώτη κατηγορία αφορά ρήγματα που τα τεμάχη παρουσιάζουν μια οριζόντια σχετική μετατόπιση επί της ρηξιγενούς επιφάνειας, με συμπιεστικές κυρίως τάσεις και διαχωρίζονται σε *Δεξιόστροφα (Dextral strike-slip faults)* και *Αριστερόστροφα (Sinistral strike-slip faults)*, βάσει της φοράς ολίσθησης των επιμέρους τεμαχών.

Αντίστοιχα, τα ρήγματα Κατακόρυφης Βύθισης διαχωρίζονται σε *Κανονικά (Normal faults)* και *Ανάστροφα (Reverse faults)*, ανάλογα με την κίνηση του άνω τεμαχούς. Στην πρώτη περίπτωση εντάσσονται τα ρήγματα των οποίων το υπερκείμενο τέμαχος τείνει να ολισθήσει προς τα κάτω, όπως το επιβάλλει ο νόμος της βαρύτητας, απομακρύνοντας μεταξύ τους τα δύο τεμάχη, ενώ στη δεύτερη αυτά που το υπερκείμενο τέμαχος ακολουθεί ανοδική πορεία, αντίθετη από αυτήν της βαρύτητας, με αποτέλεσμα τα δύο τεμάχη να πλησιάζουν μεταξύ τους.

Ένας εναλλακτικός τρόπος κατηγοριοποίησης των ρηγμάτων γίνεται με βάση τη γωνία κλίσης των ρηγμάτων. Εάν αυτή ξεπερνά τις 45° τότε χαρακτηρίζονται ως Ανάστροφα, ενώ σε αντίθετη περίπτωση ως *Επιπτώσεις (Thrust faults)*.

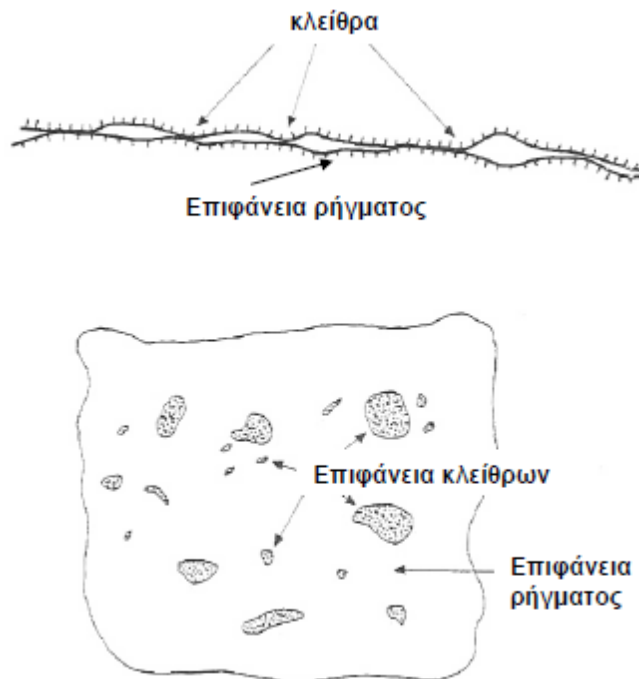


Σχήμα 1.3 : Τύποι ρηγμάτων

1.3 Φαινόμενο Κατευθυντικότητας (*Directivity effect*)

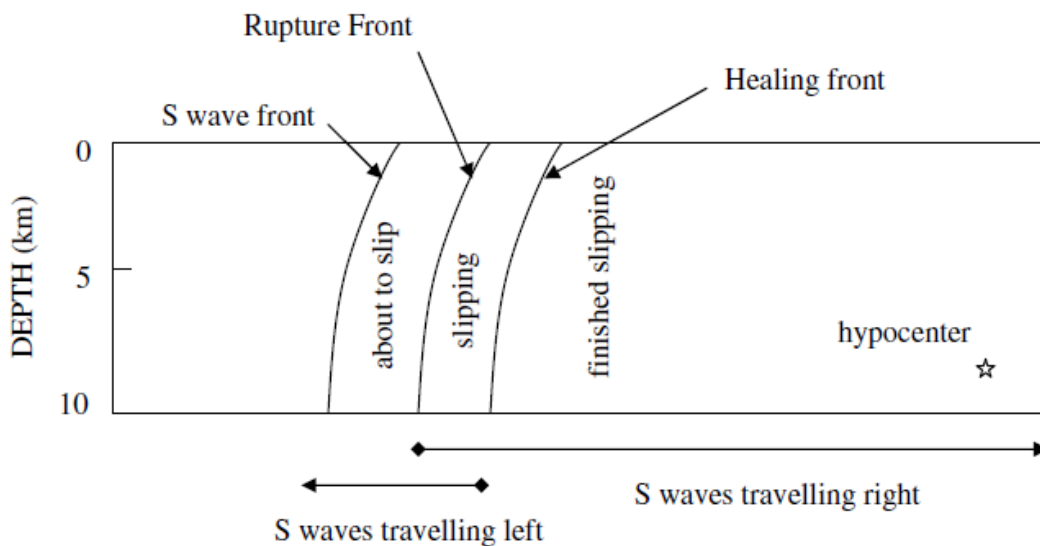
Οι εδαφικές κινήσεις κοντά στη ρηξιγενή περιοχή μπορούν να διαφέρουν σημαντικά από τις αντίστοιχες κινήσεις που βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση από την σεισμική πηγή. Η 'Ζώνη Κοντινού Πεδίου' (Near-fault Zone) καλείται η περιοχή που απέχει περίπου 20 - 60 km από τη σεισμογενή διάρρηξη. Μέσα σε αυτή την περιοχή οι σεισμικές κινήσεις φαίνονται να επηρεάζονται σημαντικά από τους μηχανισμούς διάρρηξης (*rupture mechanisms*), τη σχετική διεύθυνση μετάδοσης της διάρρηξης ως προς μια περιοχή και τις μόνιμες εδαφικές μετακινήσεις που οφείλονται στην ολίσθηση του ρήγματος. Αυτές είναι και οι παράμετροι που καθορίζουν τα φαινόμενα *Κατευθυντικότητας της Διάρρηξης (Rupture Directivity)* και *Στατικής Μόνιμης Παραμόρφωσης (Fling Step)*. Η εκτίμηση των σεισμικών κινήσεων κοντά σε ένα ενεργό ρήγμα θα πρέπει να γίνεται με εδαφικά προσομοιώματα που λαμβάνουν υπόψη τα παραπάνω χαρακτηριστικά.

Για να γίνει αντιληπτό το φαινόμενο Κατευθυντικότητας, θα πρέπει να γίνει αναφορά στον μηχανισμό γένεσης του σεισμικού γεγονότος, το οποίο συνδέεται άμεσα με το εν λόγω φαινόμενο. Εάν θεωρηθεί ότι ένα σεισμικό γεγονός αποτελείται από μια σειρά επιμέρους γεγονότων που σχετίζονται με τη θραύση των κλείθρων του ρήγματος. Ως κλείθρα ορίζονται οι κάμπσεις ή οι φυσικές διογκώσεις της ρηξιγενούς επιφάνειας και χαρακτηρίζονται από μεγάλη τραχύτητα. Κατά τη θραύση ενός κλείθρου εμφανίζεται ένας παλμός του οποίου η ταχύτητα έχει διάρκεια ίση με το χρόνο ανόδου του κλείθρου και εύρος την ταχύτητα ολίσθησης.



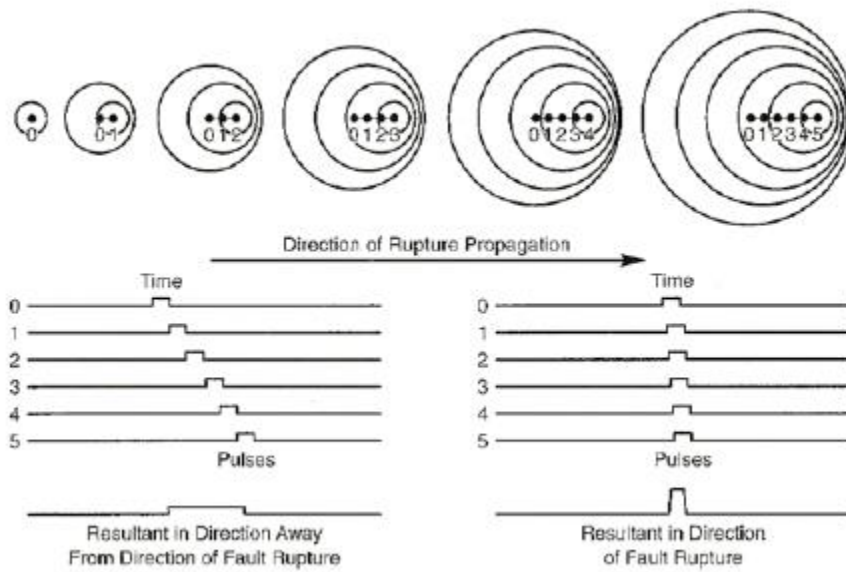
Σχήμα 1.4 : Επιφάνεια ρήγματος και κλείθρα

Αναλόγως της σχετικής διεύθυνσης διάδοσης της διάρρηξης ως προς μια θέση καταγραφής, το φαινόμενο κατευθυντικότητας παίρνει διαφορετική μορφή. Όταν η διάρρηξη διαδίδεται προς μια θέση και η ολίσθηση του ρήγματος εκδηλώνεται προς την ίδια διεύθυνση, τότε εμφανίζεται η *Έμπροσθεν Κατευθυντικότητα (Forward Directivity)*. Κατά τη διάδοση της διάρρηξης από το υπόκεντρο προς μια θέση, για ένα οριζόντιο μηχανισμό ολίσθησης, μια μεγάλη ποσότητα ενέργειας συσσωρεύεται κοντά στο μέτωπο του κύματος, από κάθε διαδοχική ζώνη ολίσθησης κατά μήκος του ρήγματος, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα. Συνεπώς, η ενέργεια αυτή αθροίζεται και φτάνει τελικά ως ένας μεγάλος παλμός κίνησης, με μεγάλο εύρος σε ενδιάμεσες και μεγάλες περιόδους και μικρή διάρκεια. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται λόγω της εγγύτητας της ταχύτητας διάδοσης της διάρρηξης του ρήγματος και αυτής των διατμητικών κυμάτων του βράχου κοντά στην πηγή (περίπου 80 %). Ο παλμός αυτός παρουσιάζεται ιδιαίτερα έντονος στην κάθετη στο ρήγμα διεύθυνση (*Strike Normal Direction*) λόγω της πόλωσης των διατμητικών κυμάτων.



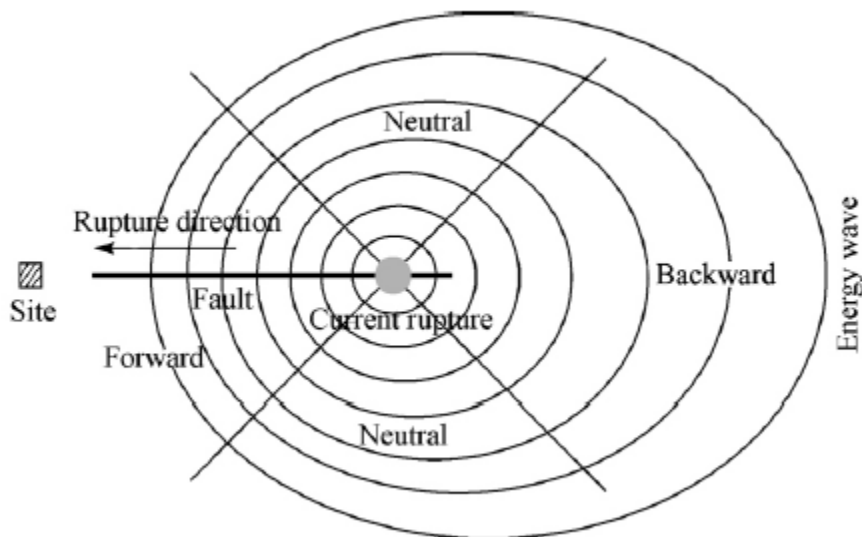
Σχήμα 1.5: Διάγραμμα επίδρασης της κατευθυντικότητας της διάρρηξης για ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης. Η διάρρηξη αρχίζει στο υπόκεντρο και διαδίδεται με ταχύτητα περίπου ίση με το 80% της ταχύτητας των διατμητικών κυμάτων. Η εικόνα παρουσιάζει ένα στιγμιότυπο του μετώπου της διάρρηξης σε μία δεδομένη στιγμή (Somerville et al, 1997a).

Στην αντίθετη περίπτωση, που η θέση καταγραφής βρίσκεται κοντά στο επίκεντρο, η διάρρηξη διαδίδεται μακριά από την εν λόγω θέση και επομένως η έκλυση ενέργειας από τις επιμέρους ολισθήσεις δεν αθροίζεται στο μέτωπο, αλλά παρατίθεται χρονικά, έτσι που η εδαφική κίνηση αποτελείται από μια σειρά παλμών που χαρακτηρίζονται από μικρό εύρος και μεγάλη διάρκεια. Αυτό το φαινόμενο αποτελεί το φαινόμενο της *Όπισθεν Κατευθυντικότητας (Backward Directivity)*. Στο Σχήμα 1.6 απεικονίζονται τα δυο φαινόμενα κατευθυντικότητας (Έμπροσθεν και Όπισθεν Κατευθυντικότητας).



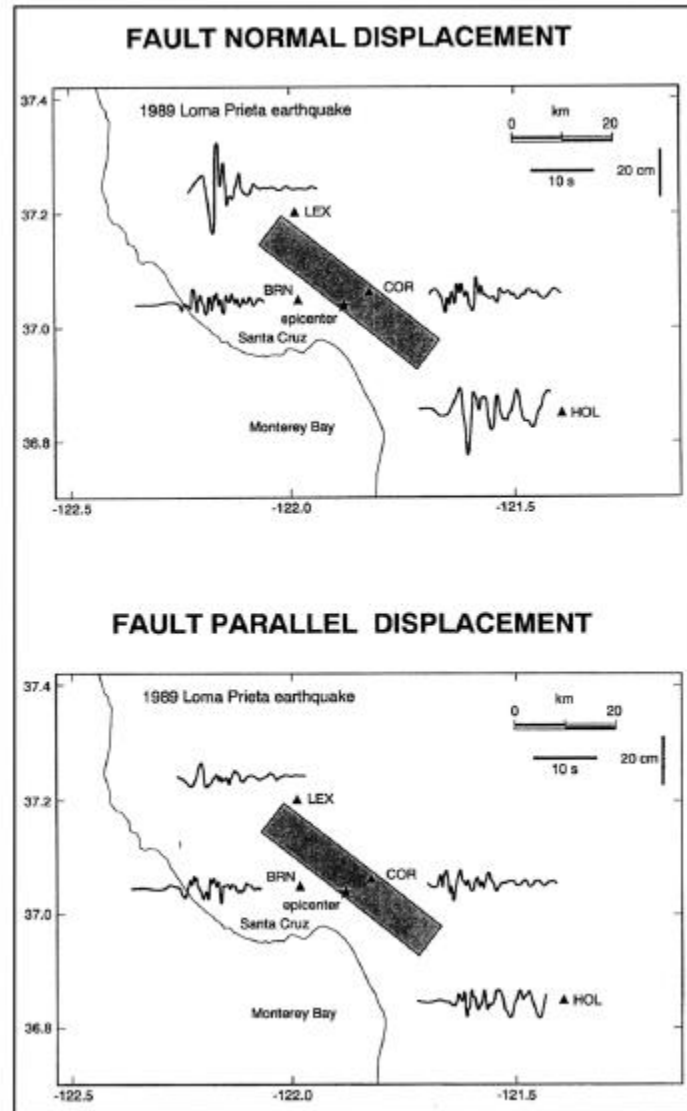
Σχήμα 1.6: Σχηματική απεικόνιση του φαινομένου της κατευθυντικότητας των εδαφικών κινήσεων σε θέσεις από και προς τη διεύθυνση της διάδοσης της διάρρηξης (Kramer, 1996 - after Singh, 1985, EERI).

Η *Ουδέτερη Κατευθυντικότητα (Neutral Directivity)* συμβαίνει σε θέσεις που βρίσκονται στο πλάι της επιφάνειας διάρρηξης του ρήγματος. Συνεπώς, η διάρρηξη δε διαδίδεται ούτε προς, ούτε μακριά από αυτές.



Σχήμα 1.7: Σχηματική απεικόνιση του φαινομένου της κατευθυντικότητας (Li and Xie, 2007).

Οι επιπτώσεις του φαινομένου κατευθυντικότητας στις εδαφικές μετακινήσεις γίνονται εμφανείς με τη βοήθεια του Σχήματος 1.8, που αφορά στο σεισμό που έγινε στο Loma Prieta το 1989. Στο επίκεντρο του σεισμού οι οριζόντιες εδαφικές μετακινήσεις είναι μέτριες και στις δυο συνιστώσες του ρήγματος (στην κάθετη *-fault normal-* και παράλληλη *-fault parallel-*), λόγω του φαινομένου της όπισθεν κατευθυντικότητας. Εν αντιθέσει, στα άκρα του ρήγματος η έπροςθεν κατευθυντικότητα προκαλεί έντονες παλμικές εδαφικές μετακινήσεις στην κάθετη διεύθυνση, ενώ στην παράλληλη δεν φαίνεται να έχει σημαντική επίδραση, όπως ισχύει αντίστοιχα και με τις κινήσεις κοντά στο επίκεντρο. Συνοψίζοντας, μεγάλες μετακινήσεις παρατηρούνται μακριά από το επίκεντρο μόνο στην διεύθυνση της κάθετης συνιστώσας.

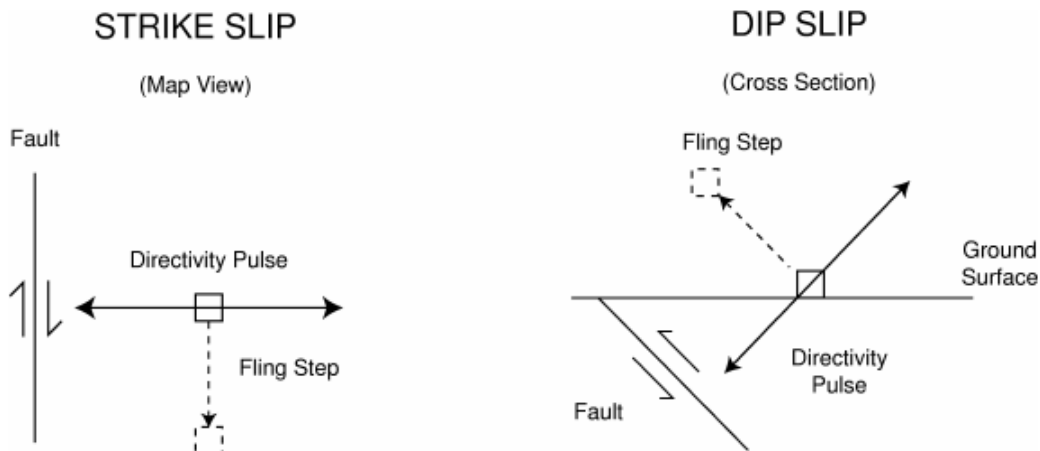


Σχήμα 1.8: Αποτελέσματα της κατευθυντικότητας της διάρρηξης στις καταγεγραμμένες χρονοϊστορίες μετακινήσεων του σεισμού στο Loma Prieta California - 1989) για τις κάθετες (άνω) και τις παράλληλες (κάτω) στο ρήγμα συνιστώσες. (Stewart et al, 2001 - after EERI, 1995).

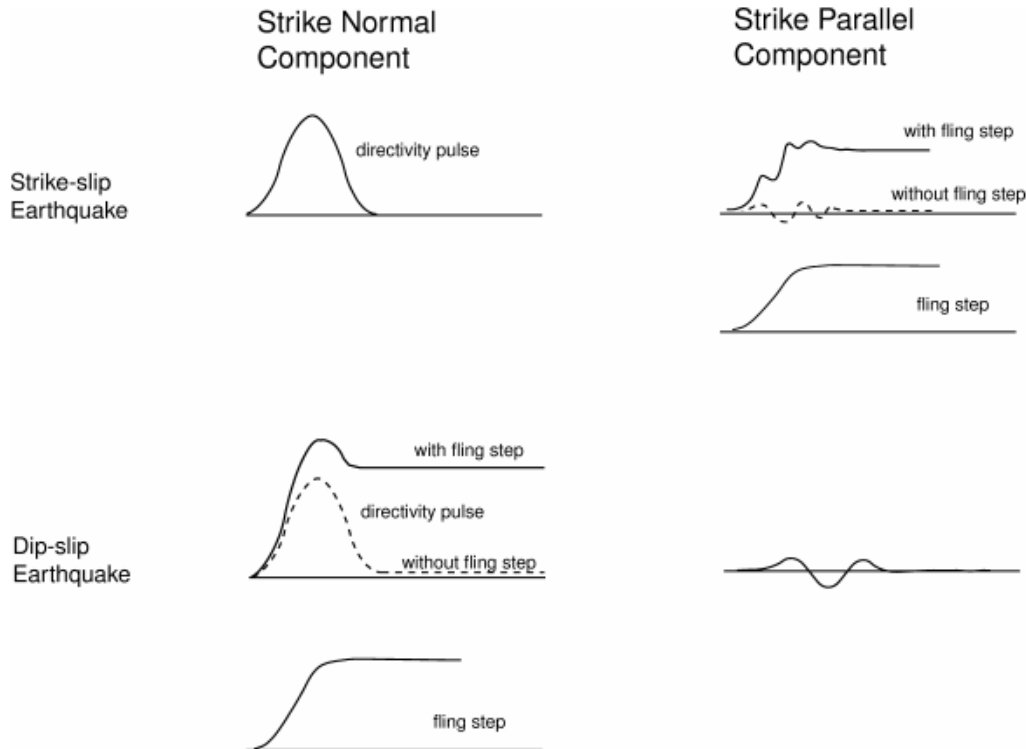
Σύγχρονες ψηφιακές καταγραφές κοντινού πεδίου συμπεριλαμβάνουν μόνιμες εδαφικές μετακινήσεις που οφείλονται στο στατικό πεδίο παραμόρφωσης του σεισμού. Τέτοιες μετακινήσεις αποτελούν οι παραμένουσες μετατοπίσεις (Fling Step), όπως αναφέρονται στη βιβλιογραφία, οι οποίες εμφανίζονται παράλληλα στη διεύθυνση ολίσθησης του ρήγματος και δεν συνδέονται με τις δυναμικές μετατοπίσεις οφειλόμενες στους παλμούς κατευθυντικότητας για τις οποίες έχει γίνει λόγος.

Στην περίπτωση ρηγμάτων οριζόντιας ολίσθησης, οι παλμοί κατευθυντικότητας κάνουν την εμφάνιση τους στην *κάθετη διεύθυνση της συνιστώσας* στο ρήγμα (*strike-normal component*), ενώ στη διεύθυνση της *παράλληλης συνιστώσας* (*strike-parallel component*) εμφανίζεται η μόνιμη στατική παραμόρφωση. Στην περίπτωση, ωστόσο, των μηχανισμών κεκλιμένης ολίσθησης, τόσο σε κανονικά όσο και ανάστροφα ρήγματα, η εδαφική κίνηση που καταγράφεται αποτελείται από τη σύνθεση του παλμού κατευθυντικότητας και της ολίσθησης του ρήγματος.

Στο σχήματα που ακολουθούν φαίνονται οι διευθύνσεις στις οποίες εκδηλώνεται η μόνιμη στατική παραμόρφωση και η διάδοση των παλμών κατευθυντικότητας για ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης και για ρήγματα βύθισης, (Σχήμα 1.9) και ορισμένες χρονοϊστορίες μετακινήσεων στις οποίες απεικονίζονται οι συμβολές των παραπάνω για κάθε περίπτωση (Σχήμα 1.10).



Σχήμα 1.9: Απεικόνιση των προσανατολισμών της παραμένουσας μετακίνησης και του παλμού κατευθυντικότητας για ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης και για ρήγμα βύθισης (Stewart et al, 2001).



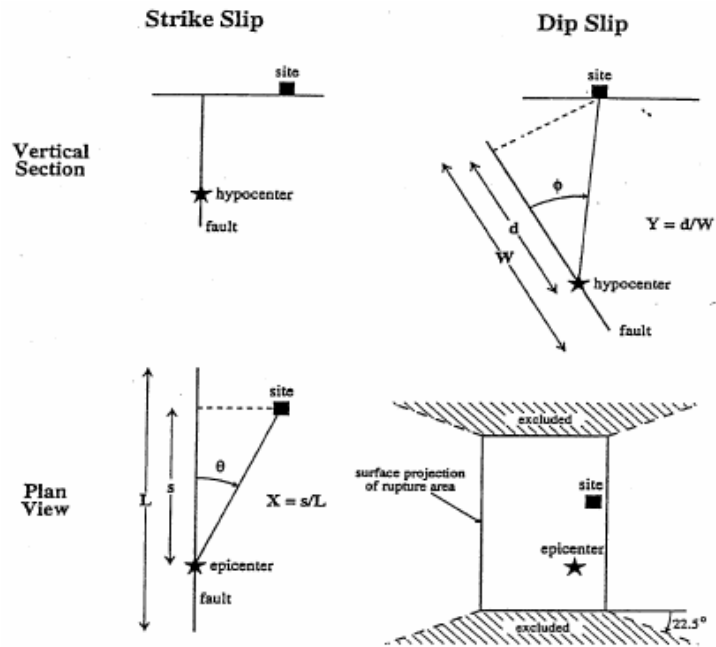
Σχήμα 1.10: Χρονοϊστορίες για ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης και ρήγμα βύθισης, στο οποίο φαίνονται οι επιρροές της παραμένουσας μετακίνησης και του παλμού κατευθυντικότητας μαζί και χωριστά (Stewart et al, 2001).

1.4 Παράμετροι των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου

1.4.1 Η σχετική θέση ως προς το ρήγμα

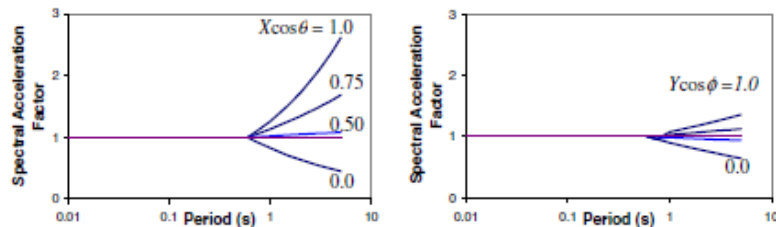
Οι Sommerville et al (1997) παραμετροποίησαν τις συνθήκες κατά τις οποίες δημιουργούνται οι έμπροσθεν και όπισθεν κατευθυντικότητα. Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 1.11) φαίνονται οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η χωρική απόκλιση της επιρροής των φαινομένων κατευθυντικότητας σε κάθε θέση. Τους παράγοντες αυτούς αποτελούν αφενός η γωνία μεταξύ της διεύθυνσης διάδοσης της διάρρηξης και της διεύθυνσης στην οποία μεταφέρονται τα σεισμικά κύματα από το ρήγμα προς την εκάστοτε θέση (οι γωνίες θ και ϕ αναφέρονται σε ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης και ρήγματα βύθισης αντίστοιχως) και αφετέρου από το μέγεθος του τεμάχου της επιφάνειας διάρρηξης μεταξύ του υπόκεντρου και της εκάστοτε θέσης (X και Y για ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης και ρήγματα βύθισης αντίστοιχα).

Παρατηρείται ότι οι σημαντικότερες επιπτώσεις της έμπροσθεν κατευθυντικότητας προκύπτουν για μικρές γωνίες μεταξύ του ρήματος και της υπό εξέταση θέσης και για μεγάλα τεμάχια του ρήματος και σεισμικών κυμάτων και για μεγαλύτερα τμήματα της επιφάνειας διάρρηξης του ρήματος μεταξύ του υπόκεντρου και της εξεταζόμενης θέσης.

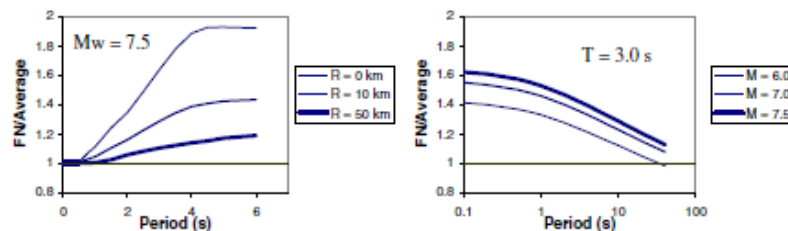


Σχήμα 1.11: Παράμετροι καθορισμού της κατευθυντικότητας της διάρρηξης (Somerville et al,1997).

Για την επίτευξη της ποσοτικής περιγραφής των φαινομένων αυτών, συσχέτισαν τις συνιστώσες των φασμάτων απόκρισης για απόσβεση 5%, με τις γεωμετρικές παραμέτρους που παρουσιάζονται στο σχήμα 1.11, τα αποτελέσματα των οποίων φαίνονται στο σχήμα 1.12.



(a) Average response spectra ratio, showing dependence on period and on directivity parameters



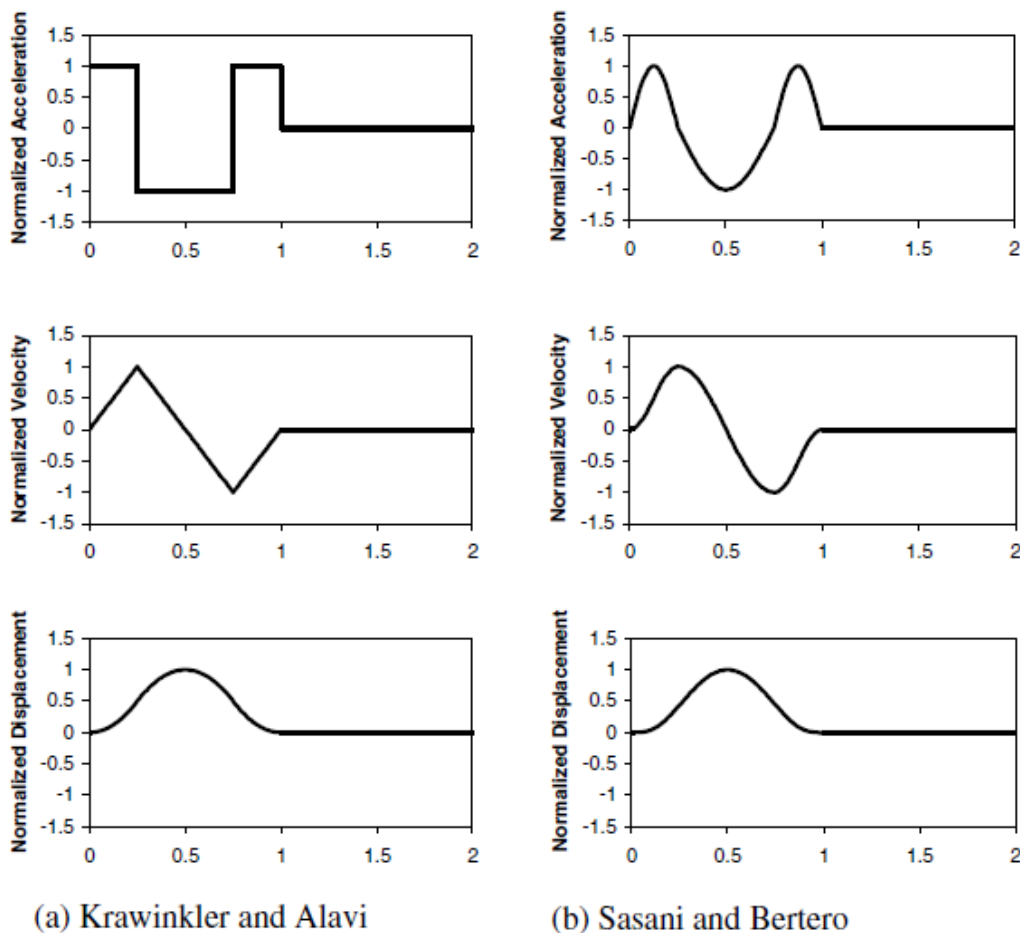
(b) Strike-normal to average horizontal response spectral ratio for maximum forward-directivity conditions ($X\cos\theta = 1$)

Σχήμα 1.12: Προβλέψεις μεταξύ διαφορετικών παραμέτρων κατευθυντικότητας (Somerville et al,1997).

1.4.2 Ο παλμός στη χρονοϊστορία ταχύτητας

Βάσει σχετικών ερευνών με την απόκριση των κατασκευών σε σεισμούς κοντινού πεδίου έχει αποδειχθεί ότι προτιμάται η απεικόνιση των εδαφικών κινήσεων με τη μορφή χρονοϊστορίας από μια αντίστοιχη με τη μορφή φάσματος απόκρισης (Somerville, 1998; Alavi and Krawinkler, 2000; Sasani and Bertero, 2000; Rodriguez-Marek, 2000), εφόσον η μελέτη μιας εδαφικής κίνησης στο χώρο των συχνοτήτων -όπως είναι ένα φάσμα απόκρισης- υπονοεί ότι καθ' όλη τη διάρκεια της εδαφικής κίνησης υπάρχει μια σχετικά ομοιόμορφη κατανομή ενέργειας. Έχοντας όμως υπόψη, ότι στις εδαφικές κινήσεις που επηρεάζονται από την κατευθυντικότητα η ενέργεια αυτή συγκεντρώνεται σε λίγους κύκλους της εδαφικής κίνησης, γίνεται φανερό ότι η απεικόνιση μέσω ενός φάσματος απόκρισης δεν μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτική (Somerville, 1998).

Μελέτες των *Krawinkler και Alavi* το 1998, καθώς και των *Sasani και Bertero* αργότερα το 2000, έδειξαν ότι η απόκριση των κατασκευών σε εδαφικές κινήσεις κοντινού πεδίου μπορεί εύκολα να απεικονισθεί με απλοποιημένες μορφές των παλμών από τη χρονοϊστορία της εδαφικής ταχύτητας. Στο Σχήμα 1.13 φαίνονται κάποιοι εξιδανικευμένοι παλμοί ταχύτητας όπως έχουν χρησιμοποιηθεί από ερευνητές αφού κρίθηκαν αντιπροσωπευτικοί παλμοί για σεισμούς κοντινού πεδίου.



Σχήμα 1.13 : Απλοποιημένοι παλμοί ταχύτητας που έχουν χρησιμοποιηθεί από ερευνητές (Stewart et al, 2001)

Οι εν λόγω απλοποιημένες ημιτονοειδείς απεικονίσεις παλμών στη χρονοϊστορία ταχυτήτων καθορίζονται από τον αριθμό των ισοδύναμων ημικύκλων (*half-cycles*), την περίοδο που αντιστοιχεί σε κάθε ημικύκλο και το αντίστοιχο εύρος τους.

Σύμφωνα με τους μελετητές, επομένως, για την περιγραφή της εδαφικής κίνησης απαραίτητα είναι η εκτίμηση της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας PVG, της δεσπόζουσας περιόδου του παλμού T_p και του αριθμού σημαντικών ημικύκλων της κίνησης του εδάφους N .

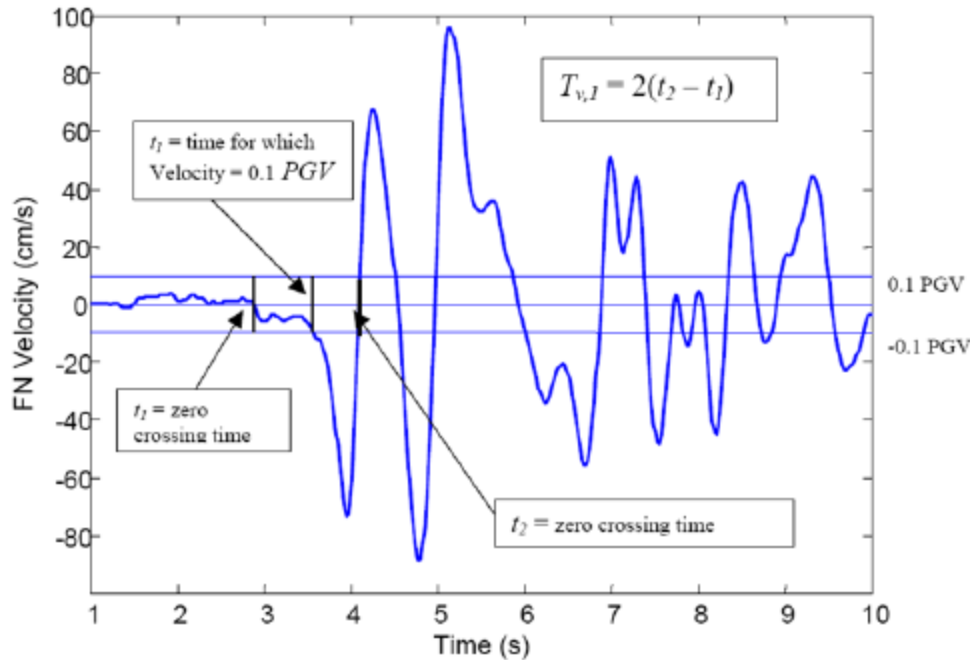
1.4.3 Προσδιορισμός της περιόδου του παλμού κατευθυντικότητας

Την πλέον κρίσιμη παράμετρο για τη μελέτη ενός παλμού, αποτελεί η περίοδος ενός παλμού ταχύτητας, αφού ο λόγος περιόδου του παλμού προς τη θεμελίωση περίοδο μιας κατασκευής έχει τη δυνατότητα να επηρεάσει σημαντικά την απόκριση μιας κατασκευής κατασκευής (Alavi and Krawinkler 2001; Anderson and Bertero 1987; Manroeidis et al, 2004). Ακόμη και μια εικοσαετία συστηματικής μελέτης των σεισμών κοντινού πεδίου, ο τρόπος υπολογισμού της περιόδου του παλμού κατευθυντικότητας και ο ξεκάθαρος προσδιορισμός της διαφέρει από ερευνητή σε ερευνητή. Το 1998 ο Somerville κατάφερε να συσχετίσει την περίοδο του παλμού T_n με το μέγεθος του σεισμικού γεγονότος -όπου T_n η περίοδος του μεγαλύτερου κύκλου της εδαφικής κίνησης- και με το χρόνο ανόδου (*rise time*) της ολίσθησης πάνω στο ρήγμα. Η δεύτερη σχέση -σχέση μεταξύ της χρονικής διάρκειας του παλμού και του χρόνου ανόδου- μπορεί να εξηγηθεί από το φαινόμενο της διάρρηξης του ρήγματος. Εάν ένα ρήγμα θεωρηθεί ως ένα σημείο και η επιρροή της διάδοσης των σεισμικών κυμάτων αγνοηθεί, τότε η διάρκεια της εδαφικής κίνησης ισούται με το χρόνο ανόδου (Somerville, 1998). Στην αύξηση της χρονικής διάρκειας συμβάλλουν η επιρροή της διάδοσης των σεισμικών κυμάτων και η πεπερασμένη γεωμετρία της ρηξιγενούς επιφάνειας του παλμού. Ως αποτέλεσμα, ο χρόνος ανόδου αποτελεί στην πραγματικότητα ένα κάτω όριο της περιόδου του παλμού.

Το 1998, κατά τους Krawinkler and Alavi η παρουσία παλμού ταχύτητας προσδιορίζεται όταν υπάρχει μια καθαρή και σφαιρική αιχμή στο φάσμα απόκρισης ταχυτήτων μιας εδαφικής κίνησης και εκτιμάται η ισοδύναμη περίοδος του παλμού T_n-p ως η δεσπόζουσα περίοδος του φάσματος ταχυτήτων για απόσβεση 5%, δηλαδή η περίοδος κατά την οποία το φάσμα εμφανίζει την αιχμή του. Στη συνέχεια η περίοδος αυτή συσχετίζεται με το μέγεθος του σεισμού. Η μέθοδος αυτή έχει αμφισβητηθεί από πολλούς ερευνητές (Rodriguez-Marek, 2000; Baker, 2007; Mimoglou et al, 2014).

Μια εναλλακτική μέθοδο πρότειναν το 2013 οι Zhai et al, αυτήν της Μεθόδου του Σημείου Αιχμής (*The Peak Method*), σύμφωνα με την οποία η περίοδος του παλμού ισούται με το χρονικό διάστημα στο οποίο ολοκληρώνεται εκείνος ο κύκλος της καταγραφής που περιέχει τη μέγιστη εδαφική ταχύτητα PGV, ανεξάρτητα αν αυτή έχει θετική ή αρνητική τιμή, δηλαδή αν ο κύκλος έχει τη μορφή όρους ή κοιλιάδας.

Το 2000 ο Rodriguez Marek προσδιορίζει διαφορετικά την περίοδο του παλμού, χρησιμοποιώντας το χρονικό διάστημα στο οποίο η ταχύτητα μηδενίζεται διαδοχικά (*zero crossing time*), είτε αυτό στο οποίο η ταχύτητα είναι ίση με το 10% της μέγιστης ταχύτητας του παλμού στην περίπτωση που το δεύτερο απέχει σημαντικά από το πρώτο, όπως φαίνεται πιο ξεκάθαρα στο σχήμα 1.14. Αυτή η προσέγγιση γίνεται για να αποφευχθεί το σφάλμα στην περίπτωση που υπάρξει κατακόρυφη μετάθεση του σήματος (*drift*). Αναφέρεται, βέβαια, ότι αυτός ο ορισμός περιέχει σε ένα μεγάλο βαθμό το στοιχείο της υποκειμενικότητας.



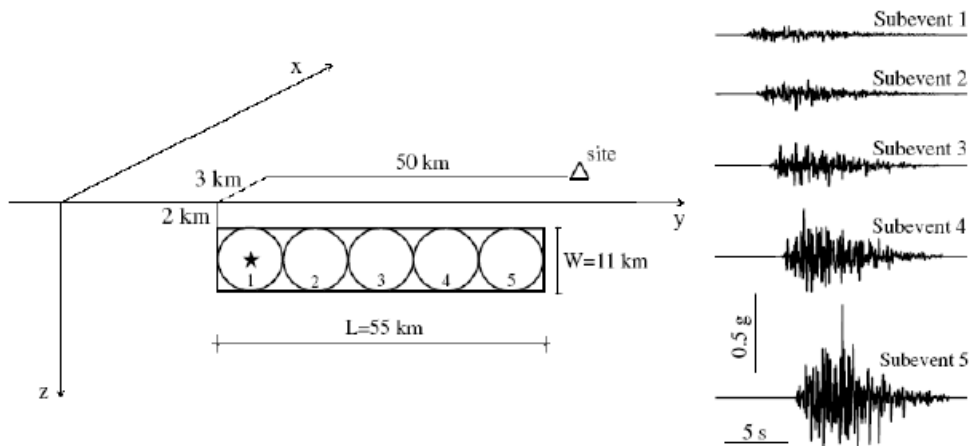
Σχήμα 1.14 : Προσδιορισμός της περιόδου του παλμού ταχύτητας από τη χρονοϊστορία ταχυτήτων (Rodriguez-Marek, 2000).

Οι δυο προτάσεις προσδιορισμού της περιόδου του παλμού ταχύτητας από τους Krawinkler and Alavi (1998) και Rodriguez-Marek (2000) φαίνεται να δίνουν σχεδόν ισοδύναμα αποτελέσματα, μόνο στην περίπτωση που ο σημαντικός παλμός είναι μόνο ένας (single-pulse motions). Σε άλλη περίπτωση, που οι καταγραφές γίνονται πιο πολύπλοκες, τα αποτελέσματα διαφέρουν σημαντικά.

Οι *Manroeidis & Parageorgiou* (2003) υποστήριξαν ότι η περίοδος του παλμού εξαρτάται άμεσα από τη διάρκεια διάρρηξης τ (rise time), η οποία σχετίζεται με τα επιμέρους γεγονότα που αποτελούν το κύριο σεισμικό γεγονός. Προτείνεται, λοιπόν, από τους *Parageorgiou and Aki* (1983) το *συνοριακό μοντέλο* (specific barrier model), το οποίο θεωρεί ότι τα επιμέρους σεισμικά γεγονότα προκαλούνται από προσεγγιστικά ισομεγέθεις κυκλικές επιφάνειες διάρρηξης, ομοιόμορφα κατανεμημένες στην επιφάνεια ενός ρήγματος, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.15.

Οι επιφάνειες αυτές έχουν μια μέση διάμετρο $2\rho_0$ που σχετίζεται με το μέγεθος σεισμικής ροπής M_w του σεισμικού γεγονότος. Προκύπτει η εμπειρική σχέση:

$$\log(2\rho_0) = -2.6 + 0.5 M_w \quad (1.1)$$



Σχήμα 1.15 : Συνοριακό μοντέλο Papageorgiou και Aki (Mavroeidis and Papageorgiou ,2003).

Σύμφωνα με το συνοριακό μοντέλο, η διάρκεια διάρρηξης προσδιορίζεται από τη διάμετρο των επιφανειών $2\rho\theta$ και την ταχύτητα διάρρηξης V_r , καθώς επίσης το σημείο εκκίνησης της. Δίδεται από την σχέση:

$$\frac{\rho\theta}{V_r} \leq \tau \leq 2 \frac{\rho\theta}{V_r}$$

Για την εκτίμηση της περιόδου του παλμού κατευθυντικότητας, δίνεται μια σχέση συναρτήσεως του μεγέθους M_w , η οποία προκύπτει από την παραδοχή -σύμφωνα με τα δεδομένα κοντινού πεδίου- ότι η περίοδος είναι ανεξάρτητη από την απόσταση της θέσης καταγραφής από το ρήγμα. Η σχέση δίνεται με την μορφή:

$$\log T_p = 2.9 + 0.5 M_w \quad (1.2)$$

Από τις σχέσεις που ορίζουν τα μεγέθη $2\rho\theta$ και T_p προκύπτει ότι:

$$\log\left(\frac{2\rho\theta}{T_p}\right) \approx 0.3 \Rightarrow \rho = T_p \quad (1.3)$$

όπου οι παράμετροι $\rho\theta$ και T_p είναι εκφρασμένες σε km και sec αντίστοιχα.

Κάνοντας την παραδοχή ότι η ταχύτητα διάρρηξης του ρήγματος είναι περίπου 2.8 km/sec, προκύπτει η διάρκεια διάρρηξης, που δίνεται από την σχέση:

$$0.35 T_p \leq \tau \leq 0.70 T_p \text{ και κατ' επέκταση } \tau \approx 0.5 T_p .$$

Συνέπεια της παραδοχής ότι η περίοδος του παλμού T_p είναι ανεξάρτητη της απόστασης από την ρηγμάτωση, διάφορες σχέσεις έχουν προταθεί που να συνδέουν το μέγεθος του σεισμού με την περίοδο του παλμού της ταχύτητας.

Το 1998 ο *Somerville* πρότεινε τη σχέση που ακολουθεί για τον υπολογισμό της περιόδου του παλμού κατευθυντικότητας:

$$\log T_p = 3.0 + 0.5 M_w \quad (1.4)$$

Οι *Alavi and Krawinkler* (2000), με βάση τα ίδια δεδομένα όρισαν την περίοδο του παλμού ως τη δεσπόζουσα περίοδο του φάσματος ψευδοταχυτήτων T_{v-p} , η οποία εκτιμάται ως εξής:

$$\log T_{v-p} = -1.76 + 0.31 M_w \quad (1.5)$$

Γίνεται προφανές ότι η σχέση αυτή παρουσιάζει μικρότερες τιμές από την αντίστοιχη σχέση του *Somerville* και η απόκλιση των δύο σχέσεων αυξάνει με την αύξηση του μεγέθους σεισμικής ροπής M_w . Παρόλο που οι δύο σχέσεις παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις, ιδίως στην περίπτωση μεγάλων σεισμικών μεγεθών, η προτεινόμενη παραδοχή για την ισότητα των δύο περιόδων T_p και T_{v-p} παραμένει ιδιαίτερα διαδεδομένη.

Το 2000 ο *Rodriguez-Marek*, για να εκτιμήσει την περίοδο του παλμού της ταχύτητας, διατυπώνει μία σειρά σχέσεων ανάλογων με αυτές των *Somerville* (1998) και *Alavi and Krawinkler* (2000). Για να το πετύχει αυτό, στηρίζεται σε μία σειρά από σεισμικά γεγονότα, καθένα από τα οποία περιλαμβάνεται στο εξεταζόμενο δείγμα με διαφορετικό αριθμό καταγραφών. Αυτές μπορούν να κυμαίνονται από μία έως δεκατρείς, όπως στην περίπτωση του *Imperial Valley*.

Για να είναι τα αποτελέσματα ανεξάρτητα από τα σεισμικά γεγονότα που παρουσιάζουν μεγάλο αριθμό καταγραφών, το τυπικό σφάλμα που σχετίζεται με κάθε σημείο του δείγματος διαχωρίζεται σε δύο όρους: έναν όρο που αφορά στην διασπορά μεταξύ διαφορετικών γεγονότων και σε έναν στη διασπορά μεταξύ των καταγραφών του ίδιου γεγονότος. Προκύπτει, με αυτό τον τρόπο, η γενική σχέση εκτίμησης της περιόδου του παλμού:

$$\ln(T_{v})_{ij} = a + b M_w + n_i + e_{ij} \quad (1.6)$$

όπου $T_{v_{ij}}$ αντιστοιχεί στην περίοδο του παλμού της ταχύτητας για την j -οστή καταγραφή του i -οστού γεγονότος,

a και b οι παράμετροι της σχέσης,

n_i το σφάλμα σχετικό με την απόκλιση μεταξύ καταγραφών του ίδιου γεγονότος

και e_{ij} το σφάλμα σχετικό με την απόκλιση μεταξύ γεγονότων.

Οι δύο όροι σφάλματος μπορούν να θεωρηθούν ως τυχαίες μεταβλητές με διασπορές τ^2 και σ^2 αντίστοιχα. Η συνολική διασπορά που σχετίζεται με την εκτίμηση της περιόδου $T_{v_{ij}}$ προκύπτει από την σχέση:

$$\sigma^2_{\text{total}} = \tau^2 + \sigma^2 \quad (1.7)$$

Για τις διάφορες κατηγορίες εδαφών, βάσει της προτεινόμενης γενικής διατύπωσης, προκύπτουν οι ακόλουθες σχέσεις που αφορούν στην περίοδο του παλμού και τη δεσπόζουσα περίοδο του φάσματος ταχυτήτων:

$$\ln T_p = - 8.33 + 1.33 M_w, \text{ για όλες τις κατηγορίες εδαφών} \quad (1.8)$$

$$\ln T_p = - 11.10 + 1.70 M_w, \text{ για βράχο} \quad (1.9)$$

$$\ln T_p = - 5.81 + 0.97 M_w, \text{ για μαλακό έδαφος} \quad (1.10)$$

$\ln T_p = -6.92 + 1.08 M_w$, για όλες τις κατηγορίες εδαφών	(1.11)
$\ln T_p = -9.53 + 1.42 M_w$, για βράχο	(1.12)
$\ln T_p = -5.66 + 0.91 M_w$, για μαλακό έδαφος	(1.13)

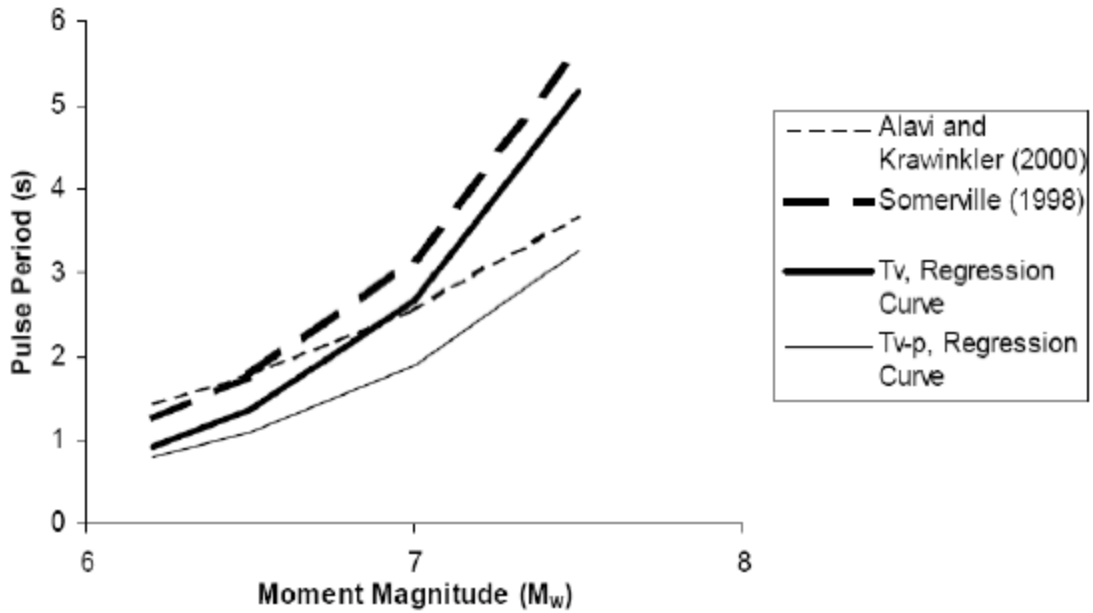
Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι σχέσεις εκτίμησης της δεσπόζουσας περιόδου του φάσματος ταχυτήτων T_v-p δίνουν προφανώς χαμηλότερες τιμές από τις σχέσεις υπολογισμού της περιόδου του παλμού TP , για την ορθότητα επιλογής της περιόδου του παλμού κατευθυντικότητας. Η διαφορά αυτή αυξάνεται όσο μεγαλώνουν τα αντίστοιχα σεισμικά μεγέθη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.16.

Οι τιμές των παραμέτρων των σχέσεων έχουν υπολογισθεί για μεγέθη σεισμών μεταξύ 6.1 και 7.4. Για μεγαλύτερα μεγέθη οι διαθέσιμες καταγραφές σπανίζουν, γι' αυτό και η χρήση κάθε σχέσης, πέραν της οριζόμενης περιοχής, πρέπει να γίνεται με επιφύλαξη. Αναφέρεται ότι οι καταγραφές που έχουν χρησιμοποιηθεί βρίσκονται σε θέσεις με απόσταση μικρότερη των 20km από το επίπεδο του ρήγματος, απόσταση η οποία είναι η μέγιστη απόσταση για τη διατύπωση προβλέψεων μέσω της προτεινόμενης σχέσης.

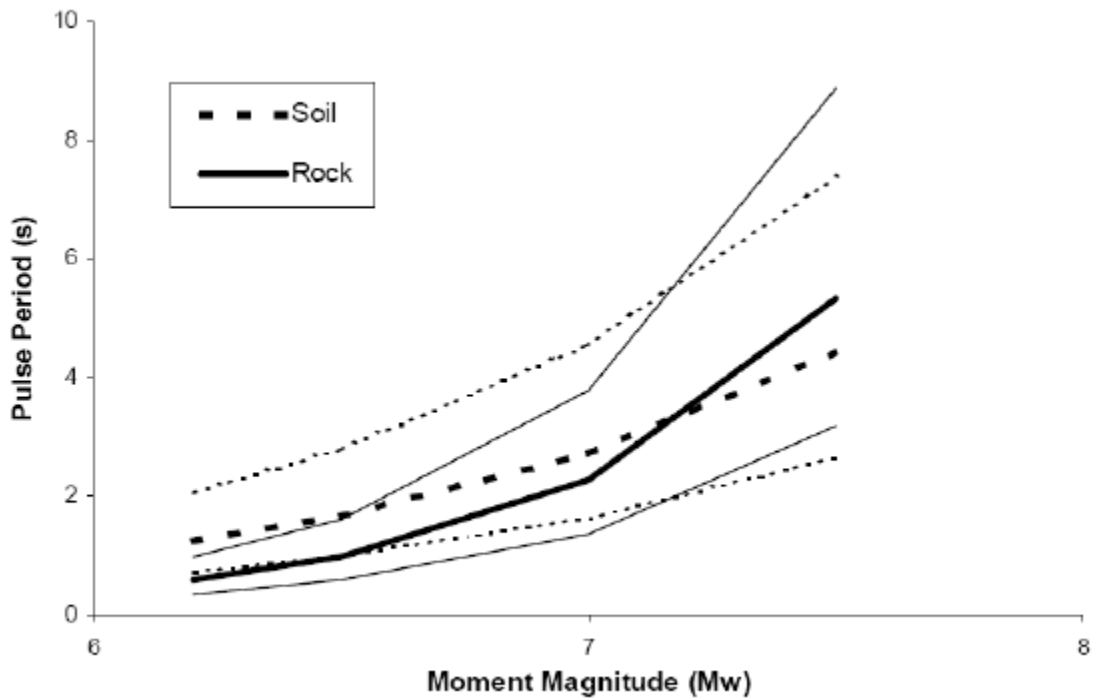
Συγκρίνοντας τη σχέση του *Rodriguez-Marek* (2000) για την περίοδο TP με αυτήν που προτείνει ο *Somerville* (1998), παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα είναι παρεμφερή, με εξαίρεση τις μικρές περιόδους, για τις οποίες η πρώτη σχέση παρουσιάζει μικρότερες εκτιμώμενες τιμές περιόδου.

Βασιζόμενος στα ίδια σεισμικά γεγονότα, ο *Rodriguez-Marek* πρότεινε μια σχέση για την εκτίμηση της περιόδου T_v-p , η οποία αντιστοιχεί στην περίοδο της μέγιστης φασματικής ταχύτητας και έγινε σύγκριση με την αντίστοιχη σχέση των *Alavi and Krawinkler* (2000). Ομοίως με την προηγούμενη περίπτωση, διαπιστώθηκε ότι τα αποτελέσματα συγκλίνουν, παρουσιάζοντας μικρότερες τιμές στην περιοχή μικρών σεισμικών μεγεθών στη σχέση του *Rodriguez-Marek* (2000). Συμπεραίνεται, λοιπόν, ότι για συνήθεις κατασκευές μεγάλης δυσκαμψίας, σεισμικά γεγονότα μεσαίου μεγέθους πιθανόν να έχουν δυσμενέστερα και πιο καταστροφικά αποτελέσματα από μεγάλους σεισμούς, με παλμούς εδαφικής ταχύτητας που αντιστοιχούν σε μεγάλες περιόδους.

Όσον αφορά στη διαφοροποίηση της περιόδου του παλμού αναλόγως του εδάφους στη θέση καταγραφής, προκύπτει -από την απεικόνιση των γραφικών παραστάσεων των αντίστοιχων σχέσεων- ότι, για μεγάλα σεισμικά μεγέθη η εκτίμηση της περιόδου του παλμού μεταξύ καταγραφών σε βράχο και μαλακό έδαφος, δεν διαφοροποιείται σημαντικά, αλλά παραμένει και μικρότερη από την τυπική απόκλιση της προτεινόμενης σχέσης. Αντιθέτως, στην περίπτωση μικρών σεισμικών μεγεθών, η διαφορά αυτή κρίνεται σημαντική, που να μπορεί να συγκριθεί με την τιμή της τυπικής απόκλισης, όπως δείχνει και το Σχήμα 1.17).



Σχήμα 1.16: Σχέσεις υπολογισμού παλμού κατευθυντικότητας (Rodriguez-Marek, 2000).



Σχήμα 1.17: Σχέσεις υπολογισμού παλμού κατευθυντικότητας για διαφορετικές κατηγορίες εδάφους (Rodriguez-Marek, 2000).

Τέλος, η περίοδος του δεσπόζοντος παλμού σύμφωνα με τους *Mimoglou, Psycharis, Taflampas* (2014) προκύπτει από τη μέγιστη αιχμή του *φάσματος συνέλιξης* (*convolution spectrum* ή *product spectrum*) $S_{d,5} \times S_{v,5}$, όπου $S_{d,5}$ και $S_{v,5}$, το φάσμα απόκρισης της μετακίνησης και το φάσμα απόκρισης της ταχύτητας για απόσβεση 5%, αντίστοιχα. Η εν λόγω μέθοδος είναι αυτή η οποία ακολουθείται στην παρούσα εργασία και αναλύεται εκτενέστερα στο Κεφάλαιο 5.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Ποσοτική ταξινόμηση εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου - *Η μέθοδος Baker*

2.1 Εισαγωγή

Η απουσία ποσοτικής κατηγοριοποίησης καταγραφών εδαφικών κινήσεων καθιστούσε δύσκολη την πρόσβαση στη μελέτη και τον καθορισμό της επίδρασης των εδαφικών κινήσεων, από ομάδες ερευνητών και μηχανικών. Μια μέθοδο μελέτης αυτών των εδαφικών κινήσεων και προσδιορισμού των σημαντικών παλμών στη χρονοϊστορία της ταχύτητας, προτάθηκε από τον Baker (2007), καθώς επίσης ένα κριτήριο για την κατηγοριοποίηση των καταγραφών σε *παλμικές και μη (pulse-like and non-pulse like)*. Η προσέγγιση αυτή χρησιμοποιεί τη *μέθοδο κυματικής ανάλυσης (wavelet analysis)*, με σκοπό την εξαγωγή του μεγαλύτερου παλμού από την χρονοϊστορία ταχύτητας από μια δοσμένη εδαφική κίνηση. Εάν το μέγεθος του εξαγόμενου –μέσω της προτεινόμενης μεθόδου- παλμού κριθεί μεγάλο συγκριτικά με το μέγεθος της αρχικής καταγραφής, η κίνηση χαρακτηρίζεται παλμική (σε αντίθετη περίπτωση γίνεται προφανές ότι χαρακτηρίζεται ως μη-παλμική).

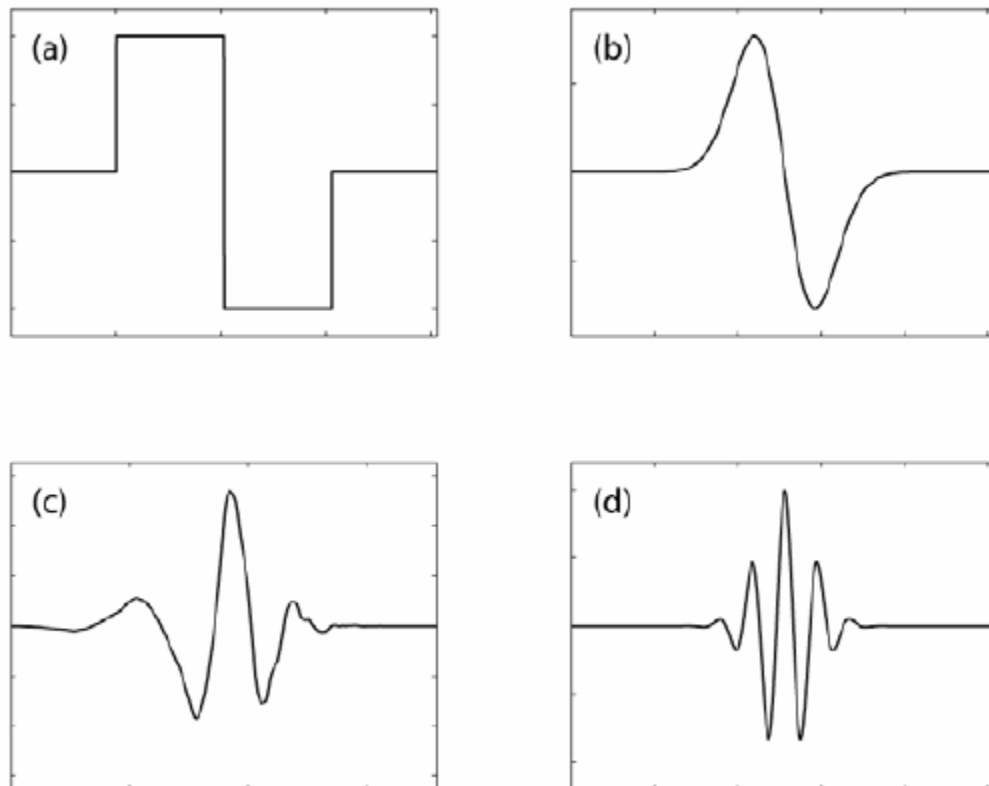
Σε πολλές περιπτώσεις η παρουσία παλμού μπορεί να σχετίζεται με φαινόμενα κατευθυντικότητας, (Somerville 2003, Somerville et al.1997, Spudich et al. 2004). Για την εξαίρεση αυτών των παλμών από τη μελέτη, ορίζονται δύο κριτήρια: αφενός η άφιξη του παλμού να γίνεται νωρίς στη χρονοϊστορία της εδαφικής κίνησης και αφετέρου το απόλυτο μέγεθος του παλμού να κρίνεται ως μεγάλο. Για τις καταγραφές που ο παλμός χαρακτηρίζεται ως παλμικός, υπολογίζεται η περίοδος του. Σημειώνεται ότι η επιρροή της μόνιμης εδαφικής μετακίνησης λόγω ολίσθησης (*Fling Step*) του ρήγματος δεν θεωρείται σημαντική για την εν λόγω μελέτη και επομένως δεν λαμβάνεται υπόψη στη διαδικασία που περιγράφεται στη συνέχεια.

2.2 Ανάλυση με κυματίδια (wavelet analysis)

Η κυματική ανάλυση έχει αναπτυχθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια, σε θεωρητικό και σε πρακτικό επίπεδο, εξίσου, αφού η χρησιμότητά της έχει διερευνηθεί σε ένα εύρος διαφορετικών προβλημάτων. Η παρουσία διακριτών παλμών σε σεισμούς κοντινού στις χρονοϊστορίες των ταχυτήτων πεδίου έχει οδηγήσει πλήθος ερευνητών στην απομόνωση του παλμού μέσω της ανάλυσης με κυματίδια, μιας μαθηματικής περιγραφής του παλμού μέσω μιας κυματομορφής.

Για την ευκολότερη κατανόηση της μεθόδου θα πρέπει να συγκριθεί με την *ανάλυση Fourier*. Η ανάλυση Fourier αναπαριστά ένα σήμα μέσω ενός γραμμικού συνδυασμού ημιτονικών κυμάτων, καθένα εκ των οποίων αντιπροσωπεύει ένα σήμα άπειρου μήκους και μιας μόνο συχνότητας. Η ανάλυση με κυματίδια, αντιθέτως, αποσυνθέτει ένα σήμα σε κυματίδια, διακριτά τοποθετημένα στο χρόνο που αντιστοιχούν σε ένα συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων. Στην περίπτωση των κυμάτων που χαρακτηρίζονται ως μη στάσιμα -όπως οι σεισμικές εδαφικές κινήσεις- προτιμάται η απεικόνισή τους ως ένα άθροισμα κυματιδίων από την απεικόνισή τους ως άθροισμα στάσιμων ημιτονικών σημάτων.

Τα κυματίδια είναι βασικές συναρτήσεις που ικανοποιούν συγκεκριμένες μαθηματικές απαιτήσεις. Αρκετά πρότυπα κυματίδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποσύνθεση ενός σήματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως και θεωρούνται κατάλληλα για το συγκεκριμένο πεδίο εφαρμογής. Η πρότυπη συνάρτηση ονομάζεται *μητρικό κυματίδιο (mother wavelet)* και κλιμακώνεται και μεταφέρεται στο χρόνο για να σχηματίσει μια σειρά βασικών συναρτήσεων. Για την επιλογή ενός χρηστικού μητρικού κυματιδίου, ένας μεγάλος αριθμός θεωρητικών παραγόντων πρέπει να ληφθεί υπόψη, όπως είναι μεταξύ άλλων η ορθογωνικότητα, η συμβατότητα, ο διαθέσιμος αριθμός παραγώγων και η συμμετρία (Mallat 1999).



Σχήμα 2.1:Πρότυπα μητρικά κυματίδια (a) Haar, (b) Γκαουσιανό 1ης τάξης, (c) Daubechies 4ης τάξης, (d) Morlet. (Baker, 2007)

Παρακάτω ορίζεται μαθηματικά η βασική συνάρτηση κυματιδίου σε μια χρονική στιγμή t :

$$\Phi_{s,l}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \Phi\left(\frac{t-l}{s}\right), \quad (2.1)$$

όπου $\Phi(\cdot)$ είναι η μητρική συνάρτηση του κυματιδίου,
 s η παράμετρος κλίμακας που διαστέλλει το κυματίδιο και
 l η χωρική παράμετρος που μεταφέρει το κυματίδιο στο χρόνο.

Οποιοδήποτε σήμα $f(t)$ μπορεί να παρασταθεί ως ένας γραμμικός συνδυασμός βασικών συναρτήσεων και οι συντελεστές για το γραμμικό συνδυασμό μπορούν να υπολογιστούν από το *ολοκλήρωμα συνέλιξης (convolution integral)* που παρουσιάζεται παρακάτω, με μορφή πανομοιότυπη με του μετασχηματισμού *Fourier*:

$$C_{s,l} = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \Phi_{s,l}(t) dt = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{s}} \Phi\left(\frac{t-l}{s}\right) dt \quad (2.2)$$

Για την ψηφιακή ανάλυση σημάτων, όπως η χρονοϊστορία της ταχύτητας μιας εδαφικής κίνησης, η εξίσωση (2.2) εκφυλίζεται σε άθροισμα και επομένως δεν χρησιμοποιείται ως ολοκλήρωμα, αλλά μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο πιθανές προσεγγίσεις ο μετασχηματισμός αυτός. Η πρώτη προσέγγιση είναι ο *συνεχής μετασχηματισμός κυματιδίου* (*continuous wavelet transform*), ο οποίος υπολογίζει τους συντελεστές του κυματιδίου που σχετίζονται με κάθε ακέραια τιμή των παραμέτρων κλίμακας και θέσης. Η δεύτερη, αφορά στο *διακριτό μετασχηματισμό κυματιδίου* (*discrete wavelet transform*), ο οποίος παρέχει τους n συντελεστές που περιγράφουν το πλάτος των n κυματιδίων σε διάφορες κλίμακες και θέσεις. Και οι δύο μετασχηματισμοί χρησιμοποιούνται εξίσου στο κριτήριο ταξινόμησης που περιγράφεται στη συνέχεια.

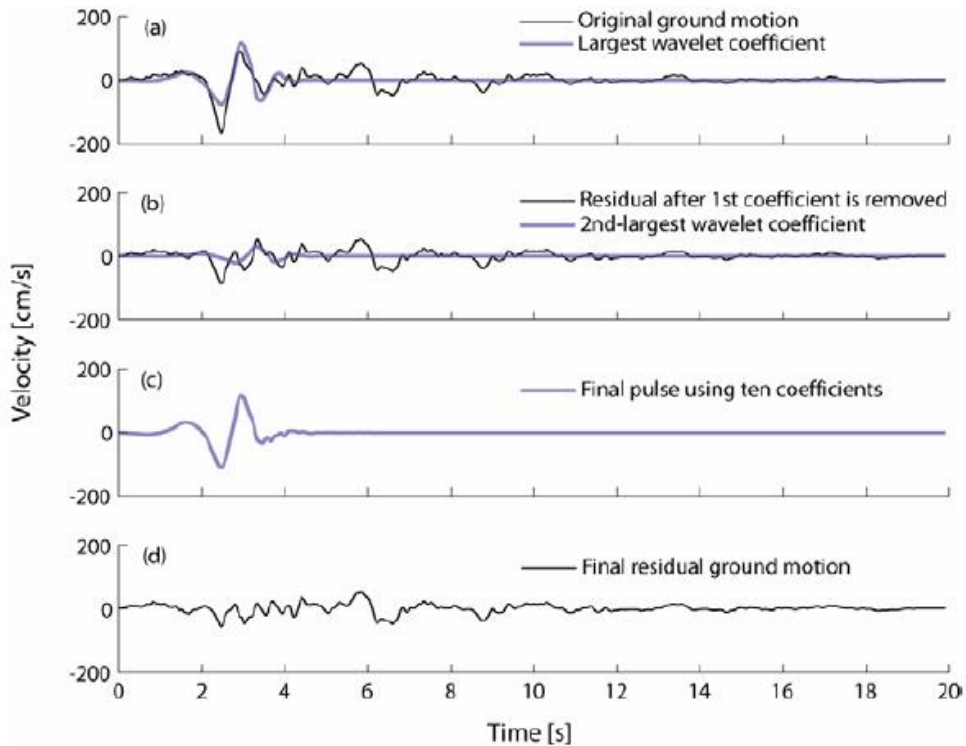
2.3 Ταξινόμηση χρονοϊστοριών

2.3.1 Γενικά

Για την κατάταξη των καταγραφών χρονοϊστοριών ταχύτητας σε *παλμικές και μη παλμικές καταγραφές* (*pulse like και non-pulse like*), απαραίτητος είναι ο καθορισμός ορισμένων ορθά επιλεγμένων κριτηρίων. Ο εν λόγω διαχωρισμός γίνεται με μια κατάταξη των καταγραφών μέσω δεικτών, οι οποίοι εκφράζουν κατά πόσο οι καταγραφές είναι ή δεν είναι παλμικές και τον ορισμό ενός ορίου (*threshold*), βάσει του οποίου εξάγεται τελικά το συμπέρασμα δυαδικού τύπου, δηλαδή *Pulse Like* ή *Non-Pulse Like*. Η διαδικασία που ακολουθείται περιγράφεται στη συνέχεια.

2.3.2 Απομόνωση του παλμού ταχύτητας

Για κάθε εδαφική κίνηση, αφαιρείται ο μεγαλύτερος παλμός μέσω της αποσύνθεσης του σήματος σε κυματίδια όπως έχει περιγραφεί πιο πάνω. Σημειώνεται ότι ως μητρικό κυματίδιο επιλέγεται το κυματίδιο Daubechies 4^{ης} τάξης από τον Baker, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1 (c), αφού θεωρείται ότι προσεγγίζει ικανοποιητικά πλήθος παλμών ταχύτητας σε καταγραφές σεισμών κοντινού πεδίου. Για την εκτίμηση μιας εδαφικής κίνησης, αρχικά υπολογίζεται ο συνεχής κυματικός μετασχηματισμός από τη χρονοϊστορία ταχύτητας και εντοπίζεται ο απόλυτα μέγιστος συντελεστής. Το κυματίδιο που σχετίζεται με το συντελεστή αυτό, είναι και αυτός που θα καθορίσει την περίοδο καθώς και τη θέση του παλμού, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί, στην περίπτωση (a).



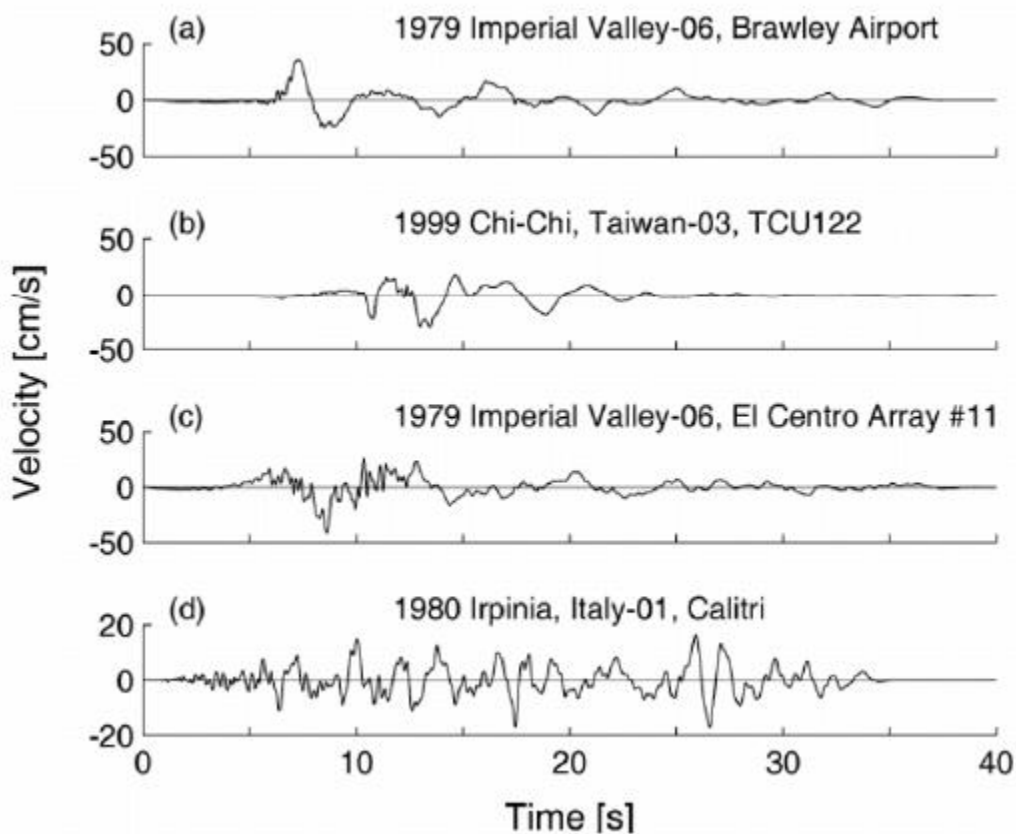
Σχήμα 2.2: Αναπαράσταση της διαδικασίας αποσύνθεσης για την απομόνωση του παλμού (Baker 2007)

Στη συνέχεια, το κυματίδιο που έχει επιλεγεί αφαιρείται από την εδαφική κίνηση και ακολουθείται η διαδικασία της συνέλιξης με το εναπομένον σήμα (*residual ground motion*). Εφόσον η περίοδος και η θέση του παλμού έχουν ήδη ορισθεί, στο βήμα αυτό επιλέγονται μόνο τα κυματίδια που έχουν ίδια ή τουλάχιστον παρόμοια περίοδο και χρόνο άφιξης (εντός \pm του μισού του εύρους του πρωτότυπου κυματιδίου). Έπειτα εντοπίζεται ο μεγαλύτερος από τους συντελεστές αυτούς, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.2 (b), και η διαδικασία επαναλαμβάνεται για την εναπομένουσα εδαφική κίνηση. Για τη βέλτιστη αναλυτική αναπαράσταση του παλμού δέκα συντελεστές εξάγονται για την ίδια περίοδο και θέση. Ένας απομονωμένος παλμός που έχει προκύψει με χρήση δέκα συντελεστών απεικονίζεται στο Σχήμα 2.2 (c). Το (d) αναπαριστά το εναπομένον σήμα, μετά την αφαίρεση του παλμού.

2.3.3 Σημαντικότητα αφαιρούμενου παλμού

Ακολουθώντας τη διαδικασία που έχει περιγραφεί πιο πάνω, γίνεται προφανές ότι ένας παλμός μπορεί να εξαχθεί από μια εδαφική κίνηση είτε με την παρουσία παλμού κατευθυντικότητας είτε χωρίς. Το επόμενο στάδιο, λοιπόν, είναι να ορισθεί ένα κριτήριο το οποίο θα καθορίζει εάν ο παλμός αποτελεί σημαντικό παλμό ή όχι. Το κριτήριο αυτό ορίζει ο Baker (2007), υπολογίζοντας ένα πλήθος μεταβλητών και αξιολογώντας πόσοι και ποιοι εξ αυτών θα μπορούσαν να αποτελέσουν τους δείκτες της σημαντικότητας του παλμού. Για να διαμορφωθεί μια ομάδα ταξινομημένων καταγραφών, επιλέγονται όλες οι συνιστώσες στη

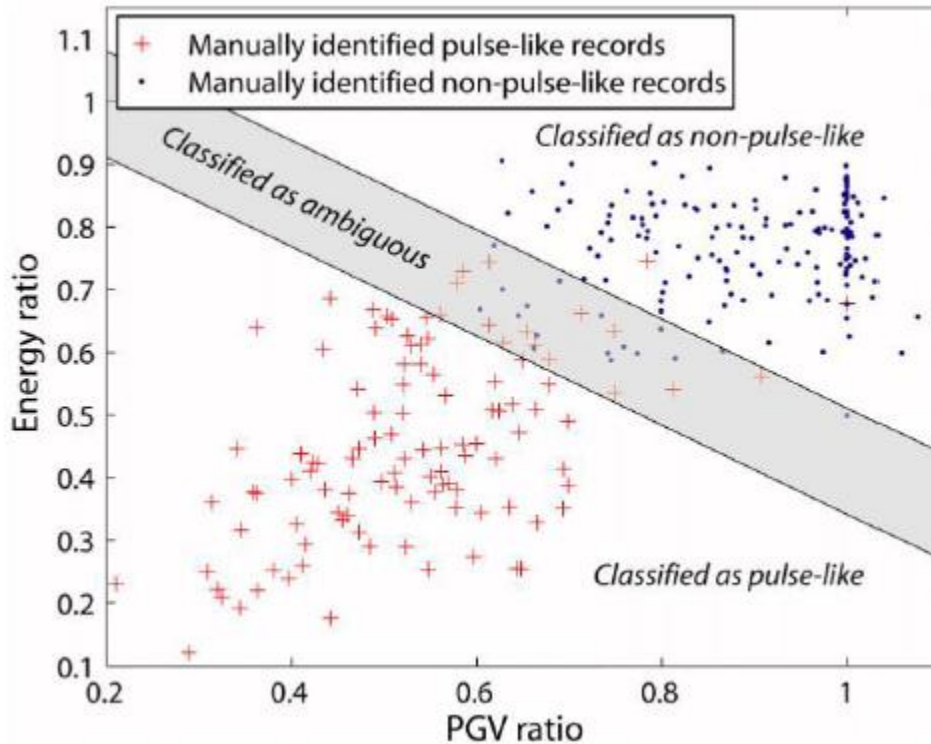
διεύθυνση που είναι κάθετη στο ρήγμα, από τη βάση δεδομένων *Next Generation Attenuation (NGA)*, για σεισμούς μεγέθους μεγαλύτερου από 5.5, εντός μιας ζώνης 30 km από κάθε σεισμικό γεγονός. Οι 398 καταγραφές οι οποίες έχουν επιλεχθεί, βασίστηκαν στον οπτικό έλεγχο αναγνώρισης του παλμού στη χρονοϊστορία ταχυτήτων. Καταγραφές με εμφανή παλμικά ή μη χαρακτηριστικά, όπως οι καταγραφές (a) και (d) στο σχήμα που ακολουθεί, ταξινομήθηκαν αναλόγως. Στην περίπτωση που τα χαρακτηριστικά δεν ήταν εμφανή, όπως τα (b) και (c) στο ακόλουθο σχήμα, οι καταγραφές κρίνονται ως ασαφείς και διαχειρίζονται ξεχωριστά. Ο έλεγχος αυτός του Baker, ο οποίος θα μπορούσε να χαρακτηριστεί και ως χειροκίνητος, κατηγοριοποίησε 124 κινήσεις ως πιθανότατα παλμικές, 190 μη παλμικές και τις υπόλοιπες 84 ως ασαφείς εδαφικές κινήσεις. Την ταξινόμηση αυτή ακολούθησαν στατιστικά εργαλεία πρόβλεψης με χρήση κυματικής ανάλυσης.



Σχήμα 2.3: Παραδείγματα καθέτων συνιστωσών στο ρήγμα σε σεισμούς κοντινού πεδίου (Baker 2007).

Οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται συμπεριλαμβάνουν το μέγεθος των συντελεστών που προκύπτουν από την αποσύνθεση του σήματος σε κυματίδια, τις μέγιστες εδαφικές ταχύτητες και ενεργειακές τιμές. Δύο εξ αυτών, οι οποίες είναι εύκολες στον υπολογισμό και ταυτόχρονα παρέχουν καλή ικανότητα πρόβλεψης, είναι η μέγιστη εδαφική ταχύτητα (*Peak Ground Velocity* ή εν συντομία *PGV*), της εναπομένουσας καταγραφής προς τη μέγιστη εδαφική ταχύτητα της αρχικής και η ενέργεια της εναπομένουσας καταγραφής προς την αρχική

ενέργεια καταγραφής. Οι μεταβλητές αυτές αναφέρονται σύμφωνα με το Baker ως ο λόγος *PGV* (*PGV ratio*) και λόγος *Ενεργειών* (*Energy ratio*) στην αντίστοιχη βιβλιογραφία. Στο Σχήμα 2.4 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα μεταξύ του λόγου *Ενεργειών* και του λόγου *PGV* για τις καταγραφές που έχουν ταξινομηθεί χειροκίνητα, υποδεικνύοντας ότι η ταξινόμηση επιβεβαιώνεται από τους παραπάνω δείκτες.



Σχήμα 2.4: Διάγραμμα ταξινόμησης καταγραφών βάσει των μεταβλητών πρόβλεψης.

Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ των δύο μεταβλητών, για να επιβεβαιωθεί η ορθότητα τους, από την οποία προκύπτει η πιο κάτω εξίσωση:

$$\text{Pulse Indicator} = \frac{1}{1 + e^{-23.3 + 14.6(\text{PVG ratio}) + 20.5(\text{Energy ratio})}} \quad (2.3)$$

Ο δείκτης αυτός, που καλείται *Παλμικός* (*Pulse Indicator*), μπορεί να προβλέψει την ύπαρξη ή όχι παλμού σε μια εδαφική κίνηση και εφαρμόζεται στις καταγραφές που έχουν χαρακτηριστεί ως παλμικές από τη χειροκίνητη ταξινόμηση που έχει περιγραφεί προηγουμένως. Λαμβάνει τιμές μεταξύ 0 και 1, με τις υψηλές τιμές να υποδεικνύουν ότι μια εδαφική κίνηση είναι παλμική. Τα αποτελέσματα των προβλέψεων του *Παλμικού δείκτη* διαμορφώνουν ένα συνεχές φάσμα τιμών μεταξύ των ακραίων μηδέν και ένα. Για την εξαγωγή συμπερασμάτων δυαδικού τύπου, δηλαδή την ταξινόμηση ως *Παλμική* ή *Μη παλμική* καταγραφή, απαιτείται μια οριοθέτηση. Συνεπώς, για καταγραφές των οποίων ο *Παλμικός δείκτης* παίρνει τιμές μεγαλύτερες του 0.85, κατατάσσονται ως *Παλμικές*, ενώ αυτές των οποίων ο *Παλμικός δείκτης* είναι μικρότερος του 0.15, κατατάσσονται ως *Μη παλμικές*. Αντίστοιχα,

καταγραφές με ενδιάμεσες τιμές του Παλμικού δείκτη χαρακτηρίζονται ως *Ασαφείς (Ambiguous)*, όπως παρουσιάζονται και στο Σχήμα 2.4.

2.3.4 Εξαίρεση των παλμών με αργή άφιξη

Η παρουσία παλμικών κυμάτων στις εδαφικές κινήσεις, όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, μπορεί να οφείλονται σε μια ποικιλία παραγόντων, εκτός της κατευθυντικότητας. Βάσει θεωρητικών σεισμολογικών μελετών, παλμοί οι οποίοι οφείλονται στην κατευθυντικότητα εμφανίζονται νωρίς στη χρονοϊστορία ταχύτητας. Γίνεται εμφανής η ανάγκη προσδιορισμού ενός κριτηρίου που θα αποκλείει τους παλμούς που καταφθάνουν αργά στη χρονοϊστορία ταχύτητας. Το κριτήριο αυτό ορίζεται μέσω του υπολογισμού του ολοκληρώματος του τετραγώνου της ταχύτητας της αρχικής καταγραφής (*Cumulative Squared Velocity* ή εν συντομία *CSV*) και του εξαγόμενου παλμού. Για μια τυχαία χρονική στιγμή t το εν λόγω ολοκλήρωμα υπολογίζεται ως:

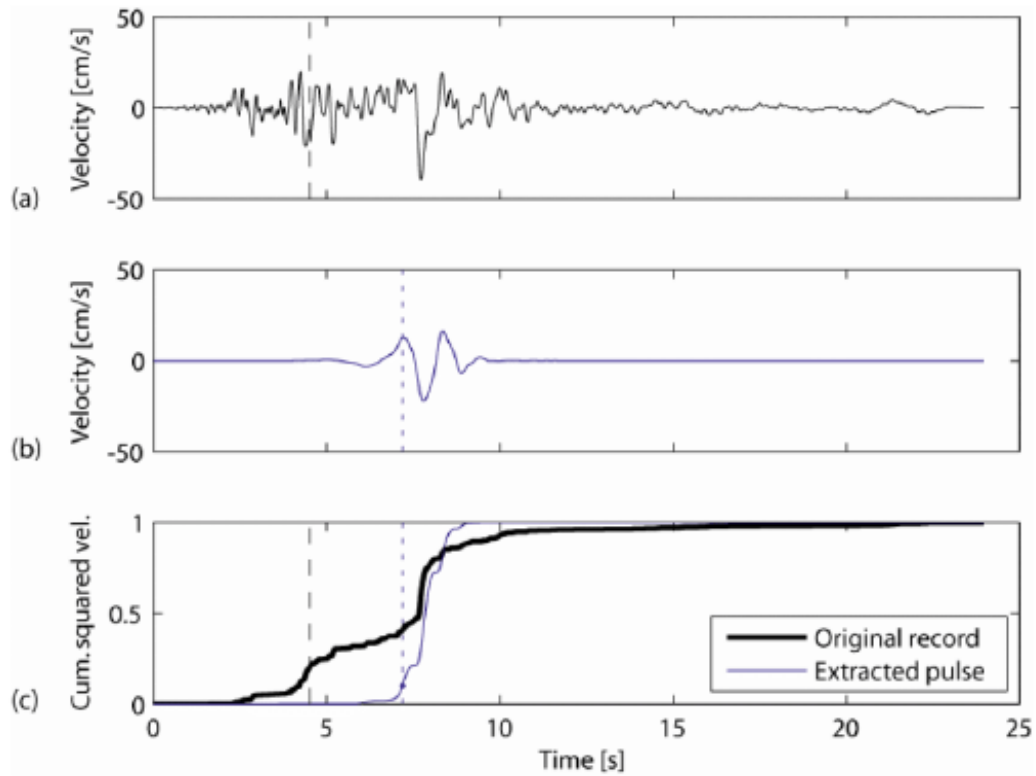
$$CSV(t) = \int_0^t V^2(u) du, \quad (2.4)$$

όπου $V(u)$ η ταχύτητα της εδαφικής κίνησης τη χρονική στιγμή u .

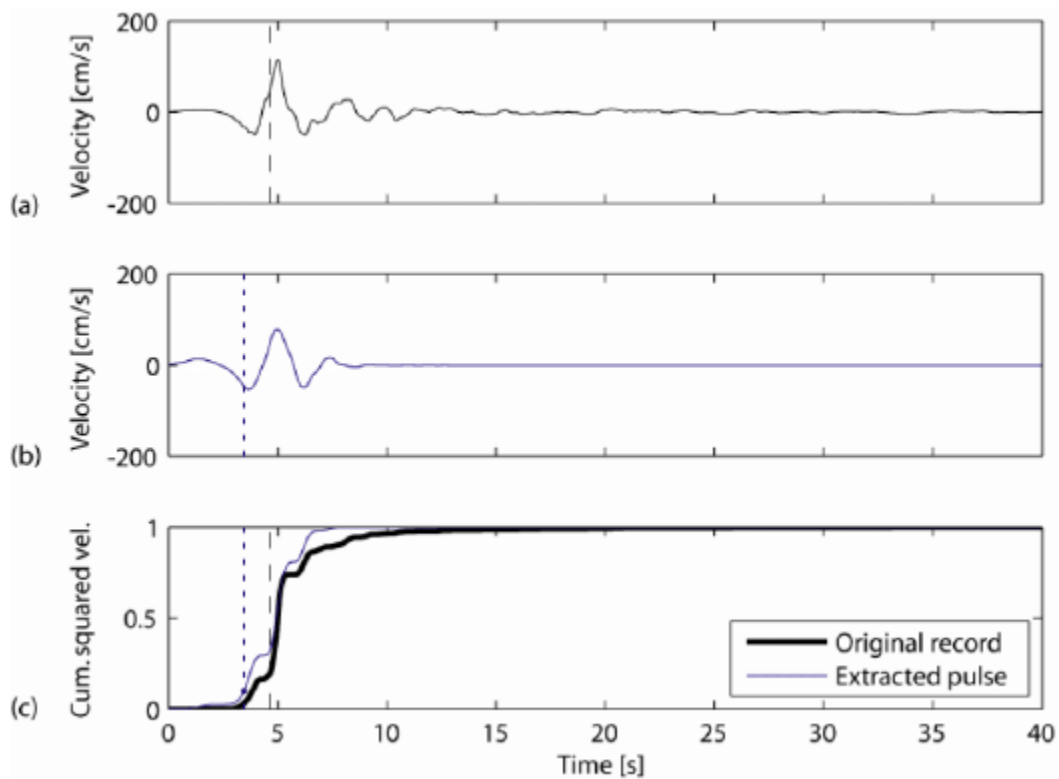
Με τον υπολογισμό του πιο πάνω ολοκληρώματος για την αρχική καταγραφή και για τον εξαγόμενο παλμό, καθορίζονται οι χρονικές στιγμές για τις οποίες καθένα από αυτά φτάνει το $x\%$ του συνολικού του CSV, οι οποίες συμβολίζονται ως $t_{x\%,orig}$ και $t_{x\%,pulse}$, για την αρχική εδαφική κίνηση και τον εξαγόμενο παλμό, αντίστοιχα.

Στη συνέχεια εξετάζονται οι αρχικές και εναπομένουσες εδαφικές κινήσεις (*original & residual ground motion*) για κάθε καταγραφή. Με τη βαθμονόμηση αυτής της διαδικασίας αποδεικνύεται ότι οι παλμοί που φτάνουν νωρίς στη χρονοϊστορία της ταχύτητας έχουν τιμές $t_{20\%,orig}$ μεγαλύτερες από το χρόνο $t_{10\%,pulse}$. Για να μπορεί, δηλαδή, να θεωρηθεί ότι ένας παλμός βρίσκεται στην αρχή της εδαφικής κίνησης, θα πρέπει το 10% του συνολικού του CSV να προλαβαίνει την άφιξη της εδαφικής κίνησης στο 20% του συνολικού της CSV. Μέσω του κριτηρίου αυτού εξασφαλίζεται ότι ένα σημαντικό μέρος της ενέργειας του παλμού έχει ήδη εκδηλωθεί πριν την ανάπτυξη σημαντικού ποσοστού της ενέργειας της αρχικής χρονοϊστορίας.

Τα Σχήματα 2.5 και 2.6 παρουσιάζουν παραδείγματα παλμών που φτάνουν νωρίς και αργά στη χρονοϊστορία της εδαφικής κίνησης, αντίστοιχα. Κατά τον *Baker*, οι παλμοί που φτάνουν αργά στη χρονοϊστορία της κίνησης απορρίπτονται ως παλμοί κατευθυντικότητας. Παρόλα αυτά, για το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό επιβάλλεται εκτενέστερη διερεύνηση.



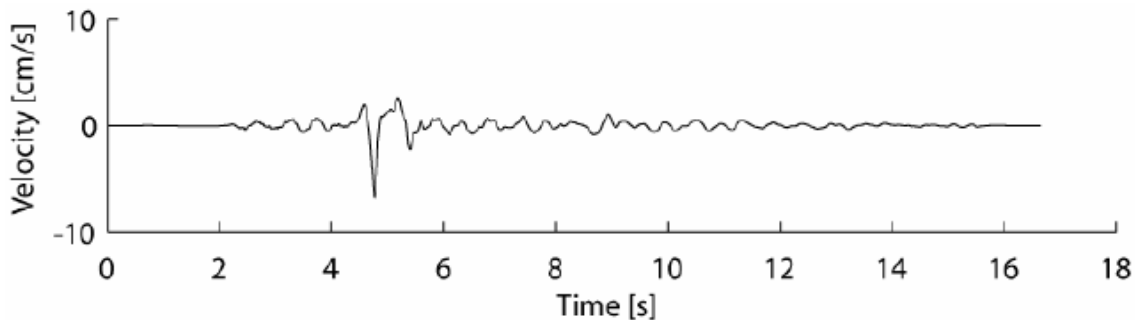
Σχήμα 2.5: Παλμός στην αρχή της χρονοϊστορίας. (a), (b) χρονοϊστορία ταχύτητας και παλμού, (c) CSV (Baker 2007).



Σχήμα 2.6: Παλμός στο τέλος της χρονοϊστορίας. (a), (b) χρονοϊστορία ταχύτητας και παλμού, (c) CSV (Baker 2007).

2.3.5 Εξαίρεση εδαφικών κινήσεων με $PGV \leq 30 \text{ cm/sec}$

Κάτι τελευταίο το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι ότι ορισμένες εδαφικές κινήσεις μικρής έντασης μπορούν να παρουσιάσουν παλμό στη χρονοϊστορία της ταχύτητας τους, απλώς και μόνο λόγω της απλότητας στη μορφή της τελευταίας, χωρίς να οφείλεται σε φαινόμενα κατευθυντικότητας. Αυτό συμβαίνει στις περιπτώσεις που οι εδαφικές κινήσεις διαρκούν ένα σύντομο χρονικό διάστημα και έχουν μικρό μέγεθος, με αποτέλεσμα να ανακλώνται κατά τη διάδοση των σεισμικών κυμάτων. Αντιπροσωπευτικά απεικονίζεται μια τέτοια εδαφική κίνηση στο σχήμα 2.7 μεγέθους 5.1. Προκειμένου να εξαιρεθούν αυτές οι καταγραφές, σεισμικές κινήσεις με μέγιστη εδαφική ταχύτητα (PGV) μικρότερη από 30 cm/sec δεν λαμβάνονται υπόψη, έτσι ώστε να αποκλειστούν αυτομάτως κι οι καταγραφές μακρινού πεδίου.



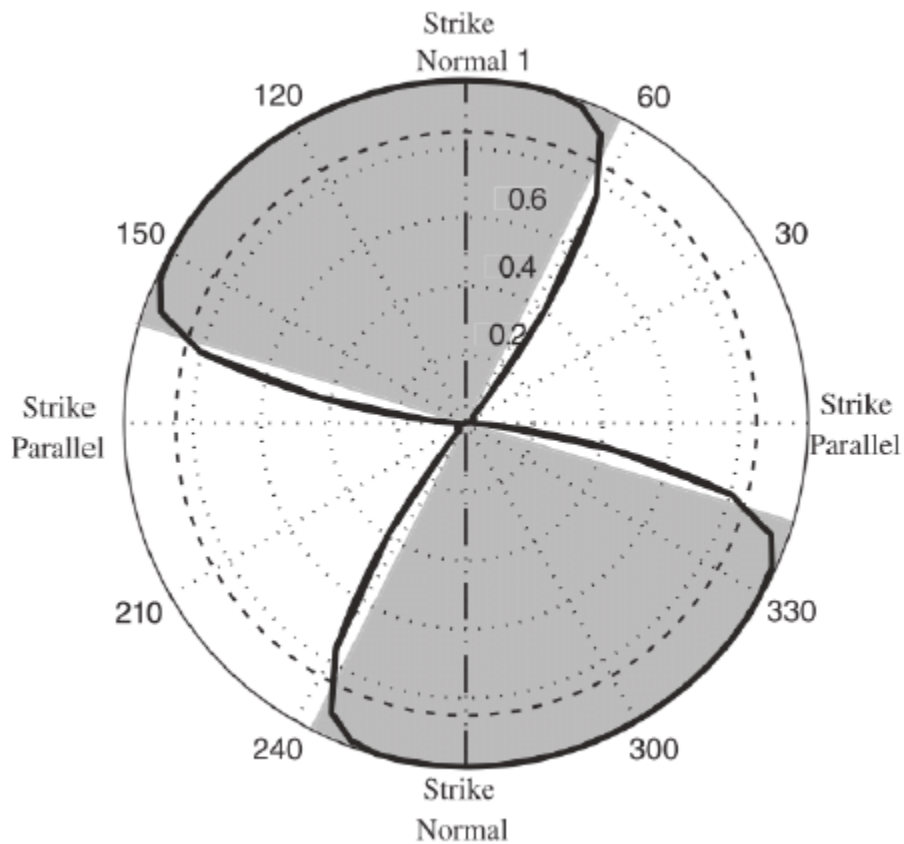
Σχήμα 2.7: Εδαφική κίνηση που εμφανίζεται ως παλμική και αποκλείεται λόγω μικρής PGV (Baker 2007).

Βάσει της εξέτασης των καταγραφών της βάσης δεδομένων NGA στην κάθετη διεύθυνση στο ρήγμα από τον Baker, επιλέχθηκαν τελικά οι 91 παλμικές κινήσεις που πληρούν και τα τρία κριτήρια που αναφέρθηκαν, οι οποίες φαίνονται στον Πίνακα 2.1. Τα κριτήρια είναι τα εξής:

- I. Ο Παλμικός Δείκτης (*Pulse Indicator*) λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες από 0.85.
- II. Ο παλμός φτάνει νωρίς στη χρονοϊστορία της κίνησης ($t_{20\%,orig} > t_{10\%,pulse}$).
- III. Η αρχική εδαφική κίνηση έχει $PGV > 30 \text{ cm/sec}$.

2.3.6 Εντοπισμός παλμών κατευθυντικότητας σε ένα εύρος προσανατολισμών

Ενώ η εμφάνιση των παλμών ταχύτητας οφειλόμενοι σε φαινόμενα κατευθυντικότητας αναμένεται κατά βάση στην συνιστώσα που είναι κάθετη στο ρήγμα της εδαφικής κίνησης (Somerville et al, 1997), οι επιφάνειες διάρρηξης με μη κανονική γεωμετρία καθιστούν δύσκολο τον ακριβή καθορισμό της συνιστώσας αυτής. Οι παλμικές κινήσεις, κατά τους Howard et al (2005), παρατηρούνται σε ένα εύρος διευθύνσεων. Οι τιμές του Παλμικού δείκτη (Pulse Indicator Score), όπως έχουν υπολογιστεί βάσει του αλγορίθμου του Baker (2007) για μια θέση, φαίνονται στο Σχήμα 2.8, για τις διάφορες διευθύνσεις. Οι τιμές του παλμικού δείκτη δείχνουν ότι οι παλμικές εδαφικές κινήσεις εντοπίζονται σε ένα εύρος διευθύνσεων περί την κάθετη διεύθυνση στο ρήγμα. Προκειμένου να μελετηθούν οι διευθύνσεις στις οποίες παρατηρούνται παλμικές κινήσεις, οι καταγραφές περιστρέφονται από τους τους Shahi and Baker (2011) σε όλες τις δυνατές διευθύνσεις. Με αυτό τον τρόπο, η εδαφική κίνηση που προκύπτει σε κάθε διεύθυνση ταξινομείται ως παλμική η μη. Όταν η εδαφική κίνηση κατατάσσεται ως παλμική σε τουλάχιστον μια διεύθυνση, τότε η περιοχή θεωρείται ότι έχει υποβληθεί σε παλμική κίνηση.

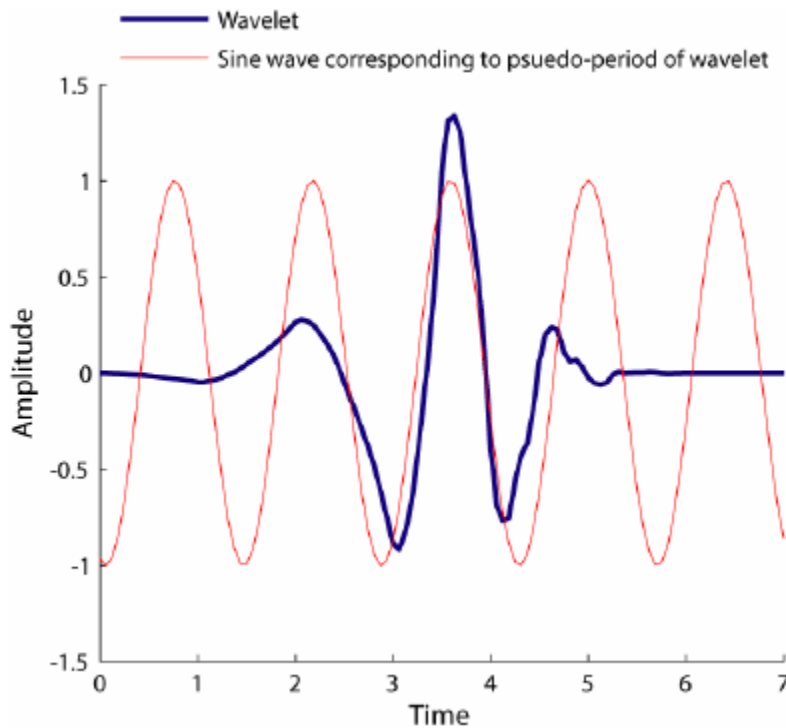


Σχήμα 2.8: Τιμές του παλμικού δείκτη συναρτήσει του προσανατολισμού για την καταγραφή EC Country Center από το σεισμό στο Imperial Valley (California - 1979). Οι σκιασμένες επιφάνειες υποδεικνύουν τις διευθύνσεις στις οποίες παρατηρήθηκε ένας σημαντικός παλμός (Shahi and Baker, 2011).

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να σημειωθεί ότι τόσο η διαδικασία περιστροφής, όσο και η διαδικασία ταξινόμησης των καταγραφών αφορούν μόνο τις οριζόντιες συνιστώσες μιας εδαφικής κίνησης και πιθανώς να μην είναι αποτελεσματικές στην περίπτωση που ο παλμός εκδηλώνεται εκτός του οριζόντιου επιπέδου, αφού για ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης (non-strike-slip faults), η κάθετη συνιστώσα στη διεύθυνση του ρήγματος βρίσκεται εκτός του οριζόντιου επιπέδου. Ωστόσο, ακόμα και στην περίπτωση αυτή, όταν οι παλμοί εκτός του επιπέδου δεν είναι σημαντικοί, η μέθοδος μπορεί να κριθεί αποτελεσματική.

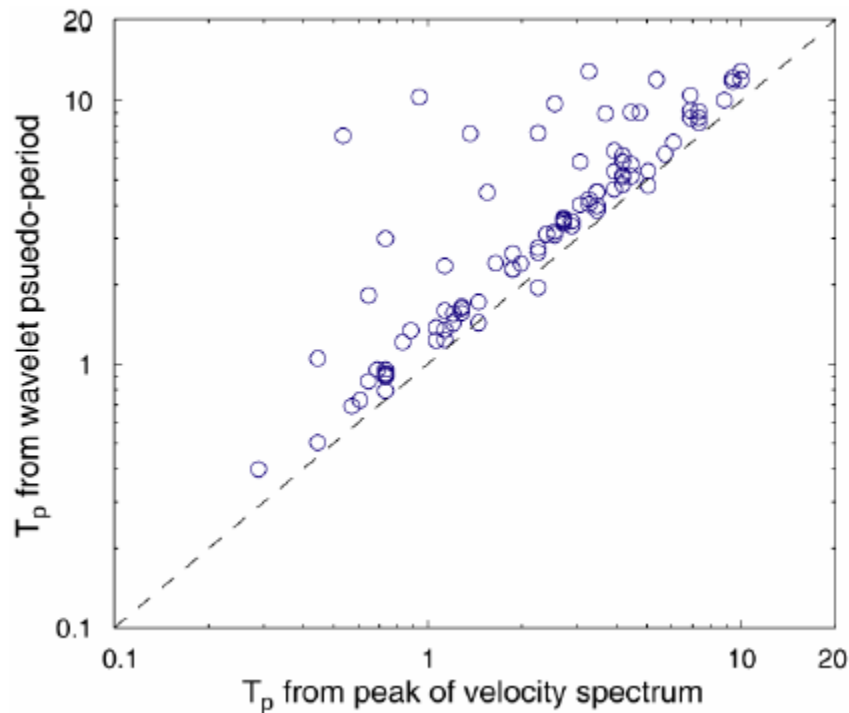
2.3.7 Προσδιορισμός περιόδου του παλμού

Αντίθετα με τα ημιτονικά κύματα που προκύπτουν από την ανάλυση Fourier, η έννοια της περιόδου ενός κυματιδίου δεν μπορεί να ορισθεί ξεκάθαρα. Ωστόσο, η περίοδος σχετιζόμενη με το μέγιστο πλάτος Fourier ενός κυματιδίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό μιας ψευδο-περιόδου. Στο Σχήμα 2.9 παρουσιάζεται η σύγκριση ενός κυματιδίου με ένα ημιτονικό σήμα, με περίοδο ίση με εκείνη στην οποία παρατηρείται το μεγαλύτερο πλάτος Fourier του κυματιδίου (αρμονική). Ως περίοδος του παλμού της εδαφικής κίνησης, χρησιμοποιείται η ψευδο-περίοδος της μεγαλύτερης συνιστώσας του κυματιδίου.



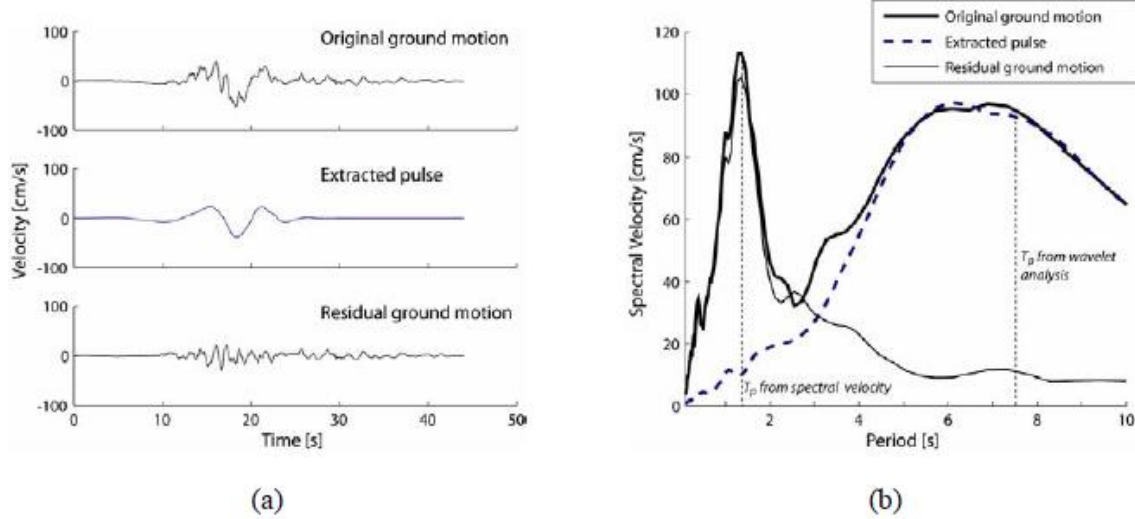
Σχήμα 2.9: Κυματίδιο Daubechies και ημιτονικό σήμα με περίοδο ίση με τη μέγιστη του φάσματος Fourier της κυματομορφής (Baker, 2007).

Η πρώτη εναλλακτική μέθοδος προσδιορισμού της περιόδου ενός παλμού είναι η επιλογή της περιόδου στην οποία εμφανίζεται η μέγιστη αιχμή του φάσματος ταχύτητας της εδαφικής κίνησης. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται ένα διάγραμμα των περιόδων των παλμών που εξήχθησαν μέσω κυματικής ανάλυσης ως προς τις περιόδους που προκύπτουν από τη μέγιστη αιχμή του φάσματος ταχύτητας, για τις 91 καταγραφές οι οποίες έχουν χαρακτηριστεί ως παλμικές από το *Baker (2007)*. Οι περίοδοι που εξάγονται από τις δύο αυτές προσεγγίσεις είναι κατά βάση παρεμφερείς, με τις περιόδους T_p που προκύπτουν από την κυματική ανάλυση να είναι ελαφρώς μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες T_p που υπολογίζονται από τη μέγιστη αιχμή του φάσματος της ταχύτητας, μια παρατήρηση η οποία είχε γίνει και από τους *Bray and Rodriguez-Marek (2004)*.



Σχήμα 2.10: Περίοδος παλμού (T_p) από τη μέγιστη αιχμή του φάσματος ταχύτητας σε σχέση με την περίοδο παλμού (T_p) από την ψευδο-περίοδο του κυματιδίου για τις 91 εδαφικές κινήσεις κοντινού πεδίου (*Baker, 2007*).

Στην περίπτωση που οι περίοδοι που λαμβάνονται από την κυματική ανάλυση και το φάσμα ταχύτητας διαφέρουν σημαντικά, πιο αξιόπιστο μέτρο ένδειξης της περιόδου του παλμού δείχνει να είναι η περίοδος που προκύπτει από την κυματική ανάλυση. Τέτοιες διαφοροποιήσεις εμφανίζονται όταν η περίοδος που αντιστοιχεί στη μέγιστη φασματική ταχύτητα σχετίζεται με υψίσυχνες συνιστώσες της ταλάντωσης της εδαφικής κίνησης. Χαρακτηριστικά παρουσιάζεται ένα παράδειγμα στο Σχήμα 2.11, όπου οι κύριοι διαδοχικοί μηδενισμοί που σχετίζονται με τον παλμό της εδαφικής κίνησης απέχουν κατά 7.3 sec, η αιχμή της φασματικής ταχύτητας εμφανίζεται σε περίοδο 1.4 sec, ενώ η ψευδο-περίοδος του κυματιδίου είναι 7.5 sec. Γίνεται πλέον εμφανές και οπτικά, ότι η ψευδο-περίοδος του κυματιδίου προσεγγίζει καλύτερα την περίοδο του παλμού.



Σχήμα 2.11: Η αρχική κίνηση, ο εξαγόμενος παλμός και η εναπομένουσα εδαφική κίνηση για την εδαφική κίνηση Landers 1992, Yermo Fire Station. (a) Χρονοϊστορίες ταχύτητας (b) Φάσματα ταχύτητας στα οποία φαίνεται ο προσδιορισμός της περιόδου του παλμού με τη χρήση του φάσματος ψευδο-ταχύτητας και μέσω κυματικής ανάλυσης (Baker, 2007).

Κεφάλαιο 2: Ποσοτική ταξινόμηση εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου

#	Event	Year	Station	T_p	PGV	M_w^a	Closest Dist. ^b	Epi. Dist. ^c
1	San Fernando	1971	Pacoima Dam (upper left abut)	1.6	116.5	6.6	1.8	11.9
2	Coyote Lake	1979	Gilroy Array #6	1.2	51.5	5.7	3.1	4.4
3	Imperial Valley-06	1979	Aeropuerto Mexicali	2.4	44.3	6.5	0.3	2.5
4	Imperial Valley-06	1979	Agrarias	2.3	54.4	6.5	0.7	2.6
5	Imperial Valley-06	1979	Brawley Airport	4.0	36.1	6.5	10.4	43.2
6	Imperial Valley-06	1979	EC County Center FF	4.5	54.5	6.5	7.3	29.1
7	Imperial Valley-06	1979	EC Meloland Overpass FF	3.3	115.0	6.5	0.1	19.4
8	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #10	4.5	46.9	6.5	6.2	26.3
9	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #11	7.4	41.1	6.5	12.5	29.4
10	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #3	5.2	41.1	6.5	12.9	28.7
11	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #4	4.6	77.9	6.5	7.1	27.1
12	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #5	4.0	91.5	6.5	4.0	27.8
13	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #6	3.8	111.9	6.5	1.4	27.5
14	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #7	4.2	108.8	6.5	0.6	27.6
15	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #8	5.4	48.6	6.5	3.9	28.1
16	Imperial Valley-06	1979	El Centro Differential Array	5.9	59.6	6.5	5.1	27.2
17	Imperial Valley-06	1979	Holtville Post Office	4.8	55.1	6.5	7.7	19.8
18	Mammoth Lakes-06	1980	Long Valley Dam (Upr L Abut)	1.1	33.1	#	5.9	14.0
19	Irpinia, Italy-01	1980	Sturno	3.1	41.5	6.9	10.8	30.4
20	Westmorland	1981	Parachute Test Site	3.6	35.8	5.9	16.7	20.5
21	Coalinga-05	1983	Oil City	0.7	41.2	#	5.8	4.6

Πίνακας 2.1: Παλμικές καταγραφές της βάσης δεδομένων NGA (Baker 2007).

Κεφάλαιο 2: Ποσοτική ταξινόμηση εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου

22	Coalinga-05	1983	Transmitter Hill	0.9	46.1	#	5.8	6.0
23	Coalinga-07	1983	Coalinga-14th & Elm (Old CHP)	0.4	36.1	#	5.2	9.6
24	Morgan Hill	1984	Coyote Lake Dam (SW Abut)	1.0	62.3	6.2	0.5	24.6
25	Morgan Hill	1984	Gilroy Array #6	1.2	35.4	6.2	9.9	36.3
26	Taiwan SMART1(40)	1986	SMART1 C00	1.6	31.2	1.2	6.3	68.2
27	Taiwan SMART1(40)	1986	SMART1 M07	1.6	36.1	6.1	6.3	67.2
28	N. Palm Springs	1986	North Palm Springs	1.4	73.6	6.1	4.0	10.6
29	San Salvador	1986	Geotech Investig Center	0.9	62.3	5.8	6.3	7.9
30	Whittier Narrows-01	1987	Downey - Co Maint Bldg	0.8	30.4	6.0	20.8	16.0
31	Whittier Narrows-01	1987	LB - Orange Ave	1.0	32.9	6.0	24.5	20.7
32	Superstition Hills-02	1987	Parachute Test Site	2.3	106.8	6.5	1.0	16.0
33	Loma Prieta	1989	Alameda Naval Air Stn Hanger	2.0	32.2	6.9	71.0	90.8
34	Loma Prieta	1989	Gilroy Array #2	1.7	45.7	6.9	11.1	29.8
35	Loma Prieta	1989	Oakland - Outer Harbor Wharf	1.8	49.2	6.9	74.3	94.0
36	Loma Prieta	1989	Saratoga - Aloha Ave	4.5	55.6	6.9	8.5	27.2
37	Erzican, Turkey	1992	Erzincan	2.7	95.4	6.7	4.4	9.0
38	Cape Mendocino	1992	Petrolia	3.0	82.1	7.0	8.2	4.5
39	Landers	1992	Barstow	8.9	30.4	7.3	34.9	94.8
40	Landers	1992	Lucerne	5.1	140.3	7.3	2.2	44.0
41	Landers	1992	Yermo Fire Station	7.5	53.2	7.3	23.6	86.0
42	Northridge-01	1994	Jensen Filter Plant	3.5	67.4	6.7	5.4	13.0
43	Northridge-01	1994	Jensen Filter Plant Generator	3.5	67.4	6.7	5.4	13.0
44	Northridge-01	1994	LA - Wadsworth VA Hospital North	2.4	32.4	6.7	23.6	19.6
45	Northridge-01	1994	LA Dam	1.7	77.1	6.7	5.9	11.8
46	Northridge-01	1994	Newhall - W Pico Canyon Rd.	2.4	87.8	6.7	5.5	21.6
47	Northridge-01	1994	Pacoima Dam (downstr)	0.5	50.4	6.7	7.0	20.4
48	Northridge-01	1994	Pacoima Dam (upper left)	0.9	107.1	6.7	7.0	20.4
49	Northridge-01	1994	Rinaldi Receiving Sta	1.2	167.2	6.7	6.5	10.9
50	Northridge-01	1994	Sylmar - Converter Sta	3.5	130.3	6.7	5.4	13.1
51	Northridge-01	1994	Sylmar - Converter Sta East	3.5	116.6	6.7	5.2	13.6
52	Northridge-01	1994	Sylmar - Olive View Med FF	3.1	122.7	6.7	5.3	16.8
53	Kobe, Japan	1995	Takarazuka	1.4	72.6	6.9	0.3	38.6
54	Kobe, Japan	1995	Takatori	1.6	169.6	6.9	1.5	13.1
55	Kocaeli, Turkey	1999	Gebze	5.9	52.0	7.5	10.9	47.0
56	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY006	2.6	64.7	7.6	9.8	40.5
57	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY035	1.4	42.0	7.6	12.7	43.9
58	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY101	4.8	85.4	7.6	10.0	32.0
59	Chi-Chi, Taiwan	1999	TAP003	3.4	33.0	7.6	102.4	151.7
60	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU029	6.4	62.3	7.6	28.1	79.2
61	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU031	6.2	59.9	7.6	30.2	80.1
62	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU034	8.6	42.8	7.6	35.7	87.9
63	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU036	5.4	62.4	7.6	19.8	67.8
64	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU038	7.0	50.9	7.6	25.4	73.1
65	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU040	6.3	53.0	7.6	22.1	69.0

66	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU042	9.1	47.3	7.6	26.3	78.4
67	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU046	8.6	44.0	7.6	16.7	68.9
68	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU049	11.8	44.8	7.6	3.8	38.9
69	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU053	12.9	41.9	7.6	6.0	41.2
70	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU054	10.5	60.9	7.6	5.3	37.6
71	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU056	12.9	43.5	7.6	10.5	39.7
72	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU060	12.0	33.7	7.6	8.5	45.4
73	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU065	5.7	127.7	7.6	0.6	26.7
74	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU068	12.2	191.1	7.6	0.3	47.9
75	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU075	5.1	88.4	7.6	0.9	20.7
76	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU076	4.0	63.7	7.6	2.8	16.0
77	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU082	9.2	56.1	7.6	5.2	36.2
78	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU087	9.0	53.7	7.6	7.0	55.6
79	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU098	7.5	32.7	7.6	47.7	99.7
80	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU101	10.0	68.4	7.6	2.1	45.1
81	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU102	9.7	106.6	7.6	1.5	45.6
82	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU103	8.3	62.2	7.6	6.1	52.4
83	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU104	12.0	31.4	7.6	12.9	49.3
84	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU128	9.0	78.7	7.6	13.2	63.3
85	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU136	10.3	51.8	7.6	8.3	48.8
86	Northwest China-03	1997	Jiashi	1.3	37.0	6.1	#	19.1
87	Chi-Chi, Taiwan-03	1999	CHY024	3.2	33.1	6.2	19.7	25.5
88	Chi-Chi, Taiwan-03	1999	CHY080	1.4	69.9	6.2	22.4	29.5
89	Chi-Chi, Taiwan-03	1999	TCU076	0.9	59.4	6.2	14.7	20.8
90	Chi-Chi, Taiwan-06	1999	CHY101	2.8	36.3	6.3	36.0	50.0
91	Yountville	2000	Napa Fire Station #3	0.7	43.0	5.0	#	9.9

a: Μέγεθος της ροπής.

b: Κοντινότερη απόσταση του καταγραφικού σταθμού από την επιφάνεια διάρρηξης.

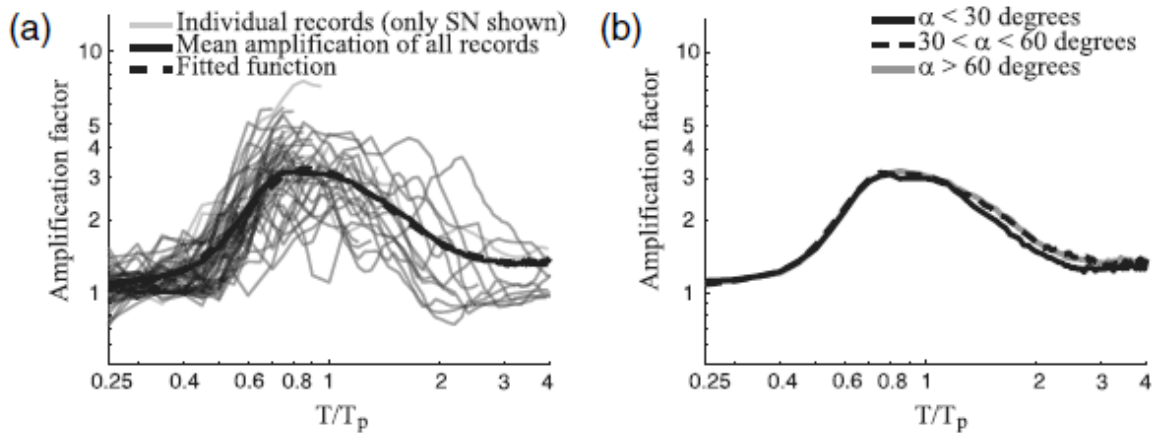
c: Απόσταση του καταγραφικού σταθμού από το επίκεντρο.

2.8.3 Η επιρροή στα ελαστικά και ανελαστικά φάσματα

Τα σεισμικά γεγονότα κοντινού πεδίου δημιουργούν μη αναμενόμενες απαιτήσεις σχεδιασμού σε κατασκευές με ιδιοπερίοδο μικρότερη ενός ορίου (*Howard et al. (2005), Tothong and Luco (2007)*). Αυτό συμβαίνει επειδή η πλαστικοποίηση μιας κατασκευής έχει σαν αποτέλεσμα να τη μετατρέπει σε πιο εύκαμπτη και επομένως η ελαστική περιόδός της μεταφέρεται σε περιοχές όπου η περίοδος του παλμού καθορίζει τη συμπεριφορά της.

Η επίδραση στους παλμούς κατευθυντικότητας διαφέρει στα ελαστικά και τα ανελαστικά φάσματα απόκρισης των εδαφικών κινήσεων. Όσον αφορά στα ελαστικά φάσματα απόκρισης, οι παλμοί κατευθυντικότητας προκαλούν μια κωδωνοειδή επαύξηση σε όλες τις φασματικές τιμές στην περιοχή περιόδων περί τη δεσπίζουσα περίοδο του παλμού T_p (*Krawinkler and Alavi, 1998, Shahi and Baker, 2001*). Η επαύξηση αυτή, ειδικά στα φάσματα των μετακινήσεων, έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε ό,τι αφορά στον αντισεισμικό σχεδιασμό με στάθμες επιτελεστικότητας. Στο σχήμα 2.12 παρουσιάζεται η

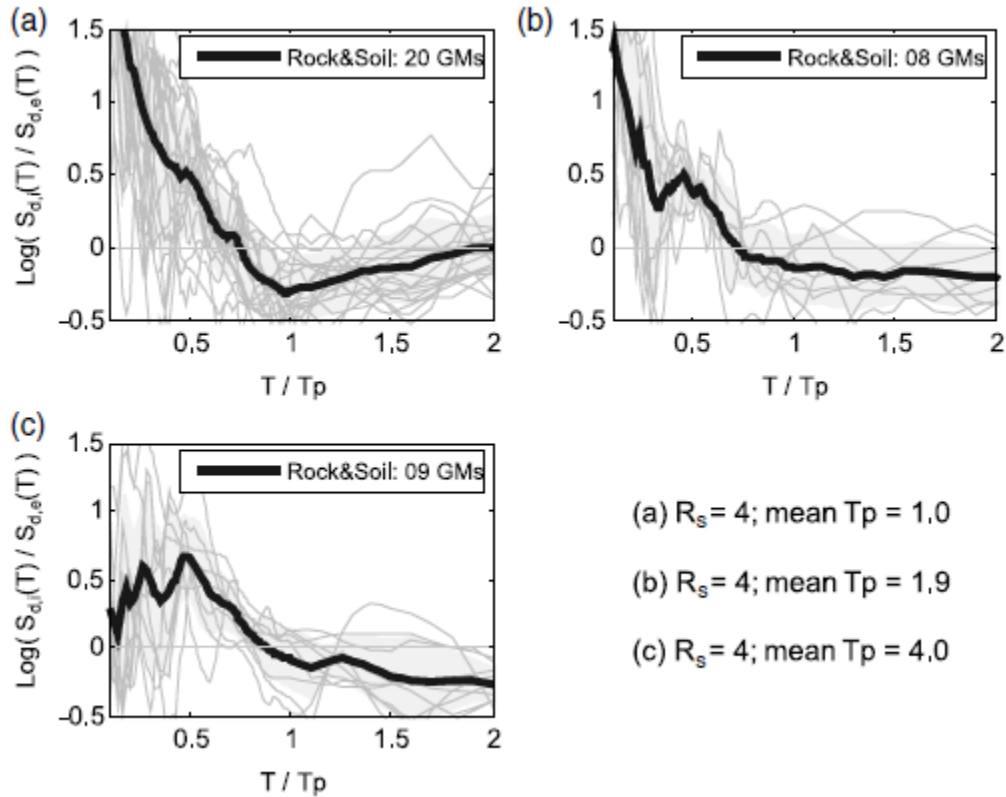
επαύξηση της ελαστικής φασματικής ταχύτητας σε σχέση με την περίοδο του παλμού (Shahi-Baker, 2011).



Σχήμα 2.12: Φασματική επαύξηση ελαστικού φάσματος επιταχύνσεων περί την περίοδο του παλμού κατευθυντικότητα (α) Διάγραμμα καμπύλης πρόβλεψης μαζί με τα πραγματικά δεδομένα (β) Μέση επαύξηση για παλμούς με διαφορετικούς προσανατολισμούς (Shahi-Baker, 2011).

Όσον αφορά στα ανελαστικά φάσματα απόκρισης, για περιόδους μικρότερες από την περίοδο του παλμού, ο λόγος της πλαστιμότητας προς το συντελεστή συμπεριφοράς μ/γ λαμβάνει μεγάλες τιμές (Iervolino and Cornell, 2008). Όσο μειώνεται η περίοδος, ο λόγος πλαστιμότητας – συντελεστή συμπεριφοράς αυξάνεται. Για περιόδους ίσες ή μεγαλύτερες από τη δεσπόζουσα περίοδο του παλμού, ο λόγος αυτός λαμβάνει τιμές κοντά στη μονάδα και ισχύει η παραδοχή των ίσων μετακινήσεων $\mu = \gamma$, παρατήρηση η οποία έγινε σε μελέτες από τους Tothong and Cornell (2006).

Οι Tothong and Cornell δημιούργησαν για ένα μονοβάθμιο σύστημα με σταθερό συντελεστή συμπεριφοράς $\gamma = 4$, μετελαστική δυσκαμψία με κράτυνση ίση με 5% της ελαστικής και λόγο ιξώδους απόσβεσης 5%, το λογάριθμο του λόγου της ανελαστικής προς την ελαστική μετακίνηση $\text{Log}(S_{d,i}(T)/S_{d,e}(T))$, τον οποίο παρέστησαν γραφικά ως προς την περίοδο ταλάντωσης ανηγμένη ως προς τη δεσπόζουσα περίοδο του παλμού (T/T_p), για τρεις τιμές περιόδου του παλμού.



Σχήμα 2.13: Λόγοι ανελαστικών προς ελαστικές μετακινήσεις παλμικών καταγραφών (Tothong and Cornell, 2006)

Όπως παρατηρείται στα διαγράμματα αυτά, υπάρχει μια τοπική αύξηση του λόγου $S_{d,i}/S_{d,e}$ κοντά στην περιοχή $T \approx 0.5 T_p$, κάτι που υποδηλώνει την ύπαρξη μιας σημαντικά αυξημένης απαίτησης ανελαστικών μετακινήσεων σε αυτή την περιοχή. Συμπεραίνεται, λοιπόν, ότι στις ανελαστικές αναλύσεις, η απαίτηση πλαστιμότητας για κατασκευές που έχουν ιδιοπερίοδο κοντά στην περιοχή της μισής ιδιοπεριόδου του δεσπίζοντος παλμού, είναι αυξημένη, για περίοδο που προκύπτει από ελαστικά φάσματα απόκρισης. Στην περίπτωση (a) του Σχήματος 2.13, η επαύξηση υπερκαλύπτεται από τις συνιστώσες υψηλού συχνοτικού περιεχομένου της διέγερσης, αφού η περίοδος του παλμού είναι μικρή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Αναπαράσταση και εξαγωγή του παλμού με χρήση κυματομορφών - Το κυματίδιο *M&P*

3.1 Εισαγωγή

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μέθοδος περιγραφής της εδαφικής κίνησης που προτείνεται από τους *Manroeidis & Parageorgiou* (2003), στην οποία προτείνουν ένα απλό μαθηματικό μοντέλο στηριζόμενο στη διαμόρφωση ενός *σύνθετου κυματιδίου (κυματίδιο M&P)*. Το προτεινόμενο αυτό μοντέλο βασίστηκε σε ένα πλήθος σεισμικών καταγραφών κοντινού πεδίου και καταφέρνει να μιμηθεί επιτυχώς ένα σύνολο χρονοϊστοριών ταχύτητας και μετατόπισης και σε πολλές περιπτώσεις και επιτάχυνσης, καθώς επίσης τα αντίστοιχα φάσματα παραμορφώσεων, ταχυτήτων και επιταχύνσεων. Επιπρόσθετα, ορίζει την περίοδο αυτών των εδαφικών καταγραφών και εκτιμά τις βασικές παραμέτρους που επηρεάζουν τη φασματική απόκριση των κατασκευών μέσω του μετασχηματισμού Fourier. Τέλος, στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται και η μέθοδος που προτείνεται από τους *Lu and Panagioutou* (2014), η οποία αναφέρεται στην εξαγωγή περισσότερων παλμών του ενός και στην προσέγγιση της εδαφικής κίνησης μέσω του αθροίσματος τους.

3.2 Η μέθοδος *Manroeidis & Parageorgiou*

3.2.1 Βάση δεδομένων ισχυρών εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου

Για την παρούσα μέθοδο χρησιμοποιήθηκε βάση δεδομένων στην οποία περιλαμβάνονται 165 καταγραφές χρονοϊστοριών εδαφικών κινήσεων για διαφορετικούς τύπους ρηγμάτων –οριζόντιας ή κεκλιμένης ολίσθησης, κανονικά ή ανάστροφα – και σεισμικές εντάσεις – που κυμαίνονται από 5.6÷8.1- από εκτενώς μελετημένα σεισμικά γεγονότα σε όλο τον κόσμο και συγκεκριμένα σε ΗΠΑ, Καναδά, Μεξικό, Ιαπωνία, Ελλάδα, Τουρκία, Ρουμανία, πρώην ΕΣΣΔ, Ιράν, Ινδία και Ταϊβάν, καταγραφές που έγιναν σε σταθμούς που βρίσκονται εντός ακτίνας 20km από το ρήγμα. Σε αυτές τις καταγραφές συμπεριλαμβάνονται επίσης πέντε καταγραφές μεγάλου εστιακού βάθους, (*Olympia, Washington* (1949), *Puget Sound, Washington* (1965), *Bucharest, Romania* (1977)), αφού έδειξαν να έχουν παλμικά χαρακτηριστικά κοντινού πεδίου.

Παρόλο που όλοι οι σταθμοί -εξαιρουμένων των πέντε που προαναφέρθηκαν- βρίσκονται κοντά στα αντίστοιχα γενεσιουργά ρήγματα, διακριτό παλμό στη χρονοϊστορία της ταχύτητας φαίνεται να παρουσιάζουν λιγότερες από τις μισές καταγραφές, οι οποίες φαίνονται και στον Πίνακα 3.1. Γενικά, το φαινόμενο της έμπροσθεν κατευθυντικότητας είναι προφανές σε όλες τις καταγραφές, εκτός από πέντε (*YPT, SKR, GBZ(SP), TCU052, TCU068*), που είναι αποτέλεσμα μόνιμων εδαφικών μετακινήσεων (*permanent translation effect*). Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται επιπρόσθετα πληροφορίες σχετικά με τη θέση, την απόσταση από το ρήγμα και τη μέγιστη εδαφική ταχύτητα.

Πίνακας 3.1: Καταγραφές κοντινού πεδίου με διακριτό παλμό ταχύτητας (Μανροεΐδης & Παράγεοργίου, 2003).

No.	Location	Date	Fault Mechanism*	M _w	Station	Site Code [†]	Closest Fault Distance (km)	Component [‡]	Recorded PGV (cm/sec)	Effect [§]
1	Parkfield, CA, USA	27-Jun-66	SS	6.20	CO2	SL	0.1	SN	75.1	FD
2	San Fernando, CA, USA	09-Feb-71	RV	6.55	PCD	HR	3.0	SN	120.0	FD
3	Gazli, USSR	17-May-76	RV	6.80	KAR	SR	3.0	Rad	60.0	FD
4	Bucharest, Romania	04-Mar-77	RV	7.27	BRI	SL	190.0	SN	74.9	FD
5	Tabas, Iran	16-Sep-78	RV	7.11	TAB	SL	1.2	SP	122.0	FD
6	Coyote Lake, CA, USA	8-Jun-79	SS	5.63	GA6	SR	1.2	SN	47.5	FD
7	Imperial Valley, CA, USA	15-Oct-79	SS	6.50	E04	SL	6.0	SN	78.3	FD
					E05	SL	2.7	SN	91.8	FD
					E06	SL	0.3	SN	112.0	FD
					E07	SL	1.8	SN	109.0	FD
					EMO	SL	1.2	SN	115.0	FD
8	Mexicali Valley, Mexico	9-Jun-80	SS	6.37	VCT	SL	3.0	SN	76.7	FD
9	Morgan Hill, CA, USA	24-Apr-84	SS	6.15	HAL	SL	2.0	SN	39.8	FD
10	Palm Springs, CA, USA	8-Jul-86	OB	6.09	NPS	SL or SR	4.0	SN	73.6	FD
					DSP	SL	6.4	SN	29.2	FD
11	Whittier Narrows, CA, USA	10-Oct-87	RV	5.93	DOW	SL	16.4	SN	30.7	FD
					NWK	SL	15.7	SN	20.0	FD
12	Superstition Hills, CA, USA	24-Nov-87	SS	6.40	PTS	?	0.7	SN	109.0	FD
					ELC	SL	13.6	SN	52.0	FD
13	Loma Prieta, CA, USA	17-Oct-89	OB	6.90	LGP	HR	3.0	SN	102.0	FD
					STG	SL	8.3	SN	56.4	FD
14	Sierra Madre, CA, USA	28-Jun-91	RV	5.56	COG	?	9.4	Rad (filt)	15.3	FD
15	Erzincan, Turkey	13-Mar-92	SS	6.63	ERZ	SL	2.0	SN	95.2	FD
16	Landers, CA, USA	28-Jun-92	SS	7.20	LUC	SL	1.1	SN	114.0	FD
17	Northridge, CA, USA	17-Jan-94	RV	6.70	JFA	SL	5.2	SN	105.0	FD
					RRS	SL	6.0	SN	173.0	FD
					SCG	SL	5.1	SN	134.0	FD
					SCH	SL	5.0	SN	122.0	FD
					NWS	SL	5.3	SN	117.0	FD
18	Aigion, Greece	15-Jun-95	NM	6.33	AEG	SL or SR	6.0	Long	40.9	FD
					AEG	SL or SR	6.0	Tran	52.0	FD
19	Izmit, Turkey	17-Aug-99	SS	7.40	ARC	SR	14.0	SN	44.3	FD
					SKR	SR	3.1	SP	80.3	PT
					YPT	SL	2.6	SP	87.8	PT
					GBZ	SR	11.0	SN	41.4	FD
					GBZ	SR	11.0	SP	28.7	PT
20	Chi-Chi, Taiwan	20-Sep-99	OB	7.60	TCU052	SL	0.8	SN	270.0	PT
					TCU068	SL	0.2	SN	380.0	PT
					TCU075	SL	0.6	SN	115.0	FD
					TCU076	SL	2.3	SN	88.0	FD
					TCU129	SL	1.5	SN	68.0	FD

*SS, strike-slip; RV, reverse; OB, oblique; NM, normal.

[†]HR, hard rock; SR, sedimentary and conglomerate rock; SL, soil and alluvium.

[‡]SN, strike-normal; SP, strike-parallel; Rad, radial; Long, longitudinal; Tran, transverse.

[§]FD, forward directivity; PT, permanent translation.

3.2.2 Προσομοίωση ενός απλού μοντέλου για παλμούς κοντινού πεδίου

Για τον προσδιορισμό ενός μοντέλου παλμών κοντινών πεδίου, θα πρέπει να ορισθούν ορισμένες χαρακτηριστικές παράμετροι όπως είναι η περίοδος του παλμού, το εύρος του παλμού και τέλος ο αριθμός και η φάση των ημικύκλων, όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο. Η προσομοίωση αυτή βασίζεται στη χρήση κυματιδίων, κατά τη μέθοδο των Mavroeidis & Parageorgiou. Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός κυματιδίων στη βιβλιογραφία, εκ των οποίων όμως μόνο μερικοί φαίνεται να χρησιμοποιούνται συχνά. Τα πιο συνήθη κυματίδια συγκεντρώνονται στον Πίνακα 3.2, μαζί με τις αναλυτικές τους εκφράσεις, τις απαιτούμενες παραμέτρους και σχετικές αναφορές.

Πίνακας 3.2: Συνήθη κυματίδια που χρησιμοποιούνται στη σεισμολογία (Mavroeidis & Parageorgiou, 2003).

Wavelet	Analytical Expression	Parameters	References	
Gabor	$f(t) = Ae^{-(2\pi f_p/\gamma)^2 t^2} \cos[2\pi f_p t + v]$	A: amplitude f_p : prevailing frequency v: phase angle γ : oscillatory character	Gabor (1946) Morlet et al. (1982)	
Berlage	$f(t) = AH(t)t^n e^{-(2\pi f_p/\gamma)t} \cos[2\pi f_p t + v]$	A: amplitude f_p : prevailing frequency v: phase angle γ : oscillatory character n: asymmetry of envelope function Note: $H(t)$ is the Heaviside unit step function	Berlage (1932) Kulhánek and Klíma (1970) Farnbach (1975) Aldridge (1990)	
Generalized Rayleigh	$f(t) = A(-1)^k \frac{e^{i(v+\pi/2)}}{\left(i + \frac{2\pi f_p t}{k}\right)^{k+1}}$ Use: $f_R(t) = \text{Re}\{f(t)\}$ or $f_I(t) = -\text{Im}\{f(t)\}$	A: amplitude f_p : prevailing frequency v: phase angle k: controls the number of "lobes"	Hudson, 1980 Hubral and Tygel (1989)	
Küpper	$f(t) = A \left[\sin\left(m \frac{\pi t}{T}\right) - \frac{m}{m+2} \sin\left((m+2) \frac{\pi t}{T}\right) \right]$ for $0 < t < T$	A: amplitude T: duration m: controls the number of half-cycles	Küpper (1958) Müller (1970) Fuchs and Müller (1971)	
Ricker	Three-loop: (symmetric)	$f(t) = A(1 - 2\pi^2 f_p^2 t^2) e^{-(\pi f_p)^2 t^2}$	A: amplitude f_p : prevailing frequency	Ricker (1943) Ricker (1944) Ricker (1945)
	Tow-loop: (antisymmetric)	$f(t) = A t e^{-\sqrt{2}\pi f_p t^2}$	A: amplitude f_p : prevailing frequency	Ricker (1953a) Ricker (1953b) Dietrich and Bouchon (1985) Hosken (1988)

Το αναλυτικό μοντέλο που επιλέγεται πρέπει να ικανοποιεί τις εξής τρεις συνθήκες:

1. Το σύνθετο κυματίδιο να εκφράζεται μέσω μιας απλής μαθηματικής έκφρασης, με τον ελάχιστο αριθμό απαιτούμενων παραμέτρων, που έχουν φυσικό νόημα, για την όσο το δυνατόν ακριβέστερη αναπαράσταση των παλμών.
2. Το σύνθετο κυματίδιο να μπορεί να προσομοιάσει τις περισσότερες, ή ιδανικά όλες, τις παλμικές καταγραφές κοντινού πεδίου που περιλαμβάνονται στον Πίνακα 3.1.
3. Η μαθηματική έκφραση του κυματιδίου να επιτρέπει την ανάπτυξη κλειστών λύσεων για την εκτίμηση φασμάτων απόκρισης και τον προσδιορισμό των φασματικών χαρακτηριστικών σε μορφή Fourier. Τέτοιες κλειστές λύσεις διευκολύνουν την παραμετρική εκτίμηση της απόκρισης των κατασκευών σε παλμούς κοντινού πεδίου.

Από τα κυματίδια που βρίσκονται στον Πίνακα 3.2, το μοντέλο που φαίνεται να ικανοποιεί τα περισσότερα κριτήρια είναι το κυματίδιο *Gabor*. Το εν λόγω σήμα αποτελείται από μία αρμονική ταλάντωση και μια συνάρτηση με σχήμα καμπάνας (*περιβάλλουσα Gauss*), και ορίζεται από τις τέσσερις, καθοριστικές για την περιγραφή του παλμού, παραμέτρους: A (εύρος), fp (συχνότητα), v (διαφορά φάσης) και γ (αρμονικός χαρακτήρας του σήματος).

Παρεμφερές στο κυματίδιο *Gabor* είναι και το κυματίδιο *Berlage*, με βασική διαφορά τους ότι το δεύτερο έχει μια επιπρόσθετη παράμετρο η , η οποία αφορά στην ασυμμετρία της περιβάλλουσας. Αυτή η παράμετρος, παρόλο που θεωρητικά φαίνεται χρήσιμη, στην πραγματικότητα περιπλέκει την παραγωγή των ακόλουθων εκφράσεων, χωρίς ουσιαστικά πλεονεκτήματα. Άλλα πιθανά κυματίδια αποτελούν και τα κυματίδια *Ricker* και *Kürper*, τα οποία όμως συγκρινόμενα με το κυματίδιο *Gabor* είναι αρκετά πιο πολύπλοκα ή μειονεκτούν για διάφορους λόγους και τελικά απορρίπτονται.

Τελικά επιλέγεται ως η βέλτιστη λύση το κυματίδιο *Gabor*. Ωστόσο, λόγω της εκθετικής συνάρτησης (*περιβάλλουσα Gauss*) που περιέχει η μαθηματική του έκφραση, δεν παρέχει κλειστές λύσεις για την απόκριση ενός μονοβάθμιου συστήματος. Για το λόγο αυτό, οι *Manroeidis & Parageorgiou* (2003) πρότειναν ένα αναλυτικό μοντέλο που διατηρεί τα πλεονεκτήματα του κυματιδίου *Gabor* (αριθμός παραμέτρων, φυσική σημασία αυτών, απλή μαθηματική έκφραση, κλπ.), αλλά ταυτόχρονα δίνει κλειστές λύσεις για την απόκριση μονοβάθμιων συστημάτων. Συνεπώς, η περιβάλλουσα *Gauss* του κυματιδίου *Gabor* αντικαταστάθηκε από μια συμμετρική κωδωνόσχημη συνάρτηση που προκύπτει από έναν μετατοπισμένο κύκλο συνημιτόνου, ενώ το ημιτονικό σήμα παραμένει ως έχει, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1. Η μαθηματική σχέση έχει την ακόλουθη μορφή:

$$f(t) = A \frac{1}{2} \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi fp}{\gamma} t\right) \right] \cos(2\pi f_p t + v) \quad (3.1)$$

Στο πιο πάνω μοντέλο πρέπει να τονισθούν τα εξής:

A) Ο μετατοπισμένος κύκλος συνημιτόνου αποτελεί μια περιοδική συνάρτηση και επομένως δεν παρουσιάζει μόνο μία κορυφή, όπως η περιβάλλουσα *Gauss* του κυματιδίου *Gabor*. Αυτό μπορεί εύκολα να λυθεί μειώνοντας το πεδίο ορισμού του χρόνου του σήματος ως εξής:

$$-\frac{\gamma}{2fp} \leq t \leq \frac{\gamma}{2fp} \quad (3.2)$$

Β) Η περίοδος της αρμονικής ταλάντωσης πρέπει να είναι μικρότερη από την περίοδο της κωδωνόσχημης περιβάλλουσας, προκειμένου η εδαφική κίνηση που προκύπτει να είναι φυσικά αποδεκτή. Οπότε ισχύει:

$$\frac{1}{f_p} \leq \frac{\gamma}{f_p} \Rightarrow \gamma > 1 \quad (3.3)$$

Γ) Για την ανάπτυξη του μοντέλου, είναι χρήσιμη η εισαγωγή μιας χρονικής στιγμής t_0 στην εξίσωση (3.1) για τον προσδιορισμό της περιοχής του μέγιστου της περιβάλλουσας. Η παράμετρος αυτή εισάγεται συχνά σε όλα τα μοντέλα του Πίνακα 3.2, δίνοντας έτσι μια ευελιξία στη μετάθεση του σήματος κατά μήκος του χρονικού άξονα. Έτσι,

$$t \Rightarrow t - t_0 \quad (3.4)$$

Συνδυάζοντας τις πιο πάνω εξισώσεις προκύπτει το προτεινόμενο αναλυτικό μοντέλο παλμών ταχύτητας των εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου:

$$v(t) = \begin{cases} A \frac{1}{2} \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi f_p}{\gamma}(t - t_0)\right) \right] \cos [2\pi f_p(t - t_0) + \nu], & t_0 - \frac{\gamma}{f_p} \leq t \leq t_0 + \frac{\gamma}{f_p}, \text{ με } \gamma > 1 \\ 0, & \text{σε άλλη περίπτωση} \end{cases}$$

Η παράμετρος A ελέγχει το εύρος της εδαφικής ταχύτητας,

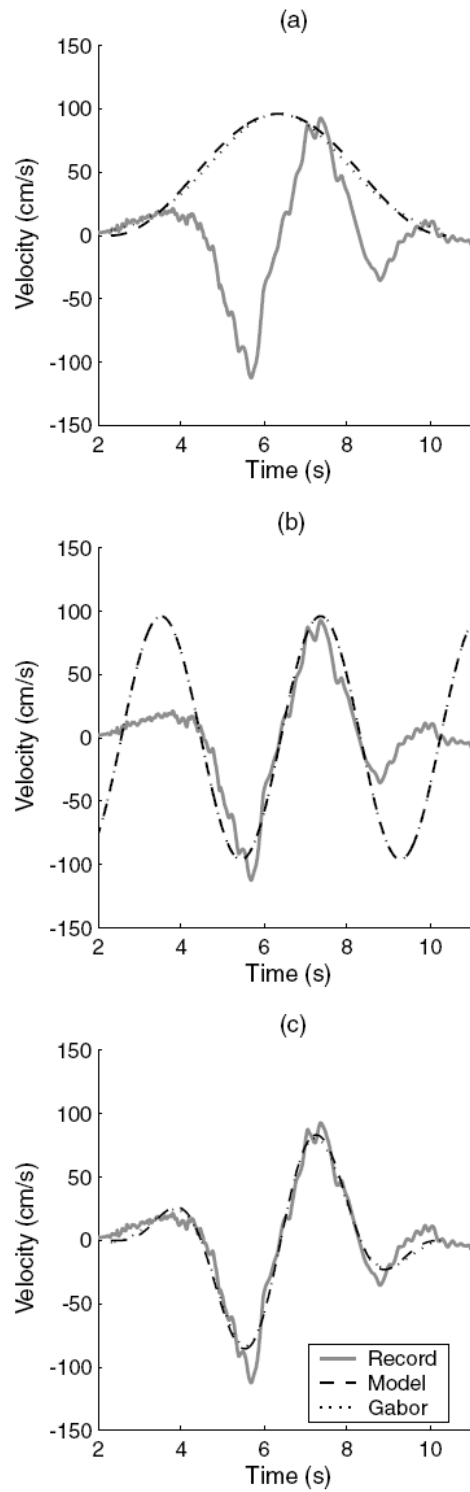
f_p είναι η συχνότητα του σήματος,

ν η διαφορά φάσης της ημιτονικής συνιστώσας ($\nu=0$ και $\nu=\pm\pi/2$, για συμμετρικό και αντισυμμετρικό σήμα αντίστοιχα),

γ το γινόμενο της διάρκειας της εδαφικής ταχύτητας επί την συχνότητα f_p και

t_0 η περιοχή της κορυφής της περιβάλλουσας.

Για να αποδειχθεί ότι το προτεινόμενο μαθηματικό μοντέλο παράγει σχεδόν πανομοιότυπους παλμούς με το κυματίδιο *Gabor* και να επιβεβαιωθεί η αντικατάσταση της περιβάλλουσας *Gauss* με τη μετατοπισμένη συνημιτονική συνάρτηση, δημιουργήθηκαν σήματα και με τις δύο μεθόδους που προσομοιάζουν τον παλμό ταχύτητας της καταγραφής του σταθμού E06 κατά τη διάρκεια του σεισμού το 1979 στο *Imperial Valley, California*. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων φαίνεται στο Σχήμα 3.1, όπου το ημιτονικό σήμα είναι ίδιο και για τους δυο παλμούς, ενώ οι δυο περιβάλλουσες στο σχήμα καμπάνας σχεδόν είναι ταυτόσημες.



Σχήμα 3.1: Σύγκριση της κυματομορφής των Manroeidis & Papageorgiou (2003) με το κυματίδιο Gabor. (a) κωδωνόσχημες περιβάλλουσες, (b) ημιτονικά σήματα, (c) συνδυασμοί των (a) και (b).

Σημαντικό χαρακτηριστικό της προτεινόμενης μεθόδου, αποτελεί ο καθορισμός της διάρκειας του παλμού βάσει των παραμέτρων εισόδου του μοντέλου. Σύμφωνα με τους μελετητές, ορίζεται η περίοδος του παλμού T_p ως το αντίστροφο της συχνότητας f_p ,

$$T_p = \frac{1}{f_p}, \quad (3.6)$$

έτσι ώστε η δεσπόζουσα περίοδος του φάσματος ταχυτήτων της πραγματικής καταγραφής και η δεσπόζουσα περίοδος του φάσματος που προκύπτει από την απλοποιημένη μαθηματική προσομοίωση να συμπίπτουν.

Οι αναλυτικές εκφράσεις για την εδαφική επιτάχυνση και μετακίνηση είναι οι εξής:

$$\alpha(t) = \begin{cases} \frac{A\pi f_p}{\gamma} \left[\begin{aligned} &\sin\left(\frac{2\pi f_p}{\gamma}(t-t_0)\right) \cos[2\pi f_p(t-t_0)+\nu] \\ &+ \gamma \cdot \sin[2\pi f_p(t-t_0)+\nu] \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi f_p}{\gamma}(t-t_0)\right) \right] \end{aligned} \right], & t_0 - \frac{\gamma}{2f_p} \leq t \leq t_0 + \frac{\gamma}{2f_p} \text{ with } \gamma > 1 \\ 0, & \text{διαφορετικά} \end{cases} \quad (3.7)$$

$$d(t) = \begin{cases} \frac{A}{4\pi f_p} \left[\begin{aligned} &\sin[2\pi f_p(t-t_0)+\nu] + \frac{1}{2} \frac{\gamma}{\gamma-1} \sin\left[\frac{2\pi f_p(\gamma-1)}{\gamma}(t-t_0)+\nu\right] \\ &+ \frac{1}{2} \frac{\gamma}{\gamma+1} \sin\left[\frac{2\pi f_p(\gamma+1)}{\gamma}(t-t_0)+\nu\right] \end{aligned} \right] + C, & t_0 - \frac{\gamma}{2f_p} \leq t \leq t_0 + \frac{\gamma}{2f_p} \text{ with } \gamma > 1 \\ \frac{A}{4\pi f_p} \frac{1}{(1-\gamma^2)} \sin(\nu - \pi\gamma) + C, & t < t_0 - \frac{\gamma}{2f_p} \\ \frac{A}{4\pi f_p} \frac{1}{(1-\gamma^2)} \sin(\nu + \pi\gamma) + C, & t > t_0 + \frac{\gamma}{2f_p} \end{cases} \quad (3.8)$$

Οι σταθερές τιμές της μετακίνησης για $t < t_0 - \gamma / 2f_p$ και για $t > t_0 + \gamma / 2f_p$, προσδιορίστηκαν έτσι ώστε να ικανοποιείται η συνθήκη συνέχειας για $t = t_0 - \gamma / 2f_p$ και $t = t_0 + \gamma / 2f_p$.

Κατά την ολοκλήρωση του παλμού της ταχύτητας για τον προσδιορισμό της έκφρασης της μετακίνησης εμφανίζεται μία σταθερά C , $d(t) \int v(t)dt + C$, η οποία για λόγους απλοποίησης μπορεί να ληφθεί ίση με το μηδέν.

3.2.3 Προσαρμογή του μοντέλου στις καταγραφές εδαφικών κινήσεων της βάσης δεδομένων

Επόμενο βήμα είναι η προσαρμογή του προτεινόμενου αναλυτικού μοντέλου χρησιμοποιώντας τις ακριβείς καταγραφές ισχυρών εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου που φαίνονται στον Πίνακα 3.1. Τα μαθηματικά μοντέλα έχουν αυτομάτως προσαρμοστεί στις χρονοϊστορίες της μετατόπισης, ταχύτητας και επιτάχυνσης, όπως επίσης στα αντίστοιχα ελαστικά τους φάσματα. Οι παράμετροι που προέκυψαν από την εφαρμογή φαίνονται συγκεντρωμένοι στον Πίνακα 3.3.

Η εκτίμηση των παραμέτρων T_p , A , ν και γ γίνεται μέσω της βήμα-προς-βήμα μεθόδου και όχι αυτής των ελαχίστων τετραγώνων. Η περίοδος T_p καθορίζεται έτσι ώστε η περίοδος του παλμού κατευθυντικότητας και η δεσπόζουσα περίοδος της φασματικής ταχύτητας να παρουσιάζουν μέγιστο περίπου στην ίδια περίοδο. Η περίοδος T_p , σύμφωνα με τους μελετητές, δεν συμπίπτει απαραίτητα με τη δεσπόζουσα περίοδο του φάσματος, αν και οι τιμές αυτές είναι συνήθως κοντινές. Οι παράμετροι A , ν και γ είναι παράμετροι οι οποίες προσεγγίζονται με μια σειρά δοκιμών, μέχρις ότου να επιτευχθεί καλή σύμπτωση του προσομοιώματος με την πραγματική χρονοϊστορία της εδαφικής ταχύτητας και μετακίνησης, πέραν της σύμπτωσης των φασματικών τιμών. Δεδομένου ότι τόσο το εύρος A , όσο και η παράμετρος γ επηρεάζουν το εύρος των φασματικών τιμών μέσω της φασματικής μεγέθυνσης, πρέπει να εκτιμηθεί ο κατάλληλος συνδυασμός των παραμέτρων.

Η εκτίμηση των παραμέτρων προσομοίωσης του παλμού θα μπορούσε να γίνει προσαρμόζοντας το μοντέλο στις πραγματικές χρονοϊστορίες ταχύτητας των καταγραφών μόνο και στη συνέχεια να γίνει χρήση αυτών για τη σύνθεση των χρονοϊστοριών επιτάχυνσης και μετακίνησης καθώς και των φασμάτων απόκρισης. Ωστόσο, παρόλο που με τη διαδικασία αυτή οι παραγόμενοι παλμοί ταχύτητας θα προσέγγιζαν επαρκώς τις αντίστοιχες καταγραφές, δεν σημαίνει ότι το ίδιο θα ίσχυε και στην περίπτωση αναπαράστασης των χρονοϊστοριών μετακίνησης και των φασμάτων απόκρισης. Έτσι, οι *Mavroeidis & Papageorgiou* (2003) επέλεξαν να προσαρμόσουν το μαθηματικό μοντέλο ταυτόχρονα στις χρονοϊστορίες και στα φάσματα απόκρισης ως ορθότερη και πιο αξιόπιστη μέθοδος προσαρμογής του συγκεκριμένου αναλυτικού μοντέλου.

Πίνακας 3.3: Παράμετροι που προκύπτουν από την εφαρμογή του μοντέλου στις καταγραφές κοντινού πεδίου (Μανροειδής & Παπαγεωργίου, 2003).

No.	Location	Station	Component [*]	A	γ	ν (°)	f_p (Hz)	t_0 (sec)
1	Parkfield, CA, USA	C02	SN	60.0	1.700	100.0	0.500	4.100
2	San Fernando, CA, USA	PCD	SN	115.0	1.600	180.0	0.680	3.000
3	Gazli, USSR	KAR	Rad	45.0	2.900	70.0	0.238	8.400
4	Bucharest, Romania	BRI	SN	62.0	2.400	200.0	0.470	3.830
5	Tabas, Iran	TAB	SP	104.0	2.200	180.0	0.190	12.400
6	Coyote Lake, CA, USA	GA6	SN	48.0	1.550	315.0	1.000	2.600
7	Imperial Valley, CA, USA	E04	SN	71.0	1.900	305.0	0.225	6.100
		E05	SN	84.0	1.900	300.0	0.255	6.600
		E06	SN	96.0	2.100	265.0	0.260	6.350
		E07	SN	79.0	2.100	25.0	0.275	6.100
		EMO	SN	78.0	2.300	0.0	0.340	4.950
8	Mexicali Valley, Mexico	VCT	SN	80.0	1.500	270.0	0.270	11.550
9	Morgan Hill, CA, USA	HAL	SN	38.0	1.750	130.0	1.150	10.450
10	Palm Springs, CA, USA	NPS	SN	60.0	1.700	170.0	0.800	2.890
		DSP	SN	21.0	2.000	80.0	0.600	2.520
11	Whittier Narrows, CA, USA	DOW	SN	29.0	2.200	220.0	1.200	5.350
		NWK	SN	20.0	2.100	200.0	1.350	4.300
12	Superstition Hills, CA, USA	PTS	SN	112.0	1.800	237.0	0.445	12.295
		ELC	SN	46.0	1.650	210.0	0.430	13.180
13	Loma Prieta, CA, USA	LGP	SN	60.0	3.000	280.0	0.310	7.600
		STG	SN	47.0	1.900	150.0	0.270	6.500
14	Sierra Madre, CA, USA	COG	Rad (filt)	9.2	2.300	260.0	1.100	2.190
15	Erzincan, Turkey	ERZ	SN	67.0	2.500	210.0	0.410	3.700
16	Landers, CA, USA	LUC	SN	100.0	1.210	55.0	0.170	10.500
17	Northridge, CA, USA	JFA	SN	87.0	2.300	100.0	0.330	4.120
		RRS	SN	142.0	1.700	20.0	0.800	2.430
		SCG	SN	93.0	2.500	0.0	0.340	3.650
		SCH	SN	80.0	2.300	0.0	0.330	3.770
		NWS	SN	94.0	1.700	200.0	0.370	4.770
18	Aigion, Greece	AEG	Long	44.5	1.450	75.0	1.400	3.840
		AEG	Tran	61.0	1.200	205.0	1.480	4.340
19	Izmit, Turkey	ARC	SN	41.0	1.380	225.0	0.140	14.700
		SKR	SP	67.0	1.023	5.0	0.105	9.000
		YPT	SP (first pulse)	35.0	1.550	90.0	0.190	9.150
			SP (second pulse)	91.5	1.050	10.0	0.137	12.050
		GBZ	SN	34.5	2.200	220.0	0.210	6.600
20	Chi-Chi, Taiwan	GBZ	SP	28.0	1.800	85.0	0.165	4.900
		TCU052	SN	225.0	1.048	190.0	0.079	35.400
		TCU068	SN	332.0	1.055	190.0	0.082	36.300
		TCU075	SN	105.0	1.200	220.0	0.170	28.500
		TCU076	SN	70.0	1.088	200.0	0.175	27.280
21	Kobe, Japan [†]	TCU129	SN	52.0	1.090	200.0	0.130	27.100
		KOB	SN (first pulse)	85.0	1.550	270.0	1.000	7.600
			SN (second pulse)	75.0	1.700	270.0	1.100	8.400
			SN (third pulse)	45.0	2.000	70.0	0.500	9.300

*Component abbreviations are as in Table 1.

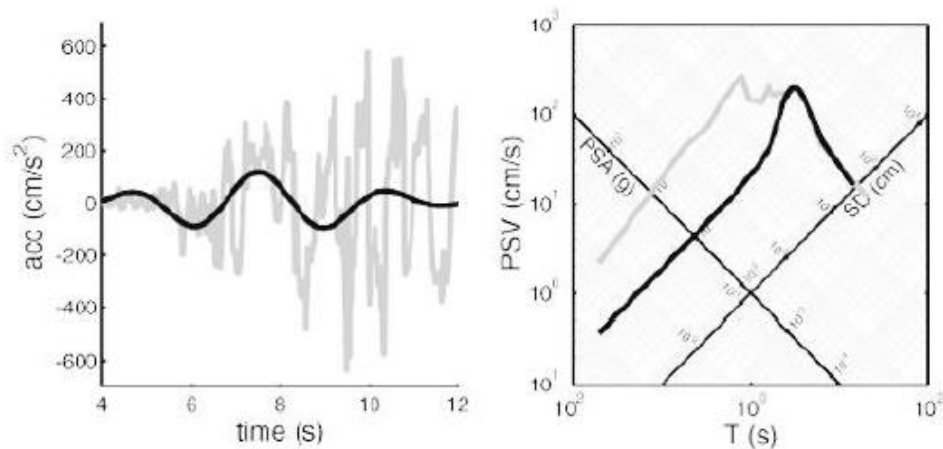
[†]Not characterized by a distinct near-fault ground velocity pulse (i.e., thus, not included in Table 1).

Από την έρευνα που έχει διεξαχθεί έχει αποδειχθεί ότι το προτεινόμενο μαθηματικό μοντέλο προσομοιάζει επιτυχώς το σύνολο και των τριών χρονοϊστοριών μετακίνησης, ταχύτητας και πολλές φορές και επιτάχυνσης των καταγραφών, ποιοτικά και ποσοτικά εξίσου, όπως δείχνουν τα Σχήματα 3.2 και 3.3. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να αναπαραστήσει ορθά τις εδαφικές κινήσεις που αφορούν στις μεσαίες και μεγάλες περιόδους. Συνεπώς, οι υψίσυχνες περιοχές των επιταχυνσιογραφημάτων δεν μπορούν να προσομοιωθούν με το παρόν μοντέλο.

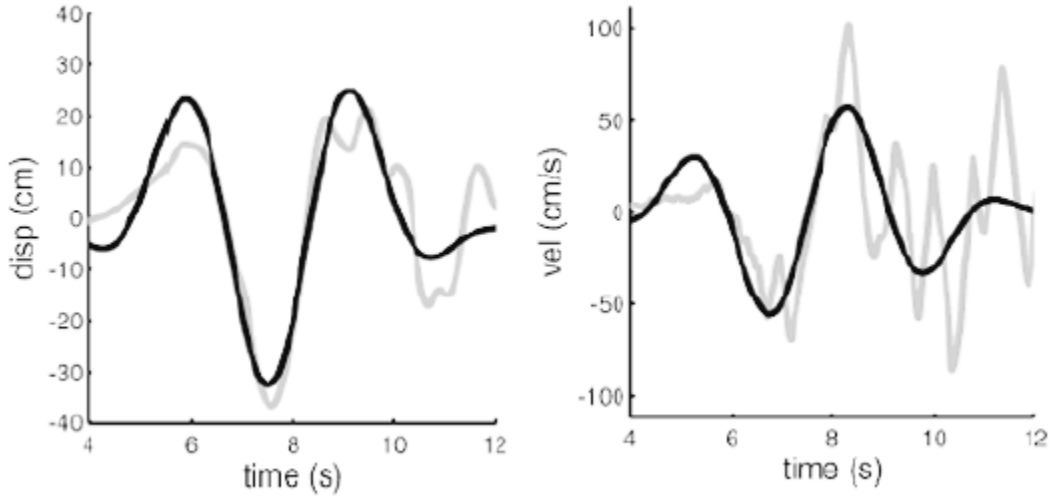
Τα ελαστικά φάσματα απόκρισης που προκύπτουν, συνάδουν με τα πραγματικά φάσματα στην περιοχή της δεσπόζουσας συχνότητας του παλμού. Για σεισμούς μεσαίας έντασης, που οι παλμοί ταχυτήτων χαρακτηρίζονται από σχετικά μικρή διάρκεια, το παραγόμενο και πραγματικό φάσμα φαίνονται να συμφωνούν σε όλο το εύρος συχνοτήτων. Αντιθέτως, για σεισμούς μεγάλης έντασης, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από παλμούς μεγάλης διάρκειας, τα φάσματα συμπίπτουν μόνο στην περιοχή των μεγάλων περιόδων.

Οι πραγματικές καταγραφές πιθανώς να περιέχουν περισσότερους από έναν διακριτούς παλμούς, που οφείλονται σε σχετική ολίσθηση τεμαχών στη ρηξιγενή περιοχή. Σε αυτές τις περιπτώσεις, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια αλληλουχία παλμών οι οποίοι προσομοιώνουν ακριβώς την εδαφική κίνηση. Στο Σχήμα 3.4 παρουσιάζεται η παράλληλη συνιστώσα στο ρήγμα της καταγραφής του σταθμού Yarigsa (*YPT, Izmit, Turkey (1999)*), καθώς και η κάθετη συνιστώσα στο ρήγμα της καταγραφής του σταθμού Kobe (*KOB, Kobe, Japan (1995)*). Οι ιδιότητες των διακριτών παλμών φαίνονται στον Πίνακα 3.3.

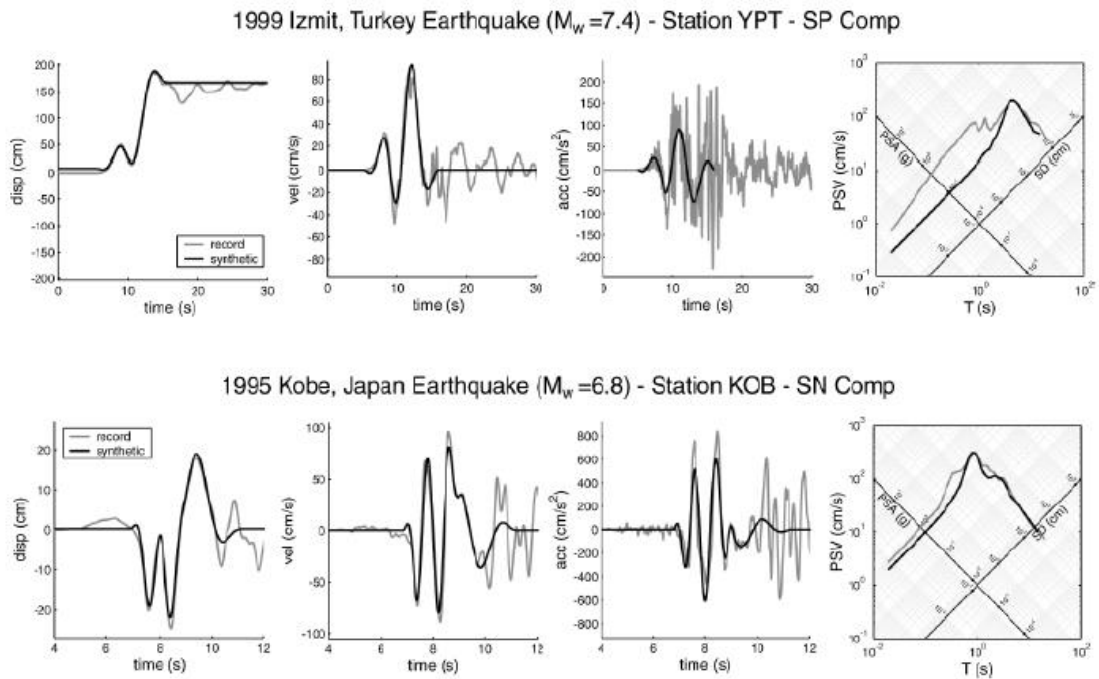
Με μια γρήγορη εξέταση των τιμών των παραμέτρων του Πίνακα 3.3, παρατηρείται ότι το γ λαμβάνει τιμές μεταξύ $1 \div 3$. Όσο το γ πλησιάζει τη μονάδα, το ν παίρνει τιμές κοντά στις 0° ή 180° και ο παλμός είναι συμμετρικός. Σε αντίθετη περίπτωση, που οι κυματομορφές έχουν πλήθος αρμονικών, το γ παίρνει μεγαλύτερες τιμές. Επιπρόσθετα, θα πρέπει να επισημανθεί ότι η περίοδος όπως έχει ορισθεί στην εξίσωση (3.6) και η περίοδος η οποία αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή της φασματικής ταχύτητας, εμφανίζουν προσεγγιστικές τιμές στο μεγαλύτερο ποσοστό των εξεταζόμενων καταγραφών. Τέλος, οι τιμές του εύρους A (Πίνακας 3.3) είναι ελάχιστα μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας PGV .



Σχήμα 3.2: Χρονοϊστορία επιταχύνσεων και φάσμα ταχυτήτων προσομοίωσης (*Loma Prieta 1989 Station STG*).



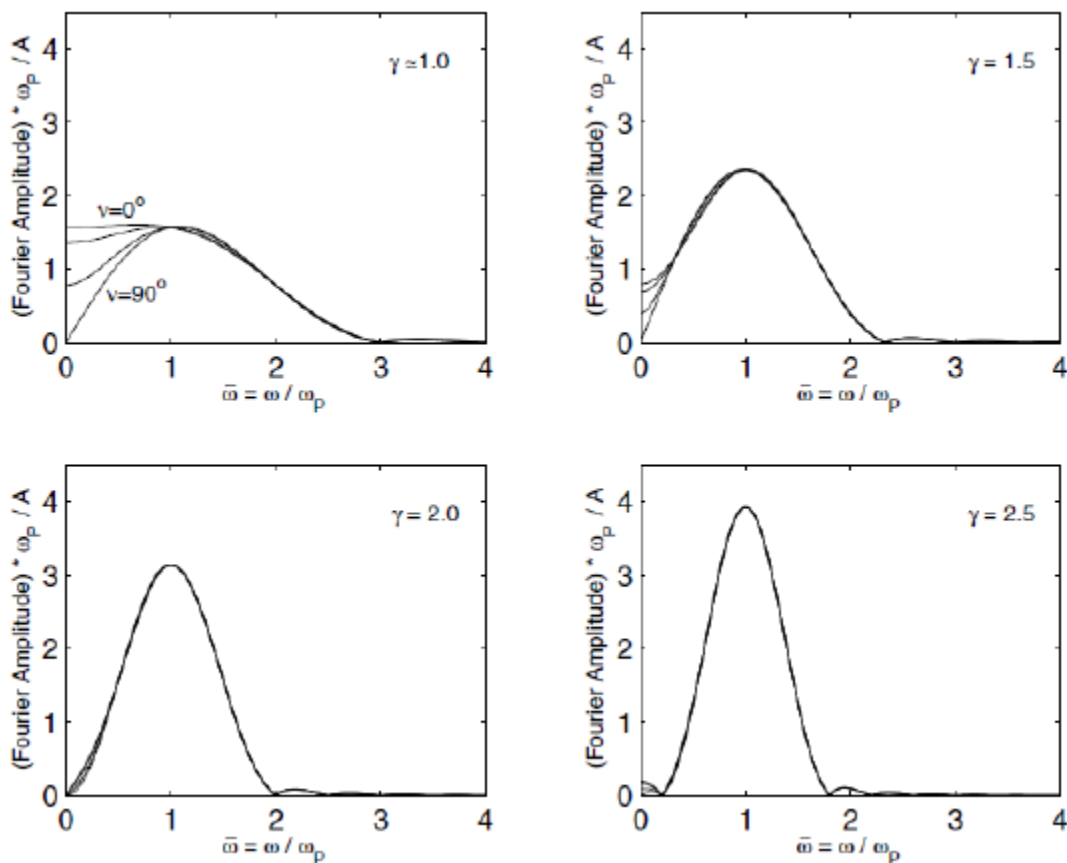
Σχήμα 3.3: Προσομοίωση παλμού (Loma Prieta 1989 Station STG).



Σχήμα 3.4: Εφαρμογή του μοντέλου στην καταγραφή του σταθμού Yarimca (YPT, Izmit, Turkey (1999)) και στην καταγραφή του σταθμού Kobe (KOB, Kobe, Japan (1995)).

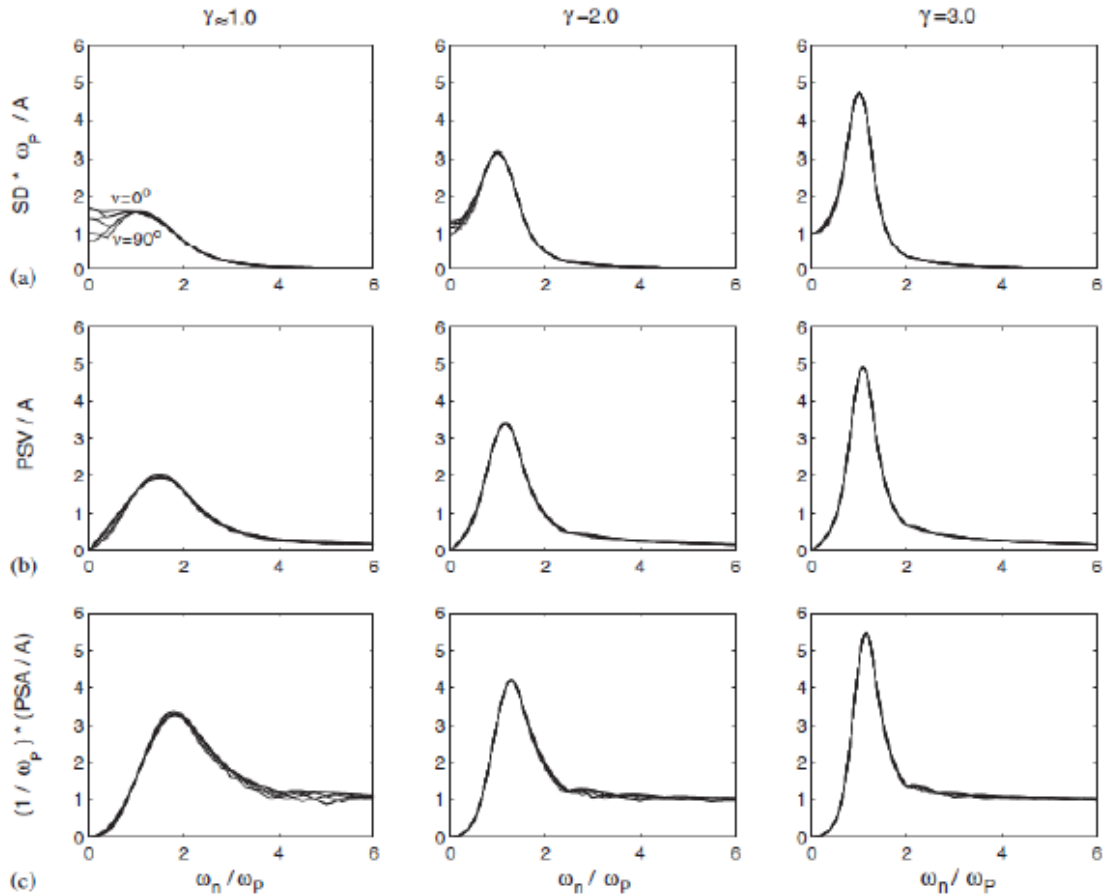
3.2.4 Επιρροή του αναλυτικού μοντέλου στα ελαστικά και ανελαστικά φάσματα

Το αναλυτικό μοντέλο προσομοίωσης του παλμού όπως έχει ορισθεί από τους *Manroeidis & Parageorgiou* (2003), επιτρέπει την διατύπωση κλειστών σχέσεων για το φάσμα *Fourier* της εδαφικής ταχύτητας. Αφού ορισθεί η κανονικοποιημένη συχνότητα (*normalized frequency*) ως $\tilde{\omega} = \omega / \omega_p$, γίνεται παραμετρική μελέτη του κανονικοποιημένου μετασχηματισμού *Fourier* του παλμού ως προς ω_p και A . Στο Σχήμα 3.5 φαίνεται η μεταβολή του συναρτήσεως του $\tilde{\omega}$ για χαρακτηριστικές τιμές των παραμέτρων γ και ν . Γίνεται προφανές ότι όταν οι τιμές των ω_p και A είναι σταθερές, το φάσμα *Fourier* είναι συνάρτηση της παραμέτρου γ . Αντίθετα, η διαφορά φάσης ν δείχνει να επηρεάζει το φάσμα *Fourier* μόνο στην περίπτωση που το γ λαμβάνει τιμές κοντά στη μονάδα και περιόδους μεγαλύτερες της T_p .



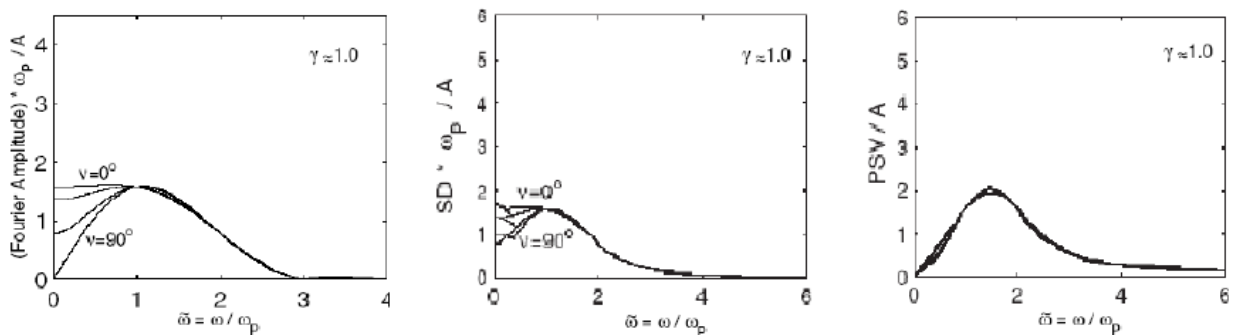
Σχήμα 3.5: Μεταβολή του κανονικοποιημένου ως προς ω_p και A μετασχηματισμού *Fourier* του παλμού συναρτήσεως της κανονικοποιημένης συχνότητας $\tilde{\omega}$.

Σε επόμενη δημοσίευση των *Manroeidis et al.* (2004), στην οποία ως κανονικοποιημένη συχνότητα θεωρήθηκε η $\tilde{\omega} = \omega n / \omega_p = \omega n / 2\pi f P$, εξετάστηκε η μεταβολή του κανονικοποιημένου φάσματος απόκρισης γραμμικού μονοβάθμιου συστήματος για χαρακτηριστικές τιμές των γ και ν . Από το Σχήμα 3.6 φαίνεται ότι η μεταβολή του ν αφήνει σχεδόν ανεπηρέαστο το φάσμα απόκρισης, ειδικά στις περιπτώσεις που το γ λαμβάνει μεγάλες τιμές. Αντίθετα, με την αύξηση της τιμής του γ , παρατηρείται αύξηση και στις τιμές του φάσματος.



Σχήμα 3.6: Μεταβολή του κανονικοποιημένου φάσματος απόκρισης γραμμικού μονοβάθμιου συστήματος για χαρακτηριστικές τιμές των γ και ν .

Αξίζει να σημειωθεί, τέλος, η συσχέτιση μεταξύ του φάσματος μετακινήσεων και του φάσματος *Fourier* του παλμού κατευθυντικότητας όταν η παράμετρος γ ισούται με τη μονάδα. Στην περίπτωση αυτή, οι μέγιστες τιμές των δύο φασμάτων αντιστοιχούν στη συχνότητα του παλμού, ενώ η μέγιστη τιμή του φάσματος ταχυτήτων αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη συχνότητα (Σχήμα 3.7).



Σχήμα 3.7: Φάσμα *Fourier* παλμού και φάσματα μετακινήσεων και ταχυτήτων με παράμετρο $\gamma=1$.

3.3 Μέθοδος εξαγωγής πολλαπλών παλμών με τη χρήση κυματομορφών

3.3.1 Γενικά

Πλήθος ερευνών έχουν διεξαχθεί σχετικά με τις εδαφικές κινήσεις κοντινού πεδίου, οι περισσότερες εκ των οποίων ασχολούνταν με την αναγνώριση ενός μόνο παλμού ταχύτητας δεσπόζουσας περιόδου T_p . Ωστόσο, έχει διαπιστωθεί ότι σε ορισμένες περιπτώσεις υπάρχουν περισσότεροι διακριτοί παλμοί, με σημαντικά διαφορετική περίοδο στις εδαφικές καταγραφές ο καθένας, οι οποίοι απασχολούν αρκετούς ερευνητές τα τελευταία χρόνια. Για την αναπαράσταση δυο καταγραφών, οι *Mavroeidis & Parageorgiou* (2003) χρησιμοποίησαν το άθροισμα δύο ή τριών παλμών ταχύτητας.

Οι *Makris and Black* (2003) αναγνώρισαν οπτικά, αλλά και με την εφαρμογή στη χρονοϊστορία της επιτάχυνσης, δύο διαφορετικούς παλμούς σε κάθε μία από τις δύο καταγραφές που εξέτασαν. Οι *Vassiliou and Makris* (2011) μέσω των κυματομορφών στο πεδίο της επιτάχυνσης, απέδειξαν ότι οι ιδιότητες του εξαγόμενου παλμού εξαρτώνται από τον τύπο του κυματιδίου που χρησιμοποιείται στην ανάλυση. Παρόλα αυτά, τόσο στην έρευνα των *Makris and Black* (2003), όσο και σε αυτήν των *Vassiliou and Makris* (2011), δεν έγινε συνδυασμός πολλαπλών παλμών για την αναπαράσταση τέτοιων εδαφικών κινήσεων.

3.3.2 Η μέθοδος CPE

Οι *Lu and Panagiotou* (2014) διερεύνησαν την παρουσία και τα χαρακτηριστικά πολλαπλών παλμών (με δεσπόζουσα περίοδο μεταξύ 0.5 και 12 sec) σε καταγραφές κοντινού πεδίου. Πρότειναν, έτσι, μια νέα μέθοδο, γνωστή ως CPE (Cumulative Pulse Extraction). Για να αναπαραστήσουν την καταγραφή χρησιμοποίησαν το άθροισμα των εξαγόμενων παλμών (ένας, δύο ή τρεις), ενώ για τον προσδιορισμό του καθενός βασίστηκαν στην ανάλυση με κυματίδια. Η μέθοδος CPE εφαρμόστηκε σε 40 καταγραφές κοντινού πεδίου, οι οποίες λήφθηκαν σε ακτίνα εντός 10 km γύρω από το ρήγμα, για σεισμούς με μέγεθος $M_w \geq 6.3$ και μέγιστη εδαφική ταχύτητα PGV 0.6 m/sec κατ' ελάχιστο. Στη συνέχεια, συγκρίθηκαν τα φάσματα απόκρισης ενός μονοβάθμιου συστήματος με την καταγραφή και τους παλμούς, για περιόδους μεταξύ 0.5 και 10 sec.

Οι *Lu and Panagiotou* (2014) εφάρμοσαν τη μέθοδο τόσο σε χρονοϊστορίες ταχυτήτων (V), όσο και επιταχύνσεων (A), χρησιμοποιώντας διαφορετικά κυματίδια τα οποία προκύπτουν από την παραδοχή ίσου πλάτους (AM), ίσων ενεργειών (EN) ή ίσου εμβαδού (AR). Με αυτό τον τρόπο μελετήθηκαν έξι συνολικά μέθοδοι: $CPEV_{-AR}, CPEV_{-EN}, CPEV_{-AM}, CPEA_{-AR}, CPEA_{-EN}$ και $CPEA_{-AM}$, όπου ο πρώτος δείκτης περιγράφει τον τύπο της χρονοϊστορίας και ο δεύτερος το κυματίδιο. Μέσα από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των παραπάνω μεθόδων φάνηκε να είναι προτιμητέα η χρήση της $CPEV_{-EN}$.

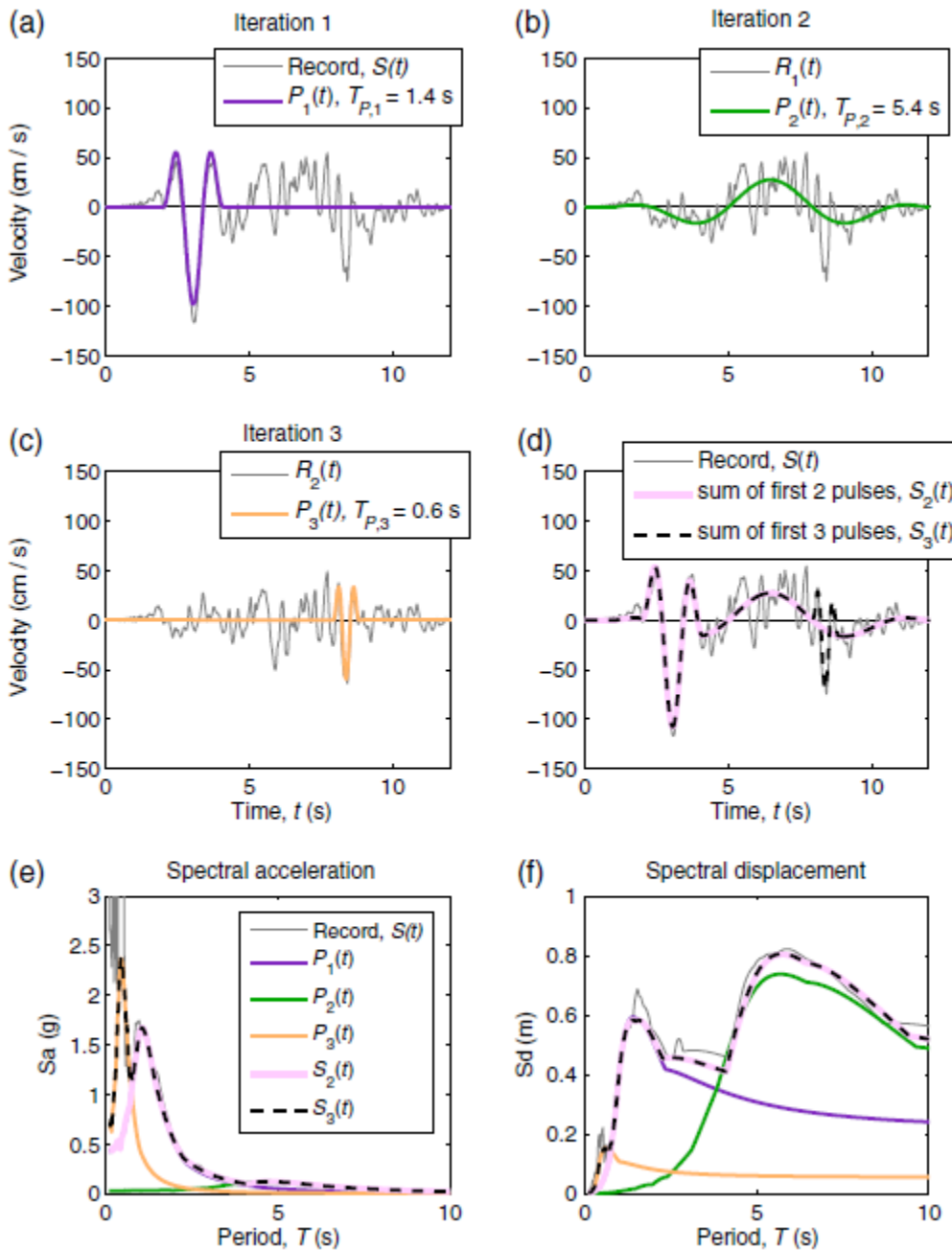
Η μέθοδος CPE ακολουθεί μία επαναληπτική διαδικασία που εξάγει πολλαπλούς παλμούς από μία καταγραφή και την προσεγγίζει με το άθροισμά τους. Σε κάθε επανάληψη εξάγεται ένας παλμός, οπότε για μια καταγραφή με χρονοϊστορία $S(t)$, η έκφραση της μεθόδου είναι:

$$S(t) \approx S_N(t) = \sum_{i=1}^N P_i(t), \quad (3.9)$$

όπου $S_N(t)$ είναι το άθροισμα N παλμών με χρονοϊστορία $P_i(t)$ για $i=1 \div N$.

Οι *Lu and Panagiotou* στηρίχθηκαν στη χρήση κυματομορφών, με μητρικό κυματίδιο αυτό των *Manroeidis & Parageorgiou* (2003), για να αναγνωρίσουν τον κάθε μεμονωμένο παλμό. Στο Σχήμα 3.8 παρουσιάζεται η εφαρμογή της μεθόδου *CP_{EV-EN}* στην καταγραφή *Pacoima Dam (PCD)* με *M_w=6.6* (*San Fernando, California* (1971)). Η μέθοδος *CPE* περιγράφεται από μια σειρά βημάτων τα οποία παρουσιάζονται συνοπτικά:

- 1^η *Επανάληψη*: Για την αναγνώριση του πρώτου παλμού, $P_1(t)$, εφαρμόζεται κυματική ανάλυση στην καταγραφή *PCD*. Ο παλμός έχει δεσπόζουσα περίοδο 1.4sec. Μετά την εξαγωγή του πρώτου παλμού, η εναπομένουσα εδαφική κίνηση υπολογίζεται ως $R_1(t)=S(t)-P_1(t)$.
- 2^η *Επανάληψη*: Ο δεύτερος παλμός, $P_2(t)$, εξάγεται μέσω της ίδιας διαδικασίας από την εναπομένουσα χρονοϊστορία $R_1(t)$. Η περίοδος του προκύπτει ίση με 5.4sec. Υπολογίζεται η νέα εναπομένουσα εδαφική κίνηση $R_2(t)=R_1(t)-P_2(t)=S(t)-[P_1(t)+P_2(t)]$.
- *N-οστή Επανάληψη*: Ο *N*-οστός παλμός $P_N(t)$ εξάγεται από την εναπομένουσα χρονοϊστορία $R_{N-1}(t)=R_{N-2}(t) - P_{N-1}(t)=S(t) - [P_1(t) + \dots + P_{N-1}(t)]$. Για την καταγραφή παρουσιάζεται μέχρι και ο τρίτος παλμός $P_3(t)$. Στην παρούσα εργασία, για την εξαγωγή ανώτερων παλμών, είχε ακολουθηθεί μια επαναληπτική διαδικασία παρόμοια με αυτήν που προτείνεται από τους *Lu and Panagiotou*.



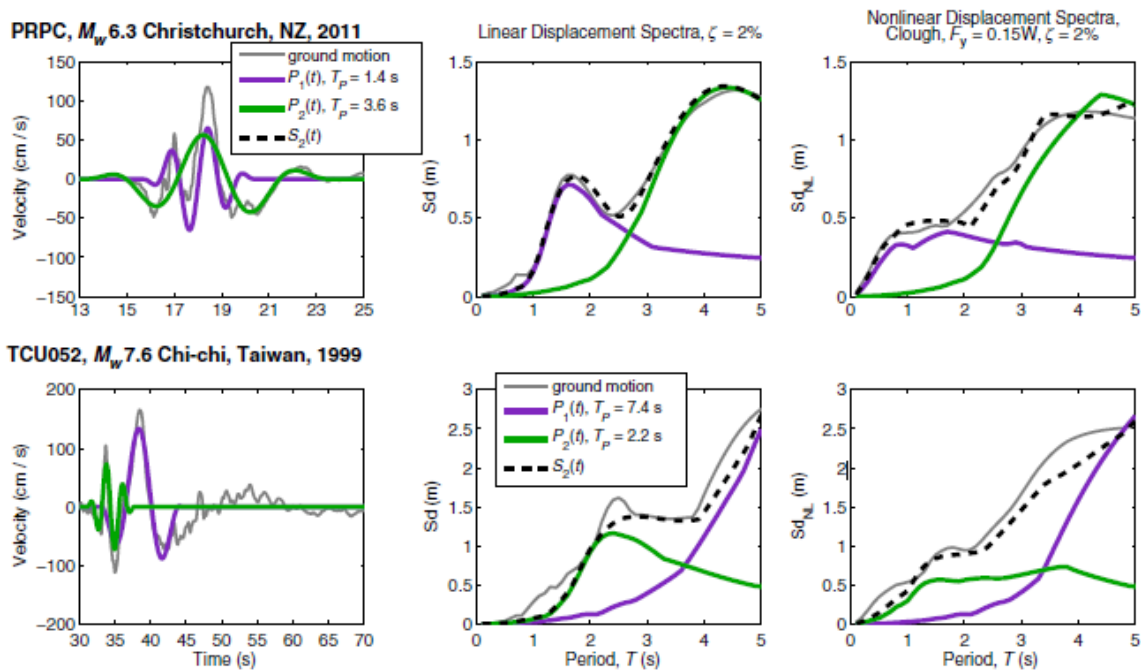
Σχήμα 3.8: Εξαγωγή των τριών παλμών της καταγραφής PCD με τη μέθοδο CPEV-EN. Φάσματα επιτάχυνσης και μετακίνησης για κάθε εξαγόμενο παλμό και για τα αθροίσματα $S_2(t)$ και $S_3(t)$.

Οι *Lu and Panagiotou* ασχολήθηκαν επίσης με τη μη γραμμική απόκριση των κατασκευών. Στο Σχήμα 3.9 παρουσιάζονται οι χρονιοιστορίες ταχύτητας των τριών εξαγόμενων παλμών για τις καταγραφές *PRPC* (*Christchurch, New Zealand* (2011)) και *TCU052* (*Chi-Chi, Taiwan* (1999)), μέσω των μεθόδων CPEA-EN και CPEV-EN, αντίστοιχα. Για την καταγραφή *PRPC*, οι δύο κυρίαρχοι παλμοί έχουν $Tp=1.4$ sec και 3.6 sec, αντίστοιχα, ενώ για την καταγραφή *TCU052* οι περίοδοι των παλμών είναι $TP=7.4$ sec και 2.2

sec, αντίστοιχα. Στο Σχήμα 3.9 φαίνεται επίσης το γραμμικό και μη γραμμικό φάσμα μετακίνησης (υστερητικό μοντέλο συμπεριφοράς του Clough με δύναμη διαρροής ίση με το 15% του συνολικού βάρους και μετελαστική συμπεριφορά με κράτυνση 5%), για κάθε έναν από τους δύο παλμούς $P_1(t)$ και $P_2(t)$, καθώς και για το άθροισμα τους $S_2(t)$.

Όσον αφορά στην καταγραφή *PRPC*, ο πρώτος παλμός $P_1(t)$ δίνει μια πολύ καλή εκτίμηση της γραμμικής φασματικής απαίτησης S_d για $T=1\div 2.5$ sec, ο δεύτερος $P_2(t)$ για $T\geq 3$ sec, ενώ το άθροισμά τους $S_2(t)$ για $T=1\div 5$ sec με σφάλμα μικρότερο του 0.11. Σχετικά με το μη-γραμμικό φάσμα μετακίνησης S_{dNL} , ο πρώτος παλμός αντιπροσωπεύει ικανοποιητικά την καταγραφή για $T<1.8$ sec, ο δεύτερος για $T>4$ sec και το άθροισμά τους για κάθε $T\leq 5$ sec. Όσον αφορά στην καταγραφή *TCU052*, ο πρώτος παλμός $P_1(t)$ δίνει μια πολύ καλή εκτίμηση της S_d μόνο για $T=1.8\div 2.2$ sec, ενώ ο δεύτερος $P_2(t)$ δεν εκτιμάται επαρκώς για $T<5$ sec. Ωστόσο το άθροισμά $S_2(t)$ είναι ικανοποιητικό για $T>1.8$ sec.

Σχετικά με τη S_{dNL} , οι δύο μεμονωμένοι παλμοί παρουσιάζουν σφάλμα μεγαλύτερο από 0.4 στην εκτίμηση της για κάθε $T=1.5\div 3.8$ sec, ενώ αντίθετα το άθροισμά τους δίνει καλή προσέγγιση για περιόδους μεταξύ 1 και 5 sec με σφάλμα μικρότερο του 0.2. Γίνεται επομένως φανερό ότι η χρήση μεμονωμένων παλμών για την αναπαράσταση εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου μπορεί να υποεκτιμήσει εξίσου τα γραμμικά και τα μη-γραμμικά φάσματα μετακίνησης και για το λόγο αυτό θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη περισσότεροι του ενός παλμοί.



Σχήμα 3.9: Χρονοϊστορία ταχύτητας, γραμμικό και μη γραμμικό φάσμα μετακίνησης για δύο εξαγόμενους παλμούς $P_1(t)$ και $P_2(t)$ και για το άθροισμά τους $S_2(t)$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Προσδιορισμός των παλμών μέσω κυματικής
ανάλυσης με χρήση του φάσματος συνέλιξης –
Η μέθοδος *Mimoglou et al.*

4.1 Εισαγωγή

Τα φαινόμενα κατευθυντικότητας αποτελούν τις τελευταίες δεκαετίες αντικείμενο συστηματικών ερευνών, οι οποίες επικεντρώνονται στον προσδιορισμό των κύριων χαρακτηριστικών του παλμού στην χρονοϊστορία ταχυτήτων μιας σεισμικής καταγραφής κοντινού πεδίου. Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται η μέθοδος εντοπισμού των κύριων παλμών στη χρονοϊστορία της ταχύτητας, όπως έχει προταθεί από τους *P.Mimoglou, I.N. Psycharis, I. Taflampas (2014)*. Πρόκειται για μια κλειστή μαθηματική διαδικασία, η οποία εντοπίζει τους παλμούς ταχύτητας μέσω της κυματικής ανάλυσης, που για τη μαθηματική περιγραφή τους χρησιμοποιείται το κυματίδιο της μελέτης που αναπτύχθηκε από τους *Manroeidis and Parageorgiou (2003)*, ακολουθώντας μια απλοποιημένη διαδικασία για τον ορισμό των παραμέτρων του μοντέλου.

Τα χαρακτηριστικά των κυματιδίων καθορίζονται από τη βέλτιστη προσαρμογή τους (*best fitting*) στο φάσμα απόκρισης της ταχύτητας κάθε σεισμικής καταγραφής. Πιο συγκεκριμένα, προκειμένου να προσδιορισθεί η περίοδος του παλμού χρησιμοποιήθηκε το φάσμα του γινομένου μετακίνησης-ταχύτητας ($S_d \times S_v$), ενώ για τις υπόλοιπες παραμέτρους η νεοεισαχθείσα έννοια *CAD (Cumulative Absolute Displacement)* σε σχέση με την κορυφή του φάσματος μετακινήσεων.

Μέχρι τώρα το προσομοίωμα των *Manroeidis and Parageorgiou* είχε χρησιμοποιηθεί σε διαδικασίες που είχαν ως βάση τους τη λογική 'δοκιμή και σφάλμα', όπως στην αρχική δημοσίευση με την οποία εισήχθη, ή μέσω της κυματικής ανάλυσης, όπως προτάθηκε από τους *Vassiliou and Makris (2011)*. Αυτό που διαφοροποιεί τη συγκεκριμένη διαδικασία από τις υπόλοιπες είναι ότι επικεντρώνεται στην αναγνώριση μόνο των πιο σημαντικών παλμών που εμπεριέχονται στις εδαφικές κινήσεις κοντινού πεδίου, οι οποίοι επαρκούν για την ολοκληρωμένη προσομοίωση της αρχικής καταγραφής.

Η προτεινόμενη διαδικασία επιτρέπει την αναγνώριση και την εξαγωγή όλων των σημαντικών παλμών που εντοπίζονται στο εύρος των μέτριων και μεγάλων περιόδων. Με την υπέρθεση όλων των εξαγόμενων παλμών, μπορεί να προσομοιωθεί ολόκληρη η εδαφική κίνηση. Πρόκειται για μια μεθοδολογία που μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε καταγραφή –η οποία να έχει αναγνωρισθεί εκ των προτέρων ως παλμική– ανεξάρτητα αν αποτελεί καταγραφή κοντινού πεδίου ή όχι. Έχει επιλεγεί από τους ερευνητές η εξέταση των 91 καταγραφών της βάσης NGA, οι οποίες είναι χαρακτηρισμένες ως παλμικές από τον *Baker (2007)*.

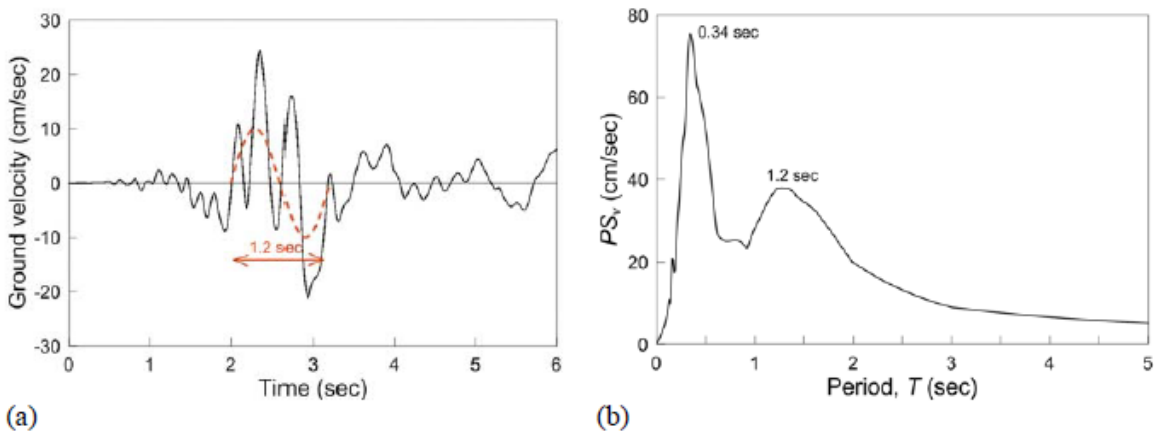
Η σημαντικότητα της μεθόδου αυτής είναι διττή, αφού αφενός παρέχει ένα νέο εργαλείο για την απομόνωση των σημαντικών παλμών που εμπεριέχονται στις καταγραφές εδαφικών κινήσεων κοντινού πεδίου και αφετέρου οδηγεί σε απλουστευμένες *τεχνητές χρονοϊστορίες (synthesized time histories)* που μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντί των αυθεντικών καταγραφών για τον αντισεισμικό σχεδιασμό κατασκευών μέσω αναλύσεων χρονοϊστορίας φόρτισης. Όσον αφορά στο τελευταίο, έχει δειχτεί ότι παρόλο που οι σημαντικοί παλμοί ανιχνεύονται προσαρμόζοντας τους στα ελαστικά φάσματα απόκρισης, οι τεχνητά κατασκευασμένες χρονοϊστορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για μη γραμμικές αναλύσεις με επαρκή ακρίβεια.

4.2 Προσδιορισμός παραμέτρων του παλμού

4.2.1 Περίοδος του παλμού T_p

Η περίοδος του δεσπόμενου παλμού που περιέχεται στις εδαφικές κινήσεις κοντινού πεδίου εκτιμάται συνήθως ως η τιμή της περιόδου κατά την οποία το ελαστικό φάσμα απόκρισης της ψευδο-ταχύτητας απόσβεσης 5% εμφανίζει τη μέγιστη κορυφή του. Ωστόσο, η ακρίβεια της διαδικασίας αυτής έχει αμφισβητηθεί από πολλούς ερευνητές (Rodriguez-Marek, 2000; Baker, 2007).

Ένα παράδειγμα που αποδεικνύει ότι ο ορισμός αυτός μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα αποτελέσματα φαίνεται στο Σχήμα 4.1 για την καταγραφή G06-320 (Gilroy Array #6) από το σεισμό του Coyote Lake (1979), μεγέθους $M_w = 5.7$. Στο σχήμα 4.1(a) παρουσιάζεται η χρονοϊστορία της εδαφικής ταχύτητας, στην οποία όπως μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί, ο παλμός που χαρακτηρίζει την εδαφική κίνηση έχει περίοδο περίπου ίση με 1.2 sec, τιμή η οποία προτείνεται και από τον Baker (2007). Ωστόσο, η περίοδος για την οποία το φάσμα απόκρισης της ψευδο-ταχύτητας εμφανίζει τη μέγιστη αιχμή του -για λόγο ιξώδους απόσβεσης 5%- ισούται με 0.34 sec (Σχήμα 2.1(b)), ενώ η κορυφή που αντιστοιχεί σε περίοδο $T = 1.2$ sec εμφανίζει σημαντικά μικρότερο πλάτος.



Σχήμα 4.1: Καταγραφή G06-320 (Coyote Lake, 1979) (a) χρονοϊστορία ταχύτητας, (b) PSV 5% (Mimoglou et al, 2014).

Είναι γνωστό ότι οι φασματικές τιμές *Fourier* της εδαφικής επιτάχυνσης μπορούν να ισούνται με τις αντίστοιχες φασματικές τιμές της εδαφικής ταχύτητας (Hudson (1979)). Έτσι, το φάσμα απόκρισης της ταχύτητας για μηδενική απόσβεση θεωρείται ότι είναι μια επαρκής περιβάλλουσα του φάσματος *Fourier* της εδαφικής επιτάχυνσης, δηλαδή:

$$\tilde{\alpha}_g(\omega) \leq S_{v,0}(\omega), \quad (4.1)$$

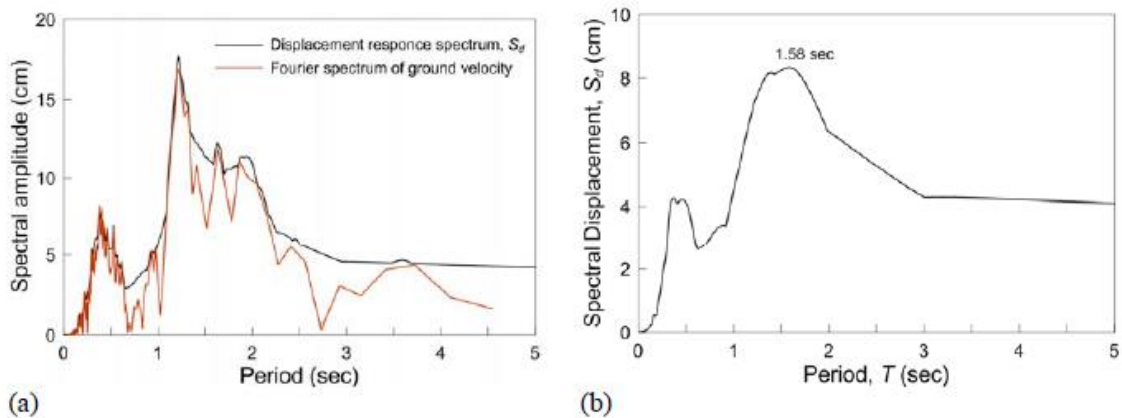
όπου $\tilde{\alpha}_g(\omega) = \mathcal{F}(\ddot{\alpha}_g)$ είναι τα πλάτη του φάσματος *Fourier* της εδαφικής επιτάχυνσης $\alpha_g(t)$ και $S_{v,0}(\omega)$ είναι το φάσμα απόκρισης της ταχύτητας για μηδενική απόσβεση.

Ομοίως, μπορεί να αποδειχτεί ότι το φάσμα απόκρισης της μετακίνησης για μηδενική απόσβεση αποτελεί μια επαρκή περιβάλλουσα του φάσματος *Fourier* της εδαφικής ταχύτητας. Όντως, για ταλαντωτές μηδενικής απόσβεσης ($\xi = 0$) μπορεί να γίνει η υπόθεση ότι το φάσμα απόκρισης της ταχύτητας $S_{v,o}(\omega)$ και το φάσμα απόκρισης της ψευδο-ταχύτητας $PS_{v,o}(\omega)$ συμπίπτουν, εκτός από τις περιοχές μεγάλων περιόδων. Έτσι, σε ένα μεγάλο εύρος περιόδων, μπορεί να γίνει η υπόθεση ότι $S_{v,o}(\omega) = \omega S_{d,o}(\omega)$, όπου $S_{d,o}(\omega)$ είναι το φάσμα απόκρισης της μετατόπισης για μηδενική απόσβεση. Τότε, διαιρώντας και τα δύο μέλη της σχέσης (4.1) με ω και λαμβάνοντας υπόψη ότι $\tilde{\alpha}_g(\omega)/\omega = \tilde{v}_g(\omega)$, όπου $\tilde{v}_g(\omega) = \mathcal{F}(\dot{v}_g)$ το φάσμα *Fourier* της εδαφικής ταχύτητας $v_g(t)$, προκύπτει:

$$\tilde{v}_g(\omega) \leq S_{d,o}(\omega), \quad (4.2)$$

το οποίο δείχνει ότι το φάσμα απόκρισης της μετακίνησης είναι μια επαρκής περιβάλλουσα καμπύλη του φάσματος *Fourier* της εδαφικής ταχύτητας. Βάσει της πιο πάνω παρατήρησης και λαμβάνοντας υπόψη ότι ο παλμός είναι διακριτός στη χρονοϊστορία ταχύτητας, θα ήταν εύλογη η εκτίμηση της T_p από τη δεσπόζουσα περίοδο του φάσματος απόκρισης μετακινήσεων. Στο Σχήμα 4.2, παρουσιάζεται ένα παράδειγμα καταγραφής GO6-320 του σεισμού Coyote Lake(1979).

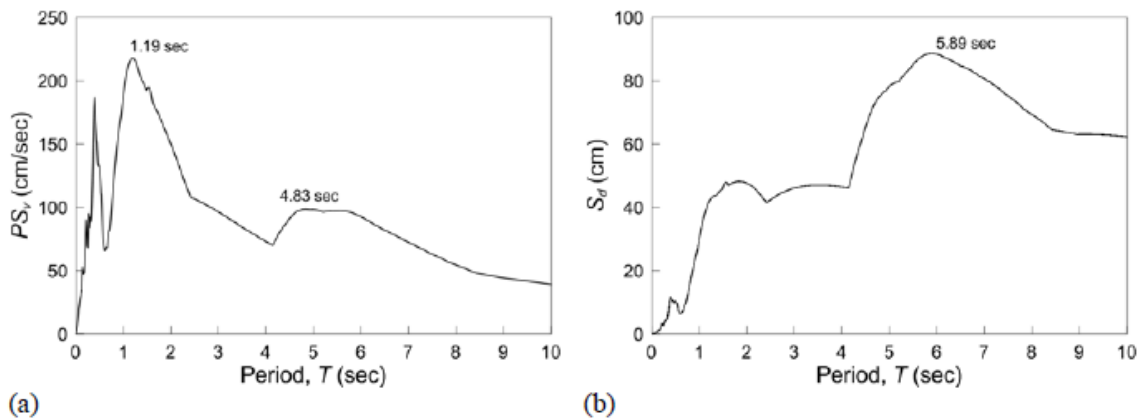
Για την καταγραφή αυτή, ο ορισμός δίνει περίοδο $T_p = 1.58 \text{ sec}$, η οποία προσεγγίζει τις περιόδους που έχουν αναφερθεί προηγούμενες οι οποίες είχαν υπολογισθεί από τον *Baker* και τους *Mimoglou et al.*



Σχήμα 4.2: Καταγραφή GO6-320 (Coyote Lake - 1979): (a) σύγκριση του φάσματος ταχύτητας *Fourier* με το φάσμα μετακίνησης για μηδενική απόσβεση, (b) S_d 5% (*Mimoglou et al*, 2014)

Ωστόσο, η διαδικασία αυτή δεν μπορεί να γενικευθεί καθώς δεν φαίνεται να δίνει πάντα ορθά αποτελέσματα. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 4.3 (b), η δεσπόζουσα περίοδος του φάσματος μετακινήσεων της καταγραφής που απεικονίζεται (*Καταγραφή PCD-164 από το σεισμό στο San Fernando, CA (1971)*) ισούται με 5.89sec, που είναι μεγαλύτερη από την περίοδο του παλμού κατευθυντικότητας η οποία είναι ίση με 1.47 sec σύμφωνα με τους *Mavroeidis and Papageorgiou (2003)* και 1.60 sec σύμφωνα με τον *Baker (2007)*. Οι τιμές αυτές προσεγγίζουν τη δεσπόζουσα περίοδο του φάσματος απόκρισης της ψευδο-ταχύτητας, που όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3a, είναι ίση με 1.19 sec.

Πρέπει να σημειωθεί ωστόσο, ότι η χρήση του φάσματος μετακινήσεων ενδέχεται να μην είναι αξιόπιστη. Το κυριότερο πρόβλημα έγκειται στο γεγονός ότι η μέγιστη τιμή της μετακίνησης μπορεί να επηρεαστεί από σφάλματα σε μεγάλες περιόδους. Επίσης, η τιμή αιχμής του φάσματος μετακινήσεων πιθανώς να αντιστοιχεί σε παλμό που περικλείει μεγάλο εμβαδόν αλλά έχει μικρό πλάτος και επομένως να μην αποτελεί τον κυρίαρχο.



Σχήμα 4.3: Καταγραφή PCD-164 από το σεισμό στο San Fernando, CA (1971): (a) φάσμα απόκρισης ψευδο-ταχύτητας για απόσβεση 5%· (b) φάσμα απόκρισης μετακίνησης για απόσβεση 5% (Mimoglou et al, 2014).

Γίνεται πλέον σαφές ότι οι αιχμές των φασμάτων απόκρισης ψευδο-ταχύτητας (ή μετακίνησης) που έχουν αναφερθεί πιο πάνω δεν μπορούν να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της περιόδου του παλμού, αφού σε αρκετές περιπτώσεις τα αποτελέσματα που δίνουν οι δυο προσεγγίσεις παρουσιάζουν σημαντικά σφάλματα. Τα σφάλματα αυτά οφείλονται στο γεγονός ότι οι καταγραφές επηρεάζονται από ένα πλήθος παλμών, με διαφορετική περίοδο ο καθένας. Η προτεινόμενη μεθοδολογία από τους *Mimoglou et al.* η οποία παρουσιάζεται στο παρόν κεφάλαιο, εντοπίζει τον κυρίαρχο παλμό μέσα από ένα συνδυασμό φασμάτων απόκρισης ταχυτήτων και μετακινήσεων.

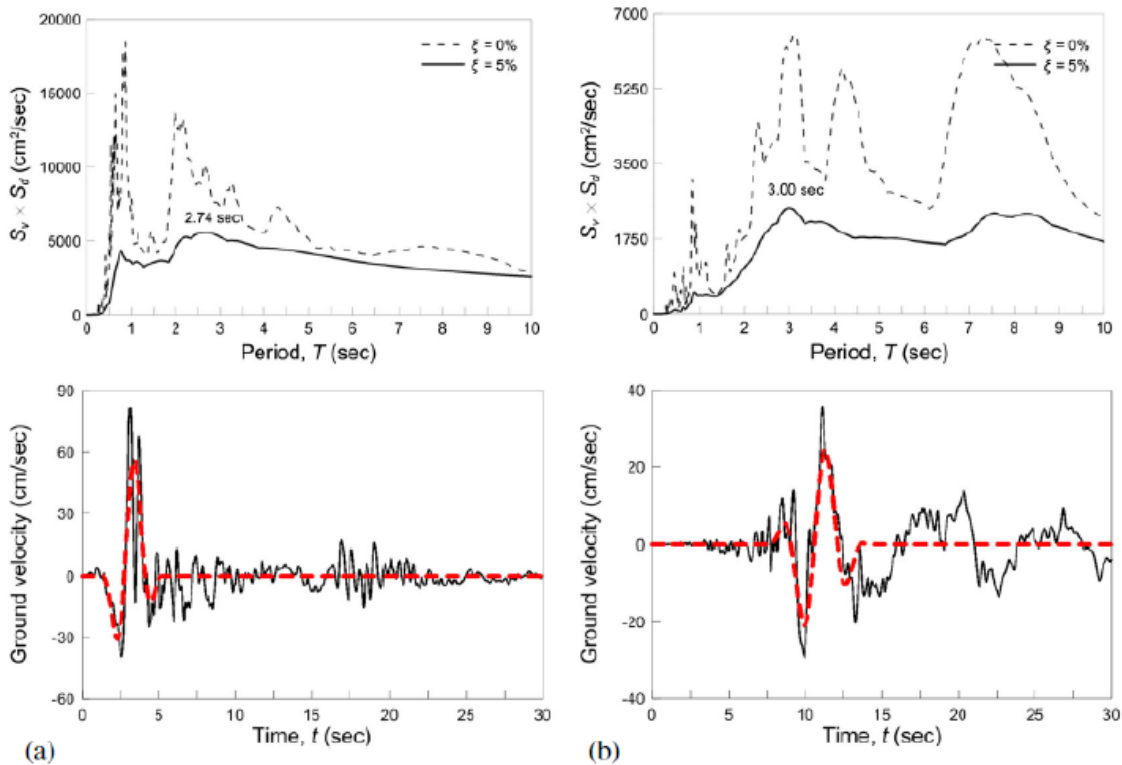
Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο παλμός επηρεάζει την εδαφική επιτάχυνση και ταχύτητα –σε διαφορετικό βαθμό βέβαια- οι σημαντικές περίοδοι T_i είναι λογικό να ξεχωρίζουν μέσα στο ολοκλήρωμα συνέλιξης (convolution integral) των δύο αυτών χρονοϊστοριών. Επιπρόσθετα, οι συνιστώσεις με εξαιρετικά υψηλές ή χαμηλές συχνότητες οι οποίες πιθανόν αν εμπεριέχονται στην εδαφική ταχύτητα και επιτάχυνση εξομαλύνονται μέσω του ολοκληρώματος συνέλιξης και κατά συνέπεια, οι τιμές αιχμής του φάσματος ταχύτητας και επιτάχυνσης αντιστοιχούν στις περιόδους των σημαντικών παλμών της εδαφικής κίνησης.

Το φάσμα Fourier της συνέλιξης δύο σημάτων ισούται με το γινόμενο των φασμάτων Fourier των επιμέρους σημάτων από τα οποία πραγματοποιείται η συνέλιξη, όπως είναι γνωστό. Επίσης, όπως έχει ήδη αναφερθεί, το φάσμα απόκρισης της ταχύτητας μηδενικής απόσβεσης, $S_{v,0}$, αποτελεί μια επαρκή περιβάλλουσα του φάσματος Fourier της εδαφικής επιτάχυνσης και αντίστοιχα το φάσμα απόκρισης της μετατόπισης για μηδενική απόσβεση μια περιβάλλουσα του φάσματος Fourier της εδαφικής ταχύτητας.

Χρησιμοποιώντας τις ιδιότητες αυτές, το φάσμα Fourier του ολοκληρώματος συνέλιξης μπορεί να προσεγγιστεί από το γινόμενο $S_{v,0} \times S_{d,0}$, το οποίο στη συνέχεια θα αναφέρεται ως Φάσμα Συνέλιξης (Convolution spectrum) και επομένως η περίοδος του παλμού μπορεί να καθοριστεί από τις κορυφές του φάσματος συνέλιξης μηδενικής απόσβεσης, που θα συμβολίζεται $S_d \times S_v$.

Παρόλο που το πιο πάνω συμπέρασμα εφαρμόζεται στο φάσμα $S_d \times S_v$ όταν η απόσβεση είναι μηδενική, η μέθοδος των *Mimoglou et al.* προτείνει τον προσδιορισμό της περιόδου μέσω του φάσματος $S_d \times S_v$ απόσβεσης 5%, που ορίζεται ως $S_{d,5} \times S_{v,5}$, όπου $S_{d,5}$ και $S_{v,5}$ είναι τα φάσματα μετακίνησης και ταχύτητας για απόσβεση 5%, αντίστοιχα. Τονίζεται ότι η περίοδος που προκύπτει από το φάσμα για μηδενική απόσβεση, δεν είναι απαραίτητο να συμπίπτει με την αντίστοιχη περίοδο απόσβεσης 5%.

Ωστόσο, η χρήση των φασμάτων για $\xi=5\%$, φαίνεται να προτιμάται από τους ερευνητές, αφού τα αποτελέσματα προσεγγίζουν καλύτερα αυτά του Baker, τα οποία χρησιμοποιούνται ως δείκτες αναφοράς. Αναφέρεται επίσης ότι τα φάσματα απόκρισης για $\xi=5\%$, τα οποία έχουν χρήση ευρέως στον τομέα του πολιτικού μηχανικού, φαίνεται ότι προσεγγίζουν καλύτερα τα αντίστοιχα φάσματα των εξαγόμενων παλμών. Στη συνέχεια, λοιπόν, θα χρησιμοποιείται μόνο το φάσμα για απόσβεση 5%, το οποίο θα συμβολίζεται ως $S_d \times S_v$.



Σχήμα 4.5: Καταγραφές (a) #38 και (b) #20 (Πίνακας 4.1). Πάνω σειρά, καθορισμός της περιόδου του παλμού από την κορυφή του φάσματος συνέλιξης για απόσβεση 5% (συγκρίνεται με την αντίστοιχη για μηδενική απόσβεση). Κάτω σειρά, σύγκριση των χρονοϊστοριών ταχύτητας του εξαγόμενου κυματίδιου M&P με της αρχικής καταγραφής.

Τα θετικά αποτελέσματα της προτεινόμενης διαδικασίας παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.4 πιο πάνω, κατά την οποία χρησιμοποιήθηκε το $S_d \times S_v$ για τον προσδιορισμό των περιόδων των καταγραφών υπ' αριθμόν 38 και 20. Γίνεται προφανής η συμφωνία των αποτελεσμάτων με αυτά του *Baker*.

Επισημαίνεται, τέλος, ότι η καταγραφή #20 παρουσιάζει δύο σημαντικούς παλμούς, οι αντιστοιχούν στις δύο μεγαλύτερες κορυφές του φάσματος $S_d \times S_v$, με περιόδους που διαφέρουν εμφανώς (ευδιάκριτοι τόσο στο γινόμενο φάσμα όσο και στη χρονοϊστορία της ταχύτητας). Στην συγκεκριμένη περίπτωση, για τον προσδιορισμό της *TP* επιλέγεται η περίοδος που αντιστοιχεί στο μεγαλύτερο εύρος του $S_d \times S_v$ για $\xi=5\%$.

4.2.2 Το εύρος, η διάρκεια, η διαφορά φάσης και η στιγμή έναρξης του παλμού

Οι *Mimoglou et al.* (2004) υιοθέτησαν τη μαθηματική έκφραση η οποία είχε προταθεί αρχικά από τους *Manroeidis & Parageorgiou* (2003) για την αναπαράσταση του παλμού ταχύτητας. Το χρησιμοποιούμενο *κυματίδιο M&P* (*M&P wavelet*) περιγράφεται από τις παραμέτρους της συχνότητα f_p , του εύρους A , της διαφοράς φάσης ν και της διάρκειας του κυματιδίου γ , η οποία μετρά τον αριθμό των ταλαντώσεων και ορίζεται ως $\gamma = t_p * f_p$, όπου $\gamma > 1$ και t_p η διάρκεια της εδαφικής ταχύτητας. Το *κυματίδιο M&P* ορίζεται μέσω της εξίσωσης (3.1) του προηγούμενου κεφαλαίου. Χρησιμοποιώντας αυτές τις παραμέτρους, επιτυγχάνεται μια καλή προσέγγιση του παλμού, που αποδίδει ικανοποιητικά την επίδρασή του στην απόκριση των κατασκευών. Επειδή η προτεινόμενη μεθοδολογία απευθύνεται σε φάσματα, αλλά και λόγω της καλής προσέγγισης του παλμού με τις παραμέτρους αυτές, επιλέγεται μεταξύ άλλων ευρέως διαδεδομένων κυματομορφών το *κυματίδιο M&P* ως βέλτιστο.

Το εύρος A του κυματιδίου υπολογίζεται με τέτοιο τρόπο που το φάσμα απόκρισης μετακινήσεων του παλμού να προσομοιάζει με βέλτιστο τρόπο το αντίστοιχο φάσμα της καταγραφής. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιείται η έννοια της *απόλυτης αθροιστικής μετακίνησης CAD* -που εισήχθη από τους *Taflampas et al.* (2009) κατά αναλογία με το δείκτη της *απόλυτης αθροιστικής ταχύτητας CAV* (*Cumulative Absolute Velocity*)- και ορίζεται ως το χρονικό ολοκλήρωμα της απόλυτης τιμής της εδαφικής ταχύτητας:

$$CAD = \int_0^{t_{tot}} |Vg| dt \quad (4.3)$$

Έστω μία αρμονική εδαφική κίνηση εύρους $d_{g,max}$, η οποία εφαρμόζεται ως διέγερση σε έναν μη αποσβενόμενο μονοβάθμιο ταλαντωτή. Κατά το συντονισμό, το πλάτος της απόκρισης του ταλαντωτή μεταβάλλεται γραμμικά με τον αριθμό των κύκλων και για μία διέγερση γ κύκλων η μέγιστη απόκριση είναι:

$$S_{d,0}(T_{res}) = \pi \gamma d_{g,max}, \quad (4.4)$$

όπου το $S_{d,0}(T_{res})$ εκφράζει τη φασματική μετακίνηση στο συντονισμό για μηδενική απόσβεση.

Ακόμη, η τιμή του *CAD* στο τέλος του γ -οστού κύκλου μιας αρμονικής διέγερσης είναι:

$$CAD = 4 \gamma d_{g,max} \quad (4.5)$$

Έτσι, για μια αρμονική διέγερση γ κύκλων, υπάρχει μία σταθερή σχέση μεταξύ της φασματικής μετακίνησης για μηδενική απόσβεση στο συντονισμό και του CAD , η οποία είναι:

$$\frac{S_{d,0}(T_{res})}{CAD} = \frac{\pi}{4} \quad (4.6)$$

Εάν στη θέση μιας καθαρά αρμονικής διέγερσης χρησιμοποιηθεί το *κυματίδιο M&P*, η εξίσωση (4.6) εξακολουθεί να ισχύει με ικανοποιητική ακρίβεια, παρά την ύπαρξη της κωδωνόσχημης συνάρτησης. Αυτό μπορεί να γίνει αντιληπτό από το Σχήμα 4.6 (α), όπου ο λόγος της μέγιστης φασματικής μετακίνησης για μηδενική απόσβεση προς την τιμή του CAD , $S_{d,0,max}/CAD$, αναπαριστάται σε σχέση με τη διαφορά φάσης ν για διαφορετικές τιμές του $\gamma = 1.5, 2.0, 3.0, 5.0$. Τα αποτελέσματα είναι ανεξάρτητα από την περίοδο T_p και το εύρος A . Γίνεται φανερό ότι ο λόγος $S_{d,0,max}/CAD$ είναι κοντά στην τιμή $\pi/4$, κυρίως για παλμούς μεγάλης διάρκειας (μεγάλες τιμές του γ). Μεγαλύτερες αποκλίσεις παρουσιάζονται για $\gamma=1.5$ και $\nu=30^\circ$, αλλά ακόμα και τότε το σφάλμα είναι μικρότερο του 6%.

Μία παρεμφερής σχέση μεταξύ της μέγιστης φασματικής μετακίνησης και του CAD μπορεί να παραχθεί και για άλλες τιμές της απόσβεσης. Για ένα μονοβάθμιο ταλαντωτή απόσβεσης ξ και για καθαρά αρμονική διέγερση, η μετακίνηση στο συντονισμό $S_{d,\xi}(T_{res})$ είναι:

$$S_{d,\xi,res} = \frac{1 - e^{-2\pi\xi}}{2\xi} d_{g,max} \quad (4.7)$$

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (4.5), προκύπτει η παρακάτω σχέση:

$$\frac{S_{d,\xi}(T_{res})}{CAD} = \frac{1 - e^{-2\pi\xi}}{8\gamma\xi} \quad (4.8)$$

Εάν η διέγερση δεν είναι καθαρά αρμονική, αλλά ένα *κυματίδιο M&P*, η εξίσωση παρουσιάζει σφάλμα για μεγάλες τιμές του γ . Η παραμετρική έρευνα που πραγματοποιήθηκε έδειξε ότι πρέπει να εφαρμοστεί ένας διορθωτικός συντελεστής στην περίπτωση αυτή, ίσος με $[1 + (\gamma-1)\xi]$. Έτσι, για *κυματίδια M&P* ισχύει η σχέση:

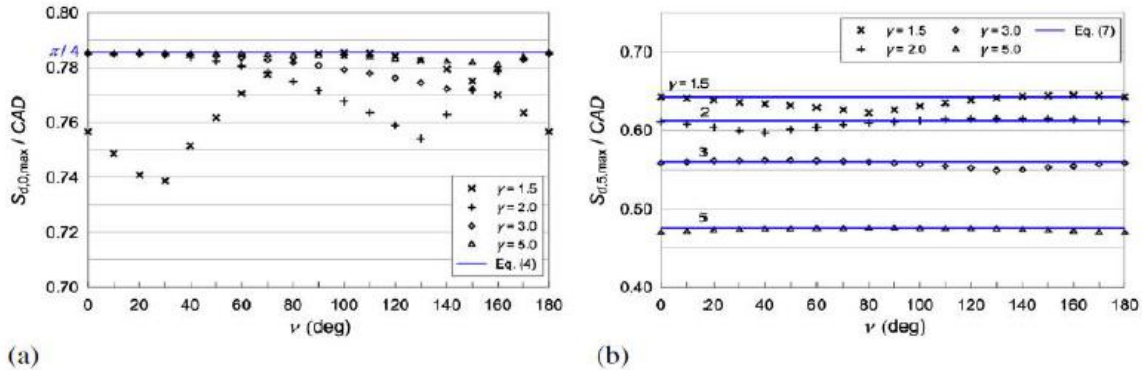
$$\frac{S_{d,\xi}(T_{res})}{CAD} = \frac{1 - e^{-2\pi\xi}}{8\gamma\xi} [1 + (\gamma-1)\xi] \quad (4.9)$$

Η σύγκριση των τιμών που προκύπτουν από την εξίσωση (4.9) με τις πραγματικές τιμές του λόγου $S_{d,\xi,max}/CAD$, για διαφορετικά ν και γ παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.6 (β) για $\xi=5\%$. Όπως φαίνεται, η εξίσωση (4.7) είναι ακριβής σε κάθε περίπτωση. Με χρήση των εξισώσεων και της γνωστής σχέσης μεταξύ φασματικής μετακίνησης και ψευδο-ταχύτητας $PS\nu=(2\pi/T)S_d$, προκύπτουν οι εξής σχέσεις:

$$\frac{PS\nu_{o,max}}{CAD} = \frac{\pi^2}{2T_p}, \text{ για μηδενική απόσβεση} \quad (4.10)$$

$$\frac{PS_{v,\xi,max}}{CAD} = \frac{\pi(e^{-2\pi\xi}) [1 + (\gamma-1)\xi]}{4\gamma\xi T_p}, \text{ για απόσβεση } \xi \neq 0 \quad (4.11)$$

όπου τα $PS_{v,0}$ και $PS_{v,\xi}$ υποδηλώνουν την ψευδο-ταχύτητα για μηδενική και για ίση με ξ απόσβεση, αντίστοιχα. Στη συνέχεια γίνεται χρήση των παραπάνω σχέσεων για τον υπολογισμό του εύρους.



Σχήμα 4.1: Σχέση μεταξύ της μέγιστης φασματικής μετακίνησης $S_{d,max}$ και CAD για κυματίδιο M&P και διάφορες τιμές γ και ν . (a) μηδενική απόσβεση (b) απόσβεση 5% (Mimoglou et al. 2014).

Αφού έχει προσδιοριστεί η περίοδος του παλμού T_p , υπολογίζονται οι υπόλοιπες παράμετροι του κυματιδίου M&P έτσι ώστε το φάσμα απόκρισης μετακινήσεων του παλμού απόσβεσης 5% να συμπίπτει όσο γίνεται καλύτερα με το αντίστοιχο φάσμα της καταγραφής. Ωστόσο, εφόσον η ψευδο-ταχύτητα είναι άμεσα συσχετισμένη με τη μετακίνηση μέσω της σχέσης $PSV=\omega S_d$, το κυματίδιο θα συμπίπτει επίσης και με το φάσμα απόκρισης ψευδο-ταχυτήτων. Ο καθορισμός των τριών υπολοίπων παραμέτρων, A , γ και ν , επιτυγχάνεται με τη χρήση της νέας παραμέτρου CAD (Cumulative Absolute Displacement). Για τα κυματίδια M&P, η τιμή του CAD συνδέεται άμεσα με το A και το γ , λόγω της ακόλουθης σχέσης:

$$CAD = \gamma A T_p / \pi \quad (4.12)$$

Για τη βέλτιστη σύμπτωση των φασμάτων, αντικαθίσταται το CAD στην εξίσωση (4.11) μέσω της εξίσωσης (4.12), και η $PS_{v,\xi,max}$ με $PS_{v,\xi}(T_p)$, η οποία είναι η τιμή της ψευδο-ταχύτητας για περίοδο T_p και απόσβεση ξ , προκύπτει:

$$A = \frac{4\xi PS_{v,\xi}(T_p)}{(e^{-2\pi\xi}) [1 + (\gamma-1)\xi]} \quad (4.13)$$

Το σύνηθες είναι να χρησιμοποιείται το φάσμα ψευδο-ταχυτήτων για απόσβεση 5%. Ας σημειωθεί επίσης ότι στη θέση του φάσματος ψευδο-ταχυτήτων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το φάσμα απόκρισης μετακινήσεων, αφού $PSV(TP)=(2\pi/TP)S_d(TP)$.

Προκειμένου να προσδιοριστεί το πλάτος A της εξίσωσης (4.13), είναι απαραίτητη η γνώση της τιμής της διάρκειας γ . Επειδή όμως αποτελεί άγνωστη παράμετρο, εξετάζονται όλες οι τιμές του γ σε ένα επιλεγμένο εύρος τιμών και από όλα τα ζεύγη (A,γ) , απορρίπτονται εκείνα που δίνουν τιμές του πλάτους επιτάχυνσης, ταχύτητας ή μετακίνησης μεγαλύτερες από τις μέγιστες τιμές εδαφικής επιτάχυνσης (PGA), ταχύτητας (PGV) ή μετακίνησης (PGD), αντίστοιχα. Για τα υπόλοιπα αποδεκτά ζεύγη

που απομένουν (A, γ) , και για όλες τις τιμές της διαφοράς φάσης ν μεταξύ 0° και 360° , υπολογίζονται τα αντίστοιχα κυματίδια. Στη συνέχεια εξετάζονται διάφορες τιμές της χρονικής υστέρησης td για την έναρξη του παλμού για κάθε ένα από αυτά τα κυματίδια. Έτσι, προσδιορίζεται ένα σύνολο πιθανών κυματιδίων, καθένα εκ των οποίων αντιστοιχεί σε διαφορετικό συνδυασμό παραμέτρων A , γ , ν και td . Από τις αντίστοιχες χρονοϊστορίες παλμών (A, γ, ν, td, t) , επιλέγεται εκείνο το κυματίδιο που φαίνεται να σχετίζεται κατά το δυνατόν καλύτερα με τη χρονοϊστορία της εδαφικής ταχύτητας, $v_g(t)$. Με αυτό τον τρόπο υπολογίζεται ο συντελεστής συσχέτισης r για κάθε ζεύγος χρονοϊστοριών (v_p, v_g) , εκ των οποίων επιλέγεται ο παλμός με το μεγαλύτερο r .

Η διαδικασία αυτή -μέσω του συντελεστή r - προσδιορίζει εκτός από τον παλμό που ταιριάζει καλύτερα στη χρονοϊστορία της ταχύτητας και τη στιγμή έναρξης του, td . Αξίζει να σημειωθεί ότι στη μέθοδο των *Mavroeidis & Parageorgiou* (2003), αντί για τη χρονική υστέρηση td χρησιμοποιείται η χρονική στιγμή t_0 (περιοχή της κορυφής της περιβάλλουσας του κυματιδίου) για τον καθορισμό του παλμού. Η τιμή αυτή μπορεί να υπολογιστεί μέσω της σχέσης $t_0 = td + \gamma\pi/2$.

Πίνακας 4.1: Παλμικές κινήσεις που μελετήθηκαν και οι παράμετροι που προέκυψαν με τη εφαρμογή της μεθόδου.

Number	NGA Number	Event	Year	Station	T_p (s)	A (cm/s)	γ	ν ($^\circ$)	t_d (s)
1	77	San Fernando	1971	Pacoima Dam (upper left abut)	1.41	96.55	1.8	5	1.79
2	150	Coyote Lake	1979	Gilroy Array #6	0.94	44.94	1.6	355	1.93
3	158	Imperial Valley-06	1979	Aeropuerto Mexicali	1.64	46.78	2.1	345	3.64
4	159	Imperial Valley-06	1979	Agrarias	1.90	44.04	2.0	25	5.87
5	161	Imperial Valley-06	1979	Brawley Airport	4.78	48.66	1.1	100	5.47
6	170	Imperial Valley-06	1979	EC County Center FF	4.17	52.27	1.5	130	3.77
7	171	Imperial Valley-06	1979	EC Meloland Overpass FF	3.01	114.85	1.4	0	2.86
8	173	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #10	6.08	58.79	1.1	140	3.66
9	174	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #11	6.39	18.55	2.9	245	0.60
10	178	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #3	5.55	39.65	1.2	180	5.00
11	179	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #4	4.32	71.39	1.9	125	2.00
12	180	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #5	3.79	86.02	1.8	135	3.37
13	181	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #6	3.94	97.47	1.9	85	2.62
14	182	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #7	3.44	74.50	2.2	45	2.52
15	183	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #8	5.08	69.50	1.1	80	3.37
16	184	Imperial Valley-06	1979	El Centro Differential Array	5.86	60.43	1.1	70	2.66
17	185	Imperial Valley-06	1979	Holtville Post Office	4.24	47.52	1.7	175	3.35
18	250	Mammoth Lakes-06	1980	Long Valley Dam (Upr L Abut)	1.14	34.99	1.4	300	4.59
19	292	Irpinia, Italy-01	1980	Sturmo	2.64	23.95	5.6	110	1.13
20	316	Westmorland	1981	Parachute Test Site	3.00	25.91	2.2	300	7.54
21	407	Coalinga-05	1983	Oil City	0.56	35.39	3.4	0	2.22
22	415	Coalinga-05	1983	Transmitter Hill	0.75	44.06	3.2	310	2.00
23	418	Coalinga-07	1983	Coalinga-14th & Elm (Old CHP)	0.38	44.60	1.5	135	2.54
24	451	Morgan Hill	1984	Coyote Lake Dam (SW Abut)	0.77	42.78	4.2	300	2.30
25	459	Morgan Hill	1984	Gilroy Array #6	1.17	31.87	2.6	235	4.45

Κεφάλαιο 4: Προσδιορισμός των παλμών μέσω κυματικής ανάλυσης με τη χρήση του φάσματος συνέλιξης

26	503	Taiwan SMART1(40)	1986	SMART1 C00	1.49	29.00	2.1	215	5.91
27	508	Taiwan SMART1(40)	1986	SMART1 M07	1.39	35.07	2.1	215	10.29
28	529	N. Palm Springs	1986	North Palm Springs	1.44	56.48	1.5	345	1.80
29	568	San Salvador	1986	Geotech Investig Center	0.70	68.43	2.2	190	0.63
30	615	Whittier Narrows-01	1987	Downey - Co Maint Bldg	0.81	27.35	2.5	260	4.36
31	645	Whittier Narrows-01	1987	LB - Orange Ave	0.78	30.64	2.4	255	5.10
32	723	Superstition Hills-02	1987	Parachute Test Site	2.41	117.66	1.5	80	10.65
33	738	Loma Prieta	1989	Alameda Naval Air Stn Hanger	2.31	48.18	1.1	315	10.87
34	766	Loma Prieta	1989	Gilroy Array #2	1.54	28.64	4.8	270	1.16
35	783	Loma Prieta	1989	Oakland - Outer Harbor Wharf	1.51	30.82	3.5	255	10.83
36	802	Loma Prieta	1989	Saratoga - Aloha Ave	6.48	36.31	1.2	180	3.10
37	821	Erzican, Turkey	1992	Erzincan	2.42	89.81	1.7	20	1.58
38	828	Cape Mendocino	1992	Petrolia	2.74	57.86	1.5	325	1.13
39	838	Landers	1992	Barstow	7.57	22.97	1.7	135	11.20
40	879	Landers	1992	Lucerne	4.57	96.72	1.6	65	7.03
41	900	Landers	1992	Yermo Fire Station	8.73	56.46	1.1	160	13.28
42	982	Northridge-01	1994	Jensen Filter Plant	2.94	60.02	3.0	285	0.00
43	983	Northridge-01	1994	Jensen Filter Plant Generator	2.94	60.02	3.0	285	0.00
44	1009	Northridge-01	1994	LA - Wadsworth VA Hospital North	2.35	41.98	1.1	110	8.16
45	1013	Northridge-01	1994	LA Dam	2.17	76.26	1.1	220	1.78
46	1045	Northridge-01	1994	Newhall - W Pico Canyon Rd.	2.39	117.85	1.2	290	3.82
47	1050	Northridge-01	1994	Pacoima Dam (downstr)	3.37	11.71	3.2	25	0.04
48	1051	Northridge-01	1994	Pacoima Dam (upper left)	0.90	100.31	1.6	255	3.26
49	1063	Northridge-01	1994	Rinaldi Receiving Sta	1.11	132.51	1.9	240	1.55
50	1084	Northridge-01	1994	Sylmar - Converter Sta	2.95	73.38	3.3	330	0.00
51	1085	Northridge-01	1994	Sylmar - Converter Sta East	3.06	89.17	1.6	175	1.15
52	1086	Northridge-01	1994	Sylmar - Olive View Med FF	2.56	61.88	3.6	355	0.37
53	1119	Kobe, Japan	1995	Takarazuka	1.23	55.97	2.3	145	3.82
54	1120	Kobe, Japan	1995	Takatori	2.08	126.46	3.1	295	3.56
55	1161	Kocaeli, Turkey	1999	Gebze	4.88	42.18	1.8	190	3.37
56	1182	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY006	1.83	59.14	2.0	170	32.80
57	1202	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY035	1.51	32.83	4.0	295	32.27
58	1244	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY101	5.59	99.04	1.1	325	35.49
59	1410	Chi-Chi, Taiwan	1999	TAP003	2.80	25.13	3.6	10	21.88
60	1476	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU029	5.72	63.23	1.8	20	46.24

Κεφάλαιο 4: Προσδιορισμός των παλμών μέσω κυματικής ανάλυσης με τη χρήση του φάσματος συνέλιξης

61	1477	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU031	5.33	58.44	2.3	45	47.98
62	1479	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU034	7.11	24.47	2.6	210	38.49
63	1480	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU036	5.26	61.86	2.0	235	42.32
64	1481	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU038	5.91	52.56	2.0	295	42.77
65	1483	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU040	5.68	59.94	1.9	265	43.61
66	1484	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU042	7.19	23.15	4.0	325	36.96
67	1486	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU046	7.57	28.39	2.5	220	31.14
68	1489	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU049	11.49	42.87	1.5	5	28.49
69	1493	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU053	9.80	27.25	2.2	5	26.92
70	1494	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU054	9.52	48.97	1.4	345	29.21
71	1496	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU056	11.74	23.59	2.1	145	26.15
72	1499	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU060	11.47	23.94	2.2	95	25.04
73	1503	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU065	4.73	82.41	3.7	70	23.65
74	1505	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU068	12.04	183.96	1.6	190	30.60
75	1510	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU075	5.52	96.87	1.3	310	25.80
76	1511	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU076	5.38	53.86	1.1	35	25.77
77	1515	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU082	7.88	44.81	1.7	355	29.04
78	1519	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU087	9.15	56.22	1.1	75	36.14
79	1526	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU098	5.51	18.62	4.0	85	41.79
80	1528	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU101	9.86	56.40	1.3	145	13.15
81	1529	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU102	9.30	87.11	1.1	70	32.94
82	1530	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU103	8.17	89.32	1.1	110	36.50
83	1531	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU104	11.01	21.60	2.5	170	28.34
84	1548	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU128	7.45	107.90	1.1	90	40.18
85	1550	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU136	10.56	60.31	1.1	170	36.72
86	1752	Northwest China-03	1997	Jiashi	1.34	39.33	1.1	40	4.90
87	1853	Yountville	2000	Napa Fire Station #3	2.42	32.53	2.6	330	22.71
88	2457	Chi-Chi, Taiwan-03	1999	CHY024	0.70	43.01	1.7	175	12.58
89	2495	Chi-Chi, Taiwan-03	1999	CHY080	2.96	36.58	2.2	170	10.13
90	2627	Chi-Chi, Taiwan-03	1999	TCU076	1.14	59.72	3.6	110	9.19
91	3317	Chi-Chi, Taiwan-06	1999	CHY101	0.88	61.24	1.4	315	9.78

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Μεθοδολογίες κατασκευής ημισυνθετικών επιταχυνσιογραφημάτων

5.1 Εισαγωγή

Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση των παλμικών εδαφικών κινήσεων στη μη γραμμική συμπεριφορά των κατασκευών, είναι απαραίτητο να εκτελεσθούν μη-γραμμικές αναλύσεις και επομένως να διασφαλιστεί η διαθεσιμότητα των καταγραφών παλμικών εδαφικών κινήσεων. Ωστόσο, ο χαρακτηρισμός των καταγραφών ως παλμικές ή μη, παρουσιάζει μια υποκειμενικότητα εξαιτίας του περιορισμένου αριθμού τους αλλά και του γεγονότος ότι απαιτείται οπτική διάκριση. Η προτεινόμενη από τον Baker μεθοδολογία για τη λύση αυτού του προβλήματος μέσω του παλμικού δείκτη -όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 2- απαιτεί εκτεταμένες υπολογιστικές προσπάθειες λόγω της επαναλαμβανόμενης χρήσης του μετασχηματισμού του κυματιδίου. Επομένως, αυτό που εκκρεμεί είναι η δημιουργία ενός δείκτη που να αποτελεί ένα αντικειμενικό υπολογιστικό κριτήριο.

Εφόσον ο παλμός αποτελεί φαινόμενο χαμηλής συχνότητας και επομένως εμφανίζεται στις χρονοϊστορίες ταχυτήτων και μετακινήσεων, οι προηγούμενες προσπάθειες μοντελοποίησης του παλμού βασίζονταν σε αυτές τις χρονοϊστορίες, όμως σε ολόκληρη την εδαφική κίνηση, αντί της παλμικής μόνο. Κάτι τέτοιο είχε ως αποτέλεσμα η προσομοίωση αυτή να μην είναι ακριβής για σεισμούς κοντινού πεδίου. Ως λύση φυσικά, παρουσιάστηκε η απομόνωση του παλμού από την καταγραφή της χρονοϊστορίας ταχυτήτων, η οποία προτάθηκε από τον Baker.

Στο παρόν κεφάλαιο, τα χαρακτηριστικά που αφορούν στην κατευθυντικότητα των παλμικών εδαφικών κινήσεων μελετώνται εκτενώς και παρουσιάζεται ένα αντικειμενικό υπολογιστικό κριτήριο που να διαχωρίζει τους σεισμούς σε παλμικούς και μη παλμικούς. Επίσης, αναπτύσσεται ένας αλγόριθμος απομόνωσης του παλμού κατευθυντικότητας από τα επιταχυνσιογραφήματα κοντά στην περιοχή του ρήγματος. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν οι 91 καταγραφές του Baker όπως έχουν παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 2.

5.2 Αναγνώριση του παλμού

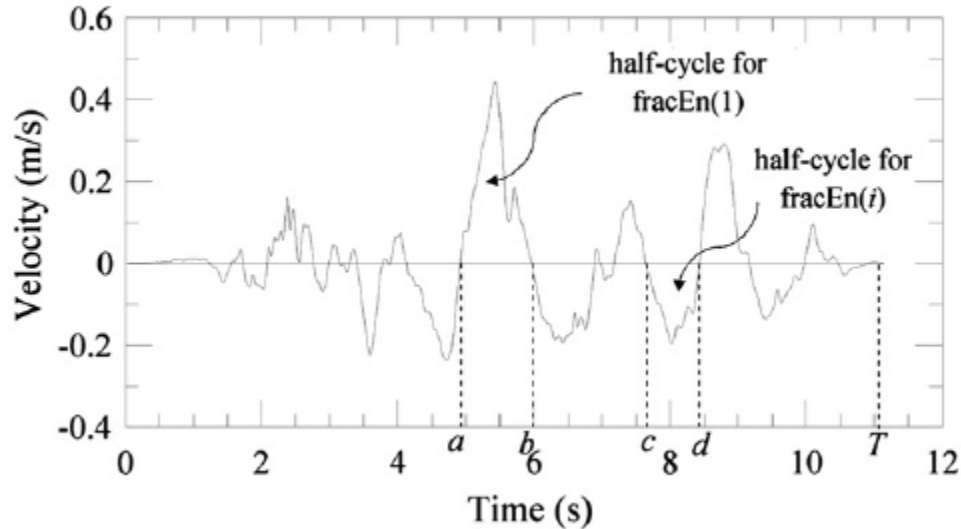
Η παλμική κίνηση μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτή από το υψηλό πλάτος, τη μεγάλη περίοδο και συνεπώς τη μεγάλη ενέργεια που περιέχει ο παλμός στην καταγραφή της εδαφικής κίνησης. Ωστόσο, για μια χρονοϊστορία ταχυτήτων, $v(t)$, θεωρείται ο λόγος της ενέργειας του σήματος $\int v^2(t)dt$ προς τη συνολική ενέργεια κάθε ημικύκλου. Οι λόγοι αυτοί τοποθετούνται σε μια φθίνουσα σειρά, $\text{fracEn}(i)$; $i = 1, 2, 3, \dots$) έτσι ώστε στο $\text{fracEn}(j)$, το j να υποδηλώνει τη μέγιστη κλασματική συνεισφορά ενέργειας μεταξύ διαφορετικών ημικύκλων στη χρονοϊστορία ταχύτητας. Στο Σχήμα 5.1 φαίνονται οι ημικύκλοι μιας χρονοϊστορίας ταχύτητας μεταξύ των τιμών που αντιστοιχούν σε χρόνους $t=c$ και $t=d$, ως ο ημικύκλος με τη μέγιστη ενέργεια. Επομένως:

$$\text{fracEn}(i) = \frac{\int_c^d v^2(t)dt}{\int_0^T v^2(t)dt} \quad , \quad (5.1)$$

όπου T η συνολική διάρκεια της χρονοϊστορίας και αντίστοιχα προκύπτει:

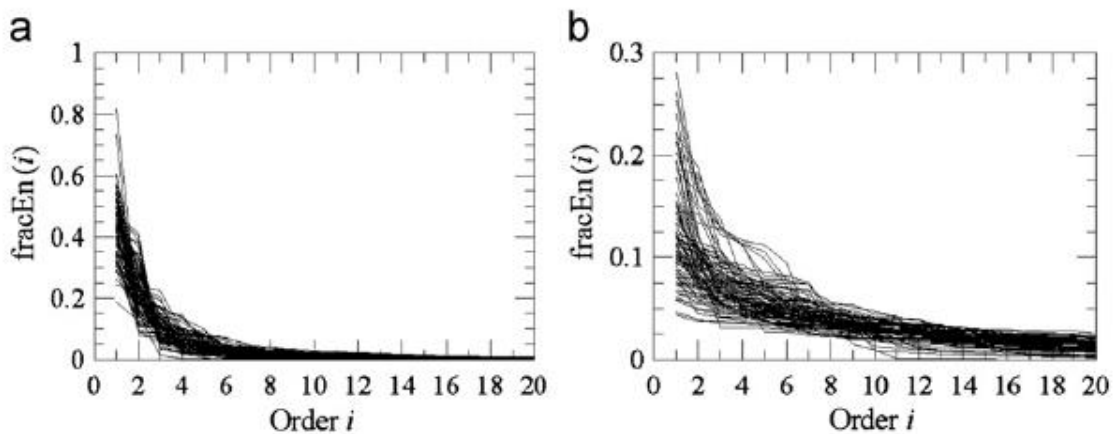
$$\text{fracEn}(i) = \frac{\int_a^b v^2(t)dt}{\int_0^T v^2(t)dt} \quad , \quad (5.2)$$

που αντιπροσωπεύει τη μέγιστη συνεισφορά ενέργειας για τον ημίκυκλο μεταξύ των τιμών που αντιστοιχούν για χρόνους $t=a$ και $t=b$.



Σχήμα 5.1: Απεικόνιση του $\text{fracEn}(i)$ για μια κίνηση χαρακτηρισμένη ως παλμική

Στο σχήμα που ακολουθεί, φαίνονται σχηματικά όλοι οι ημίκυκλοι με τις 20 μεγαλύτερες συνεισφορές ενέργειας.

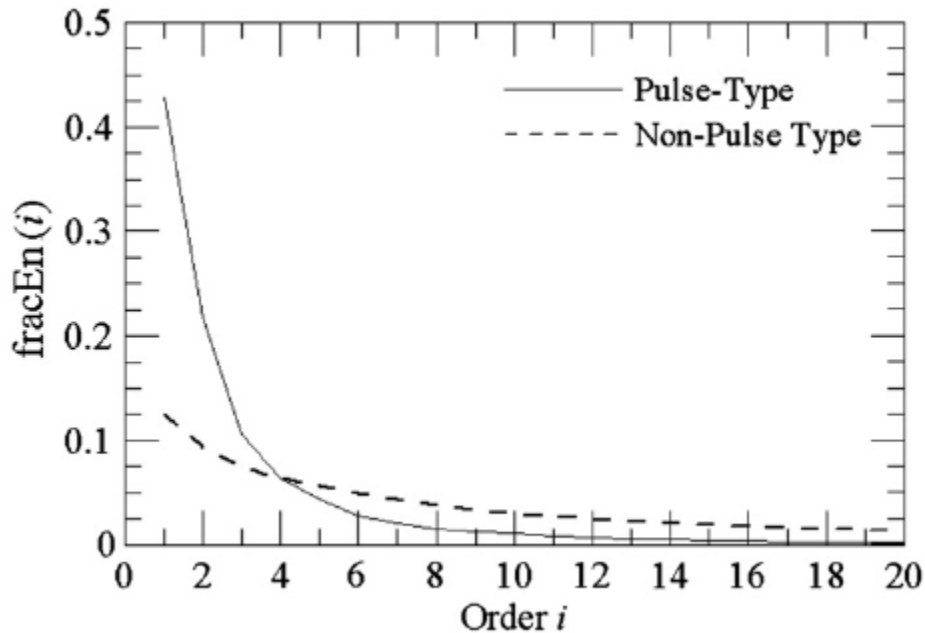


Σχήμα 5.2: Παράσταση του $\text{fracEn}(i)$ για τις (a) 91 καταγραφές παλμικού τύπου και (b) 84 καταγραφές μη παλμικού τύπου

Αναφέρεται ότι η βάση δεδομένων περιλαμβάνει 91 καταγραφές παλμικού τύπου, όπως έχουν καθοριστεί από τον Baker και 84 μη-παλμικού τύπου, από τη βάση δεδομένων NGA.

Στο Σχήμα 5.2 παρατηρείται ότι υπάρχει μια σημαντική διαφορά στον τρόπο που κατανέμονται οι ενέργειες για τους δύο τύπους καταγραφών στον κυρίαρχο ημίκυκλο της ιστορίας, όπως επίσης ότι η μέγιστη τιμή της συνεισφοράς ενέργειας για τις καταγραφές παλμικού τύπου, είναι σημαντικά

μεγαλύτερη από αυτήν των καταγραφών μη-παλμικού τύπου. Το τελευταίο φαίνεται να συμφωνεί με το γεγονός ότι οι παλμοί ταχύτητας σε εδαφικές κινήσεις παλμικού τύπου περιέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας. Οι παρατηρήσεις αυτές μπορούν να γίνουν πιο εμφανείς, στο Σχήμα 5.3 που ακολουθεί, όπου συγκρίνονται οι μέσες καμπύλες που λήφθηκαν από τις παραστάσεις του προηγούμενου σχήματος.



Σχήμα 5.3: Παραστάσεις του $\text{frac}(i)$ για παλμικές και μη-παλμικές εδαφικές κινήσεις.

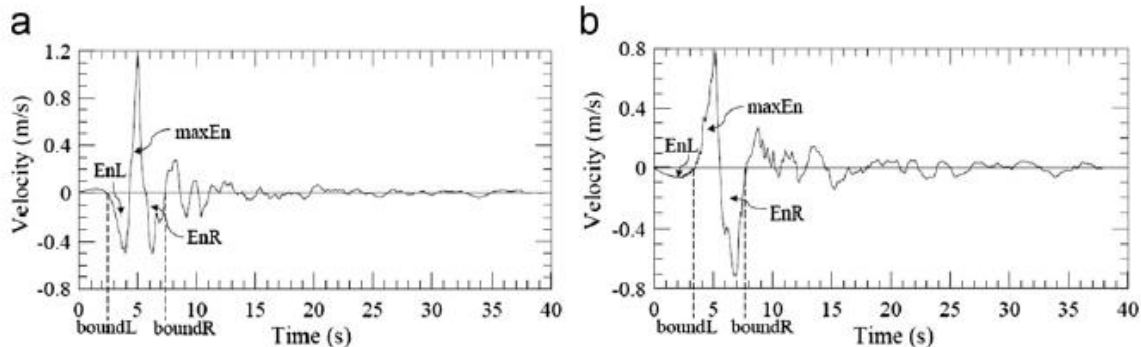
Γίνεται εμφανές από όσα έχουν μόλις αναφερθεί ότι οι καταγραφές παλμικού τύπου έχουν μεγαλύτερες πιθανότητες να σχετίζονται με μεγάλες τιμές του όρου $\text{fracEn}(1)$, και επομένως μπορεί να αποτελέσει ένα κριτήριο διαχωρισμού των εδαφικών κινήσεων σε παλμικές και μη-παλμικές. Προκύπτει έτσι ο παλμικός δείκτης που δίνεται από την εξίσωση:

$$PI = \frac{1}{1 + e^{7.64 - 27 \text{fracEn}(1)}} \quad (5.3)$$

Ο Παλμικός δείκτης (*Pulse Identifier*) λαμβάνει τιμές μεταξύ του 0 και 1. Όταν $PI > 0.5$, τότε η κίνηση χαρακτηρίζεται παλμική, όταν $PI < 0.5$ ως μη παλμική και στην περίπτωση που $PI = 0.5$, ως ασαφής. Οι τιμές που λαμβάνει το $\text{fracEn}(1)$ σε αυτές τις περιπτώσεις είναι μεγαλύτερες από 0.29, μικρότερες του 0.29 ή ίσες με 0.29 αντίστοιχα. Ο δείκτης αυτός βασίζεται σε μια παράμετρο που μπορεί να εξαχθεί κατευθείαν από τη χρονοϊστορία ταχύτητας, χωρίς να απαιτεί περαιτέρω διαδικασίες, για αυτό το λόγο και θεωρείται πολύ πιο απλή από αντίστοιχες μεθόδους που χρησιμοποιούν παραμέτρους βασιζόμενες στο μετασχηματισμό του κυματιδίου της χρονοϊστορίας της ταχύτητας.

5.3 Απομόνωση παλμού ταχύτητας

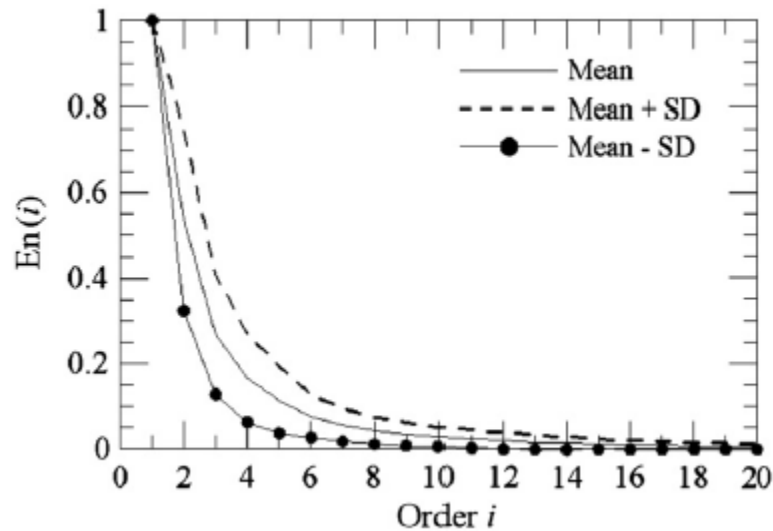
Μετά την ταξινόμηση των καταγραφών των εδαφικών κινήσεων σε παλμικούς ή μη-παλμικούς, είναι χρήσιμος ο διαχωρισμός και η προσομοίωση των παλμών που οφείλονται σε φαινόμενα κατευθυντικότητας, έτσι ώστε οι μη-παλμικές εδαφικές κινήσεις να μπορούν να μετατραπούν σε παλμικές με την προσθήκη ενός (ή περισσότερων) κατάλληλου μοντέλου παλμού για συγκεκριμένο σενάριο σεισμικής διέγερσης. Στην παρούσα μέθοδο εξετάζεται η πιθανότητα διαχωρισμού των παλμικών χαρακτηριστικών από μια ορισμένη ως παλμική κίνηση, λαμβάνοντας υπόψη τις ίδιες 91 καταγραφές που είχαν θεωρηθεί προηγουμένως. Για το σκοπό αυτό, αρχικά θα πρέπει να αναγνωρισθεί το 'χρονικό παράθυρο' μέσα στο οποίο βρίσκεται ο παλμός που θα εξαχθεί. Μέσα από αυτές τις καταγραφές παρατηρείται ότι οι παλμοί στη χρονοϊστορία της ταχύτητας είτε χαρακτηρίζονται από ένα κυρίαρχο ημίκυκλο, ο οποίος βρίσκεται ανάμεσα σε δύο γειτονικούς ημικύκλους (a), είτε από δύο συγκρίσιμους (b), όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στο Σχήμα 5.4.



Σχήμα 5.4: Χρονοϊστορίες ταχύτητας παλμικών εδαφικών κινήσεων με τις ενέργειες (a) EnL και EnR συγκρίσιμες και (b) EnL και EnR μη συγκρίσιμες

Εύκολα παρατηρείται ότι ενώ στο Σχήμα 5.4 (a) η ενέργεια του ημικύκλου που βρίσκεται αριστερά (EnL) του ημικύκλου με τη μέγιστη ενέργεια είναι συγκρίσιμος με αυτήν του αριστερού (EnR), στην περίπτωση (b) του ίδιου σχήματος, οι δυο ενέργειες είναι μη συγκρίσιμες, αφού οι τιμές τους απέχουν σημαντικά. Στο σχήμα παρουσιάζονται επίσης τα χρονικά όρια του παλμού του 'χρονικού παραθύρου' το οποίο αναζητείται –συμβολίζονται με $boundL$ και $boundR$ για το όριο αριστερά και δεξιά του παλμού μέγιστης ενέργειας αντίστοιχα–.

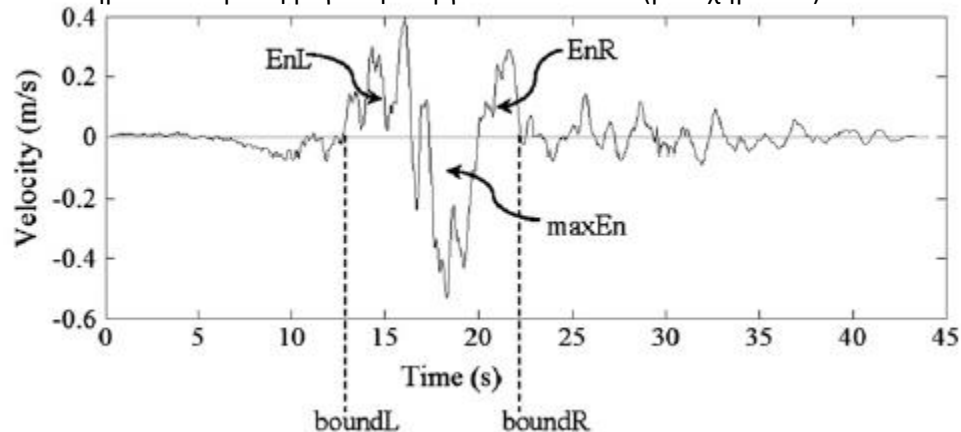
Από τα πιο πάνω σχήματα γίνεται προφανές ότι η σύγκριση των δύο ενεργειών των ημικύκλων μπορεί να αποτελέσει τη βάση για την αναγνώριση του τύπου του παλμού και συνεπώς του χρονικού παραθύρου, χωρίς οπτική διερεύνηση με τον εξής τρόπο: εάν οι δύο αυτές τιμές των ενεργειών – EnL και EnR – είναι συγκρίσιμες, όπως στην περίπτωση (a), το όριο $boundL$ θα αποτελεί τη χρονική στιγμή κατά την οποία αρχίζει ο αριστερός ημικύκλος και το όριο $boundR$ τη χρονική στιγμή που τελειώνει ο δεξιός ημικύκλος. Στην αντίθετη περίπτωση (b), τα δύο αυτά όρια θα περικλείουν τον κεντρικό ημικύκλο και το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που κατανέμεται στους δυο ημικύκλους εκατέρωθεν του κεντρικού. Προκειμένου η άφιξη του παλμού να βρίσκεται εντός ενός ανεκτού φάσματος του λόγου EnL/EnR , έτσι ώστε οι δυο όροι να θεωρούνται συγκρίσιμοι, γίνεται κανονικοποίηση μέσω του $fracEn(1)$ για κάθε μια από τις 91 παλμικές καταγραφές. Στο Σχήμα 5.5 παρουσιάζονται η μέση τιμή, καθώς επίσης η μέση τιμή \pm την τυπική απόκλιση των αποτελεσμάτων των $En(i)$, όπου $En(j)$ με j να αντιστοιχεί στο μέγιστο κανονικοποιημένο σήμα ενέργειας ενός ημικύκλου ταχύτητας μέσα στη χρονοϊστορία.



Σχήμα 5.5: Μέση τιμή, Μέση τιμή + Τυπική Απόκλιση (SD) και Μέση τιμή – Τυπική Απόκλιση (SD) των καμπυλών $E_n(i)$ για παλμικές καταγραφές

Από τα πιο πάνω προκύπτει ότι για να είναι οι ενέργειες E_{nL} και E_{nR} συγκρίσιμες μεταξύ τους, μια κατάλληλη αναλογία του E_{nL}/E_{nR} μπορεί να εκτιμηθεί λαμβάνοντας το λόγο $E_n(2)/E_n(3)$ από το Σχήμα 5.5. Εάν ο λόγος E_{nL}/E_{nR} συμπίπτει ανάμεσα στις αναλογίες $E_n(2)/E_n(3)$ και $E_n(3)/E_n(2)$, τότε οι ενέργειες θεωρούνται συγκρίσιμες και έχουν τα όρια του Σχήματος 5.4(a), αλλιώς στην αντίθετη περίπτωση τα όρια είναι αυτά του Σχήματος 5.4(b). Στη θέση αυτού του κριτηρίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί η καμπύλη Μέσης τιμής πλην (-) της τυπικής απόκλισης, εφόσον $E_n(2)/E_n(3) = 0.4$ και συνεπώς μπορεί να ορισθεί το χρονικό παράθυρο με όρια $0.4 < E_{nL}/E_{nR} < 1/0.4 = 2.5$, το οποίο θεωρείται ικανοποιητικό.

Επειδή η μέθοδος αυτή δεν λαμβάνει υπόψη της την πιθανή παρουσία ψευδό-ημικύκλων που οφείλονται σε υψίσυχνα κύματα της εδικής κίνησης, κρίνεται απαραίτητο να απορριφθούν. Επομένως, θεωρείται το μήκος του ημικύκλου με τη μέγιστη ενέργεια $\max E_n$, η οποία αντιστοιχεί σε ένα T_{\max} και στη συνέχεια επιλέγεται το χρονικό παράθυρο ως το σύνολο των ημικύκλων που περιλαμβάνονται εκατέρωθεν του ημικύκλου με τη μέγιστη ενέργεια κατά T_{\max} (βλ. Σχήμα 5.6).

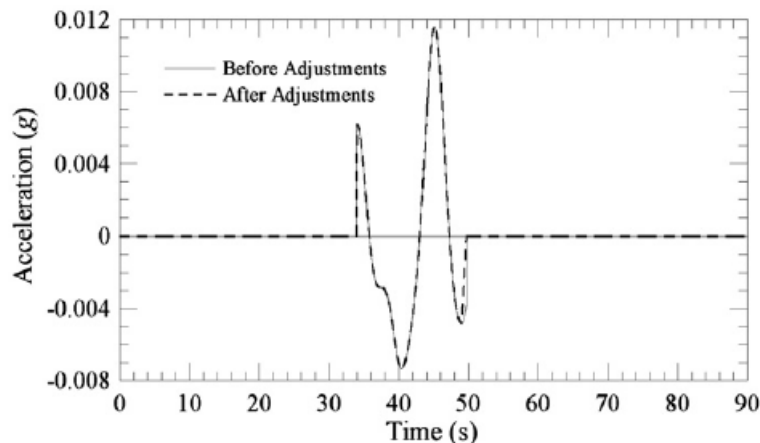


Σχήμα 5.6: Παλμός χρονικού παραθύρου για την παλμική σεισμική καταγραφή στο Yermo (1992).

Αφού έχει πλέον ορισθεί το χρονικό παράθυρο σε μια χρονοϊστορία ταχύτητας, αναμένεται ότι το αντίστοιχο επιταχυνσιογράφημα μέσα σε αυτό το χρονικό παράθυρο θα περιέχει αφενός ένα ασύνδετο μέρος το οποίο θα κυριαρχεί και θα κατανέμεται από υψίσυχνα κύματα και αφετέρου έναν παλμό κατευθυντικότητας μεγάλης περιόδου που θα έχει δημιουργηθεί λόγω της παρεμπόδισης της εξάπλωσης των κυμάτων κατά τη διάρκεια της σεισμικής δόνησης. Το φαινόμενο της παρεμπόδισης είναι εύλογο σε περιοχές κοντά στην πηγή του ρήγματος, βάσει τη διάδοση της διάρρηξης, όταν η ταχύτητα της διάρρηξης είναι συγκρίσιμη με αυτήν του κύματος διάτμησης, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα τη διάδοση μιας μεγάλης ποσότητας ενέργειας.

Το υψίσυχο μέρος του επιταχυνσιογραφήματος που κυριαρχεί στην εδαφική κίνηση θα πρέπει να αφαιρεθεί προκειμένου να αναγνωρισθεί ο παλμός κατευθυντικότητας μέσα στον παλμό χρονικού παραθύρου. Η αναγνώριση του παλμού επιτυγχάνεται μέσω μιας συνεχόμενης διαδικασίας $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$ -εξομάλυνσης ολόκληρου του επιταχυνσιογραφήματος, μέχρις ότου να μην υπάρχουν θετικές κοιλίες και αρνητικές κορυφές μέσα στο χρονικό παράθυρο. Μπορεί τότε να ορισθεί ο παλμός επιτάχυνσης ως το εξομαλυμένο επιταχυνσιογράφημα εντός της περιοχής του χρονικού παραθύρου ($\text{boundL} - \Delta t < t < \text{boundR} + \Delta t$ και μηδέν αλλού). Κάτι ακόμη που μπορεί να παρατηρηθεί είναι ότι η εξομάλυνση αυτή προκαλεί και ορισμένες μειώσεις στη συμβολή των μεγάλων περιόδων, το οποίο οφείλεται στην πολύ μεγάλη ζώνη μετάβασης που συμπεριλαμβάνεται στην προτεινόμενη μέθοδο.

Ορισμένες ακόμα προσαρμογές απαιτούνται, λόγω των απότομων αλλαγών που δημιουργούνται στον παλμό επιτάχυνσης κατά την εξομάλυνση αυτή μεταξύ των ορίων $t = \text{boundL}$ και $t = \text{boundL} + \Delta t$, αλλά και μεταξύ των $t = \text{boundR} - \Delta t$ και $t = \text{boundR}$, λόγω του περιορισμού ότι ο παλμός πρέπει να παίρνει μηδενική τιμή στην αρχή και το τέλος της περιόδου του χρονικού παραθύρου. Αυτό που προτείνεται, λοιπόν, είναι η αναγνώριση της πρώτης και τελευταίας κορυφής/κοιλίας στον παλμό επιτάχυνσης και να υποθεθεί γραμμική παρεμβολή μεταξύ των μηδενικών τιμών στις χρονικές στιγμές $t = \text{boundL}$ και $t = \text{boundR}$ και των κορυφών/κοιλιών. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνονται οι προτεινόμενες προσαρμογές στην περίπτωση της παλμικής εδαφικής κίνησης που καταγράφηκε στον σταθμό TCU104 κατά τη διάρκεια του σειμού Chi-Chi το 1999.



Σχήμα 5.7: Παλμός επιτάχυνσης πριν και μετά τις προσαρμογές της παλμικής εδαφικής κίνησης που καταγράφηκε στον σταθμό TCU104 κατά τη διάρκεια του σειμού Chi-Chi το 1999.

Προτείνονται, τέλος, κάποιες επιπρόσθετες διορθώσεις στις βασικές εξισώσεις, που σύμφωνα με τους Boore et al. προκύπτουν οι εξής:

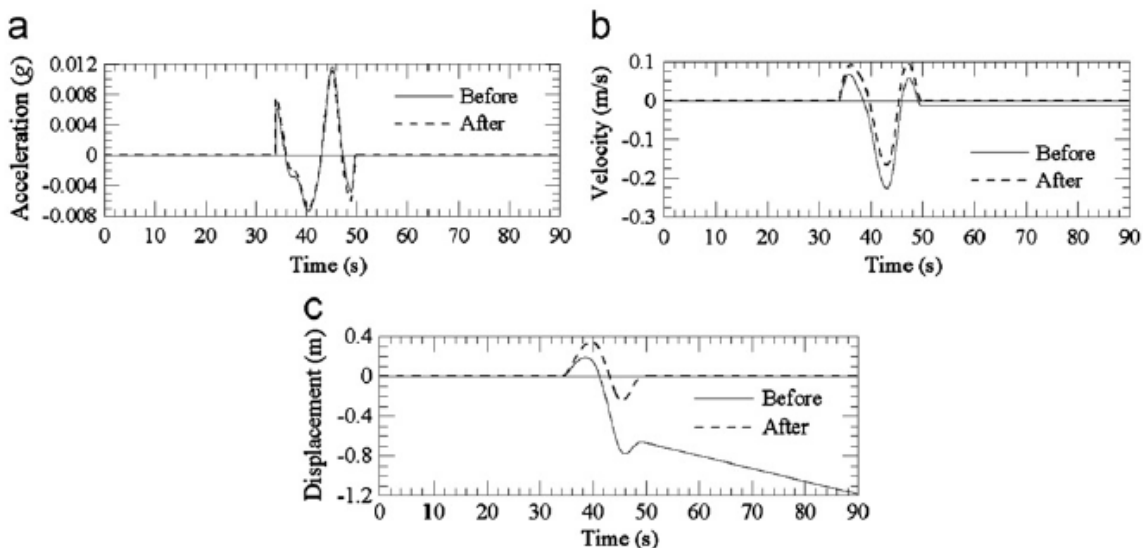
$$dc(t') = at'^3 + bt'^2 + ct' + d, \quad (5.4)$$

όπου $t' = t - \text{boundL}$. Στην περίπτωση που οι αρχικές και τελικές τιμές στους αντίστοιχους παλμούς είναι μηδενικές, ισχύουν τα παρακάτω:

$$a = \frac{-vp(Tp)Tp+2 dp(Tp)}{Tp^3} \quad (5.5)$$

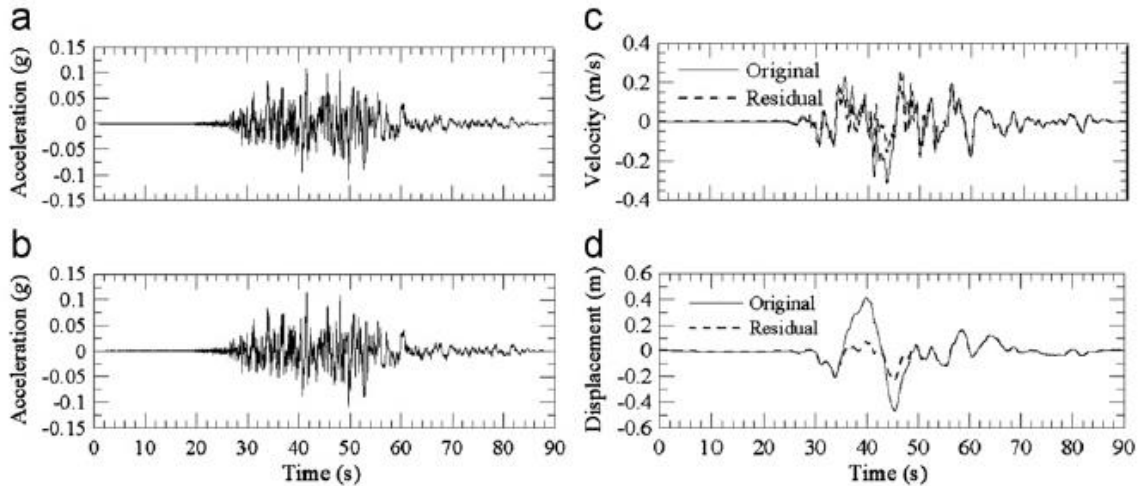
$$b = \frac{vp(Tp)Tp-3 dp(Tp)}{Tp^2} \quad (5.6)$$

και $c=d=0$. Εδώ, $Tp = \text{boundR} - \text{boundL}$ αντιπροσωπεύει τη διάρκεια του παλμού ή το μήκος του παλμού του χρονικού παραθύρου και τα $vp(Tp)$ και $dp(Tp)$ την ταχύτητα και τη μετατόπιση, αντίστοιχα, του παλμού, τη χρονική στιγμή $t = \text{boundR}$. Η διορθωμένη βασική εξίσωση της επιτάχυνσης επιτυγχάνεται προσθέτοντας $ac(t') = 6at' + 2b$ στο μη διορθωμένο παλμό μεταξύ $t = \text{boundL}$ και $t = \text{boundR}$. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνονται οι διορθώσεις αυτές σχηματικά για το καθένα.



Σχήμα 5.8: Παλμοί (α)επιτάχυνσης, (β)ταχύτητας και (γ) μετατόπισης, πριν και μετά τη διόρθωση της παλμικής κίνησης που καταγράφηκε στον σταθμό TCU104 κατά τη διάρκεια του σεισμού Chi-Chi το 1999.

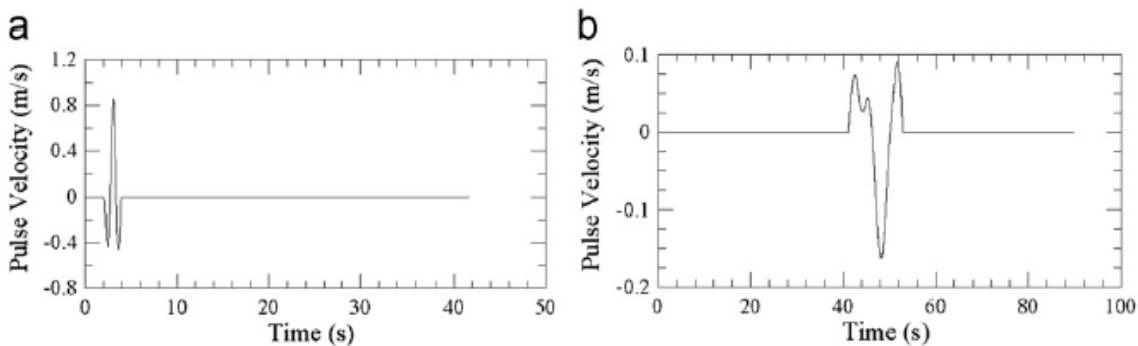
Αφού έχει πλέον ορισθεί ο παλμός από το επιταχυνσιογράφημα από τη δοσμένη παλμική καταγραφή και έχουν γίνει οι απαραίτητες προσαρμογές και διορθώσεις που έχουν αναφερθεί πιο πάνω, μπορεί να εξαχθεί ο παλμός και να απομονωθεί από το αρχικό επιταχυνσιογράφημα(*original*), δίνοντας έτσι το εναπομένον(*residual*). Στο σχήμα 5.9 φαίνονται συγκριτικά το αρχικό και το εναπομένον επιταχυνσιογράφημα, όπως επίσης οι ιστορίες επιτάχυνσης και ταχύτητας, για την παλμική εδαφική κίνηση που καταγράφηκε στον σταθμό TCU104 κατά τη διάρκεια του σεισμού Chi-Chi το 1999.



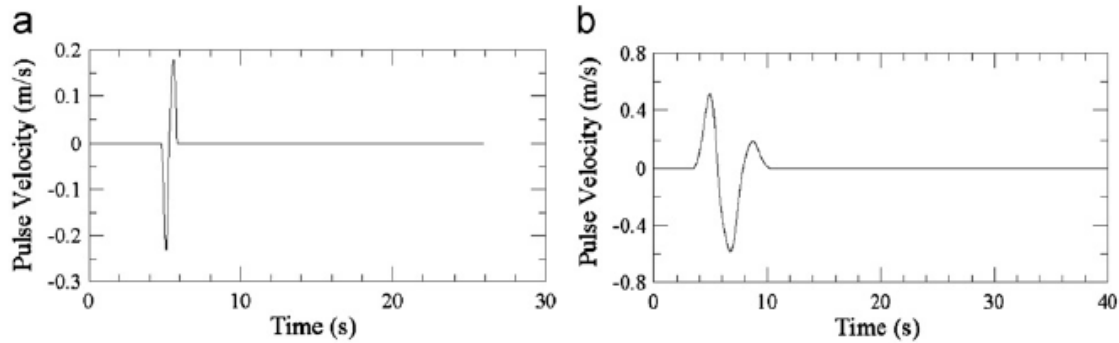
Σχήμα 5.9: (α) αρχικό και (β) εναπομένον επιταχυνσιογράφημα, και αρχικές και εναπομένουσες χρονοϊστορίες (γ) ταχύτητας και (δ) μετατόπισης, της παλμικής κίνησης που καταγράφηκε στον σταθμό TC104 κατά τη διάρκεια του σεισμού Chi-Chi το 1999.

5.4 Τύποι εξαγόμενων παλμών

Θεωρώντας ότι η κατευθυντικότητα των παλμικών εδαφικών κινήσεων μπορεί να θεωρηθεί ως η πρόσθεση του παλμού (ή των παλμών) κατευθυντικότητας με μια μη-παλμική εδαφική κίνηση, θα είναι πολύ χρήσιμη η μοντελοποίηση τέτοιων παλμών για να προσομοιάσουν παλμικές κινήσεις. Όλοι οι παλμοί ταχύτητας οι οποίοι έχουν εξαχθεί από τις 91 παλμικού τύπου καταγραφές, φαίνεται να κατηγοριοποιούνται σε δύο τύπους παλμών. Στον πρώτο τύπο (*παλμοί Τύπου 1*), υπάγονται οι παλμοί ταχύτητας που περιέχουν τρεις ημικύκλους, με το πλάτος του πρώτου και του τρίτου να είναι συγκρίσιμοι, όχι όμως και με αυτό του ενδιάμεσου παλμού. Στο δεύτερο, (*παλμοί Τύπου 2*), ανήκουν αυτοί οι παλμοί που περιέχουν δυο ημικύκλους με συγκρίσιμα μεταξύ τους πλάτη. Στα σχήματα που ακολουθούν (Σχήμα 5.10 και 5.11) φαίνονται οι εξαγόμενοι από παλμικές κινήσεις Τύπου 1 και Τύπου 2, αντίστοιχα.



Σχήμα 5.10: Τύπου 1 παλμοί εξαγόμενοι από τις κινήσεις που καταγράφηκαν στο (α) άνω αριστερό αντέρεισμα του φράγματος Rasoiima κατά τη διάρκεια του σεισμού που έγινε στο San Fernando (1971) και (β) στο TC098 κατά τη διάρκεια του σεισμού Chi-Chi (1999).



Σχήμα 5.11: Τύπου 1 παλμοί εξαγόμενοι από τις κινήσεις που καταγράφηκαν στο (a) άνω αριστερό αντέρεισμα του φράγματος Long Valley κατά τη διάρκεια του σεισμού που έγινε στο Mammoth Lakes (1980) και (b) El Centro Array # 4 κατά τη διάρκεια του σεισμού στο Imperial Valley (1979).

Σημειώνεται ότι στο Σχήμα 5.11 φαίνονται τρεις ημίκυκλοι και όχι δύο, που όμως τα πλάτη του πρώτου και τρίτου δεν είναι σύγκριμα. Σε τέτοιες περιπτώσεις αγνοείται το ελάχιστο πλάτος από τα τρία, που στην προκειμένη περίπτωση είναι αυτό του τρίτου ημικύκλου.

Στις 91 καταγραφές που μελετήθηκαν, οι 63 περιείχαν πρωτεύοντα παλμό τύπου 1 και οι υπόλοιποι 28 Τύπου 2. Μεταξύ αυτών, οι 22 παρουσίασαν και ένα δευτερεύοντα παλμό, εκτός του πρωτεύοντος, 12 εκ των οποίων ταξινομούνται ως παλμοί Τύπου 1 και οι υπόλοιποι 10 Τύπου 2. Δεν έχει παρατηρηθεί μια συσχέτιση μεταξύ των πρωτευόντων και δευτερευόντων παλμών και συνεπώς ο δεύτερος παλμός μπορεί να είναι διαφορετικού τύπου από τον πρώτο.

5.5 Προσομοίωση παλμών Τύπου 1 και Τύπου 2

Τόσο οι παλμοί ταχύτητας Τύπου 1, όσο και οι Τύπου 2, μπορούν να εκφραστούν με τον εξής τρόπο:

$$vMH(t') = A(1 - \frac{t'^2}{\sigma^2})e^{-\frac{t'^2}{2\sigma^2}} \quad (5.7)$$

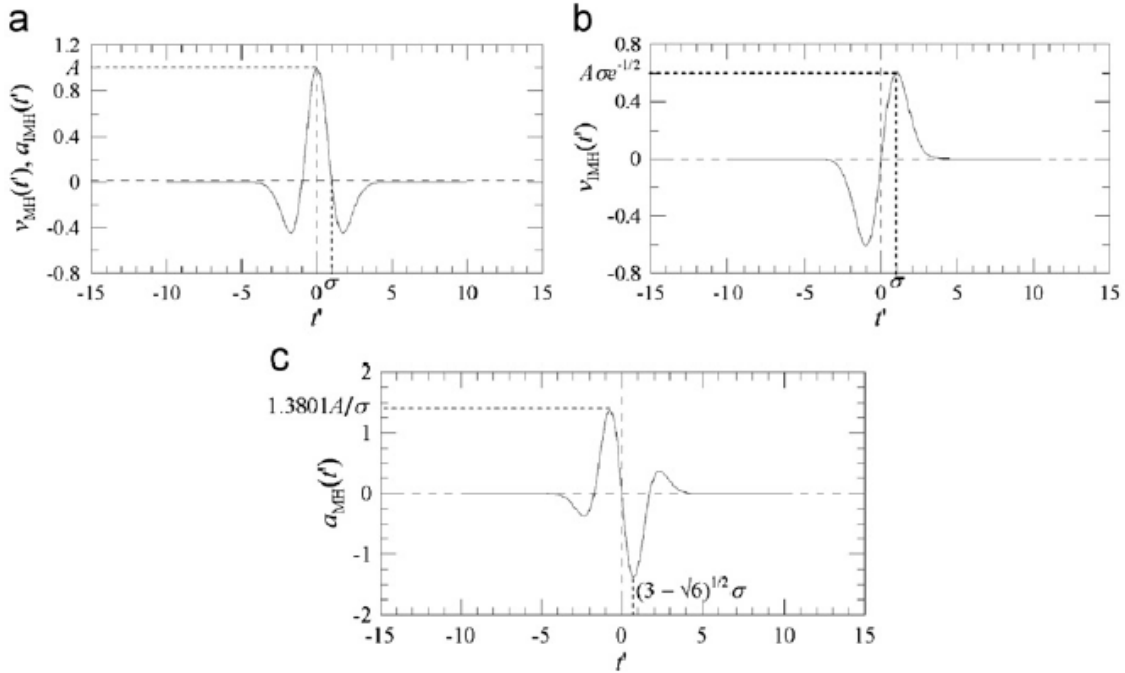
$$vIMH(t') = At'e^{-\frac{t'^2}{2\sigma^2}} \quad (5.8)$$

για παλμούς Τύπου 1 και Τύπου 2, αντίστοιχα, όπου $t' = 0$ και $t' = \pm \sigma$ αναφέρονται αντίστοιχα στη μέγιστη τιμή A και μηδενικές τιμές στο $vMH(t')$. Οι αντίστοιχοι παλμοί επιτάχυνσης Τύπου 1 και Τύπου 2, συνεπώς, εκφράζονται ως:

$$aMH(t') = A(\frac{t'^3}{\sigma^4} - \frac{3t'}{\sigma^2})e^{-\frac{t'^2}{2\sigma^2}} \quad (5.9)$$

$$aIMH(t') = vMH(t') \quad (5.10)$$

Οι εξισώσεις αυτές φαίνονται στο σχήμα 5.12 που ακολουθεί στα σχήματα (c) και (a) αντιστοίχως.



Σχήμα 5.12: (α) Προσεγγίσεις Παλμού ταχύτητας Τύπου 1 και Παλμού επιτάχυνσης Τύπου 2, (β) Προσέγγιση παλμού ταχύτητας Τύπου 2 και (γ) Προσέγγιση παλμού επιτάχυνσης Τύπου 1, για $A = \sigma = 1$

Στις πιο πάνω προσεγγίσεις αναφέρονται οι παράμετροι A και σ , όπου το A αντιπροσωπεύει το πλάτος της συνάρτησης Mexican Hat, φαίνεται σχηματικά στο Σχήμα 5.12 (α) και το σ δείχνει πόσο στενή ή ανοικτή είναι η συνάρτηση. Εύλογη φαίνεται η λογική ότι το σ σχετίζεται με τη δεσπόζουσα περίοδο της συνάρτησης Mexican Hat, καθώς επίσης και με την παράγωγο και το ολοκλήρωμα τη συνάρτησης αυτής. Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν αναλυτικές εκφράσεις που να τα προσδιορίζουν, οι δεσπόζουσες περίοδοι προσδιορίζονται για τιμές του σ από 0.1 μέχρι και 1.5 και βάσει αυτών προσδιορίζονται οι αντίστοιχες σχέσεις που συνδέουν το σ με τις δεσπόζουσες ιδιοπεριόδους $T_{v,MH}$, $T_{v,IMH}$ και $T_{a,MH}$ of $v_{MH}(t')$, $v_{IMH}(t')$ and $a_{MH}(t')$:

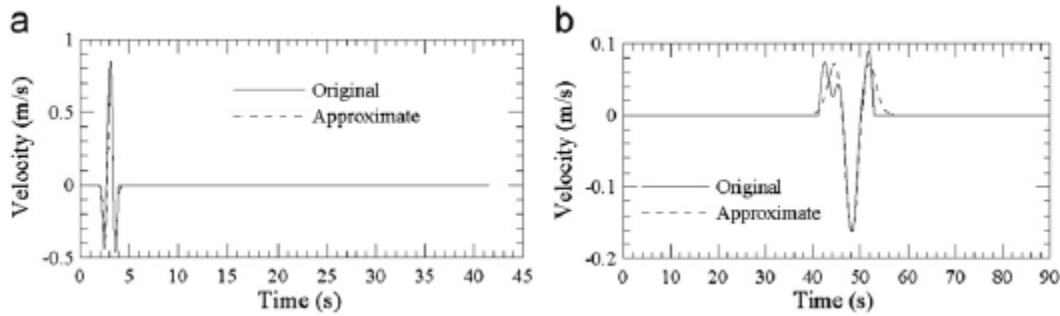
$$\sigma = 0.2220 T_{v,MH} \quad (5.11)$$

$$\sigma = 0.1570 T_{v,IMH} \quad (5.12)$$

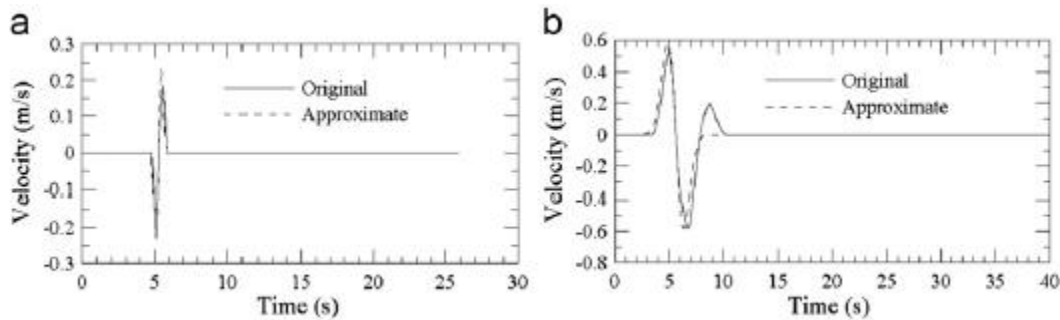
$$\sigma = 0.2797 T_{a,MH} \quad (5.13)$$

5.6 Απεικόνιση του προτεινόμενου προσομοιωμένου

Για την απεικόνιση της προσομοίωσης των προτεινόμενων παλμών κατευθυντικότητας, οι παλμοί ταχύτητας που φαίνονται στα Σχήματα 5.10 και 5.11 προσεγγίζονται χρησιμοποιώντας το πλάτος A και τη δεσπόζουσα περίοδο τους, T_p . Τα Σχήματα 5.13 και 5.14 που ακολουθούν παρουσιάζουν συγκριτικά αυτούς τους παλμούς με τους προσεγγιστικούς παλμούς.



Σχήμα 5.13: Σύγκριση του αρχικού παλμού ταχύτητας με τον προσεγγιστικό παλμό ταχύτητας για τον οποίο ισχύει $A = A_n$ και $T_{n,MH} = T_{pn}$ για καταγραφές παλμικών κινήσεων στο (a) άνω αριστερό αντέρεισμα του φράγματος Rascoima κατά τη διάρκεια του σεισμού που έγινε στο San Fernando (1971) – με $A_n = 0.852 \text{ m/s}$, $T_{pn} = 1.339 \text{ s}$ - και (b) στο TCU098 κατά τη διάρκεια του σεισμού Chi-Chi (1999) – με $A_n = 0.162 \text{ m/s}$, $T_{pn} = 9.514 \text{ s}$ -.



Σχήμα 5.14: Σύγκριση του αρχικού παλμού ταχύτητας με τον προσεγγιστικό παλμό ταχύτητας για τον οποίο ισχύει $A = A_0 e^{-1/2}$ και $T_{n1,MH} = T_{pn}$ για καταγραφές παλμικών κινήσεων στο (a) άνω αριστερό αντέρεισμα του φράγματος Long Valley κατά τη διάρκεια του σεισμού που έγινε στο Mammoth Lakes (1980) -με $A_n = 0.231 \text{ m/s}$, $T_{pn} = 1.189 \text{ s}$ - και και (b) El Centro Array # 4 κατά τη διάρκεια του σεισμού στο Imperial Valley (1979) -με $A_n = 0.583 \text{ m/s}$, $T_{pn} = 4.757 \text{ s}$ - .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Συμπεράσματα

6.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η μεθοδολογία ημισυνθετικών επιταχυνσιογραφημάτων για σεισμούς κοντινού πεδίου. Για το σκοπό αυτό, έχει χρησιμοποιηθεί ένα σύνολο 91 καταγραφών της βάσης δεδομένων *NGA (Next Generation Attenuation)*, οι οποίες χαρακτηρίστηκαν από τον *Baker (2007)* ως παλμικές. Για τη μαθηματική αναπαράσταση των παλμών, χρησιμοποιήθηκε το κυματίδιο που πρότειναν οι *Mavroeidis & Papageorgiou (2003)*, ενώ οι παράμετροί του προσδιορίστηκαν σύμφωνα με τη μέθοδο των *Mimoglou et al. (2014)*. Χρησιμοποιήθηκε επίσης ένα τυχαίο δείγμα τριών (3) καταγραφών, -με αριθμούς 160, 495 και 776- οι οποίες είχαν χαρακτηριστεί ως μη-παλμικού τύπου εξίσου από τον *Baker (2007)* και *Kardoutsou et al. (2017)*.

Η κατασκευή των ημι-συνθετικών επιταχυνσιογραφημάτων προκύπτει από τη βασική ιδέα δημιουργίας τους, σε έρευνα που έχει γίνει από τους *Suparno Mukhopadhyay, VinayK.Gupta (2012)*, η οποία υποστηρίζει ότι μια μη-παλμική καταγραφή μπορεί να μετατραπεί σε παλμική με την προσθήκη ενός κατάλληλου μοντέλου παλμού για ένα συγκεκριμένο σενάριο σεισμικής διέγερσης. Έτσι, διερευνήθηκαν πέντε διαφορετικά σενάρια τέτοιου είδους επιταχυνσιογραφημάτων, με σκοπό να διαπιστωθεί εάν κάποιο (ή κάποια) από αυτά μπορούν να αντικαταστήσουν την αρχική καταγραφή επαρκώς.

Όλα τα προτεινόμενα ημισυνθετικά επιταχυνσιογραφήματα που έχουν κατασκευαστεί αφορούν σε συντελεστή συμπεριφοράς $q = 3$, έδαφος κατηγορίας Β και συντελεστή απόσβεσης 5%. Πρώτη προτεινόμενη προσέγγιση αποτελεί το ημισυνθετικό επιταχυνσιογράφημα που δημιουργείται από την προσαρμογή μιας τυχαίας μη-παλμικής καταγραφής εδαφικής κίνησης στο Ελαστικό φάσμα του Ευροκώδικα 8 (EC8), το οποίο φαίνεται στο παράρτημα που ακολουθεί. Μετά την προσαρμογή αυτή προστίθεται σε αυτήν ο παλμός -που είχε απομονωθεί μέσω της μεθοδολογίας *Mimoglou et al. (2014)*- που αντιστοιχεί στην κάθε καταγραφή από το σύνολο των 91 παλμικών που λαμβάνονται υπόψη. Εδώ αναφέρεται ότι το PSA_{eff} έχει ληφθεί από τις χρονοϊστορίες των τυχαίων μη-παλμικών καταγραφών (160, 495 και 776) ως ο λόγος των μέσων όρων των επιταχύνσεων που αντιστοιχούν σε ένα εύρος περιόδων από 0.1 – 0.5 sec διαιρεμένων με $q=2.5$.

Εάν από την αρχική καταγραφή απομονωθεί ο παλμός από τη χρονοϊστορία ταχύτητας, απομένει η καταγραφή πλην του παλμού, η οποία θα ονομάζεται ως εναπομένουσα καταγραφή (residual). Ως δεύτερη πρόταση, συνεπώς, ερευνάται η προσαρμογή της εναπομένουσας καταγραφής στο Ανελαστικό φάσμα του Ευροκώδικα, με την προσθήκη του αντίστοιχου της παλμού, όπως στην προηγούμενη περίπτωση. Η διαδικασία όπως γίνεται φανερό, επαναλαμβάνεται για όλες (91) τις παλμικές καταγραφές, όπως και η πρώτη πρόταση.

Επιπρόσθετα, εξετάζονται τρεις ακόμη περιπτώσεις ημισυνθετικών επιταχυνσιογραφημάτων που προκύπτουν από το άθροισμα της τυχαίας καταγραφής με τον αντίστοιχο της παλμό, την τυχαία καταγραφή μόνο και την εναπομένουσα καταγραφή μόνο. Τα αποτελέσματα των τεχνητών επιταχυνσιογραφημάτων των προαναφερόμενων περιπτώσεων συγκρίνονται το καθένα ξεχωριστά με την αρχική καταγραφή, αλλά και μεταξύ τους, σε όρους πλαστιμότητας και μετατοπίσεων.

Στα Σχήματα 6.1, 6.2 και 6.3 του παραρτήματος, παρουσιάζονται συγκριτικά στο ίδιο γράφημα τα πέντε προτεινόμενα φάσματα, μαζί με το φάσμα της αρχικής καταγραφής, για τις χρονοϊστορίες 160, 495 και 776, αντίστοιχα, για τις 91 καταγραφές.

Στον Πίνακα 6.1 που ακολουθεί φαίνονται τα αποτελέσματα για τα προτεινόμενα μοντέλα ημισυνθετιών επιταχυνσιογραφημάτων σε όρους πλαστιμοτήτων (μ). Για την καλύτερη ανάλυση των αποτελεσμάτων και εξαγωγή ορθότερων συμπερασμάτων, οι όροι αυτοί είναι διαιρεμένοι με το $q = 3$, το οποίο λήφθηκε ως παράμετρος κατά την κατασκευή των επιταχυνσιογραφημάτων. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτή η απαίτηση της κατασκευής των ημισυνθετικών επιταχυνσιογραφημάτων σε σχέση με την πλαστιμότητα σχεδιασμού για την κάθε περίπτωση.

Πίνακας 6.1: Αποτελέσματα απαίτησης πλαστιμότητας (μ) του αρχικού και των ημισυνθετικών επιταχυνσιογραφημάτων για τις 91 παλμικές καταγραφές (Baker 2007), για τη μη-παλμική καταγραφή (160).

	DATA 1/ q	(160 + EC8+TH1) / q	(160 + TH1)/ q	RESID/ q	(RESID + EC8+ TH1)/ q	160/ q
1	2.06	1.42	1.75	1.43	1.54	1.75
2	1.73	1.41	1.63	0.97	0.83	1.63
3	1.42	1.45	1.52	1.27	0.84	1.43
4	2.25	1.46	1.65	1.23	1.62	1.43
5	1.45	1.21	1.40	0.79	0.56	1.11
6	1.63	1.47	1.29	0.72	0.75	0.84
7	1.11	1.22	1.68	1.36	1.31	1.35
8	1.17	1.16	1.42	0.97	1.17	2.29
9	1.00	1.16	1.23	1.21	1.10	2.30
10	1.29	1.05	1.18	1.06	0.78	1.13
11	1.77	1.26	1.30	1.01	1.47	0.76
12	2.27	1.32	1.71	1.06	0.94	1.17
13	2.31	1.08	2.11	0.70	0.77	1.01
14	1.68	1.13	1.31	1.43	1.03	1.15
15	1.30	1.27	1.19	1.01	1.01	1.07
16	1.33	0.80	0.88	1.05	0.97	2.27
17	2.39	1.06	1.13	1.03	0.93	0.81
18	2.08	1.51	1.63	1.49	1.27	1.53
19	3.49	1.33	1.44	2.47	0.87	1.35
20	1.41	0.90	1.23	1.54	1.23	1.35
21	1.60	1.38	1.46	1.60	3.60	1.63
22	1.99	1.66	1.57	2.39	2.58	2.48
23	2.60	1.61	2.48	2.06	3.06	2.48
24	1.99	1.52	1.67	1.21	3.22	1.75
25	1.77	1.96	2.64	1.16	0.89	1.75
26	2.35	1.21	1.33	1.11	0.93	1.19
27	2.51	1.39	1.53	1.01	1.26	1.19
28	1.87	2.24	2.64	1.21	1.22	1.19
29	2.09	1.72	0.83	1.11	1.72	1.75

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

30	3.46	1.26	1.31	1.52	1.11	1.75
31	3.19	1.01	1.08	1.96	1.17	1.75
32	1.34	1.84	2.73	1.46	2.11	1.43
33	4.58	1.35	1.51	0.80	0.91	1.43
34	2.58	1.53	1.37	1.42	1.16	1.03
35	1.74	1.21	1.65	1.13	1.13	1.19
36	1.27	0.77	0.81	0.63	1.28	2.23
37	1.36	2.52	2.19	0.93	1.01	1.43
38	1.61	1.01	1.81	0.92	0.90	1.35
39	2.45	1.23	1.31	0.80	0.89	2.31
40	2.34	1.11	1.17	2.58	1.59	0.84
41	0.90	1.50	1.71	0.72	1.64	2.30
42	1.53	1.03	1.38	1.24	1.09	1.35
43	1.62	1.04	1.38	1.25	1.08	1.35
44	1.47	1.42	1.61	1.12	1.31	1.43
45	1.29	1.52	1.97	1.77	1.17	1.43
46	1.82	1.44	2.70	1.12	1.13	1.43
47	1.40	0.90	1.04	1.68	1.09	1.20
48	2.92	1.21	1.45	1.78	2.02	1.75
49	4.00	1.42	2.71	3.27	4.17	1.53
50	1.10	0.76	0.89	0.97	0.87	1.35
51	1.61	1.43	1.49	0.81	1.57	1.35
52	1.26	1.44	1.93	0.74	1.11	1.35
53	1.37	1.57	1.50	1.26	1.53	1.75
54	2.07	2.37	3.09	1.16	1.97	1.43
55	3.16	1.40	1.06	1.37	0.72	0.75
56	1.26	1.42	1.75	1.27	1.50	1.19
57	2.38	1.42	1.75	1.02	0.89	1.19
58	1.06	1.12	1.36	0.70	1.58	1.71
59	1.86	0.97	1.43	1.14	1.24	1.35
60	1.66	1.14	1.30	0.59	1.16	1.88
61	2.40	1.07	1.24	0.99	1.37	1.11
62	1.28	1.22	1.23	0.87	0.72	2.31
63	3.00	1.07	1.24	1.72	0.74	1.11
64	1.47	1.17	1.31	1.01	1.84	2.23
65	1.89	1.14	1.30	1.01	1.02	1.95
66	1.40	1.21	1.21	1.04	0.85	2.32
67	0.90	1.22	1.20	1.12	2.09	2.12
68	1.67	1.36	0.89	1.03	1.31	0.65
69	1.67	1.02	1.07	1.67	1.43	0.93
70	0.93	1.09	1.18	0.55	1.06	1.15

71	1.10	0.85	0.89	0.74	1.15	0.65
72	1.68	0.84	0.89	0.96	0.90	0.65
73	2.47	0.92	1.87	1.37	2.25	0.84
74	1.54	1.48	1.41	0.87	1.56	0.65
75	1.55	1.12	1.33	1.03	1.40	1.54
76	1.03	1.12	1.34	1.02	1.50	1.39
77	1.39	1.22	1.19	0.69	2.05	1.87
78	0.80	1.15	1.18	0.68	1.14	1.22
79	0.92	1.12	1.27	1.32	1.00	1.39
80	1.27	1.37	1.18	0.90	1.17	1.13
81	0.90	1.22	1.21	0.83	0.76	2.30
82	1.41	1.21	1.19	0.85	1.40	1.73
83	1.28	0.74	0.89	1.12	1.19	0.70
84	1.28	1.22	1.21	1.23	1.54	2.31
85	1.11	0.83	0.92	0.71	1.67	0.84
86	2.47	1.27	1.31	1.18	1.27	1.75
87	2.99	1.72	1.74	1.42	1.24	1.75
88	1.87	0.93	1.12	1.58	1.39	1.35
89	3.52	1.35	1.64	0.90	1.57	1.13
90	5.12	1.35	1.52	2.81	1.71	1.75
91	3.01	1.40	1.44	2.02	1.47	1.28

Πίνακας 6.2: Αποτελέσματα απαίτησης πλαστιμότητας (μ) του αρχικού και των ημισυνθετικών επιταχυνσιογραφημάτων για τις 91 παλμικές καταγραφές (Baker 2007), για τη μη-παλμική καταγραφή (495).

	DATA 1/q	(495 + EC8+TH1) /q	(495 + TH1)/q	RESID/q	(RESID + EC8+ TH1)/q	495/q
1	2.06	1.49	1.75	1.75	1.38	1.06
2	2.34	3.09	1.74	1.39	2.60	1.89
3	1.52	1.16	2.16	1.29	0.86	0.88
4	2.25	1.15	1.65	1.27	1.84	1.26
5	1.48	0.82	1.40	0.82	0.65	0.75
6	1.68	1.42	1.29	0.72	0.85	0.75
7	1.05	1.16	1.68	1.14	1.30	0.91
8	1.17	0.75	1.43	1.00	1.28	0.67
9	1.01	0.84	1.24	1.21	1.15	0.64
10	1.28	1.55	1.19	1.02	0.84	0.75
11	1.79	1.50	1.31	1.01	1.56	0.81
12	2.27	1.69	2.02	1.06	1.69	0.82
13	2.31	1.74	2.20	0.74	0.99	0.82

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

14	1.68	1.12	1.31	1.43	1.01	0.80
15	1.36	1.31	1.21	1.05	0.98	0.75
16	1.33	0.95	0.88	1.05	0.78	0.68
17	2.39	1.26	1.13	1.06	0.97	0.82
18	2.08	1.92	1.63	1.47	1.53	1.89
19	4.08	1.22	1.44	2.47	0.84	1.26
20	1.41	0.78	1.19	1.54	1.33	0.91
21	1.60	3.23	1.46	1.60	2.11	1.89
22	2.26	3.61	1.57	0.91	1.47	1.89
23	2.29	2.11	2.29	1.91	2.97	1.62
24	1.99	6.19	1.68	1.21	1.72	1.89
25	2.74	1.39	2.64	1.83	0.99	1.15
26	2.35	1.15	1.33	1.29	0.97	0.88
27	2.88	1.50	1.57	1.01	1.27	0.90
28	1.87	1.71	2.64	1.21	1.25	0.88
29	3.04	3.52	1.47	2.19	2.18	1.89
30	3.10	2.06	1.85	1.52	1.65	1.89
31	3.19	3.89	1.51	1.96	2.27	1.89
32	1.35	1.25	2.82	1.46	2.12	1.26
33	4.58	1.66	1.60	1.05	0.80	1.26
34	2.59	2.61	1.37	1.42	0.87	0.88
35	1.61	2.54	1.74	0.92	1.11	0.88
36	1.25	0.83	0.84	0.62	1.43	0.68
37	1.39	1.32	2.28	0.93	1.12	1.26
38	1.61	0.82	1.87	0.92	0.95	1.19
39	2.39	0.86	1.32	0.83	0.94	0.75
40	2.39	0.66	1.17	2.62	1.66	0.75
41	0.91	1.79	1.77	0.78	1.68	0.75
42	1.60	1.14	1.43	1.25	1.12	0.91
43	1.61	1.14	1.42	1.27	1.23	0.91
44	1.64	0.88	1.61	1.23	1.36	1.26
45	1.31	1.23	1.97	1.77	1.27	1.26
46	1.92	1.40	2.70	1.12	0.96	1.26
47	1.40	0.98	1.04	1.78	1.00	0.83
48	2.92	3.42	1.69	1.78	4.11	1.89
49	3.34	1.98	2.71	3.27	3.82	1.89
50	1.19	1.38	0.87	0.97	1.11	0.91
51	1.61	2.31	1.73	1.20	1.53	0.94
52	1.26	1.64	1.93	0.74	1.21	1.26
53	1.37	1.66	1.50	1.76	1.21	1.89
54	2.07	2.95	3.25	1.16	2.24	1.26

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

55	3.17	1.26	1.06	1.37	1.02	0.75
56	1.35	1.13	1.75	1.27	1.50	0.88
57	2.38	1.13	1.75	1.13	1.16	0.88
58	1.07	0.84	1.47	0.70	1.63	0.73
59	2.33	0.78	1.44	1.14	2.71	1.19
60	1.95	0.71	1.31	0.81	1.15	0.74
61	2.40	1.36	1.24	0.99	1.49	0.75
62	1.38	1.27	1.24	0.96	0.72	0.61
63	2.90	1.75	1.24	1.72	0.90	0.75
64	1.47	2.01	1.31	1.05	1.56	0.68
65	2.00	1.82	1.31	1.16	1.21	0.71
66	1.40	0.91	1.24	1.05	0.97	0.61
67	0.93	2.18	1.21	1.13	1.37	0.80
68	1.68	2.95	0.89	1.07	1.37	1.05
69	1.89	4.44	1.13	1.67	1.23	1.05
70	0.96	2.63	1.18	0.56	0.78	0.98
71	1.11	2.10	0.89	0.76	1.16	1.02
72	1.82	2.11	0.89	0.96	0.94	1.03
73	2.47	2.47	2.01	1.37	2.26	0.75
74	1.55	1.86	1.45	0.87	1.54	1.03
75	1.58	2.68	1.33	1.05	1.42	0.75
76	1.07	0.79	1.42	1.02	1.26	0.75
77	1.39	2.70	1.20	0.74	1.87	0.89
78	0.85	0.71	1.19	0.68	1.02	0.96
79	0.92	0.75	1.29	1.32	1.18	0.75
80	1.33	3.26	1.18	0.93	1.29	0.98
81	0.97	2.79	1.23	0.84	0.82	0.64
82	1.42	2.00	1.20	0.86	1.53	0.90
83	1.36	2.06	0.91	1.12	1.36	1.14
84	1.31	3.25	1.21	1.25	1.54	0.75
85	1.11	2.56	0.97	0.90	1.51	1.14
86	2.47	2.14	1.34	1.30	1.69	1.89
87	2.99	2.98	1.74	1.42	1.27	1.89
88	1.91	0.78	1.21	1.61	1.48	0.91
89	2.73	1.63	1.65	1.68	1.88	1.15
90	2.77	2.57	1.56	2.13	1.20	1.75
91	3.01	0.78	1.58	2.02	1.27	1.26

Πίνακας 6.3: Αποτελέσματα απαίτησης πλαστιμότητας (μ) του αρχικού και των ημισυνθετικών επιταχυνσιογραφημάτων για τις 91 παλμικές καταγραφές (Baker 2007), για τη μη-παλμική καταγραφή (776).

	DATA 1/α	(776 + EC8+TH1) /α	(776 + TH1)/α	RESID/α	(RESID + EC8+ TH1)/α	776/α
1	2.06	1.75	2.03	1.75	1.61	2.03
2	3.51	2.60	3.58	2.60	2.47	3.73
3	1.52	1.96	1.28	0.86	1.21	2.00
4	2.25	2.39	2.04	1.84	2.43	1.86
5	1.48	1.56	1.17	0.65	1.07	1.37
6	1.58	1.65	1.36	0.85	1.73	1.37
7	1.05	3.55	1.15	1.30	1.34	0.87
8	1.17	1.81	1.07	1.28	1.30	1.49
9	1.01	1.32	1.17	1.15	1.07	1.13
10	1.28	1.67	1.43	0.84	1.59	1.37
11	1.79	4.03	1.46	1.56	2.08	1.33
12	2.21	2.87	1.47	1.69	2.45	1.24
13	2.31	3.66	2.00	0.99	2.36	1.33
14	1.68	2.79	1.46	0.94	2.32	0.87
15	1.36	1.86	1.71	0.98	1.36	1.37
16	1.33	1.85	1.26	0.78	1.52	1.49
17	2.14	2.09	1.43	0.97	1.47	1.33
18	1.62	1.84	2.23	1.53	3.06	4.11
19	4.08	1.45	1.24	0.84	1.59	0.84
20	1.41	1.31	1.01	1.33	1.06	0.87
21	1.60	4.93	5.76	2.11	3.26	16.52
22	1.61	3.26	5.06	1.47	2.81	3.73
23	2.60	3.16	3.12	2.97	2.45	17.96
24	1.99	3.91	5.62	1.72	2.46	5.45
25	1.80	1.68	2.09	0.99	1.28	2.03
26	2.35	2.53	2.95	0.97	0.97	2.03
27	2.51	2.13	2.03	1.27	1.27	2.03
28	1.87	2.28	1.89	1.25	1.25	2.03
29	1.95	3.95	5.54	2.18	2.18	5.08
30	3.46	1.37	5.36	2.78	2.78	5.45
31	3.19	1.80	2.38	2.27	2.09	4.11
32	1.35	2.18	1.66	2.12	2.16	0.93
33	4.58	1.65	1.06	0.80	1.63	1.06
34	2.59	1.88	2.22	0.87	2.46	2.03
35	1.26	1.63	2.01	0.98	1.72	1.94
36	1.25	1.30	1.53	1.43	1.07	1.49
37	1.39	3.62	1.13	1.12	1.96	0.90

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

38	1.61	2.79	0.86	0.95	2.01	0.87
39	2.39	1.08	1.28	0.94	0.71	1.11
40	2.39	1.69	1.30	1.66	2.26	1.37
41	0.91	1.13	1.28	1.68	1.47	1.11
42	1.60	2.63	0.98	1.12	1.78	0.87
43	1.61	2.62	0.99	1.23	1.73	0.87
44	1.64	1.51	1.17	1.36	1.14	1.09
45	1.31	2.06	1.27	1.27	1.68	1.30
46	1.92	2.43	1.66	0.96	2.19	1.03
47	1.40	1.41	0.94	1.00	1.03	0.87
48	2.92	3.13	3.05	2.27	2.96	3.31
49	3.07	2.81	2.81	2.65	3.63	2.03
50	1.19	3.19	1.37	1.11	1.59	0.87
51	1.61	2.51	1.20	1.53	1.46	0.87
52	1.26	2.92	1.35	1.21	1.70	0.86
53	1.37	3.71	1.84	1.21	1.62	4.11
54	2.07	3.18	2.27	2.24	3.56	1.44
55	3.17	1.99	1.37	1.02	2.44	1.37
56	1.35	3.17	2.03	1.50	2.16	2.03
57	2.16	2.84	2.03	1.16	1.68	2.03
58	1.07	1.91	1.47	1.63	2.79	1.43
59	2.05	1.20	0.87	2.71	1.75	0.87
60	1.95	2.29	1.47	1.15	3.02	1.43
61	2.60	2.74	1.71	1.49	2.56	1.37
62	1.38	2.11	1.25	0.72	1.23	1.18
63	3.18	2.35	2.01	0.90	2.74	1.37
64	1.47	2.74	1.58	1.56	2.02	1.49
65	2.00	3.78	2.15	1.21	1.94	1.48
66	1.40	1.59	1.42	0.97	1.59	1.20
67	0.93	1.57	1.11	1.37	1.00	1.11
68	1.68	0.72	0.71	1.37	1.70	1.55
69	1.89	0.67	0.73	1.23	2.05	0.78
70	0.96	1.04	0.94	1.16	0.99	0.87
71	1.11	0.80	0.90	1.16	1.16	1.55
72	1.82	0.74	0.85	0.94	1.66	1.55
73	2.47	3.16	2.07	2.26	3.65	1.37
74	1.55	1.49	1.50	1.54	1.42	1.55
75	1.58	2.45	2.52	1.42	2.00	1.40
76	1.07	2.21	1.50	1.26	1.08	1.40
77	1.39	1.42	1.39	1.87	1.48	1.10
78	0.85	0.96	0.84	1.02	0.72	0.96

79	0.92	2.95	1.44	1.18	1.25	1.40
80	1.33	1.06	0.72	1.29	1.34	0.87
81	0.97	3.14	1.41	0.82	1.00	1.16
82	1.42	1.96	1.59	1.53	1.66	1.10
83	1.36	0.65	0.61	1.36	1.00	1.35
84	1.31	1.94	1.46	1.54	1.86	1.11
85	1.11	0.95	0.90	1.51	1.07	1.12
86	2.47	1.97	2.29	1.69	2.43	2.03
87	2.99	3.09	5.45	1.27	2.45	5.45
88	1.91	1.51	1.00	1.48	1.49	0.87
89	2.73	2.78	3.24	1.88	2.53	2.03
90	1.95	2.20	2.56	1.20	1.72	1.75
91	1.98	1.58	1.00	1.27	2.28	1.00

Σαν συνέχεια της μελέτης αυτής, απαιτείται όμως και ο έλεγχος μετατοπίσεων για την κάθε μια από τις πιο πάνω προτεινόμενες περιπτώσεις. Οι πίνακες που ακολουθούν 6.4, 6.5 και 6.6 δείχνουν τις μετατοπίσεις -σε μονάδες εκατοστών- των περιπτώσεων αυτών.

Πίνακας 6.4: Τιμές μετατοπίσεων για την κάθε περίπτωση ημι-συνθετικού επιταχυνσιογραφήματος για την καταγραφή (160).

	DATA 1	160 + EC8+TH1	160 + TH1	RESID	RESID + EC8+ TH1	160
1	20	15	15	12	15	9
2	8	18	14	3	10	13
3	8	28	30	7	23	14
4	10	20	10	4	40	14
5	12	22	19	7	22	13
6	40	95	54	13	50	12
7	30	46	50	20	53	17
8	47	64	64	37	70	22
9	20	60	55	18	62	27
10	22	72	52	13	42	15
11	60	65	42	13	103	14
12	67	63	53	13	60	14
13	100	52	87	13	58	14
14	43	55	43	21	43	19
15	41	78	32	15	53	12
16	63	70	35	32	57	22
17	28	58	48	8	42	14
18	5	23	16	5	16	13
19	25	35	34	13	34	18
20	14	43	34	10	65	18

21	3	5	5	3	6	5
22	6	9	6	2	5	5
23	18	8	19	13	5	5
24	6	9	8	3	14	14
25	6	27	26	4	11	13
26	6	15	14	3	23	13
27	8	18	16	3	32	13
28	16	32	27	7	27	13
29	9	6	5	7	8	14
30	5	14	20	14	10	14
31	6	10	5	20	9	14
32	40	60	65	16	70	18
33	12	37	34	7	28	18
34	15	22	14	10	24	13
35	10	17	17	9	17	13
36	40	47	30	20	85	22
37	40	47	52	17	37	15
38	35	37	47	14	32	17
39	27	62	58	4	43	27
40	75	78	55	30	85	15
41	30	67	75	17	53	27
42	27	47	30	17	58	17
43	27	47	30	17	58	17
44	11	47	25	7	36	18
45	32	38	30	23	37	18
46	35	48	42	15	23	18
47	13	60	30	12	57	20
48	14	16	14	11	20	14
49	34	24	24	14	47	13
50	37	28	30	45	48	17
51	35	44	44	23	67	17
52	44	53	50	24	48	17
53	8	26	18	8	23	13
54	68	64	80	45	59	15
55	35	92	44	10	35	15
56	14	20	15	14	34	17
57	14	20	16	6	18	13
58	55	62	47	37	75	22
59	14	34	37	9	40	17
60	60	62	47	17	67	15
61	65	62	50	20	73	12

62	37	60	57	16	38	27
63	60	68	47	30	48	15
64	48	60	48	32	57	22
65	80	62	58	20	58	15
66	38	60	57	22	34	27
67	30	62	57	24	57	27
68	85	60	72	25	65	23
69	50	53	72	48	44	27
70	60	62	72	30	67	27
71	60	38	72	36	60	23
72	55	40	72	27	38	23
73	145	57	78	80	135	15
74	460	325	310	130	460	23
75	97	62	52	27	123	22
76	38	62	47	27	62	22
77	45	67	60	28	70	27
78	65	65	72	33	128	28
79	20	62	47	25	57	22
80	87	78	72	43	83	28
81	83	78	83	78	73	28
82	87	92	67	46	91	27
83	57	37	72	61	63	23
84	110	110	115	72	110	27
85	68	54	72	27	84	27
86	6	16	10	3	11	14
87	4	6	5	1	5	5
88	14	44	30	12	57	17
89	13	17	19	4	27	13
90	9	16	13	2	16	14
91	12	47	34	9	43	17

Πίνακας 6.5: Τιμές μετατοπίσεων για την κάθε περίπτωση ημι-συνθετικού επιταχυνσιογραφήματος για την καταγραφή (495)

	DATA 1	495 + EC8+TH1	495+ TH1	RESID	RESID + EC8+ TH1	495
1	20	16	6	12	14	6
2	8	17	11	3	8	7
3	8	17	8	7	19	7
4	10	18	9	4	33	9
5	12	27	17	7	28	12
6	40	40	30	13	47	12

7	30	37	57	20	47	8
8	47	25	23	37	53	11
9	20	22	14	18	50	11
10	22	37	14	13	38	12
11	60	56	62	13	95	10
12	67	60	68	13	64	8
13	100	64	62	13	67	10
14	43	30	42	21	38	9
15	41	38	32	15	48	12
16	63	43	33	32	47	12
17	28	37	34	8	40	12
18	5	21	10	5	15	6
19	25	43	24	13	28	9
20	14	23	12	10	45	8
21	3	6	4	3	5	4
22	6	13	5	2	5	7
23	18	7	18	13	5	3
24	6	14	10	3	14	7
25	6	25	11	4	10	9
26	6	17	10	3	20	6
27	8	16	6	3	27	6
28	16	14	13	7	20	6
29	9	8	8	7	7	7
30	5	19	5	14	9	7
31	6	7	5	20	9	7
32	40	37	44	16	67	9
33	12	17	9	7	20	9
34	15	16	7	10	17	6
35	10	28	6	9	14	6
36	40	37	28	20	72	12
37	40	23	23	17	38	9
38	35	33	15	14	31	9
39	27	16	14	4	43	11
40	75	60	76	30	87	12
41	30	33	36	17	52	11
42	27	26	40	17	47	8
43	27	26	40	17	47	8
44	11	13	11	7	28	9
45	32	23	25	23	33	9
46	35	37	44	15	27	9
47	13	34	10	12	45	8

48	14	16	18	11	20	4
49	34	18	27	14	36	6
50	37	38	42	45	43	8
51	35	32	55	23	58	8
52	44	34	32	24	42	9
53	8	12	13	8	14	6
54	68	70	58	45	58	9
55	35	31	40	10	38	12
56	14	15	8	14	27	9
57	14	16	7	6	23	6
58	55	38	62	37	78	11
59	14	17	9	9	37	9
60	60	47	64	17	52	12
61	65	30	60	20	74	12
62	37	23	23	16	30	11
63	60	54	50	30	47	12
64	48	47	60	32	50	12
65	80	50	52	20	48	12
66	38	18	22	22	38	11
67	30	30	30	24	40	11
68	85	92	73	25	70	13
69	50	77	55	48	37	12
70	60	64	52	30	67	13
71	60	43	57	36	60	13
72	55	43	47	27	38	13
73	145	73	90	80	115	12
74	460	300	280	130	450	14
75	97	87	87	27	113	11
76	38	24	28	27	47	11
77	45	68	58	28	63	12
78	65	42	40	33	117	13
79	20	24	11	25	57	11
80	87	77	90	43	90	13
81	83	100	105	78	78	13
82	87	65	87	46	90	13
83	57	37	47	61	72	13
84	110	107	110	72	115	11
85	68	62	78	27	72	13
86	6	20	14	3	10	5
87	4	12	9	1	6	7
88	14	23	16	12	48	8

89	13	20	17	4	27	6
90	9	12	8	2	11	7
91	12	18	13	9	32	9

Πίνακας 6.6: Τιμές μετατοπίσεων για την κάθε περίπτωση ημι-συνθετικού επιταχυνσιογραφήματος για την καταγραφή (776).

	DATA 1	776 + EC8+TH1	776+ TH1	RESID	RESID + EC8+ TH1	776
1	20	8	15	12	7	16
2	8	6	7	3	10	7
3	8	13	14	7	11	8
4	10	15	17	4	22	20
5	12	14	38	7	16	57
6	40	32	59	13	37	57
7	30	47	30	20	28	23
8	47	28	46	37	32	60
9	20	33	45	18	19	48
10	22	27	28	13	32	53
11	60	73	53	13	68	48
12	67	70	58	13	68	24
13	100	90	78	13	90	33
14	43	43	38	21	53	23
15	41	37	64	15	42	56
16	63	42	57	32	60	63
17	28	33	58	8	28	48
18	5	8	10	5	7	14
19	25	15	34	13	10	16
20	14	13	23	10	13	23
21	3	4	7	3	4	12
22	6	6	11	2	6	8
23	18	4	3	13	3	9
24	6	6	7	3	9	7
25	6	8	11	4	8	11
26	6	12	26	3	20	15
27	8	15	18	3	27	15
28	16	12	14	7	20	15
29	9	9	9	7	8	12
30	5	5	8	14	9	8
31	6	4	4	20	4	8
32	40	40	33	16	47	17

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

33	12	14	20	7	15	17
34	15	10	18	10	17	15
35	10	10	17	9	12	15
36	40	34	80	20	37	60
37	37	35	24	17	30	18
38	35	27	17	14	27	15
39	27	27	47	4	18	48
40	75	78	53	30	85	57
41	30	32	57	17	48	48
42	27	27	23	17	27	23
43	27	27	23	17	27	23
44	11	14	22	7	12	20
45	32	17	27	23	27	20
46	35	43	37	15	38	17
47	13	17	25	12	14	23
48	14	14	14	11	16	8
49	34	27	27	14	33	10
50	37	38	37	45	32	23
51	35	38	30	23	32	23
52	44	30	28	24	30	16
53	8	16	10	8	17	14
54	68	48	44	45	56	20
55	35	34	60	10	38	48
56	14	15	16	14	11	17
57	14	13	17	6	10	14
58	55	50	53	37	72	54
59	14	12	16	9	18	15
60	60	57	53	17	68	54
61	65	52	62	20	70	52
62	37	58	48	16	33	48
63	60	47	57	30	57	51
64	48	50	60	32	52	60
65	80	58	70	20	58	54
66	38	47	48	22	39	48
67	30	33	48	24	30	48
68	85	68	67	25	87	45
69	50	47	47	48	50	47
70	60	57	62	30	60	48
71	60	57	60	36	63	48
72	55	45	44	27	44	44
73	145	68	67	80	87	57

74	460	300	290	130	420	49
75	97	100	117	27	92	53
76	38	32	53	27	38	52
77	45	48	57	28	52	47
78	65	65	58	33	78	50
79	20	42	53	25	24	53
80	87	71	57	43	87	48
81	83	70	78	78	80	50
82	87	87	67	46	87	45
83	57	50	49	61	57	43
84	110	105	82	72	118	48
85	68	64	60	27	67	46
86	6	5	6	3	8	8
87	4	4	8	1	5	12
88	14	15	26	12	11	23
89	13	14	27	4	15	13
90	9	10	8	2	8	7
91	12	13	20	9	21	17

Πίνακας 6.7: Λόγοι μετατοπίσεων προς τις μετατοπίσεις αρχικής καταγραφής για την κάθε περίπτωση ημι-συνθετικού επιταχυνσιογραφήματος για την καταγραφή (160).

	DATA 1	$(160 + EC8+TH1)/DATA1$	$(160 + TH1)/DATA1$	RESID
1	20	0.75	0.75	0.60
2	8	2.25	1.75	0.38
3	8	3.50	3.75	0.88
4	10	2.00	1.00	0.40
5	12	1.83	1.58	0.58
6	40	2.38	1.35	0.33
7	30	1.53	1.67	0.67
8	47	1.36	1.36	0.79
9	20	3.00	2.75	0.90
10	22	3.27	2.36	0.59
11	60	1.08	0.70	0.22
12	67	0.94	0.79	0.19
13	100	0.52	0.87	0.13
14	43	1.28	1.00	0.49
15	41	1.90	0.78	0.37
16	63	1.11	0.56	0.51
17	28	2.07	1.71	0.29
18	5	4.60	3.20	1.00

19	25	1.40	1.36	0.52
20	14	3.07	2.43	0.71
21	3	1.67	1.67	1.00
22	6	1.50	1.00	0.33
23	18	0.44	1.06	0.72
24	6	1.50	1.33	0.50
25	6	4.50	4.33	0.67
26	6	2.50	2.33	0.50
27	8	2.25	2.00	0.38
28	16	2.00	1.69	0.44
29	9	0.67	0.56	0.78
30	5	2.80	4.00	2.80
31	6	1.67	0.83	3.33
32	40	1.50	1.63	0.40
33	12	3.08	2.83	0.58
34	15	1.47	0.93	0.67
35	10	1.70	1.70	0.90
36	40	1.18	0.75	0.50
37	40	1.18	1.30	0.43
38	35	1.06	1.34	0.40
39	27	2.30	2.15	0.15
40	75	1.04	0.73	0.40
41	30	2.23	2.50	0.57
42	27	1.74	1.11	0.63
43	27	1.74	1.11	0.63
44	11	4.27	2.27	0.64
45	32	1.19	0.94	0.72
46	35	1.37	1.20	0.43
47	13	4.62	2.31	0.92
48	14	1.14	1.00	0.79
49	34	0.71	0.71	0.41
50	37	0.76	0.81	1.22
51	35	1.26	1.26	0.66
52	44	1.20	1.14	0.55
53	8	3.25	2.25	1.00
54	68	0.94	1.18	0.66
55	35	2.63	1.26	0.29
56	14	1.43	1.07	1.00
57	14	1.43	1.14	0.43
58	55	1.13	0.85	0.67
59	14	2.43	2.64	0.64

60	60	1.03	0.78	0.28
61	65	0.95	0.77	0.31
62	37	1.62	1.54	0.43
63	60	1.13	0.78	0.50
64	48	1.25	1.00	0.67
65	80	0.78	0.73	0.25
66	38	1.58	1.50	0.58
67	30	2.07	1.90	0.80
68	85	0.71	0.85	0.29
69	50	1.06	1.44	0.96
70	60	1.03	1.20	0.50
71	60	0.63	1.20	0.60
72	55	0.73	1.31	0.49
73	145	0.39	0.54	0.55
74	460	0.71	0.67	0.28
75	97	0.64	0.54	0.28
76	38	1.63	1.24	0.71
77	45	1.49	1.33	0.62
78	65	1.00	1.11	0.51
79	20	3.10	2.35	1.25
80	87	0.90	0.83	0.49
81	83	0.94	1.00	0.94
82	87	1.06	0.77	0.53
83	57	0.65	1.26	1.07
84	110	1.00	1.05	0.65
85	68	0.79	1.06	0.40
86	6	2.67	1.67	0.50
87	4	1.50	1.25	0.25
88	14	3.14	2.14	0.86
89	13	1.31	1.46	0.31
90	9	1.78	1.44	0.22
91	12	3.92	2.83	0.75

Πίνακας 6.8: Λόγοι μετατοπίσεων προς τις μετατοπίσεις αρχικής καταγραφής για την κάθε περίπτωση ημι-συνθετικού επιταχυνσιογραφήματος για την καταγραφή (495).

	DATA 1	(495 + EC8+TH1)/DATA1	(495+ TH1)/DATA1	RESID
1	20	0.80	0.30	0.60
2	8	2.13	1.38	0.38
3	8	2.13	1.00	0.88
4	10	1.80	0.90	0.40

5	12	2.25	1.42	0.58
6	40	1.00	0.75	0.33
7	30	1.23	1.90	0.67
8	47	0.53	0.49	0.79
9	20	1.10	0.70	0.90
10	22	1.68	0.64	0.59
11	60	0.93	1.03	0.22
12	67	0.90	1.01	0.19
13	100	0.64	0.62	0.13
14	43	0.70	0.98	0.49
15	41	0.93	0.78	0.37
16	63	0.68	0.52	0.51
17	28	1.32	1.21	0.29
18	5	4.20	2.00	1.00
19	25	1.72	0.96	0.52
20	14	1.64	0.86	0.71
21	3	2.00	1.33	1.00
22	6	2.17	0.83	0.33
23	18	0.39	1.00	0.72
24	6	2.33	1.67	0.50
25	6	4.17	1.83	0.67
26	6	2.83	1.67	0.50
27	8	2.00	0.75	0.38
28	16	0.88	0.81	0.44
29	9	0.89	0.89	0.78
30	5	3.80	1.00	2.80
31	6	1.17	0.83	3.33
32	40	0.93	1.10	0.40
33	12	1.42	0.75	0.58
34	15	1.07	0.47	0.67
35	10	2.80	0.60	0.90
36	40	0.93	0.70	0.50
37	40	0.58	0.58	0.43
38	35	0.94	0.43	0.40
39	27	0.59	0.52	0.15
40	75	0.80	1.01	0.40
41	30	1.10	1.20	0.57
42	27	0.96	1.48	0.63
43	27	0.96	1.48	0.63
44	11	1.18	1.00	0.64
45	32	0.72	0.78	0.72

46	35	1.06	1.26	0.43
47	13	2.62	0.77	0.92
48	14	1.14	1.29	0.79
49	34	0.53	0.79	0.41
50	37	1.03	1.14	1.22
51	35	0.91	1.57	0.66
52	44	0.77	0.73	0.55
53	8	1.50	1.63	1.00
54	68	1.03	0.85	0.66
55	35	0.89	1.14	0.29
56	14	1.07	0.57	1.00
57	14	1.14	0.50	0.43
58	55	0.69	1.13	0.67
59	14	1.21	0.64	0.64
60	60	0.78	1.07	0.28
61	65	0.46	0.92	0.31
62	37	0.62	0.62	0.43
63	60	0.90	0.83	0.50
64	48	0.98	1.25	0.67
65	80	0.63	0.65	0.25
66	38	0.47	0.58	0.58
67	30	1.00	1.00	0.80
68	85	1.08	0.86	0.29
69	50	1.54	1.10	0.96
70	60	1.07	0.87	0.50
71	60	0.72	0.95	0.60
72	55	0.78	0.85	0.49
73	145	0.50	0.62	0.55
74	460	0.65	0.61	0.28
75	97	0.90	0.90	0.28
76	38	0.63	0.74	0.71
77	45	1.51	1.29	0.62
78	65	0.65	0.62	0.51
79	20	1.20	0.55	1.25
80	87	0.89	1.03	0.49
81	83	1.20	1.27	0.94
82	87	0.75	1.00	0.53
83	57	0.65	0.82	1.07
84	110	0.97	1.00	0.65
85	68	0.91	1.15	0.40
86	6	3.33	2.33	0.50

87	4	3.00	2.25	0.25
88	14	1.64	1.14	0.86
89	13	1.54	1.31	0.31
90	9	1.33	0.89	0.22
91	12	1.50	1.08	0.75

Πίνακας 6.9: Λόγοι μετατοπίσεων προς τις μετατοπίσεις αρχικής καταγραφής για την κάθε περίπτωση ημι-συνθετικού επιταχυνσιογραφήματος για την καταγραφή (776).

	DATA 1	$(776 + EC8+TH1)/DATA 1$	$(776+ TH1)/DATA1$	RESID
1	20	0.40	0.75	0.60
2	8	0.75	0.88	0.38
3	8	1.63	1.75	0.88
4	10	1.50	1.70	0.40
5	12	1.17	3.17	0.58
6	40	0.80	1.48	0.33
7	30	1.57	1.00	0.67
8	47	0.60	0.98	0.79
9	20	1.65	2.25	0.90
10	22	1.23	1.27	0.59
11	60	1.22	0.88	0.22
12	67	1.04	0.87	0.19
13	100	0.90	0.78	0.13
14	43	1.00	0.88	0.49
15	41	0.90	1.56	0.37
16	63	0.67	0.90	0.51
17	28	1.18	2.07	0.29
18	5	1.60	2.00	1.00
19	25	0.60	1.36	0.52
20	14	0.93	1.64	0.71
21	3	1.33	2.33	1.00
22	6	1.00	1.83	0.33
23	18	0.22	0.17	0.72
24	6	1.00	1.17	0.50
25	6	1.33	1.83	0.67
26	6	2.00	4.33	0.50
27	8	1.88	2.25	0.38
28	16	0.75	0.88	0.44
29	9	1.00	1.00	0.78
30	5	1.00	1.60	2.80
31	6	0.67	0.67	3.33

32	40	1.00	0.83	0.40
33	12	1.17	1.67	0.58
34	15	0.67	1.20	0.67
35	10	1.00	1.70	0.90
36	40	0.85	2.00	0.50
37	37	0.95	0.65	0.46
38	35	0.77	0.49	0.40
39	27	1.00	1.74	0.15
40	75	1.04	0.71	0.40
41	30	1.07	1.90	0.57
42	27	1.00	0.85	0.63
43	27	1.00	0.85	0.63
44	11	1.27	2.00	0.64
45	32	0.53	0.84	0.72
46	35	1.23	1.06	0.43
47	13	1.31	1.92	0.92
48	14	1.00	1.00	0.79
49	34	0.79	0.79	0.41
50	37	1.03	1.00	1.22
51	35	1.09	0.86	0.66
52	44	0.68	0.64	0.55
53	8	2.00	1.25	1.00
54	68	0.71	0.65	0.66
55	35	0.97	1.71	0.29
56	14	1.07	1.14	1.00
57	14	0.93	1.21	0.43
58	55	0.91	0.96	0.67
59	14	0.86	1.14	0.64
60	60	0.95	0.88	0.28
61	65	0.80	0.95	0.31
62	37	1.57	1.30	0.43
63	60	0.78	0.95	0.50
64	48	1.04	1.25	0.67
65	80	0.73	0.88	0.25
66	38	1.24	1.26	0.58
67	30	1.10	1.60	0.80
68	85	0.80	0.79	0.29
69	50	0.94	0.94	0.96
70	60	0.95	1.03	0.50
71	60	0.95	1.00	0.60
72	55	0.82	0.80	0.49

73	145	0.47	0.46	0.55
74	460	0.65	0.63	0.28
75	97	1.03	1.21	0.28
76	38	0.84	1.39	0.71
77	45	1.07	1.27	0.62
78	65	1.00	0.89	0.51
79	20	2.10	2.65	1.25
80	87	0.82	0.66	0.49
81	83	0.84	0.94	0.94
82	87	1.00	0.77	0.53
83	57	0.88	0.86	1.07
84	110	0.95	0.75	0.65
85	68	0.94	0.88	0.40
86	6	0.83	1.00	0.50
87	4	1.00	2.00	0.25
88	14	1.07	1.86	0.86
89	13	1.08	2.08	0.31
90	9	1.11	0.89	0.22
91	12	1.08	1.67	0.75

Βάσει των αποτελεσμάτων πλαστιμοτήτων, αλλά και από τους πίνακες μετατοπίσεων που φαίνονται στους πιο πάνω πίνακες, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

Αρχικά, η τελευταία στήλη του πίνακα, στην οποία παρουσιάζεται η τυχαία καταγραφή, χωρίς καμία προσθήκη παλμού ή η προσαρμογή του στο ελαστικό φάσμα του Ευροκώδικα, αποδεικνύει ότι οι μη παλμικές καταγραφές δεν δίνουν μη αναμενόμενες απαιτήσεις πλαστιμότητας, συνεπώς οι αυξημένες απαιτήσεις οφείλονται στην παρουσία παλμού.

Γίνεται επίσης φανερό, ότι για το υψίσυχο κομμάτι της καταγραφής –RESIDUAL- (βλ. τέταρτη στήλη του πίνακα), μετά την αφαίρεση του παλμού δεν απαιτεί μεγάλη πλαστιμότητα. Συνεπώς, ο παλμός κάθε καταγραφής οφείλεται για τις αυξημένες απαιτήσεις.

Τέλος, παρατηρείται ότι στις περιπτώσεις όπου περιλαμβάνονται οι τυχαίες μη-παλμικές καταγραφές -δεύτερη και τρίτη στήλη του πίνακα- δίνουν αποτελέσματα που προσεγγίζουν σε ικανοποιητικό βαθμό την αρχική καταγραφή εδαφικής κίνησης, δίνοντας πλαστιμότητες μεγαλύτερες από την πλαστιμότητα σχεδιασμού ($q = 3$).

Παράρτημα Α

Κανονιστικές διατάξεις του Ευροκώδικα 8 (EC8)

6.2 Κανονιστικές διατάξεις του Ευροκώδικα 8 (EC8)

6.2.1 Κατηγορία Εδάφους

Στον ΕΚ8 προδιαγράφονται πέντε κατηγορίες εδάφους Α, Β, C, D και Ε ανάλογα με τη στρωματογραφία και τις παραμέτρους που περιγράφουν τις ιδιότητες των εδαφικών στρώσεων (Πίνακας 6.1). Υπάρχουν δύο ειδικές κατηγορίες εδαφών, οι S1 και S2, για τις οποίες απαιτούνται ειδικές μελέτες για τον καθορισμό των σεισμικών δράσεων. Ιδιαίτερα στην κατηγορία S2 πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η πιθανότητα αστοχίας του εδάφους υπό τα σεισμικά φορτία σχεδιασμού. Για την κατηγορία S1 απαιτείται ειδική μελέτη για τον καθορισμό της τοπικής μεγέθυνσης (site amplification) και της αλληλεπίδρασης εδάφους-κατασκευής. Συνήθως, η κατάταξη των εδαφών γίνεται με βάση τη μέση ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων στα ανώτερα 30 m του εδάφους, η οποία συμβολίζεται με $V_{s,30}$ και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}, \quad (6.1)$$

όπου

h_i το πάχος στρώματος

V_i η ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων στρώματος i (για $\gamma \leq 10^{-5}$, δηλαδή για πρακτικά ελαστική συμπεριφορά)

N = πλήθος στρωμάτων στα ανώτερα 30 m εδάφους.

Πίνακας 6.7: Κατάταξη εδαφών κατά ΕΚ8.

Κατηγορία εδάφους	Περιγραφή στρωματογραφίας	Παράμετροι		
		$V_{s,30}$	N_{SPT}	c_u (kPa)
A	Βράχος ή άλλος βραχώδης γεωλογικός σχηματισμός που περιλαμβάνει το πολύ 5 m ασθενέστερου επιφανειακού υλικού	>800	-	-
B	Αποθέσεις πολύ πυκνής άμμου, χαλίκων, ή πολύ σκληρής αργίλου, πάχους τουλάχιστον αρκετών δεκάδων μέτρων, που χαρακτηρίζονται από βαθμιαία βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων με το βάθος	360-800	>50	>250
C	Βαθιές αποθέσεις πυκνής ή μετρίως πυκνής άμμου, χαλίκων ή σκληρής αργίλου πάχους από δεκάδες έως πολλές εκατοντάδες μέτρων	180-360	15-50	70-250
D	Αποθέσεις χαλαρών έως μετρίως χαλαρών μη συνεκτικών υλικών (με ή χωρίς κάποια μαλακά στρώματα συνεκτικών υλικών), ή κυρίως μαλακά έως μετρίως σκληρά συνεκτικά υλικά	<180	<15	<70

E	Εδαφική τομή που αποτελείται από ένα επιφανειακό στρώμα υλός με τιμές V_s κατηγορίας C ή D και πάχος που ποικίλλει μεταξύ περίπου 5 m και 20 m, με υπόστρωμα από πιο σκληρό υλικό με $V_S > 800$ m/s			
S₁	Αποθέσεις που αποτελούνται ή που περιέχουν ένα στρώμα πάχους τουλάχιστον 10 m μαλακών αργίλων/ιλών με υψηλό δείκτη πλαστικότητας ($PI > 40$) και υψηλή περιεκτικότητα σε νερό	<100 (ενδεικτικό)	-	10-20
S₂	Στρώματα ρευστοποιήσιμων εδαφών, ευαίσθητων αργίλων, ή οποιαδήποτε άλλη εδαφική τομή που δεν περιλαμβάνεται στους τύπους A – E ή S ₁			

6.2.2 Σεισμικές ζώνες – Εδαφική επιτάχυνση

Η σεισμική δράση σε κάθε ζώνη χαρακτηρίζεται από την επιτάχυνση του εδάφους agR , η οποία αντιστοιχεί σε έδαφος κατηγορίας Α. Σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, για τις ζώνες Z1, Z2 και Z3 υιοθετούνται οι ζώνες I, II και III του ΕΑΚ2003 και οι τιμές agR/g παίρνουν τις τιμές που δίνονται στον Πίνακα 6.8.

Πίνακας 6.8: Τιμές agR/g

Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας	a_{gR} (g)
Z1	0.16
Z2	0.24
Z3	0.36

6.2.3 Συντελεστής σπουδαιότητας

Η τιμή αναφοράς agR της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης για έδαφος κατηγορίας Α αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς $TNCR = 475$ έτη, όπου $TNCR$ είναι η περίοδος επανάληψης της σεισμικής δράσης που ικανοποιεί το κριτήριο της μη-κατάρρευσης (η περίοδος επανάληψης $TNCR$ καθορίζεται από την πιθανότητα μη υπέρβασης $PNCR$ σε 50 χρόνια). Για διαφορετικές περιόδους επανάληψης ορίζεται συντελεστής σπουδαιότητας γ και η επιτάχυνση σχεδιασμού για έδαφος Α προκύπτει από τη σχέση:

$$ag = \gamma_i agR \quad (6.2)$$

Για το συντελεστή σπουδαιότητας ορίζονται τέσσερις κατηγορίες, I, II, III και IV. Η κατηγοριοποίηση των κτιρίων στις τέσσερις κατηγορίες δίνεται στον Πίνακα 6.9 μαζί με την τιμή του συντελεστή γ_i σε κάθε κατηγορία.

Πίνακας 6.9: Κατηγορίες σπουδαιότητας για κτίρια.

Κατηγορία σπουδαιότητας	γ_i	Περιγραφή
I	0,80	Κτίρια δευτερεύουσας σημασίας για τη δημόσια ασφάλεια, π.χ. γεωργικά κτίρια, κλπ.
II	1,00	Συνήθη κτίρια, που δεν ανήκουν στις άλλες κατηγορίες.
III	1,20	Κτίρια των οποίων η σεισμική ασφάλεια είναι σημαντική, λαμβάνοντας υπόψη τις συνέπειες κατάρρευσης, π.χ. σχολεία, αίθουσες συνάθροισης, πολιτιστικά ιδρύματα κλπ.
IV	1,40	Κτίρια των οποίων η ακεραιότητα κατά τη διάρκεια σεισμών είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία των πολιτών, π.χ. νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, σταθμοί παραγωγής ενέργειας, κλπ.

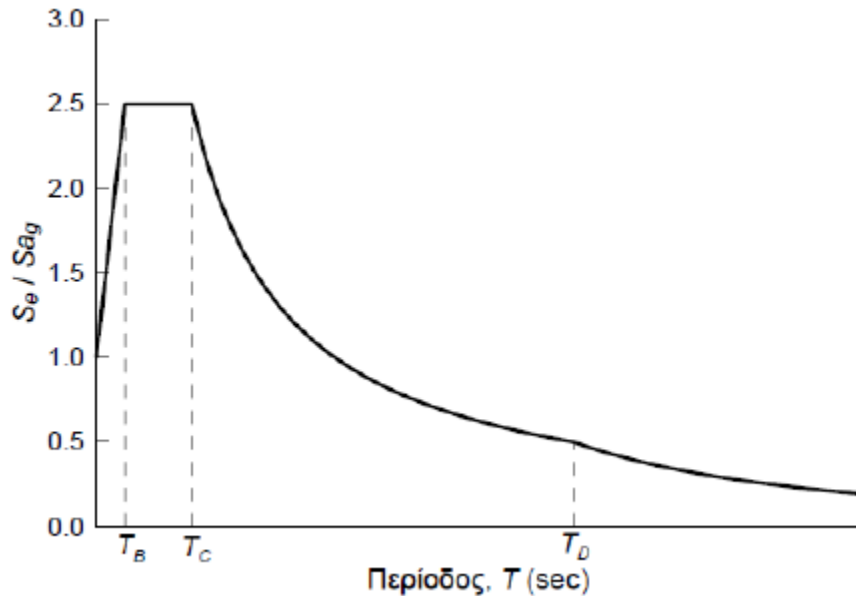
6.2.4 Φάσματα απόκρισης

Το ελαστικό φάσμα απόκρισης εφαρμόζεται για σχεδιασμό κατασκευών, οι οποίες θέλουμε να συμπεριφέρονται ελαστικά στο σεισμό σχεδιασμού. Η γενική μορφή του ελαστικού φάσματος επιταχύνσεων δίνεται στο Σχήμα 6.1. Διακρίνονται οι εξής περιοχές:

- Για $T_B \leq T \leq T_C$: Περιοχή σταθερής φασματικής επιτάχυνσης
- Για $T_C \leq T \leq T_D$: Περιοχή σταθερής φασματικής ταχύτητας
- Για $T_D \leq T \leq 4.0$: Περιοχή σταθερής φασματικής μετακίνησης

Από το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων μπορεί να υπολογιστεί και το αντίστοιχο φάσμα μετακινήσεων $SDe(T)$ εφαρμόζοντας τη σχέση:

$$SDe(T) = Se(T) \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 \quad (6.3)$$



Σχήμα 6.1: Γενική μορφή ελαστικού φάσματος σχεδιασμού.

Εφαρμόζοντας το ελαστικό φάσμα απόκρισης, η ελαστική επιτάχυνση σχεδιασμού σε κάθε περιοχή υπολογίζεται από τις σχέσεις:

$$S_e(T) = \alpha_\xi \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right] \quad \text{για } 0 \leq T \leq T_B \quad (6.4\alpha)$$

$$S_e(T) = \alpha_\xi \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \quad \text{για } T_B \leq T \leq T_C \quad (6.4\beta)$$

$$S_e(T) = \alpha_\xi \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \frac{T_C}{T} \quad \text{για } T_C \leq T \leq T_D \quad (6.4\gamma)$$

$$S_e(T) = \alpha_\xi \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \quad \text{για } T_D \leq T \leq 4 \text{ sec} \quad (6.4\delta)$$

όπου:

$ag = \gamma_i agR$

S ο συντελεστής εδάφους σύμφωνα με τον Πίνακα 6.10

T_B η περίοδος που αντιστοιχεί στην αρχή της περιοχής σταθερής φασματικής επιτάχυνσης και η τιμή της προκύπτει σύμφωνα με τον Πίνακα 6.10 ανάλογα με την κατηγορία εδάφους

T_C η περίοδος που αντιστοιχεί στο τέλος της περιοχής σταθερής φασματικής επιτάχυνσης και την αρχή της περιοχή σταθερής φασματικής ταχύτητας. Η τιμή της προκύπτει σύμφωνα με τον Πίνακα 6.10 ανάλογα με την κατηγορία εδάφους

T_D η περίοδος που αντιστοιχεί στο τέλος της περιοχής σταθερής φασματικής ταχύτητας και την αρχή της περιοχής σταθερής φασματικής μετακίνησης. Η τιμή της προκύπτει σύμφωνα με τον Πίνακα 6.10 η ο συντελεστής απόσβεσης. Για $\zeta=5\%$ τίθεται $\eta=1$, δηλαδή οι παραπάνω σχέσεις αντιστοιχούν σε απόσβεση $\zeta=5\%$. Για διαφορετικές τιμές απόσβεσης, η τιμή του η υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5+\zeta}} \quad (6.5)$$

Ο ΕΚ8 προβλέπει δύο τύπους ελαστικού φάσματος σχεδιασμού, τύπου 1 και τύπου 2, στους οποίους ισχύουν διαφορετικές τιμές για τις χαρακτηριστικές περιόδους T_B , T_C και T_D και το συντελεστή εδάφους S . Σύμφωνα με το *Εθνικό Προσάρτημα*, στην Ελλάδα εφαρμόζεται το φάσμα τύπου 1 με τις τιμές των χαρακτηριστικών περιόδων και του συντελεστή εδάφους S που δίνονται στον Πίνακα 6.10.

Πίνακας 6.10: Τιμές χαρακτηριστικών περιόδων και συντελεστή εδάφους για την οριζόντια συνιστώσα της σεισμικής διέγερσης.

Κατηγορία εδάφους	S	T_B (sec)	T_C (sec)	T_D (sec)
A	1.00	0.15	0.40	2.50
B	1.20	0.15	0.50	2.50
C	1.15	0.20	0.60	2.50
D	1.35	0.20	0.80	2.50
E	1.40	0.15	0.50	2.50

Στον *Ευρωκώδικα 8*, το ανελαστικό φάσμα σχεδιασμού ορίζεται διαιρώντας το αντίστοιχο ελαστικό φάσμα με το συντελεστή συμπεριφοράς q , εκτός από την περιοχή περιόδων $0 < T < T_B$ όπου θεωρείται μία γραμμική συνάρτηση για την επιτάχυνση σχεδιασμού, η οποία ξεκινάει από την τιμή $S_d = (2/3) S \cdot ag$ για $T = 0$ (Σχήμα 6.2).

Συγκεκριμένα, στις διάφορες χαρακτηριστικές περιοχές του φάσματος ισχύουν οι εξής σχέσεις:

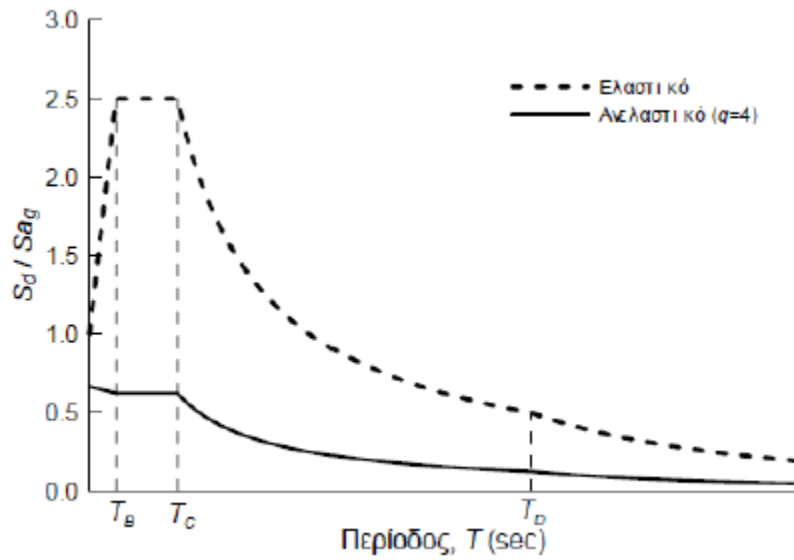
$$S_d(T) = \alpha_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad \text{για } 0 \leq T \leq T_B \quad (6.6\alpha)$$

$$S_d(T) = \alpha_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \quad \text{για } T_B \leq T \leq T_C \quad (6.6\beta)$$

$$S_d(T) = \alpha_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \frac{T_C}{T} \geq \beta \cdot \alpha_g \quad \text{για } T_C \leq T \leq T_D \quad (6.6\gamma)$$

$$S_d(T) = \alpha_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \geq \beta \cdot \alpha_g \quad \text{για } T_D \leq T \leq 4 \text{ sec} \quad (6.6\delta)$$

Σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, η τιμή β ορίζεται σε $\beta = 0.2$.



Σχήμα 6.2: Ανελαστικό φάσμα σχεδιασμού Ευρωκώδικα 8 για $q=4$ και αντίστοιχο ελαστικό φάσμα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Παράμετροι του μοντέλου Προσομοίωσης

#	PULSE 1				
	<i>T</i> (s)	<i>A</i> (cm/s)	γ	ν (°)	<i>cc</i>
1	1,40000	97,07689	1,80000	5,00000	0,72670
2	0,92000	45,56034	1,60000	355,00000	0,88376
3	1,63000	25,17303	5,00000	285,00000	0,69440
4	1,90000	44,18390	2,00000	25,00000	0,82083
5	4,76000	15,96736	4,50000	305,00000	0,70740
6	4,78000	43,37854	1,80000	135,00000	0,81213
7	3,00000	84,10716	2,00000	0,00000	0,89786
8	6,23000	22,24619	3,60000	10,00000	0,66022
9	7,34000	15,35560	3,20000	340,00000	0,67081
10	5,55000	27,56147	1,80000	180,00000	0,81673
11	4,30000	72,61010	1,90000	125,00000	0,92973
12	3,76000	87,80804	1,80000	135,00000	0,90577
13	3,89000	94,04215	2,10000	75,00000	0,95233
14	3,49000	75,42879	2,20000	40,00000	0,89930
15	5,07000	38,80903	2,10000	120,00000	0,84042
16	5,90000	36,45644	1,90000	140,00000	0,74430
17	4,24000	47,60693	1,70000	175,00000	0,89381
18	1,13000	26,17339	2,00000	280,00000	0,69850
19	2,63000	25,77068	5,00000	110,00000	0,68388
20	3,00000	25,91743	2,20000	300,00000	0,68179
21	0,55000	34,94747	3,50000	10,00000	0,67338
22	0,74000	45,37277	3,10000	310,00000	0,80360
23	0,38000	38,81411	1,80000	120,00000	0,77823
24	0,76000	42,64297	4,30000	305,00000	0,80816

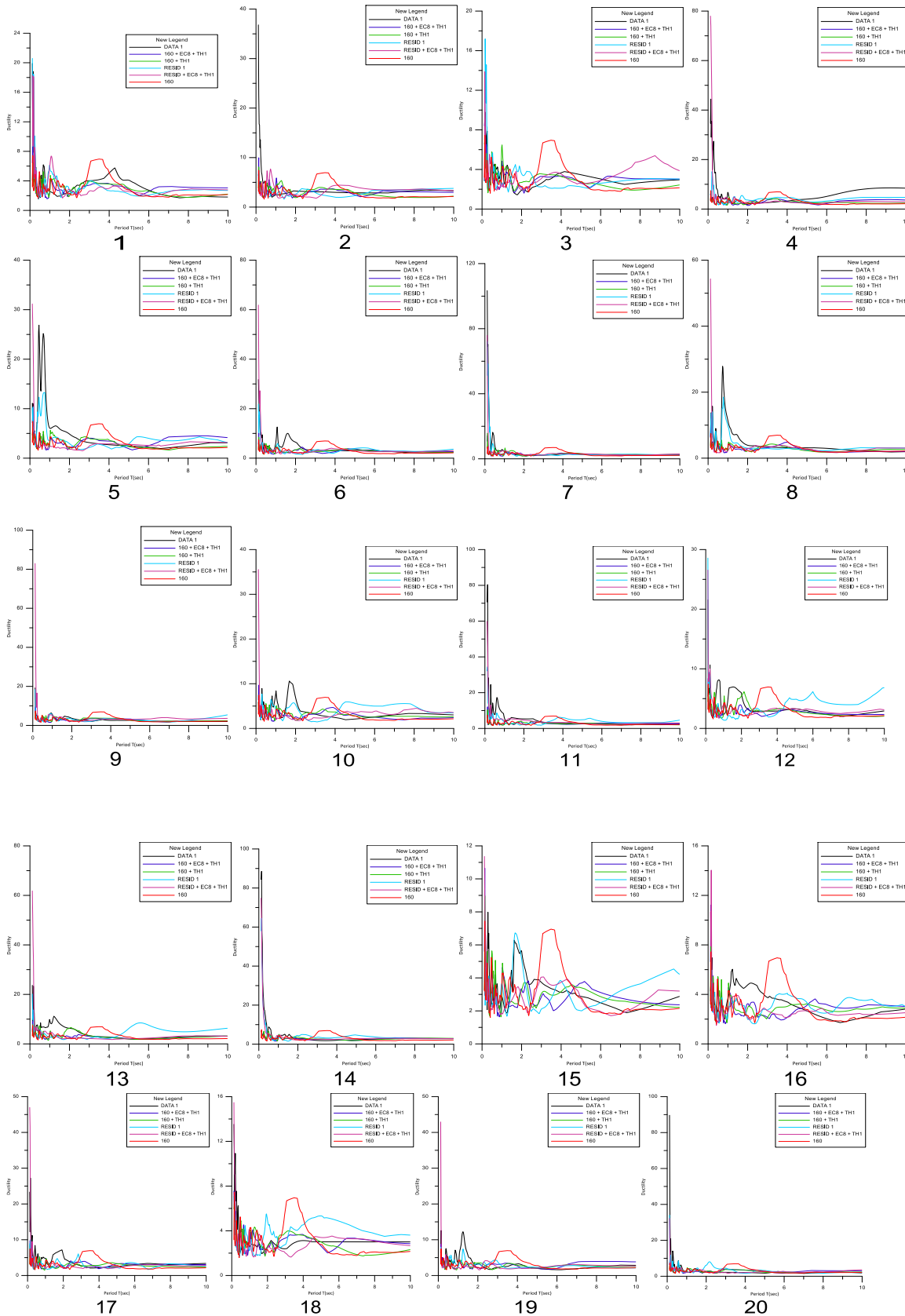
#	PULSE 1				
	<i>T</i> (s)	<i>A</i> (cm/s)	γ	ν (°)	<i>cc</i>
25	1,16000	31,97949	2,60000	235,00000	0,80130
26	1,49000	26,93969	2,30000	215,00000	0,73693
27	1,39000	33,79248	2,20000	215,00000	0,87603
28	1,42000	51,18496	1,70000	350,00000	0,82737
29	0,69000	62,15003	2,50000	190,00000	0,71090
30	0,81000	27,32920	2,50000	260,00000	0,85787
31	0,77000	29,90457	2,50000	250,00000	0,81243
32	2,40000	105,96608	1,70000	70,00000	0,82229
33	2,30000	25,09066	2,40000	280,00000	0,67827
34	1,53000	28,81394	4,80000	270,00000	0,78422
35	1,51000	30,73937	3,50000	255,00000	0,75981
36	5,93000	31,58372	1,50000	180,00000	0,57653
37	2,42000	76,01266	2,10000	30,00000	0,84100
38	2,68000	52,12361	1,70000	325,00000	0,69584
39	7,58000	20,06229	1,90000	130,00000	0,79926
40	4,56000	96,85368	1,60000	65,00000	0,88544
41	7,33000	39,16356	2,00000	175,00000	0,83492
42	2,93000	59,88137	3,00000	285,00000	0,85269
43	2,93000	60,00553	3,00000	285,00000	0,85229
44	2,34000	24,42611	2,10000	115,00000	0,58591
45	2,16000	58,22263	1,50000	205,00000	0,68242
46	2,38000	98,54380	1,50000	280,00000	0,90076
47	3,35000	11,87707	3,20000	20,00000	0,54144
48	0,91000	98,11925	1,60000	255,00000	0,75476

#	PULSE 1				
	<i>T</i> (s)	<i>A</i> (cm/s)	γ	ν (°)	<i>cc</i>
49	1,11000	132,40296	1,90000	235,00000	0,80431
50	2,95000	72,46859	3,40000	350,00000	0,67954
51	3,06000	84,14212	1,70000	180,00000	0,74111
52	2,62000	63,24145	3,40000	350,00000	0,81174
53	1,23000	56,22488	2,30000	150,00000	0,71189
54	2,08000	126,39475	3,10000	295,00000	0,70458
55	4,47000	42,30631	1,90000	185,00000	0,82612
56	1,68000	13,83073	5,00000	5,00000	0,30195
57	1,50000	31,89945	4,20000	315,00000	0,67618
58	5,58000	56,73405	2,10000	290,00000	0,70357
59	2,72000	25,03188	3,70000	55,00000	0,70836
60	5,71000	56,08234	2,10000	10,00000	0,90083
61	5,33000	54,70590	2,50000	35,00000	0,86704
62	7,10000	24,48446	2,60000	210,00000	0,79015
63	5,25000	61,90523	2,00000	235,00000	0,83871
64	5,91000	52,61290	2,00000	295,00000	0,79398
65	5,68000	52,99010	2,20000	265,00000	0,87433
66	7,19000	23,16230	4,00000	325,00000	0,78240
67	7,57000	27,52894	2,60000	220,00000	0,88196
68	11,47000	36,54625	1,80000	360,00000	0,82168
69	9,80000	27,31459	2,20000	5,00000	0,76237
70	9,52000	43,32040	1,60000	0,00000	0,79365
71	11,74000	23,59736	2,10000	150,00000	0,68070
72	11,46000	23,11394	2,30000	95,00000	0,76957

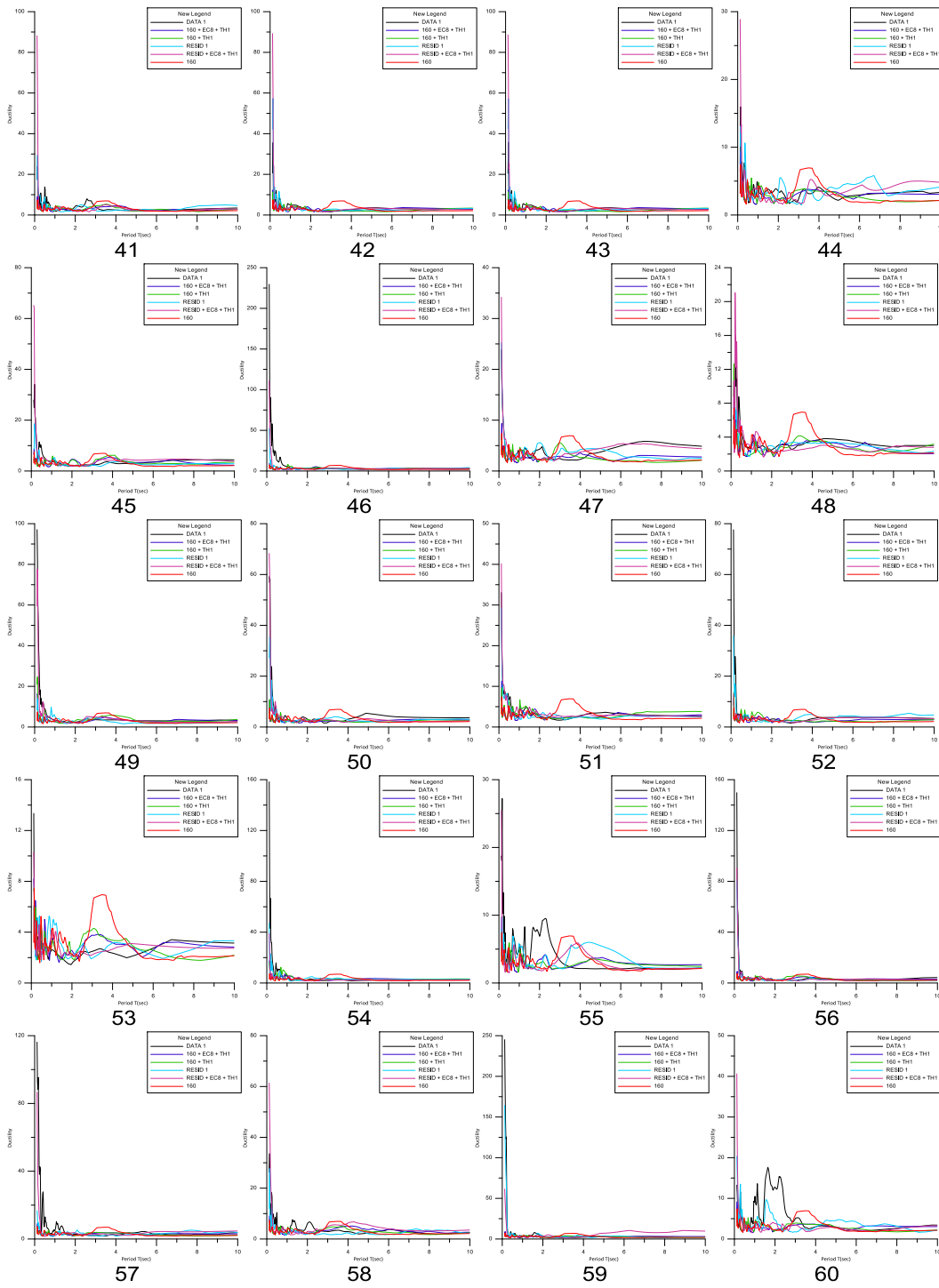
#	PULSE 1				
	<i>T</i> (s)	<i>A</i> (cm/s)	γ	ν (°)	<i>cc</i>
73	4,72000	82,48397	3,70000	65,00000	0,71399
74	12,05000	183,92364	1,60000	190,00000	0,88336
75	5,51000	81,27617	1,60000	320,00000	0,81384
76	5,37000	32,14395	2,00000	75,00000	0,58923
77	7,88000	44,77939	1,70000	355,00000	0,78156
78	9,14000	35,72362	1,90000	95,00000	0,78460
79	5,51000	18,64478	4,00000	85,00000	0,57922
80	9,51000	41,78566	1,90000	140,00000	0,81917
81	9,30000	52,76583	2,00000	135,00000	0,70536
82	8,17000	51,91596	2,10000	80,00000	0,83887
83	11,01000	21,57982	2,50000	170,00000	0,69010
84	7,44000	71,52293	1,80000	145,00000	0,80941
85	10,56000	35,64750	2,00000	175,00000	0,81066
86	0,98000	33,20126	1,60000	40,00000	0,82856
87	0,70000	39,29160	1,90000	175,00000	0,84307
88	2,95000	33,05888	2,50000	160,00000	0,80368
89	1,13000	59,95795	3,60000	105,00000	0,94402
90	0,87000	54,92985	1,60000	315,00000	0,90663
91	2,41000	32,59157	2,60000	330,00000	0,81194

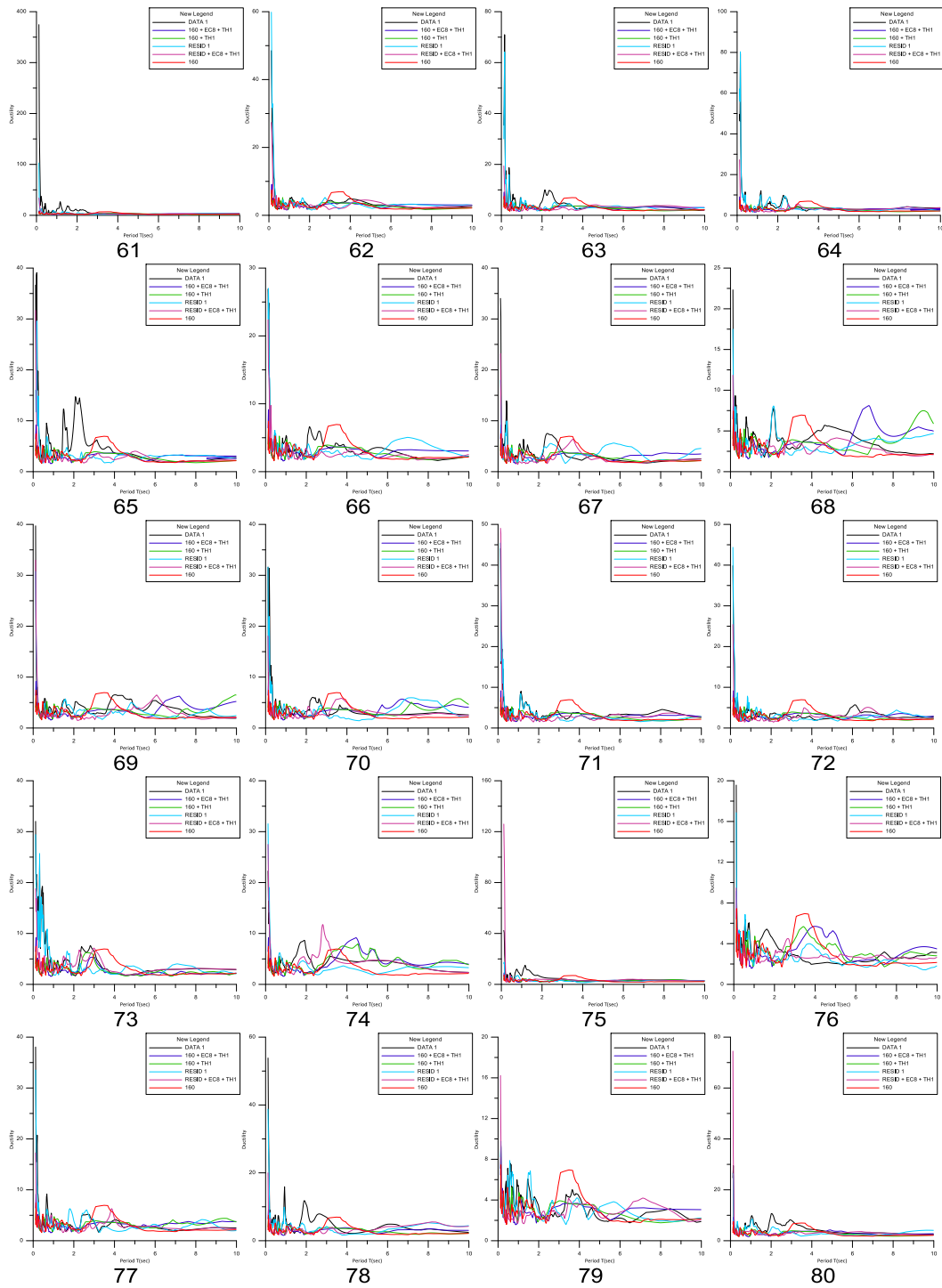
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

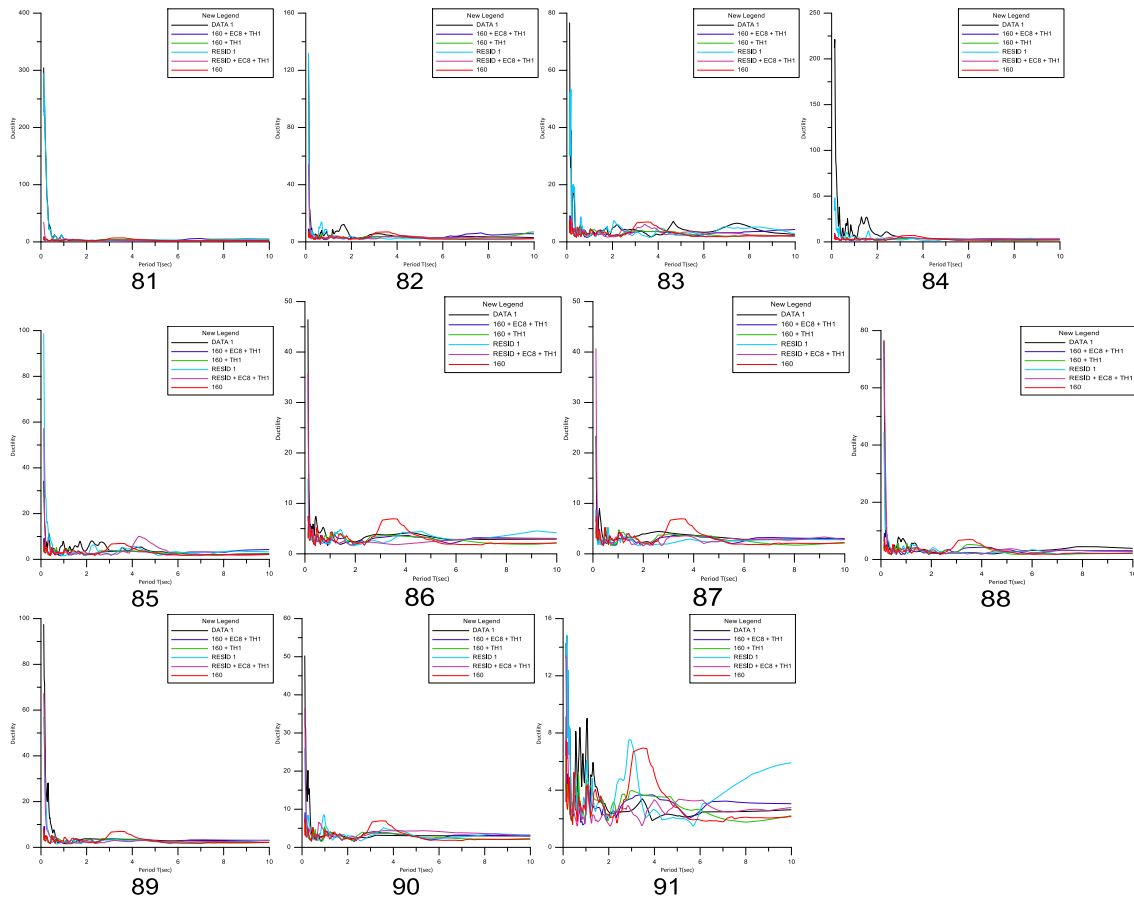
Χρονοϊστορίες και φάσματα των καταγραφών



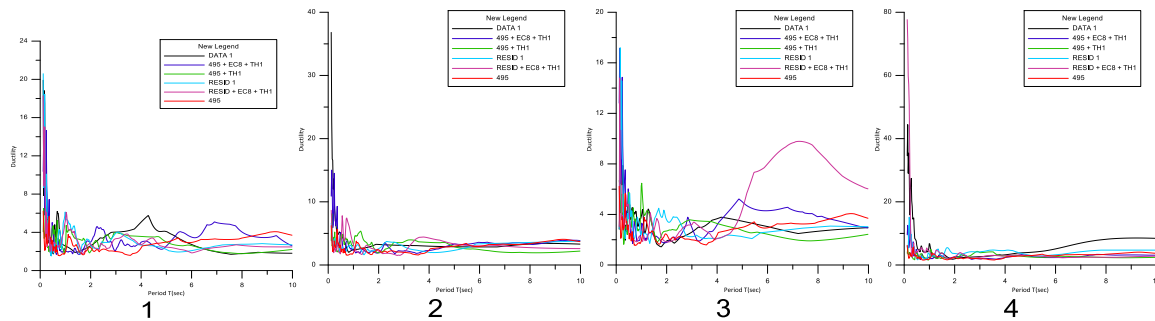


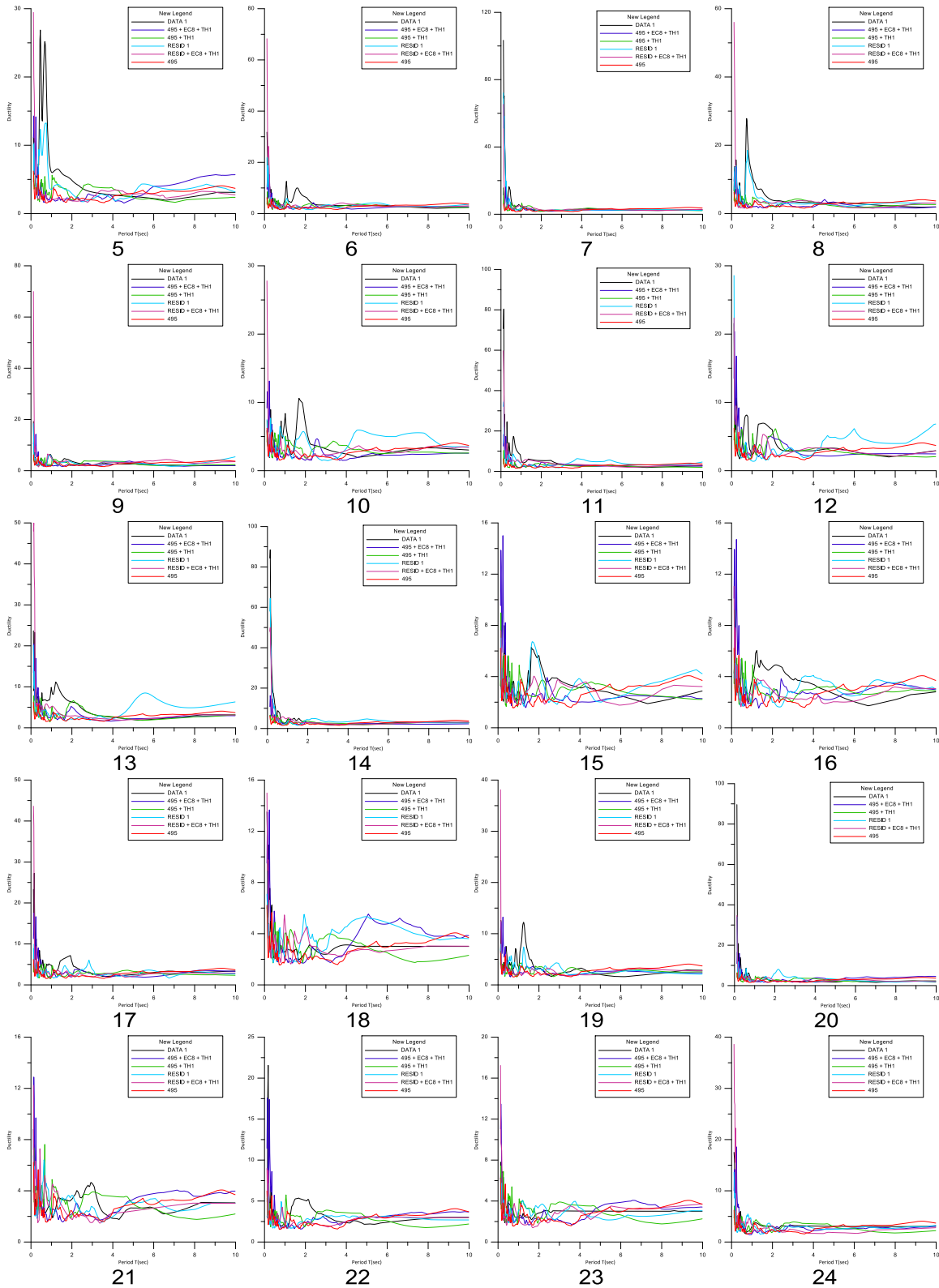


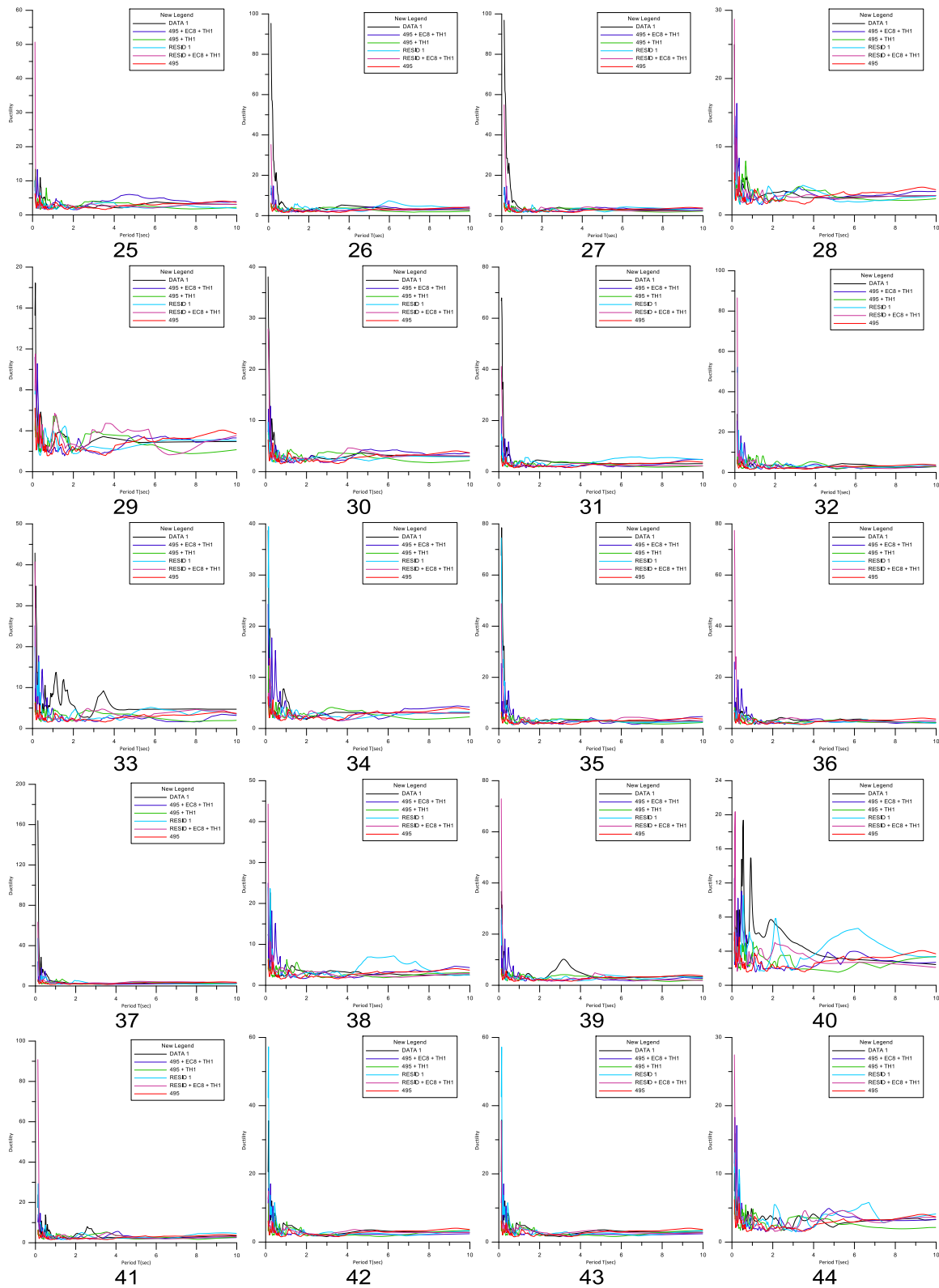


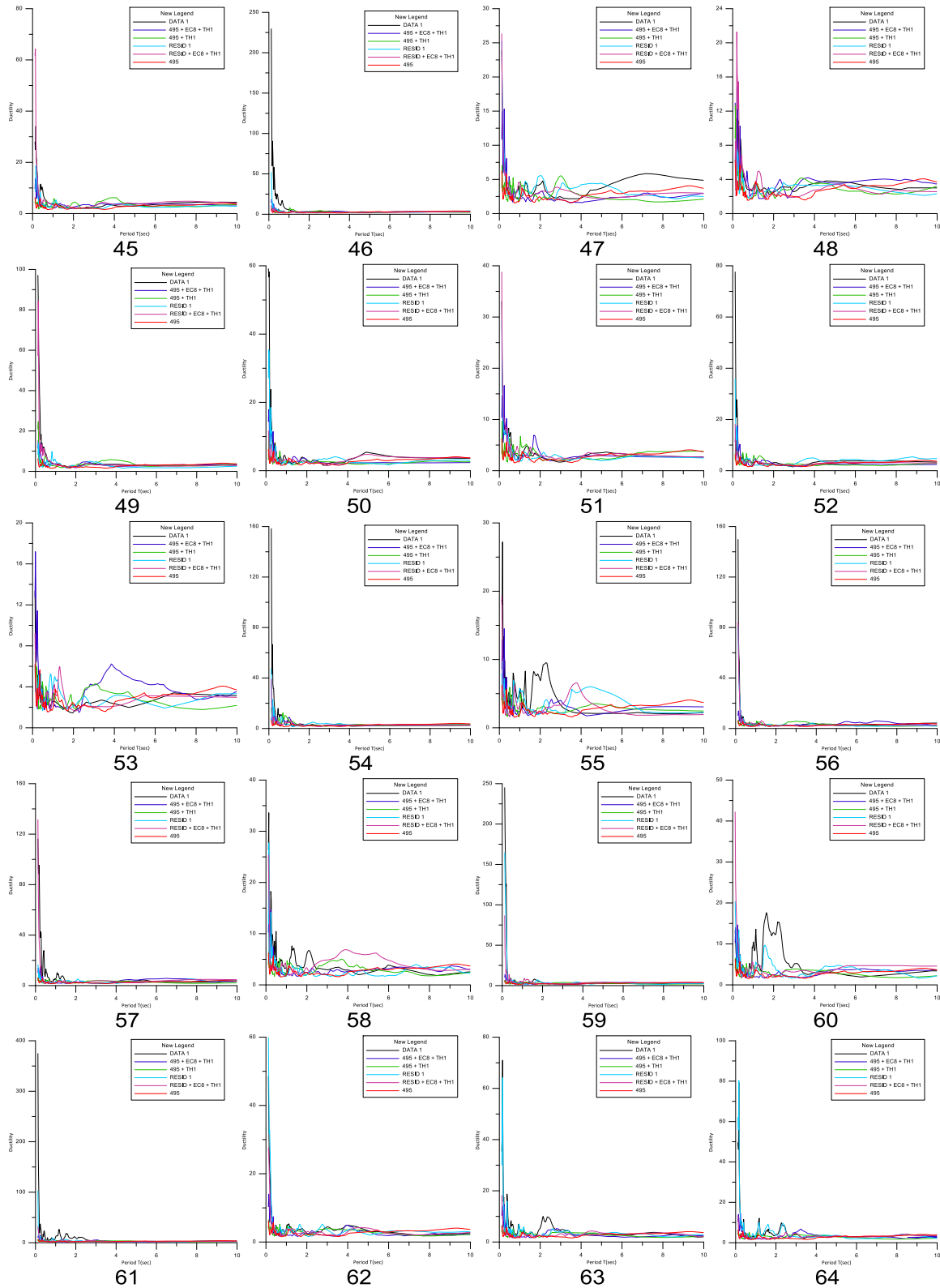


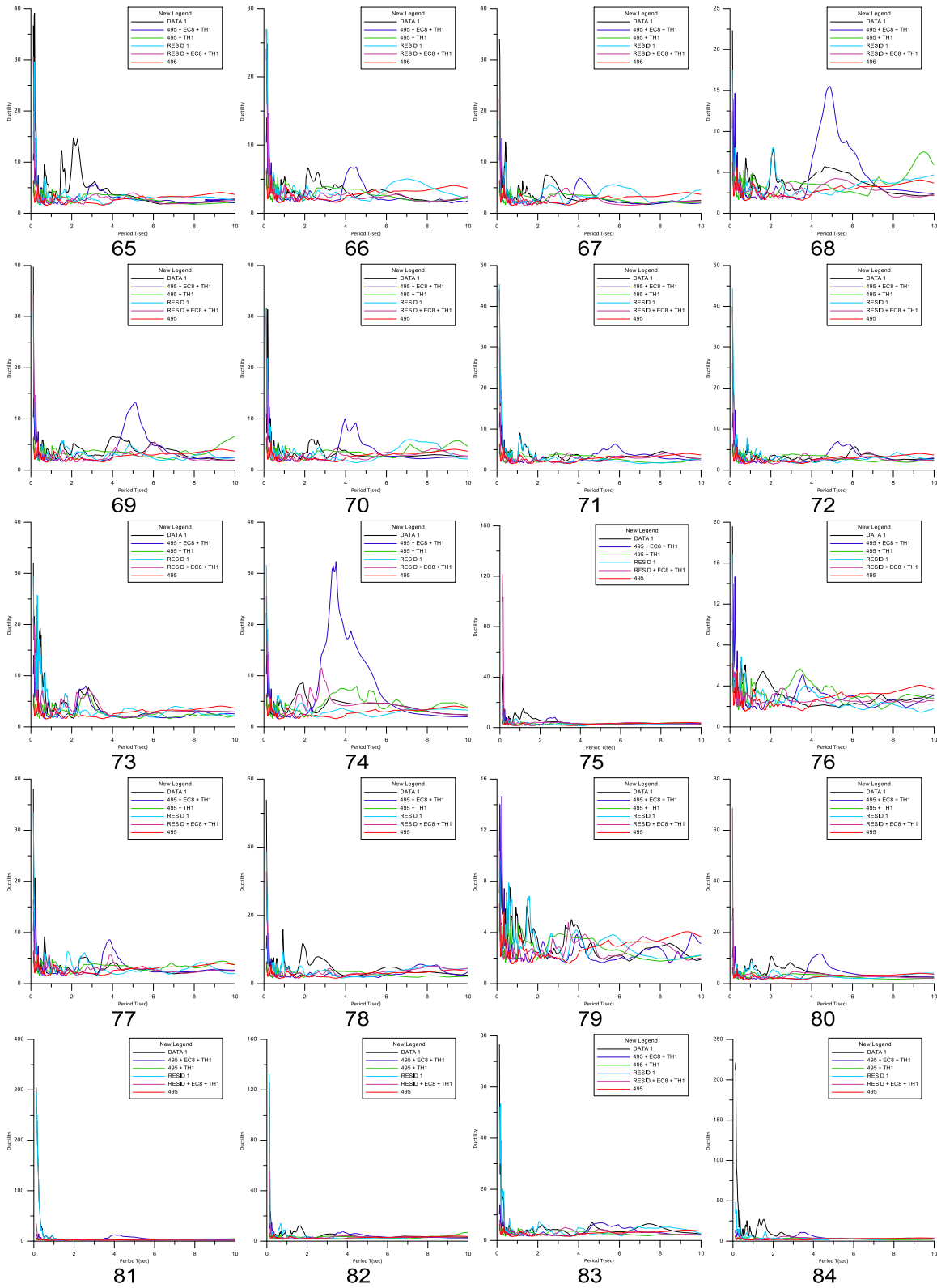
Σχήμα 6.3: Αναπαράσταση σύγκρισης των πέντε μεθοδολογιών με την αρχική καταγραφή σε όρους πλαστιμότητας για τις 91 καταγραφές από την βάση δεδομένων NGA για την τυχαία μη παλμική καταγραφή 160.

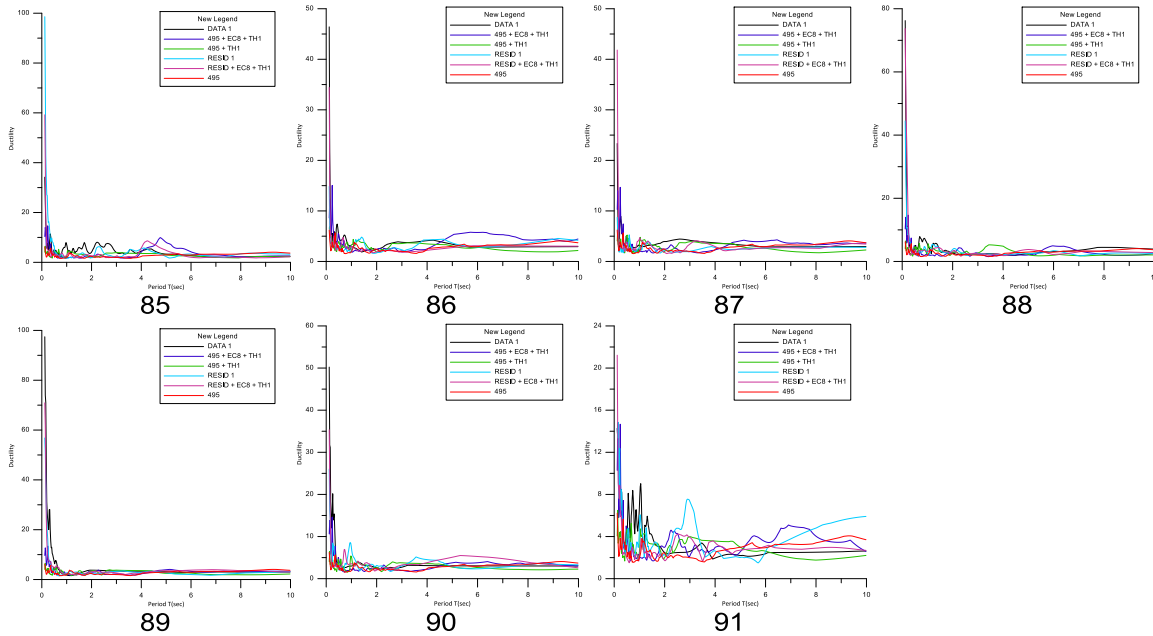




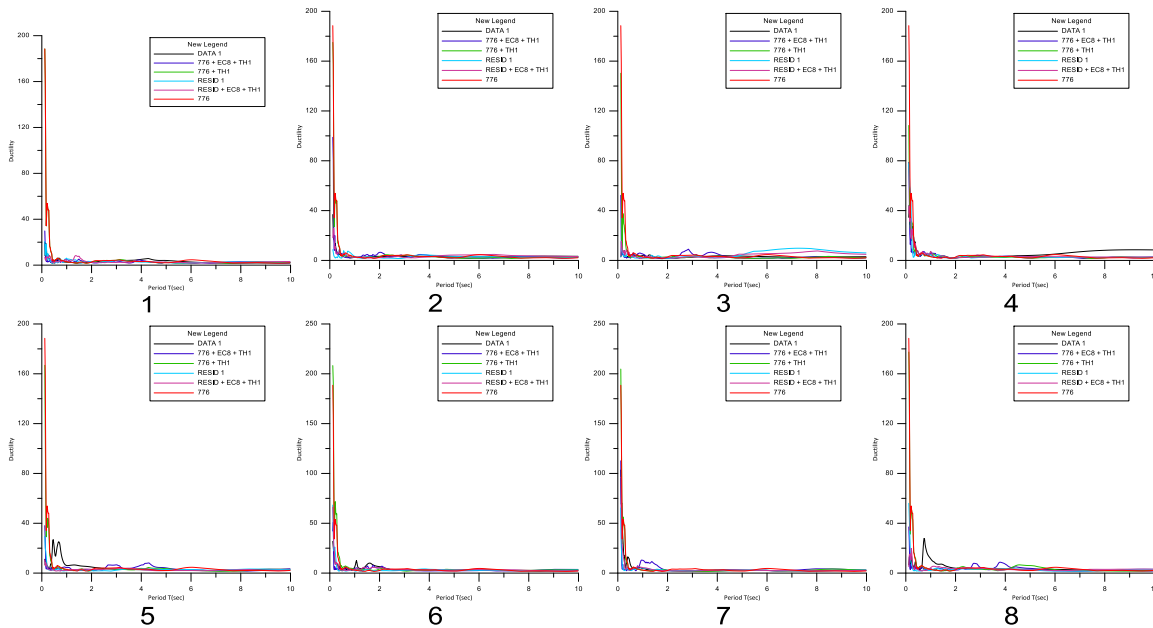








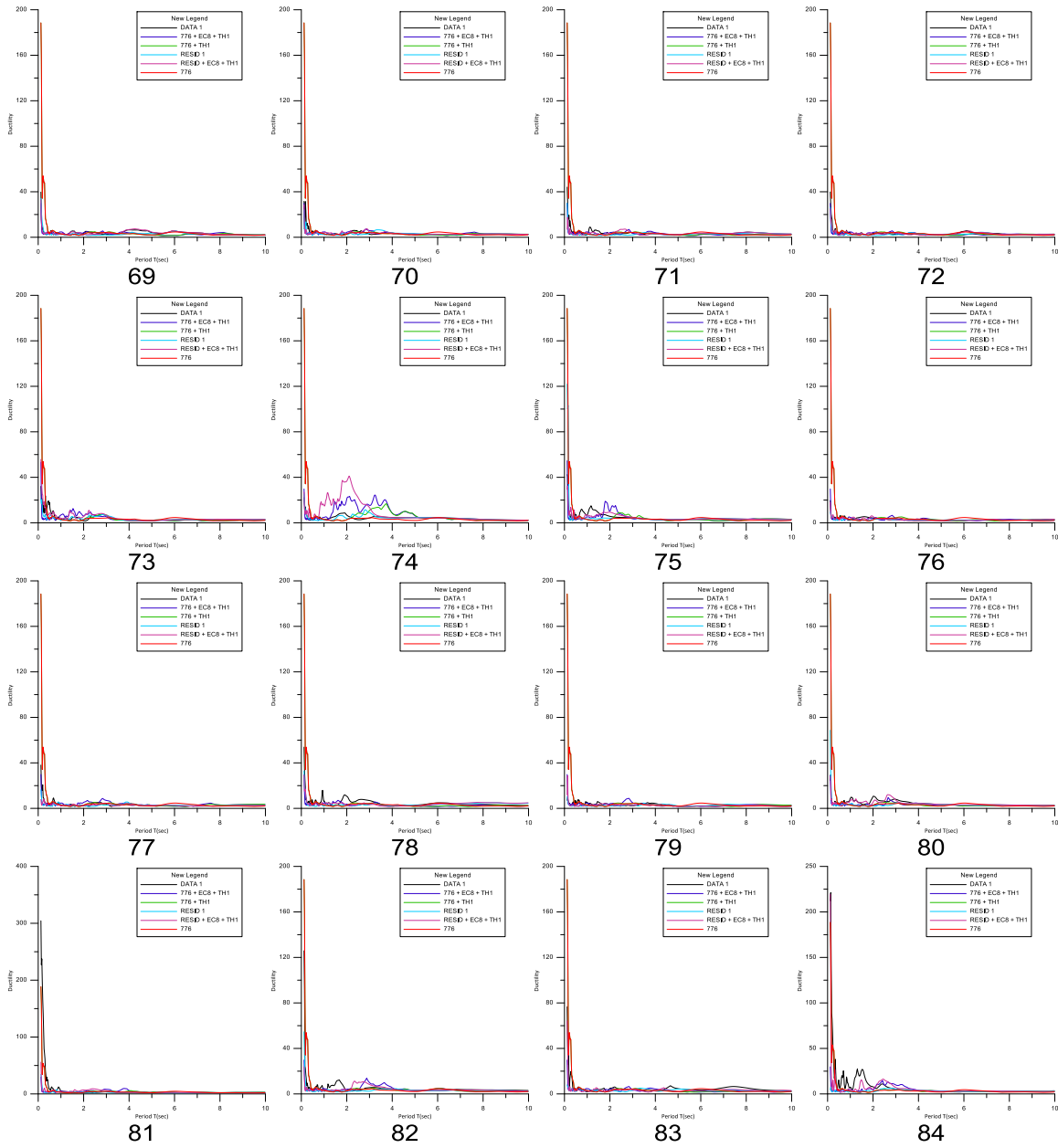
Σχήμα 6.4: Αναπαράσταση σύγκρισης των πέντε μεθοδολογιών με την αρχική καταγραφή σε όρους πλαστιμοτήτων για τις 91 καταγραφές από την βάση δεδομένων NGA για την τυχαία μη παλμική καταγραφή 495.

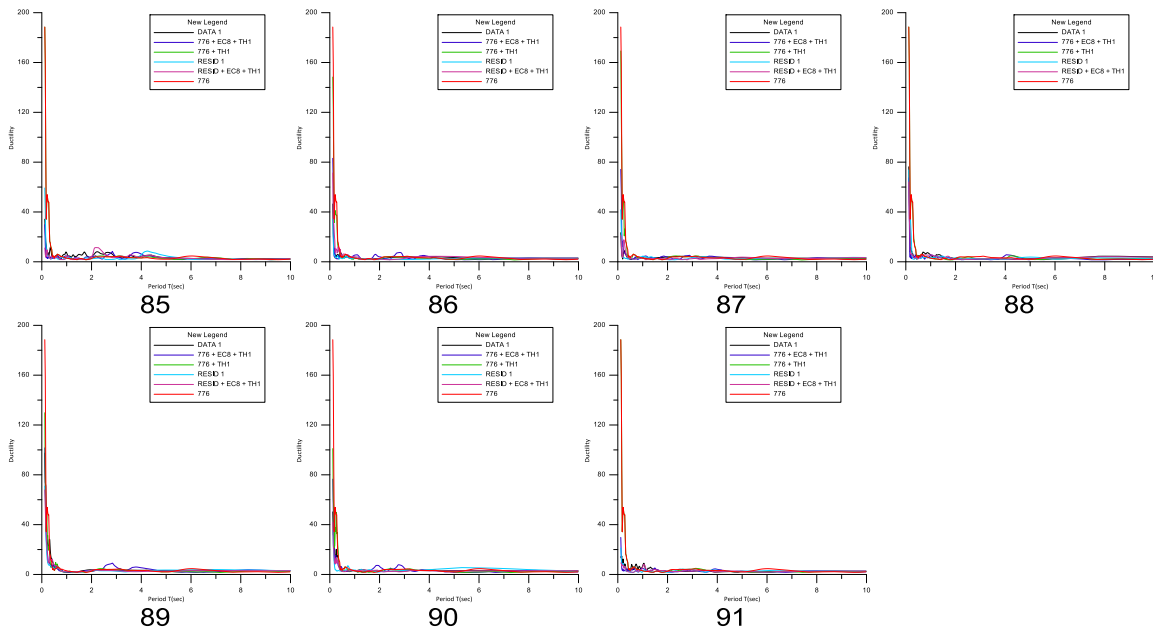




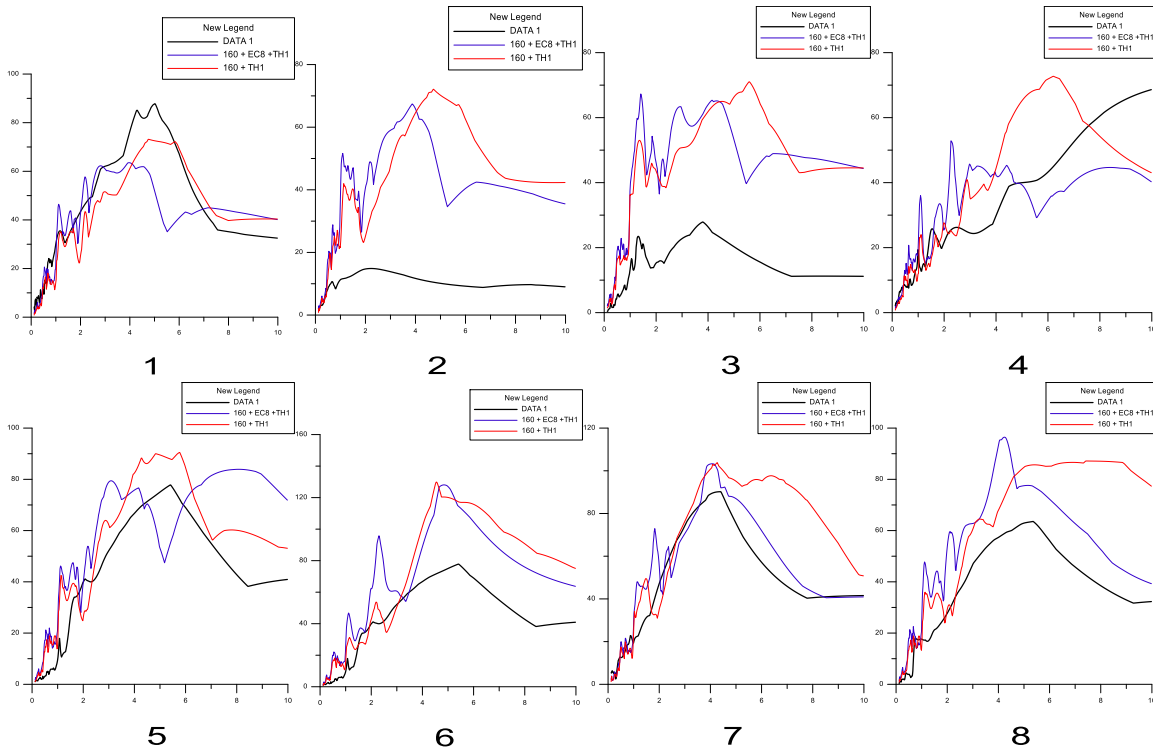


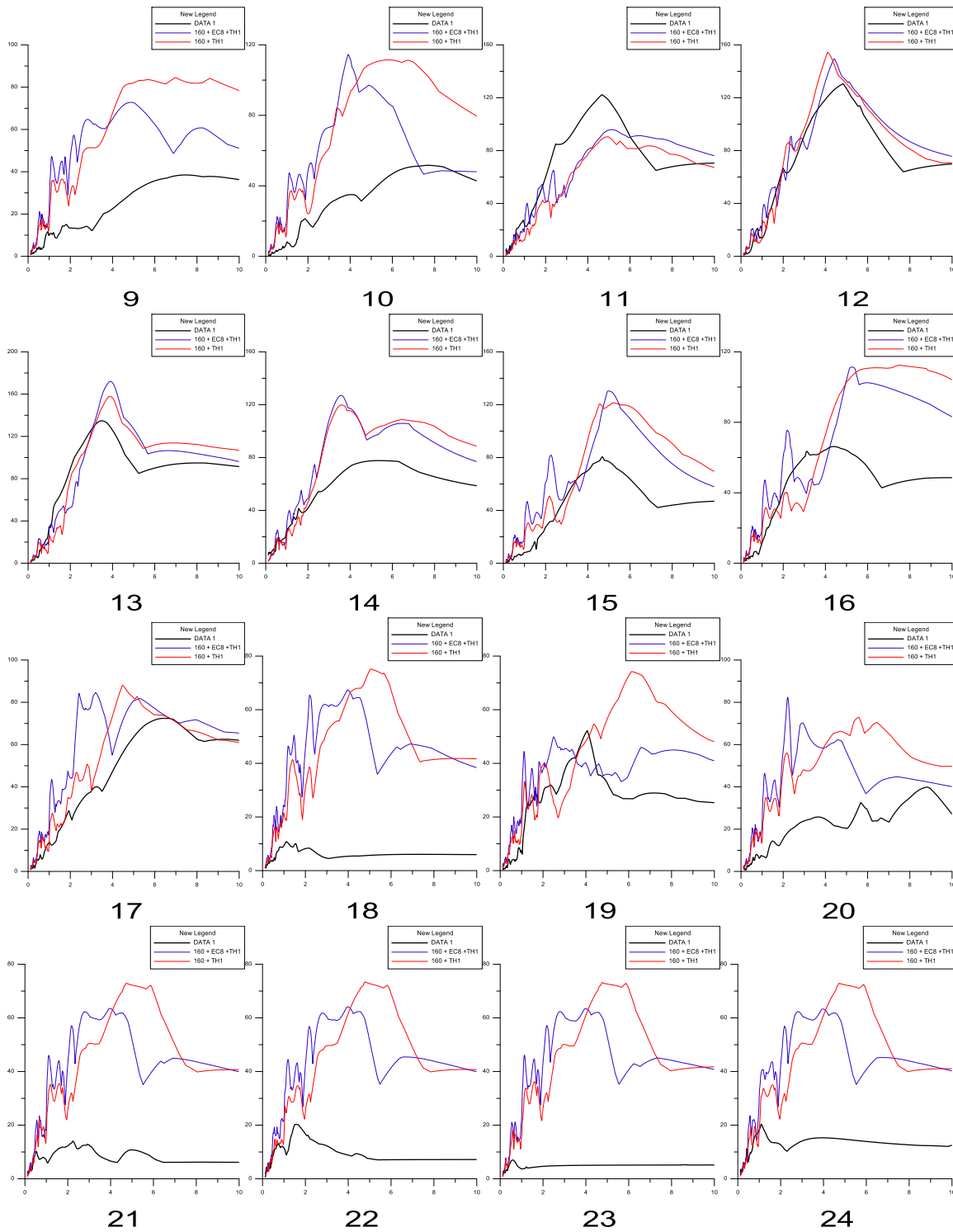


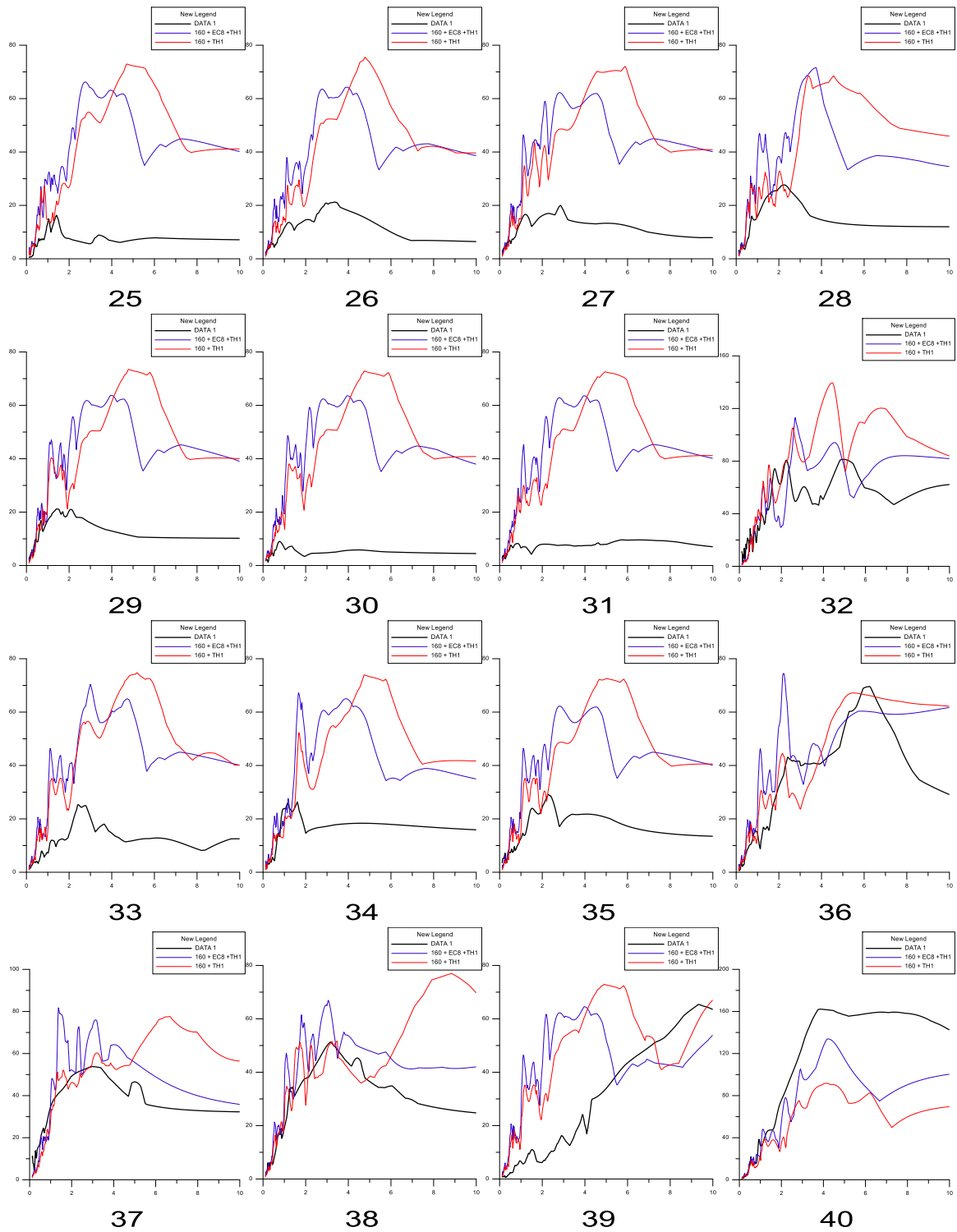


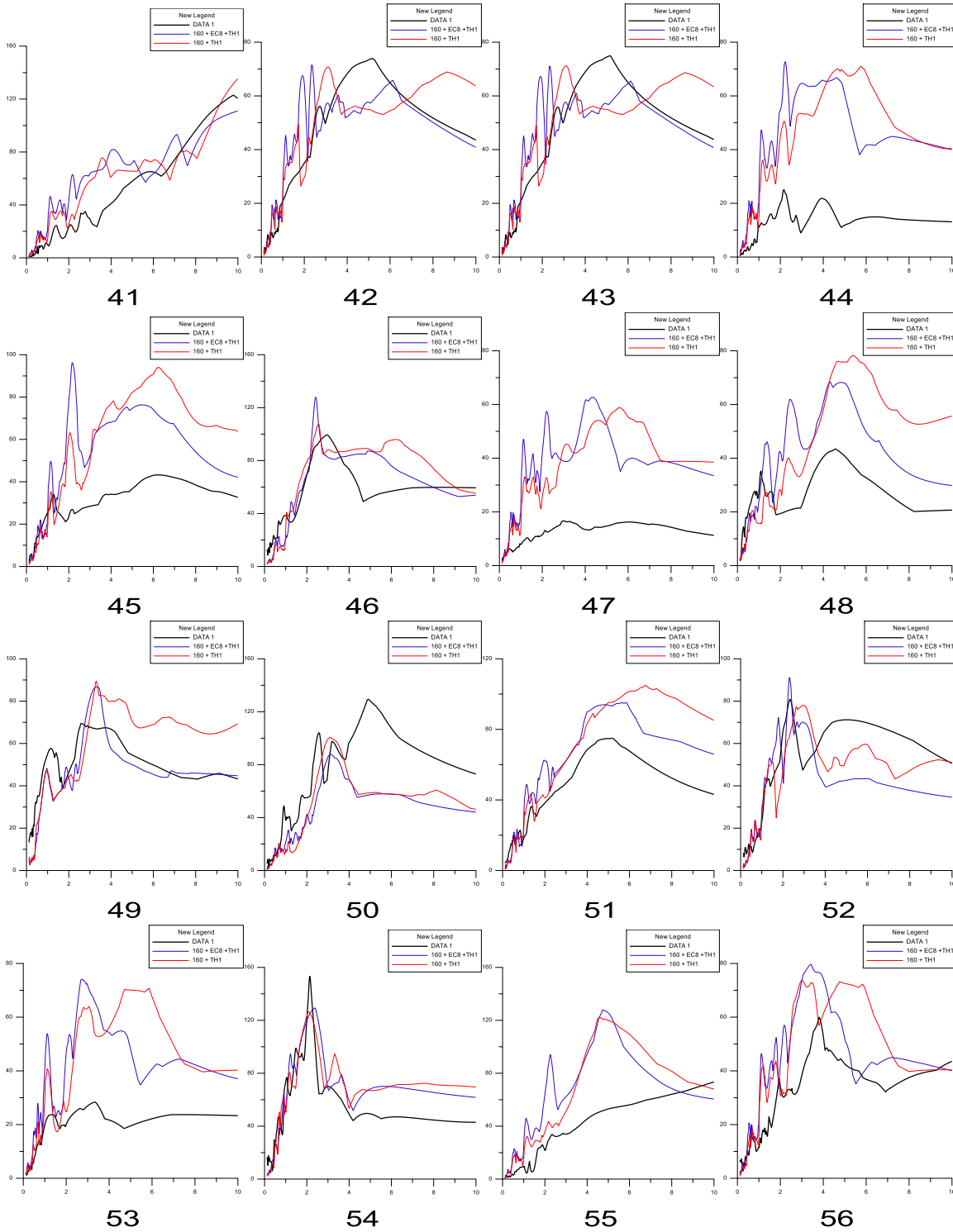


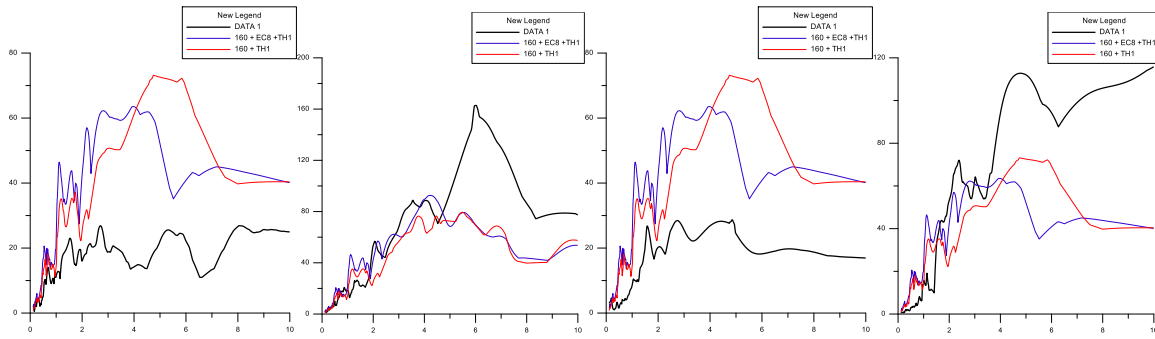
Σχήμα 6.5: Αναπαράσταση σύγκρισης των πέντε μεθοδολογιών με την αρχική καταγραφή σε όρους πλαστιμότητας για τις 91 καταγραφές από την βάση δεδομένων NGA για την τυχαία μη παλμική καταγραφή 776.









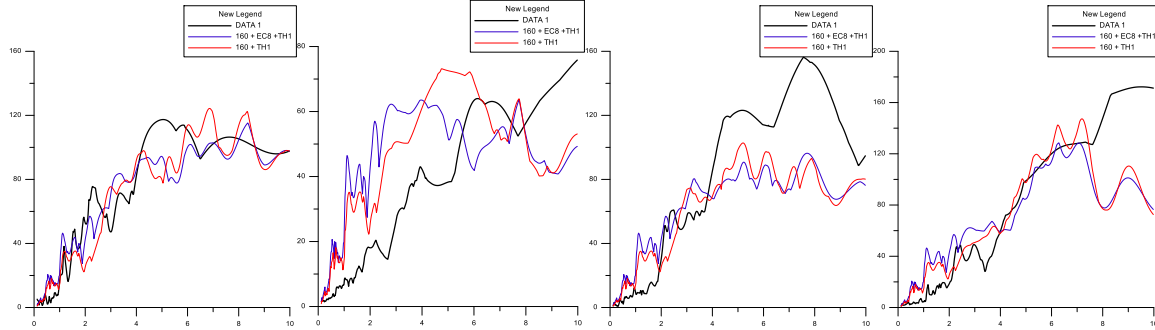


57

58

59

60

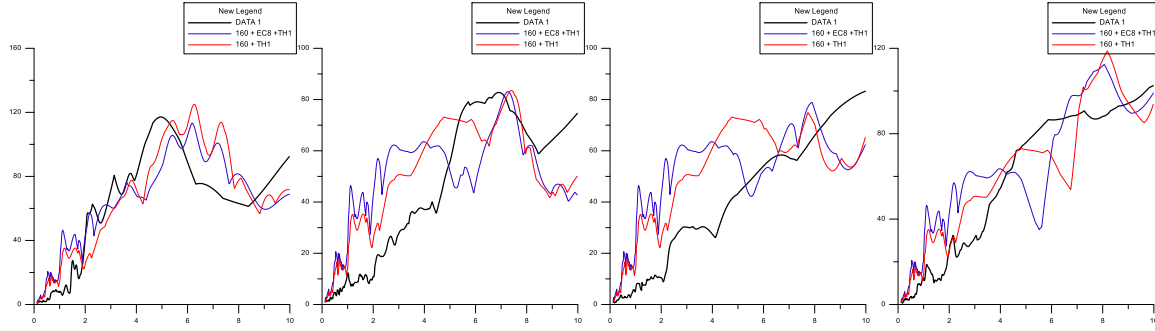


61

62

63

64

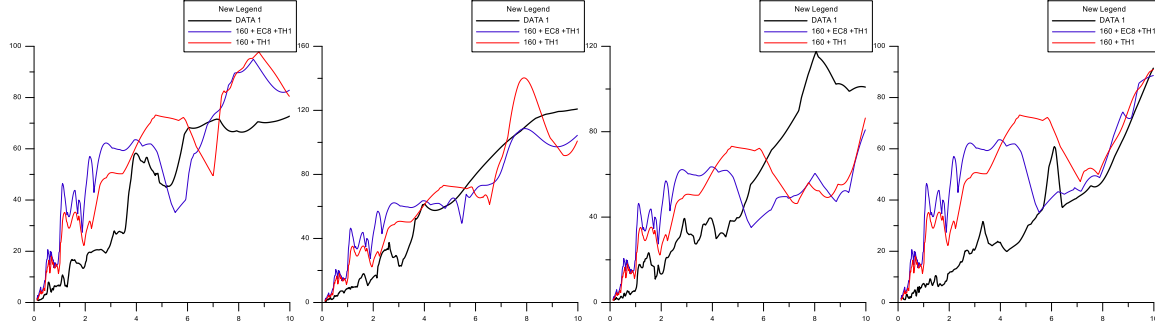


65

66

67

68

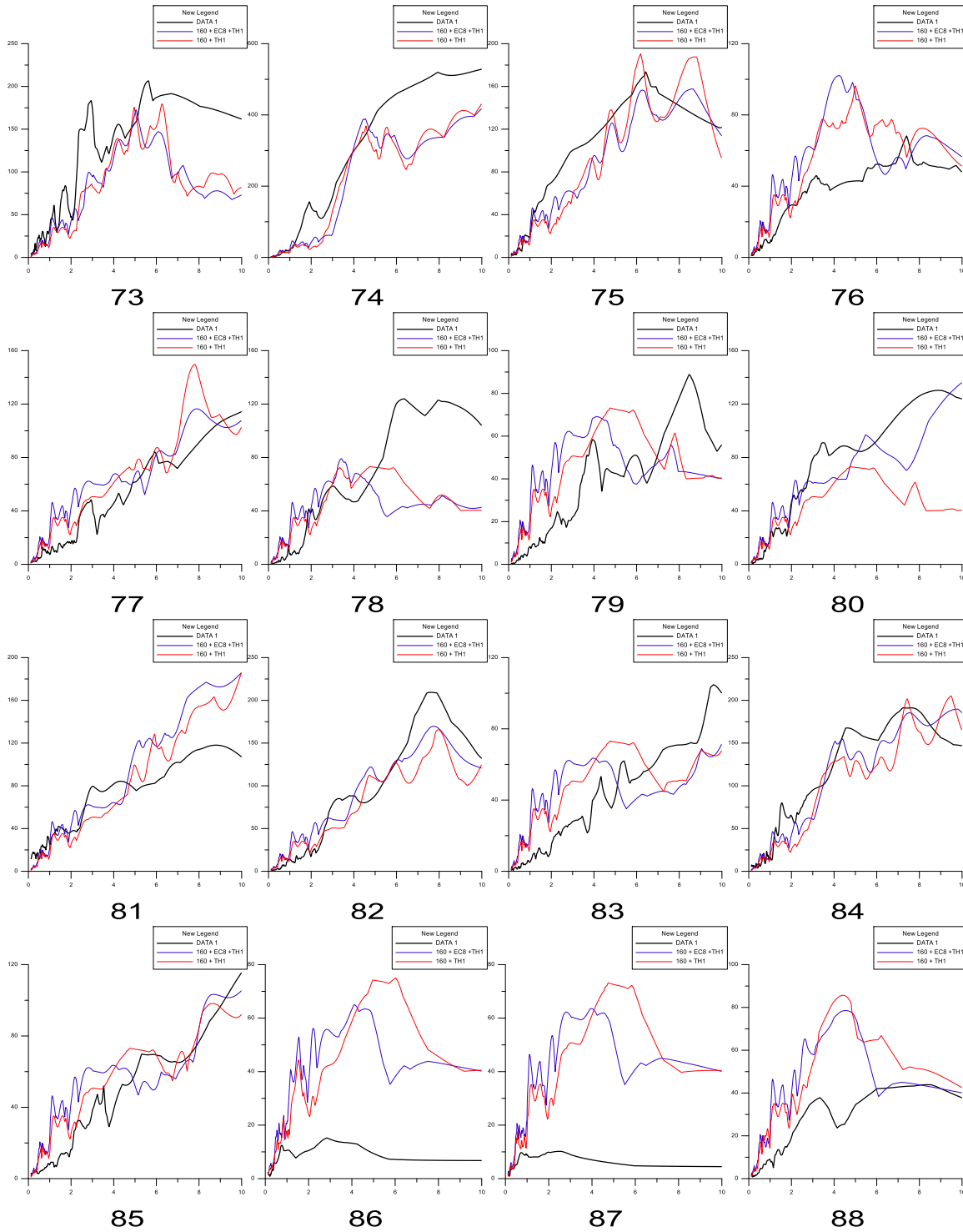


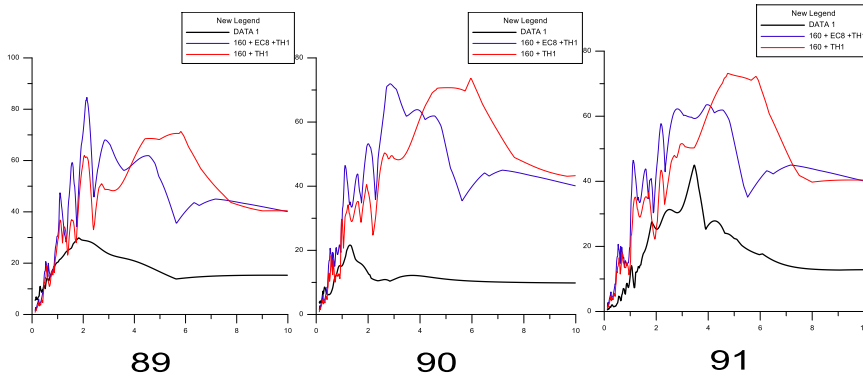
69

70

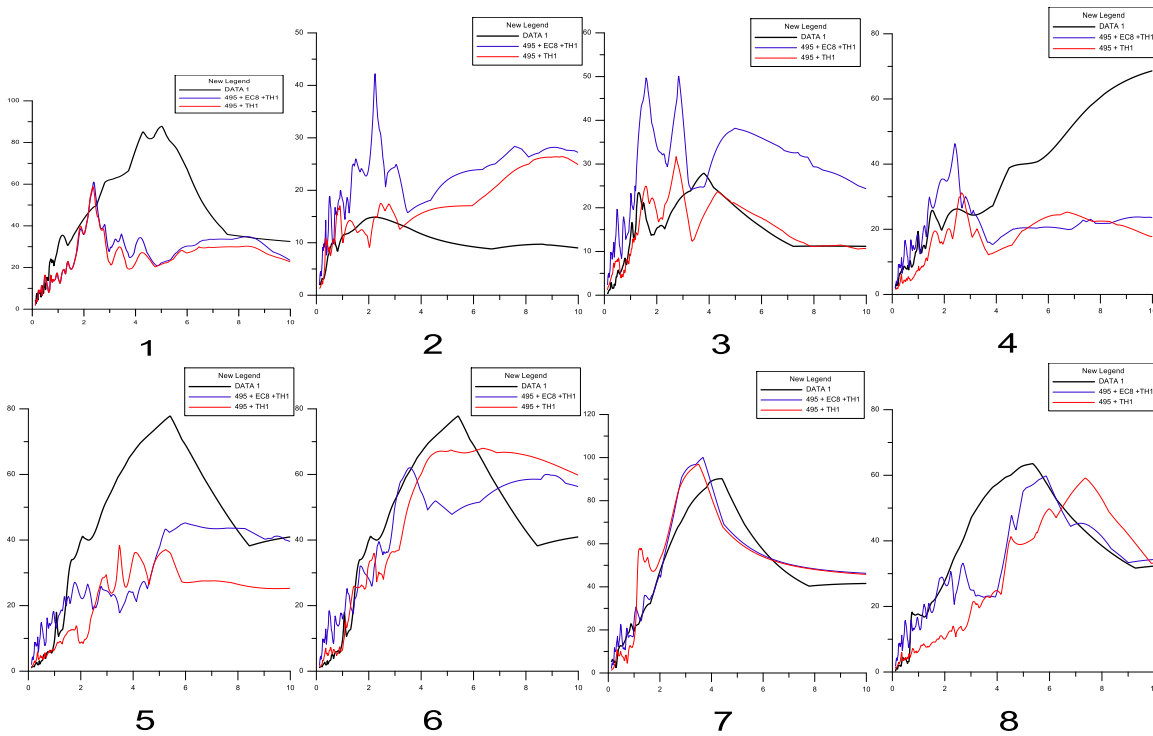
71

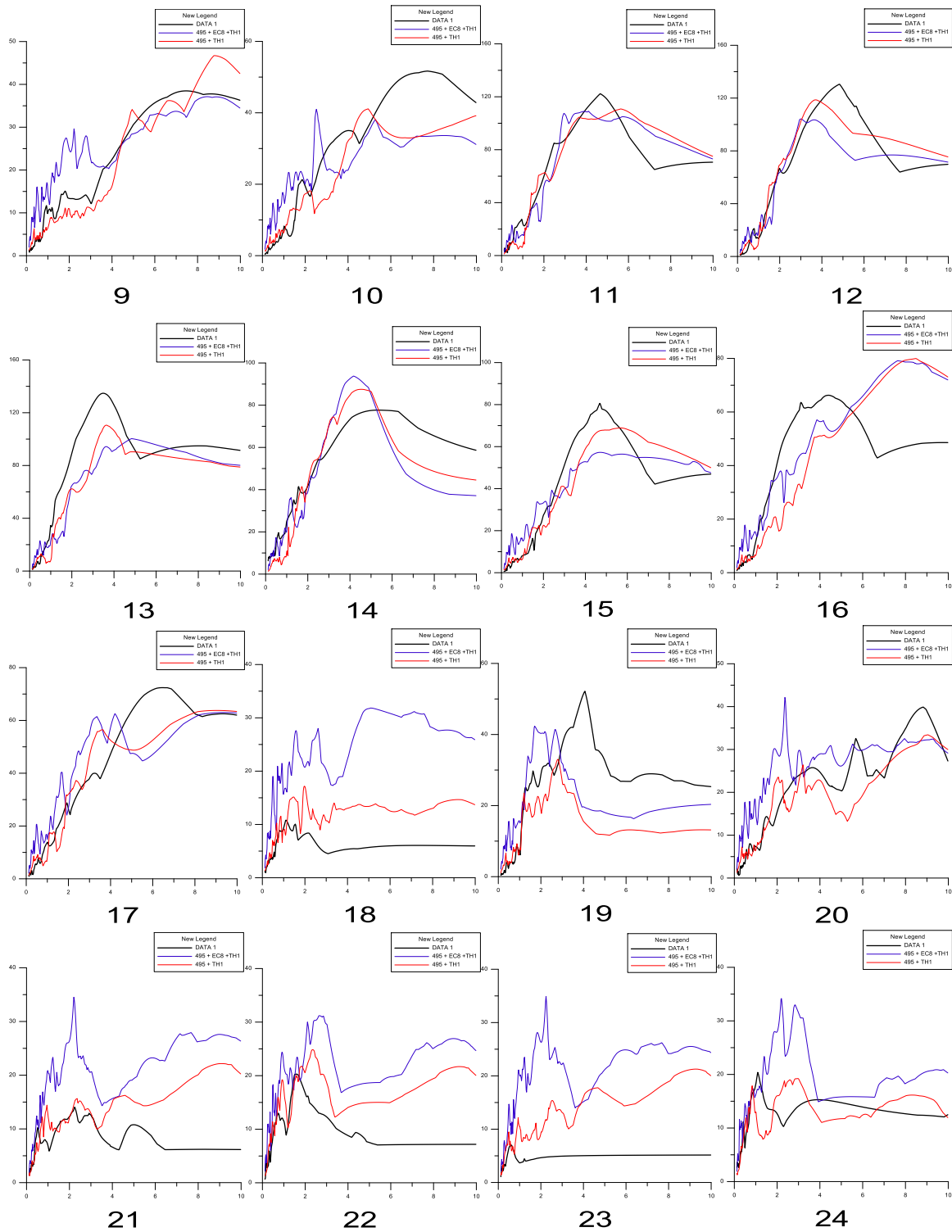
72

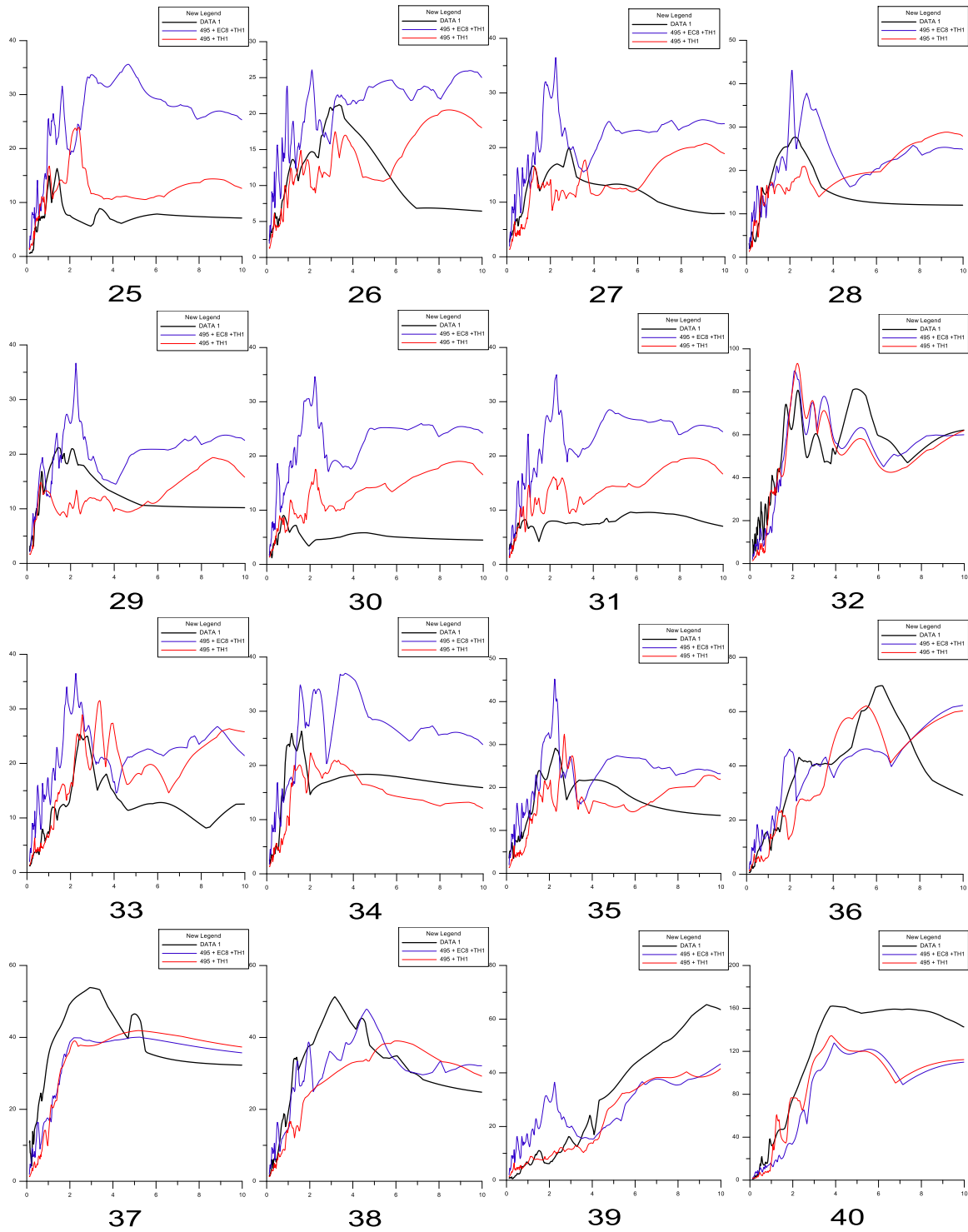


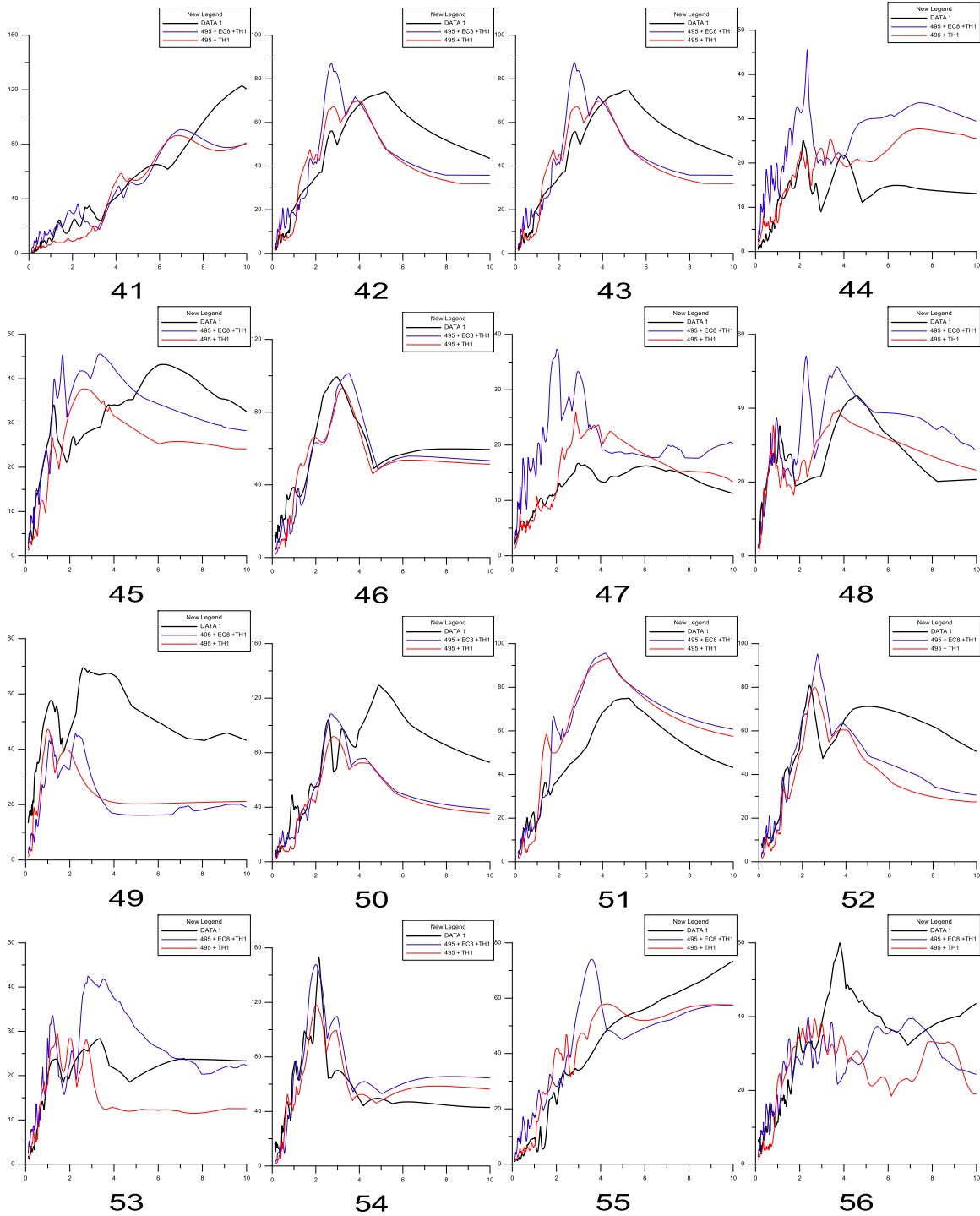


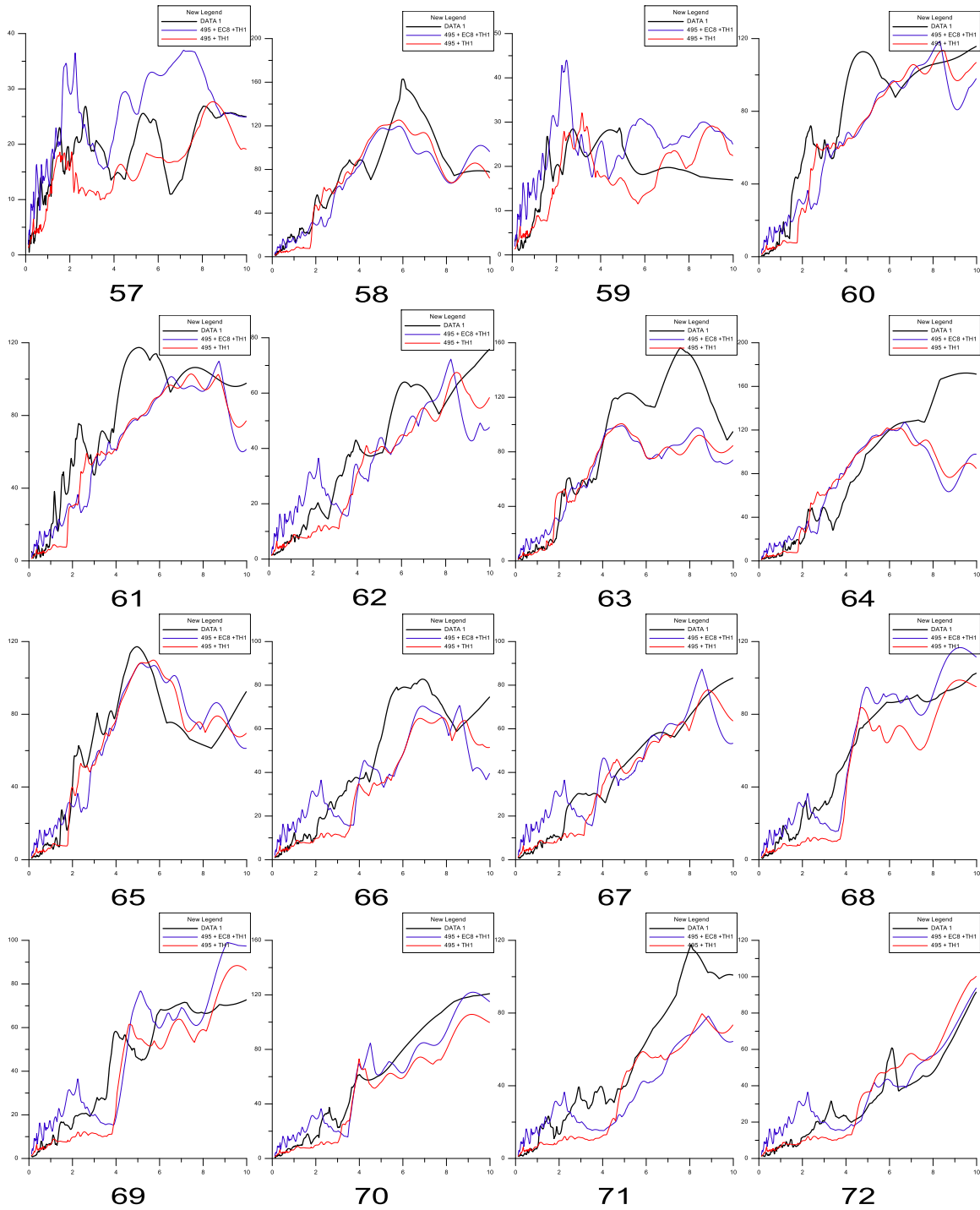
Σχήμα 6.6: Αναπαράσταση φασμάτων μετατοπίσεων της αρχικής καταγραφής, της τυχαίας μη παλμικής καταγραφής (με προσαρμογή και χωρίς στον EC8) με την προσθήκη ενός παλμού για τις 91 καταγραφές από την βάση δεδομένων NGA για την τυχαία μη παλμική καταγραφή 160.

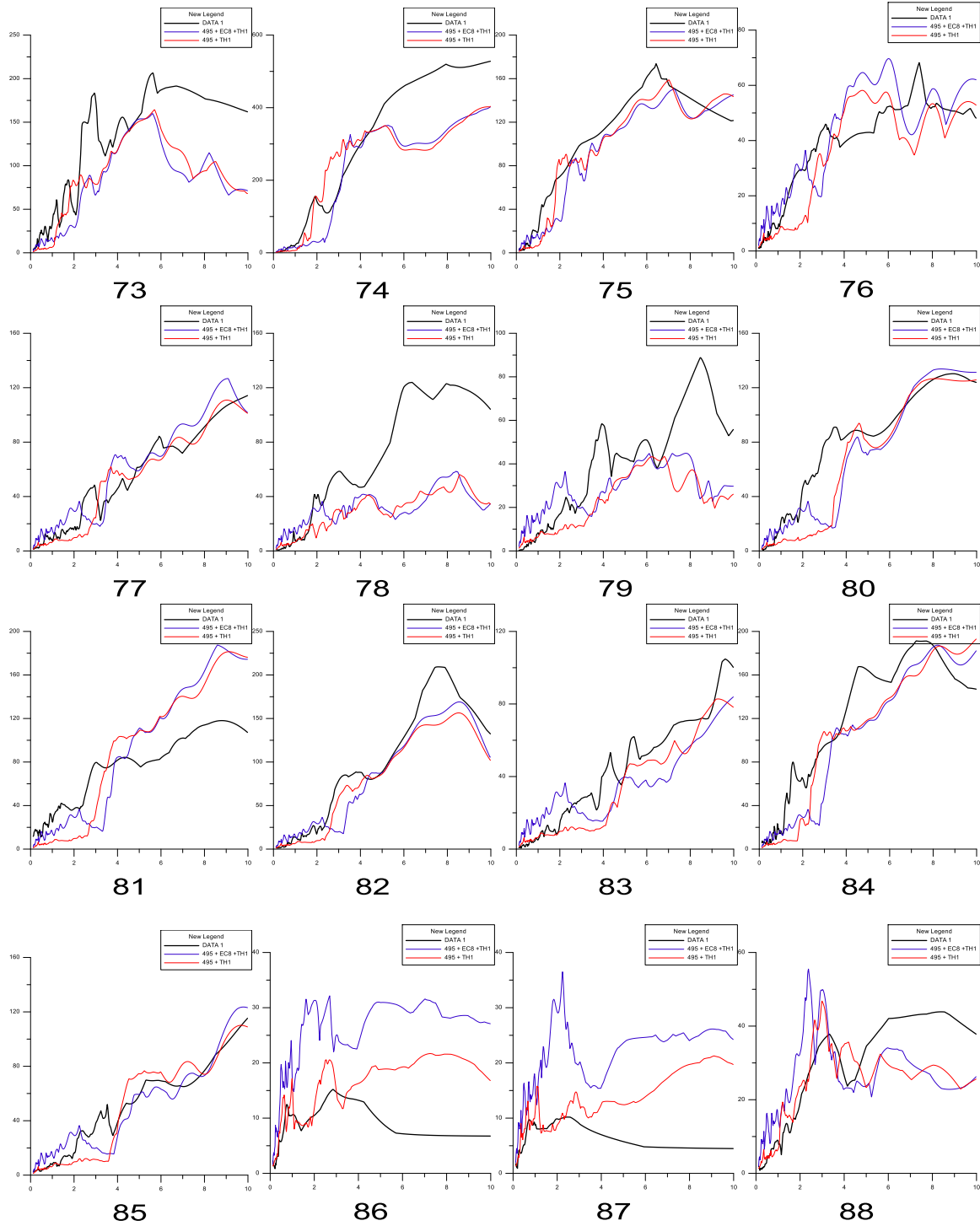


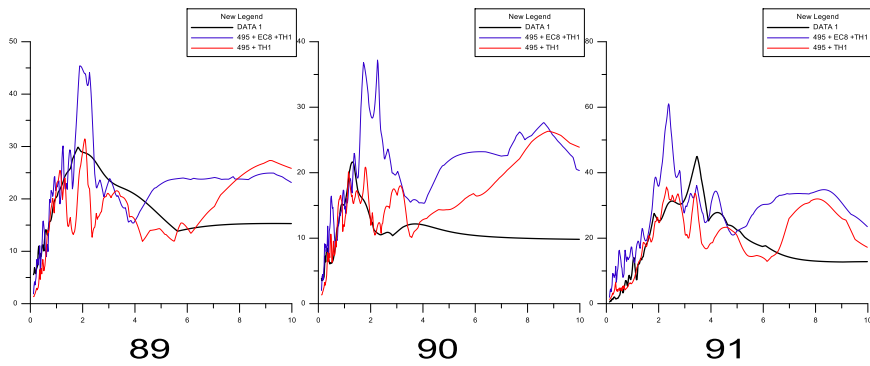




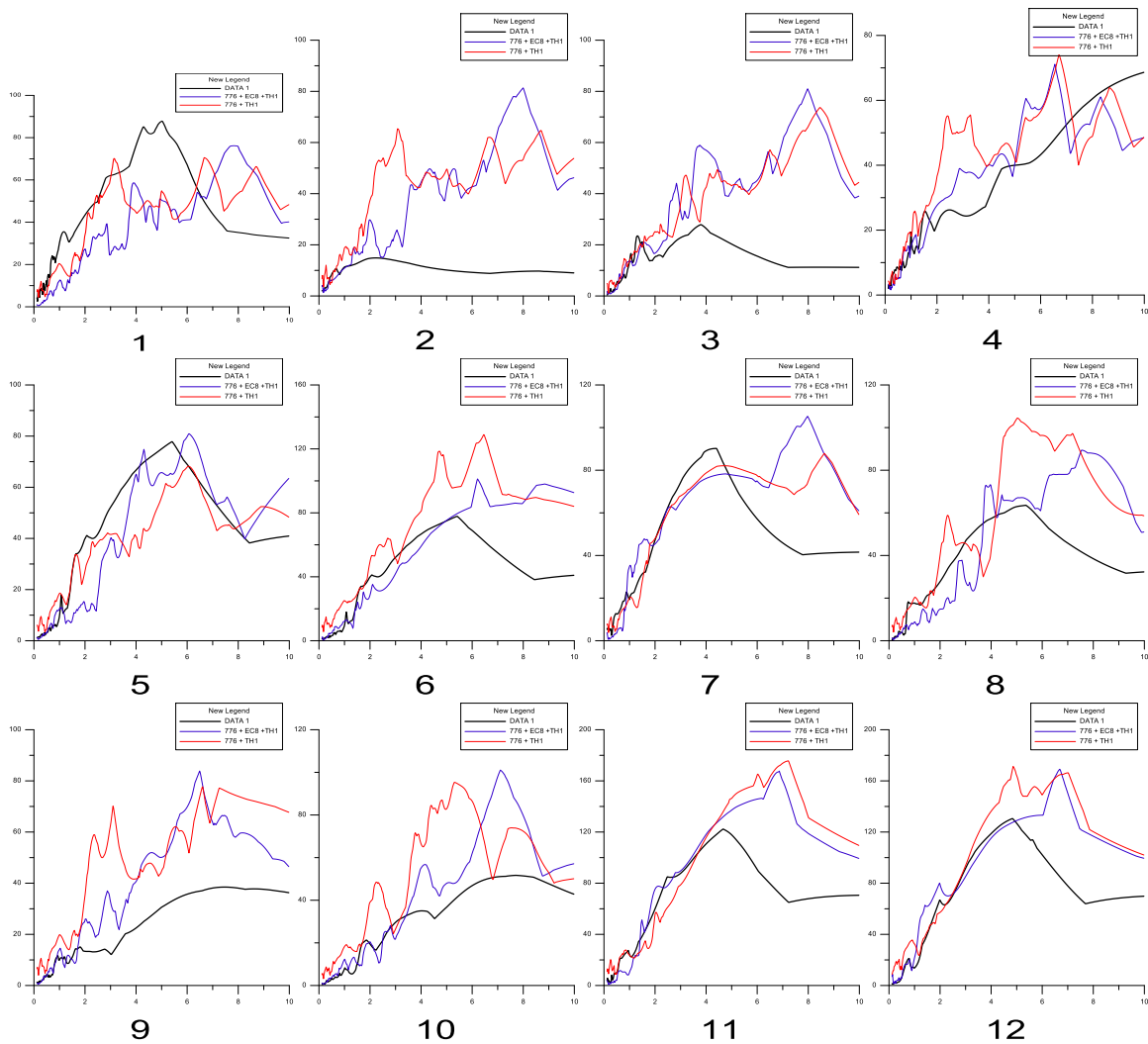


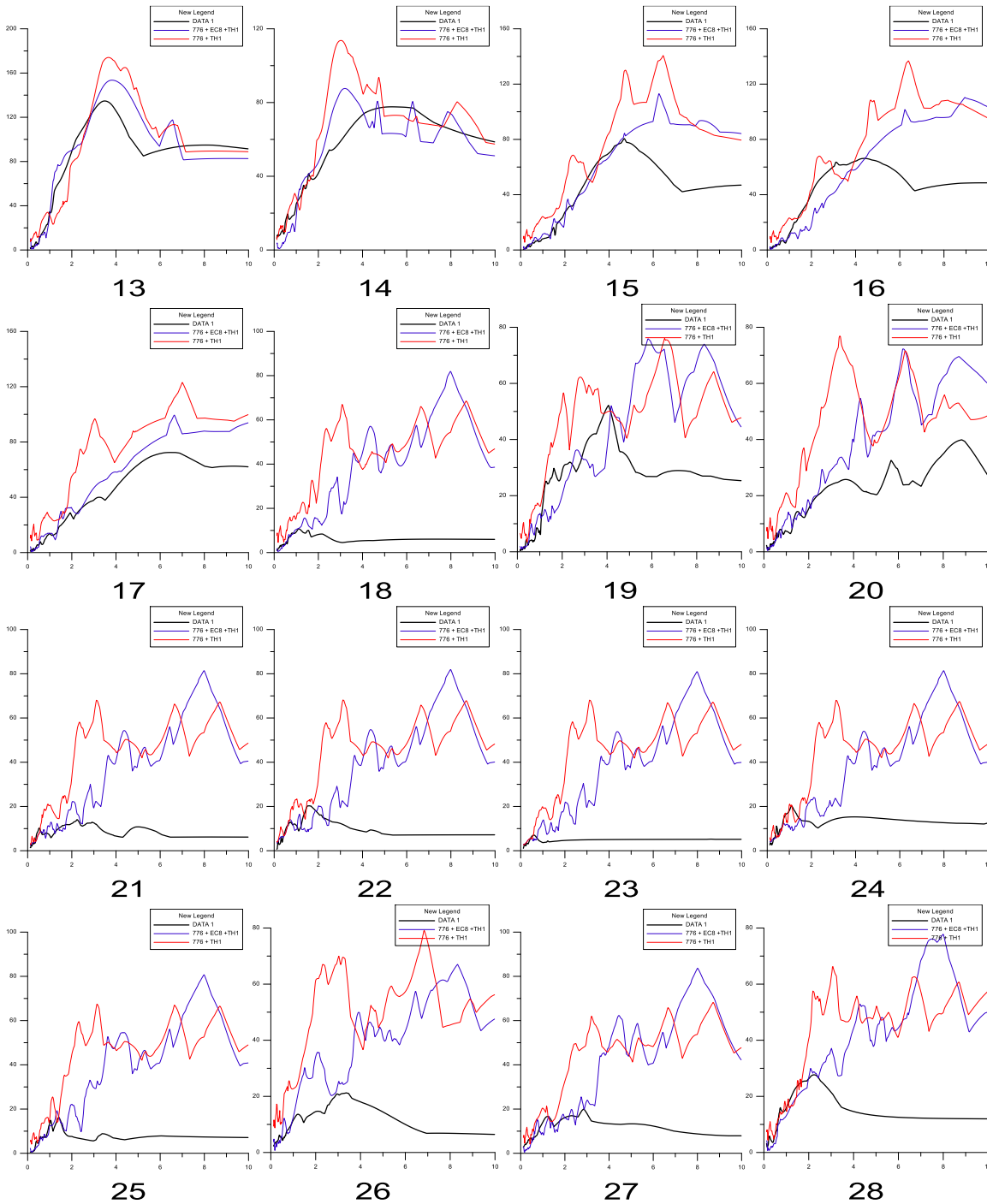


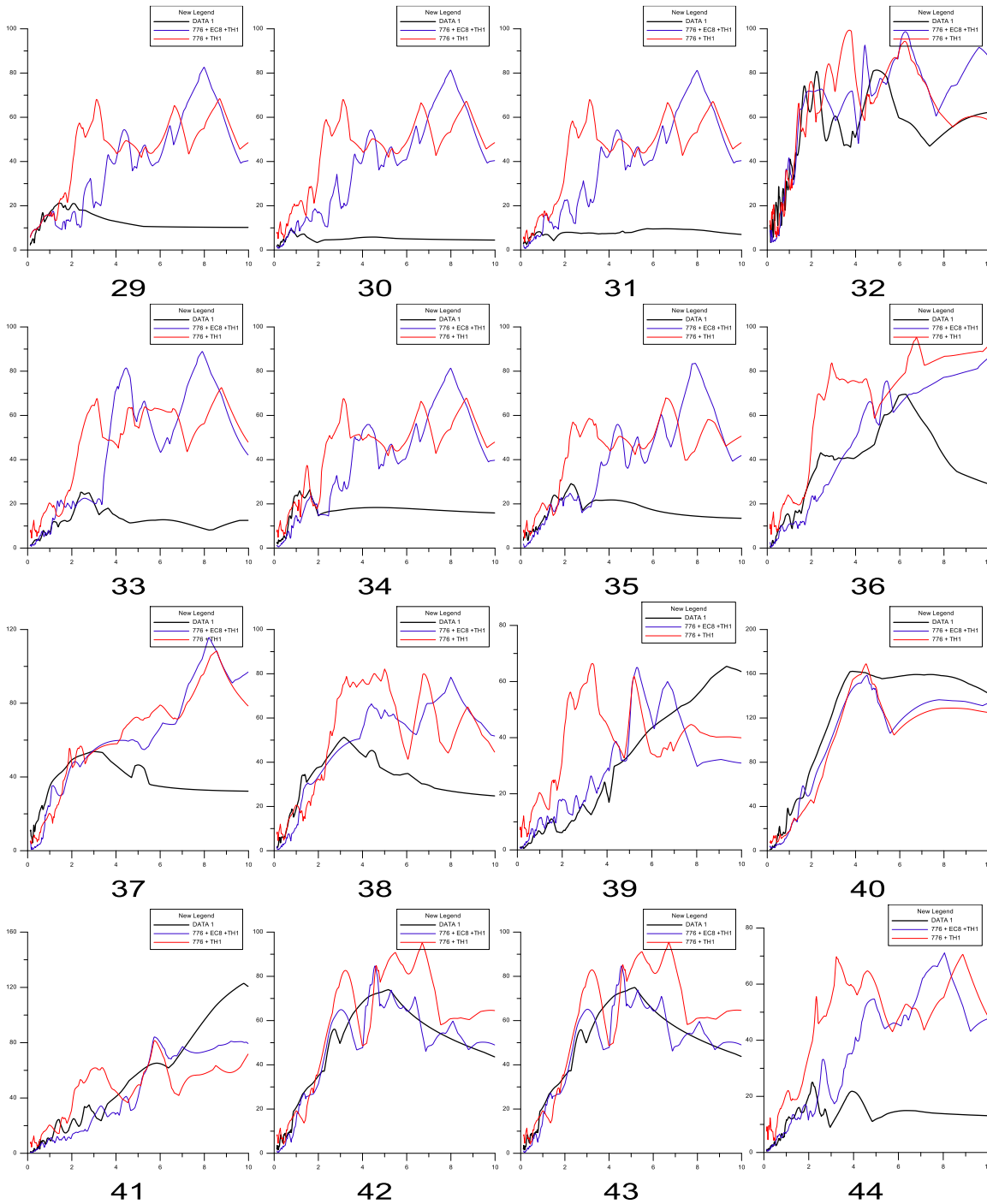


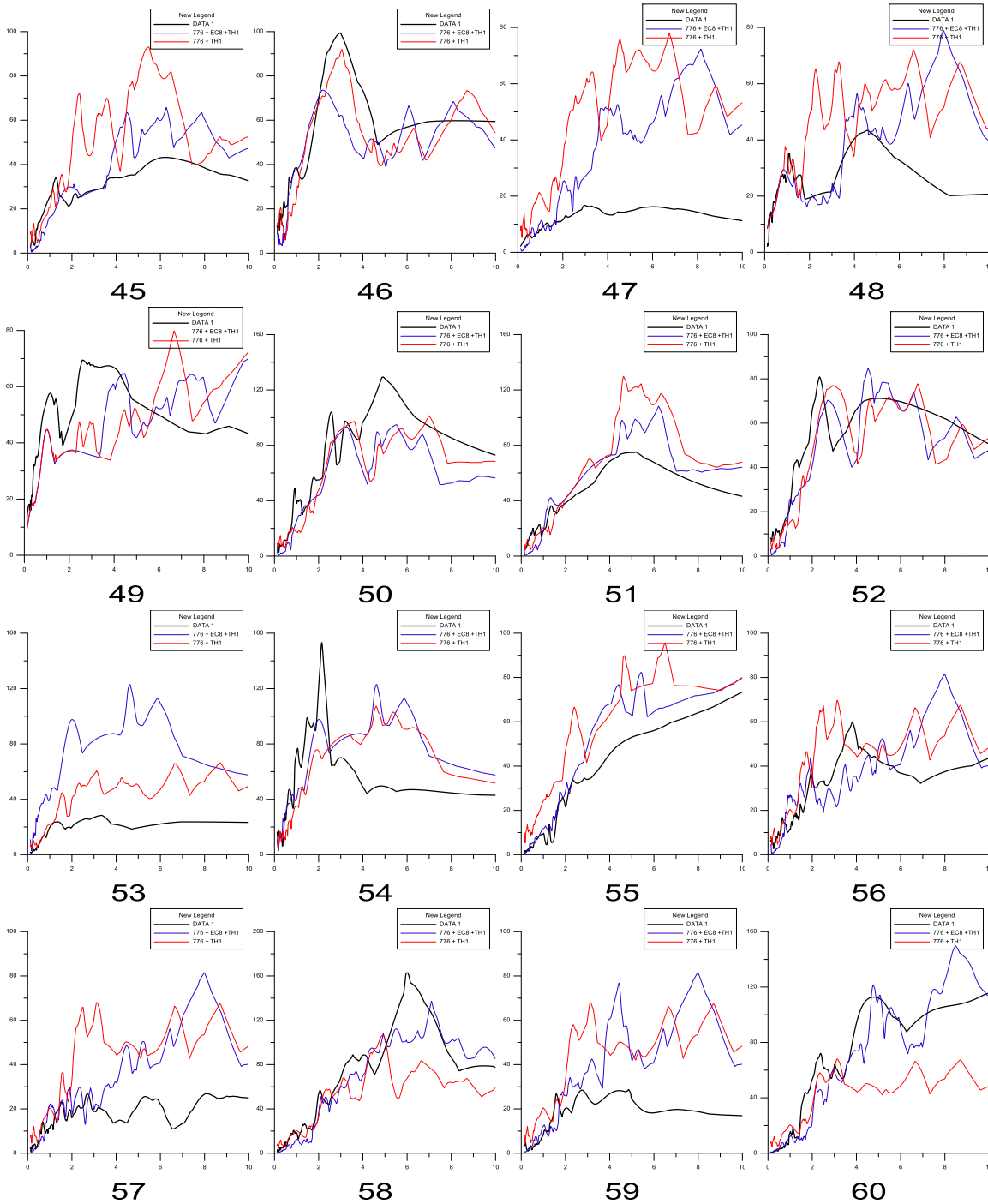


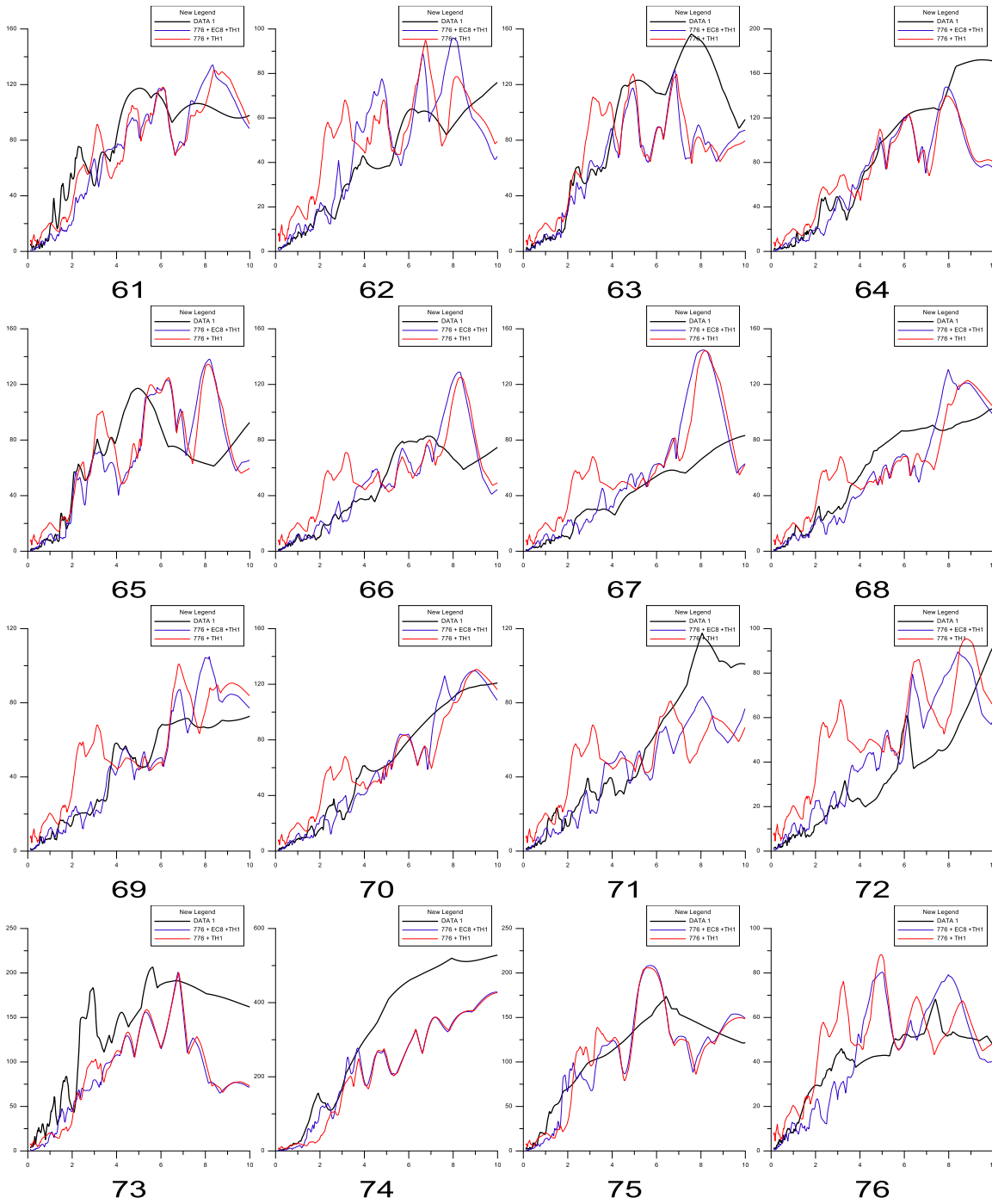
Σχήμα 6.7: Αναπαράσταση φασμάτων μετατοπίσεων της αρχικής καταγραφής, της τυχαίας μη παλμικής καταγραφής (με προσαρμογή και χωρίς στον EC8) με την προσθήκη ενός παλμού για τις 91 καταγραφές από την βάση δεδομένων NGA για την τυχαία μη παλμική καταγραφή 495.

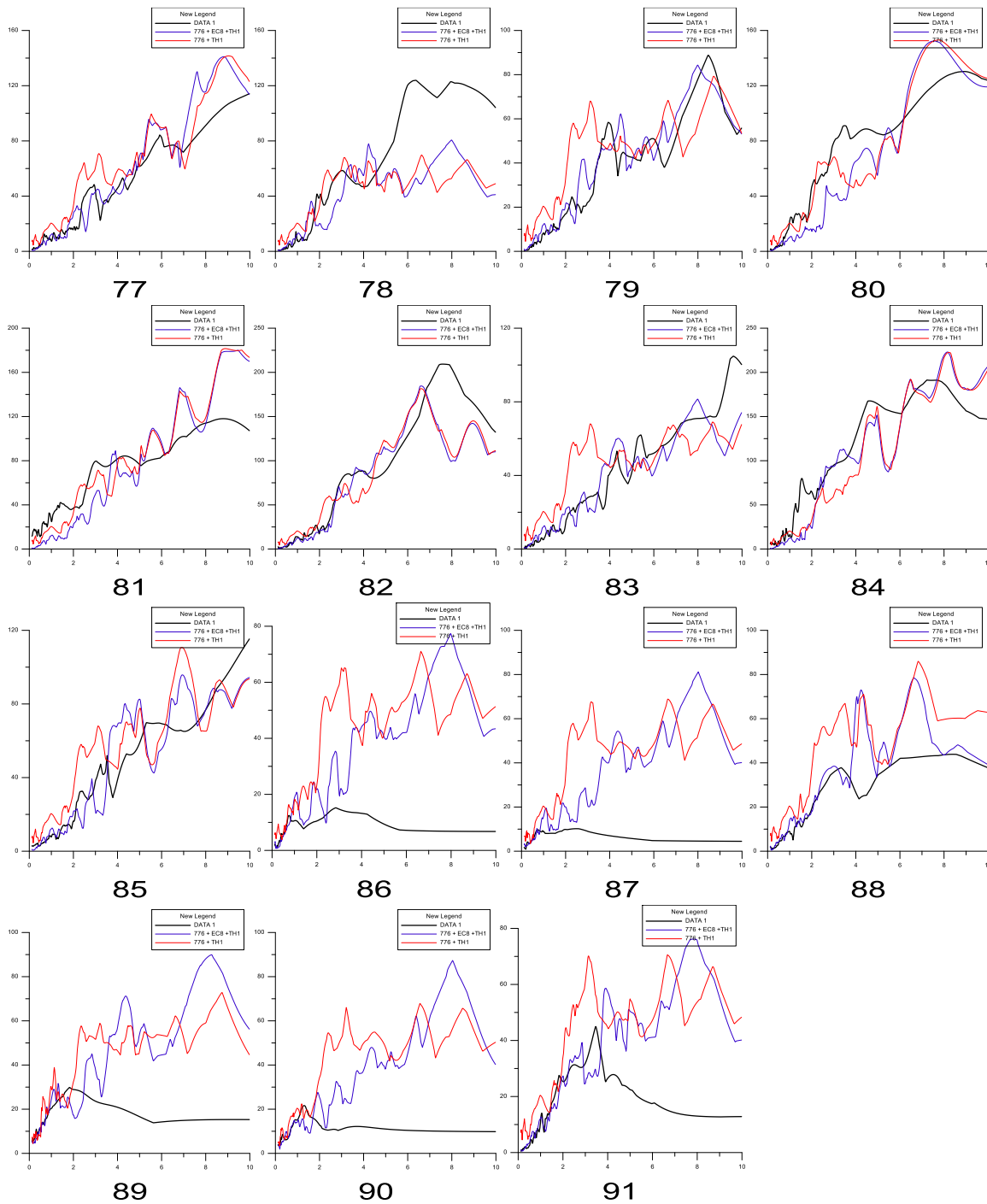












Σχήμα 6.8: Αναπαράσταση φασμάτων μετατοπίσεων της αρχικής καταγραφής, της τυχαίας μη παλμικής καταγραφής (με προσαρμογή και χωρίς στον EC8) με την προσθήκη ενός παλμού για τις 91 καταγραφές από την βάση δεδομένων NGA για την τυχαία μη παλμική καταγραφή 776.

Βιβλιογραφία

1. Baker J.W., Quantitative Classification of Near-Fault Ground Motions Using Wavelet Analysis, 2007.
2. Mavroeidis G., Papagewrgiou A., Effect of Fault Rupture Characteristics on Near-Fault Strong Ground Motions, 2010.
3. Mavroeidis G., Papagewrgiou A., Mathematical Representation of Near-Fault Ground Motions, 2003.
4. Mimoglou P, Psycharis I., Taflampas I., Design-oriented simulation of near fault ground motions by a limited number of velocity pulses, 2014.
5. Shahi S. K., Baker J. W., An Empirically Calibrated Framework for Including the Effects of Near-Fault Directivity in Probabilistic Seismic Hazard Analysis, Bulletin of the seismological society of America, Vol.101No2, pp.742-755, April 2011.
6. Somerville P.G., Magnitude scaling of the near fault rupture directivity pulse, Physics of the Earth and Planetary Interiors 137 (2003), 201-212.
7. Ιωάννης Ταφλαμπάς, σημειώσεις από το μάθημα Ειδικά Θέματα Τεχνικής Σεισμολογίας. 9. Stewart J.P., Chiou S.J., Bray J.D., Graves R.W., Somerville P.G., Abrahamson N.A., Ground Motion Evaluation Procedures for Performance-Based Design, Peer Report 2001/09, University of California Berkeley.
8. Rodriguez-Marek A., Near-Fault Seismic Site Response, 2000.
9. Vassiliki Kardoutsou, Petros Mimoglou, Ioannis Taflampas, Ioannis N. Psycharis, evaluation and comparison of new methods for the classification of ground motions as pulse-like or non pulse-like, July 2015.
10. Iunio Iervolino, Allin Cornell, Probability of Occurrence of Velocity Pulses in Near-Source Ground Motions, 2008.
11. Suparno Mukhopadhyay, Vinay K. Gupta, Directivity pulses in near-fault ground motions—I: Identification, extraction and modeling, March 2013.
12. Ιωάννης Ν. Ψυχάρης, Αντισεισμικός Σχεδιασμός με στάθμες επιτελεστικότητας, σημειώσεις για το μάθημα του 9ου εξαμήνου - Αντισεισμική Τεχνολογία ΙΙ, 2010.