



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PUSHOVER)
ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (IDA) ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ
ΑΦΑΝΟΥΣ ΠΑΛΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ

ΝΤΑΝΤΟΥ Ι. ΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ

*Επιβλέπων Καθηγητής : Μ. Φραγκιαδάκης
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.*

*Συνεπιβλέπων Καθηγητής : Ι. Ταφλαμπάς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.*

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2021

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PUSHOVER) ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (IDA) ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΑΦΑΝΟΥΣ ΠΑΛΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ

στην οικογένεια μου,

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας, τον κ. Μιχαήλ Φραγκιαδάκη, Αναπληρωτή καθηγητή Ε.Μ.Π., για την άριστη συνεργασία που είχαμε, προκειμένου να ολοκληρωθεί η παρούσα εργασία.

Ευχαριστώ θερμά τον κ. Ταφλαμπά Ιωάννη, συνεπιβλέποντα της μεταπτυχιακής μου εργασίας, ο οποίος μου ανέθεσε την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Η συμβολή του ήταν εξαιρετικά σημαντική και βοηθητική, καθώς χωρίς την κατανόηση του σε βασικά προβλήματα που ενδεχομένως να προέκυπταν, δεν θα τα είχα καταφέρει. Επίσης, οι γνώσεις του αλλά και ο τρόπος μεταδοτικότητας κυρίως αυτών, ήταν τα βασικά κλειδιά για την εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω με ιδιαίτερη χαρά την υποψήφια διδάκτορα πολιτικό μηχανικό Κωνσταντίνα Μαστροδήμου, η οποία με την υψηλή επιστημονική της κατάρτιση, προσέφερε πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση σε καίρια ζητήματα της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράσταση τους, ηθική και υλική, καθώς αποτελούν τον κύριο λόγο επίτευξης των στόχων μου, όπως επίσης, και το φιλικό μου περιβάλλον για την ηθική και συναισθηματική στήριξη κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών και όχι μόνο σπουδών μου.

Σας ευχαριστώ όλους πάρα πολύ!

Οκτώβριος 2021, Αθήνα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Όπως είναι γνωστό, καταγραφές με δεσπόζον παλμικό περιεχόμενο προκαλούν σημαντική επαύξηση της απαιτούμενης πλαστιμότητας στην περιοχή περιόδων περί το ήμισυ της περιόδου του παλμού $T_p/2$ καθώς και κωδωνοειδή επαύξηση στο ελαστικό φάσμα της καταγραφής στη περιοχή της περιόδου του παλμού. Το ίδιο φαινόμενο φαίνεται ότι παρουσιάζεται και με καταγραφές όπου το παλμικό περιεχόμενο είναι αφανές ή δευτερεύον. Οι καταγραφές κοντινού πεδίου καθίστανται πολύ σημαντικές για τις κατασκευές, καθώς η επίδρασή τους στην απόκριση της κατασκευής είναι πολύ σημαντική έως καταστροφική. Οι καταγραφές κοντινού πεδίου διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες α) παλμικές (pulse like records), β) μη – παλμικές (non – pulse like records) και γ) οι αμφιλεγόμενες. Εκείνες που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι οι παλμικές καταγραφές, εξαιτίας των χαρακτηριστικών που τις διακρίνουν.

Ωστόσο, υπάρχουν πολλές καταγραφές, οι οποίες δεν χαρακτηρίζονται ως παλμικές σύμφωνα με τους κλασικούς δείκτες παλμικότητας που έχουν προταθεί από Baker (2007) και Καρδούτσου (2017), παρόλα αυτά όμως παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά των παλμικών καταγραφών, εξαιτίας της ύπαρξης «κρυφών παλμών» σε αυτές. Με βάση τα παραπάνω, γίνεται εμφανής η ανάγκη για τη μελέτη και τη διερεύνηση των παλμικών καταγραφών, αλλά και των καταγραφών που περιέχουν «κρυφούς παλμούς».

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία γίνεται αναφορά στις καταγραφές κοντινού πεδίου και στις βασικές έννοιες που τις συνοδεύουν. Επίσης, παρατίθενται οι μεθοδολογίες προσδιορισμού παλμικών καταγραφών, με έμφαση σε εκείνες που προτάθηκαν τους Baker (2007), Μαυροειδή και Παπαγεωργίου (2003), Καρδούτσου (2017) δίνοντας έμφαση στον τρόπο με τον οποίο μια καταγραφή χαρακτηρίζεται ως παλμική ή μη. Κοινό σημείο όλων των παραπάνω μεθοδολογιών είναι ότι εξετάζουν την χρονοϊστορία της ταχύτητας της αρχικής καταγραφής και υπολογίζουν ένα δείκτη παλμικότητας ($PI = \text{Pulse Index}$) για την κατάταξη των καταγραφών ως παλμικές, αμφιλεγόμενες, μη – παλμικές, ανάλογα με την τιμή του δείκτη αυτού.

Επιπλέον, στην παρούσα διπλωματική εξετάζεται η μορφή των καμπυλών που προκύπτουν με την χρήση προσαυξητικής δυναμικής ανάλυσης τόσο για μονοβάθμια όσο και για πολυβάθμια συστήματα για καταγραφές αφανούς παλμικού περιεχομένου και γίνεται σύγκριση με τις αντίστοιχες καμπύλες στατικής ανελαστικής ανάλυσης όπως αυτές προκύπτουν με την χρήση του προγράμματος *sp2ida*. Σύμφωνα με τις αναλύσεις που υλοποιήθηκαν, προτείνεται η χρήση της καμπύλης IDA με πιθανότητα υπέρβασης 16%, όπως προκύπτει από το πρόγραμμα *sp2ida*, ως η ικανοτική καμπύλη του συστήματος καθώς σε πολλές περιπτώσεις είναι ένας αξιόπιστος εκτιμητής της καμπύλης που προκύπτει από προσαυξητική δυναμική ανάλυση, οδηγεί στην μόνωση μιας πιο συντηρητικής κι υπέρ της ασφαλείας ικανοτικής καμπύλης,

όπου σε συνδυασμό με το φάσμα σχεδιασμού, μπορεί εύκολα να εκτιμηθεί στην συνέχεια η στοχευόμενη μετακίνηση του συστήματος.

ABSTRACT

As is well known, recordings with a dominant pulse content cause a significant increase in the required plasticity in the period of about half the pulse period $T_p/2$ as well as a bell-like increase in the elastic spectrum of the recording in the period of the pulse period. The same phenomenon seems to occur with recordings where the pulsed content is invisible or secondary. Near field recordings become very important for constructions, as their effect on the construction response is very significant to catastrophic. Near field recordings are divided into three categories: a) pulse-like records, b) non-pulse-like records, and c) controversial ones. The ones that are of particular interest are the pulse recordings, because of the characteristics that distinguish them. However, there are many recordings, which are not characterized as pulsed according to the classical pulsation indices proposed by Baker (2007) and Kardoutsou (2017), but nevertheless show the characteristics of pulsed recordings, due to the existence of "hidden pulses" in them. Based on the above, the need for the study and investigation of pulse recordings, but also of recordings that contain "hidden pulses" becomes apparent.

*In this master's thesis, reference is made to close field recordings and the basic concepts that accompany them. Also, the methodologies for determining pulse recordings are presented, with emphasis on those proposed by Baker (2007), Mavroidi and Papageorgiou (2003), Kardoutsou (2017), emphasizing the way in which a recording is characterized as pulsed or not. A common point of all the above methodologies is that they examine the time history of the initial recording speed and calculate a pulse index ($PI = \text{Pulse Index}$) for the classification of the recordings as pulsed, controversial, non-pulsed, depending on the value of this index. In addition, in the present dissertation the form of the curves resulting from the use of incremental dynamic analysis for both single-stage and multi-stage systems for recording invisible pulse content is examined and compared with the corresponding curves of static inelastic analysis as they result from the use of the program *spo2ida*. According to the analyzes carried out, the use of the IDA curve with a probability of exceeding 16% is suggested, as shown by the *spo2ida* program, as the satisfactory curve of the system as in many cases it is a reliable estimator of the curve resulting from incremental dynamic analysis, leads in the formation of a more conservative and in favor of safety satisfactory curve, where in combination with the design range, the targeted movement of the system can be easily assessed.*

Περιεχόμενα

Πίνακας Σχημάτων	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Μέθοδος Baker	13
1.1 Κατευθυντικότητα	13
1.2 Διαδικασίας ταξινόμησης παλμών	16
1.3 Εξαγωγή του παλμού ταχύτητας	19
1.4 Προσδιορισμός του εξαγόμενου παλμού.....	21
1.5 Περίοδος του παλμού	23
1.6 Μελέτη της εδαφικής κίνησης σε άνω της μίας διάστασης.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Δείκτης Παλμικότητας Καρδούτσου (2017)	26
2.1 Εισαγωγή.....	26
2.2 Μεθοδολογία Καρδούτσου.....	27
2.3 Αξιολόγηση μεθόδου.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Κρυφοί Παλμοί	32
3.1 Εισαγωγή.....	32
3.2 Παλμικές παράμετροι.....	33
3.2.1 Περίοδος παλμού.....	33
3.2.2 Εύρος, Διάρκεια, Μετατόπιση φάσης, Χρόνος έναρξης παλμού.....	34
3.2.3 Εφαρμογή μεθοδολογιών- Αναλύσεις καταγραφών με κρυφούς παλμούς	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Προσαυξητική Δυναμική Ανάλυση (IDA)	50
4.1 Εισαγωγή.....	50
4.2 Θεμελιώδεις έννοιες της IDA	51
4.3 Γενικά χαρακτηριστικά μίας καμπύλης IDA	55
4.4 SPO2IDA	59
4.5 Σύγκριση μεταξύ των καμπυλών IDA και SPO	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Εφαρμογή της IDA σε τρία τυπικά κτήρια οπλισμένου σκυροδέματος	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Συμπεράσματα	72
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	73
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	75

Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Φαινόμενο κατευθυντικότητας (Kramer, 1996).

Σχήμα 1.2: Καταγραφές πρόσω και οπίσω κατευθυντικότητας (Somerville et al, 1997)

Σχήμα 1.3 Κοινές μητρικές συναρτήσεις κυμάτων για την ανάλυση κυματιδίων (Baker 2007)

Σχήμα 1.4 Επεξήγηση της διαδικασίας αποσύνθεσης που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή του τμήματος παλμού μιας εδαφικής κίνησης(της *fault-normal* συνιστώσας από την καταγραφή του *Northridge*, Rinaldi, 1979)

Σχήμα 1.5 Χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης και αντίστοιχοι εξαγόμενοι παλμοί.

Σχήμα 1.6 Γράφημα του “PGV ratio” ως προς the “Energy ratio”.

Σχήμα 1.7 Κύμα του *Daubachies* και εάν ημιτονοειδές κύμα με περίοδο ίση με το μέγιστο εύρος του κύματος στην ανάλυση *Fourier*.

Σχήμα 1.8 Παράδειγμα προσδιορισμού της περιόδου του παλμού (για την εδαφική κίνηση στο *Landers*, του *Yermo Fire Station*,1992).

Σχήμα 1.9 Δείκτες παλμών για την εδαφική κίνηση στο *Chi-Chi, Taiwan, Tsaotun(TCU075)*, ως συνάρτηση του προσανατολισμού της συνιστώσας κάθετης στο ρήγμα. Το ακτινικό μέγεθος δείχνει την τιμή του παλμικού δείκτη για τον προσανατολισμό αυτό.

Σχήμα 2.1 Σύγκριση των δεικτών παλμικότητας *Καρδούτσου* (2017) και *Baker* (2007)

Σχήμα 2.2 Ο λόγος της ανελαστικής προς την ελαστική μετατόπιση d_{in}/d_{el} ως προς τον προτεινόμενο δείκτη *Καρδούτσου* (2017)

Σχήμα 3.0 Για δύο διαφορετικές καταγραφές γίνεται προσδιορισμός της περιόδου παλμού ταχύτητας T_p από την κορυφή του φάσματος $S_d \times S_v$ για απόσβεση 5% (οι αντίστοιχες καμπύλες για μηδενική απόσβεση παρουσιάζονται για σύγκριση), ενώ στο κάτω σχήμα γίνεται σύγκριση

Σχήμα 3.1 Φάσματα *EC8* μαζί με τον κάθε εξαγόμενο παλμό $i= 1$ έως 6 και Φάσμα της επιτάχυνσης της αρχικής καταγραφής *1116-1* με το φάσμα του *EC8*.

Σχήμα 3.2 Χρονοϊστορία της ταχύτητας της καταγραφής *1116-1* μαζί με τον κάθε εξαγόμενο παλμό

Σχήμα 3.3 Χρονοϊστορία της ταχύτητας της καταγραφής 1116-1 μαζί με το σύνολο των εξαγόμενων παλμών.

Σχήμα 3.4 Επιτάχυνση αρχικής καταγραφής 1116-1 και επιτάχυνση αρχικής καταγραφής μείον την επιτάχυνση του σημαντικού παλμού αυτής.

Σχήμα 3.5 Χρονοϊστορία της ταχύτητας της αρχικής καταγραφής 1116-1 και χρονοϊστορία της ταχύτητας για τον σημαντικό παλμό.

Σχήμα 3.6 Ελαστικό Φάσμα της καταγραφής 1116-1.

Σχήμα 3.7 Ανελαστικό Φάσμα της καταγραφής 1116-1.

Σχήμα 3.8 Φάσματα EC8 μαζί με τον κάθε εξαγόμενο παλμό $i=1$ έως 6 και Φάσμα της επιτάχυνσης της αρχικής καταγραφής 2752-1 με το φάσμα του EC8.

Σχήμα 3.9 Χρονοϊστορία της ταχύτητας της καταγραφής 2752-1 μαζί με τον κάθε εξαγόμενο παλμό.

Σχήμα 3.10 Χρονοϊστορία της ταχύτητας της καταγραφής 2752-1 μαζί με το σύνολο των εξαγόμενων παλμών.

Σχήμα 3.11 Επιτάχυνση αρχικής καταγραφής 2752-1 και επιτάχυνση της καταγραφής μείον την επιτάχυνση του σημαντικού παλμού αυτής.

Σχήμα 3.12 Χρονοϊστορία της ταχύτητας της αρχικής καταγραφής 2752-1 και χρονοϊστορία της ταχύτητας για τον σημαντικό παλμό.

Σχήμα 3.13 Ελαστικό Φάσμα της καταγραφής 2752-1.

Σχήμα 3.14 Ανελαστικό Φάσμα της καταγραφής 2752-1.

Σχήμα 3.15 Φάσματα EC8 μαζί με τον κάθε εξαγόμενο παλμό $i=1$ έως 6 και Φάσμα της επιτάχυνσης της αρχικής καταγραφής 4457-2 με το φάσμα του EC8.

Σχήμα 3.16 Χρονοϊστορία της ταχύτητας της καταγραφής 4457-2 μαζί με τον κάθε εξαγόμενο παλμό.

Σχήμα 3.17 Χρονοϊστορία της ταχύτητας της καταγραφής 4457-2 μαζί με σύνολο των εξαγόμενων παλμών.

Σχήμα 3.18 Επιτάχυνση αρχικής καταγραφής 4457-2 και επιτάχυνση της αρχικής καταγραφής μείον την επιτάχυνση του σημαντικού παλμού αυτής.

Σχήμα 3.19 Χρονοϊστορία της ταχύτητας της αρχικής καταγραφής 4457-2 και χρονοϊστορία της ταχύτητας για τον σημαντικό παλμό.

Σχήμα 3.20 Ελαστικό Φάσμα της καταγραφής 4457-2.

Σχήμα 3.21 Ανελαστικό Φάσμα της καταγραφής 4457-2.

Σχήμα 3.22 Φάσματα EC8 μαζί με τον κάθε εξαγόμενο παλμό $i = 1$ έως 6 και Φάσμα της επιτάχυνσης της αρχικής καταγραφής 8134-2 με το φάσμα του EC8.

Σχήμα 3.23 Χρονοϊστορία της ταχύτητας της καταγραφής 8134-2 μαζί με τον κάθε εξαγόμενο παλμό.

Σχήμα 3.24 Χρονοϊστορία της ταχύτητας της καταγραφής 8134-2 μαζί με το σύνολο των εξαγόμενων παλμών.

Σχήμα 3.25 Επιτάχυνση αρχικής καταγραφής 8134-2 και επιτάχυνση της αρχικής καταγραφής μείον την επιτάχυνση του σημαντικού παλμού αυτής.

Σχήμα 3.26 Χρονοϊστορία της ταχύτητας της αρχικής καταγραφής 8134-2 και χρονοϊστορία της ταχύτητας για τον σημαντικό παλμό.

Σχήμα 3.27 Ελαστικό Φάσμα της καταγραφής 8134-2.

Σχήμα 3.28 Ανελαστικό Φάσμα της καταγραφής 8134-2.

Σχήμα 3.29 Διάγραμμα $\mu-T$

Σχήμα 3.30 Διάγραμμα $T-T_p$

Σχήμα 4.1 Ένα παράδειγμα πληροφοριών που εξήχθησαν από μία μονοβάθμια IDA μελέτη ενός μεταλλικού πλαισίου ροπής με περίοδο $T_1 = 4$ s, 20 ορόφων με όλκιμα μέλη και συνδέσεις, συμπεριλαμβάνοντας τις ολικές γεωμετρικές μη γραμμικότητες (P-Δ) που υποβλήθηκαν στο EI Centro, καταγραφή του 1940.

Σχήμα 4.2. Οι καμπύλες IDA ενός πενταόροφου πλαισίου ενισχυμένο με μεταλλικούς συνδέσμους με περίοδο $T_1 = 1.8$ s, το οποίο υποβλήθηκε σε τέσσερις διαφορετικές καταγραφές.

Σχήμα 4.3. Οι καμπύλες IDA των μέγιστων σχετικών μετακινήσεων ορόφων πενταόροφου πλαισίου ενισχυμένο με μεταλλικούς συνδέσμους $T_1 = 1.8$ s. Παρατηρήστε τη σύνθετη κυματοειδή αλληλεπίδραση όπου ο ακραίος κλάδος αποφόρτισης του δαπέδου 2 λειτουργεί ως ασφάλεια για την ανακούφιση των παραπάνω ορόφων (3,4,5).

Σχήμα 4.4. Απόκριση ολκιμότητας ενός ελαστοπλαστικού ταλαντωτή $T = 1$ s σε πολλαπλά επίπεδα έντασης. Η πρόωρη διαρροή σε πιο έντονη κίνηση του εδάφους οδηγεί σε χαμηλότερη μέγιστη απόλυτη απόκριση.

Σχήμα 4.5. Επαναφορά της αντοχής της κατασκευής στην καμπύλη IDA ενός τριώροφου χαλύβδινου πλαισίου αντοχής με περίοδο $T_1 = 1.3$ s με συνδέσεις έναντι των ρωγμών.

Σχήμα 4.6 (α) Καμπύλη pushover για ένα 9-όροφο μεταλλικό κτήριο και η τριαξονική του προσέγγιση και (β) η SPO2IDA πρόβλεψη για κανονικοποιημένες R-μ συντεταγμένες

Σχήμα 4.7 Η μέση καμπύλη IDA συγκρητικά με μία καμπύλη SPO για (α) ένα 20-όροφο μεταλλικό moment resisting πλαίσιο με περίοδο $T_1 = 4$ s και όλκιμες συνδέσεις και (β) 5-όροφο μεταλλικό braced πλαίσιο με περίοδο $T_1 = 1.8$ s.

Σχήμα 4.8 Μια μελέτη IDA για 30 καταγραφές σε ένα μεταλλικό πλαίσιο 5-ορόφων με περίοδο $T_1 = 1.8$ s, που δείχνει (α) τις 30 μεμονωμένες καμπύλες και (β) η περίληψή τους (16, 50 και 84%) εύθραυστες καμπύλες (σε λογαριθμική κλίμακα).

Σχήμα 5.1 Μορφές κτηρίων Α,Β,Γ (από αριστερά προς δεξιά αντιστοίχως).

Σχήμα 5.2 Καμπύλες IDA για την αρχική καταγραφή(original) και τις αρχικές μείον τον παλμό(residual) εδαφικές καταγραφές 881-2, 1227-1, 4858-1 και 6888-2 (από αριστερά προς δεξιά αντιστοίχως).

Σχήμα 5.3 Διαγράμματα R-μ με καμπύλες Static Pushover, IDA 16%, IDA 50%, IDA 84%, Original Data(αρχική καταγραφή), Residual Data(απομειωμένη εδαφική κίνηση) για καταγραφές 881-2, 1227-1, 4858-1 και 6888-2 (από αριστερά προς δεξιά αντιστοίχως).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Μέθοδος Baker

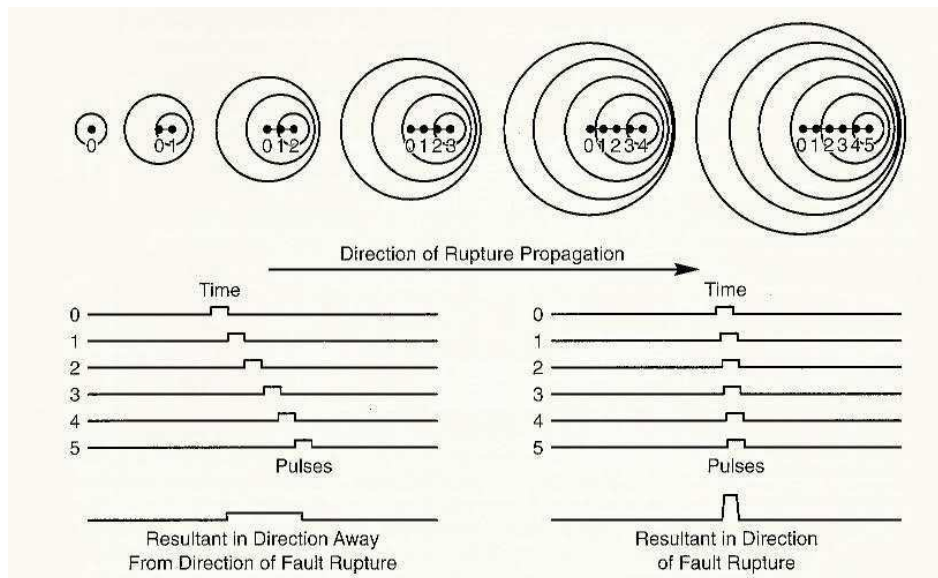
Οι εδαφικές κινήσεις που έχουν κεντρίσει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας είναι οι καταγραφές στις οποίες εντοπίζεται σημαντικό παλμικό περιεχόμενο, ιδιαίτερα εμφανές στην χρονοϊστορία της ταχύτητας καθώς και το φαινόμενο της κατευθυντικότητας που εντοπίζεται κυρίως στο κοντινό πεδίο (near field) του ρήγματος. Ο Baker, λοιπόν, δημιούργησε μία ποσοτική μέθοδο, όπου θα χαρακτηριζόντουσαν αυτές ως παλμικές ή μη παλμικές. Συγκεκριμένα, «Ζώνη Κοντινού Πεδίου» θεωρείται οποιοδήποτε σημείο βρίσκεται σε απόσταση χιλιομετρικής ακτίνας 20-60 km από το ρήγμα. Εντός αυτής είθισται να παρατηρούνται οι περισσότερες και μεγαλύτερες βλάβες. Επιπρόσθετα, κάθε εδαφική κίνηση συνδέεται άμεσα με τα παρακάτω φαινόμενα-μηχανισμούς:

- Μηχανισμός διάρρηξης
- Διεύθυνση διάδοσης της διάρρηξης του ρήγματος σχετικά με την θέση καταγραφής του σεισμικού γεγονότος
- Εν δυνάμει παραμένουσες μετακινήσεις, οι οποίες ενδεχομένως να προκληθούν εξαιτίας της ολίσθησης του ρήγματος

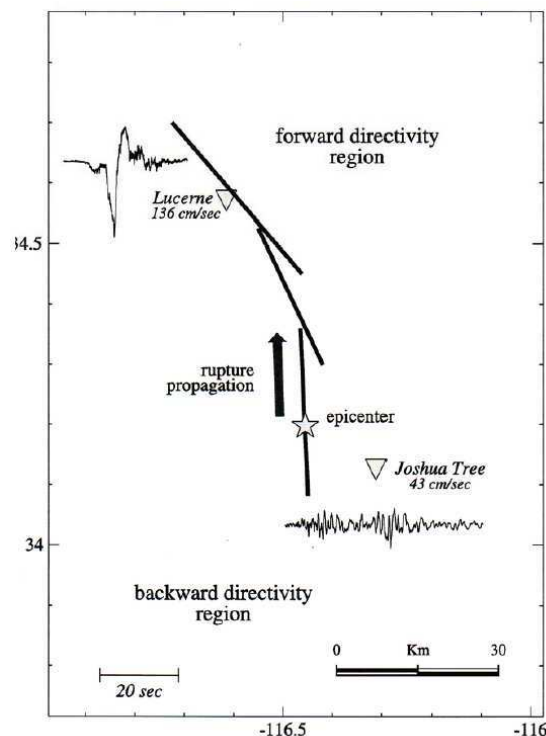
1.1 Κατευθυντικότητα

Στην επιφάνεια του ρήγματος και πιο συγκεκριμένα στην εστία (hypocenter), γεννάται ένα σεισμικό γεγονός από την διάρρηξη του εδάφους και σημειώνεται ολίσθηση μεταξύ των δύο εδαφικών τεμαχίων. Η διάρρηξη αυτή δεν υλοποιείται μόνο σε ένα σημείο αλλά διαδίδεται σταδιακά και συνοδεύεται από την θραύση των κλειθρων (asperities). Κλείθρα ορίζονται τα φυσικά εξογκώματα που εντοπίζονται στην επιφάνεια του ρήγματος και διαθέτουν μεγάλη τραχύτητα και κατ' επέκταση αντίσταση κατά την θραύση τους με αποτέλεσμα οι διαρρήξεις στα σημεία αυτά να υλοποιούνται εντονότερα σε σχέση με τα υπόλοιπα σημεία του ρήγματος. Κατά την διάρκεια μιας τέτοιας διάρρηξης παράγεται ένας παλμός ταχύτητας όπου διαδίδεται ως κύμα S και η ταχύτητα διάδοσης του είναι ανάλογη της ταχύτητας διάρρηξης. Επομένως, με την διάδοση της ρηγμάτωσης από την εστία του ρήγματος προς μια θέση προκαλείται ένα φαινόμενο αντίστοιχο με το φαινόμενο Doppler. Λόγω εγγύτητας των τιμών των ταχυτήτων διάρρηξης και διάδοσης των κυμάτων, όταν η ρηγμάτωση πλησιάζει προς μια θέση, στην θέση αυτή θα υπάρξει άθροιση των παλμών ταχύτητας των επιμέρους διαρρήξεων με αποτέλεσμα να προκύπτει παλμός ταχύτητας μεγάλου εύρους, μικρής διάρκειας και μεσαίας προς μεγάλης δεσπόζουσας περιόδου (πρόσω κατευθυντικότητα – forward directivity). Η παλμική αυτή κίνηση είναι ιδιαίτερα έντονη στην συνιστώσα της εδαφικής κίνησης που είναι κάθετη στο ίχνος του ρήγματος, λόγω της πόλωσης των διατμητικών κυμάτων. Ωστόσο, στην αντίθετη κατεύθυνση, απομακρυνόμενοι δηλαδή από την

κατεύθυνση διάρρηξης, οι παλμοί ταχύτητας ακολουθούν ο ένας τον άλλον οπότε προκύπτει παλμός ταχύτητας μικρού εύρους και μεγάλης διάρκειας (οπίσω κατευθυντικότητα – backward directivity). Πέραν όμως την πρόσω κι οπίσθεν κατευθυντικότητας, εντοπίζεται και η περίπτωση της ουδέτερης κατευθυντικότητας (neutral directivity) όπου σε σημεία συνήθως εκατέρωθεν του ίχνους του ρήγματος δεν εμφανίζεται έντονη διάδοση της διάρρηξης.



Σχήμα 1.1: Φαινόμενο κατευθυντικότητας (Kramer, 1996).



Σχήμα 1.2: Καταγραφές πρόσω και οπίσω κατευθυντικότητας (Somerville et al, 1997)

Η μεθοδολογία Baker για την ανάλυση μίας εδαφικής κίνησης εξάγεται ως εξής:

Εξάγεται ο παλμός μέγιστης ταχύτητας (Peak Ground Velocity) χρησιμοποιώντας την κυματιδιακή ανάλυση (wavelet analysis). Στο επόμενο υποκεφάλαιο, θα αναλυθεί εκτενώς η κυματιδιακή ανάλυση.

Επιπροσθέτως, ο Baker (2007) έλαβε υπόψιν του δύο ακόμα κριτήρια για τον χαρακτηρισμό των εδαφικών κινήσεων. Πρώτον, την απαίτηση του παλμού να εντοπίζεται στο αρχικό τμήμα της εδαφικής κίνησης και δεύτερον ο παλμός της ταχύτητας να εμφανίζει μεγάλο απόλυτο εύρος. Σε μεταγενέστερο χρόνο και έπειτα από μεγάλη διερεύνηση αυτού του αντικείμενου προέκυψε ότι οι κατασκευές οι οποίες τυχόν πλήττονται από τέτοιου είδους εδαφικές κινήσεις, δηλαδή κινήσεις οι οποίες χαρακτηρίζονται ως παλμικές, έχουν τελικά πολύ μεγάλες απαιτήσεις σε πλαστιμότητα. Πέραν των παλμικών και των μη παλμικών καταγραφών, υπάρχει κι άλλη μια κατηγορία καταγραφών, οι αμφιλεγόμενες καταγραφές, για τις οποίες οι αναπτυχθείσες μεθοδολογίες δεν μπορούν να αποφανθούν για την παλμικότητα ή την μη παλμικότητα τους.

Μεγάλη σημασία, επίσης, πρέπει να δοθεί και στο φαινόμενο της πρόσω κατευθυντικότητας στην περιοχή κοντινού πεδίου, το οποίο δημιουργεί παλμούς μεγάλου εύρους. Όπως προαναφέρθηκε, το φαινόμενο αυτό προκαλείται όταν:

(α) η διάρρηξη προχωρά με κατεύθυνση προς την εξεταζόμενη θέση με ταχύτητα διάρρηξης όμοια με την ταχύτητα εξάπλωσης των διατμητικών κυμάτων και

(β) με κατεύθυνση κλίσης s του ρήγματος ευθυγραμμισμένη με τον χώρο.

Αυτό το φαινόμενο της πρόσω κατευθυντικότητας οδηγεί τελικά στην δημιουργία ενός κύματος στο οποίο εντοπίζεται παλμός μεγάλου εύρους. Τα φαινόμενα πρόσω και οπίσω κατευθυντικότητας δημιουργούν πολύ μεγάλη ανησυχία και ενδιαφέρον στην επιστημονική κοινότητα, διότι οι παλμοί ταχύτητας αυτών των φαινομένων είναι ικανοί να προκαλέσουν σοβαρά και επιζήμια προβλήματα σε τεχνικά έργα.

Ωστόσο, οι παλμοί ταχύτητας μπορούν να προκληθούν και λόγω άλλων φαινομένων. Συγκεκριμένα, ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η επαύξηση της εδαφικής κίνησης στην περίπτωση που το σεισμικό κύμα διέλθει από μία γεωλογική λεκάνη.

Στο επόμενο υποκεφάλαιο παρουσιάζεται εκτενώς η διαδικασία ανίχνευσης παλμών σε εδαφικές κινήσεις. Πρωταρχικό βήμα είναι η χρήση ενός μητρικού

κύματος με το οποίο συγκρίνουμε την υπό εξέταση εδαφική κίνηση και καταλήγουμε στην εξαγωγή του μέγιστου παλμού. Εάν αυτός ο παλμός είναι αρκετά μεγαλύτερος συγκριτικά με το παραμένον σήμα της εδαφικής κίνησης, τότε η κίνηση χαρακτηρίζεται ως παλμική.

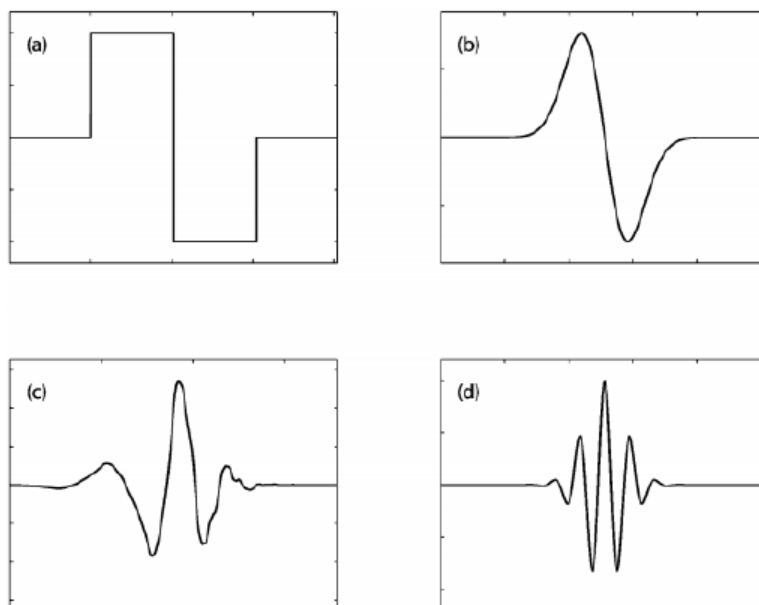
1.2 Διαδικασίας ταξινόμησης παλμών

Στα πλαίσια της μεθόδου Baker (2007) χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ανάλυσης κυματιδίων, γνωστή ως wavelet analysis, για την ταξινόμηση των εδαφικών κινήσεων σε παλμικές ή μη παλμικές.

Αυτή η διαδικασία λοιπόν εκτελείται χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο, ο οποίος έχει παρόμοια λογική με αυτή της ανάλυσης Fourier. Η ανάλυση Fourier στην ουσία παρουσιάζει ένα σήμα χρησιμοποιώντας έναν γραμμικό συνδυασμό ημιτονοειδών κυμάτων. Αυτός ο γραμμικός συνδυασμός ημιτονοειδών κυμάτων τελικά προκύπτει να είναι ένα σήμα απείρου μήκους και μίας και μοναδικής συχνότητας.

Εν αντιθέσει με την ανάλυση Fourier, η ανάλυση κυματιδίων (wavelet analysis) αποσυνθέτει ένα κύμα σε κυματίδια, τα οποία παρατίθενται στον χρόνο και χαρακτηρίζονται από μία στενή περιοχή συχνοτήτων και όχι μία και μοναδική συχνότητα, όπως αυτή της ανάλυσης Fourier.

Χρησιμοποιείται λοιπόν μία πρωτότυπη συνάρτηση ως μητρική συνάρτηση κύματος. Εν συνεχεία, η πρωτότυπη συνάρτηση κλιμακώνεται και μετατίθεται στο χρόνο ώστε να διαμορφωθεί μία γκάμα από βασικές συναρτήσεις. Στο επιστημονικό κοινό, μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η επιλογή αυτής της μητρικής συνάρτησης, η οποία είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με ζητήματα ορθογωνικότητας, συμβατότητας συμμετρίας, καθώς και έναν αριθμό παραγώγων. Τέλος, κάτωθεν παρουσιάζονται τέσσερα μητρικά κυματίδια τα οποία είναι απολύτως αποδεκτά από την επιστημονική κοινότητα, καθώς η χρήση τους συνίσταται για θέματα ταξινόμησης εδαφικών κινήσεων.



Σχήμα 1.3 Κοινές μητρικές συναρτήσεις κυμάτων για την ανάλυση κυματιδίων (Baker 2007)

Η σχέση που ορίζει τη συνάρτηση βάσης του κύματος σε χρόνο t ορίζεται ως εξής:

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

$\Phi_{s,l}(t)$: μητρική συνάρτηση κύματος

s : συντελεστής κλιμάκωσης ο οποίος προκαλεί διαστολή στο κύμα

l : παράμετρος του χώρου που μεταφέρει το κύμα στον χρόνο

Κάθε σήμα με συνάρτηση $f(t)$ μπορεί να αναπαρασταθεί ως ένας γραμμικός συνδυασμός της συνάρτησης βάσης και οι προαναφερθέντες συντελεστές για αυτόν τον γραμμικό συνδυασμό ορίζονται από το παρακάτω ολοκλήρωμα, το οποίο ταυτίζεται σημασιακά με το ολοκλήρωμα του μετασχηματισμού Fourier. Συμπερασματικά, ο συντελεστής που σχετίζεται με το κύμα, με κλίμακα και θέση l , δίδεται από την παρακάτω σχέση:

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

Βάσει της προηγούμενης ανάλυσης, σαν εργαλεία, χρησιμοποιούνται δύο είδη μετασχηματισμών των κυμάτων, ο συνεχής μετασχηματισμός και ο διακριτός.

Ο συνεχής μετασχηματισμός κυμάτων υπολογίζει τους συντελεστές που σχετίζονται με την κάθε αέραια τιμή της κλιμάκωσης και τις παραμέτρους της θέσης. Ως αποτέλεσμα, δίδονται αναλυτικές πληροφορίες όσο αναφορά στα χαρακτηριστικά του χρόνου συχνότητας του σήματος. Κατ' αυτόν τον τρόπο ένα ψηφιακό σήμα μήκους n είναι δυνατόν να περιγραφεί χρησιμοποιώντας σχετικά λίγους συντελεστές. Συγκεκριμένα, όταν πρόκειται για ορθογωνικό κύμα τότε απαιτούνται μονάχα n κύματα για την πλήρη περιγραφή κάθε διακριτής τιμής του χρόνου του σήματος με μήκος n .

Ο διακριτός μετασχηματισμός παρέχει n συντελεστές, οι οποίοι περιγράφουν το μήκος n των κυμάτων σε διάφορες κλίμακες και θέσεις.

Συγκρίνοντας τους δύο πλέον κατάλληλους για χρήση μετασχηματισμούς παρατηρείται πως ο συνεχής μετασχηματισμός κυμάτων υπερτερεί σε ανάλυση, η οποία είναι εξαιρετικά χρήσιμη για τον ακριβή προσδιορισμό του μέγιστου συντελεστή, ο οποίος παρουσιάζει τελικά την τοποθεσία και την περίοδο του παλμού του κοντινού πεδίου. Μειονεκτεί συγκριτικά με τον διακριτό μετασχηματισμό, διότι ο συνεχής αυξάνει κατακόρυφα το κόστος υπολογισμού, κάνοντας χρήση ενός πλεονάζοντα αριθμού συντελεστών. Έτσι, λόγω της ακριβής και υψηλής ανάλυσης προτιμάται ο συνεχής μετασχηματισμός για την ταξινόμηση των παλμών των εδαφικών κινήσεων.

1.3 Εξαγωγή του παλμού ταχύτητας

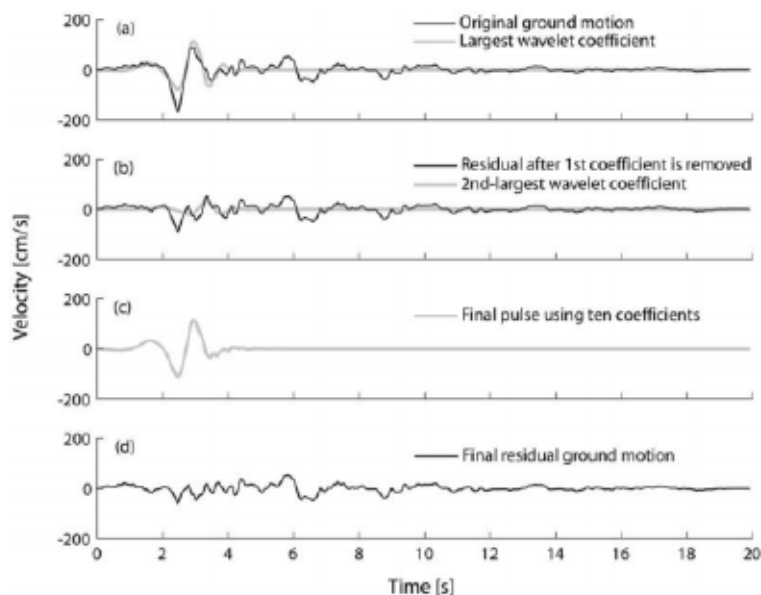
Οι εδαφικές κινήσεις εΐθισται να αναλύονται χρησιμοποιώντας 4^{ης} τάξης κυματίδια Daubachie, διότι η συγκεκριμένη μητρική συνάρτηση κύματος προσεγγίζει εξαιρετικά καλά τους παλμούς ταχυτήτων ως προς το σχήμα τους. Οπότε, εΐθισται οι εδαφικές κινήσεις τελικά να μελετώνται χρησιμοποιώντας κυματίδια Daubachie για την εξαγωγή του μέγιστου παλμού ταχύτητας. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως για την κατηγοριοποίηση εδαφικών κινήσεων χρησιμοποιείται ένας συνεχής μετασχηματισμός κυμάτων, ο οποίος τελικά εξάγει τον συντελεστή $C_{s,l}$ με την μέγιστη απόλυτη τιμή της χρονοϊστορίας της ταχύτητας. Μέσω αυτής της διαδικασίας, το κύμα που έχει άμεση εξάρτηση με αυτόν τον συντελεστή, προσδιορίζει εν τέλει την περίοδο και την τοποθεσία του παλμού.

Γνωρίζοντας πως ένας συντελεστής κύματος είναι όμοιος με την ενέργεια του εν λόγω κύματος, προκύπτει πως ο συγκεκριμένος παλμός ταυΐζεται με τον παλμό με την μέγιστη ενέργεια.

Αυτό το κύμα, λοιπόν, αφαιρείται από την εδαφική κίνηση και ο συνεχής μετασχηματισμός υπολογΐζεται πλέον για την παραμένουσα κίνηση.

Όπως προαναφέρθηκε, έχουν πια προσδιοριστεί η περίοδος και η τοποθεσία του παλμού, επομένως μόνο τα κύματα με ΐδια περίοδο μπορούν να τοποθετηθούν σε κοντινές χρονικές στιγμές (εντός εύρους μείον μια μισή φορά ή συν μια μισή φορά του πλάτους του αρχικού κύματος L_0 του σήματος s). Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα η προαναφερθείσα μεθοδολογία προσδιορίζει τελικά το μέγιστο από αυτούς τους συντελεστές.

Για την απόλυτη περιγραφή του παλμού είναι αναγκαΐο ένας ή δυο συντελεστές $C_{s,l}$. Ωστόσο, στην συγκεκριμένη περίοδο εξάγονται δέκα συντελεστές από τον αλγόριθμο, οι οποίοι επιβεβαιώνουν τη λεπτομερή αναπαράσταση του παλμού.



Σχήμα 1.4 Επεξήγηση της διαδικασίας αποσύνθεσης που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή του τμήματος παλμού μιας εδαφικής κίνησης(της *fault-normal* συνιστώσας από την καταγραφή του *Northridge, Rinaldi, 1979*)

Παρατηρείται πως οι εξαγόμενοι παλμοί από ιστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετατόπισης μοιάζουν σε μεγάλο βαθμό με την αρχική κίνηση με εξαίρεση το υψίσυχο κομμάτι.

Αντιθέτως, για τις μη παλμικές καταγραφές, ο εξαγόμενος παλμός είναι εάν μικρό μόνο χαρακτηριστικό της κίνησης του εδάφους και η παραμένουσα εδαφική κίνηση περίπου ταυτίζεται με την αρχική εδαφική κίνηση. Έτσι, προσδιορίζονται αρχικά οι ιδιότητες των εξαγομένων παλμών, οι οποίες είναι δυνατόν να ταξινομηθούν αυτόματα και έπειτα κατηγοριοποιούνται οι μη παλμικές καταγραφές.

1.4 Προσδιορισμός του εξαγόμενου παλμού

Η αρχική εδαφική κίνηση και η παραμένουσα χρησιμοποιούνται για τον χαρακτηρισμό μιας κίνησης ως παλμική, μη παλμική ή διαφορούμενη.

Αυτή την κατηγοριοποίηση των εδαφικών κινήσεων προσεγγίζει για πρώτη φορά ο Baker (2007). Αρχικά, επιλέχθηκαν όλες οι εδαφικές κινήσεις κανονικές ως προς το ρήγμα της βάσης δεδομένων του Next Generation Attenuation (NGA) με σεισμικά γεγονότα μεγαλύτερα του 5,5R σε απόσταση ακτίνας 30χλμ από το κέντρο του ενεργοποιημένου ρήγματος.

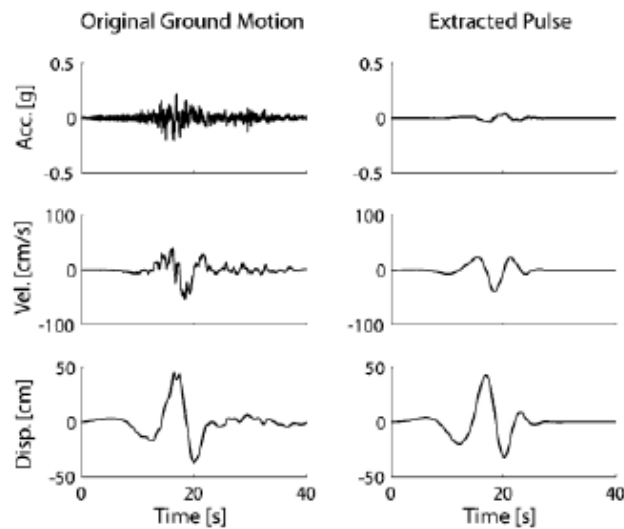
Ένας σημαντικός αριθμός καταγράφων ταξινομήθηκε αρχικά μη αυτόματα σύμφωνα με οπτικές αξιολογήσεις, ώστε να χαρακτηριστούν οι καταγραφές ως παλμικές. Από αυτήν την χειροκίνητη ταξινόμηση προέκυψε τελικά περίπου το 30% επί των συνολικών εδαφικών κινήσεων, παλμικές. Περίπου οι μισές εδαφικές κινήσεις χαρακτηρίστηκαν ως μη παλμικές και οι υπόλοιπες, διαφορούμενες.

Αφού ολοκληρώθηκε η μη αυτοματοποιημένη ταξινόμηση των εδαφικών κινήσεων, χρησιμοποιήθηκαν στατιστικά εργαλεία ώστε να γίνεται πλέον αυτόματα η ταξινόμηση των σεισμικών καταγραφών χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα της ανάλυσης κυμάτων.

Στη συνέχεια, ο Baker χρησιμοποίησε την Γραμμική Διακριτοποίηση, ώστε να αξιολογηθεί η ικανότητα πιθανών παραγόντων πρόβλεψης, προκειμένου να κατηγοριοποιηθούν οι εδαφικές κινήσεις, οι οποίες εμπεριέχουν μεγάλους παλμούς, σε παλμικές και μη παλμικές.

Αυτές οι μεταβλητές πρόβλεψης στην ουσία ταυτίζονται με τους συντελεστές που χρησιμοποιήθηκαν για την αποσύνθεση του κύματος, τις τιμές της φασματικής απόκρισης, τις μέγιστες ταχύτητες εδάφους και τις μέγιστες τιμές ενέργειας. Η αναπαράσταση της μη αυτοματοποιημένης ταξινόμησης πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα εάν σύνολο ενός, δυο ή τριών παραγόντων πρόβλεψης.

Έπειτα από αυτές τις διαδικασίες, προσδιορίστηκαν εμπεριστατωμένα οι μεταβλητές πρόβλεψης, οι οποίες υπολογίζονται ευκολά και κυρίως παρέχουν καλή ικανότητα πρόβλεψης. Ήτοι, δυο βασικές μεταβλητές, πρώτον ο λόγος της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας των παραμενουσών καταγραφών προς την μέγιστη εδαφική ταχύτητα της αρχικής καταγραφής. Αντίστοιχα, προκύπτει και η δεύτερη μεταβλητή, η οποία είναι ο λόγος της ενέργειας της παραμένουσας καταγραφής προς την ενέργεια της αρχικής καταγραφής. Οι προαναφερθείσες μεταβλητές ονομάζονται αντιστοίχως “PGV Ratio” και “Energy Ratio”.

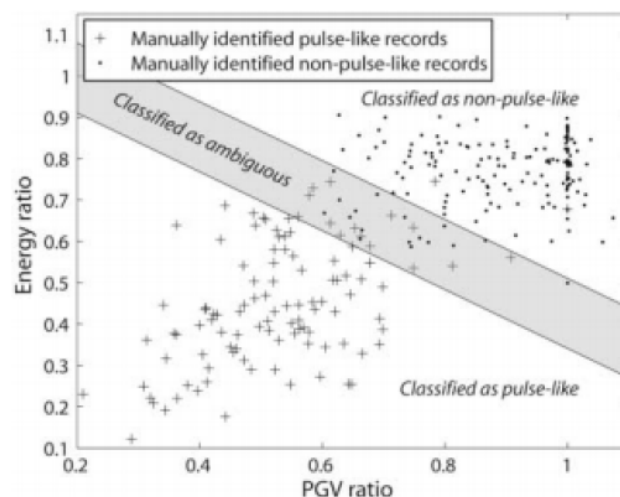


Σχήμα 1.5 Χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης και αντίστοιχοι εξαγόμενοι παλμοί.

Χρησιμοποιώντας τις μεταβλητές “PGV Ratio” και “Energy Ratio” προκύπτει τελικά ο δείκτης παλμικότητας Baker PI, ο οποίος υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση :

$$PI = \frac{1}{1 + e^{-2.3+14.6(PGVratio)+20.5(Energyratio)}}$$

Ο δείκτης Baker λαμβάνει τιμές μεταξύ 0 και 1 και χαρακτηρίζει μια καταγραφή παλμική εάν λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες του 0.85, μη παλμική όταν ισούται με τιμές κάτω του 0.15 και αμφιλεγόμενες όταν βρίσκεται στο εύρος 0.15 έως 0.85

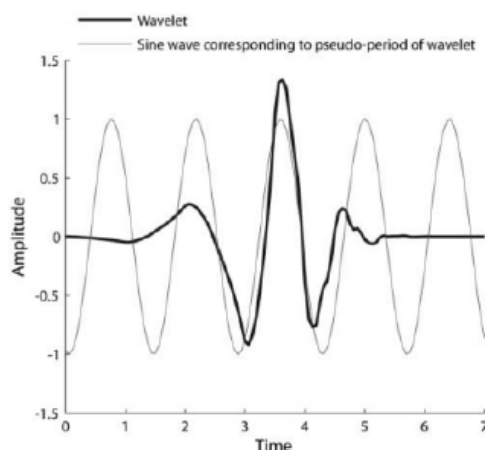


Σχήμα 1.6 Γράφημα του “PGV ratio” ως προς the “Energy ratio”.

1.5 Περίοδος του παλμού

Η απόκριση μιας κατασκευής συνδέεται άμεσα με την περίοδο του παλμού της ταχύτητας και συγκεκριμένα από το πηλίκο της περιόδου του παλμού της ταχύτητας προς τη θεμελιώδη περίοδο της κατασκευής. Υπάρχουν διάφορες μεθοδολογίες για τον προσεγγιστικό υπολογισμό της περιόδου του παλμού μια εκ των οποίων είναι και η μέθοδος ανάλυσης για τα ημιτονοειδή κύματα Fourier από την οποία εξάγεται η ψευδοπερίοδος. Η ψευδοπερίοδος στην πραγματικότητα ταυτίζεται με αυτήν την περίοδο, που ταυτίζεται με το μέγιστο εύρος του γραφήματος Fourier για ένα κύμα.

Παρακάτω απεικονίζεται ένα διάγραμμα ενός κύματος και ενός ημιτονοειδούς κύματος με περίοδο ίση με την ψευδοπερίοδο (περίοδο ίση με το μέγιστο εύρος του διαγράμματος Fourier). Έτσι λοιπόν, η περίοδος του παλμού της εδαφικής κίνησης ταυτίζεται με την ψευδοπερίοδο του μέγιστου συντελεστή του κύματος. Η κύρια, πλήρως αυτοματοποιημένη εναλλακτική λύση, για τον προσδιορισμό μιας περιόδου παλμού είναι να επιλέξει κανείς την περίοδο που σχετίζεται με τη μέγιστη τιμή του φάσματος απόκρισης της ταχύτητας. Οι περίοδοι λήφθηκαν χρησιμοποιώντας δύο προσεγγίσεις που είναι παρόμοιες, με την προσέγγιση βασιζόμενη σε κύματα να καταλήγει σε περίοδο παλμού (T_p) ελαφρώς μεγαλύτερη σε σχέση με την προσέγγιση που βασίζεται στη φασματική ταχύτητα.

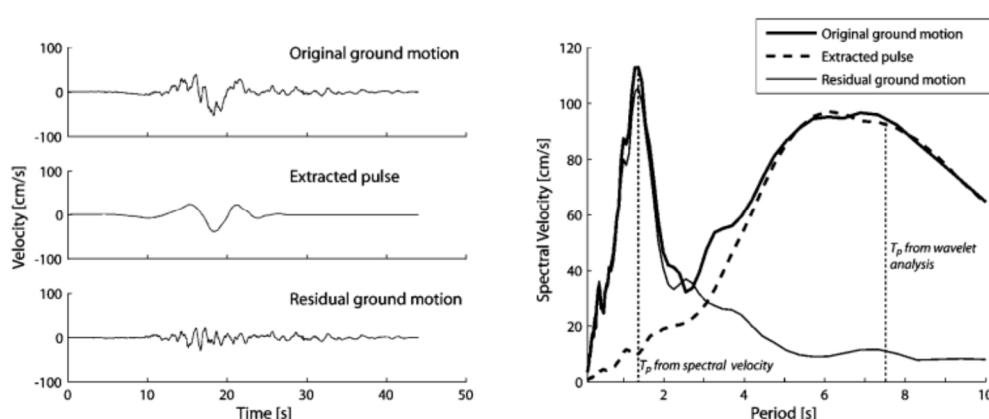


Σχήμα 1.7 Κύμα του *Daubachies* και εάν ημιτονοειδές κύμα με περίοδο ίση με το μέγιστο εύρος του κύματος στην ανάλυση *Fourier*.

Βέβαια, παρατηρήθηκαν και περιπτώσεις κατά τις οποίες αυτές οι δυο προσεγγίσεις εξάγουν διαφορετικά αποτελέσματα περιόδου παλμού. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η περίοδος που ελήφθη από την μέγιστη φασματική ταχύτητα, γενικά, σχετίζεται με ένα τμήμα της κίνησης του εδάφους, που έχει υψηλής

συχνότητας ταλάντωση, ενώ η περίοδος παλμού του κύματος σχετίζεται με την ταχύτητα του παλμού που προσδιορίζεται οπτικά.

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζονται αφενός οι ταχύτητες και αφετέρου οι φασματικές ταχύτητες. Παρατηρώντας τα των ψευδοταχυτήτων πρώτα τρία γραφήματα, προκύπτει ψευδοπερίοδος $T = 7.5$ s, αφού έχουν αναιρεθεί οι πρώτες μηδενικές διασταυρώσεις. Παρατηρώντας τα διαγράμματα των φασματικών ταχυτήτων, προκύπτει ότι η μέγιστη φασματική ταχύτητα συμβαίνει σε $T = 1.4$ s, ενώ η ψευδοπερίοδος των ψευδοταχυτήτων $T = 7.5$ s ταιριάζει με την περίοδο του παλμού που προσδιορίζεται οπτικά.



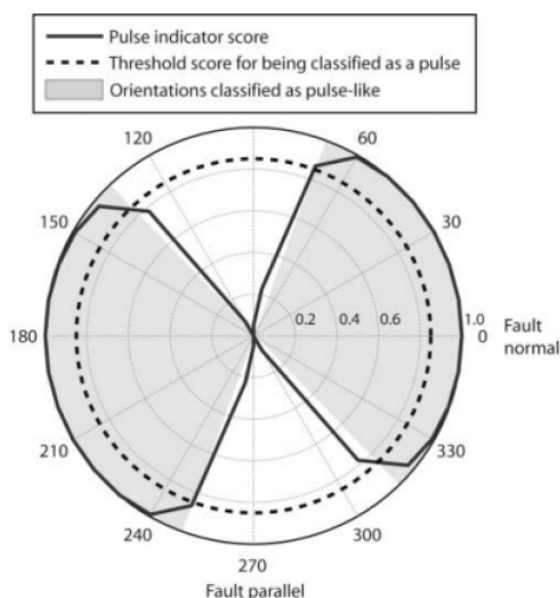
Σχήμα 1.8 Παράδειγμα προσδιορισμού της περιόδου του παλμού (για την εδαφική κίνηση στο Landers, του Yermo Fire Station, 1992).

Τελικά οδηγούμαστε στο εξής συμπέρασμα, η εκλογή της ψευδοπεριόδου του κύματος είναι αυτοματοποιημένη, χωρίς την ανάγκη ύπαρξης κρίσης του χρήστη. Επιπλέον, αυτή η μέθοδος εξάγει έναν ορθό προσδιορισμό της περιόδου του παλμού, εν αντιθέσει με τη μέθοδο της μέγιστης φασματικής ταχύτητας. Οπότε, η προσέγγιση αυτή της ψευδοπεριόδου καταλήγει να είναι μια ικανοποιητική μέθοδος προσδιορισμού της περιόδου του παλμού των εδαφικών κινήσεων.

1.6 Μελέτη της εδαφικής κίνησης σε άνω της μίας διάστασης

Η μεθοδολογία εφαρμόζεται στη συνιστώσα της εδαφικής κίνησης, την καθετή δηλαδή στο ρήγμα. Προέκταση αυτής της σκέψης είναι η ανάλυση αφενός στην καθετή συνιστώσα και αφετέρου στην παράλληλη στο ρήγμα συνιστώσα. Επομένως, για κάθε μια συνιστώσα προκύπτει λοιπόν και ο χαρακτηρισμός παλμικής ή μη παλμικής εδαφικής κίνησης, ανάλογα με τον δείκτη παλμικότητας Baker. Κατ'επέκταση αυτού του συλλογισμού, προκύπτει πως περιστρέφοντας κάνεις τις δυο συνιστώσες μπορεί να υπολογίσει τους παλμικούς δείκτες και επομένως να χαρακτηρίσει την εδαφική κίνηση σε διάφορους προσανατολισμούς.

Η παραπάνω ανάλυση οδηγεί στο ότι οι παλμοί κοντινού πεδίου είναι καταλυτικοί σε ένα πια πλήθος διευθύνσεων. Δηλαδή, ο παλμός της ταχύτητας, ακόμα κι αν παρατηρηθεί σε μια γωνιά διαφορετική από την αρχική γωνιά διεύθυνσης, υπάρχει ενδεχόμενο να είναι μεγάλος εν συγκρίσει με τις μικρότερες κινήσεις, οι οποίες ενδεχομένως να εντοπίζονται στο μη παλμικό τμήμα της καταγραφής. Επιπρόσθετα, εν γενεί εδαφικές κινήσεις αποδεικνύουν πως ορισμένες φορές ο παλμός ταχύτητας πραγματοποιείται σε έναν προσανατολισμό διαφορετικό από αυτόν της κάθετης στο ρήγμα συνιστώσας.



Σχήμα 1.9 Δείκτες παλμών για την εδαφική κίνηση στο *Chi-Chi, Taiwan, Tsaotun(TCU075)*, ως συνάρτηση του προσανατολισμού της συνιστώσας κάθετης στο ρήγμα. Το ακτινικό μέγεθος δείχνει την τιμή του παλμικού δείκτη για τον προσανατολισμό αυτό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Δείκτης Παλμικότητας Καρδούτσου (2017)

2.1 Εισαγωγή

Οι παλμικές σεισμικές καταγραφές προκαλούν πολύ σοβαρά και επιζήμια προβλήματα σε τεχνικά έργα, λόγω της μεγάλης απαίτησης τους σε πλαστιμότητα. Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναλύθηκε εκτενώς η θεωρία του Baker(2007) και ο δείκτης παλμικότητας κατά Baker. Δέκα χρόνια αργότερα εμφανίζεται ο νέος δείκτης παλμικότητας Καρδούτσου (2017), ο οποίος ισούται με τον συντελεστή συσχέτισης του σημαντικού παλμού και της αρχικής καταγραφής. Κατά αντιστοιχία με τον δείκτη παλμικότητας Baker, οι καταγραφές χαρακτηρίζονται ως παλμικές όταν αυτός ο δείκτης είναι μεγαλύτερος του 0.65 και μη παλμικές όταν είναι μικρότερος του 0.55 . Ισχύει επίσης για τον δείκτη παλμικότητας Καρδούτσου ότι λαμβάνει τιμές από 0 έως 1. Επιπρόσθετα, στην περίπτωση όπου λαμβάνει τιμές μεταξύ 0.55 και 0.65, τότε η εδαφική κίνηση χαρακτηρίζεται αμφιλεγόμενη.

Παρατηρείται πως δημιουργεί πολύ μεγάλο ενδιαφέρον η επίδραση των παλμών κατευθυντικότητας στο ελαστικό και ανελαστικό φάσμα απόκρισης. Στο ελαστικό φάσμα απόκρισης παρατηρείται μια κωδωνοειδής επαύξηση εκατέρωθεν της περιόδου του παλμού (T_p) . Αντίστοιχα, για το ανελαστικό φάσμα απόκρισης, λόγω των παλμών κατευθυντικότητας, δημιουργείται μεγάλη απαίτηση πλαστιμότητας μ σε κατασκευές οι οποίες έχουν κυρία περίοδο ίση με το ήμισυ της περιόδου του παλμού ($T_p/2$). Μάλιστα, οι τιμές μ είναι μεγαλύτερες από τον μειωτικό συντελεστή R , δηλαδή ο λόγος μ/R είναι προφανώς μεγαλύτερος της μονάδας, σε αντίθεση με κατασκευές οι οποίες έχουν περίοδο ίση ή μεγαλύτερη από αυτήν του παλμού (T_p) , όπου εκεί ο λόγος μ/R είναι κοντά στην μονάδα και εκεί βεβαίως ισχύει η θεωρία των ίσων μετατοπίσεων.

Έτσι λοιπόν, δέκα χρόνια μετρά τη θεωρία κατά Baker παρατίθεται κάτωθεν ο νέος δείκτης παλμικότητας κατά Β. Καρδούτσου, ο οποίος συνδέει τον κύριο παλμό με την αρχική πραγματική καταγραφή. Ο κύριος αυτός παλμός αναπαρίσταται μαθηματικά (visualization) μέσω του κύματος κατά Μαυροειδή και Παπαγεωργίου. Υλοποιήθηκε μία σύγκριση των αποτελεσμάτων των δυο δεικτών παλμικότητας (μεταπτυχιακή εργασία Πεδιαδίτη Ε.), του νέου κατά Καρδούτσου και του αρχικού κατά Baker. Στην περίπτωση κατά την οποία υλοποιήθηκε η σύγκριση των δυο δεικτών ελήφθησαν καταγραφές με μέγιστη εδαφική επιτάχυνση $PGV > 30m/s$. Συχνό φαινόμενο είναι η εξαγωγή διαφορετικών αποτελεσμάτων με την χρήση των δύο αυτών μεθόδων γεγονός που εντείνει την ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση του χαρακτηρισμού των καταγραφών.

Στην περίπτωση των παλμικών εδαφικών κινήσεων παρατηρήθηκε συγκέντρωση της ενέργειας της κίνησης κατά βάση στη διάρκεια του παλμού αυτού. Έτσι, σύμφωνα με αυτό το σκεπτικό χαρακτηρίζοντουσαν, μέχρι πρότινος, οι εδαφικές κινήσεις ως παλμικές ή μη παλμικές.

2.2 Μεθοδολογία Καρδούτσου

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία Καρδούτσου, το κριτήριο για την εκλογή του κυρίου παλμού είναι ο συντελεστής συσχέτισης r , ο οποίος συνδέει τους πιθανούς προς επιλογή παλμούς με την αρχική καταγραφή, ο μεγαλύτερος τελικά συντελεστής συσχέτισης r των δυο αυτών μεταβλητών είναι τελικά και ο δείκτης παλμικότητας PI(κατά Καρδούτσου), δηλαδή τίθεται $r=PI$.

Σύμφωνα με μαθηματικά μοντέλα, η συνάρτηση συσχέτισης δυο συναρτήσεων f, g με μία χρονική καθυστέρηση ορίζεται ως εξής:

$$(f * g)(t_d) = \int_{-\infty}^{\infty} f^*(t)g(t+t_d)dt$$

Κατ' επέκταση, ο συντελεστής συσχέτισης r των δυο αυτών συναρτήσεων εξάγεται από την παρακάτω μαθηματική σχέση:

$$r = \frac{\sum_i (f(t_i) - \tilde{f})(g(t_i - t_d) - \tilde{g})}{\sqrt{\left[\sum_i (f(t_i) - \tilde{f})^2 \right] \left[\sum_i (g(t_i - t_d) - \tilde{g})^2 \right]}}$$

, όπου \tilde{f}, \tilde{g} οι μέσες τιμές των

αρχικών συναρτήσεων f, g .

Στην προκείμενη, ως f ορίζεται η χρονοϊστορία της ταχύτητας της αρχικής καταγραφής και ως g η χρονοϊστορία της ταχύτητας του παλμού για χρονική καθυστέρηση t_d ίση με τη χρονική στιγμή που γίνεται η εκκίνηση του παλμού. Χρησιμοποιώντας την εξίσωση υπολογισμού του συντελεστή συσχέτισης r , επιλέγεται τελικά ο μεγαλύτερος όλων. Έτσι λοιπόν, ορίζεται ο συντελεστής συσχέτισης και κατ' επέκταση ο δείκτης παλμικότητας κατά Καρδούτσου.

Συμπερασματικά, διενεργείται μία διαρκής μετατόπιση του μητρικού παλμού κατά μήκος της εδαφικής ταχύτητας και στο σημείο όπου η συσχέτιση του παλμού και της εδαφικής κίνησης σημειώσουν την μέγιστη δυνατή τιμή ,

επιλέγεται και εξάγεται η συγκεκριμένη αυτή θέση , η οποία είναι τελικά η θέση του παλμού της χρονοϊστορίας.

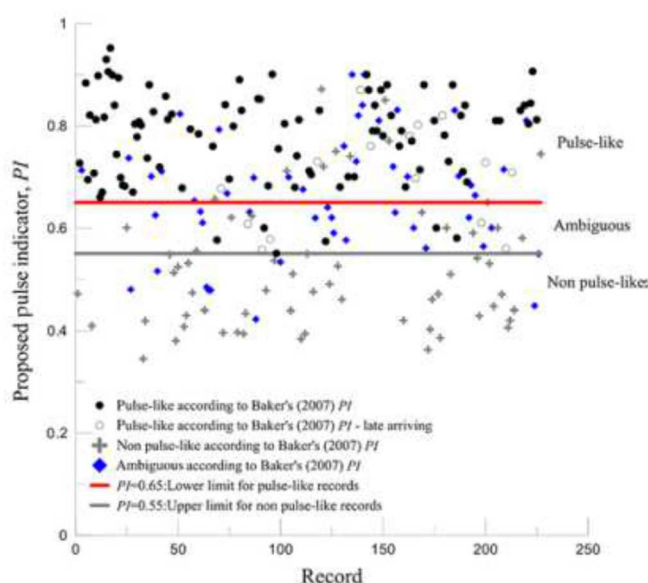
Για την κατηγοριοποίηση των εδαφικών κινήσεων κατά Καρδούτσου είναι αναγκαίο να ορισθούν μέγιστη και ελάχιστη τιμή, δηλαδή όρια για την ταξινόμηση των εδαφικών κινήσεων. Ως $PI_{cr,max}$ τίθεται η τιμή 0,65 και ως $PI_{cr,min}$ η τιμή 0,55 . Οπότε, εάν $PI > PI_{cr,max} = 0.65$, τότε η καταγραφή χαρακτηρίζεται ως παλμική, ενώ όταν $PI < PI_{cr,min} = 0,55$, τότε η καταγραφή θεωρείται μη παλμική.

Καταγραφές που φθάνουν αργά και ενδεχομένως να έχουν μεγάλο δείκτη παλμικότητας, εξακολουθούν να χαρακτηρίζονται ως μη παλμικές κατά Baker. Σε αντίθετη βέβαια λογική, κινείται η μεθοδολογία κατά Καρδούτσου για τους παλμούς τους οποίους φθάνουν αργά. Το σκεπτικό αυτό βασίζεται στο ότι οι μεγάλοι παλμοί που υπάρχουν στις εδαφικές κινήσεις είναι ανεξάρτητοι από τους λόγους γέννησης των παλμών αυτών. Έτσι, σε αντίθεση με το κριτήριο κατά Baker, όλες οι καταγραφές με μεγάλο δείκτη παλμικότητας και συγκεκριμένα με $PI > PI_{cr,max}$, χαρακτηρίστηκαν παλμικές.

Για την μαθηματική ανάλυση και έκφραση του δεσπόζοντος παλμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλες οι μορφές κυμάτων. Στη συγκεκριμένη μεθοδολογία κατά Καρδούτσου , χρησιμοποιήθηκε το κύμα κατά Μαυροειδή και Παπαγεωργίου, όπου εξάγεται ο μεγαλύτερος παλμός.

2.3 Αξιολόγηση μεθόδου

Παρακάτω απεικονίζεται ένα διάγραμμα όπου, με μαύρους συμπαγείς κύκλους απεικονίζονται οι καταγραφές οι οποίες χαρακτηρίστηκαν **παλμικές** σύμφωνα με το κριτήριο Baker, με μαύρους μη συμπαγείς κύκλους απεικονίζονται πάλι οι καταγραφές οι οποίες χαρακτηρίστηκαν **παλμικές**, παρόλο που **φθάνουν αργά** (εν αντιθέσει με το κριτήριο Baker, όπου αυτές οι καταγραφές χαρακτηρίζονται ως μη παλμικές). Επιπρόσθετα, στο διάγραμμα απεικονίζονται με γκρι σταυρούς οι καταγραφές που ταξινομήθηκαν ως μη παλμικές κατά Baker και τέλος με μπλε συμπαγείς κύκλους οι αμφιλεγόμενες καταγραφές.

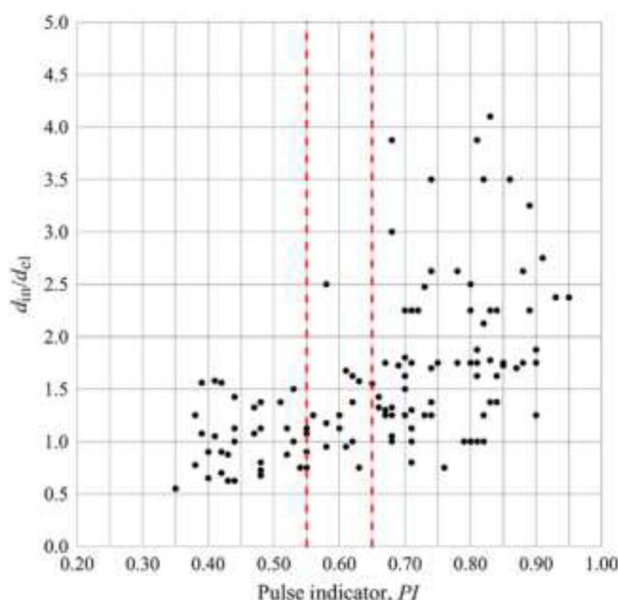


Σχήμα 2.1 Σύγκριση των δεικτών παλμικότητας Καρδούτσου (2017) και Baker (2007)

Τοποθετώντας σε αυτό το διάγραμμα το ανώτατο και το κατώτατο οροί κατά Καρδούτσου $PI_{cr,max}=0,65$ και $PI_{cr,min}=0,55$ αντίστοιχα, παρατηρείται πως στις περισσότερες περιπτώσεις οι δυο αυτές μέθοδοι είναι σύμφωνες. Στις περιπτώσεις όπου υπάρχουν διαφωνίες μεταξύ των δυο, η νέα μέθοδος παλμικότητας κατά Καρδούτσου δείχνει να οδηγεί σε πιο λογικά αποτελέσματα.

Κατά Iervolio και Cornell (2008), κατασκευές οι οποίες έχουν δεσπόζουσα περίοδο κοντά στο ήμισυ της περιόδου ενός δυνατού παλμού, ο οποίος ενδεχομένως να εμπεριέχεται σε εδαφικές κινήσεις, τότε παρατηρείται πως αυτά τα τεχνικά έργα έχουν κατά πολύ μεγαλύτερες απαιτήσεις πλαστιμότητας μ , σε σχέση με άλλα έργα τα οποία δεν πλήττονται από τέτοιου είδους φαινόμενα και για τα οποία ισχύει κανονικά ο κανόνας ίσων μετατοπίσεων $\mu=R$, όπου R ο μειωτικός συντελεστής.

Επίσης, ένα εξαιρετικά βοηθητικό διάγραμμα για την κατανόηση της συμπεριφοράς αυτών των καταγράφων είναι το παρακάτω, όπου έχουν τοποθετηθεί οι λόγοι της ανελαστικής προς την ελαστική μετατόπιση της εκάστοτε καταγραφής. Παρατηρείται πως καταγραφές οι οποίες κατηγοριοποιήθηκαν ως παλμικές κατά Καρδούτσου έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις πλαστιμότητας σε σχέση με τις μη-παλμικές, όπου εκεί ισχύει ο κανόνας ίσως μετατοπίσεων. Μάλιστα, για τις καταγραφές που θεωρήθηκαν μη-παλμικές κατά Baker και παλμικές κατά Καρδούτσου, τελικά στην πραγματικότητα σύμφωνα με την γραφική τους αναπαράσταση προέκυψε ότι μέσα σε αυτές τις καταγραφές εμπεριέχεται ένας κρυφός παλμός, ο οποίος προφανώς δεν λαμβάνεται υπόψιν σε όλες τις περιπτώσεις ανάλυσης κατά Baker, σε αντίθεση με την μεθοδολογία Καρδούτσου, όπου αυτός ο παλμός εντοπίζεται και χαρακτηρίζεται η καταγραφή ως παλμική και οδηγούμαστε τελικά σε διαφορετικά συμπεράσματα. Επομένως, η νέα μεθοδολογία Καρδούτσου είναι πιο εμπειριστατωμένη και πλήρης σε σχέση με αυτήν του Baker (2007), η οποία σε ορισμένες περιπτώσεις εμφανίζει κάποια κενά. Επιπρόσθετα, ο νέος δείκτης παλμικότητας έχει άμεση αλληλεξάρτηση με την ανελαστική απόκριση των κατασκευών, των οποίων οι καταγραφές οι οποίες έχουν περίοδο ίση με το ήμισυ της περιόδου του παλμού και έχουν χαρακτηριστεί ως παλμικές, οδηγούν κατά κανόνα σε ανελαστικές μετακινήσεις. Αντίθετα, ο κανόνας των ίσων μετατοπίσεων ισχύει γενικά για καταγραφές που χαρακτηρίζονται ως μη-παλμικές.



Σχήμα 2.2 Ο λόγος της ανελαστικής προς την ελαστική μετατόπιση d_{in}/d_{el} ως προς τον προτεινόμενο δείκτη Καρδούτσου (2017)

$$d_{in} / d_{el} = \mu / R$$

$$d_{in} / d_{el} = 1.0 \text{ (κανόνας ίσων μετατοπίσεων)}$$

Τέλος, ο νέος αυτός δείκτης παλμικότητας εξάγεται χρησιμοποιώντας το κύμα Μαυροειδή και Παπαγεωργίου και όχι το κυματίδια 4^{ης} τάξης Daubachies, διότι το πρώτο εμφανίζει καλύτερη συσχέτιση με την αρχική καταγραφή και προφανώς καταλήγει να είναι μια αξιόπιστη λύση σχετικά με την προσέγγιση του παλμού κατευθυντικότητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Κρυφοί Παλμοί

3.1 Εισαγωγή

Χρησιμοποιώντας μέχρι πρότινος το κύμα Μαυροειδή και Παπαγεωργίου, έρχεται μια νέα τροποποίηση αυτού κατά Μίμογλου (2014), η οποία μαθηματική αναπαράσταση του παλμού εφαρμόζεται και για αλλού τύπου κύματα. Η νέα μέθοδος εισάγει ορισμένες καινούριες παραμέτρους που εμπεριέχονται σε παλμικές καταγραφές. Συγκεκριμένα, εισάγεται το γινόμενο του φάσματος απόκρισης ταχύτητας με το φάσμα απόκρισης της μετατόπισης ($S_d \times S_v$). Βρίσκοντας το μέγιστο αυτού του φάσματος, προκύπτει τελικά η περίοδος του παλμού. Επιπλέον, ορίζεται μια καινούρια σχέση μεταξύ της αθροιστικής απολυτής μετατόπισης του κύματος και του μέγιστου φασματικού εύρους του.

Ο δείκτης απολυτής αθροιστικής μετατόπισης του κύματος (γνωστή ως CAD - cumulative absolute displacement-) ορίζεται ως το ολοκλήρωμα της απολυτής εδαφικής ταχύτητας στο χρόνο, δηλαδή:

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

ΜΕΤΚΑ, από αναλύσεις προέκυψαν οι παρακάτω μαθηματικές σχέσεις για την σύνδεση της CAD με τις ψευδοφασματικές ταχύτητες για μηδενική αλλά και διάφορη του μηδενός απόσβεση.

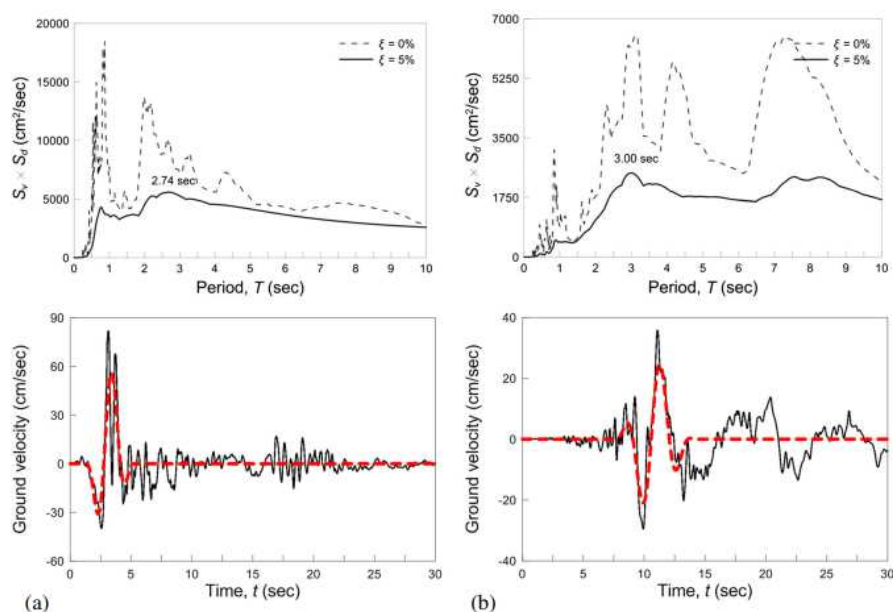
$$S_{d,o}(T_{res}) = \pi \gamma d_{g,max}$$

3.2 Παλμικές παράμετροι

3.2.1 Περίοδος παλμού

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μεταπτυχιακής εργασίας που εκπονήθηκε από την Πεδιαδίτη Εμμανουέλα παρατηρήθηκε πως η περίοδος του παλμού επηρεάζει άμεσα την επιτάχυνση και τη ταχύτητα του εδάφους, σε διαφορετικό βαθμό την καθεμιά, κρίθηκε πιο βάσιμο το να ολοκληρωθούν αρχικά αυτές οι δυο χρονοϊστορίες ($S_d \times S_v$) και έπειτα να επικρατήσει τελικά η περίοδος T_p . Δηλαδή, το μέγιστο του φάσματος του εύρους Fourier του προαναφερθέντος ολοκληρώματος αντιστοιχεί λοιπόν στην περίοδο του δεσπόζοντος παλμού.

Επίσης, παρατηρείται πως τα φάσματα απόκρισης με απόσβεση 5% έρχονται σε καλύτερη προσέγγιση με το αντίστοιχο φάσμα ταχύτητας του εξαγομένου τελικά παλμού, σε σχέση με τα φάσματα με μηδενική απόσβεση, οπότε είθισται να χρησιμοποιείται συντελεστής απόσβεσης 5% για καλύτερα και πιο έγκυρα αποτελέσματα.



Σχήμα 3.0 Για δύο διαφορετικές καταγραφές γίνεται προσδιορισμός της περιόδου παλμού ταχύτητας T_p από την κορυφή του φάσματος $S_d \times S_v$ για απόσβεση 5% (οι αντίστοιχες καμπύλες για μηδενική απόσβεση παρουσιάζονται για σύγκριση), ενώ στο κάτω σχήμα γίνεται σύγκριση

3.2.2 Εύρος, Διάρκεια, Μετατόπιση φάσης, Χρόνος έναρξης παλμού

Για να προσδιοριστούν τα τρία βασικά μεγέθη του κύματος, δηλαδή A το πλάτος του φάσματος, γ η διάρκεια αυτού και ν η μετατόπιση φάσης, χρησιμοποιείται ο δείκτης κίνησης εδάφους CAD, όπως προαναφέρθηκε.

Για κύματα κατά Μαυροειδή και Παπαγεωργίου, η τιμή της CAD έχει την εξής μορφή:

$$CAD = \frac{\gamma AT_p}{\pi}$$

Εν τέλει, ο παρακάτω τύπος προσδιορίζει το πλάτος του κύματος χρησιμοποιώντας την τροποποιημένη μέθοδο Μαυροειδή και Παπαγεωργίου κατά CAD

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

Τίθεται όμως ένα σοβαρό ζητούμενο, η διάρκεια γ του κύματος, η οποία είναι άγνωστη, συνεπώς δηλαδή είναι άγνωστο και το πλάτος του κύματος εφόσον είναι συνάρτηση της διάρκειας αυτού. Έτσι, επιλέγεται ένα συγκεκριμένο εύρος για την διάρκεια γ και από το σύνολο των ζευγαριών (A, γ), αποκλείονται όλα εκείνα τα πλάτη φάσματος επιτάχυνσης, τα οποία οδηγούν σε τιμές πέραν της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας και της μέγιστης εδαφικής μετατόπισης (PVA, PGV, PGD αντίστοιχα). Εν συνέχεια, υπολογίσθηκαν όλα τα κύματα για εύρος τιμών φάσεων ν 0°-360° (Μεταπτυχιακή εργασία Πεδιαδίτη ε.) . Μετ' έπειτα, για τα κύματα τα οποία τελικά προέκυψαν, εξετάστηκαν ορισμένες τιμές χρονοκαθυστέρησης t_d έναρξης του παλμού. Έτσι λοιπόν, δημιουργείται ένα σύνολο κυμάτων, όπου το κάθε κύμα αντιστοιχεί σε ένα σύνολο διαφορετικών παραμέτρων A, γ, ν και t_d . Τέλος, από τις αντίστοιχες χρονοϊστορίες του παλμού $\nu(A, \gamma, t_d, t)$ επιλέχθηκε το κύμα το οποίο προσεγγίζει με καλύτερο και πιο αποτελεσματικό τρόπο την χρονοϊστορία της ταχύτητας του εδάφους $\nu_g(t)$.

Έτσι, έχοντας πια σαν δεδομένα τις δυο αυτές χρονοϊστορίες, υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης r αυτών των δυο και τελικά επιλέχθηκε ο παλμός με το μεγαλύτερο r . Επίσης, ένας ακόμη λόγος που χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση αλληλοσυσχέτισης, ήταν για να προσδιοριστεί η χρονοκαθυστέρηση του παλμού t_d . Για να προσδιοριστεί αυτό το μέγεθος, έγινε χρήση του χρόνου κατά τον οποίο παρατηρείται η μέγιστη τιμή του κύματος t_0 και συναρτήσει της ακολουθούσας σχέσης:

$$t_0 = t_d + \gamma * T_p / 2$$

3.2.3 Εφαρμογή μεθοδολογιών- Αναλύσεις καταγραφών με κρυφούς παλμούς

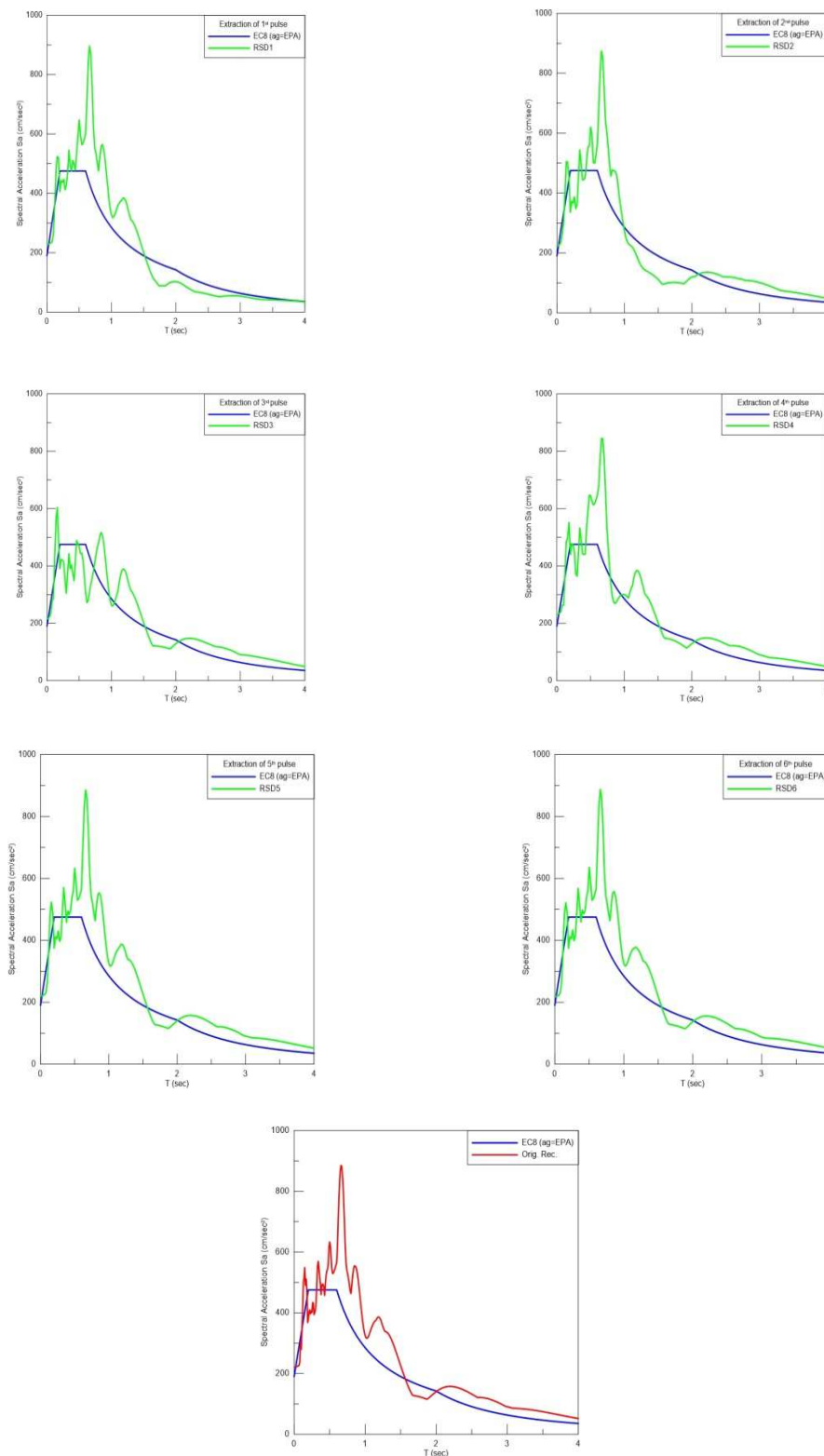
Όπως έχει σημειωθεί σε προηγούμενα κεφάλαια οι καταγραφές κοντινού πεδίου δημιουργούν πολύ μεγάλο ενδιαφέρον διότι παρουσιάζουν σοβαρά και επιζήμια προβλήματα σε τεχνικά έργα, δηλαδή κατασκευών πολιτικού μηχανικού και συγκεκριμένα κατασκευές με μεσαία έως μεγάλη περίοδο. Δημιουργούν μεγάλες απαιτήσεις πλαστιμότητας. Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν αποτελέσματα τέτοιου είδους αναλύσεων και καταγράφων. Συγκεκριμένα, θα παρουσιαστούν οι κρυφοί παλμοί που εν γενεί δεν μπορούν να εντοπιστούν σε μια καταγραφή, αλλά η επιρροή τους είναι πασιφανής στο ελαστικό και ανελαστικό φάσμα απόκρισης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μεταπτυχιακής εργασίας που εκπονήθηκε από την Πεδιαδίτη Εμμανουέλα, επιλέχθηκαν από τη βάση δεδομένων NGA καταγραφές οι οποίες είχαν ταξινομηθεί ως μη-παλμικές ή διφορούμενες κατά Baker ή/και Καρδούτσου και είχαν επιτάχυνση εδάφους μεγαλύτερη από 0.15g. Έπειτα, από την χρονοϊστορία της κάθε καταγραφής αποσπάρστηκαν 6 παλμοί, για τους οποίους υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης με απόσβεση 5% με την αρχική αυτή καταγραφή και διαπιστώθηκε ότι την προσέγγιζαν πολύ καλά. Προτού αφαιρεθεί ο κάθε παλμός από την αρχική σεισμική καταγραφή, παρατηρήθηκε η επιρροή του κάθε παλμού στο ελαστικό και ανελαστικό φάσμα απόκρισης. Ως αποτέλεσμα, δημιουργήθηκε μια νέα χρονοϊστορία και ένα νέο απογειωμένο ελαστικό φάσμα αυτής.

Επεξεργαζόμενοι το νέο απομειωμένο ελαστικό φάσμα, υπολογίστηκε το νέο ανελαστικό φάσμα με συντελεστή συμπεριφοράς $q=4$. Επιπλέον, υπολογίστηκαν οι λόγοι τελικής προς αρχικής πλαστιμότητας με κρίσιμη τιμή πλαστιμότητας $\mu=6$ κατά Miranda(2007). Γενικά, όλες οι καταγραφές παρουσίασαν λογούς τελικής προς αρχικής πλαστιμότητας μεγαλύτερους της μονάδας. Στην περίπτωση όπου παρατηρήθηκε σημαντική μείωση της αρχικής πλαστιμότητας, τότε ο εξαγόμενος παλμός χαρακτηριζόταν σημαντικός «κρυφός παλμός», ο οποίος προκαλούσε τελικά μεγάλες ανελαστικές μετατοπίσεις και κατ' επέκταση ανάγκη για μεγάλες απαιτήσεις πλαστιμότητας. Επιπλέον, συγκρίθηκαν τα ελαστικά φάσματα απόκρισης της αρχικής και της απογειωμένης καταγραφής, ώστε να απομονωθούν οι σημαντικοί αυτοί παλμοί που δημιουργούσαν τις σημαντικές κωδωνοειδείς επαυξήσεις. Έτσι λοιπόν, μπορούμε να καταλήξουμε στο ορθολογικό συμπέρασμα πως υπάρχουν πολλές καταγραφές οι οποίες μολονότι δεν έχουν κατηγοριοποιηθεί ως παλμικές, εμπεριέχουν παλμούς οι οποίοι δημιουργούν τέτοιου είδους αποτελέσματα στα ελαστικά και ανελαστικά φάσματα αλλά και στις απαιτήσεις μεγάλων πλαστιμοτήτων, σαν αυτές τις σεισμικές καταγραφές οι οποίες έχουν χαρακτηριστεί ως παλμικές κατά Baker ή/και Καρδούτσου. Αυτοί οι παλμοί μπορούν να χαρακτηριστούν ως «κρυφοί παλμοί».

Το προαναφερθέν αποτέλεσμα μπορεί να προέλθει από δυο ενδεχόμενα. Πρώτο ενδεχόμενο είναι να υπάρχουν πολλοί παλμοί μέσα στην καταγραφή και ένα μόνο από αυτούς να δημιουργεί τις μεγάλες απαίτησης πλαστιμότητας. Δεύτερο πιθανό ενδεχόμενο είναι η ύπαρξη ενός παλμού με μεγάλη χρονική διάρκεια και το εύρος του να είναι μικρότερο σε σχέση με το εύρος της καταγραφής, καθώς παράλληλα τα μέγιστα αυτού του παλμού είναι εκτός των μέγιστων της καταγραφής. Παρόλο που δεν είναι ξεκάθαρη η παρουσία του παλμού στην χρονοϊστορία της χρονοϊστορία δεύτερη περίπτωση, είναι όμως ξεκάθαρη η επιρροή του στα φάσμα της καταγραφής και από εκεί γίνεται αντιληπτή η παρουσία του κρυφού αυτού παλμού. Επιπρόσθετα, άλλη μια σοβαρή ένδειξη για ύπαρξη κρυφού παλμού σε μια καταγραφή είναι η κωδωνοειδή επαύξηση ή οι κωδωνοειδείς επαυξήσεις του φάσματος της καταγραφής περίπου στο ήμισυ της περιόδου του παλμού. Τέλος, η μεγάλη απαίτηση πλαστιμότητας σημειώνεται στην περιοχή λίγο πριν την επαύξηση και αυτό για τον λόγο του ότι η περίοδος επιμηκύνεται εξαιτίας της ανάπτυξης της ανελαστικής συμπεριφοράς. Έτσι λοιπόν, δεν θα ήταν ορθή και λογική η υπόθεση ότι εξακολουθεί κανονικά να ισχύει ο κανόνας ίσων μετατοπίσεων στην περιοχή αυτής λοιπόν της επαύξησης του φάσματος απόκρισης.

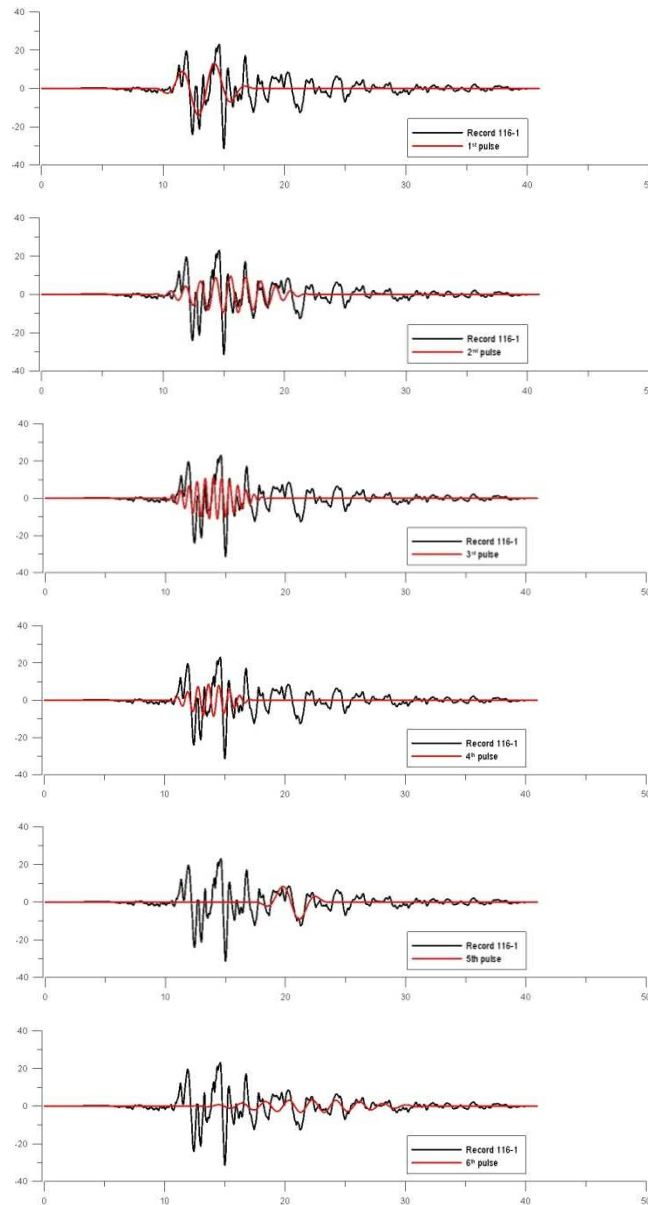
Παρακάτω παρεντίθενται για τέσσερις καταγραφές οι οποίες εμπεριείχαν κρυφούς παλμούς τα εξής διαγράμματα (μεταπτυχιακή εργασία Πεδιαδίτη Ε.) :

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ 1116-1:

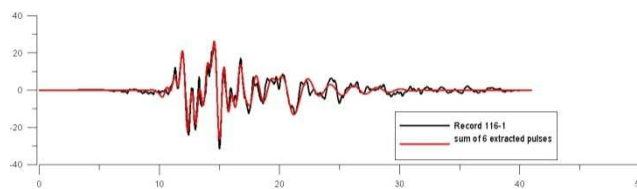


Σχήμα 3.1 Φάσματα EC8 μαζί με τον κάθε εξαγόμενο παλμό $i = 1$ έως 6 και Φάσμα της επιτάχυνσης της αρχικής καταγραφής 1116-1 με το φάσμα του EC8.

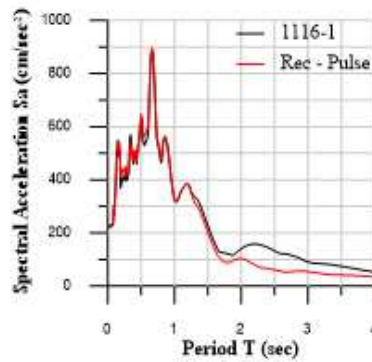
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PUSHOVER) ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (IDA) ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΑΦΑΝΟΥΣ ΠΑΛΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ



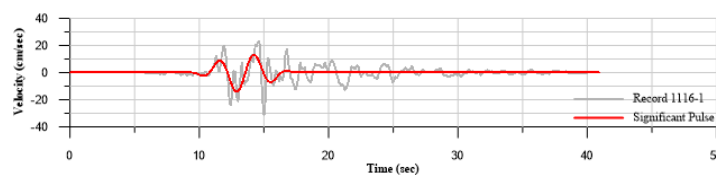
Σχήμα 3.2 Χρονοϊστορία της ταχύτητας της καταγραφής 1116-1 μαζί με τον κάθε εξαγόμενο παλμό.



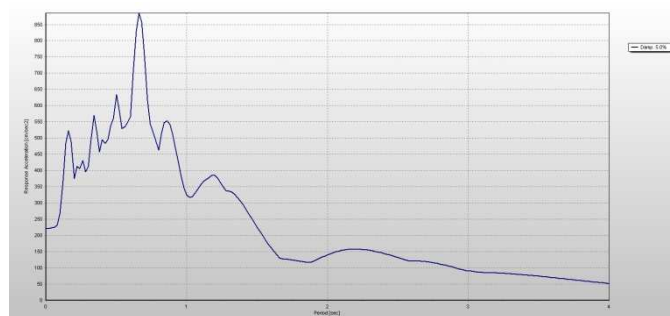
Σχήμα 3.3 Χρονοϊστορία της ταχύτητας της καταγραφής 1116-1 μαζί με το σύνολο των εξαγόμενων παλμών.



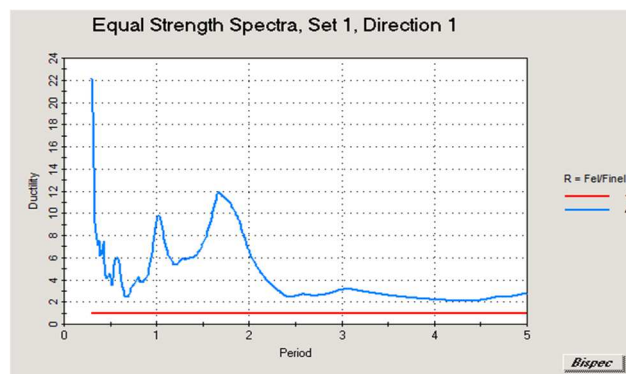
Σχήμα 3.4 Επιτάχυνση αρχικής καταγραφής 1116-1 και επιτάχυνση αρχικής καταγραφής μείον την επιτάχυνση του σημαντικού παλμού αυτής.



Σχήμα 3.5 Χρονοϊστορία της ταχύτητας της αρχικής καταγραφής 1116-1 και χρονοϊστορία της ταχύτητας για τον σημαντικό παλμό.

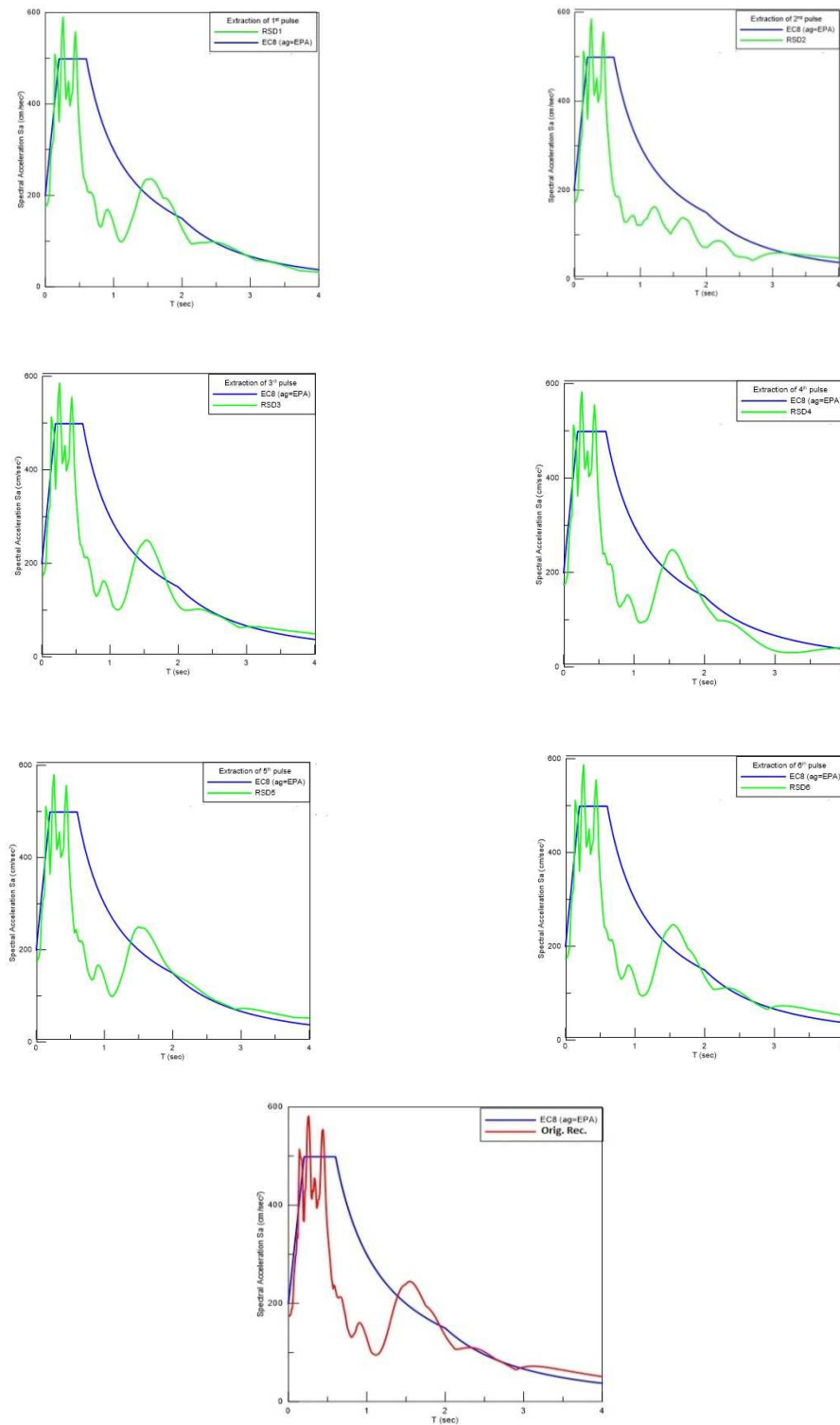


Σχήμα 3.6 Ελαστικό Φάσμα της καταγραφής 1116-1.



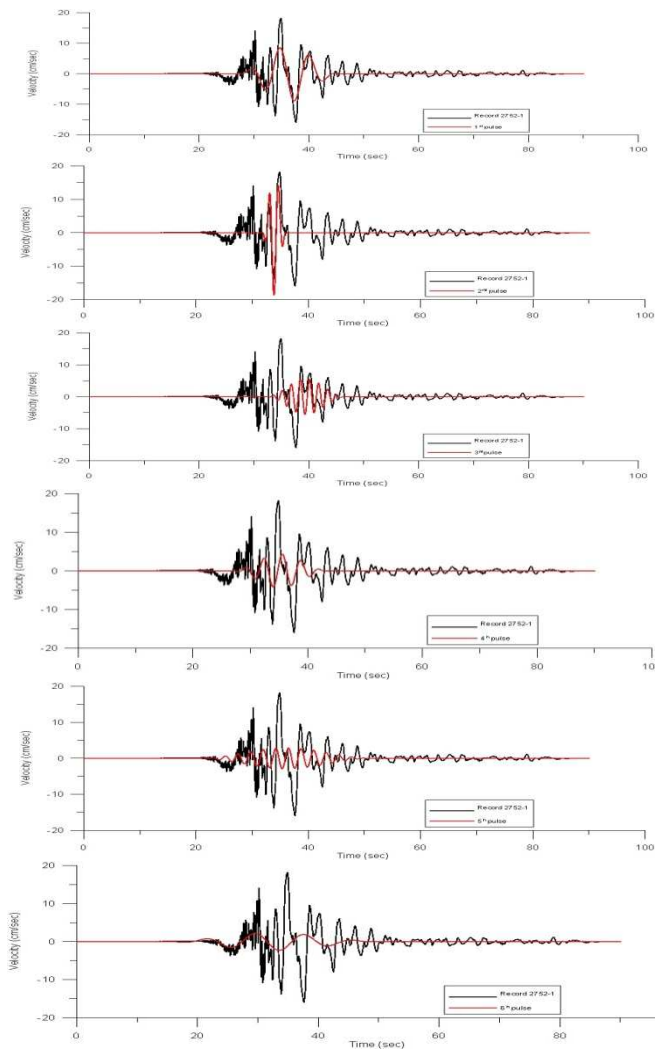
Σχήμα 3.7 Ανελαστικό Φάσμα της καταγραφής 1116-1.

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ 2752-1:

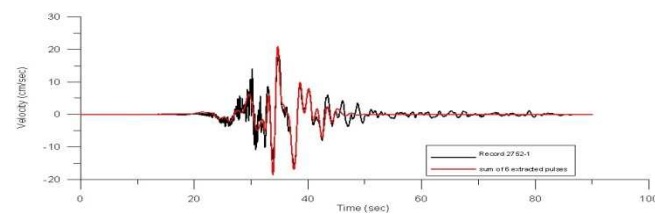


Σχήμα 3.8 Φάσματα EC8 μαζί με τον κάθε εξαγόμενο παλμό $i=1$ έως 6 και Φάσμα της επιτάχυνσης της αρχικής καταγραφής 2752-1 με το φάσμα του EC8.

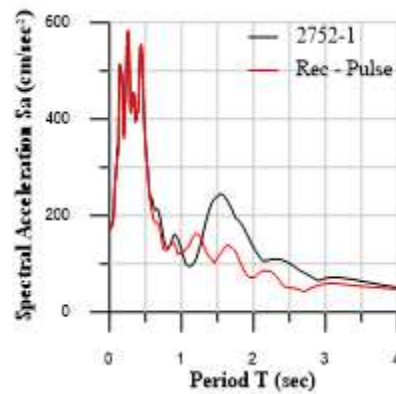
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PUSHOVER) ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (IDA) ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΑΦΑΝΟΥΣ ΠΑΛΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ



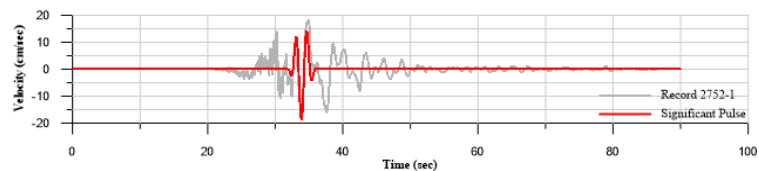
Σχήμα 3.9 Χρονοϊστορία της ταχύτητας της καταγραφής 2752-1 μαζί με τον κάθε εξαγόμενο παλμό.



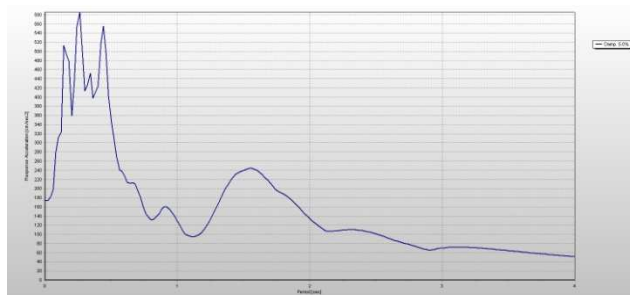
Σχήμα 3.10 Χρονοϊστορία της ταχύτητας της καταγραφής 2752-1 μαζί με το σύνολο των εξαγόμενων παλμών.



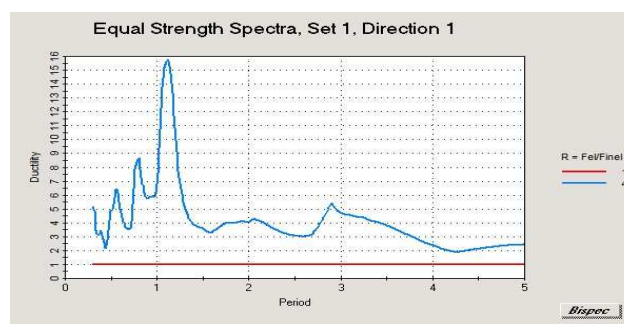
Σχήμα 3.11 Επιτάχυνση αρχικής καταγραφής 2752-1 και επιτάχυνση της καταγραφής μείον την επιτάχυνση του σημαντικού παλμού αυτής.



Σχήμα 3.12 Χρονοϊστορία της ταχύτητας της αρχικής καταγραφής 2752-1 και χρονοϊστορία της ταχύτητας για τον σημαντικό παλμό.

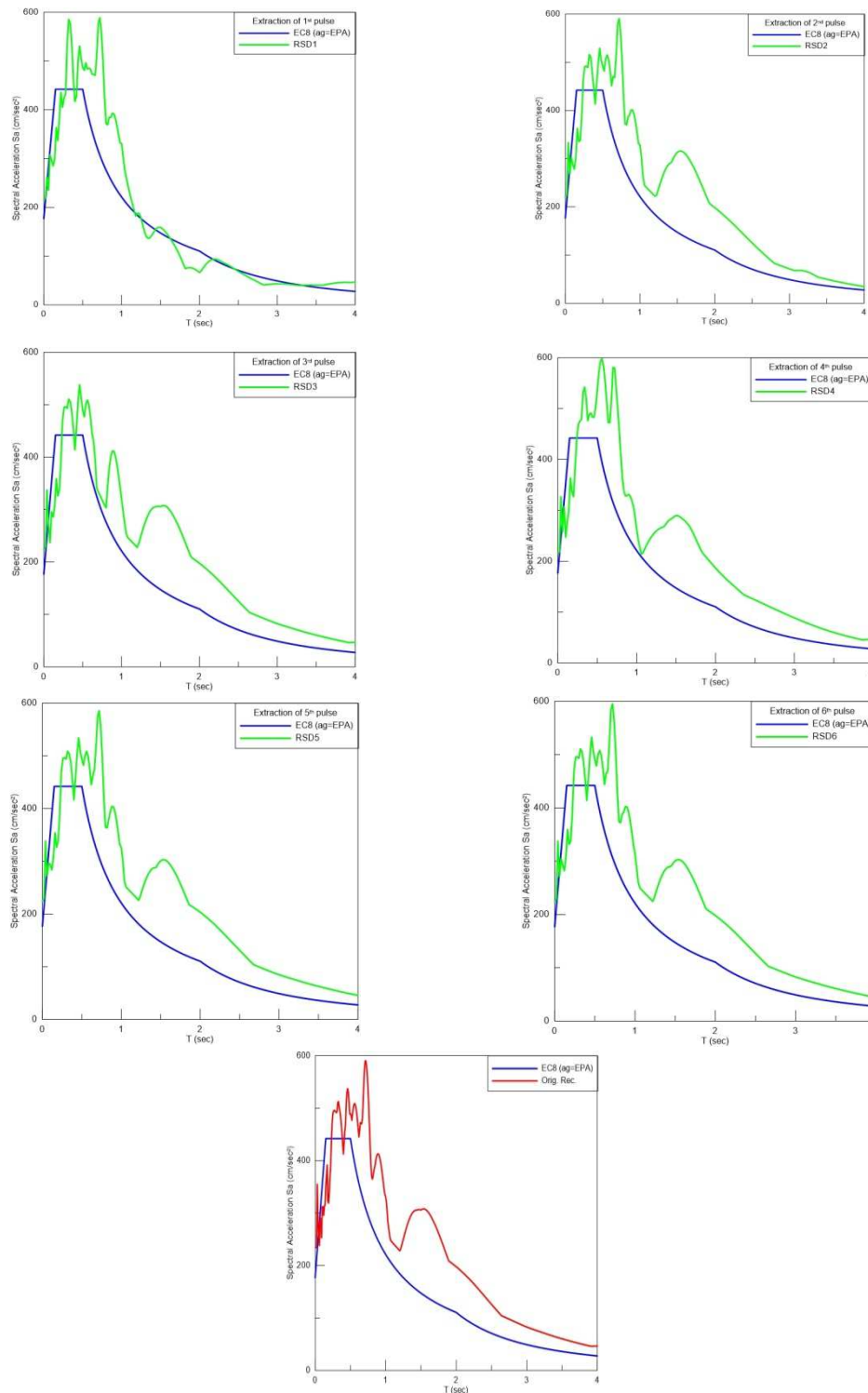


Σχήμα 3.13 Ελαστικό Φάσμα της καταγραφής 2752-1.



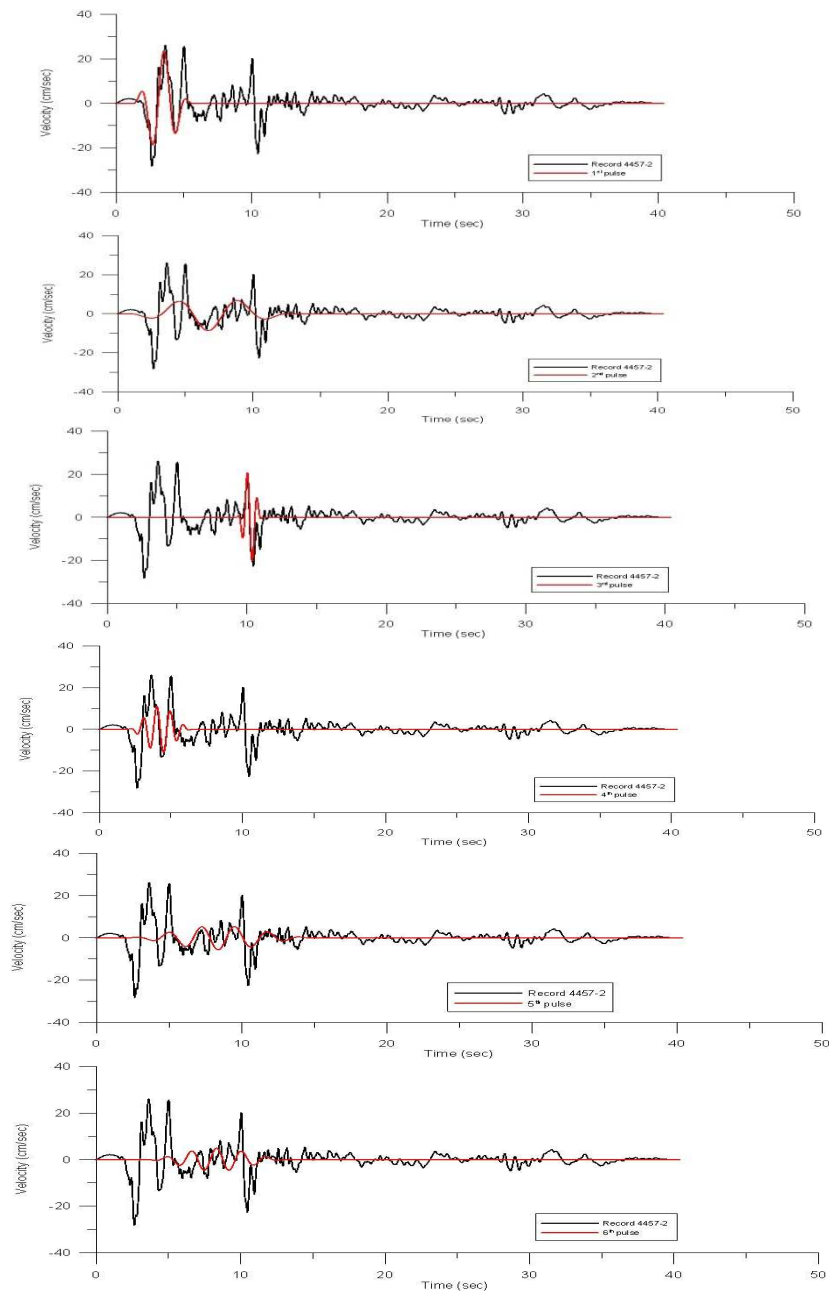
Σχήμα 3.14 Ανελαστικό Φάσμα της καταγραφής 2752-1.

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ 4457-2:

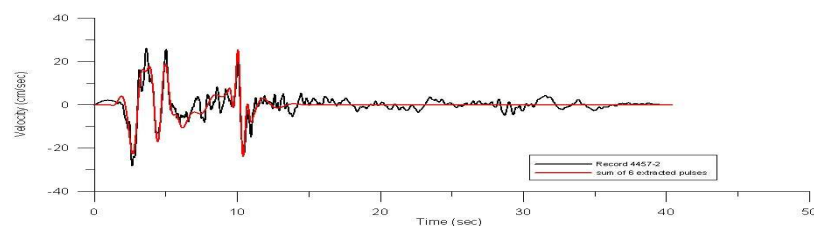


Σχήμα 3.15 Φάσματα EC8 μαζί με τον κάθε εξαγόμενο παλμό $i = 1$ έως 6 και Φάσμα της επιτάχυνσης της αρχικής καταγραφής 4457-2 με το φάσμα του EC8.

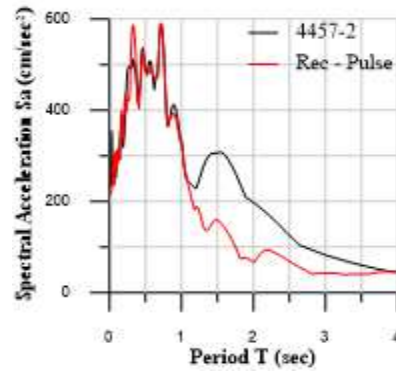
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PUSHOVER) ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (IDA) ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΑΦΑΝΟΥΣ ΠΑΛΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ



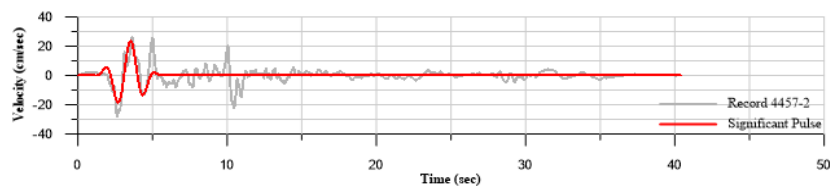
Σχήμα 3.16 Χρονοϊστορία της ταχύτητας της καταγραφής 4457-2 μαζί με τον κάθε εξαγόμενο παλμό.



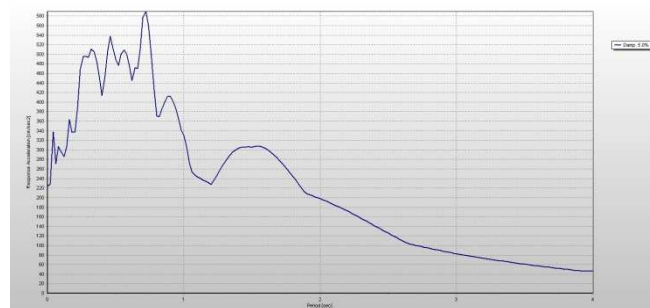
Σχήμα 3.17 Χρονοϊστορία της ταχύτητας της καταγραφής 4457-2 μαζί με σύνολο των εξαγόμενων παλμών.



Σχήμα 3.18 Επιτάχυνση αρχικής καταγραφής 4457-2 και επιτάχυνση της αρχικής καταγραφής μείον την επιτάχυνση του σημαντικού παλμού αυτής.



Σχήμα 3.19 Χρονοϊστορία της ταχύτητας της αρχικής καταγραφής 4457-2 και χρονοϊστορία της ταχύτητας για τον σημαντικό παλμό.

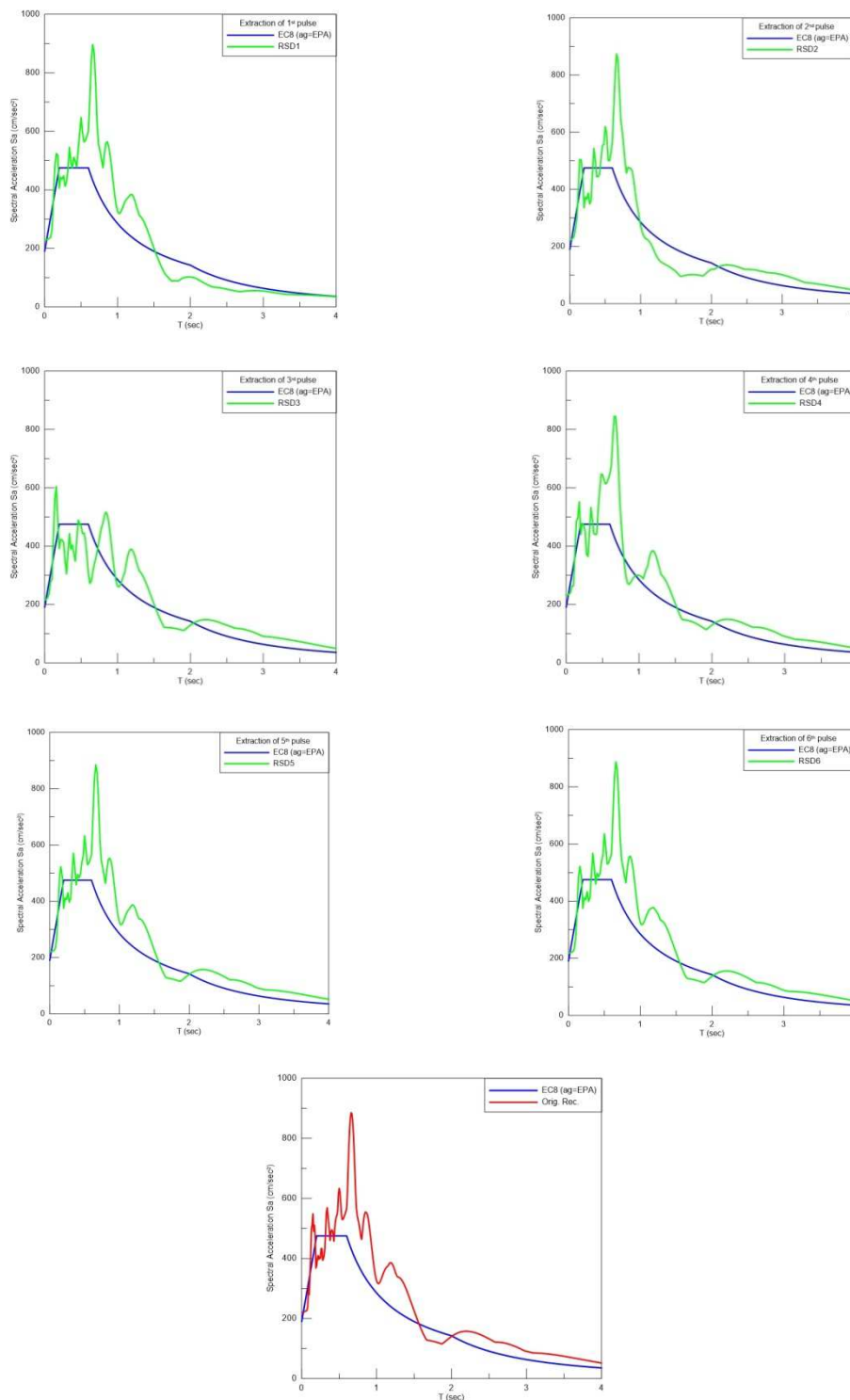


Σχήμα 3.20 Ελαστικό Φάσμα της καταγραφής 4457-2.



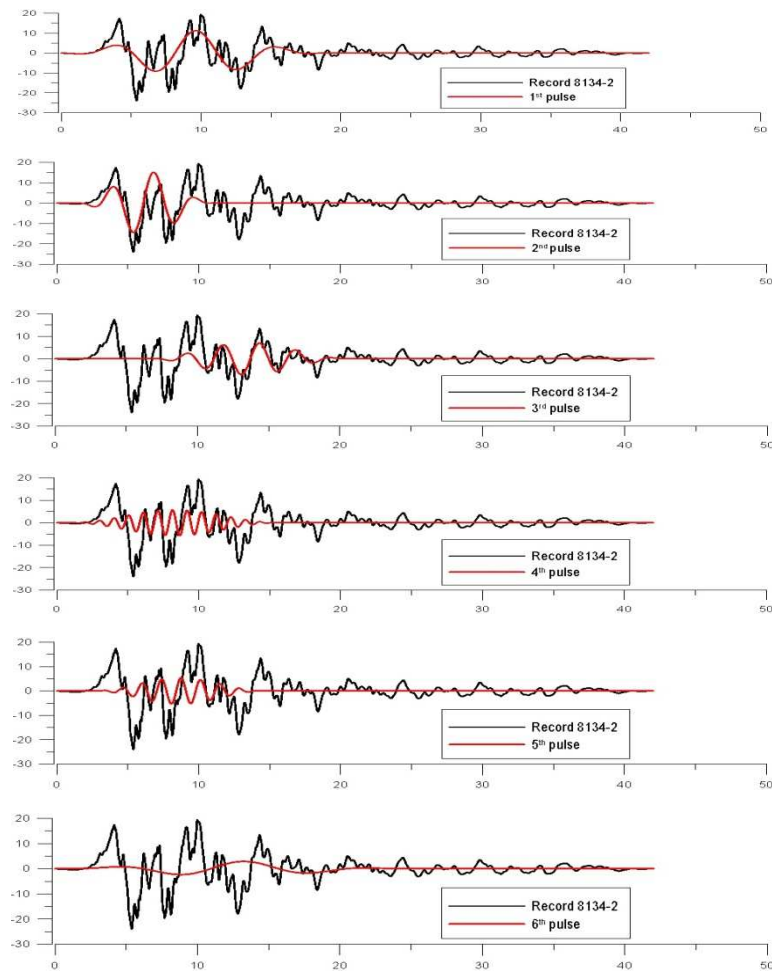
Σχήμα 3.21 Ανελαστικό Φάσμα της καταγραφής 4457-2.

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ 8134-2:

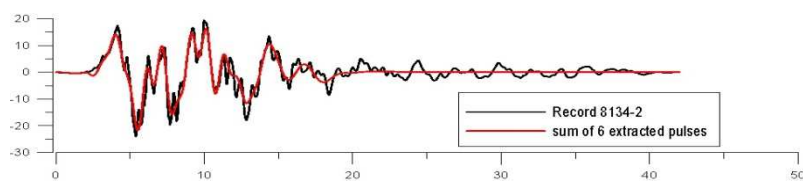


Σχήμα 3.22 Φάσματα EC8 μαζί με τον κάθε εξαγόμενο παλμό $i=1$ έως 6 και Φάσμα της επιτάχυνσης της αρχικής καταγραφής 8134-2 με το φάσμα του EC8.

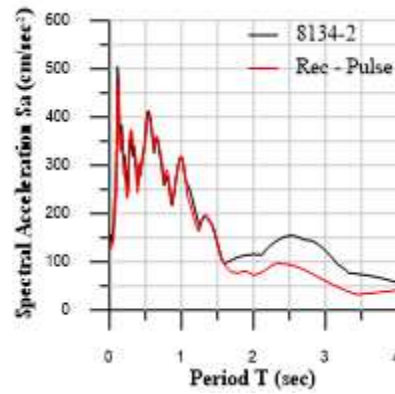
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PUSHOVER) ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (IDA) ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΑΦΑΝΟΥΣ ΠΑΛΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ



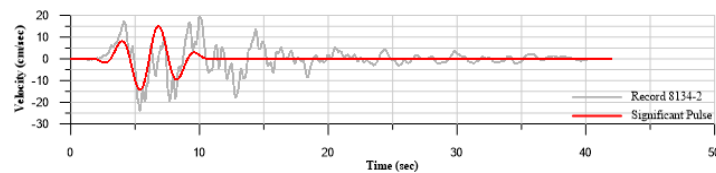
Σχήμα 3.23 Χρονοϊστορία της ταχύτητας της καταγραφής 8134-2 μαζί με τον κάθε εξαγόμενο παλμό.



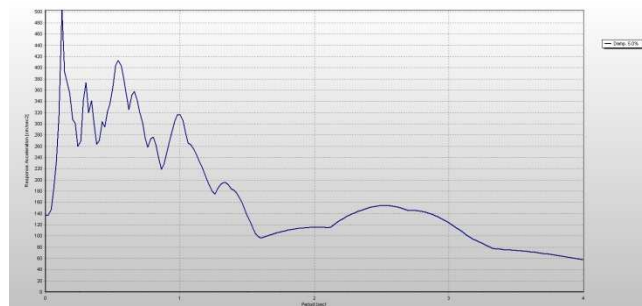
Σχήμα 3.24 Χρονοϊστορία της ταχύτητας της καταγραφής 8134-2 μαζί με το σύνολο των εξαγόμενων παλμών.



Σχήμα 3.25 Επιτάχυνση αρχικής καταγραφής 8134-2 και επιτάχυνση της αρχικής καταγραφής μείον την επιτάχυνση του σημαντικού παλμού αυτής.



Σχήμα 3.26 Χρονοϊστορία της ταχύτητας της αρχικής καταγραφής 8134-2 και χρονοϊστορία της ταχύτητας για τον σημαντικό παλμό.

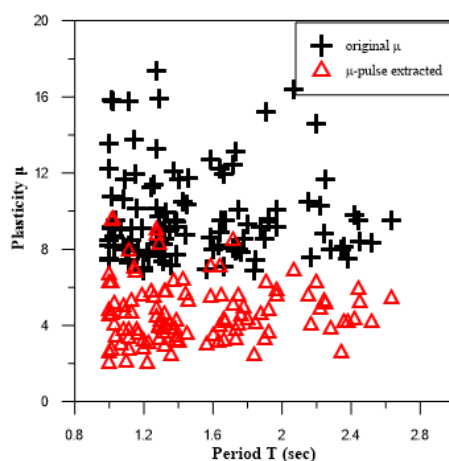


Σχήμα 3.27 Ελαστικό Φάσμα της καταγραφής 8134-2.



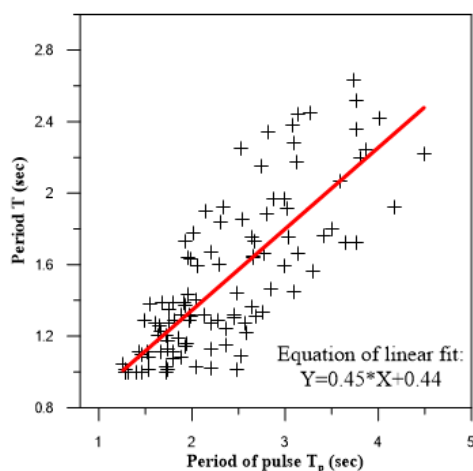
Σχήμα 3.28 Ανελαστικό Φάσμα της καταγραφής 8134-2.

Τέλος, παρουσιάζονται παρακάτω δυο διαγράμματα τα οποία απεικονίζουν ε ακριβώς την σημαντική αυτή επιρροή των κρυφών παλμών στην αύξηση της πλαστιμότητας στις κατασκευές. Στο πρώτο διάγραμμα μ -T παρατίθενται οι απαιτήσεις πλαστιμότητας για την αρχική καταγραφή αλλά και για την απομειωμένο, δηλαδή αφού έχει αφαιρεθεί από αυτήν ο σημαντικός αυτός κρυφός παλμός. Είναι δηλαδή πασιφανές το ποσό αυξάνει τελικά ο παλμός τις απαιτήσεις πλαστιμότητας.



Σχήμα 3.29 Διάγραμμα μ -T

Από την άλλη μεριά, παρατηρώντας αρχικά το διάγραμμα T-T_p είναι εμφανές ότι πρώτον οι δυο αυτές περιόδους, δηλαδή η περίοδος που εμφανίζεται η μεγάλη απαίτηση πλαστιμότητας ενός μονοβάθμιου συστήματος και η περίοδος του παλμού συσχετίζονται και δεύτερον ο παλμός επηρεάζει τελικά τις περιόδους οι οποίες έχουν τιμές κοντά στο ήμισυ της περιόδου του παλμού και ίσως ελαφρώς μικρότερες αυτής της τιμής.



Σχήμα 3.30 Διάγραμμα T-T_p

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Προσαυξητική Δυναμική Ανάλυση (IDA)

Η προσαυξητική δυναμική ανάλυση (IDA) είναι μια μέθοδος παραμετρικής ανάλυσης που εμφανίστηκε πρόσφατα σε διάφορες μορφές για να εκτιμήσει λεπτομερέστερα τις δομικές επιδόσεις κάτω από σεισμικά φορτία. Περιλαμβάνει την υποβολή ενός δομικού μοντέλου σε μία (ή περισσότερες) καταγραφή(ές) κίνησης του εδάφους, η κάθε μια κλιμακούμενη σε πολλαπλά επίπεδα έντασης, παράγοντας έτσι μία ή περισσότερες καμπύλες απόκρισης παραμετροποιημένες έναντι επιπέδου έντασης. Στην συνέχεια παρατίθενται οι θεμελιώδεις έννοιες κι οι ιδιότητες της καμπύλης IDA τόσο για κτήρια μονοβάθμιων ταλαντωτών όσο και για πολυβάθμιων. Επιπλέον, συζητούνται τεχνικές περίληψης για IDA μελέτες, η συσχέτιση της μελέτης IDA με τη συμβατική στατική ανάλυση pushover και ο μειωτικός συντελεστής διαρροής R. Τέλος, στο πλαίσιο της σεισμικής μηχανικής, η αξιολόγηση της απαίτησης-ικανότητας εξετάζεται μέσω του φακού μιας μελέτης IDA.

4.1 Εισαγωγή

Η αύξηση της ισχύος επεξεργασίας υπολογιστών καθιστά εφικτές πιο ακριβείς αλλά ταυτόχρονα πιο πολύπλοκες μεθόδους ανάλυσης. Έτσι, σταδιακά οι αναλύσεις αρχίσαν να γίνονται από ελαστικές στατικές σε δυναμικές ελαστικές και οι μη γραμμικές στατικές σε τελικά μη γραμμικές δυναμικές αναλύσεις. Στην τελευταία περίπτωση, περιλαμβάνεται η εκτέλεση ενός έως πολλών διαφορετικών καταγράφων παράγοντας μία έως πολλές καμπύλες πολλαπλών σημείων, που χρησιμοποιούνται κυρίως για τον έλεγχο των κατασκευασμένων κτηρίων. Από την άλλη πλευρά, μέθοδοι όπως η μη γραμμική στατική pushover (SPO) ανάλυση προσδιορισμένη με κατάλληλη κλιμάκωση του στατικού φορτιού, εξάγουν μια «συνεχή» εικόνα όσο μελετάται το εύρη φάσμα της δομικής συμπεριφοράς, από την ελαστικότητα στη διαρροή και τελικά την κατάρρευση.

Κάτ' αναλογία με τη μετάβαση από την στατική ανάλυση στην προσαυξητική SPO, φτάνουμε στην επέκταση μιας ανάλυσης χρονοϊστορίας σε μία δυναμική μέθοδο ανάλυσης, όπου το σεισμικό «φορτίο» κλιμακώνεται. Η ιδέα αυτή αναφέρθηκε το 1977 από τον Bertero και έχει διατυπωθεί με διάφορες μορφές στο έργο πολλών ερευνητών, συμπεριλαμβανομένων των Lucio και Cornell, Bazurro και Cornell, Yun and Foutch, Mehanny and Deierlein, Dubina et al., De Matteis et al., Nassar and Krawinkler και Psycharis et al. Πρόσφατα, υιοθετήθηκε επίσης από τις U.S. Federal Emergency Management Agency

(FEMA) η προσαυξητική δυναμική ανάλυση (IDA) και καθιερώθηκε ως η πιο καινοτόμος μέθοδος για τον προσδιορισμό της ολικής ικανότητας κατάρρευσης. Η μελέτη IDA είναι πλέον μια μέθοδος πολλαπλών χρήσεων και ευρέως εφαρμόσιμη και οι στόχοι της περιλαμβάνουν

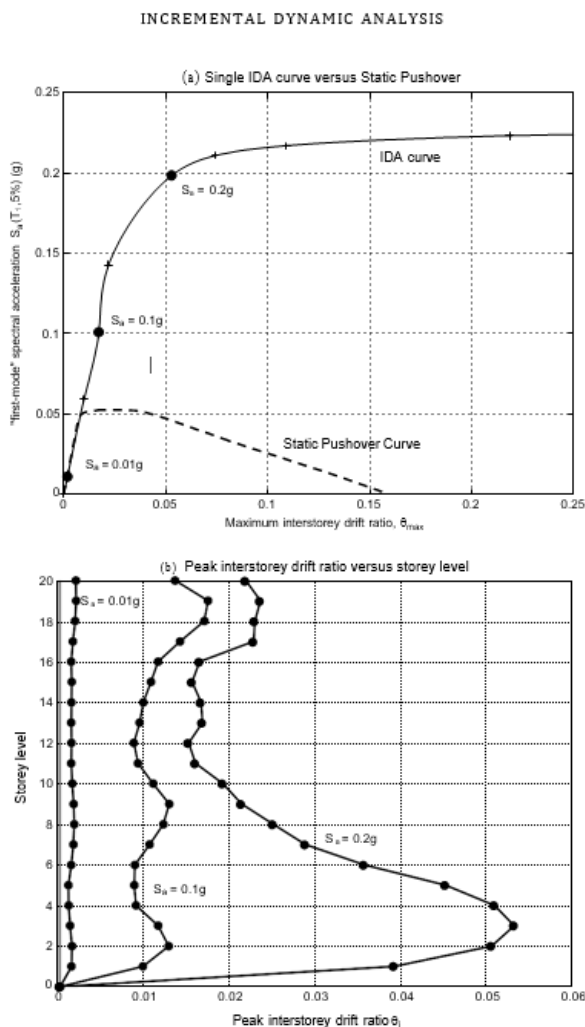
1. εμπειριστατωμένη κατανόηση του εύρους της απόκρισης ή των «απαιτήσεων» ενός συστήματος έναντι του εύρους των πιθανών επιπέδων μιας καταγραφής κίνησης εδάφους,
2. καλύτερη κατανόηση των δομικών επιπτώσεων της εδαφικής κίνησης,
3. καλύτερη κατανόηση των αλλαγών στη φύση της δομικής απόκρισης καθώς αυξάνεται η ένταση της κίνησης του εδάφους
4. παράγει εκτιμήσεις της δυναμικής ικανότητας ολοκλήρου του δομικού συστήματος

4.2 Θεμελιώδεις έννοιες της IDA

Δίνεται μια χρονοϊστορία επιτάχυνσης, επιλεγμένη από μια βάση δεδομένων κινήσεων εδάφους, το επιταχύνσιογραφημα a_1 , ένα διάνυσμα με στοιχεία $a_1(t_i)$, $t_i = 0, t_1, \dots, t_{n-1}$. Για να ληφθούν υπόψη οι πιο σοβαρές ή ηπιότερες κινήσεις του εδάφους, εισάγεται ένας απλός μετασχηματιστής, ώστε με ομοιόμορφο τρόπο να κλιμακώσει προς τα πάνω ή προς τα κάτω τα πλάτη με έναν συντελεστή $\lambda \in [0, +\infty)$: $a_\lambda = \lambda * a_1$. Μια τέτοια διαδικασία μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως κλιμάκωση του ελαστικού φάσματος επιτάχυνσης χρησιμοποιώντας έναν συντελεστή λ .

Ορισμός 1

Ο συντελεστής ενός κλιμακούμενου επιταχυνσιογραφήματος, a_λ είναι ο μη αρνητικός συντελεστής $\lambda \in [0, +\infty)$, ο οποίος παράγει τον a_λ , όταν εφαρμόζεται πολλαπλασιαστικά στη χρονοϊστορία επιτάχυνσης a_1 .



Σχήμα 4.1 Ένα παράδειγμα από μονοβάθμια IDA μελέτη ενός μεταλλικού πλαισίου ροπής με περίοδο $T_1 = 4$ s, 20 ορόφων με όλκιμα μέλη και συνδέσεις, συμπεριλαμβάνοντας τις ολικές γεωμετρικές μη γραμμικότητες (P-Δ) που υποβλήθηκαν στην El Centro, καταγραφή του 1940.

Ο συντελεστής αποτελεί μια αντιστοίχιση ένα προς ένα από το αρχικό επιταχύνσιογραφημα σε όλες τις κλιμακούμενες εικόνες του. Η τιμή $\lambda = 1$ αποδίδει το αρχικό επιταχύνσιογραφημα, η τιμή $\lambda < 1$ αποδίδει ένα επιταχύνσιογραφημα κλιμακούμενο προς τα κάτω, ενώ η τιμή $\lambda > 1$ αντιστοιχεί σε ένα επιταχύνσιογραφημα κλιμακούμενο προς τα πάνω.

Παρόλο που ο συντελεστής είναι ο απλούστερος τρόπος για τον χαρακτηρισμό των κλιμακούμενων εικόνων ενός επιταχύνσιογραφήματος, δεν είναι καθόλου βολικό, καθώς δεν παρέχει πληροφορίες για την πραγματική «δύναμη» της κλιμακούμενης καταγραφής και της επιρροής της σε μια δεδομένη κατασκευή. Πιο πρακτικό ωστόσο θα ήταν ένα εργαλείο, το οποίο θα αντιστοιχούσε στην καλύτερη συσχέτιση του συντελεστή με τις πιθανότητες καταστροφών που ενδέχεται να προκληθούν στην κατασκευή. Δηλαδή, άμεσα αυτός ο συντελεστής να εκφράζει την πιθανότητα καταστροφών σε μια κατασκευή.

Ορισμός 2

Ένα μονοτονικό κλιμακούμενο εδαφικής κίνησης έντασης μέτρο (ή απλώς μέτρηση έντασης, **IM**) ενός κλιμακούμενου επιταχυνσιογραφήματος, a_λ είναι ένας μη αρνητικός συντελεστής $IM [0, +\infty)$, οποίος αποτελεί μια συνάρτηση $IM = f_{a1}(\lambda)$, που βασίζεται σε ένα χωρίς συντελεστές επιταχύνσιογραφήμα, a_1 , και αυξάνεται μονότονα με τον συντελεστή λ .

Κοινά παραδείγματα κλιμακούμενων IM είναι η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA), μέγιστη εδαφική ταχύτητα (PGV), ο συντελεστής απόσβεσης $\xi = 5\%$ και ο συντελεστής $R = \lambda / \lambda_{yield}$ (όπου λ_{yield} , η χαμηλότερη κλιμάκωση που απαιτείται για να προκαλέσει διαρροή για μια δεδομένη καταγραφή και ένα δεδομένο δομικό μοντέλο,) που είναι αριθμητικά ισοδύναμη με τον παράγοντα R μείωσης διαρροής για διγραμμικά μονοβάθμια συστήματα.

Ορισμός 3

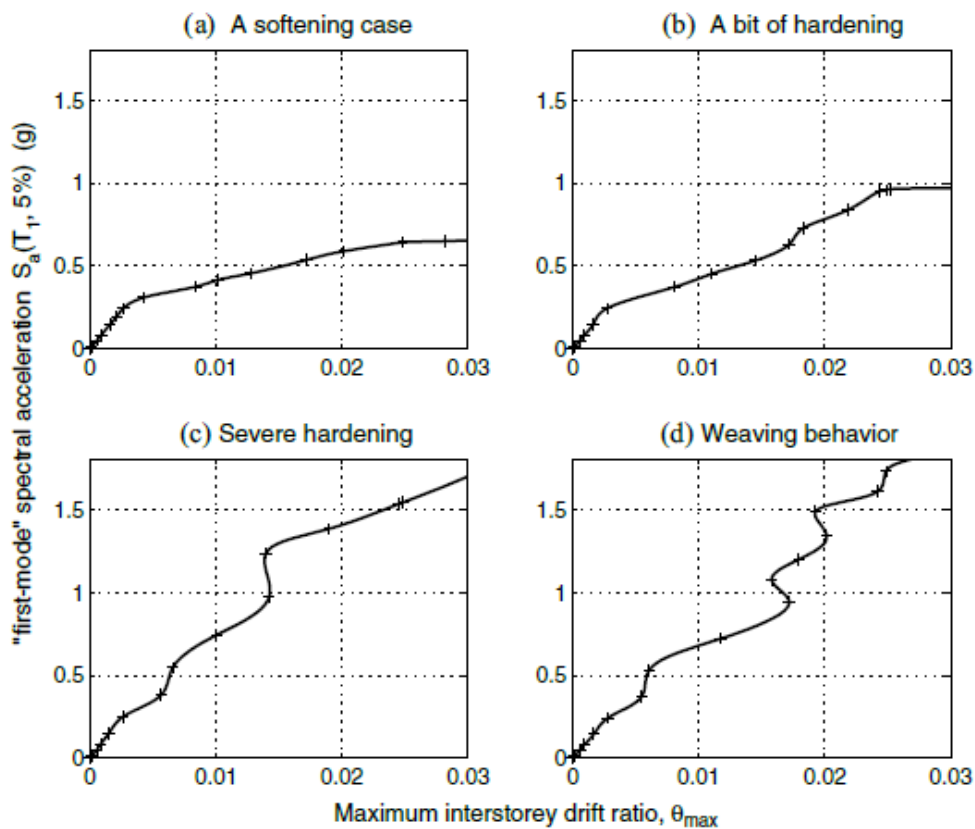
Το μέτρο ζημιάς (**Damage Measure**) ή η μεταβλητή δομικής κατάστασης είναι ένα μη αρνητικό κλιμακούμενο μέγεθος $DM [0, +\infty)$, που χαρακτηρίζει την πρόσθετη απόκριση του δομικού μοντέλου λόγω καθορισμένης σεισμικής φόρτισης. Με άλλα λόγια, ένα DM είναι μια παρατηρήσιμη ποσότητα που αποτελεί μέρος ή μπορεί να συναχθεί από την έξοδο της αντίστοιχης μη γραμμικής δυναμικής ανάλυσης. Πιθανές επιλογές θα μπορούσαν να είναι η μέγιστη διάτμηση της βάσης, οι στροφές των κόμβων, διάφοροι προτεινόμενοι δείκτες ζημιών (π.χ. αθροιστική υστερητική ενέργεια, δείκτης Park-Ang ή δείκτης σταθερότητας που προτείνει ο Mehanny). Η επιλογή ενός κατάλληλου DM εξαρτάται από την κατασκευή αυτή καθαυτή. Μπορεί να είναι επιθυμητό να χρησιμοποιηθούν δύο ή περισσότερα DM , τα οποία προκύπτουν από τις ίδιες μη γραμμικές αναλύσεις, για την αξιολόγηση διαφορετικών χαρακτηριστικών της απόκρισης, οριακών καταστάσεων ή τρόπων αστοχίας κατά τη σεισμική μηχανική. Εάν πρέπει να εκτιμηθεί η ζημιά σε μη δομικά περιεχόμενα σε ένα πολυώροφο πλαίσιο, η επιτάχυνση του τελευταίου ορόφου είναι η προφανής επιλογή. Από την άλλη πλευρά, για δομικές βλάβες πλαισιωτών κτηρίων, το θ_{max} σχετίζεται καλά με τις στροφές των κόμβων και την τοπική και ολική κατάρρευση, για αυτόν τον λόγο είναι μια πολύ καλή επιλογή.

Ορισμός 4

Μια Μεμονωμένη Μελέτη IDA είναι μια δυναμική μελέτη ανάλυσης ενός δεδομένου δομικού μοντέλου που παραμετροποιείται από τον συντελεστή κλίμακας της δεδομένης κίνησης εδάφους.

Γνωστή επίσης απλώς ως IDA ή δυναμική pushover (DPO), περιλαμβάνει μια σειρά δυναμικών μη γραμμικών αναλύσεων που εκτελούνται κάτω από κλιμακωτές εικόνες ενός επιταχυνσιογραφήματος, των οποίων τα IM είναι, ιδανικά, επιλεγμένα για να καλύψουν όλο το εύρος από ελαστικό έως μη

γραμμικό και τελικά την κατάρρευση της κατασκευής. Ο σκοπός είναι να καταγραφούν τα DM του δομικού μοντέλου σε κάθε επίπεδο IM της κλιμακωτής κίνησης του εδάφους, ενώ οι τιμές απόκρισης που προκύπτουν συχνά απεικονίζονται σε σχέση με το επίπεδο έντασης ως συνεχείς καμπύλες.

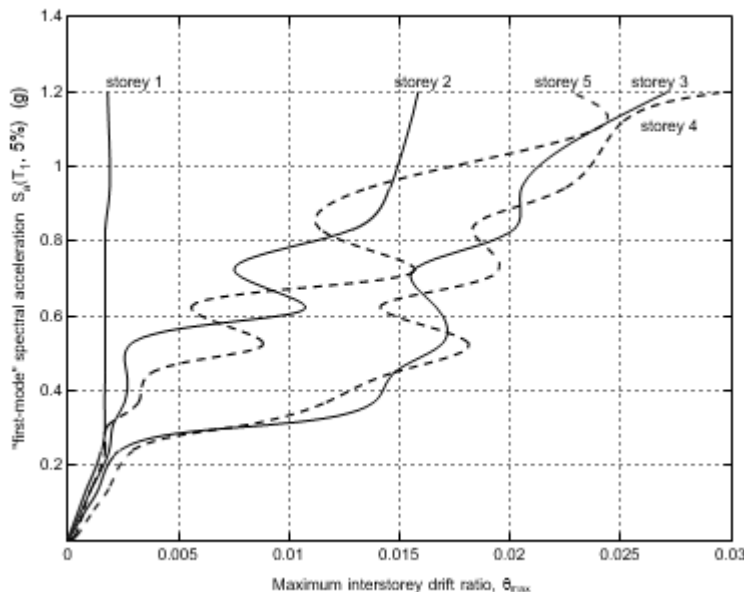


Σχήμα 4.2. Οι καμπύλες IDA ενός πενταόροφου πλαισίου ενισχυμένο με μεταλλικούς συνδέσμους με περίοδο $T_1 = 1.8$ s, το οποίο υποβλήθηκε σε τέσσερις διαφορετικές καταγραφές.

4.3 Γενικά χαρακτηριστικά μίας καμπύλης IDA

Η μελέτη IDA είναι συγκεκριμένη ως προς το επιταχυνσιογράφημα και το δομικό μοντέλο. Όταν ένα δομικό μοντέλο υποβάλλεται σε διαφορετικές κινήσεις εδάφους, τότε συχνά παράγει πολύ διαφορετικές αποκρίσεις που είναι δύσκολο να προβλεφθούν εκ των προτέρων. Κάθε γράφημα απεικονίζει τις απαιτήσεις που επιβάλλονται στη δομή από κάθε καταγραφή κίνησης εδάφους σε διαφορετικές εντάσεις και είναι αρκετά ενδιαφέρουσες τόσο οι ομοιότητες όσο και οι διάφορες τους.

Όλες οι καμπύλες εμφανίζουν μια ευδιάκριτη ελαστική γραμμική περιοχή που καταλήγει στο $S_a^{yield}(T, 5\%) \approx 0.2g$ και $\theta_{max}^{yield} \approx 2\%$ όταν συμβαίνει ο πρώτος λυγισμός. Στην πραγματικότητα, κάθε δομικό μοντέλο με αρχικά γραμμικά ελαστικά στοιχεία θα εμφανίζει τέτοια συμπεριφορά, η οποία λήγει όταν έρχεται στο προσκήνιο η πρώτη μη γραμμικότητα, δηλαδή όταν οποιοδήποτε στοιχείο φτάσει στο τέλος της ελαστικότητάς του. Η κλίση IM/DM αυτού του τμήματος σε κάθε καμπύλη IDA ονομάζεται ελαστική δυσκαμψία για το δεδομένο DM, IM. Συνήθως ποικίλλει σε κάποιο βαθμό από καταγραφή σε καταγραφή, αλλά είναι το ίδιο σε όλες τις καταγραφές για μονοβάθμια συστήματα.

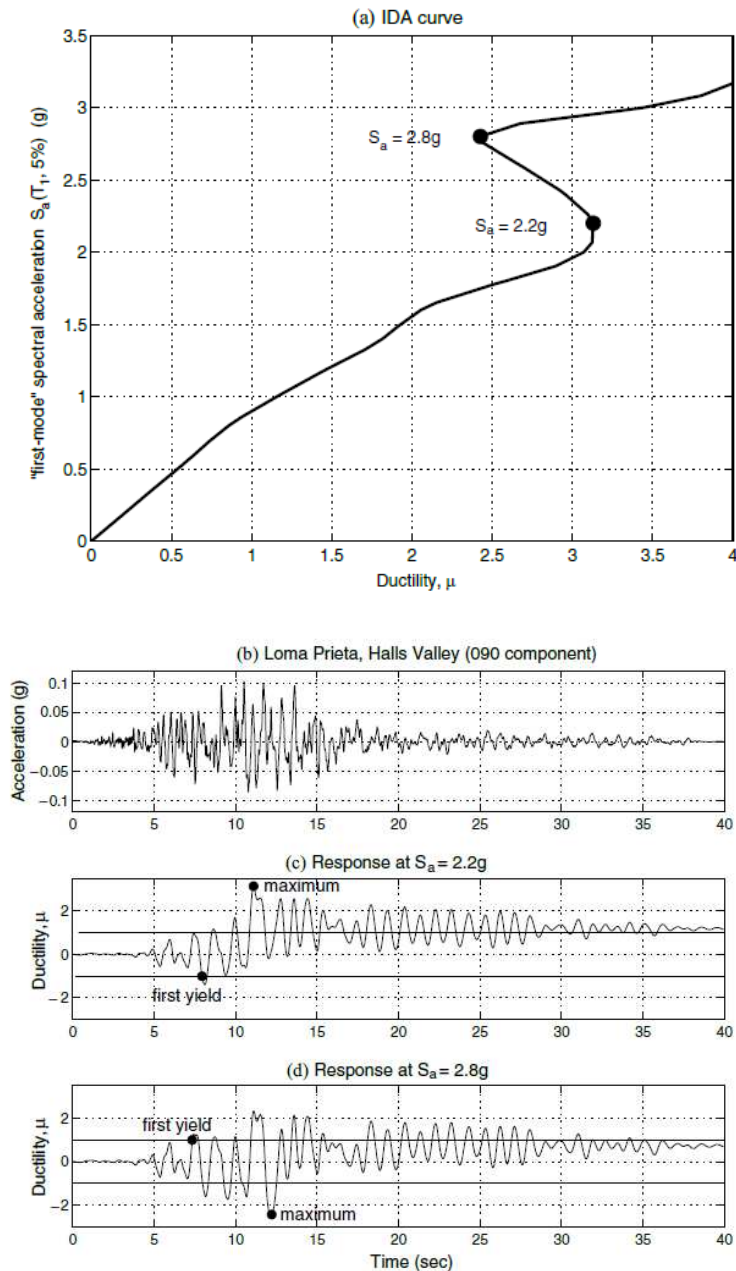


Σχήμα 4.3. Οι καμπύλες IDA των μέγιστων σχετικών μετακινήσεων ορόφων πενταόροφου πλαισίου ενισχυμένο με μεταλλικούς συνδέσμους $T_1 = 1.8$ s. με σύνθετη κυματοειδή αλληλεπίδραση όπου ο ακραίος κλάδος αποφόρτισης του δαπέδου 2 λειτουργεί ως ασφάλεια για την ανακούφιση των παραπάνω ορόφων (3,4,5).

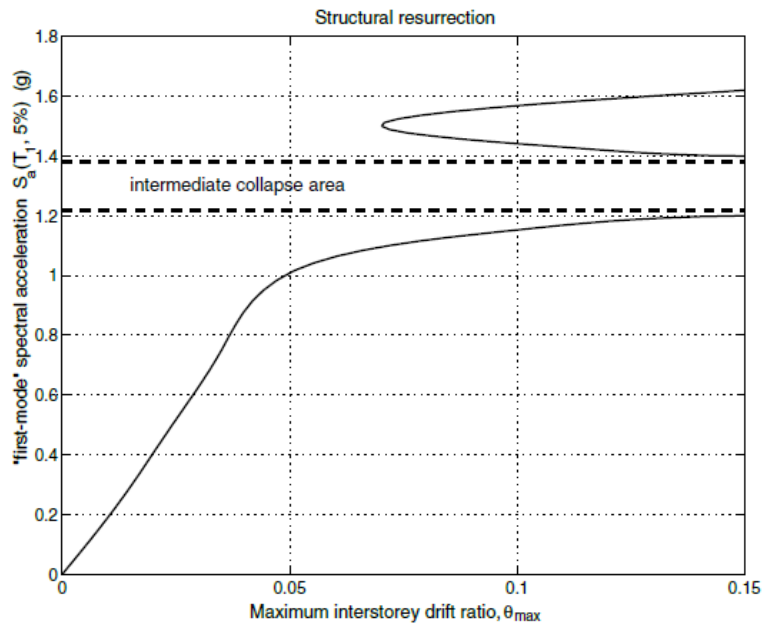
Στο σχήμα 4.2. η καμπύλη (α) «μαλακώνει» απότομα μετά τον αρχικό λυγισμό και ωθείται προς μεγάλες μετατοπίσεις και τελικά οδηγείται στην κατάρρευση. Από την άλλη πλευρά, οι καμπύλες (γ) και (δ) φαίνεται να κυμαίνονται γύρω

από την ελαστική γραμμή. Ακολουθούν τον κανόνα ίσων μετατοπίσεων, δηλαδή την εμπειρική παρατήρηση ότι για κατασκευές μέτριας περιόδου, οι ανελαστικές μετατοπίσεις είναι γενικά περίπου ίσες με τις μετατοπίσεις της απόκρισης ελαστικού μοντέλου. Τα μοτίβα συστροφής που εμφανίζουν οι καμπύλες (γ) και (δ) είναι διαδοχικά τμήματα του κλάδου αποφόρτισης και κράτυνσης, περιοχές όπου η τοπική κλίση ή δυσκαμψία μειώνεται με υψηλότερο IM και άλλες όπου αυξάνεται. Τελικά, αν υποθεθεί ότι το μοντέλο επιτρέπει κάποιο μηχανισμό κατάρρευσης και το χρησιμοποιούμενο DM μπορεί να τον εντοπίσει, ένα τελικό τμήμα του κλάδου αποφόρτισης εμφανίζεται όταν η κατασκευή συσσωρεύει DM σε όλο και υψηλότερους ρυθμούς, σηματοδοτώντας την έναρξη *δυναμικής αστάθειας*. Αυτό ορίζεται ανάλογα με τη στατική αστάθεια, ως το σημείο όπου οι παραμορφώσεις αυξάνονται απεριόριστα για μικρές αυξήσεις στο IM. Η καμπύλη στη συνέχεια ισοπεδώνεται σε ένα πλατό με τη μέγιστη τιμή στο IM καθώς φτάνει στην επίπεδη γραμμή και το DM κινείται προς το άπειρο (σχήμα 4.2(α) και 4.2(β)). Παρόλο που τα παραδείγματα που παρουσιάζονται βασίζονται σε $S_a(T_1, 5\%)$ και θ_{max} , αυτοί οι τρόποι συμπεριφοράς είναι παρατηρήσιμοι για μια ευρεία επιλογή DM και IM.

Η κράτυνση στις καμπύλες IDA δεν είναι μια νέα παρατήρηση, αφού έχει αναφερθεί στο παρελθόν ακόμη και για απλά ελαστοπλαστικά – απολύτως πλαστικά συστήματα, π.χ. Chopra. Ωστόσο, ένα σύστημα με απόκριση σε ένα δεδομένο επίπεδο έντασης, μπορεί να εμφανίζει την ίδια ή και χαμηλότερη απόκριση όταν υποβάλλεται σε υψηλότερες σεισμικές εντάσεις λόγω υπερβολικής κράτυνσης. Αλλά είναι το μοτίβο και ο χρόνος και όχι μόνο η ένταση που κάνουν τη διαφορά. Καθώς το επιταχυνσιογράφημα κλιμακώνεται ανοδικά, μικρής έντασης κύκλοι απόκρισης στο αρχικό μέρος της απόκρισης της χρονοϊστορίας γίνονται αρκετά ισχυροί ώστε να προκαλέσουν ζημιά (διαρροή) αλλάζοντας έτσι τις ιδιότητες της κατασκευής για τους επόμενους, ισχυρότερους κύκλους. Για πολώροφα κτίρια, μια ισχυρότερη κίνηση στο έδαφος μπορεί να οδηγήσει σε πρόωρη διαρροή ενός ορόφου, ο οποίος με τη σειρά του λειτουργεί ως βαλβίδα εκτόνωσης για να ανακουφίσει έναν άλλο όροφο (συνήθως υψηλότερο), όπως στο σχήμα 4.3. Ακόμη και απλοί ταλαντωτές όταν έρχονται στη διαρροή σε πρόωρο κύκλο φόρτισης, μπορεί να έχουν μειωμένη απόκριση σε μεταγενέστερους κύκλους που προηγουμένως είχαν προκαλέσει υψηλότερες τιμές DM (σχήμα 4.4), ίσως λόγω της «επιμήκυνσης της περιόδου». Τα ίδια φαινόμενα εξηγούν την επαναφορά της αντοχής της κατασκευής, μια ακραία περίπτωση διαρροής, όπου ένα σύστημα οδηγείται μέχρι την ολική κατάρρευση (σχήμα 4.5).



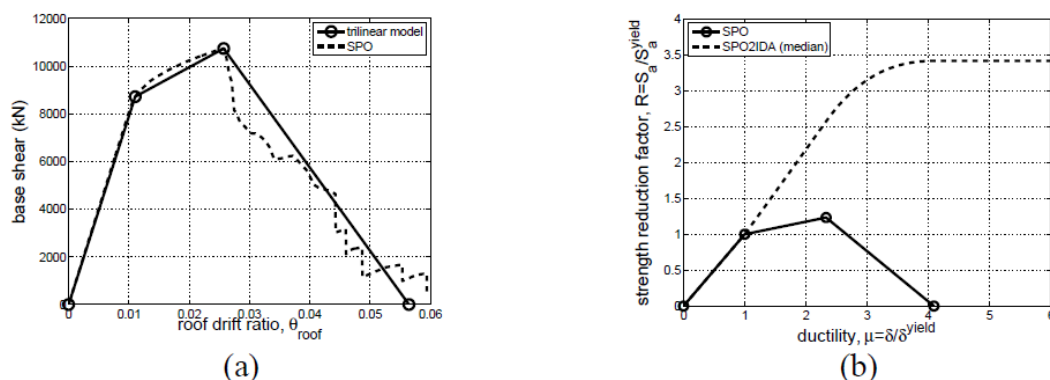
Σχήμα 4.4. Απόκριση ολκιμότητας ενός ελαστοπλαστικού ταλαντωτή $T = 1$ s σε πολλαπλά επίπεδα έντασης. Η πρόωρη διαρροή σε πιο έντονη κίνηση του εδάφους οδηγεί σε χαμηλότερη μέγιστη απόλυτη απόκριση.



Σχήμα 4.5. Επαναφορά της αντοχής της κατασκευής στην καμπύλη IDA ενός τριώροφου χαλύβδινου πλαισίου αντοχής με περίοδο $T_1 = 1.3$ s με συνδέσεις έναντι των ρωγμών.

4.4 SPO2IDA

Ποσοτικά, είναι δυνατή η προσέγγιση των αποτελεσμάτων του IDA χρησιμοποιώντας σχέσεις R-C1-T (ή R-μ-T). Η χρήση των σχέσεων αυτών, το εργαλείο SPO2IDA και η μέθοδος N2 σε συνδυασμό μπορούν να οδηγήσουν στην εκτίμηση της καμπύλης IDA σε όλο το εύρος της απόκρισης για μονοβάθμια συστήματα, χρησιμοποιώντας πληροφορίες από την καμπυλη pushover δυναμης-παραμορφωσης. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για τις εκτιμήσεις του μοντέλου SPO2IDA (Βαμβάτσικος Δ.) είναι η περίοδος του υπό εξέταση μονοβάθμιου συστήματος με αποσβεση 5% καθώς και η καμπύλη συμπεριφοράς του η οποία μπορεί να είναι διγραμμική έως σύνθετη τετραγραμμική. Αυτά τα δεδομένα επιτρέπουν στο πρόγραμμα SPO2IDA την εκτίμηση της καμπύλης IDA για διάφορες πιθανότητες υπέρβασης (50%, 16% και 84%) λαμβάνοντας υπόψη την τυχαιότητα απο καταγραφή σε καταγραφή.

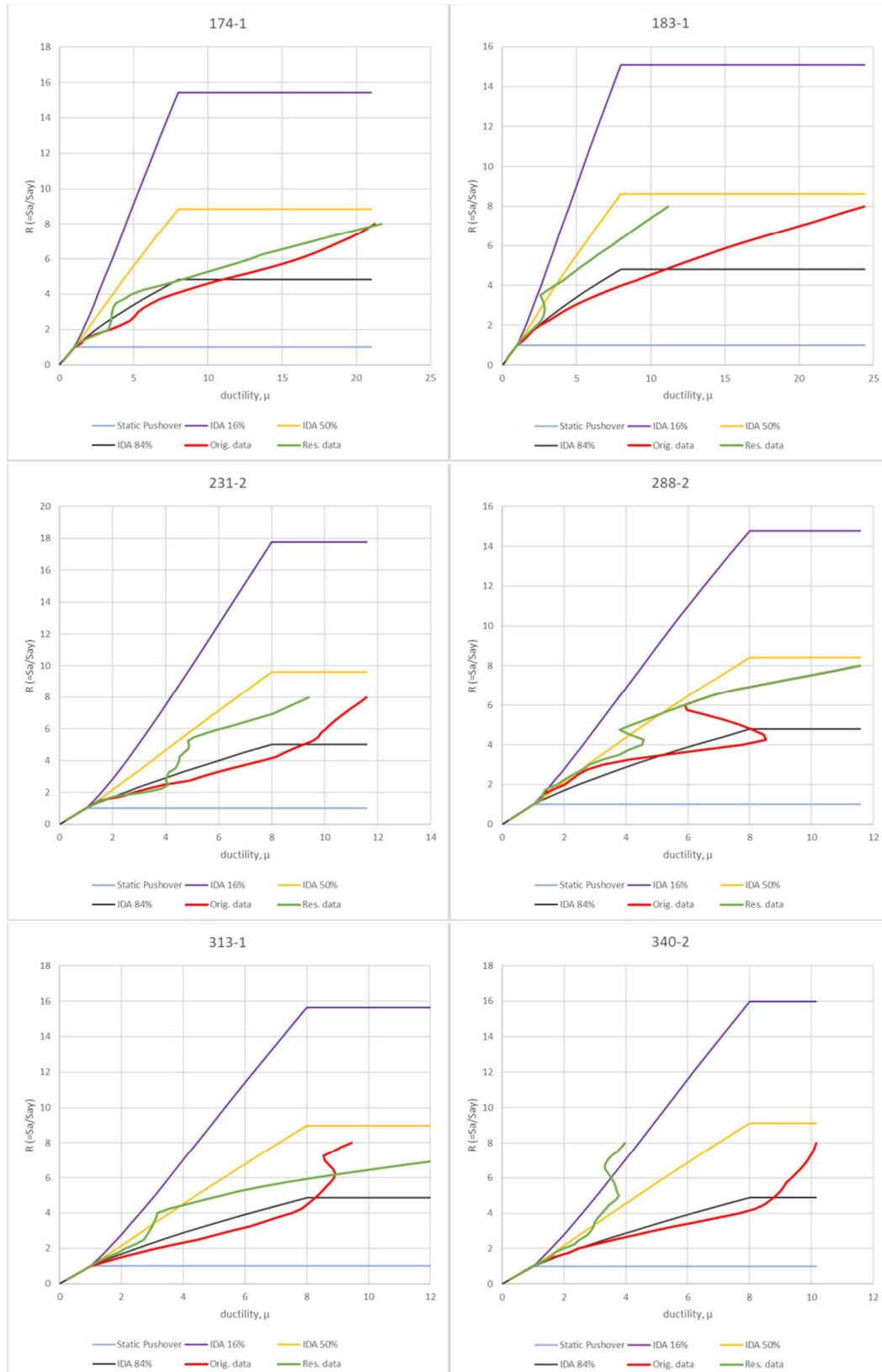


Σχήμα 4.6 (α) Καμπύλη pushover για ένα 9-όροφο μεταλλικό κτήριο και η τριαξονική του προσέγγιση και (β) η SPO2IDA πρόβλεψη για κανονικοποιημένες R-μ συντεταγμένες

Για τα μονοβάθμια συστήματα, οι καμπύλες IDA μπορούν να αναπαρασταθούν με κανονικοποιημένες συντεταγμένες του συντελεστή μείωσης αντοχής, R και ολκιμότητας μ . Ο συντελεστής μείωσης δύναμης R ορίζεται ως ο λόγος $S_a(T_1, 5\%) / S_a^{yield}(T_1, 5\%)$, όπου $S_a^{yield}(T_1, 5\%)$ είναι η τιμή $S_a(T_1, 5\%)$ που προκαλεί τη διαρροή, ενώ η ολκιμότητα, μ , είναι η μέγιστη μετατόπιση του ταλαντωτή, δ , κανονικοποιημένη από τη μετατόπιση διαρροής, δ^y . Έτσι, μόλις γίνει γνωστή η περίοδος και οι ιδιότητες της σχέσης δύναμης-μετατόπισης για το μονοβάθμιο σύστημα, το SPO2IDA παρέχει απευθείας εκτιμήσεις του 16%, 50% και 84% διαγράμματος απαίτησης- ικανότητας σε κανονικοποιημένες συντεταγμένες R, μ . Η εφαρμογή της μεθόδου απαιτεί μια πολυγραμμική προσέγγιση της στατικής καμπύλης pushover για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων της περιβάλλουσας (σχήμα 4.6). Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία έγινε χρήση του προγράμματος sro2ida και προέκυψαν για συγκεκριμένες καταγραφές, οι οποίες επιλέχθηκαν απο το NGA, οι αντίστοιχες καμπύλες IDA για πιθανότητα υπέρβασης 50%, 84% και 16%. Όπως φαίνεται ξεκάθαρα στο παράρτημα διαγραμμάτων, οι καμπύλες IDA 16% έχουν την

μεγαλύτερη ταύτιση με την καμπύλη που προέκυψε με αναλυτική χρήση της μεθόδου προσαυξητικής δυναμικής ανάλυσης σε σχέση με τις εκτιμήσεις για την καμπύλη IDA με πιθανότητες υπέρβασης 50% και 84%. Παρατηρείται το πόσο διαφορετικές είναι τελικά οι ανάγκες για πλαστιμότητα σε μία προσαυξητική δυναμική ανάλυση σε σχέση με μία στατική pushover. Η πρώτη προσεγγίζει καλύτερα την πραγματική κατάσταση, ενώ όσο μειώνονται οι πιθανότητες υπέρβασης, δηλαδή όσο τείνουμε στην καμπύλη 16%, τόσο παρατηρείται και αύξηση των απαιτήσεων πλαστιμότητας. Επίσης, οι καταγραφές που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των προαναφερθέντων καμπυλών είναι οι καταγραφές που με τις διάφορες μεθοδολογίες χαρακτηρίζονται είτε ως μη παλμικές είτε ως αμφιλεγόμενες, ωστόσο παρουσιάζουν όμοια χαρακτηριστικά με εκείνα των παλμικών καταγραφών. Προκειμένου να διαπιστώσουμε την επόδραση του σημαντικότερου παλμού που εντοπίζεται στις καταγραφές αυτές υλοποιούμε τις αναλύσεις τόσο για την αρχική καταγραφή όσο και για την καταγραφή αφαιρώντας από αυτή τον κυρίαρχο παλμό. Βλέπουμε από τα διαγράμματα που παρατίθενται στο επόμενο σχήμα καθώς και στα σχήματα που βρίσκονται στο παράρτημα της εργασίας αυτής ότι η αρχική καμπύλη βρίσκεται χαμηλότερη σε σχέση με την καταγραφή μείον τον σημαντικό παλμό όπως προέκυψε από τις αναλύσεις IDA και η αρχική καταγραφή οδηγεί σε υψηλότερες απαιτήσεις πλαστιμότητας, οι οποίες μειώνονται με την απουσία του παλμού, η επίδραση του οποίου ως εκ τούτου είναι εμφανής. Ενδεικτικά, παρουσιάζονται παρακάτω έξι από τις 109 συνολικά καταγραφές που αναλύθηκαν με το πρόγραμμα sro2ida και με την μέθοδο IDA για καταγραφές με αφανές παλμικό περιεχόμενο (αρχική καταγραφή και καταγραφή μείον τον κύριο παλμό) για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής. Τα υπόλοιπα διαγράμματα παρατίθενται στο τελευταίο κεφάλαιο, στο παράρτημα.

Καμπύλες IDA 16%,50%,84%, καμπύλη static Pushover ,αρχική καταγραφή, αρχική καταγραφή μείον το παλμικό περιεχόμενο για τις καταγραφές 174-1, 183-1, 231-2, 288-2, 313-1 και 340-2.



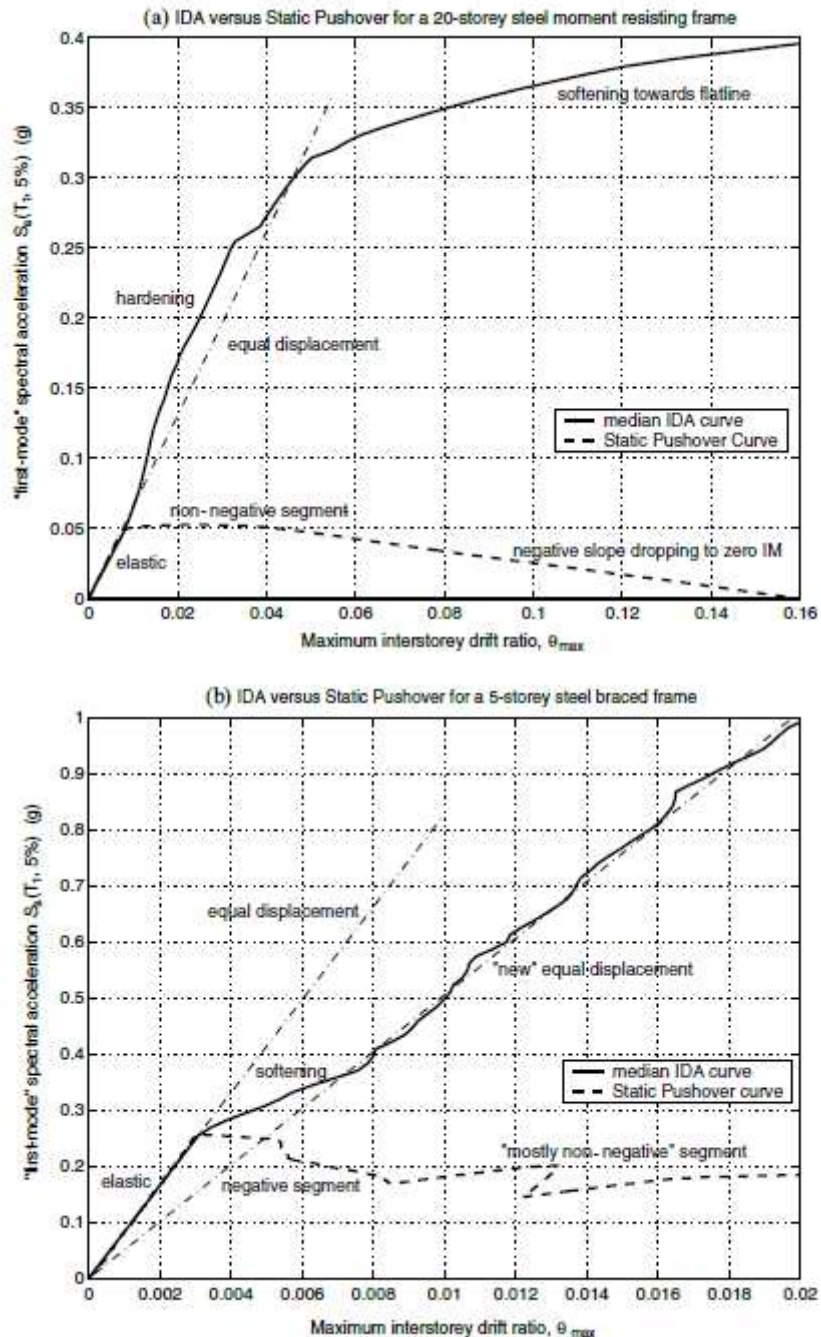
4.5 Σύγκριση μεταξύ των καμπυλών IDA και SPO

Δεδομένου ότι και η IDA και η SPO προορίζονται να περιγράψουν την ίδια κατασκευή, είναι λογικό να αναμένεται κάποια συσχέτιση μεταξύ της καμπύλης SPO και οποιασδήποτε καμπύλης IDA (Σχήμα 4.1), και ακόμη περισσότερο μεταξύ της SPO και της μέσης καμπύλης IDA, καθώς η πρώτη είναι λιγότερο μεταβλητή και λιγότερο εξαρτώμενη από τις καταγραφές. Ωστόσο, για τον σχεδιασμό και των δύο στο ίδιο γράφημα, θα πρέπει κατά προτίμηση να εκφραστεί η καμπύλη SPO σε συντεταγμένες IM, DM που επιλέγονται για τη δημιουργία της μέσης καμπύλης IDA. Ενώ ορισμένα DM (π.χ. θ_{max}) μπορούν εύκολα να ληφθούν τόσο από τη στατική όσο και από τη δυναμική ανάλυση, μπορεί να μην είναι τόσο φυσικό να μετατραπούν τα IM, π.χ. διάτμηση βάσης σε S_a (T_1 , 5%). Η προτεινόμενη προσέγγιση είναι η προσαρμογή της «ελαστικής δυσκαμψίας» της SPO να είναι η ίδια με αυτή της IDA, π.χ. αντιστοιχίζοντας τα ελαστικά τους τμήματα.

Σαφώς, τόσο οι καμπύλες IDA όσο και οι καμπύλες SPO εμφανίζουν παρόμοια εύρη τιμών DM. Ωστόσο, η καμπύλη IDA ανεβαίνει πάντα πολύ υψηλότερα από την καμπύλη SPO σε όρους IM. Ενώ μια ποσοτική σχέση μεταξύ των δύο καμπυλών μπορεί να είναι δύσκολη, αξίζει περαιτέρω μελέτη, ποιοτικά αρκετά γενικές παρατηρήσεις επιτρέπουν την εξαγωγή συμπεράσματος για το κατά προσέγγιση σχήμα του μέσου IDA απλά κοιτάζοντας την καμπύλη SPO.

1. Η ελαστική περιοχή της καμπύλης SPO ταιριάζει καλά με αυτήν της καμπύλης IDA, συμπεριλαμβανομένου του πρώτου σημείου μη γραμμικότητας που εμφανίζεται στις ίδιες τιμές IM και DM και για τα δύο.
2. Μια επακόλουθη μειωμένη, αλλά μη αρνητική περιοχή δυσκαμψίας της SPO συσχετίζεται με την IDA με τον κατά προσέγγιση κανόνα «ίσης μετατόπισης» (για κατασκευές μέτριας ιδιοπεριόδου), δηλαδή μια σχεδόν συνεχιζόμενη κλίση της ελαστικής περιοχής. Στην πραγματικότητα, αυτή η σχεδόν ελαστική περιοχή της IDA προηγείται συχνά μιας περιοχής δυσκαμψίας (σχήμα 4.6 (α)). Αντίθετα, οι δομές μικρότερης ιδιοπεριόδου ακολουθούν τον κλάδο αποφόρτισης.
3. Μια αρνητική κλίση της SPO μεταφράζεται σε μια περιοχή του κλάδου αποφόρτισης της IDA, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε κατάρρευση, δηλαδή σε ισοπέδωση της IDA (σχήμα 4.6 (α)), εκτός εάν υπάρξει ένα μη αρνητικό τμήμα της SPO πριν φτάσει στο μηδέν σε όρους IM (Εικόνα 10 (β)).
4. Μια μη αρνητική περιοχή της SPO που ακολουθεί μετά από μια αρνητική κλίση που έχει προκαλέσει σημαντική πτώση IM, φαίνεται ότι εμφανίζεται στην IDA ως ένας νέος, τροποποιημένος κανόνας «ίσης μετατόπισης» (δηλ. σχεδόν

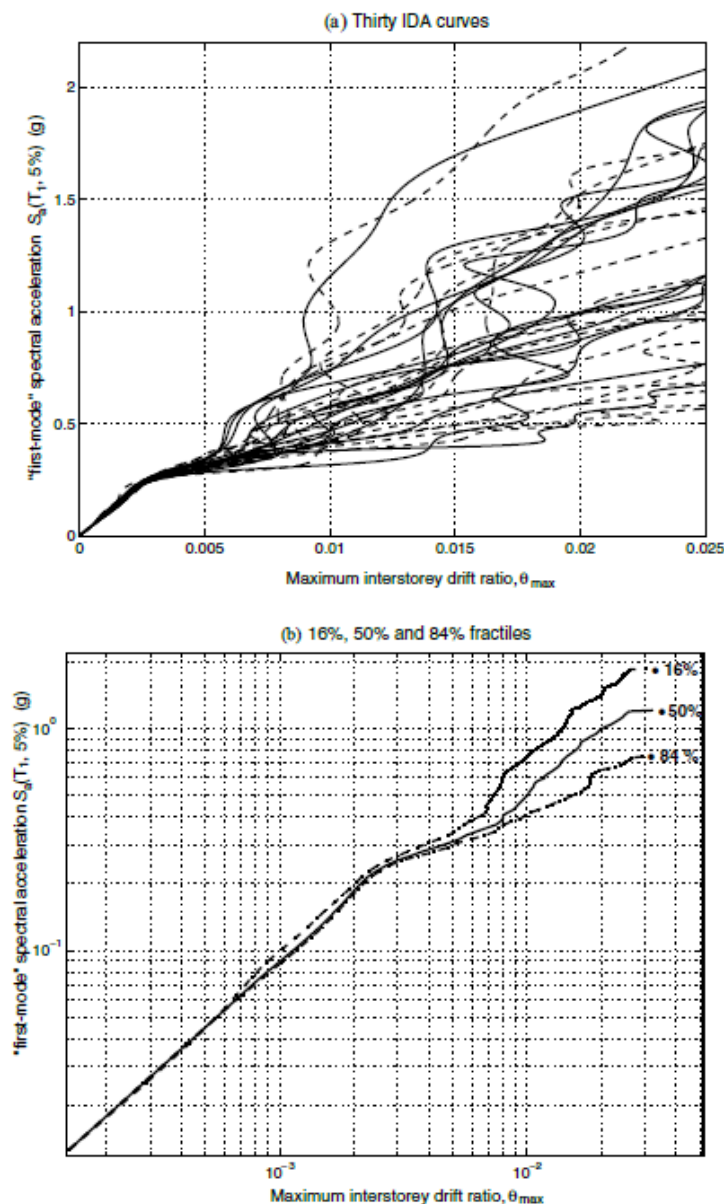
γραμμικό τμήμα) που έχει χαμηλότερη δυσκαμψία από το ελαστικό (σχήμα 4.6 (β)).



Σχήμα 4.7 Η μέση καμπύλη IDA συγκριτικά με μία καμπύλη SPO για (α) ένα 20-όροφο μεταλλικό πλαίσιο αντοχής με περίοδο $T_1 = 4$ s και όλκιμες συνδέσεις και (β) 5-όροφο άκαμπτο μεταλλικό πλαίσιο με περίοδο $T_1 = 1.8$ s.

Τα αποτελέσματα των σταδιακών δυναμικών αναλύσεων (IDA) υποδηλώνουν ότι η μέθοδος μπορεί να γίνει ένα πολύτιμο πρόσθετο εργαλείο σεισμικής μηχανικής. Η IDA καλύπτει και την απαίτηση και την ικανότητα των

κατασκευών. Παρατηρείται λοιπόν εξαιρετική μεταβλητότητα από καταγραφή σε καταγραφή στις μορφές και στα πλάτη των καμπυλών IDA για ένα μόνο κτίριο (π.χ. Σχήμα 4.7 (α)). Οι (ντετερμινιστικές) ιδιοτροπίες ενός μη γραμμικού δομικού συστήματος υπό ακανόνιστη φόρτιση αποτελούν πρόκληση ως προς την κατανόηση, κατηγοριοποίηση και πρόβλεψή τους. Αυτή η μεταβλητότητα οδηγεί επίσης στην ανάγκη για στατιστική επεξεργασία της καμπύλης IDA πολλαπλών καταγραφών, προκειμένου να συνοψιστούν τα αποτελέσματα και να χρησιμοποιηθούν ενεργά στην πρόγνωση της κτηριακής απόκρισης.



Σχήμα 4.8 Μια μελέτη IDA για 30 καταγραφές σε ένα μεταλλικό πλαίσιο 5-ορόφων με περίοδο $T_1 = 1.8$ s, που δείχνει (α) τις 30 μεμονωμένες καμπύλες και (β) η περίληψή τους (16, 50 και 84%) εύθραυστες καμπύλες (σε λογαριθμική κλίμακα).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Εφαρμογή της IDA σε τρία τυπικά κτήρια οπλισμένου σκυροδέματος

Η μεθοδολογία IDA εφαρμόστηκε σε τρία τυπικά κτήρια οπλισμένου σκυροδέματος, τα οποία υποβλήθηκαν σε τέσσερις καταγραφές με κρυφούς παλμούς του Πίνακα 10. Λαμβάνοντας υπόψη την ανελαστική απόκριση των κτηρίων ελήφθησαν αποτελέσματα με αναλύσεις IDA που συγκρίθηκαν για την αρχική και τις υπολειπόμενες καταγραφές, δείχνοντας ότι οι παλμικές καταγραφές είναι πιο συντηρητικές από τις μη παλμικές καταγραφές και έχουν πολύ μεγαλύτερες απαιτήσεις πλαστιμότητας.

Ελήφθησαν τρία διαφορετικά κτήρια των οποίων τα χαρακτηριστικά ήταν ίδια με υφιστάμενα κτήρια οπλισμένου σκυροδέματος τα οποία κατασκευάστηκαν και σχεδιάστηκαν με κανονισμούς της δεκαετίας του 1960 και του 1990 στην Ελλάδα και σε άλλες χώρες της Νοτιάς Ευρώπης. Συγκεκριμένα, το κτήριο Α είναι ένα πενταώροφο κτήριο κατοικιών κατασκευασμένο τη δεκαετία του 1960 με τυπικό ύψος ορόφου 3,0μ, ύψος ισογείου 5,0μ και χρήση καταστήματος, καθώς αποτελείται από ανοίγματα 3,50μ και στις δυο διευθύνσεις. Έχει τέσσερα ανοίγματα στην κυρία διεύθυνση του σεισμού και τρία στην άλλη διεύθυνση. Κατασκευάστηκε με σκυρόδεμα B160 σύμφωνα με το παλιό γερμανικό DIN 1045 και οπλισμό DIN StI και σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας την επιτρεπόμενη μεθοδολογία τάσης για συντελεστή πλευρικού φορτίου σε σκληρό έδαφος ίσο με 4% του βάρους (άθροισμα χωρίς συντελεστές μονιμά και κινητά φορτία) για τις σεισμικές ζώνες I, ακολουθώντας τον Ελληνικό Σεισμικό Κώδικα του 1959. Τα υποστυλώματα έχουν μοντελοποιηθεί πακτωμένα στο άνω και κάτω άκρο. Επιπλέον, δεν έχει γίνει χρήση κρίσιμης περιοχής και ικανοτικού σχεδιασμού, όπως εφαρμόζεται σε κτήρια κατασκευασμένα σύμφωνα με τους Ευρωκώδικας.

Το κτήριο Α διαθέτει υποστυλώματα 400 × 400 (σε mm) στο ισόγειο, τα οποία μειώνονται σε 300 × 300 στον δεύτερο όροφο και μειώνονται περαιτέρω σε 250 × 250 στους επάνω ορόφους. Οι δοκοί έχουν διαστάσεις 200/500 (σε mm). Η θεμελιώδης περίοδος αυτού του κτηρίου είναι 1,0 s.

Τα κτήρια Β και Γ αντιπροσωπεύουν τυπικά οκτάωρα κτήρια κατοικιών κατασκευασμένα και σχεδιασμένα σύμφωνα με τον ΕΑΚ2000 (Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός). Είναι άμεσα αντιληπτό ότι ο σχεδιασμός αυτών των κτηρίων έχει πολλές ομοιότητες με τον σχεδιασμό κτηρίων κατά τον αντισεισμικό σχεδιασμό Ευρωκώδικας 8. Οι δυο τύποι κτηρίων Β και Γ έχουν τυπικό ύψος ορόφου 3,0μ και ανοίγματα 6,0μ και στις δυο διευθύνσεις, με τη διαφορά ο τύπος Γ να έχει ύψος ισογείου 4,15μ. Τα κτήρια Β και Γ έχουν τετράγωνα υποστυλώματα διατομής 750 × 750 (σε mm) στους δύο πρώτους ορόφους, τα οποία μειώνονται σε 650 × 650 στον τρίτο και τέταρτο όροφο και μειώνονται περαιτέρω σε 600 × 600 στον πέμπτο όροφο, 550x550 στον έκτο

όροφο, 500 × 500 στον έβδομο όροφο και 400×400 στον όγδοο όροφο. Οι δοκοί στον πρώτο όροφο είναι 250/650 και στους επάνω ορόφους είναι 250/600 (σε mm). Η θεμελιώδης περίοδος αυτών των κτιρίων είναι 1,32 s και 1,40 s. Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας με τα χαρακτηριστικά του κάθε τύπου κτηρίου καθώς και η τρισδιάστατη τους απεικόνιση.

Κτήριο	T ₁ (sec)	Περίοδος Κατασκευής	Κανονισμός	Σεισμική Ζώνη	Όροφοι	Απόσταση μεταξύ πλαισίων(m)	Τυπικό ύψος ορόφου	Ύψος ισογείου
A	1.00	60s	RD59	I/0.04	5	3.50	5.0	3.0
B	1.32	00s	EC8	I/0.16	8	6.0	6.0	3.0
Γ	1.40	00s	EC8	I/0.16	8	6.0	4.15	3.0



Σχήμα 5.1 Μορφές κτηρίων A,B,Γ (από αριστερά προς δεξιά αντιστοίχως).

Οι ανελαστικές αναλύσεις που παρουσιάστηκαν σε αυτή τη μελέτη πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας μια εκτεταμένη έκδοση του κώδικα Drain-2DX και ένα πρόγραμμα που αναπτύχθηκε για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης. Όλα τα κτίρια ήταν κανονικά σε επίπεδο και προσομοιωθήκαν ως επίπεδα πλαίσια. Έγινε παραδοχή της διαφραγματικής λειτουργίας σε κάθε όροφο και η μάζα θεωρήθηκε ότι τοποθετούνταν σημειακά στους κόμβους. Τα κάθετα φορτία και οι αντίστοιχες μάζες εκτιμήθηκαν από τα μονιμά φορτία και το 30% των κινητών φορτίων(G+0.3Q). Οι δοκοί και τα υποστυλώματα προσομοιωθήκαν θεωρώντας ότι έχουν την ικανότητα ανάπτυξης διγραμμικής καμπύλης με υστερητικά χαρακτηριστικά (ελαστοπλαστική καμπύλη). Άκαμπτα στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν για να αναπαραστήσουν τους κόμβους. Ο σπλισμός πλάκας εντός του ενεργού πλάτους συμπεριλήφθηκε στον υπολογισμό της καμπτικής αντίστασης των δοκών για αρνητικό λυγισμό. Συγκεκριμένα, για τις εσωτερικές και εξωτερικές δοκούς υιοθετήθηκαν ενεργά πλάτη 1,0 m και 0,5 m, αντίστοιχα, σε περίπτωση δοκών με ανοίγματα 3,5 m, ενώ οι αντίστοιχες τιμές για δοκούς με άνοιγμα 6,0 m ήταν 1,30 m και 0,65 m.

Τα ανελαστικά χαρακτηριστικά της ροπής καμπυλότητας υπολογίστηκαν για κάθε κρίσιμη περιοχή χρησιμοποιώντας τις μέσες ιδιότητες υλικού, λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση του αξονικού φορτίου στα υποστυλώματα. Η αντοχή σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις θεωρήθηκε ότι είναι ίση με 16 MPa και 20 MPa, για τις κατηγορίες σκυροδέματος B160 και C20/25, αντίστοιχα. Για τον χαλύβδινο οπλισμό, η τάση διαρροής ελήφθη ίση με 310 MPa και 500 MPa για StI και B500c, αντίστοιχα, ενώ η αντίστοιχη τελική αντοχή εφελκυσμού θεωρήθηκε ίση με 420 MPa και 600 MPa. Αυτές οι τιμές είναι συμβατές με μετρήσεις των αντίστοιχων αντοχών σε αρκετές πραγματικές δομές. Για την ανάλυση διατομής θεωρήθηκε ότι ισχύει η τριαξονική συμπεριφορά και η απομειωμένη διατομή.

Πραγματοποιήθηκαν προσαυξητικές δυναμικές αναλύσεις (incremental dynamic analyses) με τέσσερις επιλεγμένες παλμικές διεγέρσεις εδάφους, πρώτα για την αρχική καταγραφή και στη συνέχεια για τις υπόλοιπες μαζί δηλαδή με τον παλμό, σύμφωνα με την προτεινόμενη μεθοδολογία. Τα χαρακτηριστικά των επιλεγμένων παλμικών κινήσεων εδάφους παρουσιάζονται στον Πίνακα 10, όπου T_p είναι η περίοδος της αρμονικής ταλάντωσης του κυματιδίου, A είναι το πλάτος του παλμού, γ είναι η διάρκεια του κύματος, που μετρά τον αριθμό των ταλαντώσεων και ορίζεται ως $\gamma = t_p/T_p$ με $\gamma > 1$ και t_p είναι η χρονική διάρκεια του κύματος, ν είναι η μετατόπιση φάσης και t_d είναι η χρονική καθυστέρηση της έναρξης του παλμού. Παρακάτω φαίνονται συγκεντρωτικά οι επιλεγθείσες καταγραφές που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις.

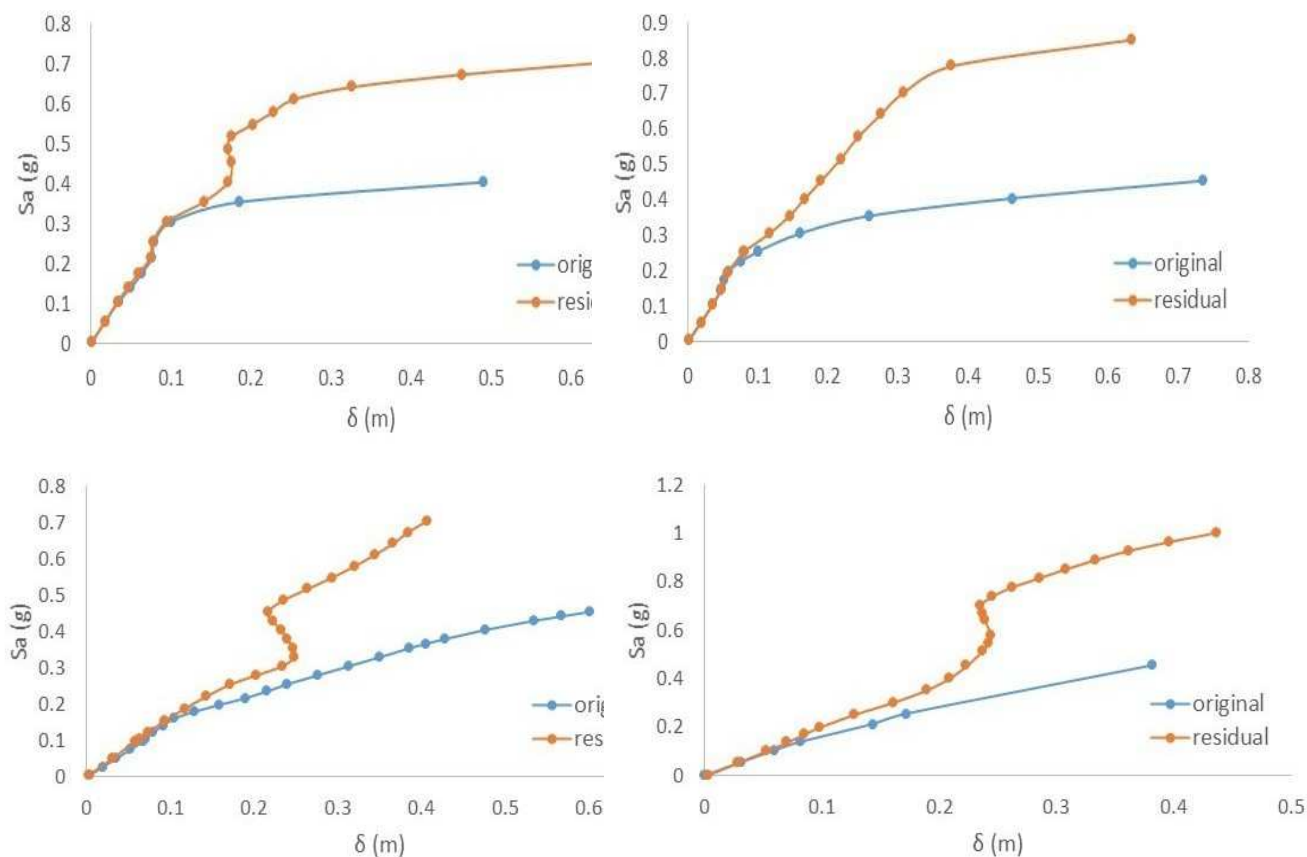
A/A	NGA	Συμβάν	Έτος	Σταθμός	T_p (sec)	A (cm/sec)	γ	ν (°)	t_d (sec)
1	881-2	Landers	1992	Morongo Valley Fire Station	1.74	10.572	6.2	320	0
2	1227-1	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY074	1.72	27.534	3.0	310	0
3	4858-1	Chuetsuoki, Japan	2007	Tokamachi	2.04	9.754	3.80	130	0
4	6888-2	Darfield, New Zeland	2010	Christchurch Cathedral College	2.46	25.331	4.80	115	0

Το κτίριο Α υποβλήθηκε σε αναλύσεις IDA χρησιμοποιώντας καταγραφές 1227-1 και 881-2, το κτίριο Β υποβλήθηκε σε ανάλυση IDA χρησιμοποιώντας την καταγραφή 4858-1 και το κτίριο Γ χρησιμοποιώντας την καταγραφή 6888-2. Η θεμελιώδης περίοδος κάθε κτιρίου επιλέχθηκε προκειμένου να συμπίσει με την περίοδο για την οποία το ανελαστικό φάσμα της παλμικής καταγραφής

παρουσιάζει μέγιστη ολκιμότητα. Στον Πίνακα 10, για κάθε κτήριο παρουσιάζεται η επιλεγμένη παλμική καταγραφή μαζί με την αναλογία της θεμελιώδους περιόδου T της κατασκευής προς την περίοδο T_p της αρμονικής ταλάντωσης του κύματος. Αυτές οι αναλογίες είναι περίπου 0,6 για τις επιλεγμένες περιπτώσεις.

A/A	Κτήριο	T (sec)	NGA	T_p (sec)	T/T_p
1	A	1.00	881-2	1.74	0.574713
2	A	1.00	1227-1	1.72	0.581395
3	B	1.32	4858-1	2.04	0.647059
4	Γ	1.40	6888-2	2.46	0.569106

Ενδεικτικά αποτελέσματα από τα IDA των αρχικών και υπολειπόμενων καταγραφών παρουσιάζονται παρακάτω. Οι καμπύλες IDA των αρχικών καταγραφών είναι χαμηλότερες από αυτές των απομειωμένων καταγραφών (αρχική καταγραφή μείον τον παλμό), υπονοώντας ότι η απαίτηση πλαστιμότητας για την αρχική καταγραφή είναι σημαντικά υψηλότερη από την απομειωμένο καταγραφή. Οι αναλύσεις που χρησιμοποιούν παλμικές καταγραφές είναι πιο συντηρητικές και υπερ. της ασφάλειας, εφόσον έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις πλαστιμότητας.

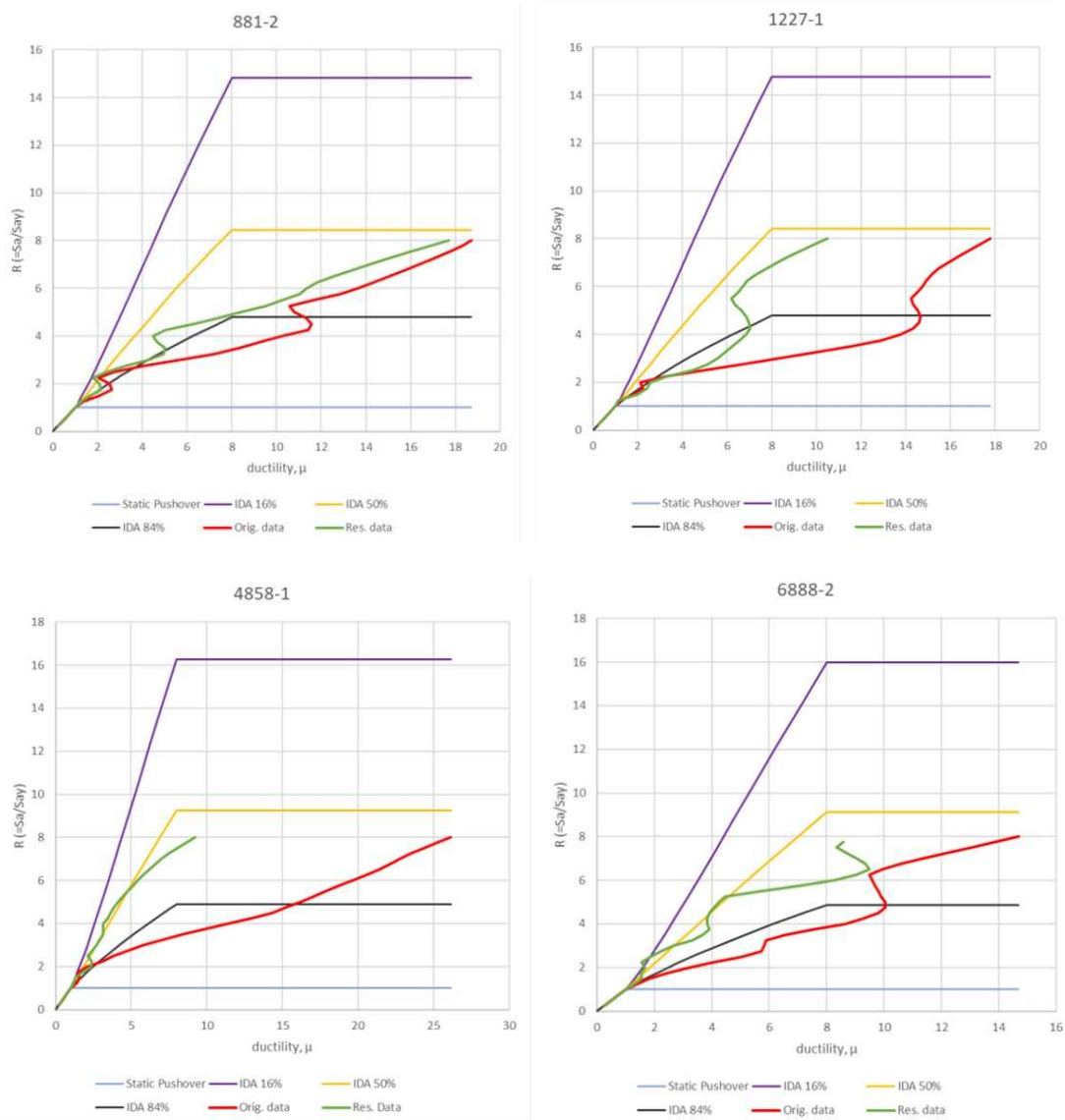


Σχήμα 5.2 Καμπύλες IDA για την αρχική καταγραφή(*original*) και τις αρχικές μείον τον παλμό(*residual*) εδαφικές καταγραφές 881-2, 1227-1, 4858-1 και 6888-2 (από αριστερά προς δεξιά αντιστοίχως).

Παρατηρούμε λοιπόν το ποσό αυξάνονται οι σχετικές μετατοπίσεις σε μια κατασκευή λόγω ύπαρξης παλμού. Ιδίως σε κτήρια τύπου Α με παλαιότερους κανονισμούς η καμπύλη είναι πολύ χαμηλά όταν έχουμε την περίπτωση της αρχικής καταγραφής, όπου δεν έχει αφαιρεθεί ο παλμός. Κάπως καλύτερη συμπεριφορά δείχνει να έχει ο τύπος κτηρίων Β, όπου εκεί υπάρχει ομοιομορφία καθ' ύψος στο κτήριο και οι κανονισμοί είναι της ίδιας φιλοσοφίας με αυτή του Ευρωκώδικα 8. Αλλά φυσικά και πάλι εξακολουθεί να παρατηρείται πτώση της καμπύλης.

Παρακάτω απεικονίζονται τα διαγράμματα που προέκυψαν από αναλύσεις IDA για διαφορετικά επίπεδα πιθανότητας αλλά και για Στατική pushover ανάλυση. Από την ανάλυση που παρουσιάστηκε εξήχθησαν τα ακόλουθα συμπεράσματα. Φαίνεται ότι ένα μεγάλο δείγμα καταγραφών, που δεν περιέχει κυρίαρχους παλμούς, παρουσιάζει ένα «κρυφό παλμό» προκαλώντας επαυξήσεις στο εύρος μεσαίας έως μεγάλης περιόδου των ελαστικών φασμάτων και προκαλεί μεγάλες απαιτήσεις πλαστιμότητας. Αυτά είναι τα ίδια

αποτελέσματα με αυτά που παρατηρήθηκαν από τους Baker (2007) και Iervolio (2008) για μια παλμική καταγραφή. Τέλος, η μεγάλη απαίτηση πλαστιμότητας σημειώνεται στην περιοχή λίγο πριν την επαύξηση και αυτό για τον λόγο του ότι η περίοδος επιμηκύνεται εξαιτίας της ανάπτυξης της ανελαστικής συμπεριφοράς. Κατά συνέπεια, η συνήθης υπόθεση ίσων ελαστικών και ανελαστικών μετατοπίσεων στο εύρος της εξεταζόμενης περιόδου είναι υπό αμφισβήτηση.



Σχήμα 5.3 Διαγράμματα R-μ με καμπύλες Static Pushover, IDA 16%, IDA 50%, IDA 84%, Original Data (αρχική καταγραφή), Residual Data (απομειωμένη εδαφική κίνηση) για καταγραφές 881-2, 1227-1, 4858-1 και 6888-2 (από αριστερά προς δεξιά αντιστοίχως).

Βλέπουμε το ποσό μεγάλη απαίτηση πλαστιμότητας υπάρχει στην περίπτωση όπου έχουμε επίπεδο πιθανότητας 16% για την ανάλυση IDA. Εκεί τα αποτελέσματα είναι πολύ συντηρητικά αλλά και υπέρ της ασφάλειας. Συμπερασματικά, μία ένδειξη της ικανοτικής συμπεριφοράς της κατασκευής στην ελαστική και ανελαστική απόκριση είναι η παραπάνω εικόνα, η οποία τελικά μας δείχνει ότι όταν έχουμε χαμηλότερες τιμές, δηλαδή πτώση της καμπύλης, υπάρχει μεγάλη απαίτηση πλαστιμότητας και αυτό λόγω ύπαρξης κάποιου παλμού κατά τη διάρκεια της καταγραφής.

Οι καμπύλες IDA μας δίνουν την ικανοτική συμπεριφορά της κατασκευής μας. Σε μια σεισμολογική μελέτη μιας κατασκευής έναντι ενός ενδεχόμενου σεισμικού σεναρίου χρειαζόμαστε την ικανοτική καμπύλη της κατασκευής την οποία μπορούμε να λάβουμε μέσω των αναλύσεων IDA και πιο εύκολα μέσω της καμπύλης στο 16% που είναι υπέρ της ασφαλείας και προκύπτει μέσω του μοντέλου SPO2IDA χωρίς πολλούς υπολογισμούς (με τον καθορισμό της καμπύλης pushover και την περίοδο του υπό εξέταση συστήματος) και το φάσμα του αναμενόμενου σεισμού (φάσμα σχεδιασμού ή φάσμα αναμενόμενου σεισμού από ντετερμινιστικό ή πιθανοτικό σενάριο με χρήση χαρτών σεισμικής επικινδυνότητας ή σχέσεων απόσβεσης). Με την τομή αυτών των δύο καμπυλών βρίσκουμε το σημείο επιτελεστικότητας, την στοχευόμενη μετακίνηση του συστήματος μας κι εξάγουμε συμπεράσματα για την αποτίμηση, την απόκριση της κατασκευής μας και τον αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών. Η διαδικασία αυτή υλοποιείται με πολλές μεθόδους μια εξ αυτών κι η μέθοδος N2, οπότε με την ανάλυση προτείνεται συν όλα τα άλλα συμπεράσματα που έχουν προκύψει κι ένας τρόπος σχετικά απλός για την εύρεση της στοχευόμενης μετακίνησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Συμπεράσματα

Οι καταγραφές κοντινού πεδίου επηρεάζουν τα ελαστικά και ανελαστικά φάσματα. Στα ελαστικά φάσματα παρατηρείται μία επαύξηση γύρω απο την περίοδο του παλμού, ενώ στα ανελαστικά παρατηρούνται μεγάλες απαιτήσεις πλαστιμότητας στο ήμισυ της περιόδου του παλμού. Εκεί, το φάσμα εμφανίζει ένα κύλωμα, ένα τοπικό ελάχιστο, με αποτέλεσμα η απόκριση να είναι μεγαλύτερη από την αναμενόμενη. Αξιοσημείωτη είναι η συμπεριφορά των καταγραφών οι οποίες δεν είναι παλμικές κατα Baker και Καρδούτσου, αλλά εμπειρέχεται μέσα τους ένας κρυφός παλμός και η συμπεριφορά των καταγραφών αυτών εμφανίζει όμοια χαρακτηριστικά με εκείνα των διαπιστευμένα παλμικών καταγραφών όπως η κωδωνοειδής επαύξηση του ελαστικού φάσματος στην περιοχή της περιόδου του κρυφού παλμού και οι αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας κοντά στο ήμισυ της περιόδου του παλμού αυτού.

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η προσέγγιση με την προσαυξητική δυναμική ανάλυση, η οποία δείχνει να προσεγγίζει καλύτερα την πραγματική κατάσταση σε σχέση με την στατική pushover ανάλυση. Από τις αναλύσεις IDA που υλοποιήθηκαν για πλήθος καταγραφών στην περίπτωση μονοβαθμίου συστήματος, διαπιστώθηκαν οι υψηλές απαιτήσεις πλαστιμότητας που προέκυψαν για τις καταγραφές αφανούς παλμικού περιεχομένου, όπου οι απαιτήσεις αυτές μειώνονταν όταν ο σημαντικός παλμός της καταγραφής αφαιρούνταν. Με χρήση του μοντέλου SPO2IDA μπορούμε να εκτιμήσουμε την καμπύλη IDA ενός μονοβάθμιου συστήματος με πιθανότητες υπέρβασης 16%, 50% και 84%. Από την ανάλυση μεγάλου αριθμού καταγραφών διαπιστώθηκε ότι η χρήση της εκτιμώμενης καμπύλης με πιθανότητα υπέρβασης 16% ως καμπύλη συμπεριφοράς της κατασκευής, είναι μία εκτίμηση συντηρητική και υπερ της ασφαλείας, όπου σε συνδυασμό με το φάσμα σχεδιασμού που μπορεί να βρεθεί είτε με ντετερμινιστικό είτε με πιθανοτικό τρόπο και με χρήση κατάλληλης μεθοδολογίας μπορεί να βρεθεί, στην συνέχεια, η στοχευόμενη μετακίνηση του υπό μελέτη συστήματος. Επιπρόσθετα, έχει παρατηρηθεί πως σε κτηρια κατασκευασμένα με παλιότερους κανονισμούς οι απαιτήσεις πλαστιμότητας είναι πολύ μεγαλύτερες όταν παρατηρείται η υπαρκτή κρυφού παλμού στις καταγραφές, καθώς για νεότερες και πιο συγχρονες κατασκευές η απόκριση δείχνει να καταληγει σε καλύτερα αποτελέσματα.

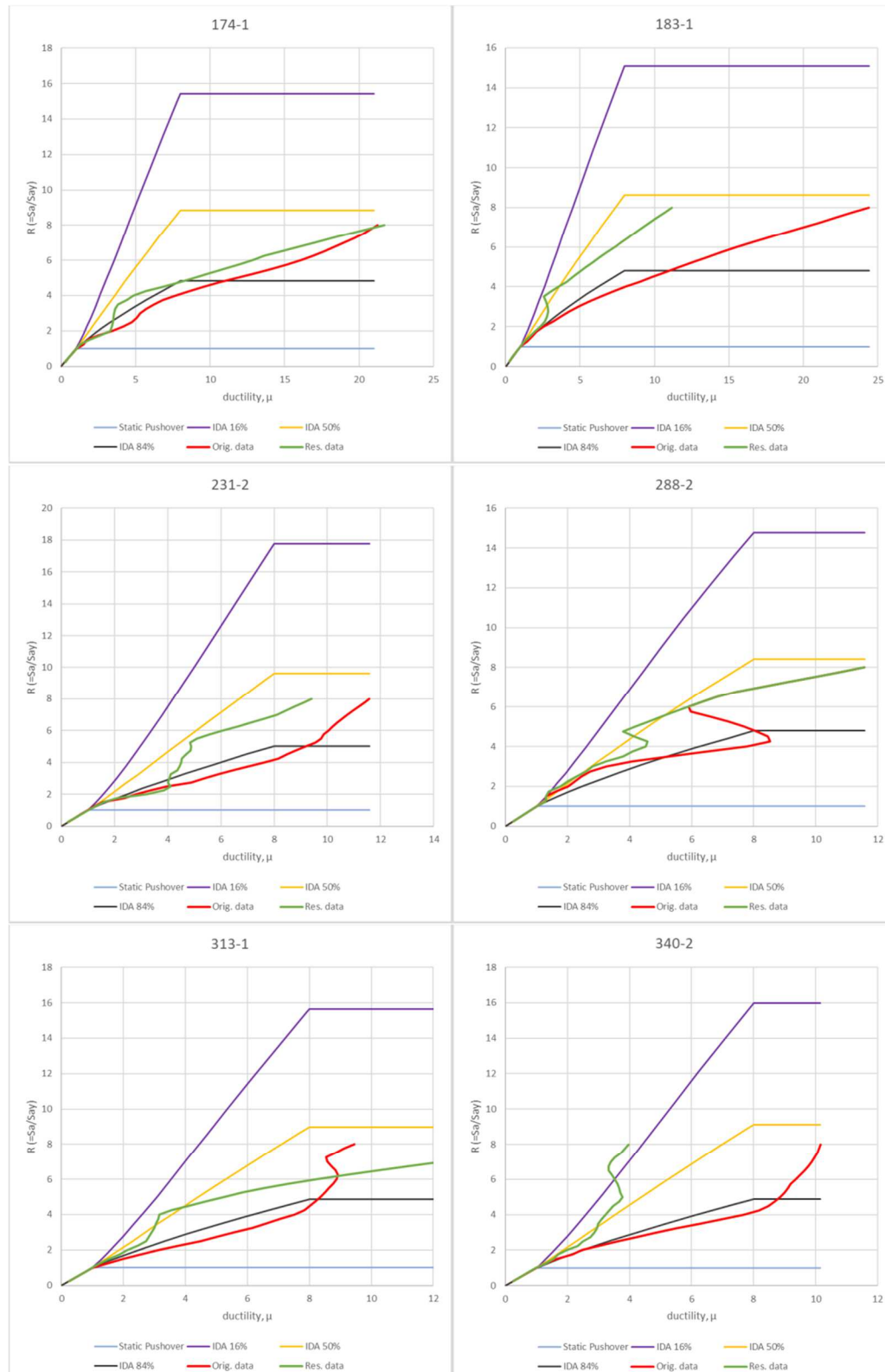
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ✓ Shrey K.Shahi, Jack W. Baker (2011). “ 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. 101, No. 2, pp. 742–755, April 2011, doi: 10.1785/0120100090.
- ✓ Jack W. Baker (2007). “Plots of identified velocity pulses”, *Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, Stanford, CA 94305, USA*
- ✓ Iunio Iervolino, C.Allin Cornell (2008). “Probability of Occurrence of Velocity Pulses in Near-Source Ground Motions”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 98, No. 5, pp. 2262–2277, October 2008, doi: 10.1785/0120080033
- ✓ LI Shuang, XIE Li-li (2007). “Progress and trend on near-field problems in civil engineering”, Vol.20 No.1 (105~114) *ACTA SEISMOLOGICA SINICA* Jan., 2007, Article ID: 1000-9116(2007)01-0105-10, doi:10.1007/s11589-007-0105-0.
- ✓ Mimoglou P., Psycharis I., Taflampas I. (2014) “Explicit determination of the pulse inherent in pulse-like ground motions”, *School of Civil Engineering, National Technical University of Athens, Athens, Greece.*
- ✓ Mavroeidis P. George, Papageorgiou S. Apostolos (2003). “A Mathematical Representation of Near-Fault Ground Motions”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 93, No. 3, pp. 1099–1131, June 2003.
- ✓ Yuan Lu, Panagiotou Marios (2014). “Characterization and Representation of Near-Fault Ground Motions Using Cumulative Pulse Extraction with Wavelet Analysis”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 104, No. 1, pp. 410–426, February 2014, doi: 10.1785/0120130031.
- ✓ Jack W. Baker (2007). “Quantitative Classification of Near-Fault Ground Motions Using Wavelet Analysis”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 97, No. 5, pp. 1486–1501, October 2007, doi: 10.1785/0120060255.
- ✓ Helmut Krawinkler, Babak Alavi and Farzin Zareian (2005). “**IMPACT OF NEAR-FAULT PULSES ON ENGINEERING DESIGN**” P. G Ikan and J.G. Anderson (eds.), *Directions in Strong Motion Instrumentation*, 83–106, © 2005 Springer. Printed in the Netherlands.
- ✓ Kardoutsou V., Taflampas I. And Psycharis I. (2017). “A New Pulse Indicator for the Classification of Ground Motions”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 107, No. 3, pp. –, June 2017, doi: 10.1785/0120160301
- ✓ Maiatakis Ch. , Taflapas I. And Spryrakos C. (2008). “IDENTIFICATION OF NEAR-FAULT EARTHQUAKE RECORD CHARACTERISTICS”, *The 14th World Conference on Earthquake Engineering* October 12-17, 2008, Beijing, China.

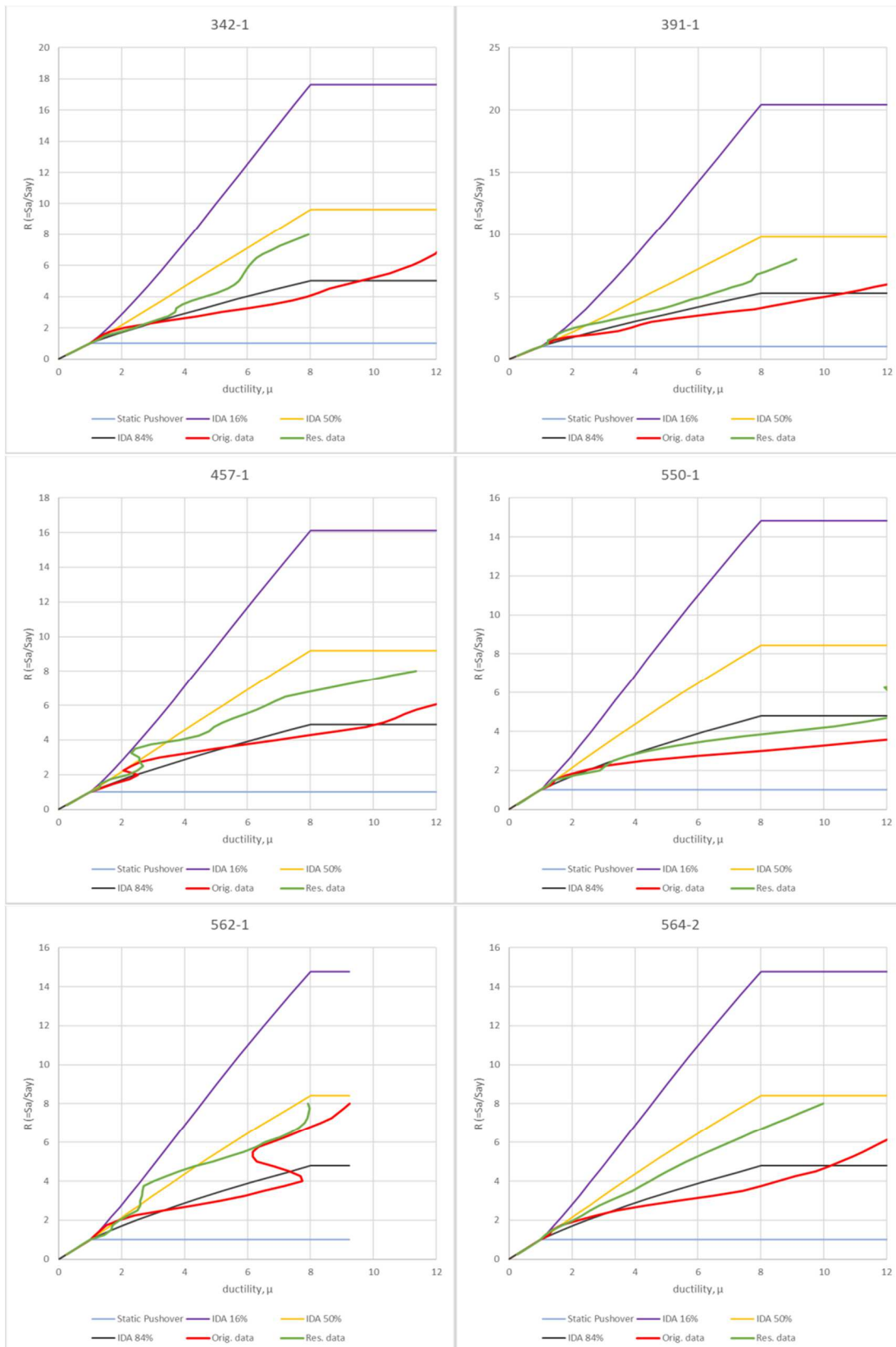
- ✓ *Amr S. Elnashai, Luigi Di Sarno (2008). "FUNDAMENTALS OF EARTHQUAKE ENGINEERING", Εκδόσεις WILEY, A John Wiley & Sons, Ltd, Publication.*
- ✓ *Jonathan D. Bray and Andrian Rodriguez-Marek (2004). "Characterization of forward-directivity ground motions in the near-fault region", Soil Dynamics and Earthquake Engineering 24*
- ✓ *Jorge Ruiz-Garcia, Eduardo Miranda (2007). "Probabilistic estimation of maximum inelastic displacement demands for performance-based design", EARTHQUAKE ENGINEERING AND STRUCTURAL DYNAMICS Earthquake Engng Struct. Dyn. 2007; 36:1235–1254 Published online 6 March 2007 in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com). DOI: 10.1002/eqe.680.*
- ✓ *Dimitrios Vamvatsikos and C. Allin Cornell (2002). "Incremental dynamic analysis", EARTHQUAKE ENGINEERING AND STRUCTURAL DYNAMICS, Earthquake Engng Struct. Dyn. 2002; 31:491–514 (DOI: 10.1002/eqe.141)*
- ✓ *Luco και Cornell, Bazurro και Cornell, Yun and Foutch, Mehanny and Deierlein , Dubina et al. , De Matteis et al. , Nassar and Krawinkler και Psycharis et al.*
- ✓ *VAMVATSIKOS D. and CORNELL C. A. "Direct estimation of the seismic demand and capacity of oscillators with multi-linear static pushovers through IDA", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 35(9), 2006, pp.1097–1117.*

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

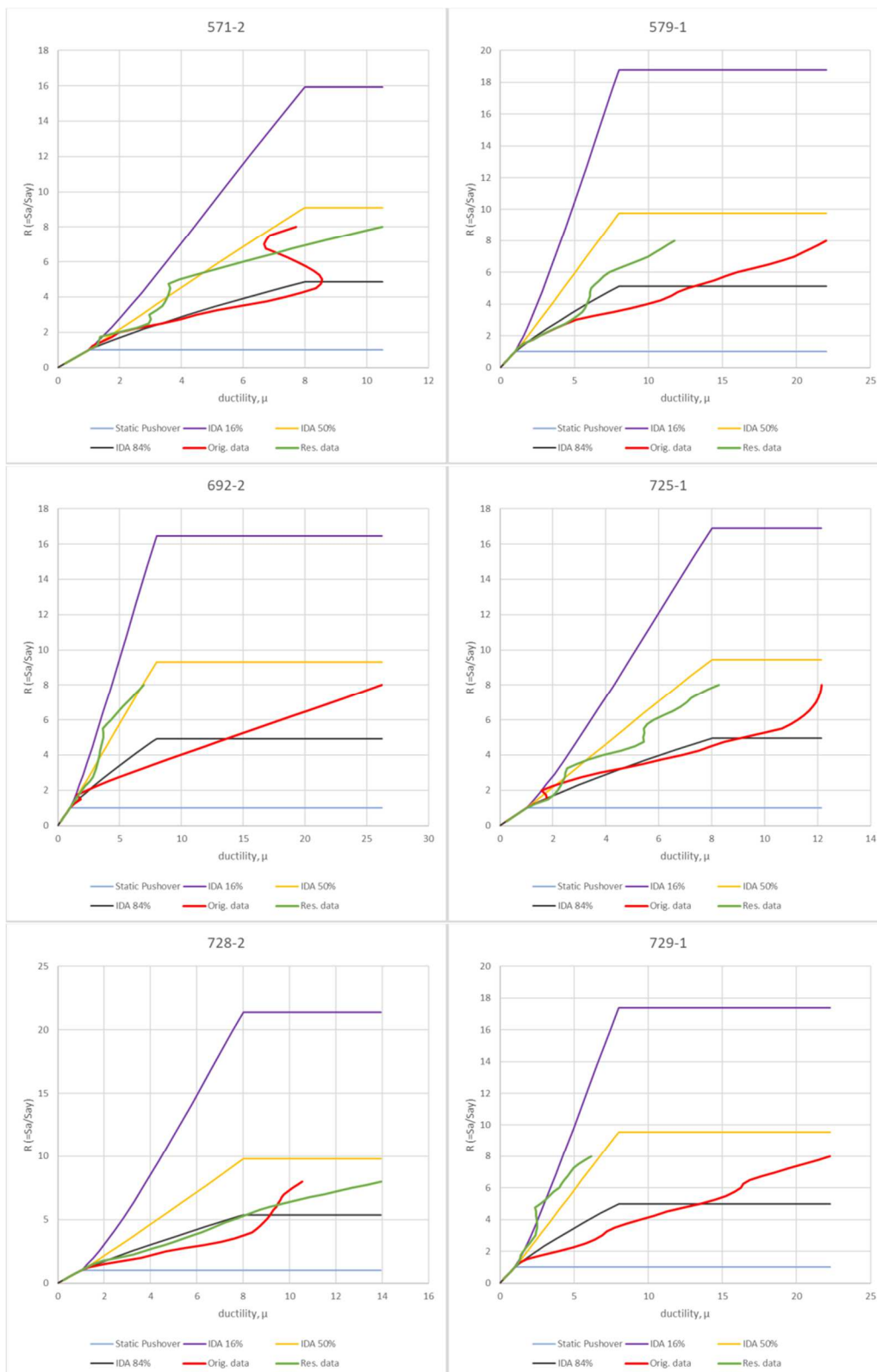
Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αναλύσεων Static Pushover, IDA 16%, IDA 50%, IDA 84% για 109 διαφορετικές καταγραφές. Με κόκκινη καμπύλη απεικονίζεται η αρχική καταγραφή και με πράσινη, η απομένουσα, δηλαδή η αρχική εφόσον έχει αφαιρεθεί το κρυφό παλμικό περιεχόμενο.



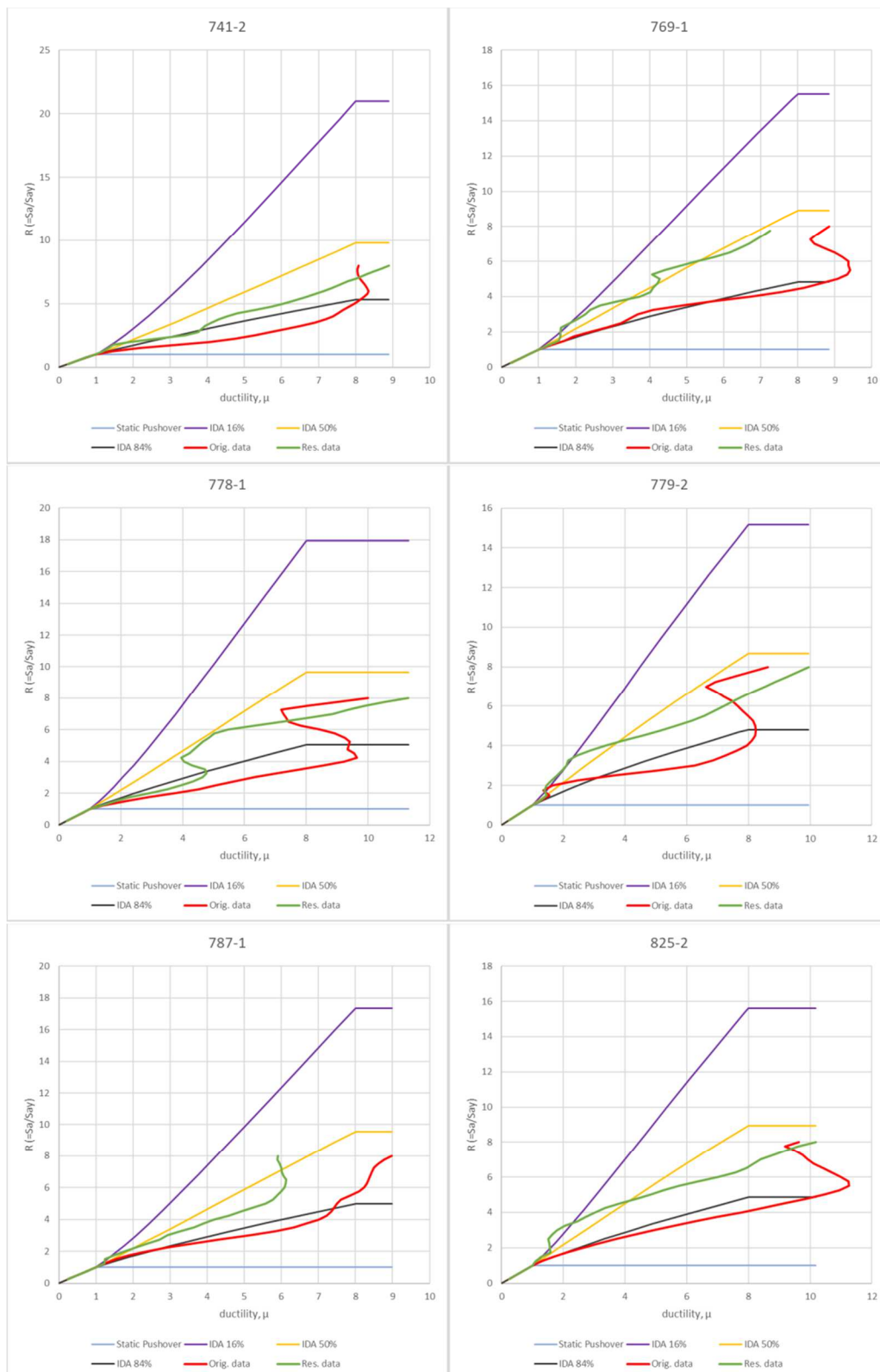
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PUSHOVER) ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (IDA) ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΑΦΑΝΟΥΣ ΠΑΛΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ



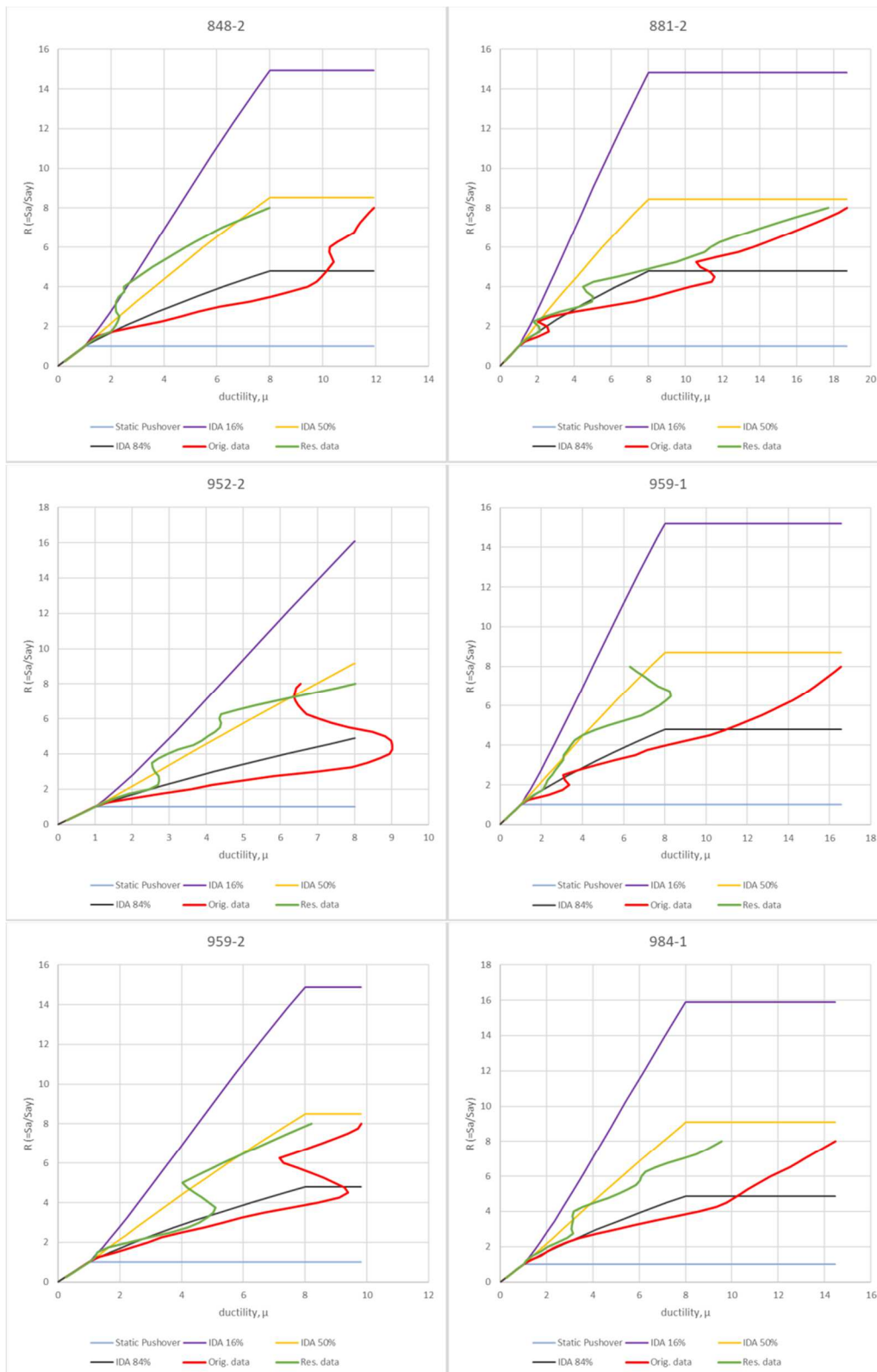
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PUSHOVER) ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (IDA) ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΑΦΑΝΟΥΣ ΠΑΛΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ



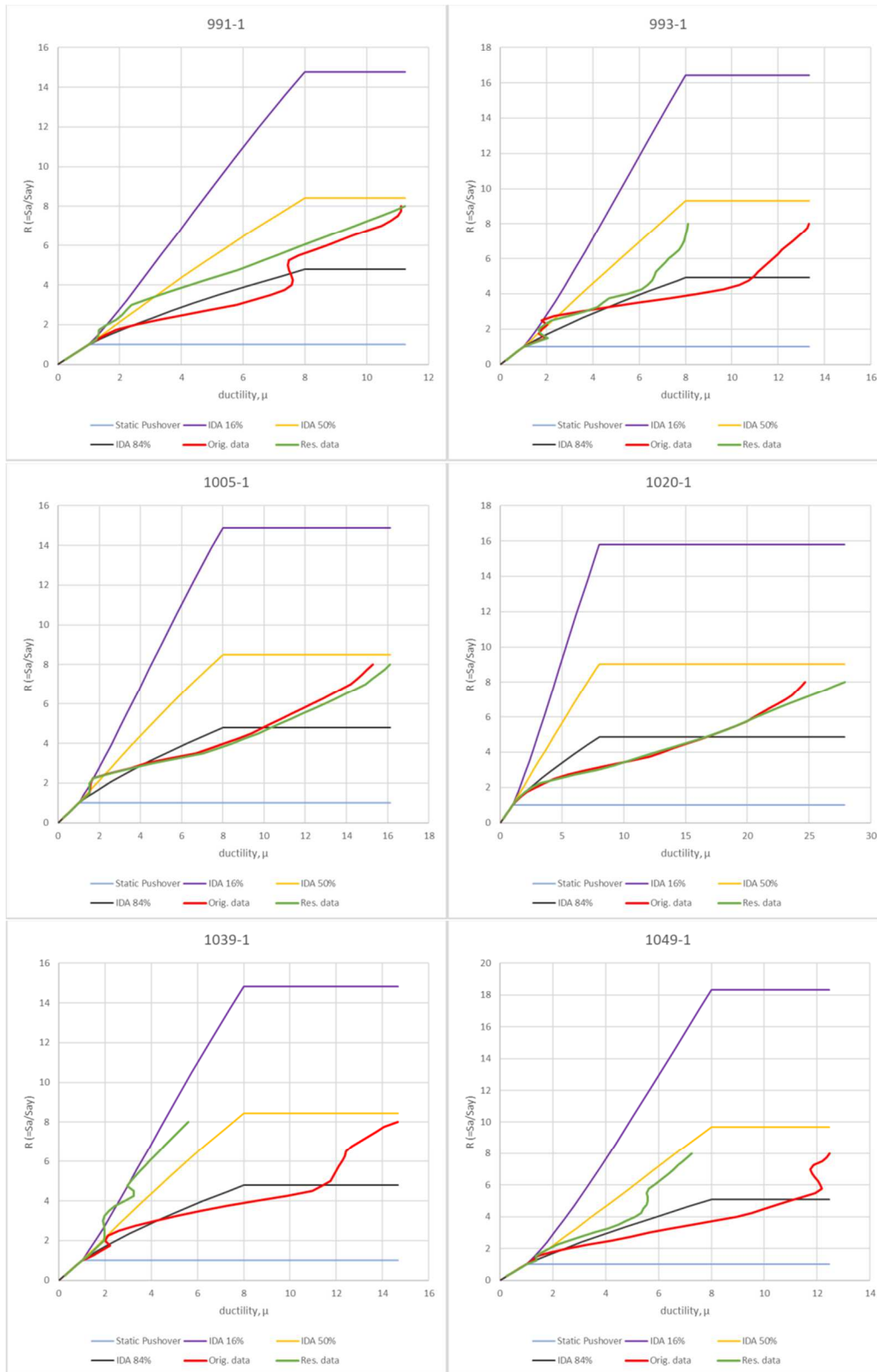
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PUSHOVER) ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (IDA) ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΑΦΑΝΟΥΣ ΠΑΛΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ



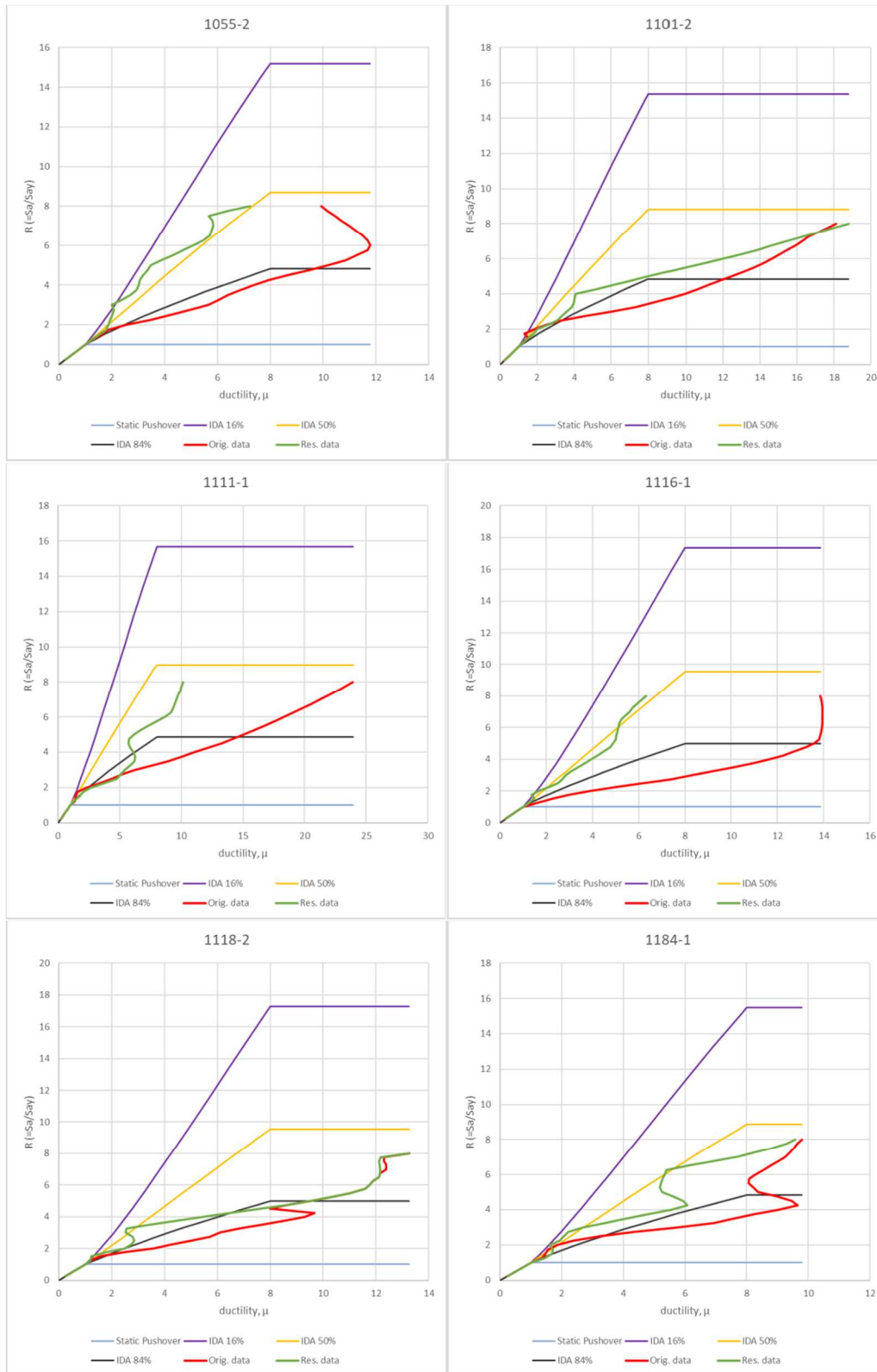
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PUSHOVER) ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (IDA) ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΑΦΑΝΟΥΣ ΠΑΛΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ



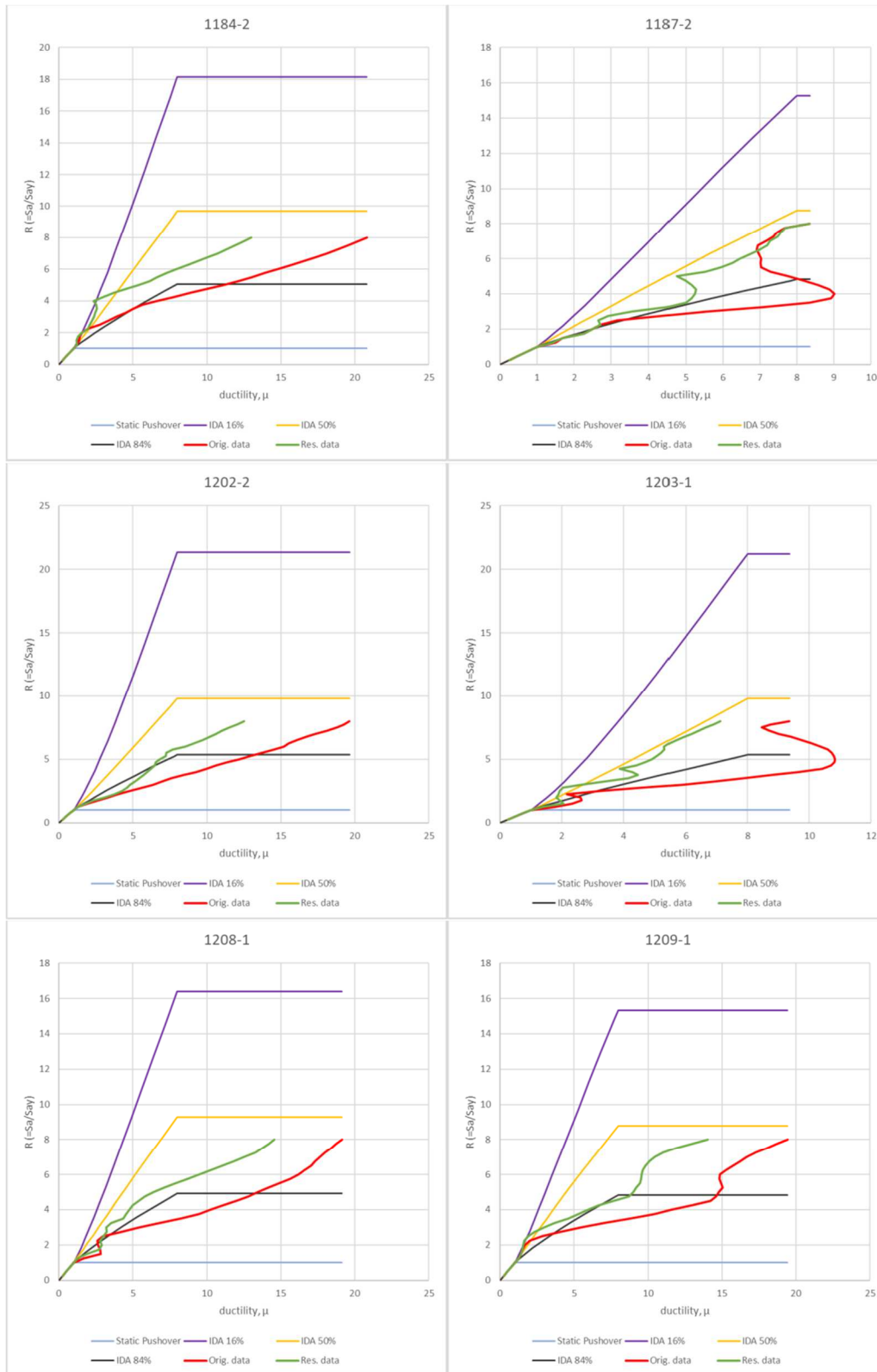
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PUSHOVER) ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (IDA) ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΑΦΑΝΟΥΣ ΠΑΛΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ



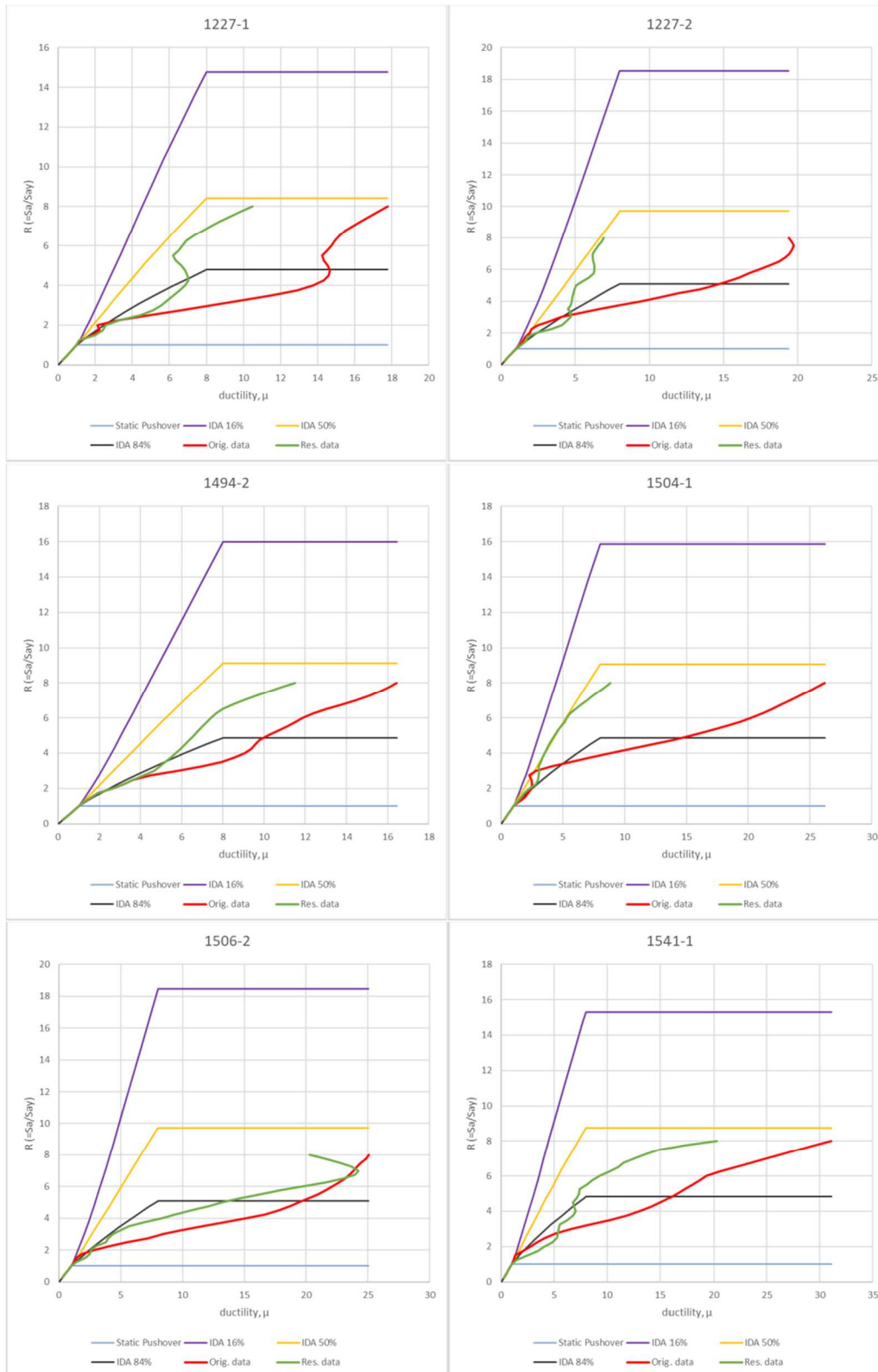
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PUSHOVER) ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (IDA) ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΑΦΑΝΟΥΣ ΠΑΛΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ



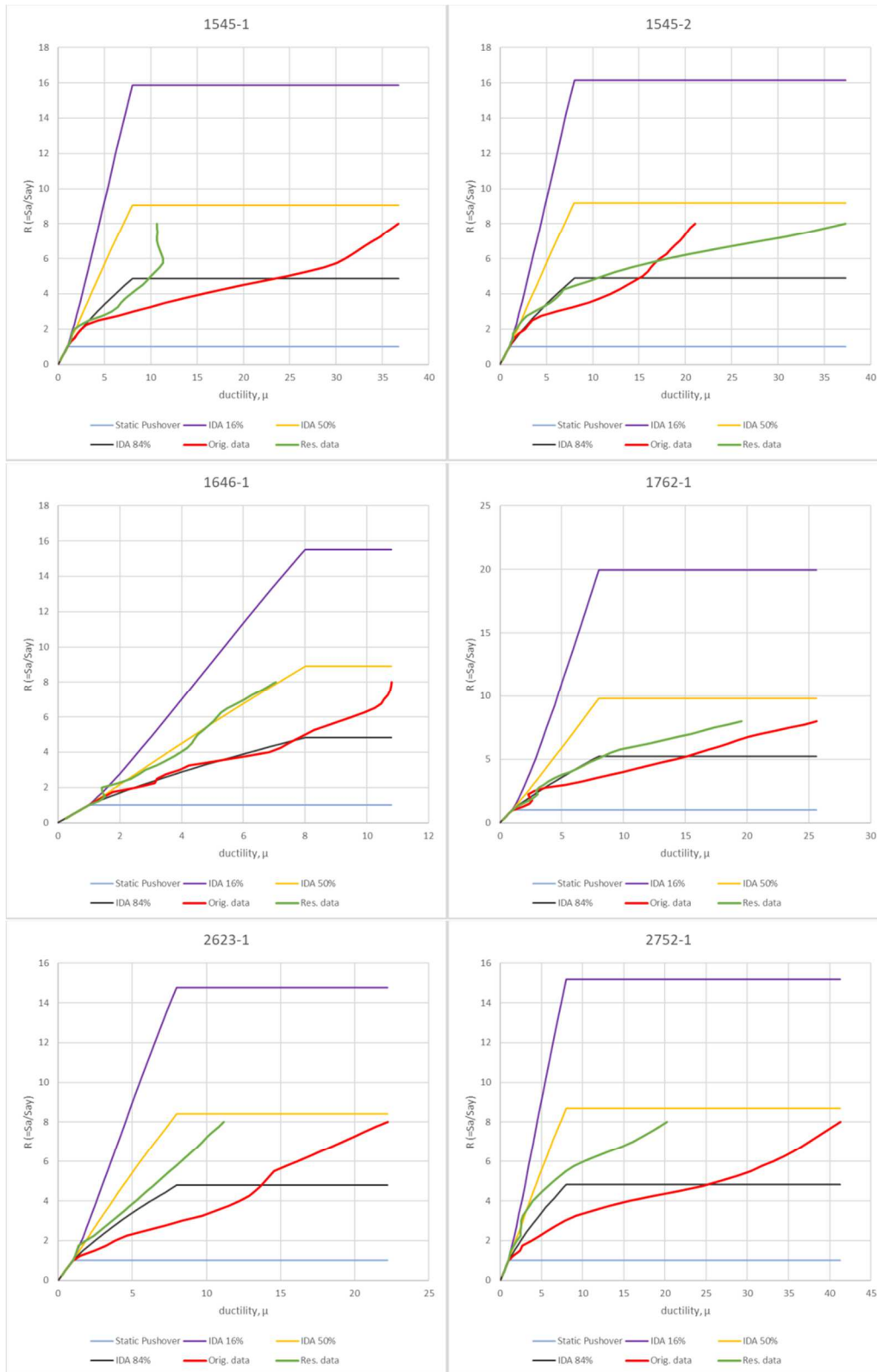
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PUSHOVER) ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (IDA) ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΑΦΑΝΟΥΣ ΠΑΛΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ



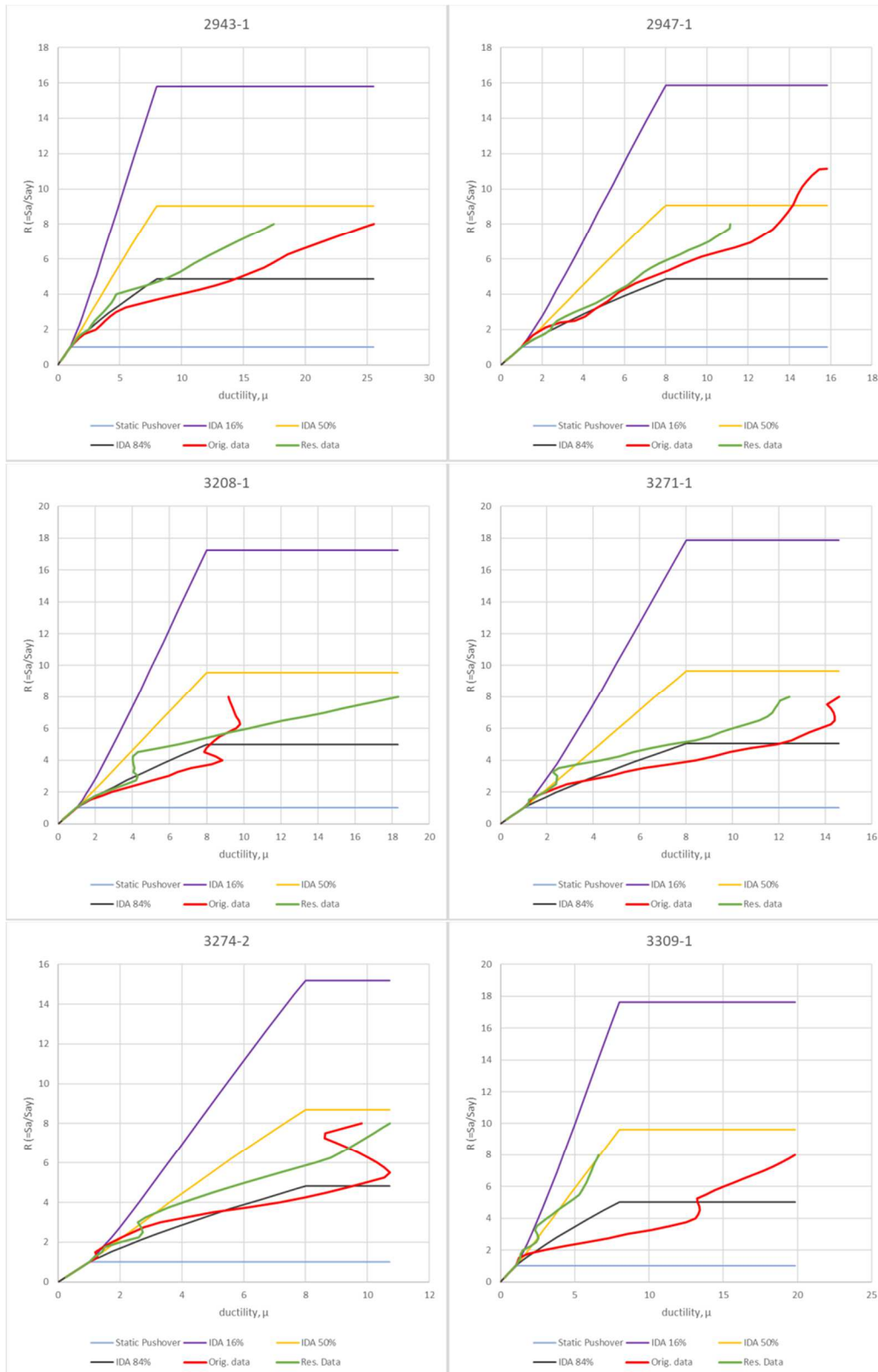
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PUSHOVER) ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (IDA) ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΑΦΑΝΟΥΣ ΠΑΛΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ



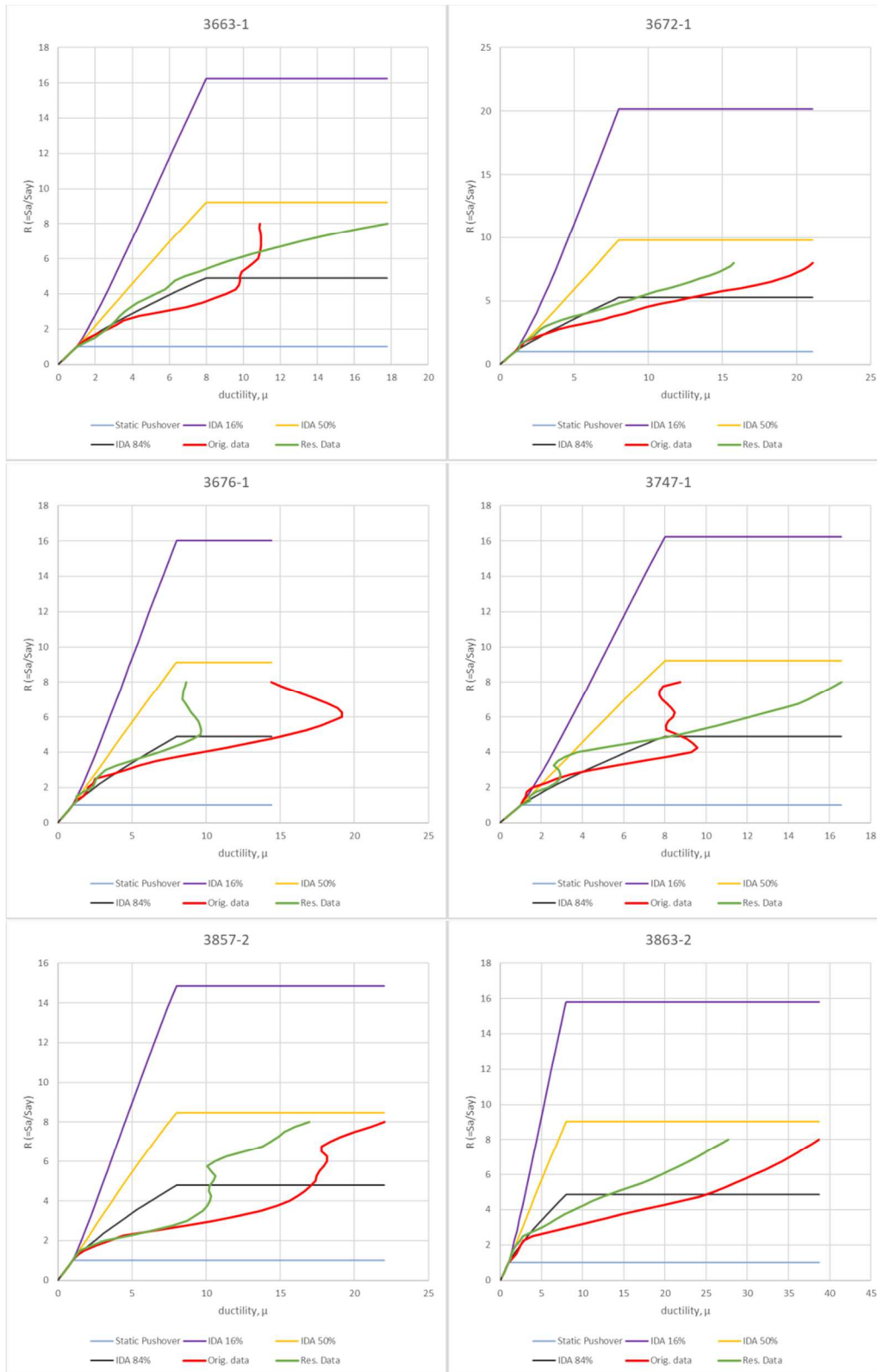
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PUSHOVER) ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (ΙΔΑ) ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΑΦΑΝΟΥΣ ΠΑΛΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ



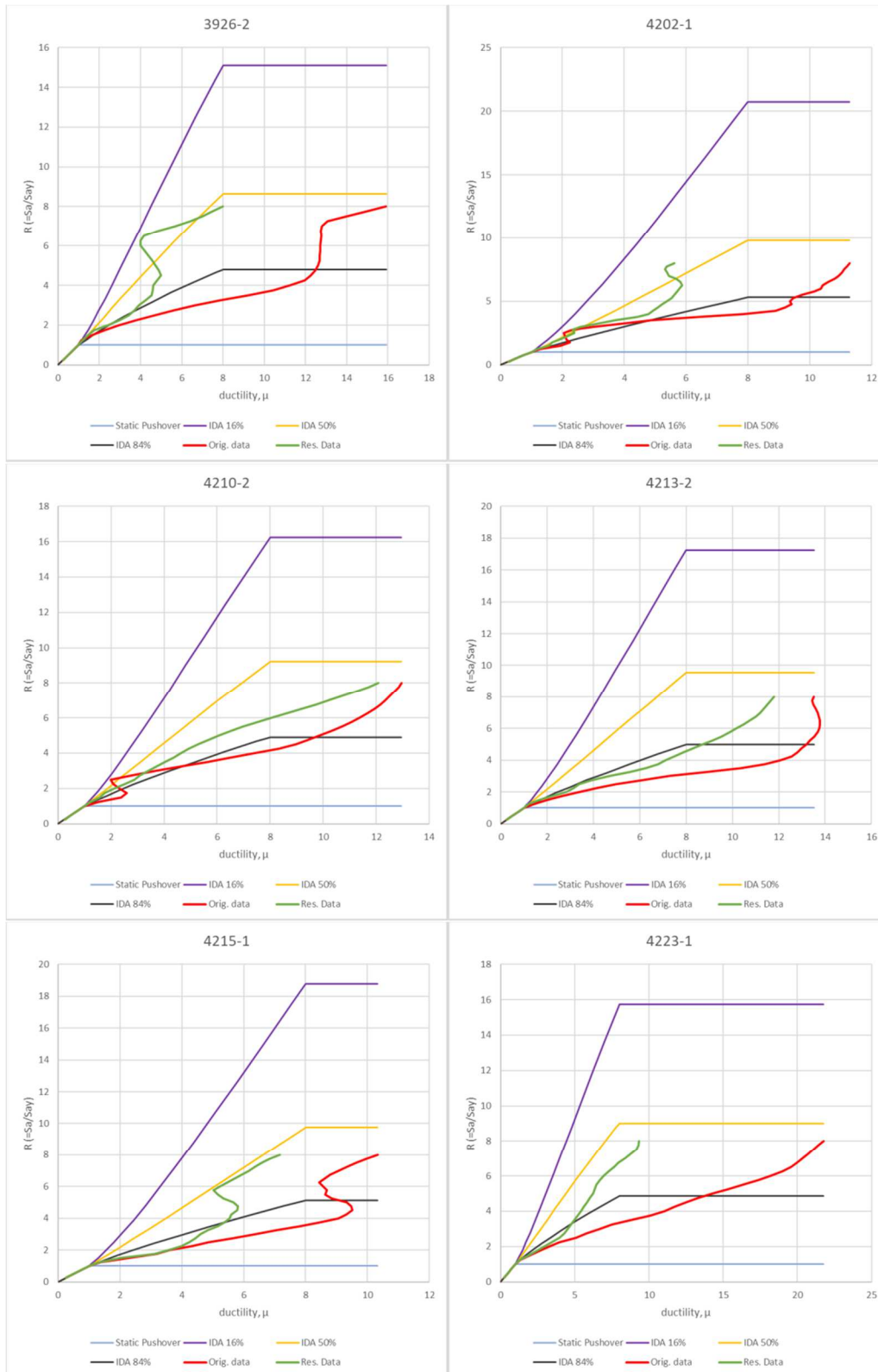
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PUSHOVER) ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (IDA) ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΑΦΑΝΟΥΣ ΠΑΛΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ



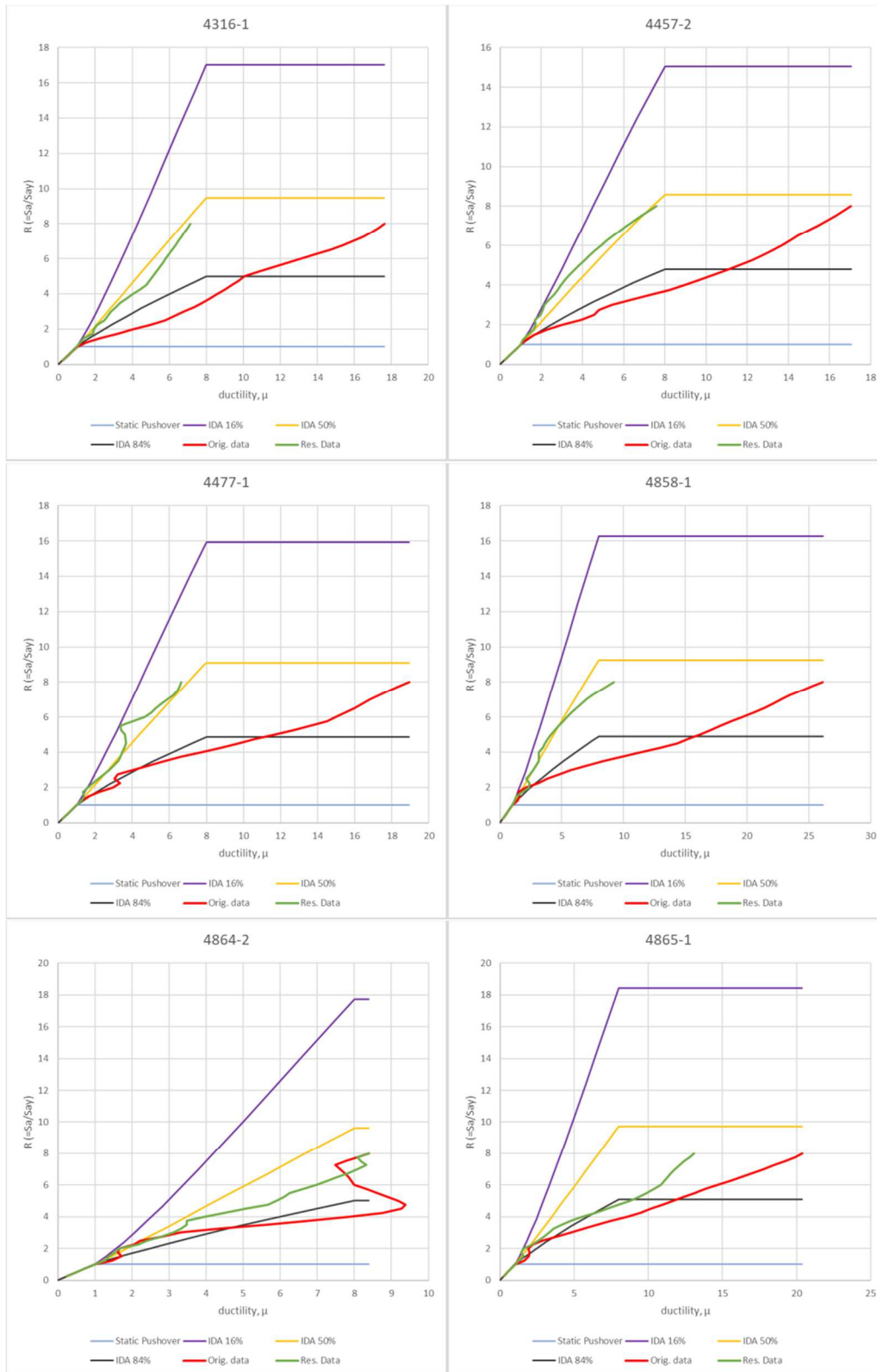
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PUSHOVER) ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (IDA) ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΑΦΑΝΟΥΣ ΠΑΛΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ



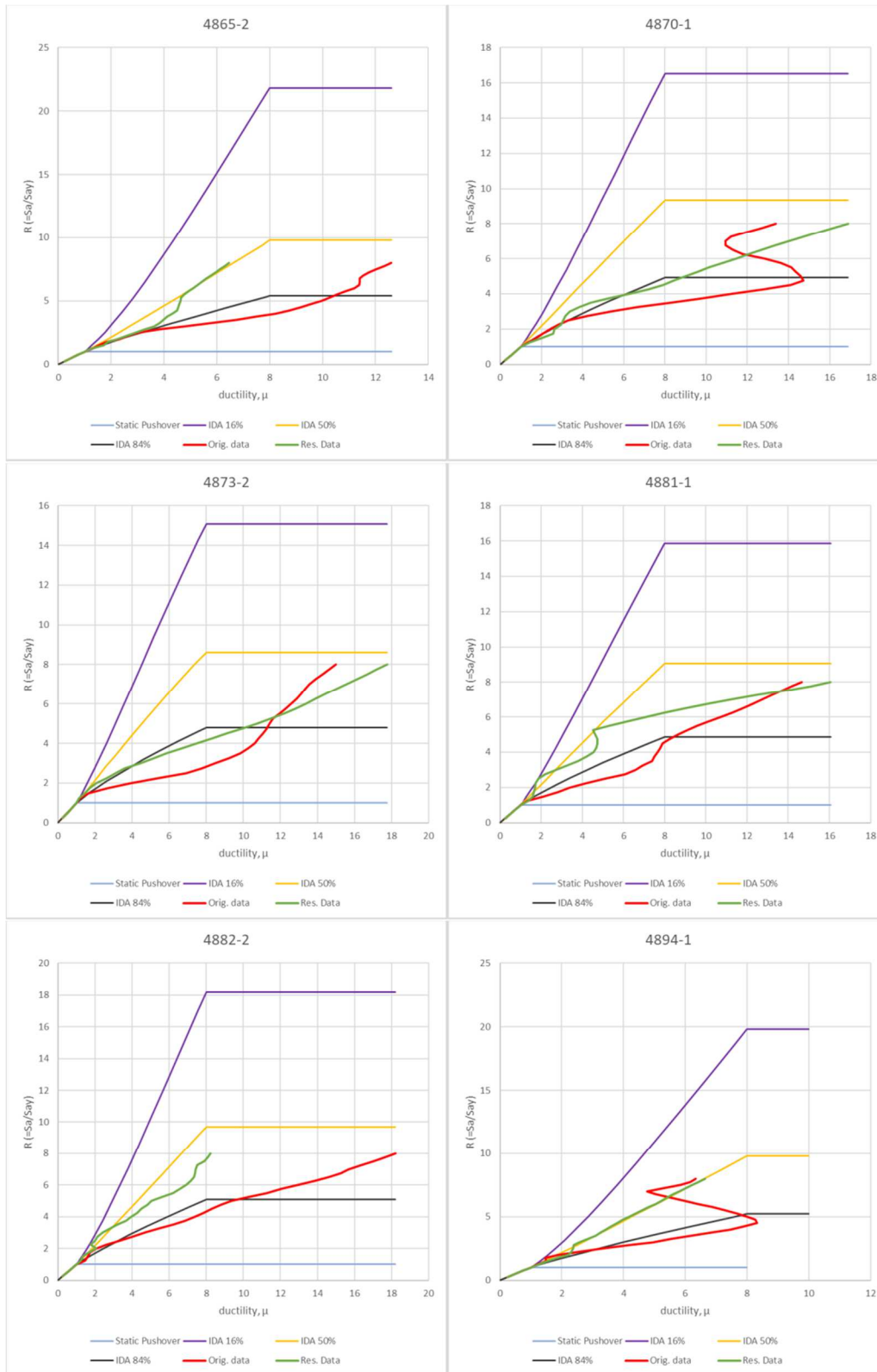
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PUSHOVER) ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (IDA) ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΑΦΑΝΟΥΣ ΠΑΛΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ



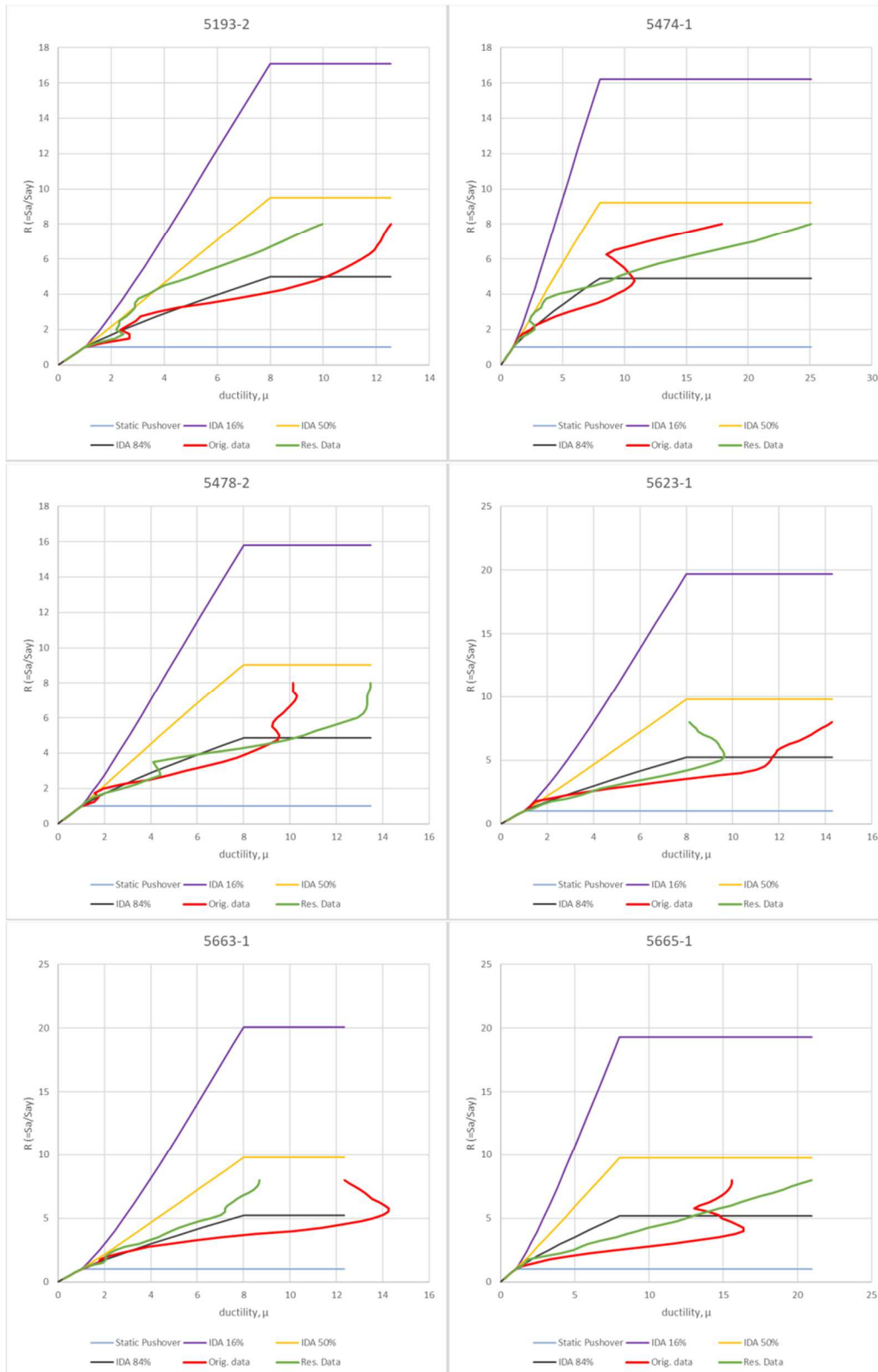
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PUSHOVER) ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (IDA) ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΑΦΑΝΟΥΣ ΠΑΛΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ



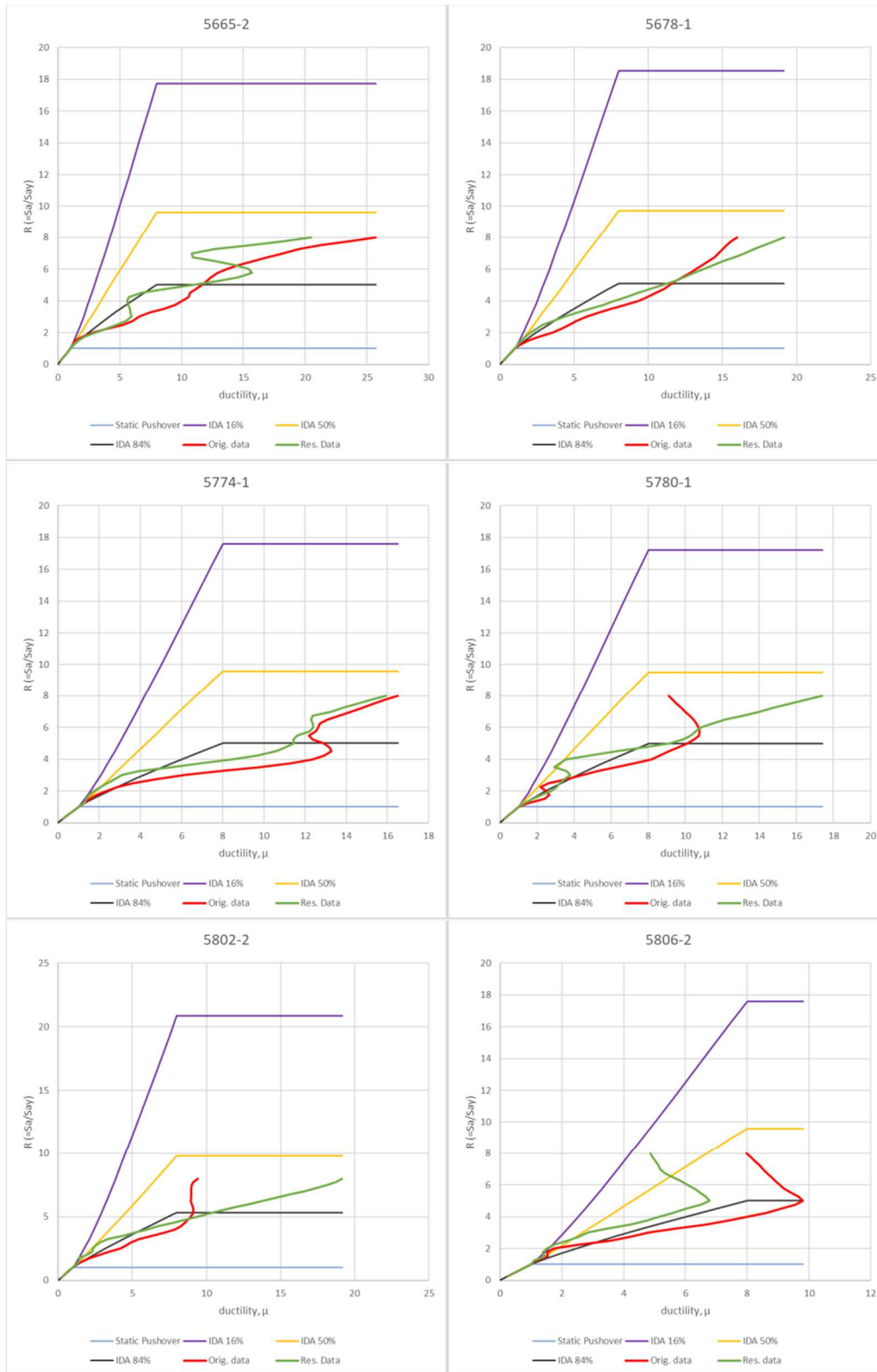
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PUSHOVER) ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (IDA) ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΑΦΑΝΟΥΣ ΠΑΛΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ



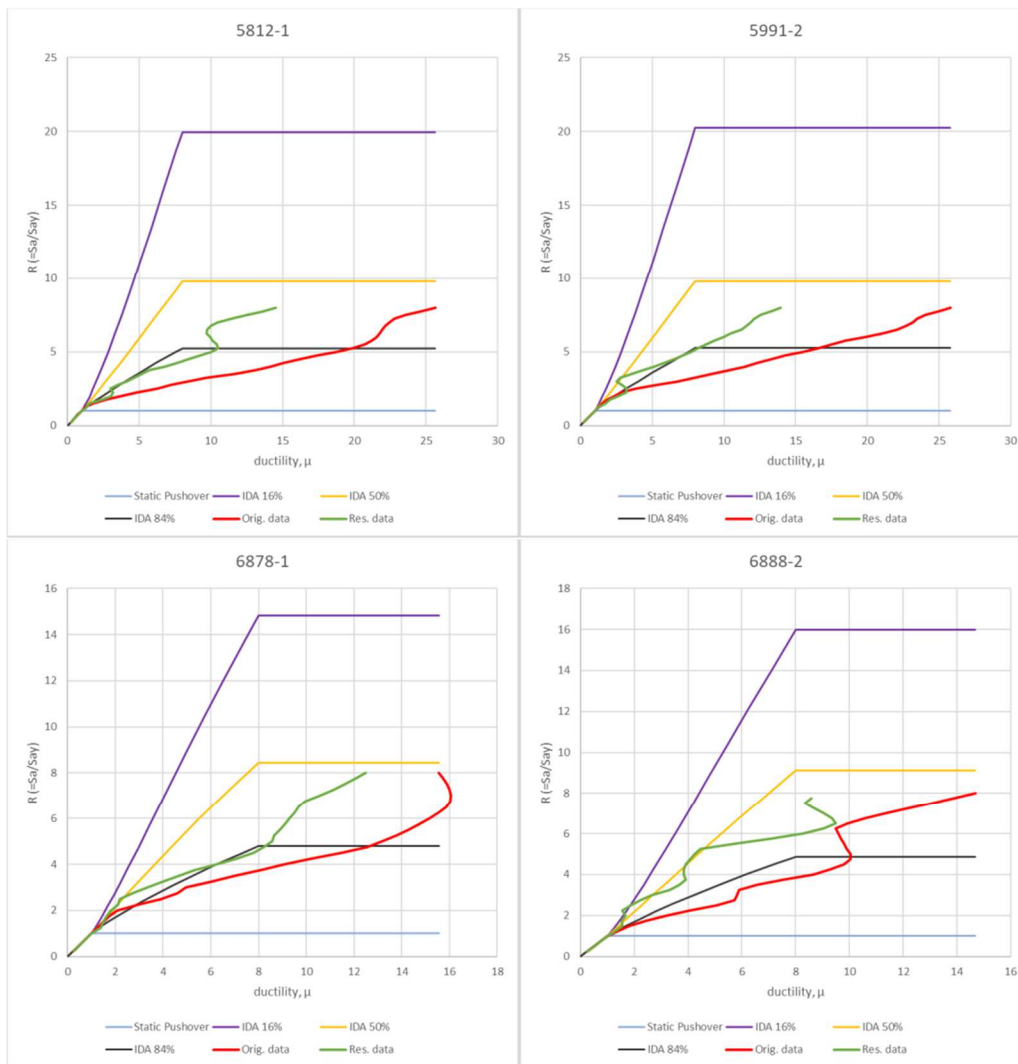
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PUSHOVER) ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (ΙΔΑ) ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΑΦΑΝΟΥΣ ΠΑΛΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ



ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PUSHOVER) ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (IDA) ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΑΦΑΝΟΥΣ ΠΑΛΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ



ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PUSHOVER) ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (IDA) ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΑΦΑΝΟΥΣ ΠΑΛΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ



ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (PUSHOVER) ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (IDA) ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΑΦΑΝΟΥΣ ΠΑΛΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ

