ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Δομοστατικός Σχεδιασμός και Ανάλυση Κατασκευών»

Μεταπτυχιακή
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΩΝ ΚΟΙΛΑΔΩΝ

Επιβλέπων : Μπουκοβάλας Γεώργιος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Τέττα Ζωή

Α.Μ. 11021135

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς όλους όσοι υποστήριξαν πρακτικά και ηθικά την προσπάθειά μου.

Πρωτίστως, ευχαριστώ θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή κ. Μπουκοβάλα Γεώργιο, για την άριστη συνεργασία που είχαμε, κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Η διαρκής διαθεσιμότητά του και ο επιστημονικός του ζήλος, ενίσχυσαν την προσπάθειά μου για την περάτωση αυτής της έρευνας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Δρ. Παπαδημητρίου Αχιλλέα, Επίκουρο Καθηγητή του Π.Θ. καθώς οι πολύτιμες υποδείξεις του, η άριστη καθοδήγησή του και η συνεχής υποστήριξή του συνέβαλαν σημαντικά στη βελτίωση της παρούσας εργασίας.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω από καρδιάς τους γονείς μου για την ηθική και υλική υποστήριξη, την αστείρευτη συμπαράσταση και τη δυνατότητα που μου έδωσαν να αφοσιωθώ απερίσπαστα στην περάτωση αυτής της διπλωματικής εργασίας, καθώς επίσης και τον αδερφό μου για τη σημαντική του βοήθεια και την ψυχολογική υποστήριξη.

Τέλος, ευχαριστώ τους φίλους μου για την υποστήριξη και τη συμπαράστασή τους.

Η ολοκλήρωση της εργασίας αυτής έγινε στο πλαίσιο της υλοποίησης του μεταπτυχιακού προγράμματος Δ.Σ.Α.Κ. το οποίο συγχρηματοδοτήθηκε μέσω της Πράξης «**Πρόγραμμα χορήγησης υποτροφιών Ι.Κ.Υ. με διαδικασία εξατομικευμένης αξιολόγησης ακαδ. έτους 2011-2012**» από πόρους του Ε.Π. «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου (ΕΚΤ) και του ΕΣΠΑ, του 2007-2013.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ 0

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ 2

EXTENDED ABSTRACT 5

ΠΕΡΙΛΗΨΗ 17

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ 19

1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ 19

1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ 19

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ 21

2.1 ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗΣ 22

2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ 27

2.3 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑΣ 40

2.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΦΑΣΜΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ 41

2.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ 42

2.6 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΗ – ΓΡΑΜΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ 44

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ 48

3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ 48

3.2 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ 51

3.3 ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ 56

3.4 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ 56

3.5 ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ 58

3.5.1 ΙΞΩΔΟ-ΕΛΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ 58

3.5.2 ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ 59

3.6 ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ 64

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΣΕ ΜΗ-ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΕΣ ΚΟΙΛΑΔΕΣ 66

4.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗΣ..... 66

4.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΜΗ-ΣΥΜΜΕΤΡΙΑΣ ΚΟΙΛΑΔΑΣ ΣΤΗ ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ, ΓΙΑ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ «ΣΤΕΝΩΝ» ΚΟΙΛΑΔΩΝ..... 69

4.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΜΗ-ΣΥΜΜΕΤΡΙΑΣ ΚΟΙΛΑΔΑΣ ΣΤΗ ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ, ΓΙΑ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ «ΕΥΡΕΙΩΝ» ΚΟΙΛΑΔΩΝ 80

4.4 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ 83

4.5 ΠΟΛΥ-ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗΣ..... 91

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ ΣΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ 95

5.1 ΓΕΝΙΚΑ 95

5.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΥΠΑΡΞΗΣ ΚΟΙΛΑΔΑΣ ΣΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΦΑΡΑΓΓΙΩΝ ΚΑΙ ΠΡΑΝΩΝ 97

5.2.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ «ΚΛΕΙΣΤΩΝ» ΚΟΙΛΑΔΩΝ ΣΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΦΑΡΑΓΓΙΩΝ ΚΑΙ ΠΡΑΝΩΝ..... 97

5.2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ «ΜΟΝΟΚΛΙΝΩΝ» ΛΕΚΑΝΩΝ ΣΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΦΑΡΑΓΓΙΩΝ ΚΑΙ ΠΡΑΝΩΝ..... 101

5.2.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ «ΚΛΕΙΣΤΩΝ» ΕΝΑΝΤΙ «ΜΟΝΟΚΛΙΝΩΝ» ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΦΑΡΑΓΓΙΩΝ ΚΑΙ ΠΡΑΝΩΝ 103

5.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΑΝΩΜΑΛΙΑΣ ΣΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΚΟΙΛΑΔΑΣ..... 107

5.3.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ «ΣΤΕΝΩΝ» ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ..... 107

5.3.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ «ΕΥΡΕΙΩΝ» ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ..... 112

5.3.3 Η ΣΧΕΤΙΚΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΤΗΣ ΚΟΙΛΑΔΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΥΠΑΡΞΗΣ ΥΠΕΡΥΨΩΜΕΝΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ «ΚΛΕΙΣΤΩΝ» ΚΟΙΛΑΔΩΝ 114

5.3.4 Η ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ ΣΤΗΝ ΑΚΡΗ ΜΙΑΣ ΚΟΙΛΑΔΑΣ, ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΤΗΣ..... 116

5.4 ΣΥΝΟΨΗ 119

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΣΕ ΚΟΙΛΑΔΕΣ ΜΕ ΜΗ-ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΕΔΑΦΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ..... 120

6.1 ΓΕΝΙΚΑ 120

6.2 ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ ΚΟΙΛΑΔΑΣ ΜΕ ΕΝΤΟΝΑ ΜΗ-ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ..... 122

6.2.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΗ-ΓΡΑΜΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ «ΣΤΕΝΕΣ» ΚΟΙΛΑΔΕΣ 122

6.2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΗ-ΓΡΑΜΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ «ΕΥΡΕΙΕΣ» ΚΟΙΛΑΔΕΣ 141

6.2.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΛΟΓΟΥ λ/Η ΣΤΗ ΜΗ-ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΚΟΙΛΑΔΩΝ 144

6.2.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΛΟΓΟΥ Β/λ ΣΤΗ ΜΗ-ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΚΟΙΛΑΔΩΝ 150

6.3 ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ ΚΟΙΛΑΔΑΣ ΜΕ ΕΛΑΦΡΑ ΜΗ-ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ..... 154

6.4 ΣΥΝΟΨΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΜΗ-ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΚΟΙΛΑΔΩΝ 159

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ 162

7.1 ΓΕΝΙΚΑ 162

7.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 163

7.3 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ 166

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 168

EXTENDED ABSTRACT

This thesis concerns the parametric investigation of the (geomorphic) aggravation of the peak seismic acceleration at the ground surface of alluvial valleys. For this purpose, 2D numerical seismic response analyses were performed for uniform trapezoidal valleys on visco-elastic bedrock with the finite difference method (FLAC). The excitations used were vertically impinging SV waves with time-histories based on seismic recordings (Aigion and Kozani, Greece, earthquakes of 1995) that were appropriately scaled to attain the desired predominant period.

To disallow artificial reflections at the boundaries, the finite difference mesh included the bedrock and extended to great lengths horizontally and vertically from the alluvial valley. For the same purpose, the excitations were imposed as time-histories of shear stress at the bottom (horizontal) boundary of the mesh, along with quiet boundaries (dashpots), while free-field boundaries were applied at its vertical (lateral) sides. Two (2) types of analyses were performed, depending on how the soil response was modeled: a) visco-elastic, where the soil was modeled elastic medium with Rayleigh damping, and b) non-linear, where the soil was modeled as a non-linear material obeying a Ramberg-Osgood hysteretic response.

In the former type of analyses, Rayleigh damping was calibrated to provide the desired damping ratio ξ at the frequencies of importance, namely between the predominant frequency of the excitation ω_e and the fundamental period of the soil column (in 1D) ω_s, since the final frequency of vibration is expected to lie in between these two values. For simplicity, this intermediate frequency ω_{min} for each analysis assumed equal to the average value of the 2 foregoing frequencies. In the non-linear analyses, the Ramberg-Osgood model used is known to accurately model the degradation of shear modulus G and the increase of hysteretic damping ξ with cyclic shear strain γ. For example, Fig. 1 shows the non-linear model calibration on the well-established empirical curves of G/G_{max}-γ and ξ-γ of Vucetic & Dobry (1991).

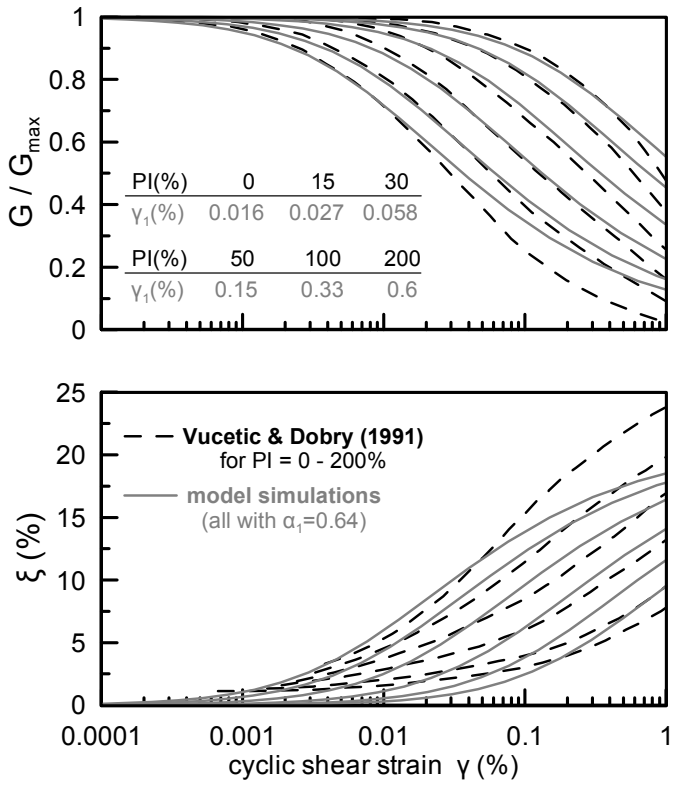


Fig. 1: Calibration of non-linear soil model (constants α_1 and γ_1) on the empirical curves of Vucetic & Dobry (1991)

Performing an analysis of the 2D basin provides a full picture of the variability of seismic motion at the horizontal ground surface of the soil and the outcropping rock. Nevertheless, of importance here is the depiction of "basin" effects, i.e. of the geomorphic aggravation of the peak ground acceleration at each location of the horizontal ground for each exemplary case. This cannot be accurately depicted by a single analysis, because it is unclear whether the observed variability is an effect of the "basin" or of the soil or rock conditions at each location. Hence, for each 2D basin analysis, a couple of 1D analyses were also performed with FLAC for the same excitation and damping configuration, one where the soil layer is of infinite width (depicting free-field soil response under 1D conditions; denoted as 1D_soil) and one where the whole profile is rock (depicting the free field rock response under 1D conditions; denoted as 1D_rock). As a first step, from each 2D basin analysis the values the peak horizontal acceleration PHA and the peak parasitic vertical acceleration PVA at each location of the ground surface were kept in memory. Note that the term "parasitic" is introduced for the PVA, since the incident motion is purely horizontal vibration (vertically incident SV waves) and therefore any vertical vibration at the ground surface is purely a result of wave refraction at the included boundaries of the basin. Then, from the corresponding 1D_soil and 1D_rock analyses, the values of PHAs and PHAr were retrieved, i.e. the respective values of the peak

horizontal acceleration. Obviously, the respective values of PVAs and PVAr are equal to zero, since they correspond to purely 1D condition.

Given the foregoing values, the **horizontal geomorphic aggravation factor A_h** is defined at each location of the ground surface, as the ratio of the PHA over the value of PHA from the appropriate 1D analysis (i.e. PHAs or PHAr). In particular, if the location at the ground surface sits on soil, then the horizontal geomorphic aggravation factor A_h = PHA/PHAs, while if the location at the ground surface sits on outcropping rock then A_h = PHA/PHAr. Similarly, the **parasitic vertical geomorphic aggravation factor A_v** is defined at each location of the ground surface, as the ratio of the PVA over the value of PHA from the appropriate 1D analysis (i.e. PHAs or PHAr), as for A_h. Obviously, this selection of denominator is based on the fact that PVAs = PVAr = 0, as explained above. Moreover, this selection for the denominator of A_v provides a measure of the relative importance of the parasitic vertical motion, as compared to its horizontal counterpart.

The specific goal of this thesis was to investigate certain limitations of published pertinent literature, and on their effects on the spatial variability of A_h and A_v factors for vertically impinging SV waves. In particular, for reasons of simplicity alone, published literature usually focuses on symmetric alluvial valleys (of various shapes), that have horizontal topography and in which both the soil and the rock are assumed uniform (visco-)elastic materials. Hence, the effect of non-symmetry of the alluvial valley is first investigated, by considering trapezoidal valleys with horizontal topography, having buried lateral boundaries with different slope angles. Then, the effect of non-horizontal outcropping bedrock topography was investigated in otherwise symmetric alluvial valleys, in an attempt to quantify the seismic interaction between surface topography and bedrock geomorphology. Finally, the effects of employing a non-linear hysteretic soil model (instead of a visco-elastic model) were investigated, in order to ascertain the limitations of the latter model.

In order to investigate the effects of non-symmetry of a trapezoidal alluvial valley, comparisons were made between the seismic responses of non-symmetric trapezoidal valleys and the corresponding symmetric valleys, i.e. the 2 valleys that have the same width B and buried lateral boundaries with the same slope angles as the non-symmetric one, under the same seismic excitation conditions. As an example of this approach, Figure 2 presents the (spatial) variability of A_h and A_v as a function of the horizontal distance x from the center of the valley (normalized over its width B), for a case of a “narrow” non-symmetric valley (slope angles i1=90° and i2=45°) and the Aigion excitation. The same figure also includes the spatial variability of A_h and A_v of its corresponding symmetric valleys, as well as an empirical approximation of an

"average" seismic response of the 2 symmetric valleys, in order to be compared to that of the non-symmetric valley.

Such comparisons lead to the following conclusions, for "narrow" valleys:

- Near the edges, the seismic response of the non-symmetric case is identical to that of the corresponding symmetric one, in terms of both the horizontal (A_h) and the parasitic vertical (A_v) geomorphic aggravations. In addition, identical seismic response (to its corresponding symmetric one) is observed and outside the valley, all along the horizontally outcropping neighboring bedrock.

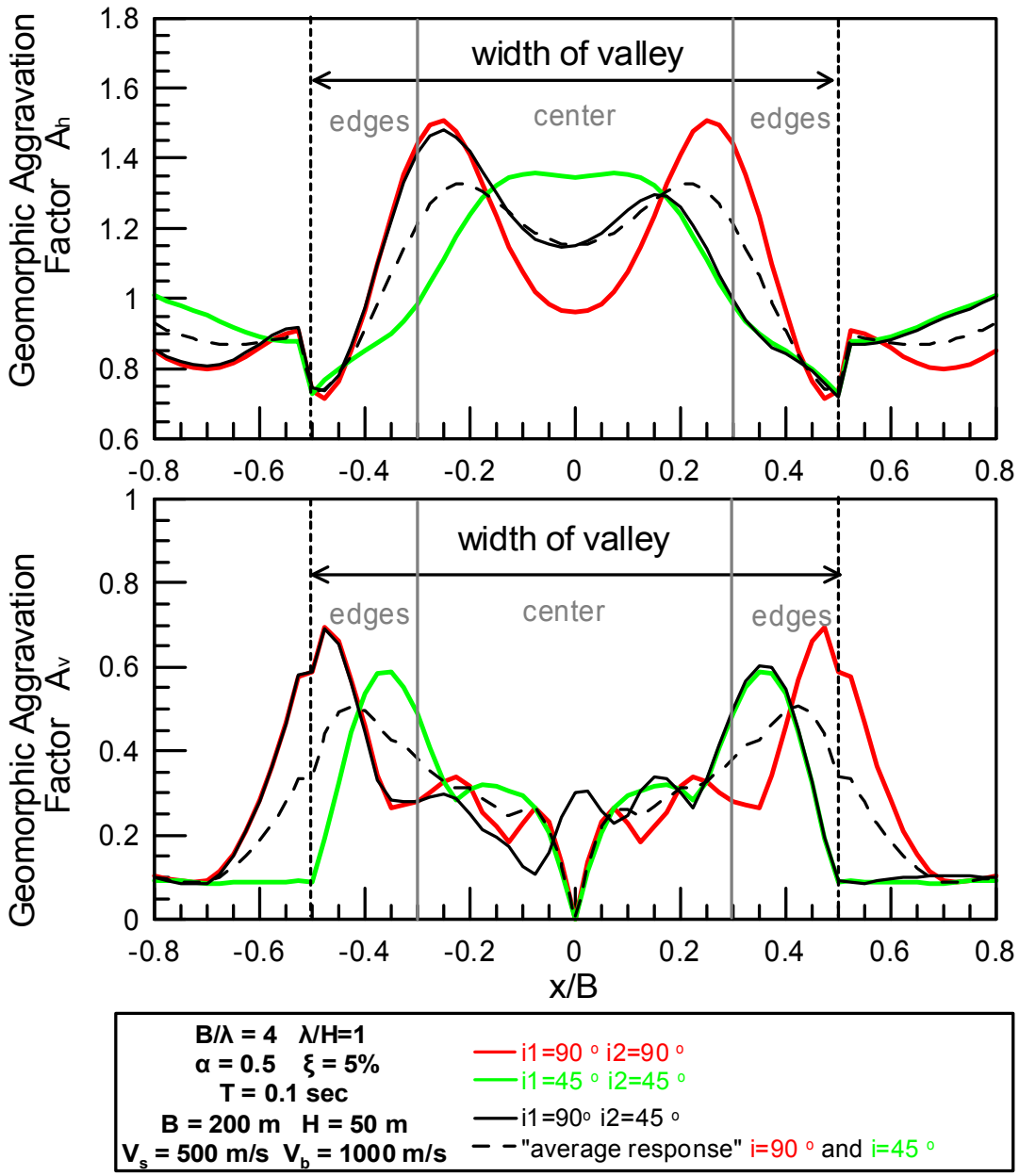


Fig. 2: Effect on non-symmetry of trapezoidal valleys on the spatial variation of geomorphic aggravation factors A_h and A_v, for a case of a "narrow" valley (i1=90°, i2=45°) under the Aigion excitation

- At the central part of the valley, the seismic response of the non-symmetric case deviates from those of the corresponding symmetric ones, in terms of both the horizontal (A_h) and the parasitic vertical (A_v) geomorphic aggravations. This is considered an effect of the intense interaction of the non-symmetric buried slopes in cases of relatively "narrow" valleys, which is diminished at its edges.
- The foregoing deviation in seismic response at the central part of the valley is quite important for A_h, mainly when one of the 2 bedrock slopes is small (e.g. 30°), and this because a small angle in one of the two slopes leads to significant A_h values, while the opposite occurs for low slope angles. If both slopes of a "narrow" valley are characterized by small angles, then high values of A_h are expected in both symmetric and non-symmetric valleys, and hence there is no practical usage of a "average" response. The deviation in seismic response at the central part of the valley is less important for A_v and cannot be approximated by an "average" response. In any case, what A_v variability at the central part is of little practical importance since the significant A_v values are observed near the edges of the valley.

Figure 3 presents similar exemplary results in the format of Fig. 2, but for a case of a "wide" valley (i1=45°, i2=15°) under the Aigion excitation. Note that this figure does not include an "average" response, since such an approach has no physical meaning for "wide" valleys. In particular, such comparisons for "wide" valleys show that the seismic response of the non-symmetric case is identical to that of the corresponding symmetric one, in terms of both the horizontal (A_h) and the parasitic vertical (A_v) geomorphic aggravations, not only near the edges, but all along the valley width. This because there is no interaction of the two buried slopes, given the wide width of the valley (other than the local non-zeroing of A_v at the very center of the non-symmetric valley).

Overall, with respect to the interaction of the two buried bedrock slopes of trapezoidal valleys, the following may be concluded:

- The seismic response of a single-sloped (open ended) valley is identical to that of a "wide" symmetric (or not) valley, both in terms of A_h and A_v values, all along the half-width of the valley (from normalized distance x/B=-0.5 to x/B=0) but also along the horizontally outcropping neighboring bedrock, while
- The seismic response of a single-sloped (open ended) valley converges to that of a "narrow" valley (symmetric or not) only near its edges (and the horizontally outcropping neighboring bedrock). On the contrary, the interaction of the two buried bedrock slopes leads to deviations in the response, as the distance from its edges increases.

- The interaction is less intense as the buried slope angles increases, while for i=90° slopes even a "narrow" valley with normalized width B/λ=4 may show no interaction of its buried slopes.

In closure, it may be stated that the peak geomorphic aggravation factors A_{hmax} and A_{vmax} are always observed near the edge of a non-symmetric valley that is characterized by the largest buried slope angle. The only exception to this rule is the A_{hmax} for "narrow" valleys which is observed near the centerline, as in symmetric valleys of the same width.

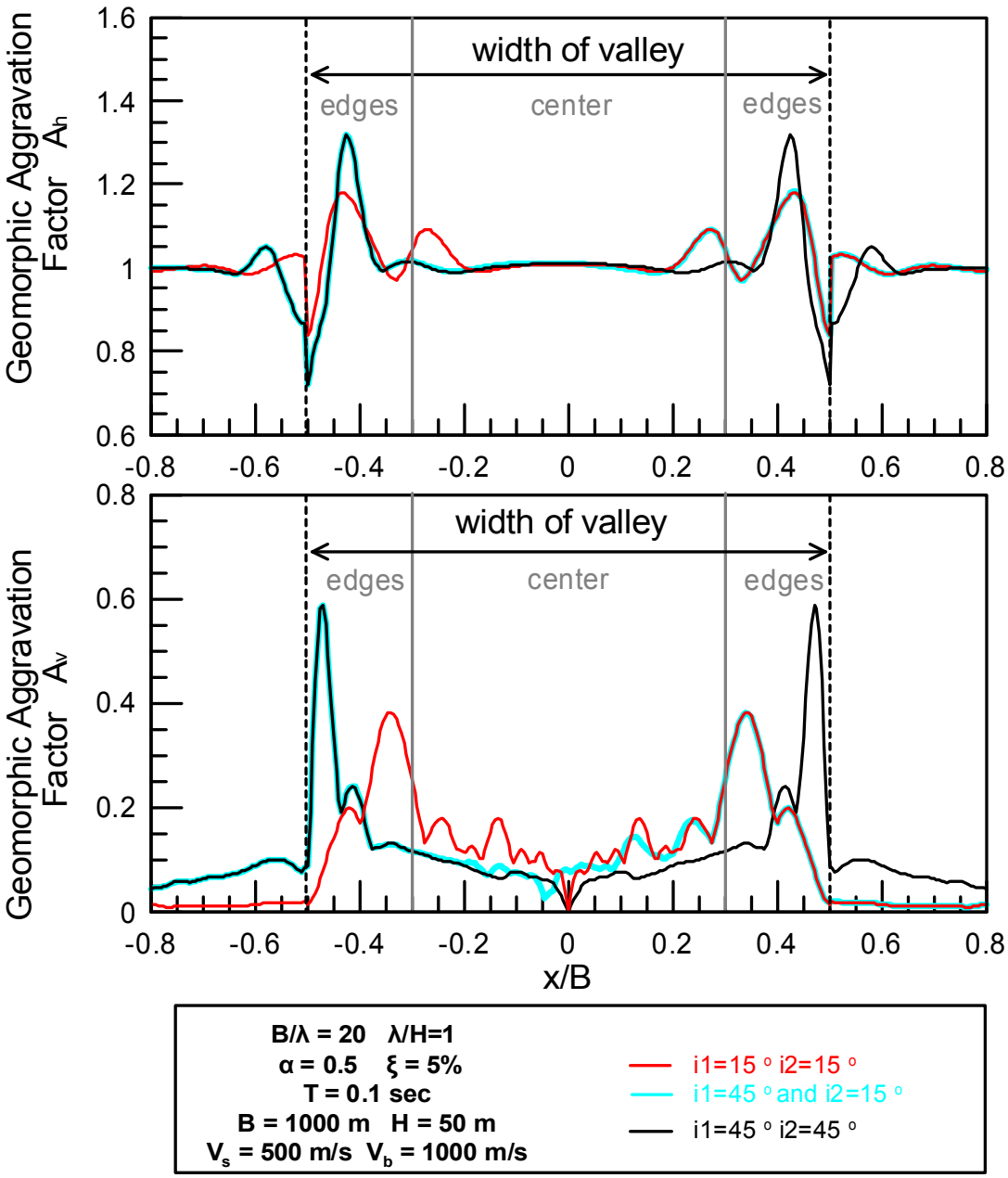


Fig. 3: Effect on non-symmetry of trapezoidal valleys on the spatial variation of geomorphic aggravation factors A_h and A_v, for a case of a "wide" valley (i1=45°, i2=15°) under the Aigion excitation.

Then, the emphasis was put on studying the effect of non-horizontal outcropping bedrock topography on the seismic ground response of otherwise symmetric alluvial valleys. This investigation targeted the quantification of the seismic interaction between surface topography and bedrock geomorphology.

To do so, Fig. 4 compares results of ground response analyses in terms of the total aggravation factors, i.e. the ratio PHA/PHA_r for the horizontal direction irrespective of whether the ground is soil or bedrock, and similarly PVA/PHA_r for the vertical direction, to give emphasis to how the ground type of the valley affects the response of the non-horizontally outcropping neighboring bedrock. On the basis of similar comparisons it may be concluded that the alluvial valley does not affect the seismic response on the outcropping bedrock slopes. In other words, the values of the horizontal and vertical aggravations of seismic ground motion are affected only from the surface topography characteristics (e.g. the height, and possibly the inclination) and not from what type of ground material may be found at its toe (i.e. whether it is soil or rock).

In order to investigate whether the existence of non-horizontally outcropping bedrock affects the geomorphic aggravation of a neighboring alluvial valley, Figure 5 compares results of ground response analyses in terms of the geomorphic aggravation factors A_h and A_v. In particular, the presented (as well as similar) comparisons show a distinct effect, namely the existence of outcropping bedrock slopes leads to:

- An increase of the significant values of A_h and the dislocation of the location of where A_{hmax} is observed further from the edges of the valley. These effects are small in cases of single-sloped (open ended) or “wide” valleys, but significant in cases of “narrow” valleys where A_{hmax} is observed at the center. In “narrow” valleys where interaction of the sloped bedrock faces is significant, the existence of merely one outcropping bedrock slope suffices for increasing the peak values of A_h, while the existence of a second outcropping bedrock slope leads to even further enhancement of the peak values, due to even more intense interaction,
- A very small increase of the significant values of A_v (practically negligible) and the dislocation of the location of where A_{vmax} is observed further from the edges of the valley, especially in “narrow” valleys and less so in “wide” or single-sloped (open ended) ones.

It should be underlined that lack of symmetry of the alluvial valley corresponds to non-symmetry of the buried bedrock, while the existence of one, two or none outcropping bedrock slopes corresponds to non-symmetry of the outcropping bedrock.

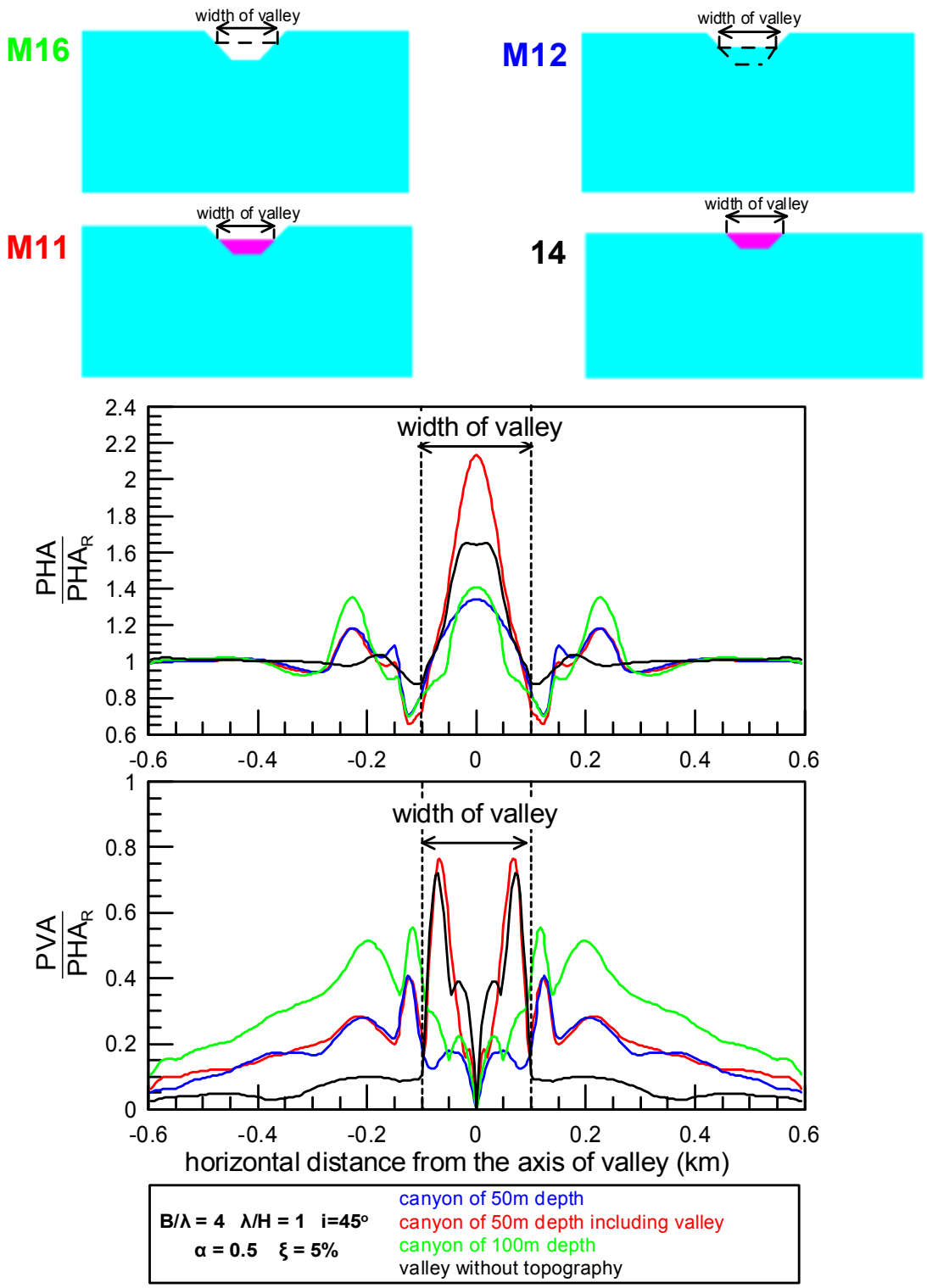


Fig. 4: Effect of trapezoidal symmetrical valleys (with or without soil at their base) on the spatial variation of the total aggravation factors, under the Aigion excitation

Hence, both cases comprise non-symmetrical geomorphology features. In this respect, this study shows that the seismic response of a non-symmetrical geomorphology feature is identical to that of a single-faced (open ended) similar feature, at least at area outside the alluvial valley, i.e. where the bedrock outcrops.

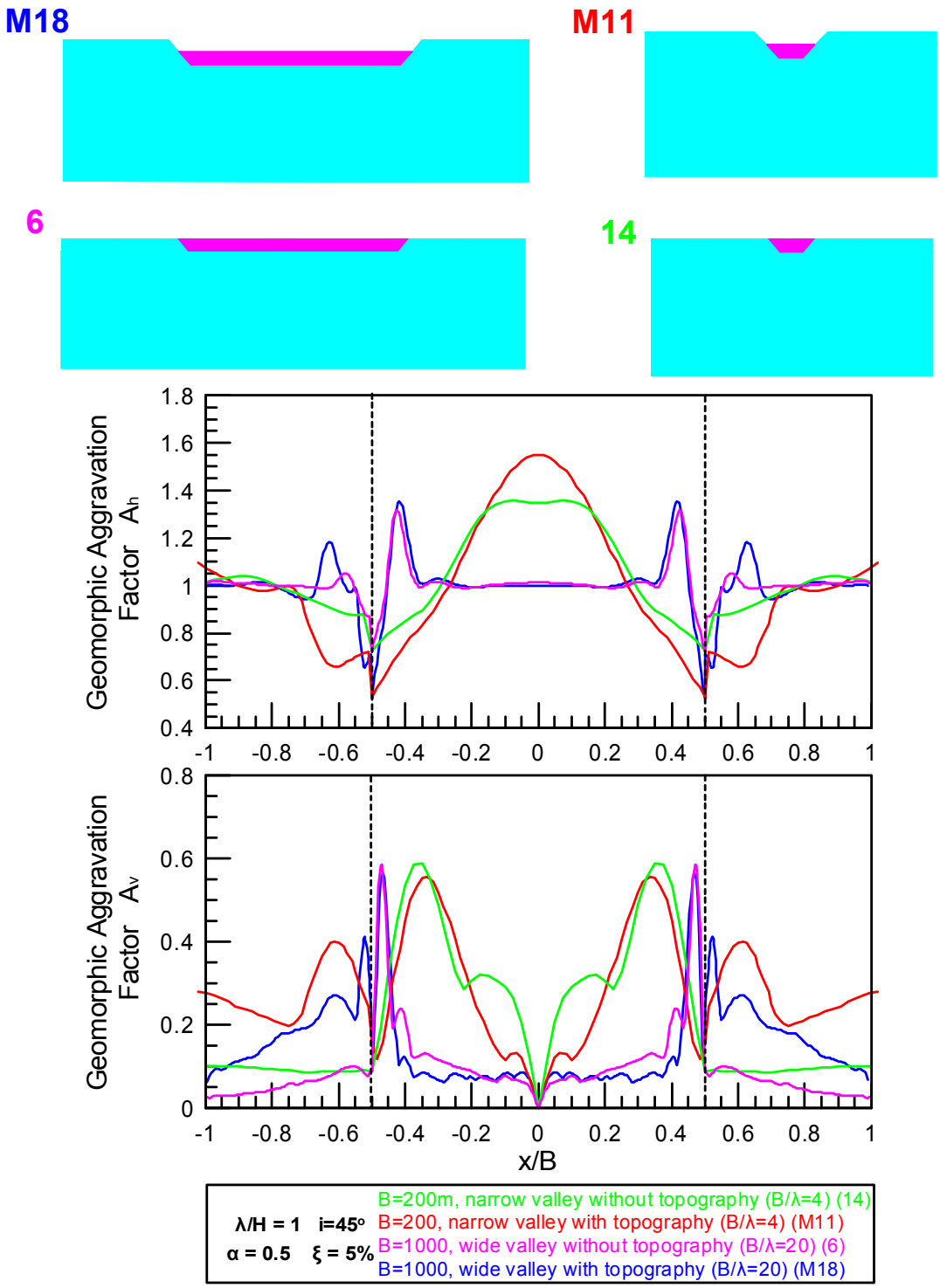


Fig. 5: Effect of existence of outcropping bedrock slopes on the spatial variation of geomorphic aggravation factors A_h and A_v of "narrow" and "wide" symmetrical valleys, under the Aigion excitation

The response is identical in terms of horizontal aggravation factor A_h all along the alluvial valley if this is "wide", but only near the edges if this is "narrow". On the contrary, for the parasitic vertical aggravation factor A_v the response is practically identical even within the alluvial valley, essentially irrespective of its width.

Finally, the focus was set on employing a non-linear hysteretic soil model (instead of a visco-elastic model) for the simulation of alluvial soil response. The target of this investigation was to test the accuracy and the limitations of employing (visco-)elastic soil models in the study of geomorphic aggravation of seismic ground motion, i.e. the most usually selected assumption in published literature so far. To do so, a number of viscoelastic seismic ground response analyses (for symmetric trapezoidal valleys on horizontally outcropping bedrock) were repeated for different levels of outcropping bedrock acceleration PHA_r (0.02g, 0.10g, 0.25g), by employing the aforementioned non-linear hysteretic model for the alluvial soil but with the same elastic properties as in the visco-elastic analysis. Then, comparisons were made in terms of the spatial variation of geomorphic aggravation factors A_h and A_v between the results of the viscoelastic analysis (with a set value of Rayleigh damping, irrespective of PHA_r) and those of the non-linear analyses for the 3 different acceleration levels, as presented in the example of Fig. 6. Similar comparisons lead to the following conclusions:

- The spatial variation of horizontal A_h and parasitic vertical A_v geomorphic aggravation factors from non-linear analyses are qualitatively similar with the pertinent results from visco-elastic analyses.
- Yet, the use of a non-linear model leads to quantitative differences in both A_h and A_v values. More specifically, the intensity of shaking (i.e. PHA_r) leads to:
  - ❖ slight or significant increase in the values of A_h from non-linear analyses, at least in the usual cases when the alluvial soil column is flexible enough to have an (elastic) fundamental period larger or equal to the predominant excitation period. The amount of increase in A_h values is governed mainly from the effect of PHA_r level on seismic amplification under 1D shaking conditions. In particular, an increase in PHA_r leads to slight decrease in 1D site amplification when the soil layer is far from resonance or even when the soil layer is near resonance but exhibits mild non-linear response (e.g. for a clay with PI=50% in Fig. 6). This slight decrease in 1D site amplification leads to a slight increase in the values of A_h. On the contrary, an increase in PHA_r leads to significant decrease in 1D site amplification when the soil layer is near resonance and the soil is a highly non-linear material (e.g. non-cohesive with PI=0%). This results in a significant increase of A_h values with an increase of PHA_r.
  - ❖ significant increase in the values of A_v from non-linear analyses. These increases are due to both an increase in parasitic vertical accelerations, as well as in the slight or significant decrease in 1D site amplification described above. These larger parasitic vertical accelerations in non-linear analyses are not new in published literature, but still are an issue that requires further investigation in order to ascertain whether these are a product of high

frequency harmonics (which are of little importance for civil engineering works).

- The effect of dimensionless valley thickness ratio λ/H in non-linear analyses is similar to that from visco-elastic analyses. In particular, a change in λ/H affects the spatial variation of A_h and A_v along the valley. More specifically, as the thickness of the valley decreases (i.e. λ/H increases), the locations of peak geomorphic aggravation are dislocated towards the edges of the valley, and this for all tested shaking intensities. Concurrently, the values of A_h and A_v generally decrease, with this decrease being independent of PHA_r level for the former and less intense as PHA_r increases for the latter aggravation factor.
- The effect of dimensionless valley width ratio B/λ in non-linear analyses is qualitatively similar to that from visco-elastic analyses, but there are quantitative differences. In particular, a change in B/λ affects the spatial variation of A_h and A_v along the valley. More specifically, as the width of the valley increases (i.e. B/λ increases), the locations of peak geomorphic aggravation are dislocated towards the edges of the valley, and this for all tested shaking intensities. In parallel, for medium (PHA_r = 0.10g) and high intensity (PHA_r = 0.25g) shaking, "narrow" valleys leads to higher A_h and A_v values as compared to "wide" valleys, a differentiation that is not observed in low intensity shaking (PHA_r = 0.02g) or visco-elastic analyses.
- The number of significant excitation cycles does not qualitatively affect the spatial variation of geomorphic aggravation. Quantitatively, the excitation with 4 significant cycles (Kozani) leads to systematically higher A_h and A_v values, as compared to those for the excitation with 1 significant cycle (Aigio). This result stems from non-linear analyses and is more or less consistent irrespective of PHA_r level. It should be mentioned that visco-elastic analyses depicted no effect of number of significant cycles, especially in the horizontal direction.
- The increase of soil plasticity index PI(%) is generally related to a decrease in its non-linear nature, as depicted by the empirical curves of Vucetic & Dobry (1991) included in Fig. 1. By comparing results for intensely non-linear (e.g. PI=0%) and mildly non-linear (e.g. PI=50%) alluvial valleys, one does not observe qualitative differences in the spatial variation of A_h and A_v factors. Yet, geomorphic aggravation factors increase with the intensity of non-linearity, i.e. A_h and A_v factors increase as the PI(%) of the soil decreases, for the same level of shaking intensity PHA_r. For the same reason, the differentiation in A_h and A_v values for non-cohesive and cohesive soils increases, as the intensity of shaking PHA_r increases.
- As a general rule, results show that visco-elastic analyses satisfactorily approximate non-linear geomorphic aggravation of valleys with intensely non-linear soil (e.g. PI=0%) for low intensity excitations (e.g. PHA_r = 0.02g), while

they under-predict the values of A_h for higher shaking intensities. On the contrary, for the most usual case of valleys with mildly non-linear soil (e.g. PI > 0%), results show that visco-elastic analyses are more in tune with mildly intense shaking (e.g. PHA_r = 0.10g), while they under-predict the values of A_h only for high intensity shaking. In accordance, visco-elastic analyses seem conservative for low intensity shaking of such valleys. For A_v, visco-elastic analyses always seem to under-predict the non-linear results, with the possible exception of low intensity motions.

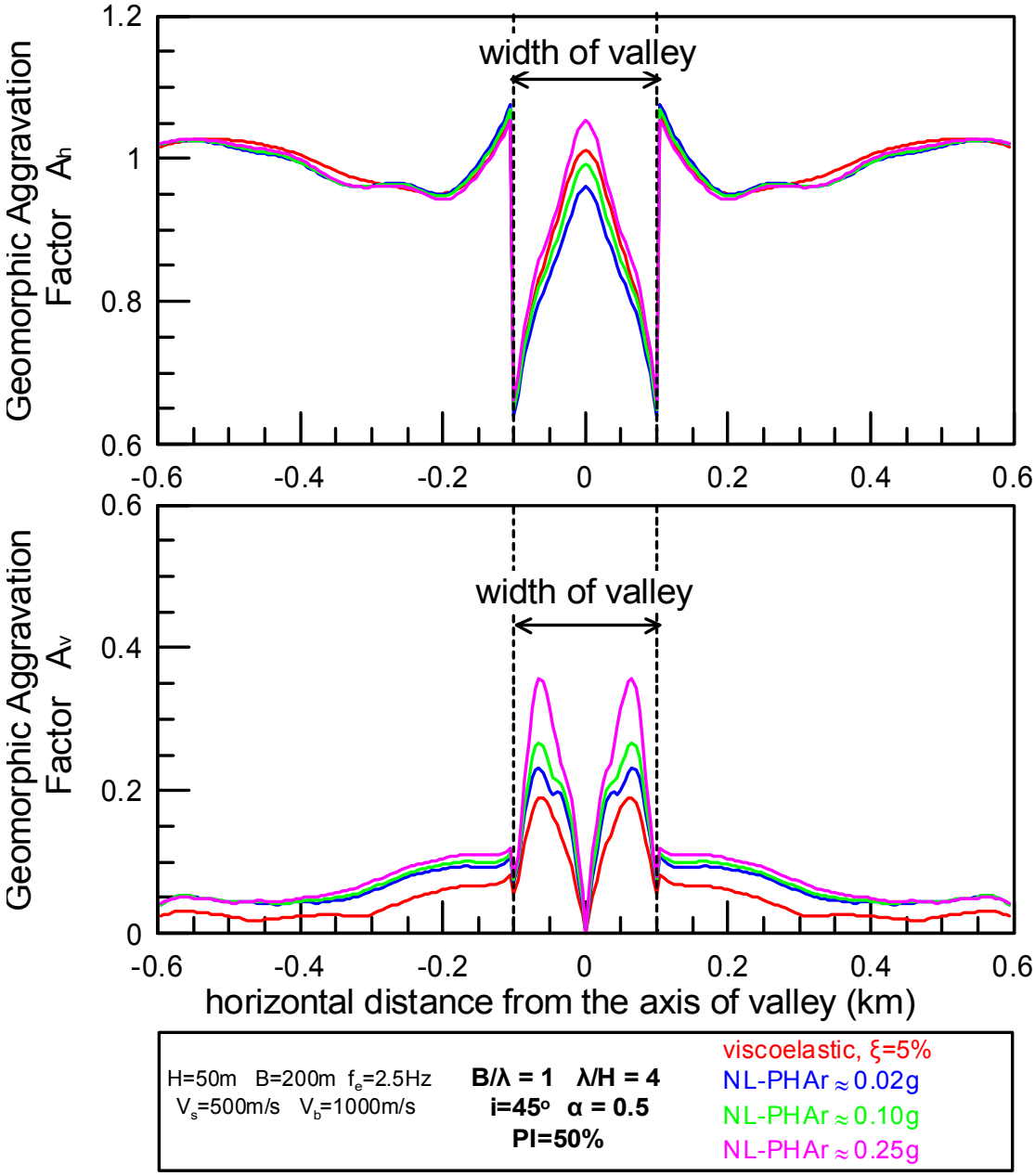


Fig. 6: Effect of acceleration level (at outcropping bedrock, PHA_r) on the spatial variation of geomorphic aggravation factors A_h and A_v for the case of a "narrow" alluvial valley whose 1D linear seismic response is near resonance, for a mildly non-linear soil (PI=50%), under the Aigion excitation

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αφορά στην παραμετρική διερεύνηση του προβλήματος της (γεωμορφικής) επιδείνωσης της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης στην επιφάνεια του εδάφους αλλουβιακών κοιλάδων. Για το σκοπό αυτό εκτελέσθηκαν 2Δ αριθμητικές αναλύσεις σεισμικής απόκρισης για ομοιόμορφες τραπεζοειδείς λεκάνες επί ιξωδο-ελαστικού υποβάθρου, με διεγέρσεις που αφορούν κατακορύφως προσπίπτοντα κύματα SV με χρονοϊστορίες που βασίζονται σε σεισμικές καταγραφές (Αίγιο, Κοζάνη 1995).

Ειδικότερα, στόχος της εργασίας είναι η αναίρεση ορισμένων περιορισμών που έχουν ληφθεί υπόψη στην αναλυτική και αριθμητική μελέτη του προβλήματος στη βιβλιογραφία. Πιο συγκεκριμένα, χάριν απλότητας, η βιβλιογραφία συνήθως επικεντρώνεται σε ομοιόμορφες συμμετρικές λεκάνες (διαφόρων σχημάτων), που έχουν οριζόντια επιφάνεια αναγλύφου και στις οποίες το έδαφος και ο βράχος θεωρούνται ομοιόμορφα (ιξωδο-) ελαστικά υλικά. Για την ποσοτικοποίηση της γεωμορφικής επιδείνωσης στην οριζόντια διεύθυνση ορίζεται ο λόγος A_h της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης σε κάθε θέση, προς την αντίστοιχη τιμή υπό 1Δ συνθήκες ταλάντωσης στην ίδια θέση. Αντίστοιχα, ορίζεται ο λόγος A_v σε κάθε θέση, με τον αριθμητή να έχει ως τιμή τη μέγιστη (παρασιτική) κατακόρυφη επιτάχυνση σε κάθε θέση, και τον παρονομαστή να είναι εκείνος του A_h, δεδομένου ότι δεν υπάρχει κατακόρυφη ταλάντωση υπό 1Δ συνθήκες.

Έτσι, αρχικώς, μελετήθηκε η επίδραση της μη-συμμετρίας της εδαφικής λεκάνης (με τα δύο θαμμένα πρανή της να έχουν διαφορετική γωνία κλίσης i) στη γεωμορφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας A_h και της παρασιτικής κατακόρυφης A_v επιτάχυνσης στην επιφάνεια του εδάφους. Για περιπτώσεις «στενών» εδαφικών λεκανών παρατηρείται ταύτιση της απόκρισης της μη-συμμετρικής κοιλάδας με εκείνες των αντιστοίχων συμμετρικών στην περιοχή των άκρων (αλλά και εκτός των ορίων της κοιλάδας, στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν), τόσο για τις οριζόντιες (A_h) όσο και για τις κατακόρυφες (A_v) επιδεινώσεις. Ταυτόχρονα όμως, παρατηρείται απόκλιση της σεισμικής απόκρισης στην περιοχή του κέντρου, ως αποτέλεσμα της έντονης αλληλεπίδρασης των ανόμοιων πρανών που βρίσκονται σε σχετικώς κοντινή απόσταση. Αντιθέτως, για περιπτώσεις «ευρειών» ή «πολύ ευρειών» (οιωνεί «μονοκλινών») εδαφικών λεκανών προκύπτει τέλεια ταύτιση της σεισμικής απόκρισης της μη-συμμετρικής λεκάνης με τις εκείνες των αντιστοίχων συμμετρικών, και στις δύο συνιστώσες της ταλάντωσης, και σε όλο το μήκος της λεκάνης, καθώς δεν υπάρχει αλληλεπίδραση των πρανών (πέραν του μη-μηδενισμού της A_v στο κέντρο της μη-συμμετρικής κοιλάδας).

Στη συνέχεια, μελετήθηκε η αλληλεπίδραση της τοπογραφίας αναγλύφου και μορφολογίας υποβάθρου στη σεισμική απόκριση. Προκύπτει πως η εδαφική λεκάνη δεν επηρεάζει τη σεισμική απόκριση στα αναδυόμενα πρανή υποβάθρου. Με άλλα λόγια, οι τιμές των οριζόντιων και κατακόρυφων ενισχύσεων της σεισμικής κίνησης, στην περιοχή εκτός των ορίων μιας εδαφικής λεκάνης που έχει υπερυψωμένα πρανή, εξαρτώνται μόνο από το πόσο έντονη είναι η τοπογραφία του αναγλύφου (δηλαδή πόσο είναι το ύψος του πρανούς που εξέχει από την επιφάνεια, ή και η κλίση του), κι όχι από το αν το υλικό στη βάση του πρανούς είναι βραχώδες ή εδαφικό. Αντιθέτως, η ύπαρξη υπερυψωμένων πρανών οδηγεί στην αύξηση των σημαντικών τιμών του συντελεστή A_h και την εμφάνιση των μεγίστων τιμών αυτού σε μεγαλύτερη απόσταση από τα όρια της λεκάνης. Η επίδραση αυτή είναι μικρή σε περιπτώσεις «μονοκλινών» ή «ευρειώ
ν» κοιλάδων, αλλά σημαντική σε περιπτώσεις «στενών» κοιλάδων, όπου οι μέγιστες τιμές επιδείνωσης εμφανίζονται στο κέντρο τους. Σχετικά με το συντελεστή A_v παρατηρείται πολύ μικρή μείωση των σημαντικών ενισχύσεων και εμφάνιση των μεγίστων τιμών του σε μεγαλύτερη απόσταση από τα όρια της λεκάνης κυρίως σε «στενές» και λιγότερο στις «ευρείες» ή «μονοκλινείς» κοιλάδες.

Τέλος, μελετήθηκε η επίδραση της χρήσης ενός μη-γραμμικού υστερητικού προσομοιώματος (τύπου Ramberg-Osgood) για το έδαφος, αντί για τη συνήθη θεώρηση ιξωδο-ελαστικής συμπεριφοράς. Η πιο ρεαλιστική αυτή προσομοίωση επιβεβαίωσε ότι η ιξωδο-ελαστική θεώρηση δίνει ποιοτικώς ορθά αποτελέσματα για τη γεωμορφική επιδείνωση, αλλά η ποσοτική της ακρίβεια περιορίζεται σε μικρής και μεγάλης έντασης διεγέρσεις. Πιο συγκεκριμένα, η αύξηση της έντασης της διέγερσης οδηγεί σε αύξηση των οριζόντιων (A_h) και κατακόρυφων (A_v) γεωμορφικών ενισχύσεων. Η αύξηση αυτή οφείλεται κυρίως στη μείωση των ενισχύσεων υπό 1Δ συνθήκες, δηλαδή στη μείωση του κοινού παρονομαστή των λόγων A_h και A_v με την αύξηση της έντασης ως αποτέλεσμα της πιο έντονης μη-γραμμικής συμπεριφοράς του εδάφους (γίνεται πιο εύτμητο με μεγαλύτερη απόσβεση). Επιπλέον προκύπτει ότι η ανωτέρω αύξηση των A_h και A_v γίνεται σημαντικότερη, όσο αυξάνουν οι σημαντικοί κύκλοι της διέγερσης, και όσο πιο μη-γραμμικό είναι το έδαφος (π.χ. για συνεκτικό έδαφος η ιξωδο-ελαστική θεώρηση είναι ποσοτικά ακριβής για μικρής και μέτριας έντασης διεγέρσεις, αλλά για μη-συνεκτικό έδαφος μόνο για μικρής έντασης).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

Η εργασία αφορά στην παραμετρική διερεύνηση του προβλήματος της (γεωμορφικής) επιδείνωσης της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης στην επιφάνεια του εδάφους αλλουβιακών κοιλάδων. Για το σκοπό αυτό εκτελέσθηκαν 2Δ αριθμητικές αναλύσεις σεισμικής απόκρισης για ομοιόμορφες τραπεζοειδείς λεκάνες επί ιξωδο-ελαστικού υποβάθρου, με διεγέρσεις που αφορούν κατακορύφως προσπίπτοντα κύματα SV με χρονοϊστορίες που βασίζονται σε σεισμικές καταγραφές (Αίγιο, Κοζάνη 1995).

Ειδικότερα, στόχος της εργασίας είναι η αναίρεση ορισμένων περιορισμών που έχουν ληφθεί υπόψη στην αναλυτική και αριθμητική μελέτη του προβλήματος στη βιβλιογραφία. Πιο συγκεκριμένα, χάριν απλότητας, η βιβλιογραφία συνήθως επικεντρώνεται σε ομοιόμορφες συμμετρικές λεκάνες (διαφόρων σχημάτων), που έχουν οριζόντια επιφάνεια αναγλύφου και στις οποίες το έδαφος και ο βράχος θεωρούνται ομοιόμορφα (ιξωδο-) ελαστικά υλικά. Για την ποσοτικοποίηση της γεωμορφικής επιδείνωσης στην οριζόντια διεύθυνση ορίζεται ο λόγος A_h της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης σε κάθε θέση, προς την αντίστοιχη τιμή υπό 1Δ συνθήκες ταλάντωσης στην ίδια θέση. Αντίστοιχα, ορίζεται ο λόγος A_v σε κάθε θέση, με τον αριθμητή να έχει ως τιμή τη μέγιστη (παρασιτική) κατακόρυφη επιτάχυνση σε κάθε θέση, και τον παρονομαστή να είναι εκείνος του A_h, δεδομένου ότι δεν υπάρχει κατακόρυφη ταλάντωση υπό 1Δ συνθήκες.

Πιο αναλυτικά, μελετήθηκαν η επίδραση της μη-συμμετρίας της κοιλάδας, η αλληλεπίδραση τοπογραφίας αναγλύφου και μορφολογίας υποβάθρου καθώς επίσης και η χρήση μη γραμμικού προσομοιώματος (τύπου Ramberg-Osgood) για το έδαφος. Με τον τρόπο αυτό πιστεύεται ότι τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα εργασία θα μπορούν να τύχουν γενικότερης εφαρμογής για την προσεγγιστική εκτίμηση της επίδρασης της μορφολογίας υποβάθρου και σε πραγματικές περιπτώσεις λεκανών.

1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Η εργασία αυτή αποτελείται από 7 κεφάλαια, με το παρόν πρώτο να είναι εισαγωγικό και να παρουσιάζει το αντικείμενό της και τη διάρθρωσή της. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρατίθεται η σχετική με την εργασία βιβλιογραφική έρευνα που έγινε σε διαδικτυακές βάσεις δεδομένων και ανάλογες βιβλιοθήκες, ώστε να αποτυπωθεί η τυπική σεισμική απόκριση κοιλάδων με βάση καταγραφές ή αναλύσεις, και να

διατυπωθούν οι βασικές παραδοχές πάνω στις οποίες βασίστηκαν οι αναλύσεις της παρούσας εργασίας.

Στη συνέχεια, το τρίτο κεφάλαιο περιέχει αρχικά τις απαραίτητες πληροφορίες για το λογισμικό πεπερασμένων διαφορών το οποίο χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις (FLAC), όπως τις μαθηματικές αρχές στις οποίες στηρίζεται και τις υπολογιστικές του ικανότητες. Μετά αναλύεται πλήρως η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στις αναλύσεις, δηλαδή τα χαρακτηριστικά και η μορφή ενός τυπικού καννάβου, ο τρόπος εισαγωγής της σεισμικής διέγερσης στη βάση του, οι συνοριακές συνθήκες στα άκρα, οι μορφές των επιλεχθέντων σεισμικών διεγέρσεων, αλλά και ο τρόπος εκτίμησης των αποτελεσμάτων σε όρους εδαφικής ενίσχυσης λόγω της ύπαρξης μιας πεπερασμένου εύρους κοιλάδας.

Το τέταρτο κεφάλαιο μελετά την επίδραση της μη-συμμετρίας της εδαφικής λεκάνης (με τα δύο θαμμένα πρανή της να έχουν διαφορετική γωνία κλίσης i) στη γεωμορφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας A_h και της παρασιτικής κατακόρυφης A_v επιτάχυνσης στην επιφάνεια του εδάφους για περιπτώσεις «στενών», «ευρειών» και «μονοκλινών» λεκανών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο μελετάται η αλληλεπίδραση της τοπογραφίας αναγλύφου και μορφολογίας υποβάθρου στη σεισμική απόκριση. Με άλλα λόγια διερευνάται αρχικά αν η ύπαρξη της εδαφικής λεκάνης επηρεάζει τη σεισμική απόκριση των εκατέρωθεν πρανών τοπογραφίας. Επιπλέον, εξετάζεται η επίδραση της τοπογραφίας αναγλύφου στο πρόβλημα της γεωμορφικής επιδείνωσης των μέγιστων σεισμικών επιταχύνσεων στην επιφάνεια του εδάφους.

Στο έκτο κεφάλαιο, εξετάζεται η επίδραση της χρήσης ενός μη-γραμμικού υστερητικού προσομοιώματος (τύπου Ramberg-Osgood) για το έδαφος, αντί για τη συνήθη θεώρηση ιξωδο-ελαστικής συμπεριφοράς.

Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο αναφέρονται τα σημαντικότερα συμπεράσματα της εργασίας, οι περιορισμοί στη χρήση των αποτελεσμάτων της εργασίας και με ποιό τρόπο μπορούν αυτά τα συμπεράσματα και αποτελέσματα να βοηθήσουν σε περαιτέρω διερεύνηση του συγκεκριμένου προβλήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις στη βιβλιογραφία όπου η γεωμετρία του αναδυόμενου υποβάθρου σχετίζεται με την χωρική διαφοροποίηση που παρατηρείται στην επιφάνεια αλλουβιακών εδαφικών λεκανών. Ένα σχετικό παράδειγμα είναι ο σεισμός του 1988 στην Αρμενία στην κοιλάδα Kirovakan, όπου παρατηρήθηκαν ανομοιόμορφες καταστροφές σε διαφορετικές περιοχές της πόλης (Yegian et al. 1994) οι οποίες αποδίδονται στην επίδραση της εδαφικής λεκάνης ("basin effects"). Άλλα γνωστά παραδείγματα τα οποία χαρακτηρίζονται από μεγάλη συγκέντρωση καταστροφών σε συγκεκριμένες περιοχές αποτελούν η κοιλάδα στο Caracas, σεισμός 1967 (Papageorgiou and Kim 1991), Marina District κατά τη διάρκεια του σεισμού του 1989 στην Loma Prieta (Graves 1993, Zhang and Papageorgiou 1996), καθώς και η κοιλάδα στο Dinar της Τουρκίας το 1995 (B.S. Bakir, M.Y. Ozkan, S. Ciliz 2002).
Τα τελευταία 30 έως 40 χρόνια έχει γίνει σημαντική έρευνα σε ότι αφορά την προσομοίωση της σεισμικής απόκρισης εδαφικών κοιλάδων. Η σεισμική απόκριση εδαφικών αποθέσεων με κεκλιμένο υπόβαθρο μελετήθηκε για πρώτη φορά από τους Dezfulian and Seed (1969). Για την καλύτερη κατανόηση του φαινομένου στις αρχές της δεκαετίας του '70 χρησιμοποιήθηκαν αναλυτικές μέθοδοι για απλές γεωμετρίες και ομοιόμορφες αποθέσεις (Trifunac 1971, Wong and Trifunac 1974). Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν λύσεις από τη θεωρία ακτινών (Ray theory) για αρκετά προβλήματα 2Δ φαινομένων (Hong and Helmberger 1977, Lee and Langston 1983, Ziegler and Pao 1984).
Χρησιμοποιήθηκαν επίσης αριθμητικές μέθοδοι όπως: μέθοδος Aki Larner, μέθοδος πεπερασμένων διαφορών (finite difference), μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων (finite element – F.E.M) και μέθοδος συνοριακών στοιχείων (boundary element – B.E.M). Με όλες αυτές τις μεθόδους υπήρξε η δυνατότητα να μελετηθούν απλά μοντέλα κοιλάδων με απλές διεγέρσεις, αλλά κυρίως πιο περίπλοκες γεωμετρίες πραγματικών κοιλάδων, η μη γραμμικότητα του εδάφους καθώς και η εισαγωγή πραγματικών σεισμών. Οι Bard and Bouchon (1980) μελέτησαν συστηματικά τη δυναμική απόκριση δύο σχηματισμών λεκάνης εισάγοντας κύματα SH, SV και P και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι δημιουργούνται επιφανειακά κύματα (κύματα Love, όταν η διέγερση είναι κύματα SH και κύματα Rayleigh στην περίπτωση των SV και P κυμάτων) στα άκρα της λεκάνης με αποτέλεσμα σημαντικές ενισχύσεις κατά μήκος αυτής. Εκτός από ποιοτικές παρατηρήσεις το φαινόμενο επηρεάζεται ποσοτικά από ποικίλες παραμέτρους όπως είναι η ακριβής γεωμετρία του υποβάθρου (σχήμα, 2Δ ή 3Δ), το είδος των προσπίπτοντων κυμάτων (SH, SV, P), η γωνία πρόσπτωσης των κυμάτων, η δεσπόζουσα περίοδος της διέγερσης του υποβάθρου καθώς επίσης και οι ιδιότητες της εδαφικής στρώσης και του υποβάθρου (Sanchez-Sesma et al. 1988, Loukakis and Bielak 1995, Rassem et al. 1997).

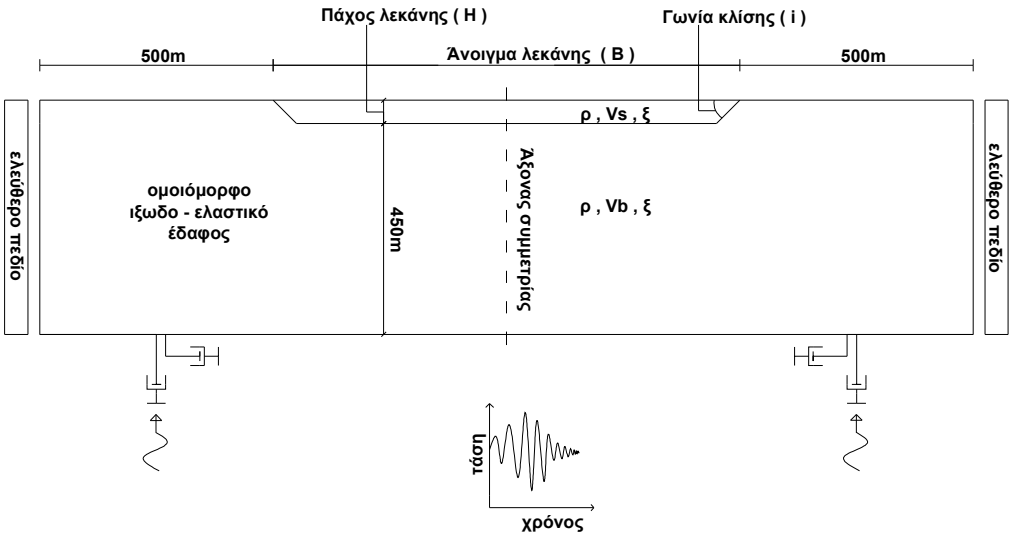
Τα τελευταία χρόνια οι μελέτες άρχισαν να ασχολούνται με την επίδραση της μη γραμμικότητας του εδάφους, (Marsh et al. 1995, Zhang and Papageorgiou 1996, Psarropoulos and Gazetas 2007). Σύμφωνα με αυτές η μη γραμμική συμπεριφορά του εδάφους συνήθως οδηγεί σε μείωση της σεισμικής ενίσχυσης που οφείλεται στην ύπαρξη εδαφικής λεκάνης ως απόρροια της απόσβεσης των επιφανειακών κυμάτων. Επίσης, δόθηκε έμφαση και στη δημιουργία παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας, η επίδραση της οποίας μπορεί να είναι επιζήμια για τις υπερκείμενες κατασκευές και είναι ένα φαινόμενο στο οποίο σπάνια δίνεται προσοχή. (Gelagoti et al. 2010).

2.1 ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗΣ

Στις εργασίες Papadimitriou et al. 2011 και Μέλλιος και Τέττα 2010 μελετάται η αδιαστατοποίηση σε προβλήματα γεωμορφικής επιδείνωσης λόγω μορφολογίας υποβάθρου. Σύμφωνα με το Σχήμα 2.1, το υπό μελέτη πρόβλημα χαρακτηρίζεται από έναν αριθμό παραμέτρων οι οποίες είναι τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της λεκάνης (B, H, i), οι εδαφικές συνθήκες (ρ_s, V_s, ρ_b, V_b, ξ) και τα χαρακτηριστικά της διέγερσης (ένταση, δεσπόζουσα συχνότητα $f_e=1/T_e$, τύπος κυμάτων και γωνία πρόσπτωσης που στη συγκεκριμένη εργασία θεωρήθηκε κατακόρυφη).
Είναι γνωστό ότι σε προβλήματα διάδοσης κυμάτων σε ελαστικά κι ιξωδοελαστικά μέσα, διαστατοποιημένες αναλύσεις εισάγουν αδιαστατοποιημένες – κανονικοποιημένες παραμέτρους στο πρόβλημα, με αποτέλεσμα να μειώνεται ο αριθμός των παραμέτρων του προβλήματος. Στον Πίνακα 2.1 δίνονται οι αναλύσεις του πραγματοποιήθηκαν.
Αρχικά, στο Σχήμα 2.2, συγκρίνονται δύο διαφορετικές περιπτώσεις αναλύσεων και αποτυπώνονται οι συντελεστές οριζόντιας (A_h) και κατακόρυφης (A_v) γεωμορφικής επιδείνωσης σε σχέση με την οριζόντια απόσταση x από τον άξονα συμμετρίας της λεκάνης. Στις αναλύσεις αυτές, οι τιμές των παραμέτρων V_s, V_b, i, ξ είναι ίδιες, ενώ αυτό που διαφέρει είναι το πάχος H, το πλάτος B και η δεσπόζουσα περίοδος της διέγερσης T_e. Πιο αναλυτικά, στο Σχήμα 2.2 συγκρίνονται οι συντελεστές γεωμορφικής επιδείνωσης 2 εδαφικών λεκανών με τελείως διαφορετικό σχήμα που διεγείρονται με διεγέρσεις που διαφέρουν ως προς τη δεσπόζουσα περίοδο. Όπως αναμενόταν, οι δύο περιπτώσεις οδηγούν σε διαφορετικές γεωμορφικές ενισχύσεις για τις ίδιες οριζόντιες αποστάσεις x από τον άξονα συμμετρίας της λεκάνης. Στη συνέχεια, στο Σχήμα 2.3 παρουσιάζονται οι ίδιες αναλύσεις, αλλά αυτή τη φορά στον οριζόντιο άξονα του διαγράμματος η απόσταση x είναι κανονικοποιημένη ως προς το πλάτος B της εκάστοτε εδαφικής λεκάνης κι έτσι τα όρια της εδαφικής λεκάνης κυμαίνονται από x/B=-0.5 έως x/B=+0.5 και στις δύο περιπτώσεις. Παρατηρείται, λοιπόν πως η αδιαστατοποιήση της οριζόντιας απόστασης x, έχει σαν αποτέλεσμα την πρακτική ταύτιση των γεωμορφικών επιδεινώσεων δύο εξόχως διαφορετικών

περιπτώσεων εδαφικών λεκανών. Σε ότι αφορά το συντελεστή παρασιτικής κατακόρυφης γεωμορφικής ενίσχυσης (A_v), παρουσιάζονται μικροαποκλίσεις που πρακτικά θεωρούνται αμελητέες. Αυτή η όμοια συμπεριφορά οφείλεται στο γεγονός ότι οι δύο περιπτώσεις των συγκεκριμένων αναλύσεων έχουν ίδιες τιμές λόγων Β/λ(=4), λ/Η(=5), με κοινές παραμέτρους i, ξ, V_s, V_b, παρά το γεγονός ότι τα πρωτογενή χαρακτηριστικά των λόγων (Β, Η, T_e) είναι διαφορετικά. Αντίστοιχη εικόνα προκύπτει κι όταν η γεωμορφική επιδείνωση των συγκεκριμένων αναλύσεων δοθεί ως συνάρτηση της οριζόντιας απόστασης x, αδιαστατοποιημένης ως προς το δεσπόζον μήκος κύματος λ.

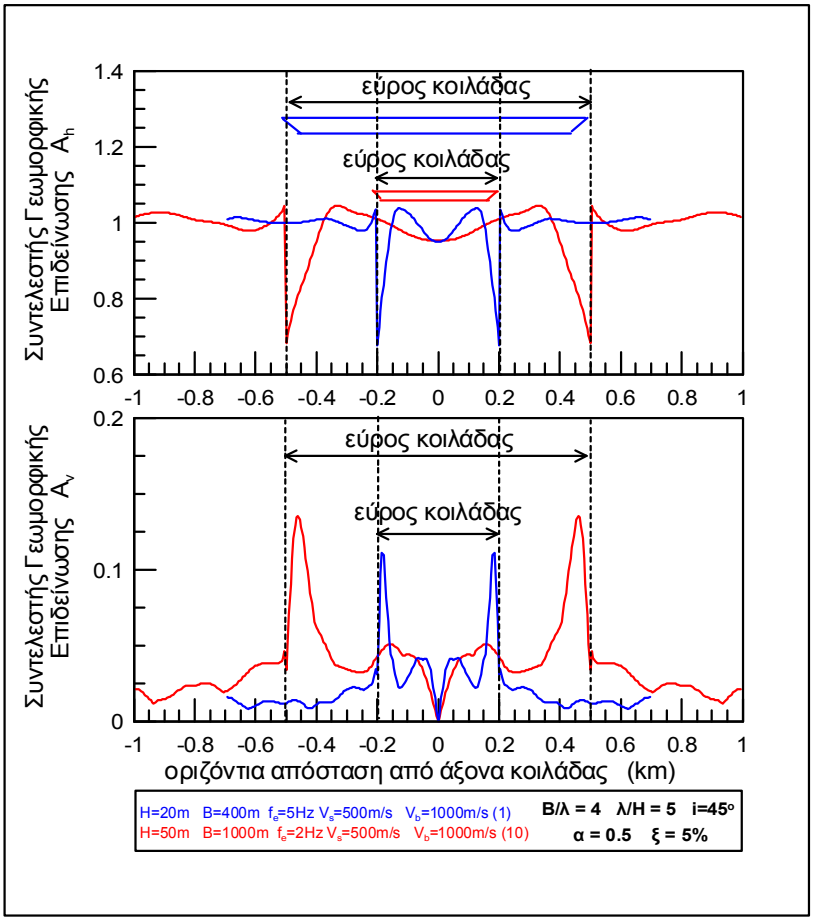
Με την ίδια λογική, στο Σχήμα 2.4 συγκρίνονται δύο άλλες περιπτώσεις εδαφικών λεκανών και αποτυπώνονται οι συντελεστές γεωμορφικής επιδείνωσης ως προς την αδιαστατοποιημένη απόσταση x, δηλαδή σε όρους x/B. Οι 2 αναλύσεις έχουν κοινές αδιάστατες παραμέτρους λ/Η και Β/λ, ίδια κλίση i και λόγο απόσβεσης ξ, αλλά διαφορετικές ταχύτητες V_s και V_b. Παρόλα αυτά, οι γεωμορφικές ενισχύσεις των 2 αναλύσεων που παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.4 ταυτίζονται. Η ίδια εικόνα παρατηρήθηκε κι όταν οι γεωμορφικές αναλύσεις των 2 αυτών αναλύσεων απεικονίστηκαν σε όρους x/λ. Συμπεραίνεται λοιπόν, ότι η απόκριση της λεκάνης σε ότι αφορά τη γεωμορφική επιδείνωση, δεν καθορίζεται από τις μεμονωμένες τιμές των ταχυτήτων V_s ή V_b, αλλά από τη σχετική τιμή αυτών. Πιο συγκεκριμένα αποδεικνύεται ότι μία ακόμα καθοριστική παράμετρος της γεωμορφικής ενίσχυσης είναι ο λόγος εμπέδησης $\alpha=(\rho_s V_s)/(\rho_b V_b)$, κάτι που ισχύει και στα 1Δ προβλήματα εδαφική ενίσχυσης.



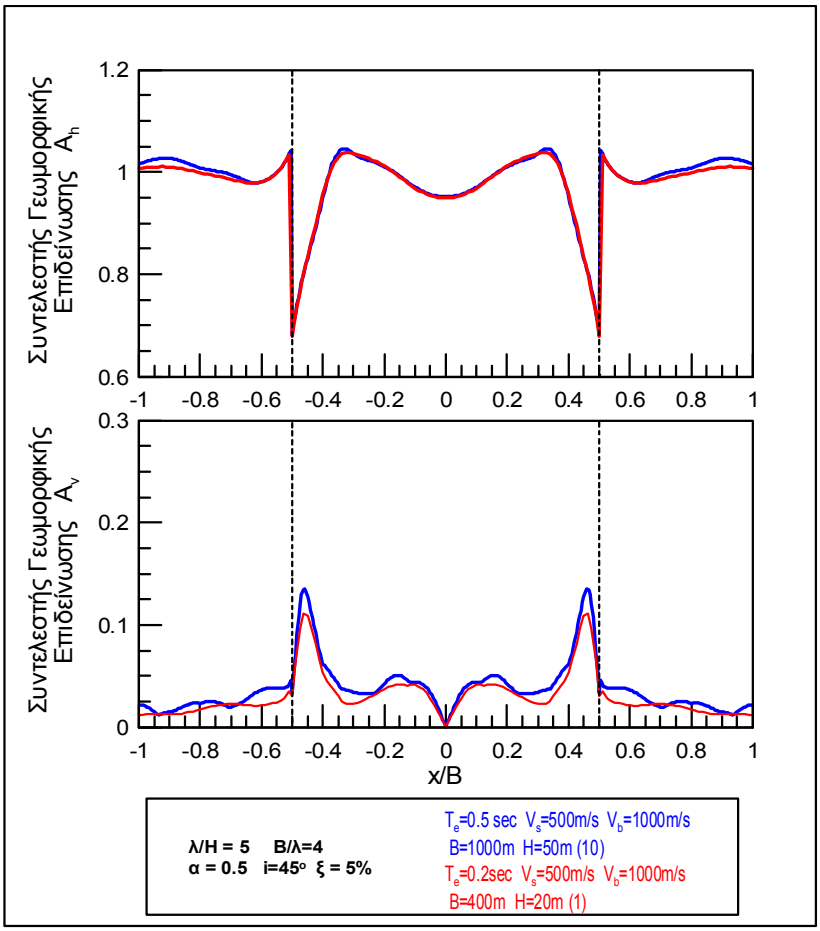
Σχήμα 2.1 : Σκαρίφημα στοιχείων ανάλυσης συστήματος υπόβαθρου - εδαφικής λεκάνης

#	B/λ	λ/H	i(º)	ξ(%)	a
1	4	5	45	5	0.50
2	9	5.56	45	5	0.50
3	4	5	45	5	0.50
4	4	5	45	5	0.25
5	4	5	45	5	0.75
6	20	1	45	5	0.50
7	1	2	45	5	0.50
8	1	5	45	5	0.50
9	2	5	45	5	0.50
10	4	5	45	5	0.50
11	1	10	45	5	0.50
12	4	5	45	5	0.10
13	4	0.67	45	5	0.50
14	4	1	45	5	0.50
15	4	4	45	5	0.50
16	4	5	30	5	0.50
17	4	5	60	5	0.50
18	4	5	90	5	0.50
19	4	5	45	10	0.50
20	4	5	45	1	0.50
21	4	5	45	20	0.50
22	4	12.5	45	5	0.50
23	4	5	15	5	0.50
24	10	5	45	5	0.50
25	0.5	5	45	5	0.50
26	2	1	45	5	0.50
27	4	2	45	5	0.50
28	10	1	45	5	0.50

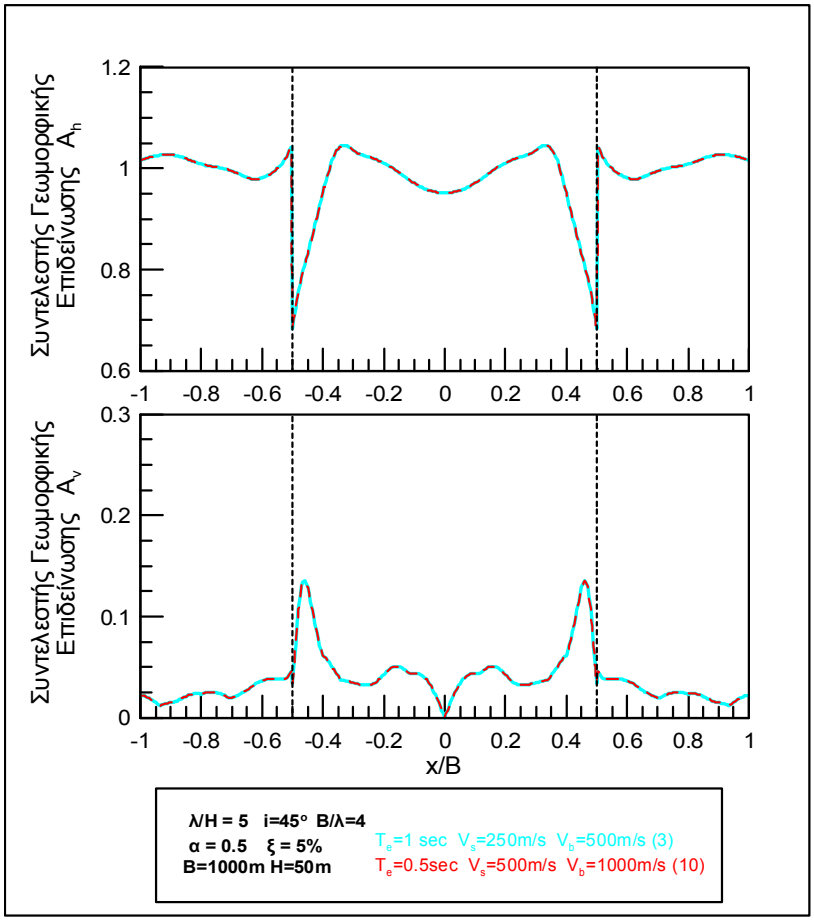
Πίνακας 2.1 : Τιμές βασικών παραμέτρων 28 περιπτώσεων εδαφικών λεκανών που μελετήθηκαν



Σχήμα 2.2 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις, ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας



Σχήμα 2.3 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις, ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος B αυτής



Σχήμα 2.4 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις, ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος B αυτής

2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ

- *ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΛΟΓΟΥ λ/Η*

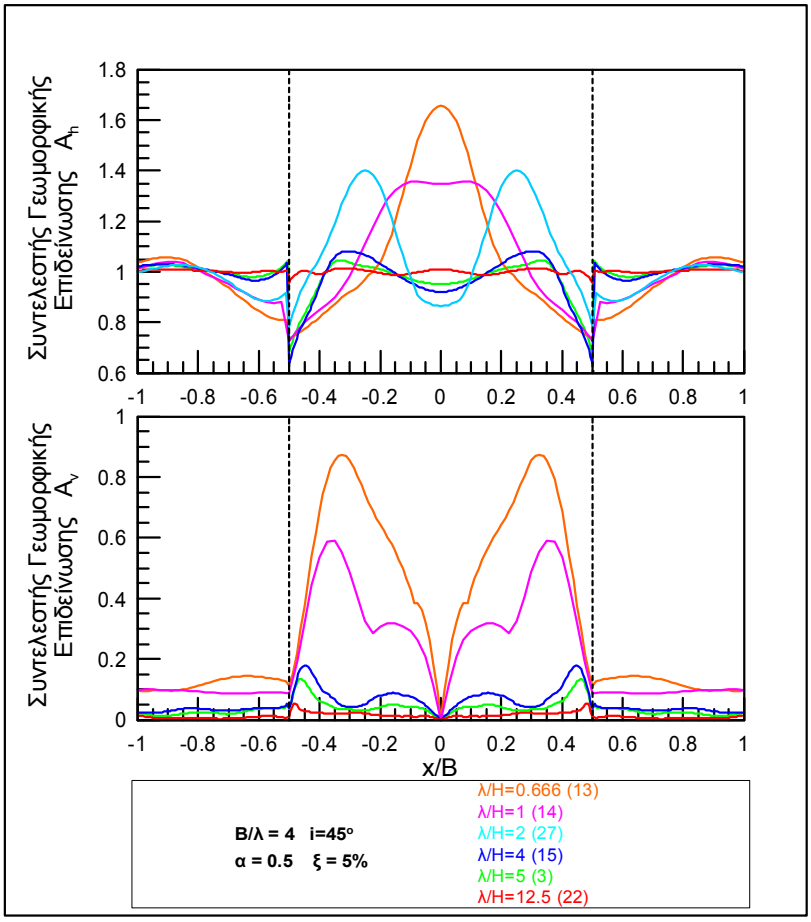
Στις εργασίες Papadimitriou et al. 2011 και Μέλλιος και Τέττα 2010 μελετήθηκε η επίδραση του αδιάστατου πάχους λ/Η στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις A_h και A_v. Στο Σχήμα 2.5 αποτυπώνονται οι γεωμορφικές ενισχύσεις A_h και A_v ως συνάρτηση της απόστασης x, αδιαστατοποιημένης ως προς το μήκος κύματος B. Για να γίνει εμφανής η επίδραση της παραμέτρου λ/Η, όλες οι άλλες παράμετροι του προβλήματος διατηρούσαν σταθερές τιμές (B/λ=4, α=0.5, i=45°, ξ=5%). Χρησιμοποιήθηκαν έξι αναλύσεις με λόγους λ/Η που κυμαίνονταν από 0.666 (πολύ βαθιές λεκάνες) έως 12.5 (πολύ λεπτές λεκάνες).

Σε ότι αφορά το συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής επιδείνωσης, A_h, παρατηρούνται τα εξής :

Όσο μειώνεται η τιμή του αδιάστατου πάχους λ/Η τόσο υπάρχει η τάση να αυξάνεται η μέγιστη τιμή του συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής επιδείνωσης, A_{hmax}. Για αρκετά μεγάλες τιμές του λόγου λ/Η (λ/Η=12.5), οι ενισχύσεις γίνονται αμελητέες και κατ' ουσίαν πρόκειται για μονοδιάστατη απόκριση ($A_{hmax}\rightarrow 1$). Από την άλλη μεριά, για μικρές τιμές του λόγου λ/Η (λ/Η=1, 0.667) οι ενισχύσεις αυξάνονται σημαντικά (έως και 1.4 – 1.5). Γενικά, η γεωμορφική επιδείνωση αρχίζει να γίνεται σημαντική ($A_{hmax}>1.1$) για εδαφικές λεκάνες με μέσο πάχος ή και μεγαλύτερο (λ/Η ≤ 5).

Εκτός από τη μέγιστη οριζόντια γεωμορφική επιδείνωση A_{hmax}, επηρεάζεται αρκετά κι η χωρική διαφοροποίηση, καθώς μεταβάλλεται το αδιάστατο πάχος της λεκάνης, λ/Η. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται ομαλή μετάβαση της θέσης όπου συμβαίνει η μέγιστη ενίσχυση από το κέντρο της λεκάνης προς τα άκρα της, καθώς η τιμή του λόγου λ/Η αυξάνεται. Αξιοσημείωτη είναι η ανάλυση με λ/Η=2, η οποία αποτελεί ένα όριο μεταβολής της μορφής της χωρικής διαφοροποίησης.

Σχετικά με το συντελεστή κατακόρυφης γεωμορφικής επιδείνωσης, A_v, παρατηρείται σαφέστερη εικόνα. Ειδικότερα, καθώς ελαττώνεται το αδιάστατο πάχος λ/Η, παρατηρείται άνοδος των τιμών του συντελεστή A_v, σε όλη την έκταση της λεκάνης. Αξίζει να σημειωθεί ότι, σχεδόν όλες οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται πλησίον των άκρων της λεκάνης, ενώ μηδενίζονται στο κέντρο της, λόγω συμμετρικής κοιλάδας υπό κατακόρυφη διέγερση.



Σχήμα 2.5 : Επίδραση αδιάστατου πάχους λ/H, για B/λ=4 στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος B αυτής

Στην εργασία Gelagoti et al. 2010 σε μια προσπάθεια αδιαστατοποίησης των αποτελεσμάτων εισάγεται ο λόγος x = λ / H. Τονίζεται ότι η αδιάστατη παράμετρος x είναι δυνατόν να θεωρηθεί ως μέτρο της «ικανότητας» των παραγόμενων σεισμικών κυμάτων να αντιληφθούν την 2Δ γεωμετρία της κοιλάδας. Οι χαμηλές τιμές του λόγου x είναι ενδεικτικές μικρού μήκους κύματος σχετικά με τις διαστάσεις της κοιλάδας, που οδηγεί σε αυξημένη ικανότητα αντίληψης της γεωμετρίας και επομένως αναπαραγωγής των κυματικών ανακλάσεων που είναι δυνατόν να δημιουργηθούν λόγω αυτής.

- *ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΛΟΓΟΥ Β/λ*

Στις εργασίες Papadimitriou et al. 2011 και Μέλλιος και Τέττα 2010 μελετήθηκε η επίδραση του αδιάστατου πλάτους B/λ στις γεωμορφικές ενισχύσεις. Στο Σχήμα 2.6 αποτυπώνονται οι συντελεστές γεωμορφικής επιδείνωσης A_h και A_v με την οριζόντια απόσταση x να είναι αδιαστατοποιημένη ως προς το πλάτος B της εκάστοτε λεκάνης. Όλες οι αναλύσεις έχουν κοινά χαρακτηριστικά λ/H=1, a=0.5, i=45°, ξ=5%, ενώ το

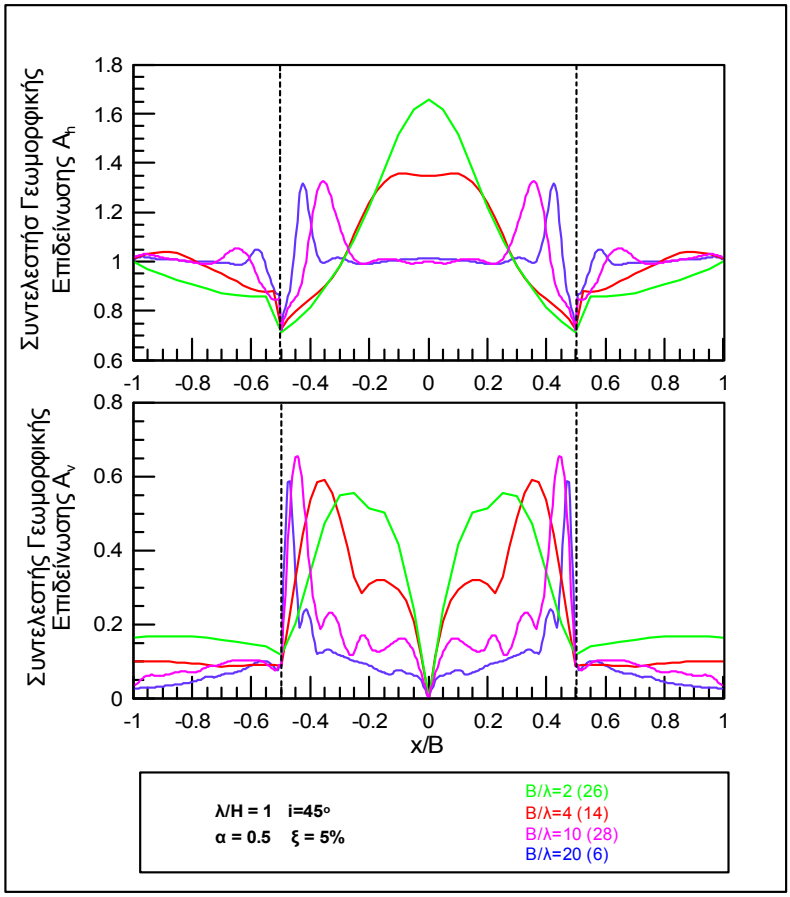
αδιάστατο πλάτος κυμαίνεται από Β/λ=2 (στενές λεκάνες) έως Β/λ=20 (εξαιρετικά πλατιές λεκάνες) και προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα για την επίδρασή του στο συντελεστή A_h :

Καθώς το άνοιγμα της λεκάνης αυξάνει (Β/λ≥10), η μέγιστη ενίσχυση A_{hmax} παρατηρείται κοντά στα άκρα της εδαφικής λεκάνης και μόνο για σχετικά στενές λεκάνες (Β/λ≤4) η μέγιστη τιμή του συντελεστή A_h παρατηρείται στο κέντρο της λεκάνης. Αυτό συμβαίνει γιατί οι ευρείες λεκάνες (μεγάλη τιμή Β/λ) μεταφέρουν την περιοχή σημαντικών ενισχύσεων αμιγώς στα άκρα τους, ενώ στα σημεία περί το κέντρο παρατηρείται σχεδόν μονοδιάστατη συμπεριφορά, καθώς τα επιφανειακά κύματα Rayleigh ταξιδεύοντας προς το κέντρο προλαβαίνουν να αποσβεστούν στην πορεία. Αντίθετα, σε στενές λεκάνες τα παραγόμενα επιφανειακά κύματα επιδρούν στο κέντρο της εδαφικής λεκάνης ταυτόχρονα με τα προσπίπτοντα κατακόρυφα κύματα, με αποτέλεσμα να μεταφέρουν τη μέγιστη ενίσχυση στην περιοχή του κέντρου της λεκάνης.

Η τιμή της μέγιστης οριζόντιας γεωμορφικής επιδείνωσης A_{hmax} επηρεάζεται ελάχιστα από την τιμή του λόγου Β/λ και μόνο για πολύ στενές λεκάνες (Β/λ = 2) η τιμή A_{hmax} αυξάνει σημαντικά. Δηλαδή, όταν η λεκάνη είναι αρκετά ευρεία, ώστε η μέγιστη ενίσχυση να εμφανίζεται στα άκρα της (Β/λ≥10), το πραγματικό άνοιγμα της λεκάνης δεν επηρεάζει καθόλου την τιμή A_{hmax}.

Η χωρική διαφοροποίηση εξαρτάται έντονα από το αδιάστατο εύρος της λεκάνης. Είναι φανερό ότι η παράμετρος Β/λ επιδρά σημαντικά, εν γένει, στον καθορισμό της θέσης εμφάνισης της μέγιστης τιμής ενίσχυσης. Ειδικότερα, παρατηρείται η ομαλή μετάβαση της θέσης όπου συμβαίνει η μέγιστη ενίσχυση από το κέντρο της λεκάνης προς τα άκρα της, καθώς η τιμή του λόγου Β/λ αυξάνεται. Είναι σαφές ότι, η τροποποίηση της χωρικής διαφοροποίησης και τα όρια μεταβολής αυτής, καθορίζονται από το συνδυασμό των παραμέτρων Β/λ και λ/Η.

Σχετικά με το συντελεστή κατακόρυφης γεωμορφικής επιδείνωσης, A_v, παρατηρείται ότι η θέση όπου εμφανίζεται η μέγιστη κατακόρυφη ενίσχυση, μεταφέρεται όλο και πιο κοντά στο κέντρο της λεκάνης, με τη μείωση του αδιάστατου λόγου Β/λ.



Σχήμα 2.6 : Επίδραση αδιάστατου πλάτους B/λ, για λ/H=1 στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις, ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος B αυτής

- *ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ ΕΜΠΕΔΗΣΗΣ α*

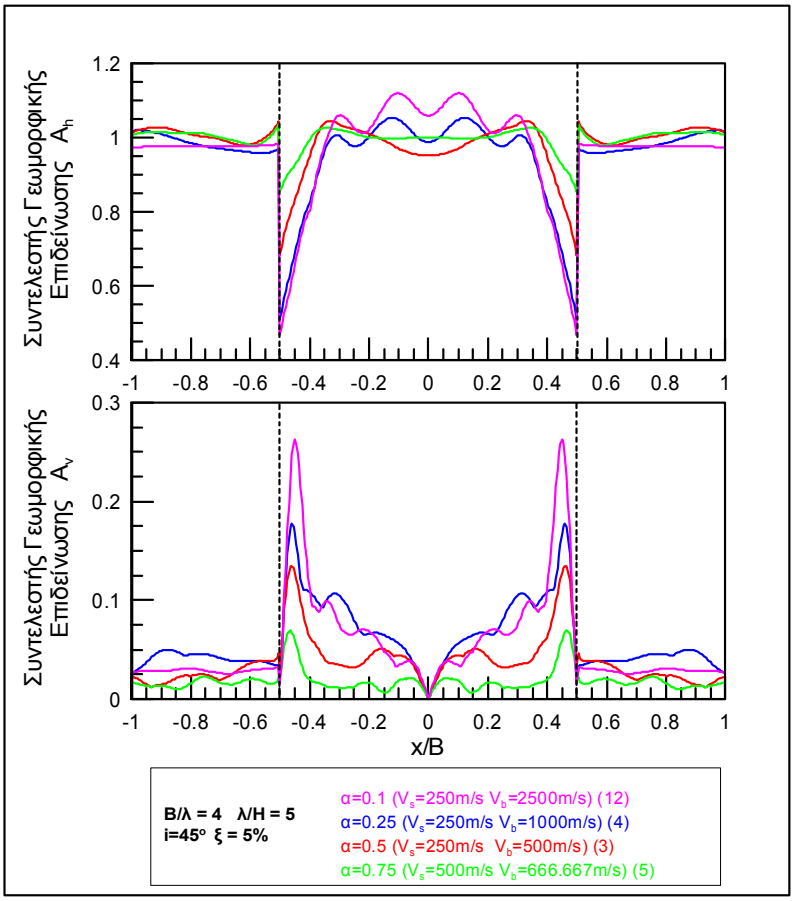
Στις εργασίες Papadimitriou et al. 2011 και Μέλλιος και Τέττα 2010 μελετήθηκε η επίδραση του λόγου εμπέδησης α στις γεωμορφικές ενισχύσεις. Στο Σχήμα 2.7, αποτυπώνονται οι συντελεστές γεωμορφικής ενίσχυσης A_h και A_v, με την οριζόντια απόσταση x να είναι αδιαστατοποιημένη ως προς το άνοιγμα της εκάστοτε λεκάνης. Στο συγκεκριμένο σχήμα, συγκρίνονται 4 διαφορετικές αναλύσεις, με λόγο εμπέδησης από α=0.1 (πολύ μαλακό έδαφος επί πολύ άκαμπτου υποβάθρου) έως α=0.75 (δύσκαμπτο έδαφος επί μαλακού υποβάθρου) με κοινές τιμές παραμέτρων B/λ=4, λ/H=5, i=45°, ξ=5%. Σχετικά με το συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής ενίσχυσης A_h προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

Εξετάζοντας τις συγκεκριμένες αναλύσεις ποιοτικά, παρατηρείται πως όσο μειώνεται ο λόγος εμπέδησης α, εμφανίζονται σχετικά μεγάλες τιμές του συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής ενίσχυσης σε περισσότερα από ένα σημεία κατά μήκος της εδαφικής λεκάνης, δηλαδή παρατηρείται μια πιο κυμοατοειδής μορφή. Αντίθετα, σε υψηλότερες τιμές του λόγου εμπέδησης η απόκριση είναι πιο ξεκάθαρη. Η απόκριση

αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι η έντονη αντίθεση στις δυσκαμψίες μεταξύ του μαλακού εδάφους και του βραχώδους υποβάθρου (μικρός λόγος α), προκαλεί ήπια απόσβεση ακτινοβολίας και έχει ως αποτέλεσμα τον εγκλωβισμό κυμάτων μέσα στη λεκάνη και τη συμβολή τους σε περισσότερα σημεία.

Για τον ίδιο ακριβώς λόγο, ποσοτικά, οι μέγιστες οριζόντιες γεωμορφικές ενισχύσεις A_{hmax}, αυξάνουν καθώς μειώνεται ο λόγος εμπέδησης α.

Σε ότι αφορά το συντελεστή γεωμορφικής επιδείνωσης A_v, παρατηρείται ξεκάθαρα ότι καθώς μειώνεται ο λόγος εμπέδησης α, οι τιμές του συντελεστή A_v γενικά αυξάνουν σε όλη τη λεκάνη και συνεπώς αυξάνουν και οι μέγιστες τιμές του, A_{vmax}. Όμως, οι θέσεις εμφάνισης των μέγιστων τιμών δεν επηρεάζονται από τη μεταβολή του λόγου εμπέδησης (οι τιμές A_{vmax} εμφανίζονται σταθερά κοντά στα άκρα της εδαφικής λεκάνης), σε αντίθεση με τις θέσεις εμφάνισης των μέγιστων οριζόντιων γεωμορφικών ενισχύσεων.

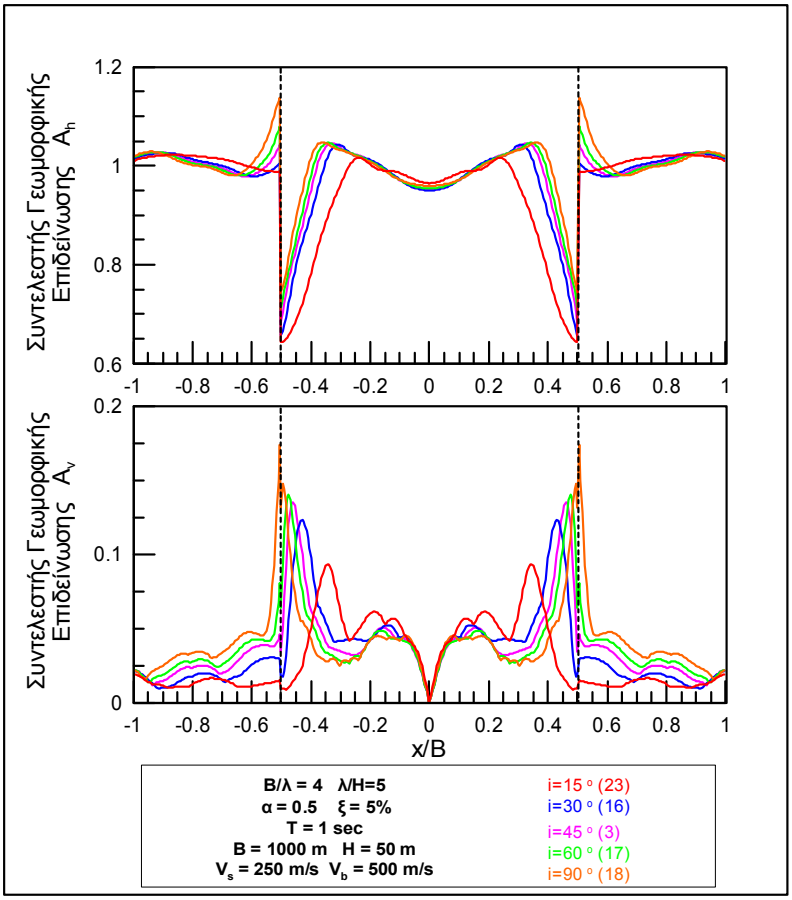


Σχήμα 2.7 : Επίδραση λόγου εμπέδησης a στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις, ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος B αυτής

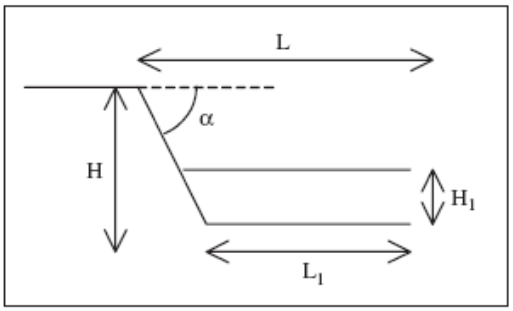
- *ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΚΛΙΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ i*

Στην εργασία Μέλλιος και Τέττα 2010 μελετήθηκε η επίδραση της γωνίας κλίσης των πρανών i στις γεωμορφικές ενισχύσεις. Στο Σχήμα 2.8 δίνονται οι συντελεστές γεωμορφικής ενίσχυσης A_h και A_v, με την οριζόντια απόσταση x να είναι αδιαστατοποιημένη ως προς το άνοιγμα της εκάστοτε λεκάνης. Στο συγκεκριμένο σχήμα, συγκρίνονται 5 διαφορετικές αναλύσεις, με κλίση από i=15° έως i=90°. Σχετικά με το συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής ενίσχυσης A_h προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :
Εξετάζοντας τις συγκεκριμένες αναλύσεις ποιοτικά, παρατηρείται μια μετάβαση της μέγιστης οριζόντιας ενίσχυσης A_{hmax} προς το κέντρο της εδαφικής λεκάνης καθώς μειώνεται η κλίση i. Επιπλέον, καθώς αυξάνεται η κλίση i παρατηρείται η τάση να αυξάνονται οι τιμές του συντελεστή A_h σε όλο το εύρος της λεκάνης, χωρίς όμως μεγάλες ποσοτικές διαφοροποιήσεις.
Σε ότι αφορά το συντελεστή γεωμορφικής επιδείνωσης A_v, παρατηρείται πως σε μεγαλύτερες κλίσεις πρανών αντιστοιχούν μεγαλύτερες κατακόρυφες ενισχύσεις. Επίσης, με την αύξηση της κλίσης παρατηρείται αύξηση των μέγιστων τιμών και το σημείο εμφάνισης αυτών μεταβαίνει σταδιακά προς τα πλευρικά όρια της εδαφικής λεκάνης, εντελώς αντίστοιχα με τις οριζόντιες ενισχύσεις.

Στην εργασία Gatmiri et al. 2007 μελετάται η επίδραση της κλίσης του πρανούς i στις συνολικές ενισχύσεις μέσω της μεταβολής του αδιάστατου λόγου H/L. Στο Σχήμα 2.9 δίνονται οι γεωμετρικές παράμετροι του προβλήματος. Πιο συγκεκριμένα, η αύξηση του αδιάστατου λόγου H/L και κατ' επέκταση η αύξηση της κλίσης του πρανούς επιφέρει αύξηση των ενισχύσεων εντός της εδαφικής λεκάνης.



Σχήμα 2.8 : Επίδραση γωνίας κλίσης πρανών στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις, ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος B αυτής



Σχήμα 2.9 : Κύριες γεωμετρικές παράμετροι στην περίπτωση αλλουβιακών κοιλάδων

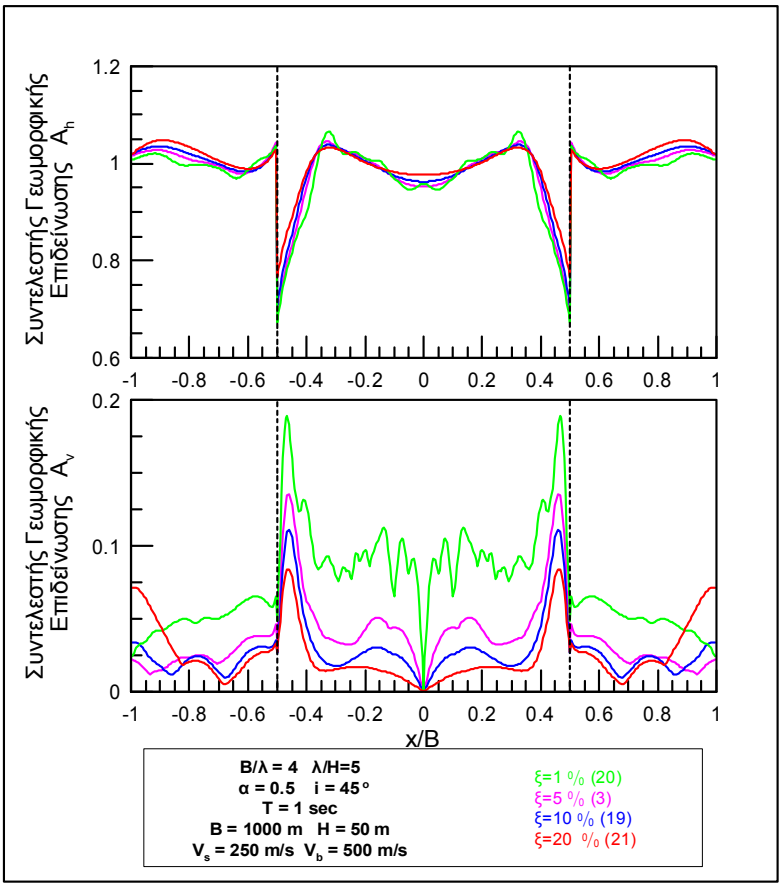
- *ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ξ*

Στην εργασία Μέλλιος και Τέττα 2010 μελετήθηκε η επίδραση του ποσοστού απόσβεσης ξ στις γεωμορφικές ενισχύσεις. Στο Σχήμα 2.10 δίνονται συντελεστές γεωμορφικής ενίσχυσης A_h και A_v, με την οριζόντια απόσταση x να είναι αδιαστατοποιημένη ως προς το άνοιγμα της εκάστοτε λεκάνης. Στο συγκεκριμένο

σχήμα, συγκρίνονται 4 διαφορετικές αναλύσεις, με ποσοστό απόσβεσης ξ από 1% έως 20%. Σχετικά με το συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής ενίσχυσης A_h προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

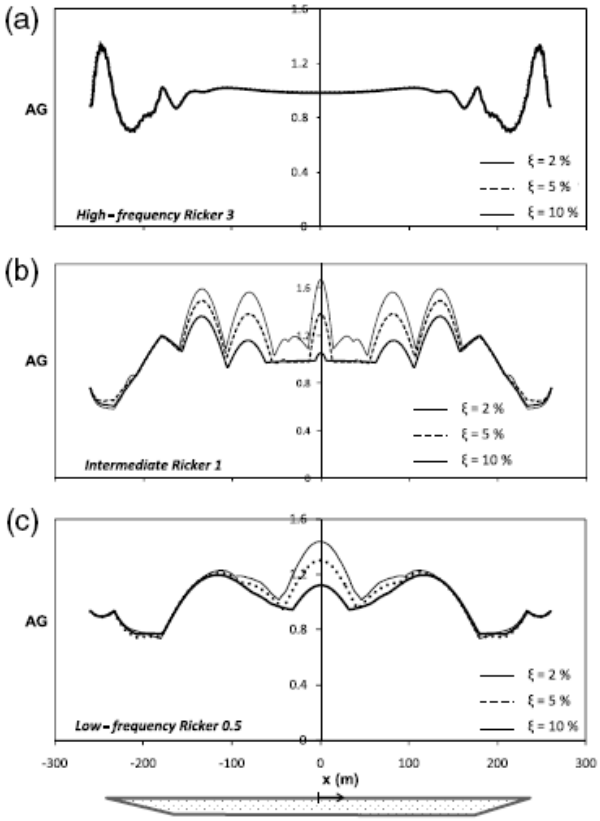
Η μορφή της καμπύλης των οριζόντιων γεωμορφικών ενισχύσεων δεν επηρεάζεται από τη μεταβολή του ποσοστού απόσβεσης του εδάφους ξ. Συνεπώς οι θέσεις εμφάνισης των μέγιστων οριζόντιων γεωμορφικών ενισχύσεων παραμένουν σταθερές καθώς μεταβάλλεται το ξ. Εξετάζοντας τις συγκεκριμένες αναλύσεις ποσοτικά παρατηρείται μια μείωση των τιμών του συντελεστή A_h καθώς αυξάνεται η απόσβεση ξ, οπότε κι ανάλογη μείωση των τιμών A_{hmax} με την αύξηση του ξ.

Σε ότι αφορά το συντελεστή γεωμορφικής επιδείνωσης A_v, παρατηρείται η μείωση των τιμών του καθώς αυξάνεται η απόσβεση και κατ' επέκταση η μείωση των A_{vmax} με την αύξηση του ποσοστού απόσβεσης. Επιπλέον, οι μέγιστες κατακόρυφες ενισχύσεις εμφανίζονται στις ίδιες θέσεις παρά τη μεταβολή του ποσοστού απόσβεσης ξ, δηλαδή τα συμπεράσματα είναι ανάλογα με αυτά που αφορούν τις οριζόντιες γεωμορφικές ενισχύσεις A_h.



Σχήμα 2.10 : Επίδραση ποσοστού απόσβεσης στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις, ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος B αυτής

Στην εργασία Gelagoti et al. 2010 μελετήθηκε η 2Δ συμπεριφορά της εδαφικής λεκάνης Ohba Ohasi στην Ιαπωνία, σε όρους οριζόντιας γεωμορφικής επιδείνωσης ahmax(2Δ)/ahmax(1Δ) (AG), όπου ahmax είναι η μέγιστη τιμή της οριζόντιας επιτάχυνσης στην επιφάνεια, στις 2Δ και 1Δ αναλύσεις αντίστοιχα. Μελετάται η επίδραση του ποσοστού απόσβεσης ξ στους συντελεστές οριζόντιας ενίσχυσης AG. Στα Σχήματα 2.11 a έως c αποτυπώνονται οι συντελεστές οριζόντιας ενίσχυσης για τρεις διαφορετικές τιμές του ποσοστού απόσβεσης ξ (ξ=2%, ξ=5% και ξ=10%), για παλμούς Ricker με συχνότητες f=3, 1 και 0.5 Hz. Παρατηρείται η τάση να μειώνονται οι συντελεστές AG καθώς αυξάνει το ποσοστό απόσβεσης ξ και κυρίως στην κεντρική περιοχή της λεκάνης, στις περιπτώσεις μέσης και χαμηλής συχνότητας διέγερσης (f=1, 0.5).



Σχήμα 2.11 : Επίδραση του λόγου απόσβεσης ξ στους συντελεστές οριζόντιας ενίσχυσης AG στην επιφάνεια της εδαφικής στρώσης για παλμό Ricker : (a) υψηλής συχνότητας f=3Hz, (b) μέσης συχνότητας f=1Hz και (c) χαμηλής συχνότητας f=0.5Hz

- *ΧΩΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ*

Στην εργασία Μέλλιος και Τέττα 2010 διαπιστώθηκε ότι το γινόμενο των δύο λόγων B/λ και λ/H, δηλαδή ο αδιάστατος λόγος B/H που συνδέεται με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της λεκάνης, είναι μια αρκετά διαφωτιστική παράμετρος για τη θέση εμφάνισης των μέγιστων τιμών των συντελεστών γεωμορφικής ενίσχυσης A_h και A_v. Έτσι, οι αναλύσεις κατατάσσονται στις περιοχές «κέντρο»(από x/B=0έως x/B=±0.3) και «άκρα» (από x/B=±0.3 έως x/B=±0.5) σχετικά με τη θέση εμφάνισης των σημαντικών γεωμορφικών ενισχύσεων, με βάση την αδιάστατη παράμετρο B/H, σε συνδυασμό βέβαια με το δεσπόζον μήκος κύματος λ και το λόγο εμπέδησης α. Πιο αναλυτικά, εξετάζοντας προσεκτικά τις τιμές του λόγου B/H για τις αναλύσεις με λόγο εμπέδησης 0.5 και μεγαλύτερο, παρατηρήθηκε πως οι περιπτώσεις λεκανών με υψηλές τιμές B/H εμφανίζουν τη μέγιστη τιμή στην περιοχή των άκρων, ενώ αυτές με μικρό λόγο B/H την εμφανίζουν στην περιοχή του κέντρου. Είναι δύσκολη η εύρεση μιας οριακής τιμής του B/H για τον καθορισμό των δύο περιοχών καθώς υπάρχει επίδραση και του δεσπόζοντος μήκους κύματος, λ. Ειδικότερα, για σταθερή τιμή του B/H όσο αυξάνει το λ (δηλ. μειώνεται η δεσπόζουσα συχνότητα f), η μέγιστη ενίσχυση τείνει να μεταφέρεται προς το κέντρο. Έτσι, σύμφωνα με τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, όταν η τιμή του λόγου B/H γίνει μεγαλύτερη του 16 τότε η ανάλυση ανήκει στην περιοχή των άκρων, ενώ όταν γίνει μικρότερη του 8, η ανάλυση εμφανίζει τη μέγιστη ενίσχυση στην περιοχή του κέντρου. Ως γκρίζα ζώνη θα μπορούσε να χαρακτηριστεί η περιοχή με εύρος τιμών από B/H=9 έως B/H=15, καθώς εκεί παρατηρήθηκαν περιπτώσεις με κοινή τιμή B/H οι οποίες εμφάνισαν μέγιστα σε διαφορετικές περιοχές. Με βάση τα ανωτέρω προκύπτει ότι, η γεωμετρία δίνει μια πρώτη γεύση για τη θέση όπου σημειώνεται η μέγιστη οριζόντια ενίσχυση, με μια διαφοροποίηση που οφείλεται στην επίδραση του μήκους κύματος, λ. Πρέπει να τονιστεί ότι, τα συμπεράσματα για το γεωμετρικό λόγο B/H έχουν ισχύ όταν ο λόγος εμπέδησης παίρνει ενδιάμεσες έως υψηλές τιμές ($a \geq 0.5$). Όταν υπάρχει έντονη αντίθεση των δυσκαμψιών μεταξύ του μαλακού εδάφους και του βραχώδους υποβάθρου, (δηλ. σε μικρές τιμές του λόγου a) τότε σχηματίζονται κυματοειδείς μορφές χωρικής διαφοροποίησης των οριζόντιων ενισχύσεων, με αποτέλεσμα την πιθανότητα εμφάνισης της μέγιστης τιμής σε οποιοδήποτε σημείο κατά μήκος της εδαφικής λεκάνης. Επομένως, ένας μικρός λόγος εμπέδησης ($a < 0.5$) επηρεάζει σημαντικά το σημείο εμφάνισης της μέγιστης γεωμορφικής επιδείνωσης και δεν μπορούν εύκολα να εξαχθούν συμπεράσματα γενικής χρήσης.
Η πλειοψηφία των αναλύσεων εμφανίζουν τη μέγιστη κατακόρυφη επιδείνωση στην περιοχή που ορίστηκε ως άκρα.

Στην εργασία Gelagoti et al. 2010 μελετήθηκε η 2Δ συμπεριφορά της εδαφικής λεκάνης Ohba Ohasi (B=520m, H=24m, α=0.1 και i=16.7°). Πραγματοποιήθηκαν

ελαστικές αναλύσεις για τρεις πραγματικές καταγραφές διεγέρσεων καθώς και για παλμούς Ricker που τις προσεγγίζουν.
Ένα από τα αποτελέσματα της εργασίας είναι ότι τόσο οι θέσεις εμφάνισης των μέγιστων επιταχύνσεων όσο και οι τιμές τους εξαρτώνται από το συχνοτικό περιεχόμενο του παλμού διέγερσης. Αυτό γίνεται εμφανές στο Σχήμα 2.11 που έχει ήδη παρουσιαστεί σε προηγούμενη παράγραφο που μελετούσε την επίδραση του ποσοστού απόσβεσης ξ. Στις υψίσυχνες διεγέρσεις οι ενισχύσεις εντοπίζονται στα ακραία τμήματα της κοιλάδας, ενώ στις μακροπερίοδες τα φαινόμενα ενισχύονται στο κεντρικό τμήμα εξαιτίας της επιβλαβούς συμβολής επιφανειακών κυμάτων τύπου Rayleigh. Επίσης, σε ότι αφορά τη σύγκριση μεταξύ πραγματικής διέγερσης και παλμού Ricker, στην περιοχή των μέγιστων τιμών υπάρχει αρκετά καλή προσέγγιση.

- *ΣΧΕΣΕΙΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ A_h και A_v (A_{hmax} και A_{vmax})*

Στην εργασία Μέλλιος και Τέττα 2010 έγινε μια προσπάθεια κατάστρωσης προσεγγιστικών σχέσεων εκτίμησης των μέγιστων τιμών των συντελεστών A_h και A_v, δηλαδή των τιμών A_{hmax} και A_{vmax}, συναρτήσει των βασικών παραμέτρων του προβλήματος της γεωμορφικής ενίσχυσης. Πιο συγκεκριμένα, για την κατάστρωση των προσεγγιστικών σχέσεων για τις παραμέτρους σχεδιασμού A_{hmax} και A_{vmax} επιλέχθηκαν μαθηματικές μορφές οι οποίες είναι απλές, έχουν τη δυνατότητα να συνδυάσουν την επίδραση όλων των παραμέτρων ενός πολύπλοκου προβλήματος και ικανοποιούν το φυσικό νόημα κάθε τάσης.
Συνεπώς, προέκυψε η σχέση εκτίμησης μέγιστων οριζόντιων ενισχύσεων :

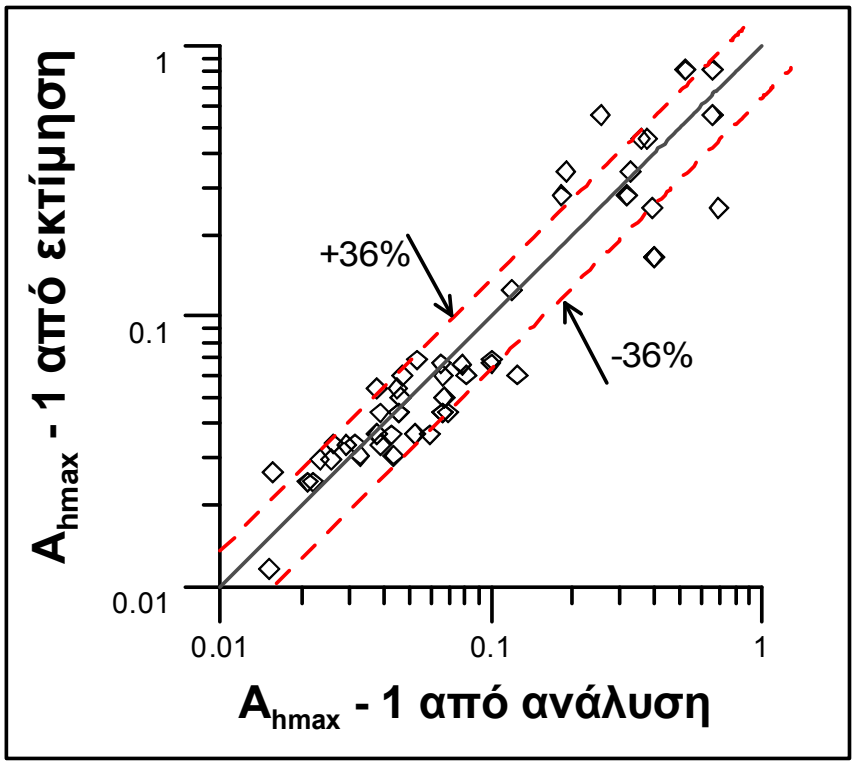
$$A_{hmax} = 1 + 0.1151\left(\frac{\lambda}{H}\right)^{-1.45}\left(\frac{B}{\lambda}\right)^{-0.3} a^{-0.65}\, i^{0.46}\, \xi^{-0.26} \qquad (2.1)$$

Στο σχήμα 2.12 δίνεται το διάγραμμα 1 προς 1, στο οποίο στον άξονα x εισάγεται η τιμή της ανάλυσης και στον άξονα y η αντίστοιχη τιμή εκτίμησης από την τελική σχέση εκτίμησης, για την τιμή της $A_{hmax} - 1$. Σε αυτό το διάγραμμα φαίνεται, αφενός ότι δεν υπάρχει κάποια τάση υποεκτίμησης ή υπερεκτίμησης της παρατήρησης από τη σχέση σε όλα τα επίπεδα ενισχύσεων (μεγάλα, μεσαία ή μικρά) και αφετέρου ότι δεν υπάρχει συγκεκριμένη διασπορά ως προς κάποια κατεύθυνση.

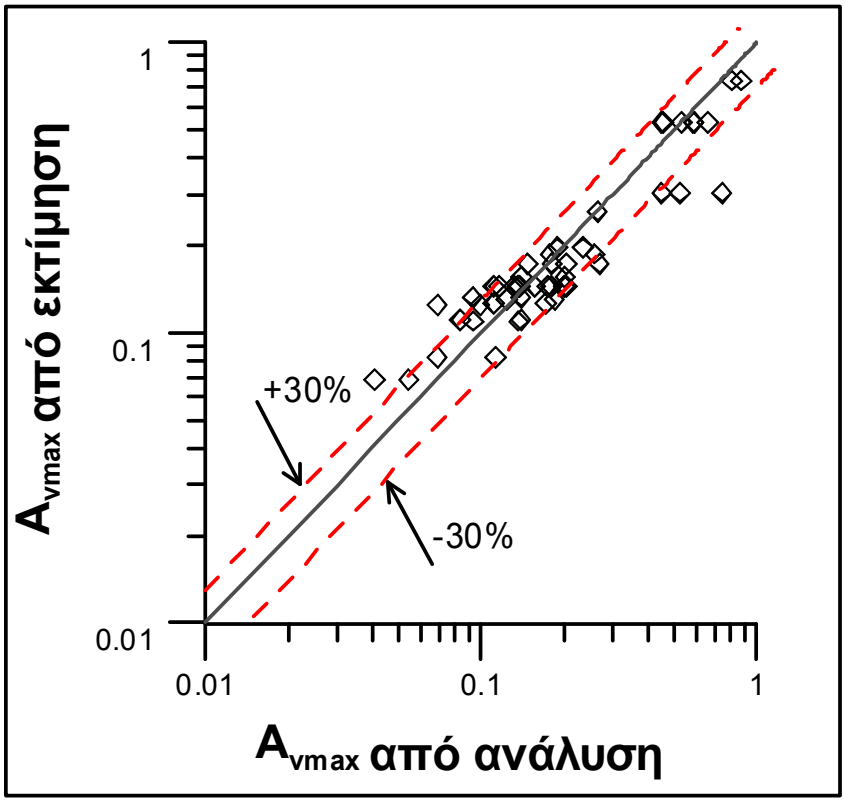
Η σχέση εκτίμησης των μέγιστων κατακόρυφων ενισχύσεων είναι:

$$A_{vmax} = 0.2156\left(\frac{\lambda}{H}\right)^{-0.81} a^{-0.37}\, i^{0.25}\, \xi^{-0.19} \qquad (2.2)$$

Στο σχήμα 2.13, δίνεται το διάγραμμα 1 προς 1, δηλαδή ανάλυσης – εκτίμησης, για την τιμή της A_{vmax}.



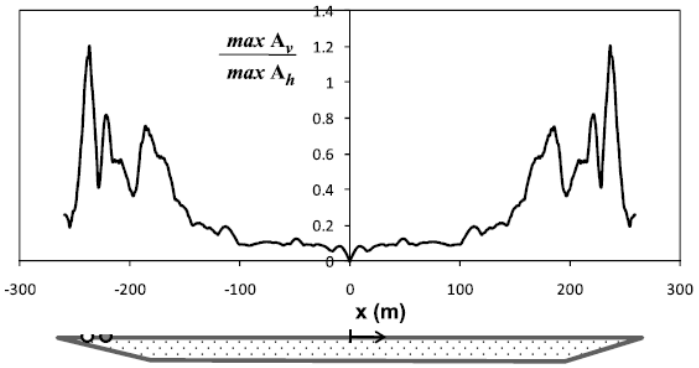
Σχήμα 2.12 : Διάγραμμα σύγκρισης των τιμών A_{hmax} -1, που προέκυψαν από την ανάλυση σε σχέση με αυτές που εκτιμήθηκαν από την τελική σχέση εκτίμησης της A_{hmax} -1



Σχήμα 2.13 : Διάγραμμα σύγκρισης των τιμών A_{vmax}, που προέκυψαν από την ανάλυση σε σχέση με αυτές που εκτιμήθηκαν από την τελική σχέση εκτίμησης της A_{vmax}

2.3 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑΣ

Στην εργασία Gelagoti et al. 2010 δόθηκε έμφαση στην εμφάνιση της παρασιτικής κατακόρυφης συνιστώσας. Η 2Δ εδαφική λεκάνη (που διεγείρεται αποκλειστικά με οριζόντια κύματα) παράγει μία παρασιτική κατακόρυφη συνιστώσα. Από την άλλη μεριά, η φυσική κατακόρυφη συνιστώσα ενός σεισμού που οφείλεται στα κύματα P είναι πολύ υψίσυχνη για να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα στις κατασκευές, σε αντίθεση με την παρασιτική κατακόρυφη συνιστώσα που παράγεται λόγω της ύπαρξης της 2Δ εδαφικής λεκάνης και μπορεί να γίνει καταστροφική για τις υπερκείμενες κατασκευές, καθώς είναι άμεση συνέπεια της γεωμετρίας και έχει πρακτικά ίδια δεσπόζουσα περίοδο με την οριζόντια συνιστώσα. Στο Σχήμα 2.14 δίνονται οι λόγοι των μέγιστων κατακόρυφων ενισχύσεων στην επιφάνεια της εδαφικής λεκάνης προς τη μέγιστη οριζόντια συνιστώσα ($maxA_v/maxA_h$) χρησιμοποιώντας ως διέγερση το σεισμό της Αθήνας 1999 και λόγο απόσβεσης ξ=2%. Παρατηρείται πως η παρασιτική κατακόρυφη συνιστώσα μπορεί ακόμα και να ξεπεράσει την οριζόντια συνιστώσα κοντά στα άκρα της εδαφικής λεκάνης.

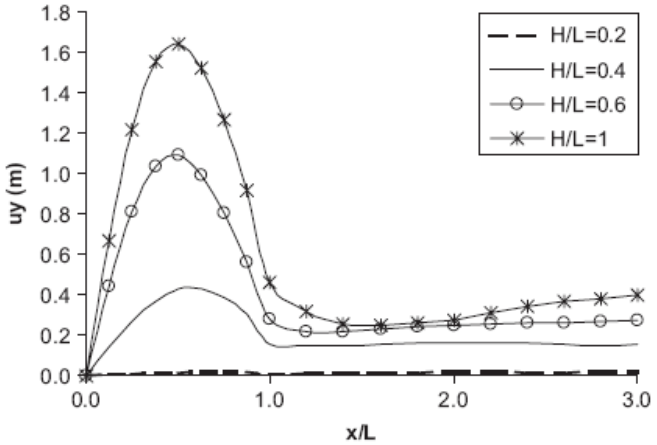


Σχήμα 2.14 : Διαφοροποίηση του λόγου των κατακόρυφων προς οριζόντιων επιταχύνσεων κατά μήκος της επιφάνειας για την καταγραφή της Αθήνα 1999 και ξ=2%

Στην εργασία Μέλλιος και Τέττα 2010 έχει ήδη αναφερθεί η ύπαρξη παρασιτικής κατακόρυφης κίνησης σε προβλήματα μορφολογίας υπεδάφους και μελετάται με το συντελεστή παρασιτικής κατακόρυφης γεωμορφικής επιδείνωσης, A_v που είναι ο λόγος της μέγιστης παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης ενός σημείου της επιφάνειας δεδομένης της ύπαρξης της λεκάνης (PVA) προς τη μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση που προκύπτει από την κατάλληλη μονοδιάστατη ανάλυση (PHAr ή PHAs). Στα Σχήματα 2.2 έως 2.8 και 2.10 που προηγήθηκαν απεικονίζεται κι ο συντελεστής A_v και έχουν ήδη αναφερθεί σχόλια για την επίδραση σημαντικών παραμέτρων (λ/H, B/λ, α, i και ξ) στο συντελεστή A_v. Γενικά, ο συντελεστής γεωμορφικής επιδείνωσης μηδενίζει στο μέσο της εδαφικής λεκάνης ως αποτέλεσμα της απόλυτης συμμετρίας. Επιπλέον, οι σημαντικές κατακόρυφες γεωμορφικές

ενισχύσεις είναι κατά βάση συγκεντρωμένες πλησίον των άκρων της εδαφικής λεκάνης. Η εκτίμηση των μέγιστων τιμών του συντελεστή A_v δίνεται στη σχέση (2.2).

Στην εργασία Gatmiri et al. 2007 γίνεται αναφορά στην ύπαρξη κατακόρυφων μετακινήσεων στην επιφάνεια της εδαφικής λεκάνης όταν αυτή διεγείρεται με προσπίπτοντα κύματα SV. Επιβεβαιώνονται και σε αυτή την εργασία ο μηδενισμός των κατακόρυφων μετακινήσεων στο κέντρο της λεκάνης αποτέλεσμα της πλήρους συμμετρίας και η εμφάνιση των σημαντικών κατακόρυφων μετατοπίσεων σε κάποια απόσταση από το κέντρο της λεκάνης. Στο Σχήμα 2.15 δίνονται οι κατακόρυφες μετακινήσεις (uy(m)) για τραπεζοειδείς εδαφικές λεκάνες με λόγο L1/L=0.4 για διάφορες τιμές της παραμέτρου H/L. Παρατηρείται η αύξηση των κατακόρυφων μετακινήσεων καθώς αυξάνει ο λόγος H/L δηλαδή για δεδομένο πλάτος κοιλάδας καθώς αυξάνει το πάχος H (βλέπε και Σχήμα 2.5, η μείωση του λ/H, δηλαδή αύξηση του πάχους H επιφέρει αύξηση των κατακόρυφων ενισχύσεων).

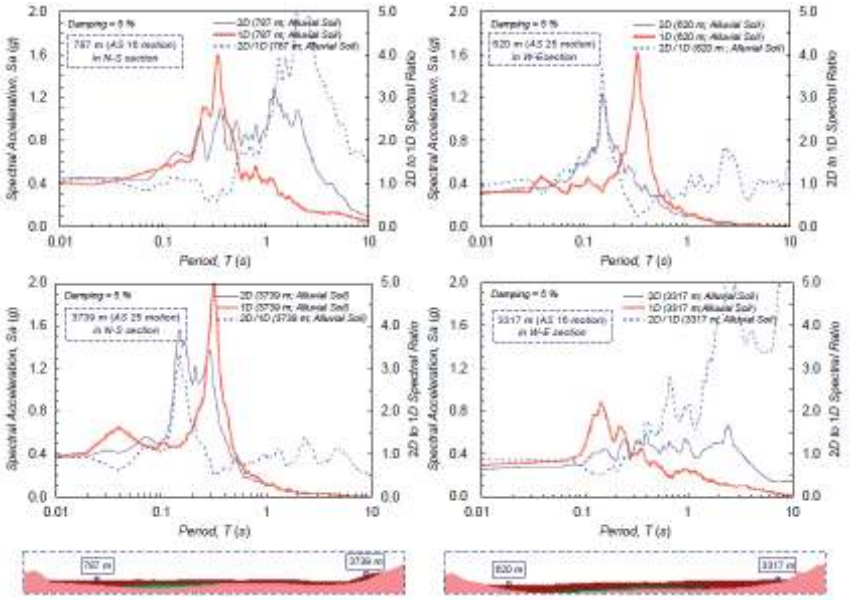


Σχήμα 2.15 : Επίδραση της παραμέτρου H/L στις κατακόρυφες μετατοπίσεις (uy(m)) στην επιφάνεια της λεκάνης, σε τραπεζοειδείς εδαφικές λεκάνες

2.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΦΑΣΜΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ

Οι Chang-Guk Sun et al. 2007, μελέτησαν τη λεκάνη στην περιοχή της Gyeongju η οποία έχει τραπεζοειδές σχήμα, βάθος περίπου 50m και πλάτος 4000m στη βορειοανατολική διεύθυνση (N-E) και 3500m στη νοτιοδυτική διεύθυνση (S-W).
Για την μελέτη των ενισχύσεων σε αυτή τη λεκάνη έχει γίνει αριθμητική διερεύνηση για διάφορες περιόδους SH κύματος που εισέρχεται κατακόρυφα στη λεκάνη με ποσοστό απόσβεσης ίσο με 0,05. Πιο συγκεκριμένα, στο σχήμα 2.16 δίνονται οι τιμές

των φασματικών επιταχύνσεων για 4 συνολικά σημεία της λεκάνης (2 για κάθε τομή) σε 2Δ και 1Δ ανάλυση για περιόδους έως 10sec. Επιπλέον, στο ίδιο σχήμα αποτυπώνεται και ο λόγος $Sa_{(2\Delta)}/Sa_{(1\Delta)}$ (μόνο για τη μέγιστη επιτάχυνση), απ' όπου παρατηρείται ότι η φασματική γεωμορφική ενίσχυση της οριζόντιας επιτάχυνσης μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερη εκείνης της μέγιστης επιτάχυνσης, για περιορισμένο όμως εύρος περιόδων, διαφορετικό ανά σημείο της επιφάνειας, και ότι αυτές οι πολύ μεγάλες ενισχύσεις μπορούν να εμφανισθούν και για πολύ μεγάλες περιόδους κατασκευής.



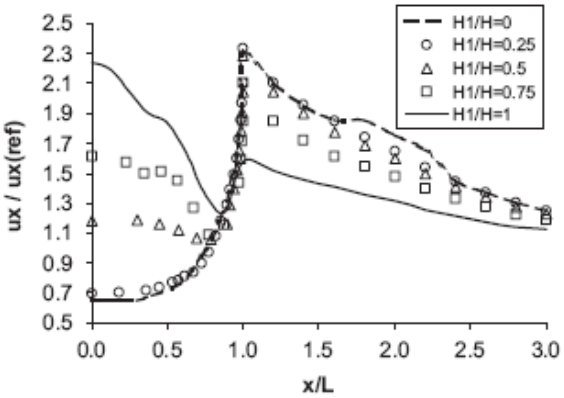
Σχήμα 2.16: Ενισχύσεις σε 4 σημεία της επιφάνειας της λεκάνης για SH κύμα για διάφορες περιόδους του κύματος.

2.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ

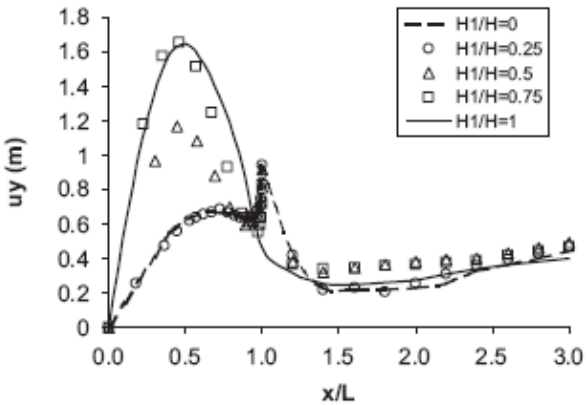
Στην εργασία Gatmiri et al. 2007 γίνεται μία προσπάθεια συνδυασμού της επίδρασης της τοπογραφίας αναγλύφου και της ύπαρξης εδαφικής λεκάνης στην ενίσχυση της κίνησης του εδάφους, μέσω μιας υβριδικής αριθμητικής τεχνικής. Ακολουθούν τα κυριότερα συμπεράσματα :

Σε ένα φαράγγι οι οριζόντιες μετακινήσεις έχουν την τάση να αποσβαίνουν στο κέντρο, ενώ ενισχύονται ελαφρώς στα άκρα. Από την άλλη μεριά, όταν σχηματίζεται αλλουβιακή κοιλάδα τότε οι οριζόντιες μετατοπίσεις ενισχύονται στο κέντρο της. Η επίδραση των γεωτεχνικών – εδαφικών συνθηκών τείνει να κυριαρχεί έναντι της επίδρασης της τοπογραφίας αναγλύφου και ειδικά όταν το πάχος της εδαφικής στρώσης ξεπερνά το 0.2L (L είναι το ημιεύρος της συμμετρικής εδαφικής λεκάνης).

Στην κεντρική περιοχή των εδαφικών λεκανών η παρουσία εδαφικών αποθέσεων ενισχύει την οριζόντια κίνηση όταν υπάρχει τοπογραφία αναγλύφου. Αυτό γίνεται εμφανές στο Σχήμα 2.17 στο οποίο αποτυπώνονται οι λόγοι των οριζόντιων μετακινήσεων στην επιφάνεια της εδαφικής κοιλάδας προς την μέγιστη οριζόντια μετακίνηση στον αναδυόμενο βράχο για περίπτωση 2Δ σχηματισμού με αδιάστατους λόγους L1/L=0.4 και H/L=1. Στο Σχήμα 2.18 αποτυπώνονται οι κατακόρυφες μετακινήσεις του Σχήματος 2.17. Παρατηρείται αύξηση των οριζόντιων και κατακόρυφων ενισχύσεων καθώς αυξάνεται ο αδιάστατος λόγος H1/H, δηλαδή όσο αυξάνεται το πάχος των εδαφικών αποθέσεων. Επιπλέον, όταν υπάρχει τοπογραφία αναγλύφου παρατηρείται ένα τοπικό μέγιστο πλησίον των άκρων της λεκάνης. Οι ενισχύσεις αυτές στα άκρα της λεκάνης μειώνονται με την αύξηση του αδιάστατου λόγου H1/H, δηλαδή καθώς αυξάνεται το πάχος των αποθέσεων μέσα στην εδαφική λεκάνη και κατ' επέκταση μειώνεται το ύψος των υπερυψωμένων πρανών εκατέρωθεν της λεκάνης.



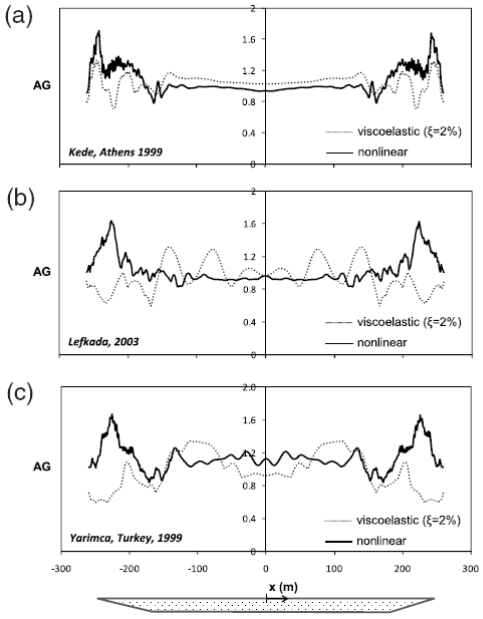
Σχήμα 2.17 : Επίδραση του πάχους της εδαφικής στρώσης (H1/H) στον λόγο οριζόντιας μετατόπισης στην επιφάνεια της λεκάνης προς τη μέγιστη μετατόπιση στον αναδυόμενο βράχο (ux/ux(ref)), σε τραπεζοειδή εδαφική λεκάνη με L1/L=0.4 και H/L=1



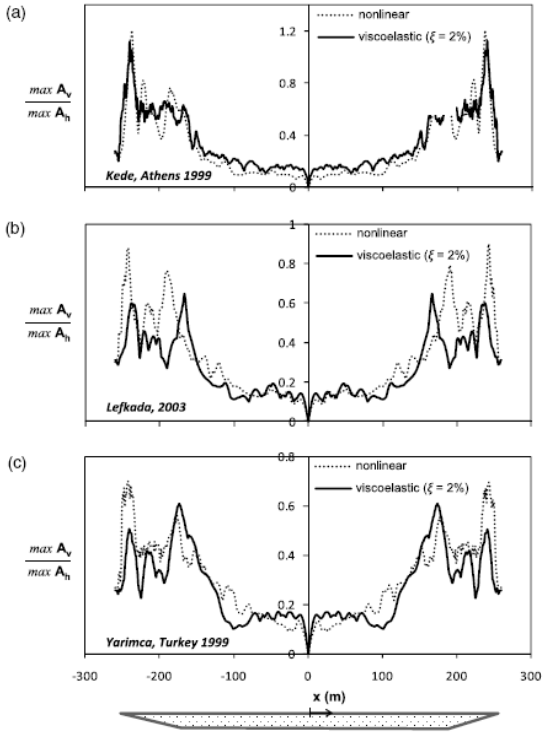
Σχήμα 2.18 : Επίδραση του πάχους της εδαφικής στρώσης (H1/H) στις κατακόρυφες μετατοπίσεις (uy(m)) στην επιφάνεια της λεκάνης, σε τραπεζοειδή εδαφική λεκάνη με L1/L=0.4 και H/L=1

2.6 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΗ – ΓΡΑΜΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Στην εργασία Gelagoti et al. 2010 γίνεται λόγος για την επίδραση της θεώρησης μη γραμμικού μοντέλου προσομοίωσης του εδάφους στις οριζόντιες και κατακόρυφες ενισχύσεις της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης στην επιφάνεια της εδαφικής λεκάνης Ohba Ohashi. Για την περιγραφή της μη γραμμικότητας του εδάφους χρησιμοποιήθηκε το καταστατικό προσομοίωμα που περιγράφεται στους Anastasopoulos et al. 2010, ενώ οι παράμετροι του μοντέλου βαθμονομούνται με βάση καμπύλες G-γ που υπάρχουν στη βιβλιογραφία όπως περιγράφεται στην εργασία Gerolymos et al. 2005, για έδαφος με δείκτη πλαστιμότητας PI=50%. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εργασίας η μη γραμμικότητα του εδάφους επηρεάζει τη 2Δ απόκριση της εδαφικής λεκάνης σε μεγάλο βαθμό. Όταν η εδαφική λεκάνη υποβάλλεται σε πραγματικές σεισμικές διεγέρσεις τότε η μη γραμμικότητα του εδάφους οδηγεί σε αύξηση των οριζόντιων ($AG=A_{2D}/A_{1D}$) και κατακόρυφων ($maxA_h/maxA_v$) συντελεστών ενίσχυσης. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται αύξηση των οριζόντιων και κατακόρυφων ενισχύσεων κυρίως στα άκρα της λεκάνης καθώς αυξάνει η μη γραμμικότητα (δηλαδή η ένταση της διέγερσης). Στα Σχήματα 2.21 a έως c αποτυπώνονται οι οριζόντιες ενισχύσεις στην επιφάνεια της εδαφικής λεκάνης για τρεις διαφορετικές πραγματικές διεγέρσεις (Αθήνα 1999, Λευκάδα 2003, Yarimca-Τουρκία 1999) για ιξωδοελαστική ανάλυση με λόγο απόσβεσης ξ=2% και για μη γραμμική ανάλυση. Στα Σχήματα 2.22 a έως b δίνονται οι λόγοι παρασιτικών κατακόρυφων ενισχύσεων των περιπτώσεων του Σχήματος 2.19.



Σχήμα 2.19 : Επίδραση της μη γραμμικότητας : σύγκριση ιξωδοελαστικών αναλύσεων με μη γραμμικές αναλύσεις, χρησιμοποιώντας πραγματικές καταγραφές ως σεισμική διέγερση. Διαφοροποίηση του συντελεστή επιδείνωσης AG κατά μήκος της επιφάνειας για : (a) καταγραφή Αθήνας 1999, (b) καταγραφή Λευκάδας 2003 και (c) καταγραφή Yarimca Kocaeli 1999.



Σχήμα 2.20 : Επίδραση της μη γραμμικότητας : σύγκριση ιξωδοελαστικών αναλύσεων με μη γραμμικές αναλύσεις, χρησιμοποιώντας πραγματικές καταγραφές ως σεισμική διέγερση. Διαφοροποίηση του λόγου των κατακόρυφων προς οριζόντιων επιταχύνσεων κατά μήκος της επιφάνειας για : (a) καταγραφή Αθήνας 1999, (b) καταγραφή Λευκάδας 2003 και (c) καταγραφή Yarimca Kocaeli 1999.

Στην εργασία Psarropoulos et al. 2007 μελετήθηκε μεταξύ άλλων και η επίδραση της μη γραμμικότητας του εδάφους στη σεισμική κίνηση. Πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με διεγέρσεις μορφής παλμών Ricker, δεσπόζουσας συχνότητας 1Hz και 2Hz, για τις παρακάτω περιπτώσεις συνδυασμών εδαφών-διεγέρσεων:

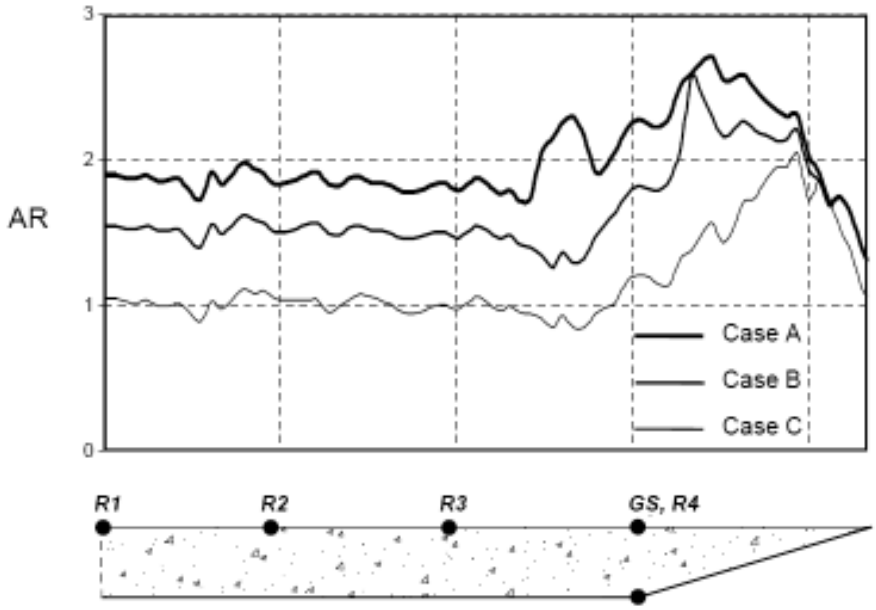
1η περίπτωση (case A): PI=200 PGBA=0,034g γραμμικό έδαφος

2η περίπτωση (case B): PI=50 PGBA=0,034g ελαφρώς μη γραμμικό έδαφος

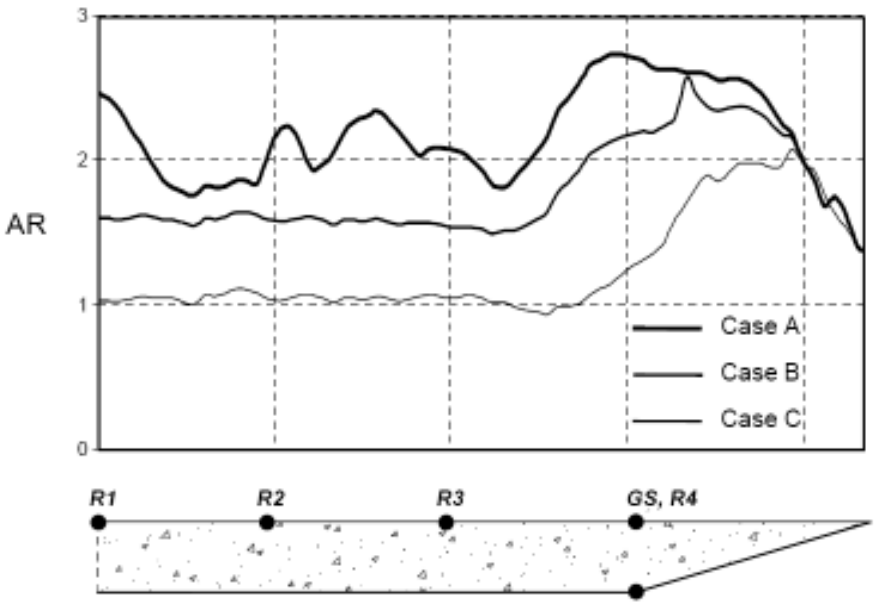
3η περίπτωση (case C): PI=50 PGBA=0,340g μη γραμμικό έδαφος

Στις περιπτώσεις B και C θεωρείται έδαφος με μικρότερο PI και μεγαλύτερη ένταση σεισμού, έτσι ώστε η πραγματική συμπεριφορά της λεκάνης να πλησιάζει πιο κοντά στη μη γραμμικότητα.

Στα Σχήματα 2.21 και 2.22 αποτυπώνονται οι οριζόντιες γεωμορφικές ενισχύσεις (λόγος της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης σε κάθε σημείο της επιφάνειας του εδάφους προς την τιμή που έχει η μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση στη «θαμμένη» γωνία της εδαφικής λεκάνης) για τους παλμούς 1Hz και 2Hz στο δεξί μέρος της λεκάνης για τις τρεις περιπτώσεις εδαφών. Είναι εμφανές ότι όσο πιο γραμμικώς ελαστικά συμπεριφέρεται το έδαφος τόσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές των συνολικών ενισχύσεων, ενώ και στις 2 περιπτώσεις συχνοτήτων οι μεγαλύτερες τιμές ενισχύσεων εμφανίζονται πλησίον των άκρων της λεκάνης.



Σχήμα 2.21: Τιμές οριζόντιων ενισχύσεων για συχνότητα 2Hz κατά μήκος της λεκάνης για τρεις περιπτώσεις εδαφών.



Σχήμα 2.22: Τιμές οριζόντιων ενισχύσεων για συχνότητα 1Hz κατά μήκος της λεκάνης για τρεις περιπτώσεις εδαφών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Για την παρούσα εργασία εκτελέστηκε μία σειρά αριθμητικών αναλύσεων. Το υπολογιστικό πρόγραμμα που χρησιμοποιείται είναι το FLAC το οποίο εφαρμόζεται για την επίλυση δισδιάστατων προβλημάτων με χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών. Είναι ένα λογισμικό που εξειδικεύεται στην προσομοίωση της συμπεριφοράς εδάφους και βράχου, δηλαδή προβλημάτων που άπτονται της γεωτεχνικής (σεισμικής και μη) μηχανικής.

Η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών βασίζεται στην αριθμητική επίλυση της πλήρους διαφορικής εξισώσεως κίνησης και η διαδικασία επίλυσης εξελίσσεται με υπολογιστικά βήματα.
Το υλικό προσομοιώνεται με ζώνες (ή στοιχεία) που μορφώνουν έναν κάνναβο, ο οποίος έχει καθοριστεί από το χρήστη για να ταιριάζει με τη γεωμετρία του προβλήματος.
Ο κάνναβος έχει την ικανότητα να κινείται και να παραμορφώνεται «ακολουθώντας» το εδαφικό υλικό, κατά τα πρότυπα της μεθοδολογίας Lagrange («του κινούμενου παρατηρητή»), αν χρειάζεται από τη φύση του προβλήματος.
Μέσω της εξίσωσης κίνησης υπολογίζονται σε κάθε βήμα αρχικά οι ταχύτητες των κόμβων του δικτύου (ή αλλιώς, η προσαύξηση των μετατοπίσεων ανά βήμα) από τις τάσεις και τις δυνάμεις του προηγούμενου βήματος.
Από αυτές προκύπτουν ο ρυθμοί των παραμορφώσεων σε κάθε κόμβο και από αυτούς οι νέες τάσεις στις ζώνες του δικτύου βάσει της καταστατικής σχέσης τάσεων-παραμορφώσεων που καθορίζεται από το χρήστη.
Από τις τάσεις στις ζώνες (στις οποίες περιλαμβάνονται και οι τάσεις του προηγούμενου βήματος) προκύπτουν οι ισοδύναμες δυνάμεις στους κόμβους του δικτύου, που οφείλονται στην εντατική κατάσταση του μέσου.
Η επαλληλία αυτών με τη δύναμη λόγω αποσβέσεως αλλά και τις εξωτερικές δυνάμεις δίνει τη μη ισορροπούσα δύναμη ΣF σε κάθε κόμβο. Η δύναμη αυτή θα πρέπει σύμφωνα με τη διαφορική εξίσωση κίνησης να είναι ίση με την αδρανειακή δύναμη.
Έτσι διαιρώντας με την ισοδύναμη μάζα m κάθε κόμβου και πολλαπλασιάζοντας το πηλίκο επί κάποιο μικρό χρονικό βήμα Δt, προκύπτει η προσαύξηση της ταχύτητας κάθε κόμβου σύμφωνα με τη σχέση:

$$U_{(t+\Delta t/2)} = u_{(t-\Delta t/2)} + (\Sigma F/m)\cdot \Delta t$$

Έχοντας υπολογίσει τη νέα ταχύτητα του κόμβου η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται για το επόμενο υπολογιστικό βήμα.

Στην περίπτωση που το πρόβλημα επιλύεται δυναμικά, η μάζα και η σταθερά αποσβέσεως είναι αυτές που αντιστοιχούν στις πραγματικές παραμέτρους, ενώ τα χρονικά βήματα υπολογισμού Δt αντιστοιχούν σε πραγματικά χρονικά διαστήματα. Αν η επίλυση επιλεγεί να γίνει στατικά, τότε η μάζα, η σταθερά αποσβέσεως και το βήμα υπολογισμού καθορίζονται από το ίδιο το πρόγραμμα έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ταχύτερη σύγκλιση.

Για καλύτερα αποτελέσματα η επίλυση διαχωρίζει την κάθε τετραπλευρική ζώνη του καννάβου σε τέσσερις τριγωνικές υποζώνες. Σε δυναμικά προβλήματα το χρονικό βήμα υπολογισμού υπολογίζεται από το πρόγραμμα έτσι ώστε να είναι μικρότερο από το κρίσιμο για το οποίο ισχύει:

$$\boxed{\Delta t_{crit} = \min[A / V_p d_{max}]}$$

Όπου, A : το εμβαδόν της τριγωνικής υποζώνης κάθε ζώνης του δικτύου
d_{max} : η μεγαλύτερη διαγώνιός της και
V_P : η ταχύτητα διάδοσης των διαμήκων κυμάτων όπως αυτή υπολογίζεται από τις δεδομένες ελαστικές σταθερές του προβλήματος.
Το min αναφέρεται στον ελάχιστο λόγο $A/(V_p d_{max})$ που απαντάται σε όλο το δίκτυο πεπερασμένων διαφορών.

Ο περιορισμός αυτός για το χρονικό βήμα υπολογισμού οφείλεται, κατ' ουσίαν, στην απαίτηση η "πληροφορία" για τη σχέση τάσεων-παραμορφώσεων και δράσεων να μη διαδίδεται μέσα στον κάνναβο με ταχύτητα μεγαλύτερη από την ταχύτητα διάδοσης των διαμήκων κυμάτων, παραβιάζοντας τον πραγματικό μηχανισμό που συναντάται στη φύση.
Οι συνοριακές συνθήκες του προβλήματος επιλέγονται με γνώμονα :
την κατά το δυνατό καλύτερη προσομοίωση του προβλήματος που απαντάται στη φύση και την υπολογιστική ταχύτητα που απαιτείται για την εξαγωγή αποτελεσμάτων.

Με βάση τα παραπάνω δεν υπάρχει ανάγκη για πολύ μεγάλους καννάβους προσομοίωσης για να επιτυγχάνεται ο στόχος μη επηρεασμού της περιοχής ενδιαφέροντος από τις συνοριακές συνθήκες. Εναλλακτικά, χρησιμοποιείται ένας λογικής τάξης μεγέθους κάνναβος στο κάτω όριο του οποίου επιβάλλονται κατάλληλες συνθήκες απορρόφησης της ενέργειας που ισοδυναμούν με την απόσβεση ακτινοβολίας που θα λάμβανε χώρα εάν επρόκειτο για ημιχώρο. Επίσης,

στα πλευρικά όρια του καννάβου εφαρμόζονται συνθήκες ελεύθερου πεδίου οι οποίες εξασφαλίζονται με ειδικές διατάξεις που πρακτικώς "επιβάλλουν" συνθήκη ελεύθερου πεδίου στο όριο. Ακόμη επισημαίνεται ότι η κίνηση επιβάλλεται στο κάτω όριο του καννάβου ως χρονοϊστορία τάσης και όχι μετατόπισης, ταχύτητας ή επιτάχυνσης οπότε θα δημιουργούνταν τεχνητές ανακλάσεις στο εν λόγω όριο.

Πλεονεκτήματα του προγράμματος FLAC:

Το FLAC αντιμετωπίζει την ανελαστικότητα στη σχέση τάσεων – παραμορφώσεων με διάφορα ελαστο-πλαστικά καταστατικά μοντέλα (π.χ. το μοντέλο Mohr-Coulomb, Drucker-Prager) και μάλιστα σχεδόν με τις ίδιες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ που προβλέπονται για το απλό ελαστικό μοντέλο. Αντίθετα, προγράμματα πεπερασμένων στοιχείων απαιτούν σημαντικά περισσότερο χρόνο.
Δε γίνεται μόρφωση και αποθήκευση μητρώων ακαμψίας οπότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί μεγάλος αριθμός στοιχείων κατά την προσομοίωση με μέτριες απαιτήσεις σε μνήμη, ενώ προβλήματα με μεγάλες μετατοπίσεις και παραμορφώσεις αντιμετωπίζονται επίσης χωρίς πρόσθετη υπολογιστική προσπάθεια.
Διαθέτει μια ενσωματωμένη γλώσσα, τη Fish που μοιάζει με τη FORTRAN, αλλά που είναι προσαρμοσμένη στις δυνατότητες, απαιτήσεις και ανάγκες του FLAC. Η Fish δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να εφοδιάζει τα αρχεία εισόδου του με υπορουτίνες και κώδικες που μπορούν να μετατρέπουν ή να συμπληρώνουν καταστατικά προσομοιώματα ή να εισάγουν στην υπολογιστική διαδικασία νέες μεταβλητές και παραμέτρους.

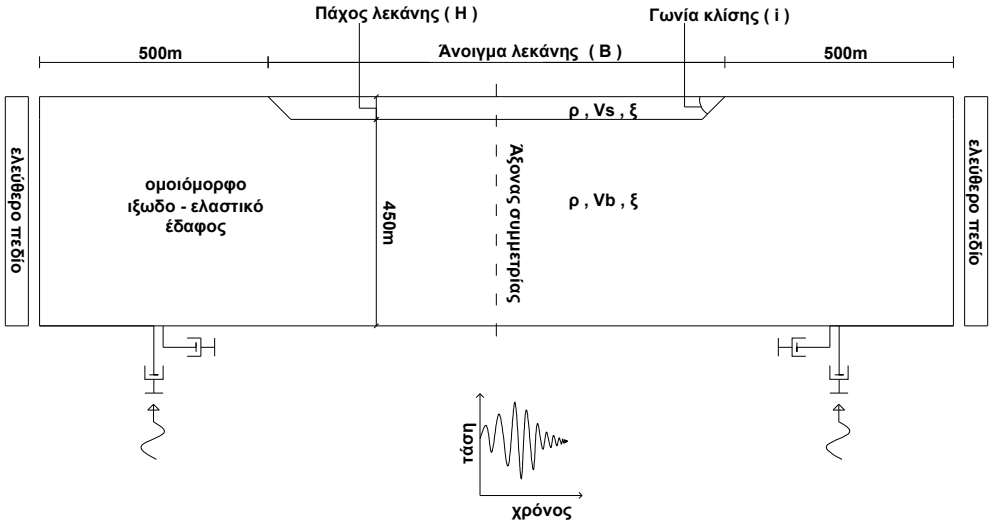
Παρά τα πλεονεκτήματα του FLAC που αναφέρονται παραπάνω, υπάρχουν και ορισμένες αδυναμίες που ενδέχεται να αυξήσουν τις απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ. Συγκεκριμένα:
Η χρήση συντελεστή αποσβέσεως ανάλογου της ακαμψίας, πολύπλοκα ελαστοπλαστικά καταστατικά προσομοιώματα και άλλες υπορουτίνες γραμμένες σε Fish, που παρεμβάλλονται σε κάθε υπολογιστικό κύκλο που εκτελεί το πρόγραμμα, είναι παράγοντες που αυξάνουν το συνολικό χρόνο επίλυσης.
Κυρίως όμως χρειάζεται σημαντική υπολογιστική προσπάθεια διότι τα υπολογιστικά βήματα που απαιτούνται πρέπει να είναι μικρά και κατά συνέπεια πολλά σε αριθμό, αφού προκειμένου να μειωθεί η επίδραση της αδράνειας στο ελάχιστο, οι επιβαλλόμενες ταχύτητες στο σύνορο πρέπει να είναι μικρές. Αυτό ισχύει και για τη στατική επίλυση καθώς, λόγω του χαρακτήρα του κώδικα, η επίδραση της αδράνειας υπεισέρχεται και σε αυτή την ανάλυση.

3.2 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

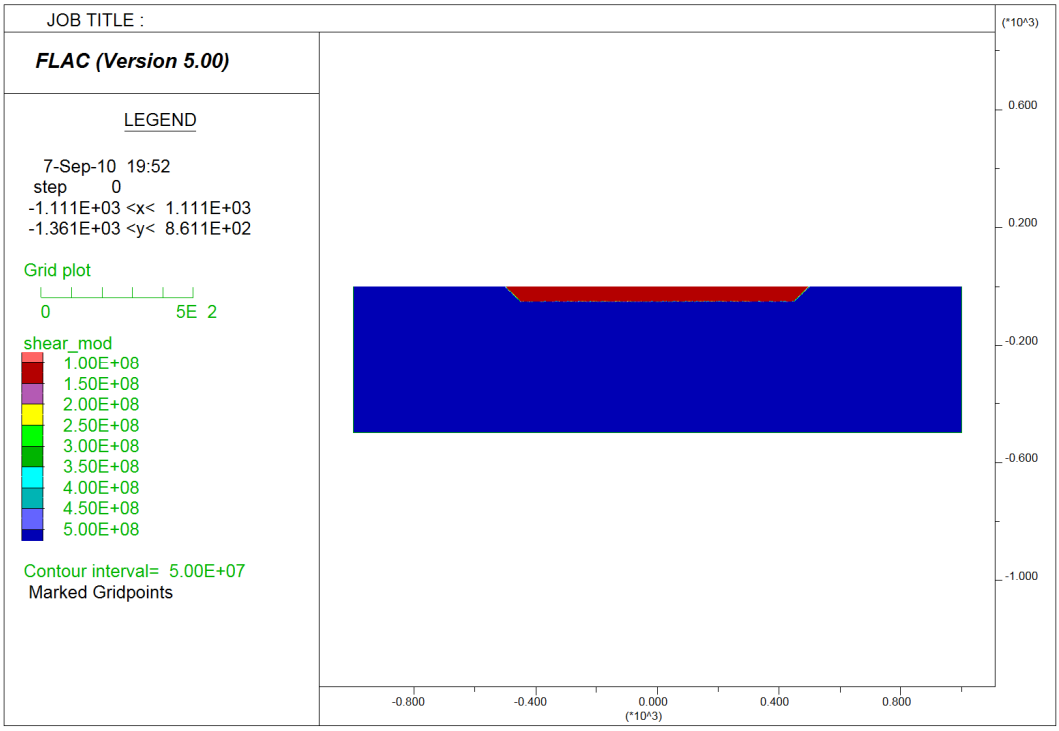
Η εργασία επικεντρώνεται σε 2Δ εδαφικές λεκάνες τραπεζοειδούς διατομής, με παραμέτρους το άνοιγμα της λεκάνης B, το βάθος της H και την κλίση των άκρων της i. Πραγματοποιήθηκαν 37 «ομάδες» αναλύσεων, κάθε μία από τις οποίες αποτελείται από τρεις επιμέρους αναλύσεις ως εξής :

A) <u>Σύστημα βραχώδες υπόβαθρο - εδαφική λεκάνη</u>

Για την προσομοίωση της πραγματικής δισδιάστατης συμπεριφοράς μιας εδαφικής απόθεσης σε βραχώδες υπόβαθρο, χρησιμοποιήθηκαν λεκάνες τραπεζοειδούς διατομής, με γεωμετρικές παραμέτρους το άνοιγμα της λεκάνης (B), το βάθος της (H) (ύψος τραπεζίου) και την κλίση των άκρων της (i). (Σχήμα 3.1) Σε κάθε ανάλυση, βραχώδες υπόβαθρο βάθους 450m υπόκειται της εδαφικής λεκάνης, ενώ εκατέρωθεν αυτής το αναδυόμενο βραχώδες υπόβαθρο εκτείνεται κατά 500m. Ο κάνναβος σχεδιάστηκε έτσι ώστε, στην περιοχή της εδαφικής λεκάνης να υπάρχει πύκνωση (μικρή διακριτοποίηση) και επιπλέον στην επιφάνεια να υπάρχουν κόμβοι ανά 5m. Για παράδειγμα, μια περίπτωση λεκάνης με H=50m, B=1000m και i=45° αποτελείται από 400 x 110 ζώνες. (σχήμα 3.2)



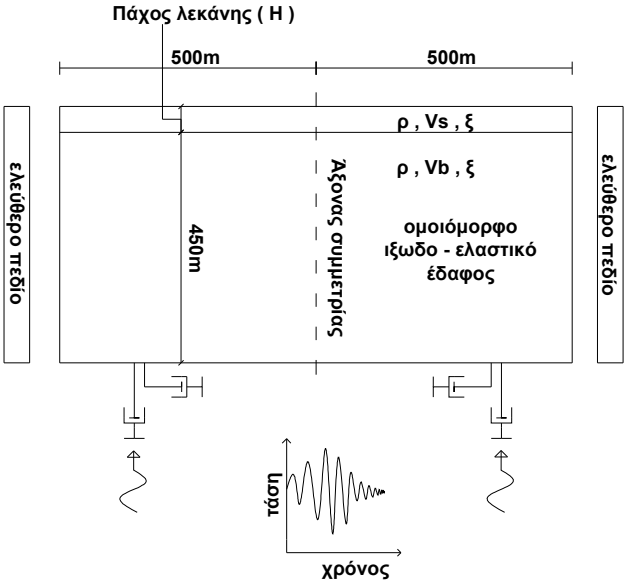
Σχήμα 3.1: Σκαρίφημα στοιχείων ανάλυσης συστήματος υπόβαθρου - εδαφικής λεκάνης



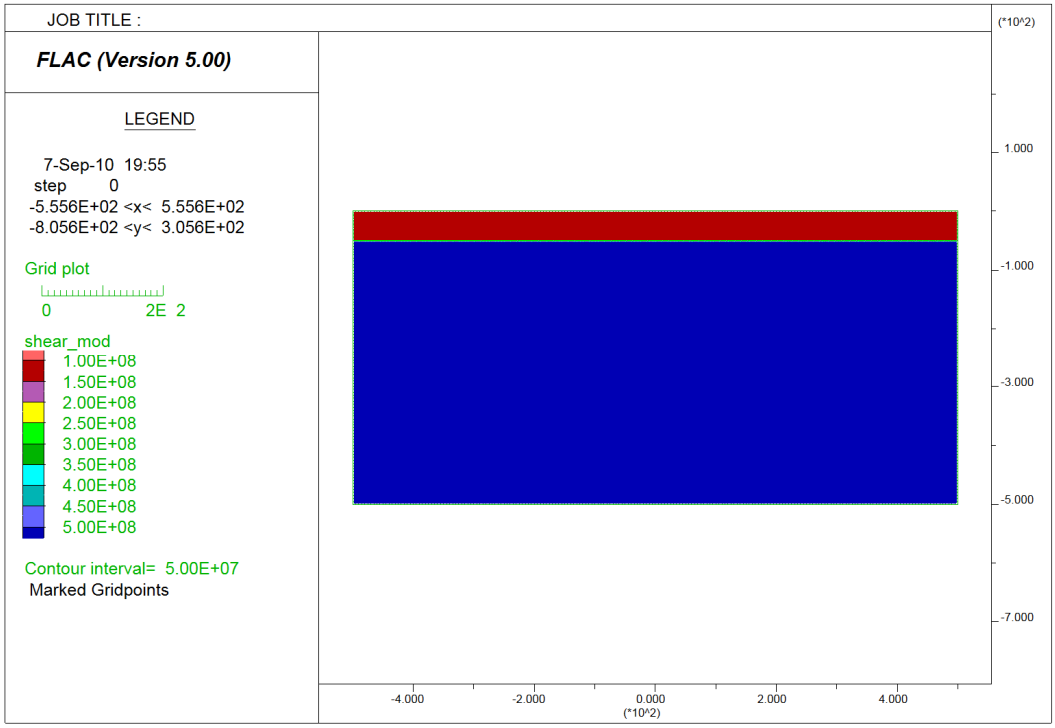
Σχήμα 3.2: Ενδεικτικός κάνναβος ανάλυσης συστήματος υπόβαθρου - εδαφικής λεκάνης

Β) <u>Σύστημα βραχώδες υπόβαθρο – απειρόμηκες έδαφος</u>

Δημιουργήθηκαν κάνναβοι αντίστοιχοι της πρώτης ανάλυσης με τη διαφορά ότι εδαφική στρώση πάχους ίσου με αυτό της αντίστοιχης λεκάνης, εκτείνεται οριζοντίως έως τα όρια του καννάβου. Αντίστοιχα, σε κάθε περίπτωση, βραχώδες υπόβαθρο πάχους 450m υπόκειται της εδαφικής στρώσης. Για την πραγματοποίηση των αναλύσεων αυτού του συστήματος, επιλέχθηκε εδαφική στρώση μήκους 1000m. (σχήμα 3.3) Αυτός ο κάνναβος αφορά την θεωρητικώς 1Δ σεισμική απόκριση της λεκάνης υπό σεισμική διέγερση, μια απόκριση πραγματική μόνο για λεκάνη απείρου μήκους Β. Χάριν απλότητας και απαλοιφής οποιασδήποτε τεχνητής επίδρασης του καννάβου στα αποτελέσματα, για την ανάλυση του συστήματος βραχώδους υποβάθρου – εδάφους χρησιμοποιήθηκε ίδια διακριτοποίηση σε στοιχεία με την ανάλυση του συστήματος βραχώδους υποβάθρου – εδαφικής λεκάνης. Στο συγκεκριμένο σύστημα, καθώς δεν υπάρχει η έννοια του ανοίγματος της λεκάνης, το μέγεθος του καννάβου εξαρτάται από το πάχος Η της εδαφικής στρώσης ως εξής: 200 x [(450/5) + (H/2.5)]. Στο Σχήμα 3.4 παρουσιάζεται ένας ενδεικτικός κάνναβος για μια ανάλυση με Η = 50m, ο οποίος αποτελείται από 200x110 ζώνες, με πύκνωση στην περιοχή της εδαφικής στρώσης.



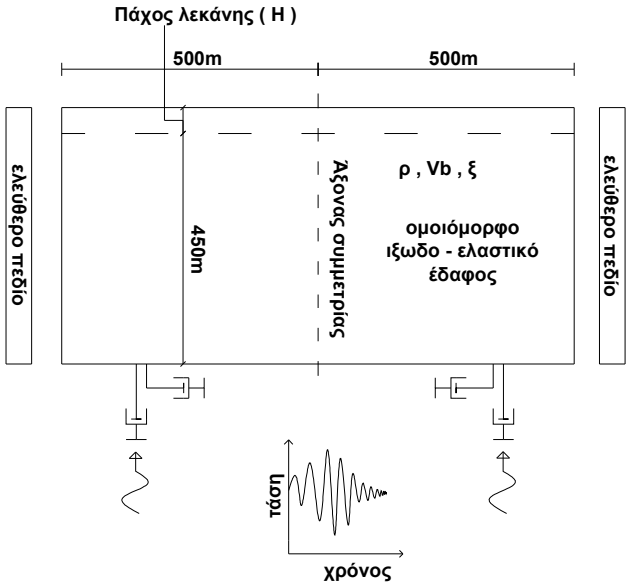
Σχήμα 3.3: Σκαρίφημα στοιχείων ανάλυσης συστήματος απειρομήκους έδαφους επί βραχώδους υπόβαθρου



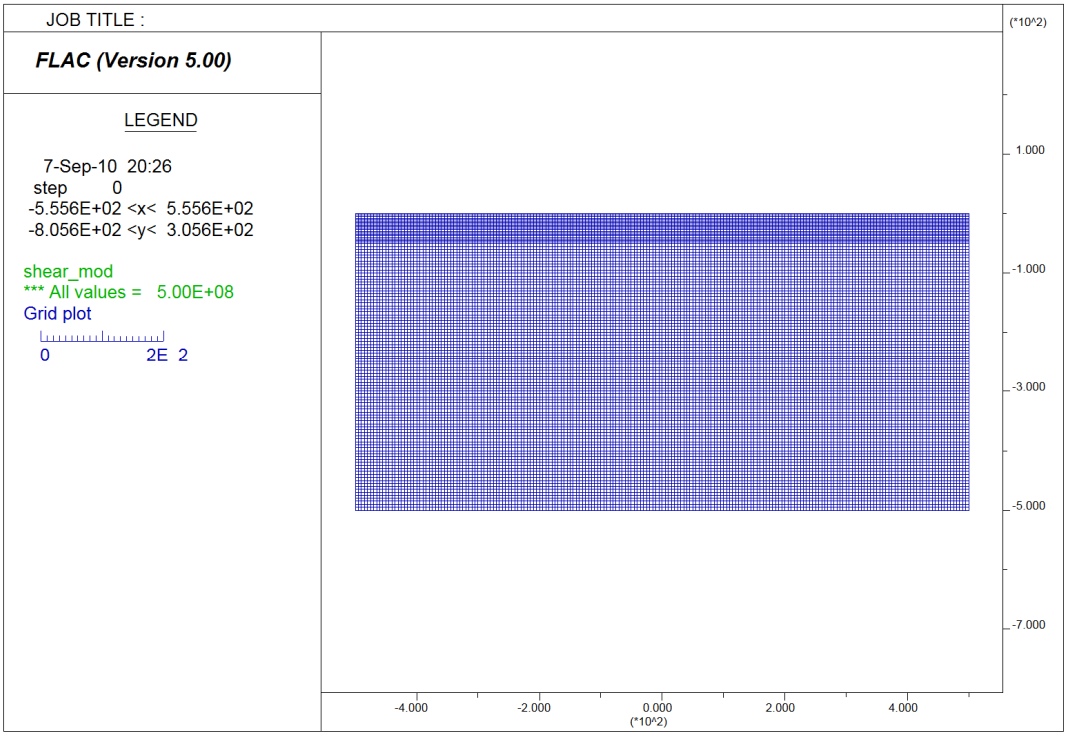
Σχήμα 3.4: Ενδεικτικός κάνναβος ανάλυσης συστήματος υπόβαθρου - απειρομήκους εδάφους

Γ) <u>Βραχώδες υπόβαθρο</u>

Δημιουργήθηκαν κάνναβοι αντίστοιχοι των προηγούμενων, με τη διαφορά ότι σε όλο τον κάνναβο υπάρχει μόνο βράχος (βλέπε σχήμα 3.5). Αυτός ο κάνναβος αφορά την θεωρητικώς 1Δ σεισμική απόκριση του βραχώδους υποβάθρου, μια απόκριση πραγματική μόνο σε πολύ μεγάλη (οιωνεί άπειρη) οριζόντια απόσταση από τη λεκάνη. Χάριν απλότητας και απαλοιφής οποιασδήποτε τεχνητής επίδρασης του καννάβου στα αποτελέσματα, για την ανάλυση του συστήματος βραχώδους υποβάθρου χρησιμοποιήθηκε ίδια διακριτοποίηση σε στοιχεία με την ανάλυση των προηγούμενων συστημάτων. Ο κάνναβος αυτός έχει ίδιο αριθμό ζωνών με αυτόν του συστήματος βραχώδες υπόβαθρο – απειρόμηκες έδαφος. Στο Σχήμα 3.6 παρουσιάζεται ένας ενδεικτικός κάνναβος βράχου που αντιστοιχεί σε μια ανάλυση με πάχος λεκάνης H = 50m, ο οποίος αποτελείται από 200x110 ζώνες, με πύκνωση στην περιοχή της εδαφικής στρώσης.



Σχήμα 3.5: Σκαρίφημα στοιχείων ανάλυσης βραχώδους υποβάθρου



Σχήμα 3.6: Ενδεικτικός κάνναβος ανάλυσης συστήματος βραχώδους υπόβαθρου

Σχετικά με τα στοιχεία των αναλύσεων της παρούσας εργασίας θα ήταν χρήσιμο να επισημανθούν τα κάτωθι :

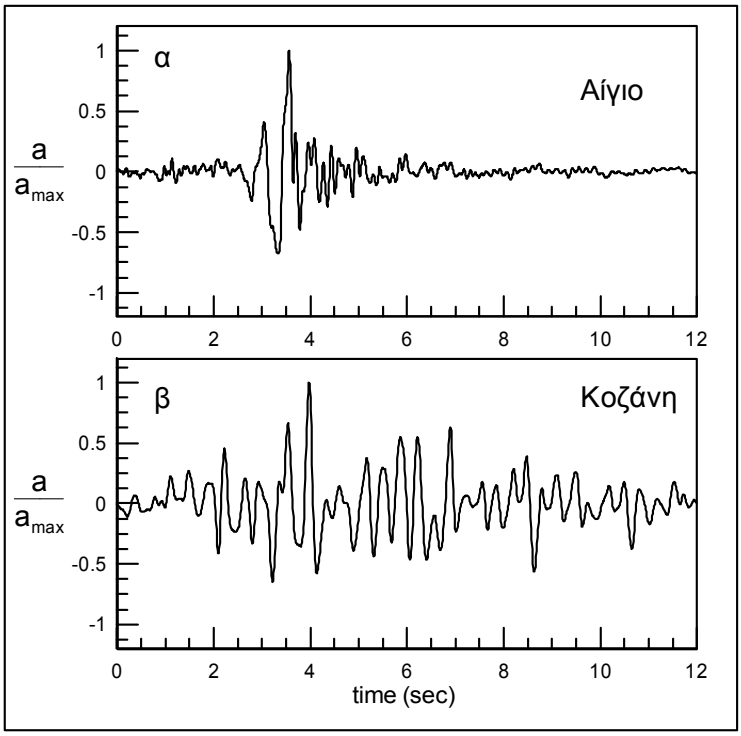
- Στα πλευρικά όρια του καννάβου, χρησιμοποιήθηκαν συνοριακές συνθήκες ελεύθερου πεδίου (ff), για την αναπαράσταση της θεωρητικώς άπειρης οριζόντιας έκτασης του ημιχώρου εκτός καννάβου, ώστε να αποφευχθεί η πιθανή επίδραση των ορίων του καννάβου λόγω τεχνητών ανακλάσεων στην απόκριση της λεκάνης. Επιπλέον, το αναδυόμενο υπόβαθρο εκτείνεται κατά 500m αριστερά και δεξιά της λεκάνης, για τον ίδιο λόγο.
- Ανεξάρτητα από το πάχος της λεκάνης, το βάθος του βραχώδους υπόβαθρου κάτω από αυτήν είναι πάντα 450m, ώστε να είναι συγκρίσιμα τα μεγέθη ενίσχυσης στην επιφάνεια του εδάφους από όλες τις αναλύσεις.
- Οι κάνναβοι πεπερασμένων διαφορών έχουν μορφωθεί έτσι ώστε, στην επιφάνεια κάθε ομάδας αναλύσεων να υπάρχουν κόμβοι ανά 5m, για να υπάρχουν αποτελέσματα στα ίδια σημεία σε κάθε ένα από τα τρία συστήματα της εκάστοτε ομάδας.

3.3 ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ

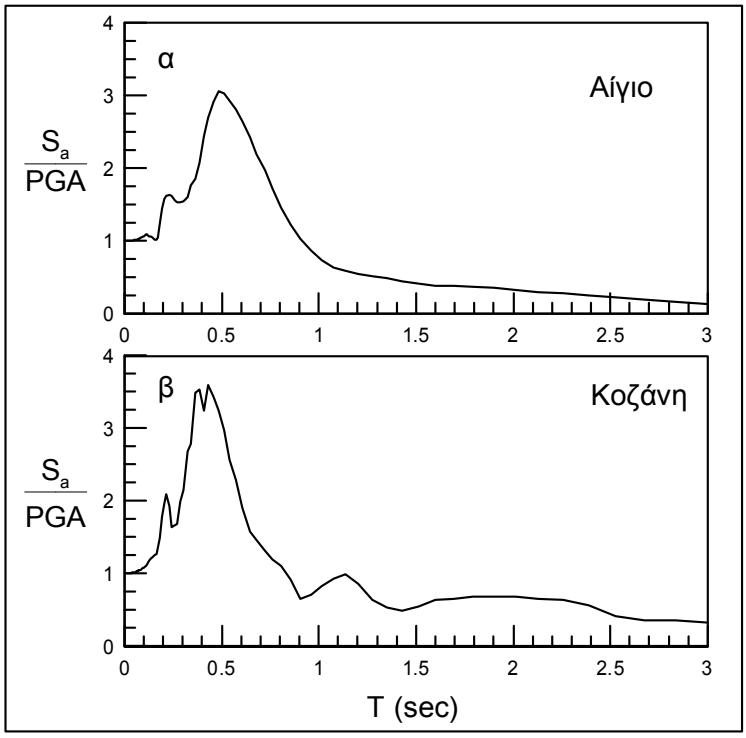
Το βραχώδες υπόβαθρο θεωρήθηκε ομοιόμορφο ιξωδο-ελαστικό. Το έδαφος και ο βράχος έχουν κοινή πυκνότητα $\rho=2Mg/m^3$, κοινό λόγο Poisson $\nu=1/3$, αλλά διαφορετικές ταχύτητες διάδοσης των διατμητικών κυμάτων σε έδαφος και βράχο, V_s και V_b αντίστοιχα.

3.4 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Με βάση τις προηγούμενες μελέτες για την επίδραση της μορφολογίας του υποβάθρου, η επίδραση του αριθμού σημαντικών κύκλων της διέγερσης βρέθηκε ως λιγότερο σημαντική παράμετρος. Για το λόγο αυτό στις περισσότερες αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε ως διέγερση η καταγραφή του σεισμού του Αιγίου 1995 με ένα σημαντικό κύκλο φόρτισης. Παρ' όλα αυτά στο κεφάλαιο που μελετάται η επίδραση της χρήσης μη γραμμικού μοντέλου στη γεωμορφική ενίσχυση στην επιφάνεια της εδαφικής λεκάνης (Κεφάλαιο 6), χρησιμοποιείται σε ορισμένες αναλύσεις ως διέγερση και ο σεισμός της Κοζάνης που χαρακτηρίζεται από πολλούς (4) κύκλους φόρτισης. Κάθε μία από τις χρονοϊστορίες είναι διαβαθμισμένη στο εκάστοτε επιθυμητό δεσπόζον μήκος κύματος $\lambda=V_s/f$, μεταβάλλοντας το χρονικό βήμα ολοκλήρωσής τους, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή τιμή δεσπόζουσας συχνότητας f. Το εύρος των δεσπόζουσων συχνοτήτων που χρησιμοποιήθηκαν είναι f=1 έως 10 Hz με στόχο να καλυφθεί όλο το πιθανό εύρος δεσπόζουσων συχνοτήτων που αναμένονται στην πράξη. Η σεισμική διέγερση όλων των αναλύσεων ήταν χρονοϊστορία οριζόντιας ταλάντωσης του υλικού σημείου που επιβλήθηκε ως χρονοϊστορία διατμητικών τάσεων στο κάτω οριζόντιο σύνορο των καννάβων, ούτως ώστε να προσομοιωθούν κατακόρυφα προσπίπτοντα κύματα SV από τον υποκείμενο ημίχωρο. Στη βάση του καννάβου τοποθετήθηκαν και στις δύο διευθύνσεις, αποσβεστήρες οι οποίοι διασφαλίζουν τη μη δημιουργία τεχνητών ανακλάσεων. Στα Σχήματα 3.7α και β δίνονται οι χρονοϊστορίες επιτάχυνσης για δεσπόζουσα περίοδο T_e=0.5sec, ενώ στα Σχήματα 3.8α και β τα ελαστικά φάσματα απόκρισης των σεισμών Αιγίου και Κοζάνης 1995.



Σχήμα 3.7 : Χρονοϊστορίες επιτάχυνσης με δεσπόζουσα περίοδο Te=0.5sec των σεισμών Αιγίου (α) και Κοζάνης (β) 1995



Σχήμα 3.8 : Ελαστικά φάσματα απόκρισης επιτάχυνσης των σεισμών Αιγίου και Κοζάνης 1995

3.5 ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

3.5.1 ΙΞΩΔΟ-ΕΛΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Οι αναλύσεις που πραγματοποιούνται στο κεφάλαιο 4 (μελέτη της επίδραση της μη-συμμετρίας της εδαφικής λεκάνης στις γεωμορφικές ενισχύσεις) και στο κεφάλαιο 5 (μελέτη της αλληλεπίδρασης τοπογραφίας αναγλύφου και μορφολογίας υποβάθρου) είναι ιξωδο-ελαστικές. Σε τέτοιου είδους αναλύσεις, η πραγματικώς υστερητική απόσβεση των γεωϋλικών προσομοιώνεται μέσω της απόσβεσης Rayleigh, η οποία εξαρτάται από τη συχνότητα. Πιο συγκεκριμένα, το μητρώο απόσβεσης *C* της εξίσωσης κίνησης του υλικού σημείου συσχετίζεται με τα μητρώα μάζας *M* και δυσκαμψίας *K* σύμφωνα με τη σχέση:

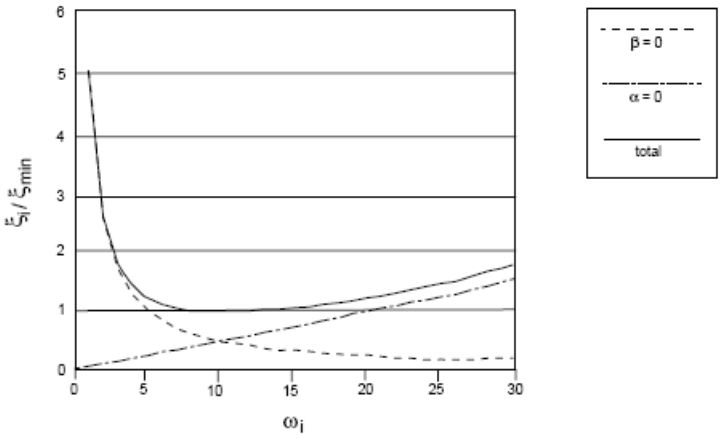
$$C = \alpha \cdot M + \beta \cdot K \tag{3.1}$$

όπου :

$$\alpha = \xi_{min} \cdot \omega_{min}$$

$$\beta = \xi_{min} / \omega_{min}$$

Η εν λόγω συσχέτιση της τελικής τιμής της απόσβεσης ξ με την κυκλική συχνότητα ω αποτυπώνεται στο Σχήμα 3.9.



Σχήμα 3.9 : Απόσβεση Rayleigh σε συνάρτηση με τη συχνότητα (ενδεικτικό γράφημα)

Δεδομένου ότι η εξάρτηση της απόσβεσης ξ από τη συχνότητα ω δεν είναι μια ρεαλιστική θεώρηση για την υστερητική απόσβεση των γεωϋλικών, σχετικώς ρεαλιστικές προσομοιώσεις επιτυγχάνονται με βαθμονόμηση της απόσβεσης Rayleigh ώστε να δίνει τις επιθυμητές τιμές ξ στις συχνότητες που κυρίως ενδιαφέρουν. Στο υπό μελέτη πρόβλημα, οι συχνότητες που κυρίως ενδιαφέρουν είναι εκείνες μεταξύ της δεσπόζουσας κυκλικής συχνότητας της διέγερσης ω_e και της

ιδιοσυχνότητας κυκλικής ταλάντωσης της εδαφικής στρώσης ω_S, καθώς η δεσπόζουσα συχνότητα της τελικής ταλάντωσης των υλικών σημείων του εδάφους θα έχει τιμή μεταξύ των δύο αυτών ακραίων τιμών. Χάριν απλότητας, στην παρούσα εργασία η εκτίμηση του ω_{min} γίνεται θεωρώντας τη δεσπόζουσα περίοδο στην οποία αντιστοιχεί ίση με τη μέση τιμή μεταξύ των δύο προαναφερθέντων περιόδων ενδιαφέροντος, δηλαδή σύμφωνα με τη σχέση:

$$\omega_{min} = \frac{2}{\left(\frac{1}{\omega_e} + \frac{1}{\omega_S}\right)} \tag{3.2}$$

Για την προσομοίωση της σεισμικής απόκρισης σχετικά μικρής έντασης επιλέχθηκε μια σχετικά μικρή τιμή ξ_{min} = 5%, η οποία οδηγεί γενικώς σε σχετικά μεγάλες ενισχύσεις που δε φθίνουν γρήγορα με την απόσταση. Να σημειωθεί ότι η τιμή του ξ ελήφθη κοινή τόσο για την εδαφική απόθεση όσο και για τον βράχο, χάριν απλότητας. Το προφανές πρόβλημα ακρίβειας που αυτό δημιουργεί στις τιμές των επιταχύνσεων στην επιφάνεια της εδαφικής λεκάνης, αναμένεται να απαλείφεται στη μελέτη της γεωμορφικής επιδείνωσης, καθώς οι ενιαίες τιμές ξ υιοθετούνται τόσο στις αναλύσεις λεκάνης, όσο και στις μονοδιάστατες αναλύσεις απειρομήκους εδάφους επί βράχου και ομοιόμορφου βράχου, που χρησιμοποιούνται για την κανονικοποίηση των αποτελεσμάτων για την εδαφική λεκάνη.

3.5.2 ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Στο κεφάλαιο 6, οι αναλύσεις που πραγματοποιούνται προσομοιάζουν τη συμπεριφορά του εδάφους με χρήση μη γραμμικού προσομοιώματος. Πιο αναλυτικά, χρησιμοποιήθηκαν 2-Δ αναλύσεις πεπερασμένων διαφορών, με το λογισμικό FLAC-2D (Itasca, 1998) υιοθετώντας συνθήκες επίπεδης παραμόρφωσης. Οι αναλύσεις με το εν λόγω λογισμικό βασίζονται στην «εν χρόνω» ολοκλήρωση των κυματικών εξισώσεων (time domain analysis). Επιπλέον, η προσομοίωση της συμπεριφοράς του εδάφους υπό δυναμική-ανακυκλιζόμενη φόρτιση επιτυγχάνεται με τη βοήθεια μη-γραμμικών υστερητικών καταστατικών σχέσεων οι οποίες προσαρμόζονται σε αντίστοιχα πειραματικά δεδομένα. Η καταστατική σχέση που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό εκφράζεται σε επαυξητική μορφή και ακολουθείται η μέθοδος της βήμα προς βήμα ολοκλήρωσης (step-by-step integration) με χρήση των εκάστοτε εφαπτομενικών ιδιοτήτων του υλικού.

Στις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, η σεισμική απόκριση του εδαφικού στοιχείου περιγράφεται από το καταστατικό προσομοίωμα Ramberg - Osgood (1943), το οποίο μπορεί να προσεγγίσει ικανοποιητικά τόσο την απομείωση του μέτρου διάτμησης (G) όσο και την αύξηση του ποσοστού κρίσιμης υστερητικής

απόσβεσης (ξ) συναρτήσει της διατμητικής παραμόρφωσης (γ) του εδάφους. Το εν λόγω προσομοίωμα έχει ενσωματωθεί σε κώδικα πεπερασμένων διαφορών FLAC-2D ως UDM (*User Defined Model*), όπως παρουσιάζεται λεπτομερώς από τον Ανδριανόπουλος (2006), ως μια «απλοποιημένη» εκδοχή του προσομοιώματος NTUA-SAND (Andrianopoulos et al 2010). Ελλείψει πειραματικών δεδομένων από δυναμικές εργαστηριακές δοκιμές (π.χ. δοκιμές ανακυκλικής φόρτισης ή συντονισμού) για τις εδαφικές ενότητες που συναντώνται, για τη βαθμονόμηση του καταστατικού προσομοιώματος χρησιμοποιούνται οι εμπειρικές καμπύλες (G/G_O–γ) και (ξ-γ) των Vucetic and Dobry (1991).

Καταστατικό Προσομοίωμα Ramberg-Osgood

Το καταστατικό προσομοίωμα Ramberg - Osgood δίνει τη δυνατότητα προσομοίωσης τόσο της κρατυνόμενης (hardening) όσο και της «υπερβολικής» μορφής σχέσεων τάσης-παραμόρφωσης (Σχήμα 3.10). Συγκεκριμένα, η σχέση διατμητικής τάσης τ – διατμητικής παραμόρφωσης γ κατά τη διάρκεια ενός συμμετρικού (ως προς τη διατμητική τάση) κύκλου αποφόρτισης – επαναφόρτισης δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\gamma - \gamma_c = \frac{\tau - \tau_c}{G_o}\left[1 + \left(\frac{1}{a_y} - 1\right)\left(\frac{|\tau - \tau_c|}{2\tau_1}\right)^{w-1}\right] \tag{3.3}$$

όπου τ_c, γ_c είναι το ημι-εύρος μεταβολής της διατμητικής τάσης και της διατμητικής παραμόρφωσης αντίστοιχα κατά τη διάρκεια του εν λόγω κύκλου, και a_y, w, τ_1 είναι οι τρεις παράμετροι του προσομοιώματος.

Συγκεκριμένα, a_y είναι η τιμή του λόγου G/G_o για $\tau=\tau_1$, ενώ το w εκφράζει το ρυθμό με τον οποίο απομειώνεται το τέμνον μέτρο διάτμησης G αυξανομένης της διατμητικής τάσης.

Για τις ανάγκες ενσωμάτωσης του προσομοιώματος στην αριθμητική επίλυση προβλημάτων κυματικής χρησιμοποιείται μια ισοδύναμη, γενικευμένη μορφή της παραπάνω σχέσης, σύμφωνα με την οποία το εφαπτομενικό μέτρο διάτμησης δίνεται από τη ακόλουθη σχέση:

$$G_t = G_o / T \tag{3.4}$$

όπου :

$$T = \begin{cases} 1 + 2\left(\dfrac{1}{a_1} - 1\right)\dfrac{|X_{LR}|}{2\eta_1} & \textit{για ανακυκλική φόρτιση} \\ 1 + 2\left(\dfrac{1}{a_1} - 1\right)\dfrac{|X|}{\eta_1} & \textit{για μονοτονική φόρτιση} \end{cases} \tag{3.5}$$

Η μορφή της σχέσης τ-γ που προκύπτει από τη χρήση των σχέσεων (3.4) και (3.5) παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.3. Τα βασικά μεγέθη που είναι αναγκαία για τον ορισμό των ανωτέρω σχέσεων επεξηγούνται ακολούθως:

Γενικευμένος αποκλίνων λόγος τάσεων r_{ij}: Είναι ο λόγος του αποκλίνοντα τανυστή τάσεων s_{ij} προς τη μέση ενεργό τάση p ($r_{ij}=s_{ij}/p$). Όπως και στις τριαξονικές συνθήκες, σημασία για τον καθορισμό της συμπεριφοράς ενός υλικού έχει κυρίως η τιμή του αποκλίνοντα λόγου των τάσεων και όχι τόσο οι τιμές των επιμέρους τάσεων.

Γενικευμένη διατμητική τάση X: Πρόκειται για βαθμωτό μέγεθος που ποσοτικοποιεί τη σχετική μεταβολή του αποκλίνοντα τανυστή τάσεων r_{ij} κατά την τρέχουσα κατάσταση από μια προηγούμενη κατάσταση αναφοράς r_{ij}^{ref}. Ως κατάσταση αναφοράς (reference state) ορίζεται η τελευταία αντιστροφή της φόρτισης (*SR*: Shear Reversal), εκτός από την αρχική φόρτιση όπου ως κατάσταση αναφοράς ορίζεται η κατάσταση ηρεμίας. Το μέγεθος αυτό δίνεται από τη σχέση:

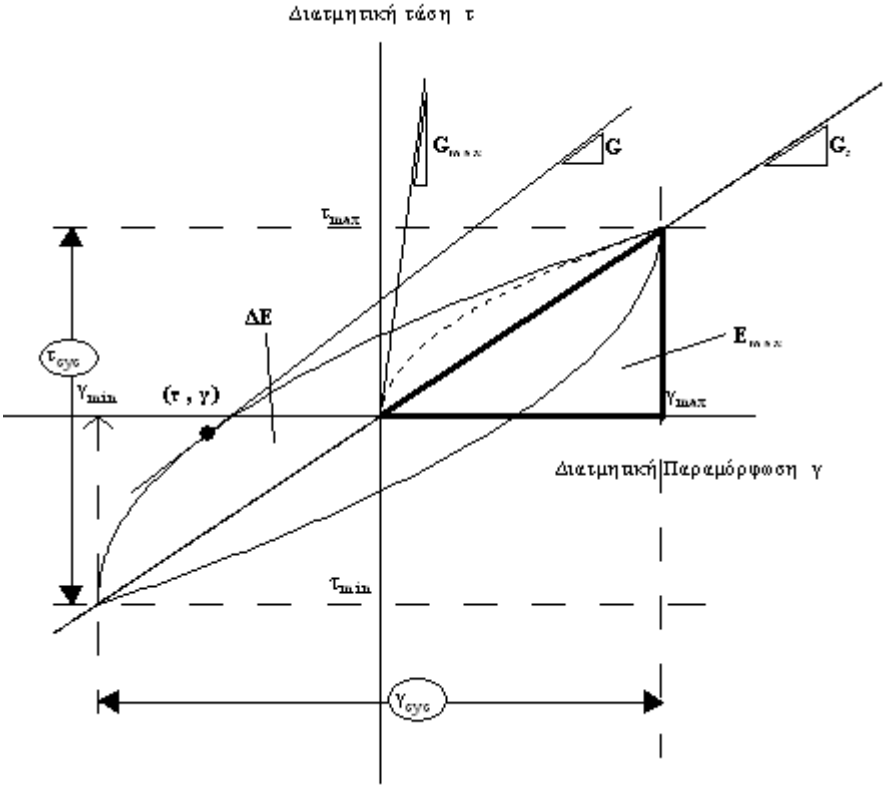
$$X = \sqrt{1/2(r_{ij} - r_{ij}^{ref}) : (r_{ij} - r_{ij}^{ref})} \tag{3.6}$$

Παράμετρος a_1: Είναι βαθμωτό μέγεθος που συνδέεται με το ρυθμό απομείωσης του μέτρου διατμήσεως συναρτήσει της παραμόρφωσης. Παίρνει τιμές μικρότερες ή ίσες της μονάδας ($a_1 \leq 1$). Μείωση της τιμής του συνεπάγεται πιο έντονη απομείωση του μέτρου δυστμησίας, ενώ $a_1=1$ συνεπάγεται ελαστική συμπεριφορά.

Παράμετρος η_1: Είναι βαθμωτό μέγεθος που σχετίζεται με την τιμή της διατμητικής παραμόρφωσης $\gamma_1=(\gamma_{tv})$, η οποία αποτελεί το όριο πάνω από το οποίο οι πλαστικές (μη-αναστρέψιμες) παραμορφώσεις γίνονται σημαντικές (Vucetic, 1994). Το όριο αυτό κυμαίνεται από $6.5\text{x}10^{-5}$ έως $2.5\text{x}10^{-4}$ για άμμους ή μη-πλαστικές ιλύες και αυξάνεται για αργίλους. Η σχέση που συνδέει τη χαρακτηριστική διατμητική παραμόρφωση με την παράμετρο η_1 είναι:

$$\eta_1 = \alpha_1 \left(\frac{G_o^{SR}}{p_{SR}} \right) \gamma_1 \tag{3.7}$$

όπου G_o^{SR} και p_{SR} είναι οι τιμές του μέγιστου μέτρου διατμήσεως G_o και της μέσης ενεργού τάσης p $\{=(\sigma_v+2\sigma_h)/3\}$ κατά την τελευταία αντιστροφή φόρτισης (*SR*: Shear Reversal).



Σχήμα 3.10 : Τυπική απεικόνιση της σχέσης διατμητικής τάσης-διατμητικής παραμόρφωσης (τ-γ) Ramberg-Osgood, για ένα συμμετρικό κύκλο αποφόρτισης-επαναφόρτισης

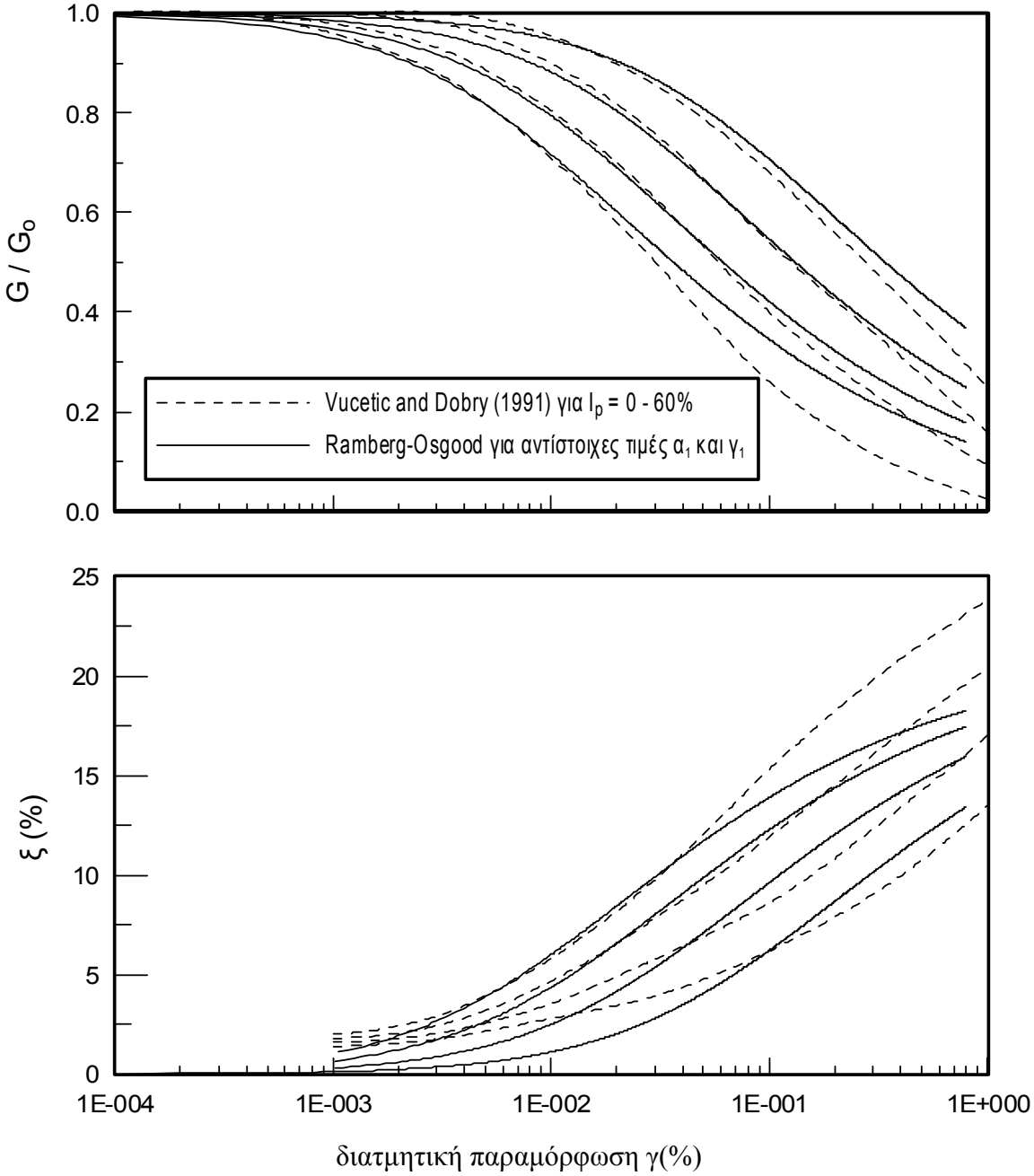
Από τα παραπάνω συνάγεται ότι για τη βαθμονόμηση του προσομοιώματος απαιτείται η γνώση μόνο των παραμέτρων α_1, γ_1. Για την προσομοίωση της δυναμικής συμπεριφοράς μη-σιμεντωμένων εδαφών, όπως αποδίδεται από τις πειραματικές καμπύλες G/G_o-γ_c και ξ-γ_c, προτείνονται οι παρακάτω τιμές των γ_1 και α_1 συναρτήσει του δείκτη πλαστιμότητας *PI* (Παπαδημητρίου, 1999):

PI(%)	**0**	**15**	**30**	**50**	**100**	**200**
γ_1(%)	0.016	0.027	0.058	0.15	0.33	0.6
α_1	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64

Πίνακας 3.1: Τιμές των βασικών παραμέτρων του προσομοιώματος Ramberg – Osgood για εδάφη διαφορετικού δείκτη πλαστιμότητας.

Στο Σχήμα 3.11 συγκρίνονται οι θεωρητικές καμπύλες απομείωσης του μέτρου διάτμησης και αύξησης του ποσοστού κρίσιμης απόσβεσης συναρτήσει της παραμόρφωσης, όπως προκύπτουν από το προσομοίωμα Ramberg-Osgood, με τις αντίστοιχες πειραματικές καμπύλες των Vucetic and Dobry (1991), για τις συνήθεις τιμές του δείκτη πλαστιμότητας PI=0, 15, 30 & 50%. Η παρατηρούμενη συμφωνία είναι ικανοποιητική, ιδιαίτερα για το εύρος διατμητικών παραμορφώσεων γ_c=3x10^{-3}

έως $2x10^{-1}$%, που αναπτύσσονται από μικρής έως μέσης έντασης σεισμικές διεγέρσεις.



Σχήμα 3.11: Σύγκριση πειραματικών καμπυλών (G/Go – γ) και (ξ – γ) με τις καμπύλες που προκύπτουν από το αναλυτικό προσομοίωμα Ramberg-Osgood.

Επιπλέον, για τις μη γραμμικές αναλύσεις το βραχώδες υπόστρωμα θεωρήθηκε ιξωδοελαστικό με απόσβεση Rayleigh που αντιστοιχεί σε ξ=1% στην περιοχή συχνοτήτων που μας ενδιαφέρει. Όμως, στην απόσβεση έχει μπει μόνο η συνιστώσα της δυσκαμψίας, η οποία είναι γραμμική ως προς τη συχνότητα και για το λόγο αυτό έχει διπλάσια τιμή ξ_{min}=2%, ώστε να έχει την επιθυμητή τιμή 1% στο σύνολο.

Βάζοντας στην απόσβεση μόνο τη συνιστώσα της δυσκαμψίας (stiffness), επιτυγχάνεται απόσβεση σε μεγάλες συχνότητες, αλλά όχι στις χαμηλές. Συνεπώς, στο έδαφος, υπάρχει η πρόσθετη αναγκαία απόσβεση από το μη-γραμμικό νόμο, αλλά όχι και στο βράχο.

3.6 ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

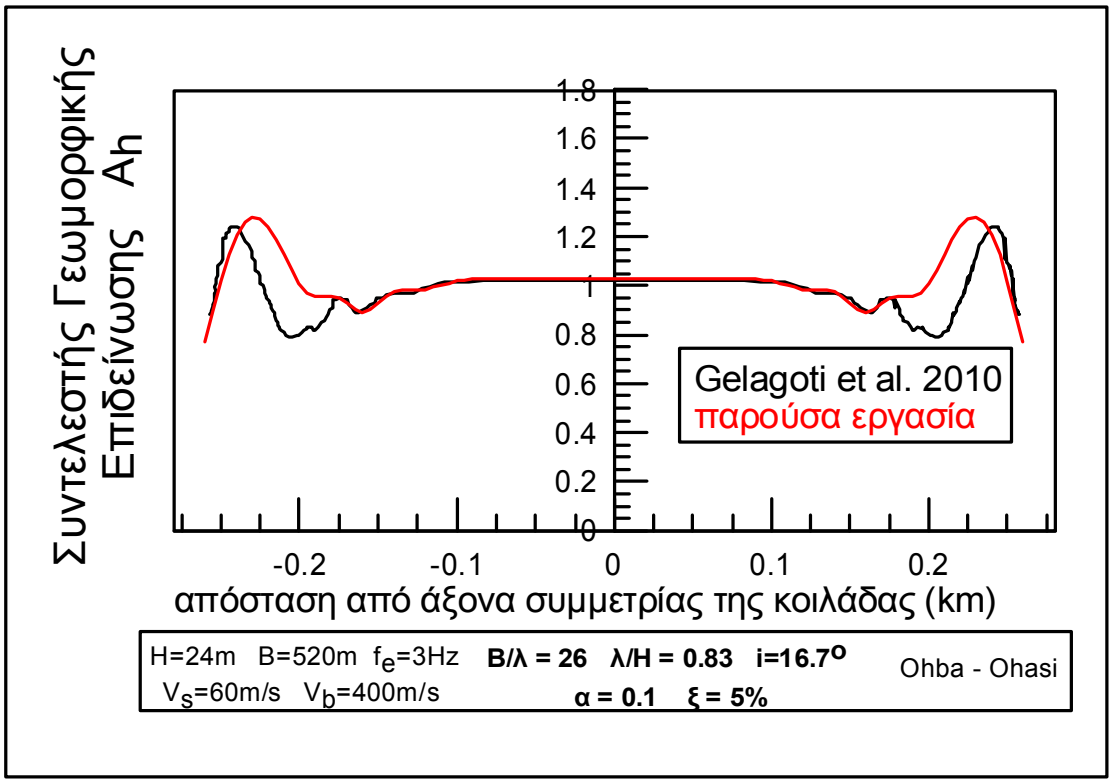
Στο σημείο αυτό, θα γίνει μία προσπάθεια διακρίβωσης της μεθοδολογίας που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία. Πιο συγκεκριμένα, ανατρέξαμε στην εργασία των Gelagoti et al. 2010 η οποία μελετά το πρόβλημα της γεωμορφικής επιδείνωσης της μέγιστης επιτάχυνσης του εδάφους της εδαφικής λεκάνης Ohba Ohashi στην Ιαπωνία όπως ήδη έχει αναφερθεί και στο κεφάλαιο 2. Οι αναλύσεις στην εργασία των Gelagoti et al. 2010 πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων ABAQUS.
Καθώς είναι αρκετά δύσκολο να έχουμε στη διάθεση μας τις πραγματικές καταγραφές των σεισμών που εισήχθησαν στην εργασία των Gelagoti et al. 2010 θα εστιάσουμε στις αναλύσεις που ως διέγερση χρησιμοποιήθηκε ο παλμός Ricker. Στη σχέση (3.7) δίνεται η χρονοϊστορία μετατόπισης του παλμού Ricker.

$$u(t) = \left[1 - 2 \cdot b(t - to)^2\right] e^{-b(t-to)^2} \tag{3.8}$$

όπου $b = \pi \cdot fo^2$, fo είναι η χαρακτηριστική συχνότητα του παλμού και to είναι η χρονική στιγμή στην οποία μεγιστοποιείται η συνάρτηση $u(t)$.
Όπως ήδη αναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου 3, η σεισμική διέγερση όλων των αναλύσεων που πραγματοποιούνται στην παρούσα εργασία είναι χρονοϊστορία οριζόντιας ταλάντωσης του υλικού σημείου που επιβλήθηκε ως χρονοϊστορία διατμητικών τάσεων στο κάτω οριζόντιο σύνορο των καννάβων, ούτως ώστε να προσομοιωθούν κατακόρυφα προσπίπτοντα κύματα SV από τον υποκείμενο ημίχωρο. Πιο συγκεκριμένα, με τη χρήση χρονοϊστορίας ταχύτητας εκφράζονται οι διατμητικές τάσεις που εισάγονται στο κάτω σύνορο των καννάβων. Οπότε στα πλαίσια αυτής της διαδικασίας δημιουργήθηκε με τη βοήθεια της χρονοϊστορίας μετατόπισης του παλμού Ricker η χρονοϊστορία ταχύτητας και στη συνέχεια η έκφραση για τις διατμητικές τάσεις. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί πως στην εργασία των Gelagoti et al. 2010 δε δίνονται περαιτέρω διευκρινίσεις για τον τρόπο που έχει εισαχθεί ο παλμός Ricker στις δικές τους αναλύσεις.
Επιλέχτηκε ενδεικτικά να πραγματοποιηθεί η ανάλυση με fo=3Hz και απόσβεση ξ=5%. Στο Σχήμα 3.12 παρουσιάζονται ταυτόχρονα τα αποτελέσματα της ανάλυσης που πραγματοποιήσαμε και της αντίστοιχης ανάλυσης από την εργασία Gelagoti et

al. 2010 και παρατηρείται πως υπάρχει μια ικανοποιητική συμφωνία των αποτελεσμάτων.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως μία ανάλογη σύγκριση των αποτελεσμάτων του συντελεστή κατακόρυφων γεωμορφικών ενισχύσεων θα είχε μεγάλο ενδιαφέρον. Όμως, στην εργασία των Gelagoti et al. 2010 υπάρχουν αποτελέσματα κατακόρυφων ενισχύσεων μόνο για τις αναλύσεις στις οποίες εισήχθησαν πραγματικές καταγραφές διεγέρσεων κι όχι χρονοϊστορία παλμού Ricker και για το λόγο αυτό δεν είναι δυνατή κάποια σύγκριση αποτελεσμάτων.



Σχήμα 3.12 : Οριζόντιες γεωμορφικές ενισχύσεις ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της λεκάνης για παλμό Ricker συχνότητας fo=3Hz στην κοιλάδα Ohba Ohashi

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΣΕ ΜΗ-ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΕΣ ΚΟΙΛΑΔΕΣ

4.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗΣ

Όπως αναφέρεται στο Κεφάλαιο 1, σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης της εδαφικής λεκάνης στη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση στην επιφάνεια του εδάφους. Σύμφωνα και με το Κεφάλαιο 3, για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκαν ομάδες αναλύσεων, κάθε μία από τις οποίες περιλαμβάνει τρία (3) γεωμορφικά συστήματα: 2Δ: βραχώδες υπόβαθρο – λεκάνη, 1D_soil: βραχώδες υπόβαθρο – απειρόμηκες έδαφος, 1D_rock: βραχώδες υπόβαθρο. Οι μονοδιάστατες (1D) αναλύσεις υλοποιήθηκαν με σκοπό να απομονωθεί η ενίσχυση που οφείλεται αμιγώς στην ύπαρξη της λεκάνης και όχι στις εδαφικές συνθήκες αυτές καθ' αυτές.

Πιο αναλυτικά, για κάθε σημείο της ελεύθερης επιφάνειας της 2Δ ανάλυσης εδαφικής λεκάνης εκτιμήθηκε η μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση PHA και η μέγιστη παρασιτική κατακόρυφη επιτάχυνση PVA, από την 1Δ ανάλυση υποβάθρου (1D_rock) μια ενιαία τιμή PHAr και από την 1Δ ανάλυση απειρομήκους εδάφους επί υποβάθρου (1D_soil) εκτιμήθηκε η αντίστοιχη PHAs. Σε ότι αφορά την PVA, ο όρος «παρασιτική» εισάγεται, καθώς η εισερχόμενη κίνηση είναι αμιγώς οριζόντια (κατακόρυφα προσπίπτοντα κύματα SV) και οποιαδήποτε κατακόρυφη ταλάντωση οφείλεται σε διάθλαση κυμάτων στα κεκλιμένα όρια της εδαφικής λεκάνης. Συνεπώς, οι αντίστοιχες τιμές των PVAr και PVAs που προκύπτουν από τις αναλύσεις υποβάθρου (1D_rock) και οριζοντίου εδάφους επί υποβάθρου (1D_soil) είναι μηδενικές.

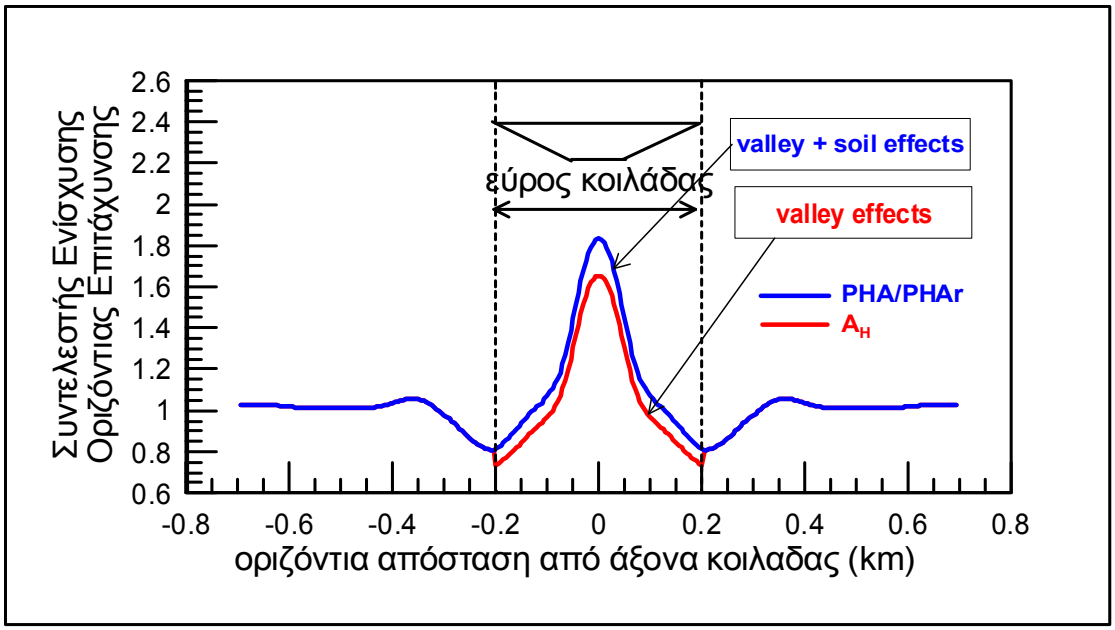
Δεδομένων των ανωτέρω μεγεθών, ορίζεται η **οριζόντια γεωμορφική ενίσχυση A_h** σε κάθε θέση της επιφάνειας ως ο λόγος της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης ενός σημείου της επιφάνειας δεδομένης της ύπαρξης της λεκάνης (PHA) προς τη μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση που προκύπτει από την κατάλληλη μονοδιάστατη ανάλυση (PHAr ή PHAs). Πιο συγκεκριμένα, αν το σημείο της επιφάνειας είναι εδαφικό, τότε η οριζόντια γεωμορφική ενίσχυση ορίζεται ως A_h = PHA/PHAs, ενώ αν το σημείο της επιφάνειας είναι επί του αναδυόμενου βραχώδους υποβάθρου, τότε A_h = PHA/PHAr.

Αντίστοιχα, ορίζεται και η **παρασιτική κατακόρυφη γεωμορφική ενίσχυση A_v** σε κάθε θέση της επιφάνειας ως ο λόγος της μέγιστης παρασιτικής κατακόρυφης επιτάχυνσης ενός σημείου της επιφάνειας δεδομένης της ύπαρξης της λεκάνης (PVA) προς τη μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση που προκύπτει από την κατάλληλη μονοδιάστατη ανάλυση (PHAr ή PHAs). Πιο συγκεκριμένα, αν το σημείο της επιφάνειας είναι εδαφικό, τότε η παρασιτική κατακόρυφη γεωμορφική ενίσχυση ορίζεται ως A_v = PVA/PHAs, ενώ αν το σημείο της επιφάνειας είναι επί του αναδυόμενου βραχώδους υποβάθρου, τότε A_v = PVA/PHAr.

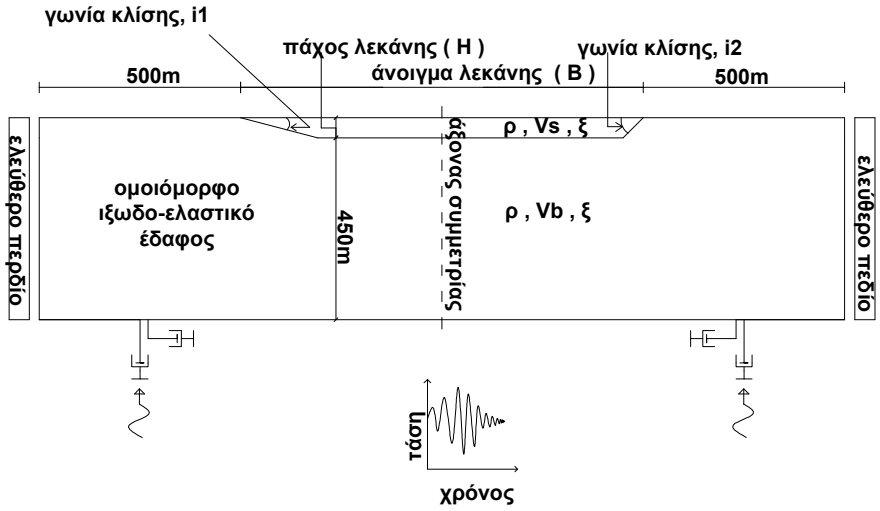
Για να γίνει κατανοητή η σημασία της γεωμορφικής ενίσχυσης που οφείλεται καθαρά στα γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά της λεκάνης (valley effects), σε σχέση με την ενίσχυση που προκαλείται από την ύπαρξη μιας στρώσης μαλακού εδάφους (soil effects), παρατίθενται τα παρακάτω διαγράμματα χωρικής διαφοροποίησης των ενισχύσεων της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης (A_h), στην επιφάνεια της λεκάνης, για δύο εξόχως διαφορετικές περιπτώσεις. Συγκεκριμένα, στο Σχήμα 4.1 αποτυπώνονται οι συνολικές ενισχύσεις, οι οποίες συμπεριλαμβάνουν τις επιδράσεις τόσο του εδάφους όσο και της ύπαρξης λεκάνης (soil & valley effects), καθώς και εκείνες όπου απομονώνονται οι ενισχύσεις που προκαλεί η παρουσία της λεκάνης και μόνο (valley effects). Παρατηρείται ότι η μια καμπύλη είναι μετατοπισμένη σε σχέση με την άλλη, κατά μήκος της εδαφικής λεκάνης και συμπίπτουν στις θέσεις του αναδυόμενου βράχου. Δημιουργείται μάλιστα 'άλμα' στο διάγραμμα, και αυτό οφείλεται στη αλλαγή του παρονομαστή στη σχέση ορισμού της A_h. Επιπλέον προκύπτει ότι οι μέγιστες οριζόντιες ενισχύσεις στην επιφάνεια οφείλονται κατά κύριο λόγο στην ύπαρξη της εδαφικής λεκάνης, ενώ η επίδραση των εδαφικών συνθηκών (soil effects) είναι δευτερεύουσας σημασίας, αλλά αυτό είναι κάτι που δε μπορεί να γενικευτεί και αφορά την εν λόγω περίπτωση λεκάνης-διέγερσης.

Στο σημείο αυτό επισημαίνεται ένα εννοιολογικό πρόβλημα στον ορισμό του A_h (αλλά και του A_v, το οποίο δε δίνεται στο Σχήμα 4.1, χάριν συντομίας). Αυτό αφορά στα σημεία της επιφάνειας της εδαφικής λεκάνης που βρίσκονται πάνω από τα κεκλιμένα όρια. Εκεί, ο παρονομαστής PHAs στους παραπάνω ορισμούς των A_h και A_v αναφέρεται στις 1Δ συνθήκες μιας εδαφικής στρώσης πάχους H, κάτι που έχει ισχύ μόνο στο κεντρικό τμήμα της τραπεζοειδούς εδαφικής λεκάνης κι όχι στα σημεία που βρίσκονται πάνω από τα κεκλιμένα όρια (καθώς εκεί το πάχος της εδαφικής στρώσης είναι μικρότερο από H και μειώνεται σταδιακά προς τα άκρα της λεκάνης). Το πρόβλημα αυτό είναι σημαντικό σε εδαφικές λεκάνες που το σχήμα τους είναι σχεδόν τριγωνικό, σαν αυτή που απεικονίζεται στο Σχήμα 4.1, αλλά όχι τόσο σημαντικό σε τραπεζοειδείς εδαφικές λεκάνες με μεγάλο άνοιγμα B, καθώς οι δύο περιοχές που βρίσκονται πάνω από τα κεκλιμένα όρια είναι μικρού εύρους συγκριτικά με το συνολικό άνοιγμα της εδαφικής λεκάνης. Όμως, δεν υπάρχει ένας εύκολος και απολύτως ορθός τρόπος να ληφθεί υπόψη αυτή η σταδιακή μείωση του πάχους του εδάφους άνωθεν των κεκλιμένων άκρων της λεκάνης. Αντιθέτως, η εύκολη εναλλακτική της χρήσης του μεγέθους PHAr, στον παρονομαστή του ορισμού της οριζόντιας γεωμορφικής επιδείνωσης A_h κατά μήκος όλης της λεκάνης, θα δημιουργούσε το πρόβλημα που απεικονίζεται στο Σχήμα 4.1, δηλαδή τη λανθασμένη εκτίμηση της γεωμορφικής επιδείνωσης, καθώς θα συμπεριλαμβανόταν σε αυτή τόσο η επίδραση των εδαφικών συνθηκών (soil effects) όσο και η επίδραση της ύπαρξης λεκάνης (valley effects). Κι αν αυτό το πρόβλημα δε θεωρείται ίσως σημαντικό στην περίπτωση του Σχήματος 4.1 (καθώς η επίδραση του εδάφους δεν

είναι σημαντική στο εν λόγω σύστημα λεκάνης-διέγερσης), αυτό δε μπορεί να γενικευτεί, όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω.



Σχήμα 4.1 : Οριζόντιες γεωμορφικές ενισχύσεις, ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας, για τη διέγερση του Αιγίου



Σχήμα 4.2 : Σκαρίφημα στοιχείων ανάλυσης συστήματος υπόβαθρου - εδαφικής λεκάνης

4.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΜΗ-ΣΥΜΜΕΤΡΙΑΣ ΚΟΙΛΑΔΑΣ ΣΤΗ ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ, ΓΙΑ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ «ΣΤΕΝΩΝ» ΚΟΙΛΑΔΩΝ

Στο Σχήμα 4.2, δίνεται ένα σκαρίφημα των στοιχείων ανάλυσης ενός συστήματος εδαφικής λεκάνης – υποβάθρου για μια μη-συμμετρική λεκάνη, όπου οι διαφορετικές κλίσεις ορίζονται ως i1 και i2, αριστερά και δεξιά αντίστοιχα. Έτσι, για τη μελέτη της επίδρασης της μη-συμμετρίας μιας κοιλάδας στη γεωμορφική επιδείνωση είναι αναγκαία η εκτέλεση στοχευμένων αναλύσεων για λεκάνες που έχουν πρανή με διαφορετικές κλίσεις i1 και i2, και η σύγκριση των αποτελεσμάτων τους με αντίστοιχες αναλύσεις συμμετρικών εδαφικών λεκανών ιδίων κλίσεων (ενιαία i=i1 τη μία φορά, και ενιαία i=i2 τη δεύτερη).

Από την εργασία Μέλλιος και Τέττα (2010) υπήρχαν διαθέσιμες αναλύσεις για συμμετρικές λεκάνες με διάφορες κλίσεις πρανών (i=15° έως i=90°) και με τιμές των υπολοίπων παραμέτρων B/λ=4, λ/H=5, α=0.5 και ξ=5%. Όμως, όπως ήδη επισημάνθηκε (στο Κεφάλαιο 2) η μεγάλη τιμή του αδιάστατου λόγου λ/H (λ/H=5) οδηγεί σε μικρές τιμές οριζόντιων και κατακόρυφων ενισχύσεων A_h και A_v, με αποτέλεσμα να μην είναι τόσο ορατή η επίδραση της γωνίας κλίσης των πρανών (βλ. Σχήμα 2.8). Για το λόγο αυτό αποφασίστηκε να εκτελεσθούν νέες αναλύσεις συμμετρικών κοιλάδων με μικρότερη τιμή της παραμέτρου λ/H (λ/H=1), ώστε να προκύψουν σημαντικές γεωμορφικές ενισχύσεις κι επομένως να είναι πιο ορατή η επίδραση της διαφορετικής κλίσης των πρανών i. Με την ίδια λογική, οι αντίστοιχες αναλύσεις για μη συμμετρικές κοιλάδες θα έχουν κι αυτές λόγο λ/H=1, χάριν σύγκρισης. Οι πρώτες αναλύσεις θα αφορούν σχετικά στενές εδαφικές λεκάνες, γιατί σε αυτές αναμένεται έντονη αλληλεπίδραση των πρανών της κοιλάδας, και επομένως αναμένεται η επίδραση της μη συμμετρίας της να είναι πιο έντονη. Επιλέγεται, λοιπόν, μία εδαφική λεκάνη με πλάτος B=200m, πάχος H=50m, ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων στο έδαφος V_s=500m/sec και στο βράχο V_b=1000m/sec, συχνότητα διέγερσης f=10Hz και λόγο απόσβεσης ξ=5%. Έτσι, οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν έχουν τιμές βασικών παραμέτρων λ/H=1, B/λ=4, α=0.5 και ξ=5%, ενώ η τιμή της γωνίας κλίσης των πρανών i μεταβάλλεται. Πιο αναλυτικά, στον Πίνακα 4.1, δίνονται οι νέες αναλύσεις για συμμετρικές λεκάνες (πρανή με κοινή γωνία κλίσης i=i1=i2) για την επιλεγείσα στενή λεκάνη, ενώ στον Πίνακα 4.2 δίνονται οι αναλύσεις για τις μη συμμετρικές εδαφικές λεκάνες (τα πρανή της εδαφικής λεκάνης έχουν διαφορετική γωνία κλίσης, i1 και i2). Επισημαίνεται ότι όλες οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία πριν από τον χαρακτηριστικό αύξοντα αριθμό της ανάλυσης έχουν το γράμμα «M».

#	B(m)	H(m)	V_s(m/s)	V_b(m/s)	T_e(s)	λ(m)	i1(°)	i2(°)	ξ(%)	B/λ	λ/H	α
M1	200	50	500	1000	0.1	50	30	30	5	4	1	0.50
M2	200	50	500	1000	0.1	50	90	90	5	4	1	0.50

Πίνακας 4.1 : Τιμές σημαντικών παραμέτρων «ομάδων» αναλύσεων συμμετρικών λεκανών που πραγματοποιήθηκαν για την επίδραση της μη-συμμετρίας σε «στενές» εδαφικές λεκάνες

#	B(m)	H(m)	V_s(m/s)	V_b(m/s)	T_e(s)	λ(m)	i1(°)	i2(°)	ξ(%)	B/λ	λ/H	α
M3	200	50	500	1000	0.1	50	90	30	5	4	1	0.50
M7	200	50	500	1000	0.1	50	45	30	5	4	1	0.50
M8	200	50	500	1000	0.1	50	90	45	5	4	1	0.50

Πίνακας 4.2 : Τιμές σημαντικών παραμέτρων «ομάδων» αναλύσεων μη-συμμετρικών λεκανών που πραγματοποιήθηκαν για την επίδραση της μη-συμμετρίας σε «στενές» εδαφικές λεκάνες

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων γίνεται σε συστάδες σχημάτων, δηλαδή θα υπάρχει ένα σχήμα για κάθε περίπτωση μη συμμετρικής εδαφικής λεκάνης μαζί με τις συζυγείς συμμετρικές της. Τα αποτελέσματα αφορούν στη χωρική διαφοροποίηση των συντελεστών γεωμορφικής ενίσχυσης A_h και A_v, με την οριζόντια απόσταση x (από το μέσο της κοιλάδας) να είναι αδιαστατοποιημένη ως προς το άνοιγμα B της εκάστοτε λεκάνης, χάριν γενίκευσης των αποτελεσμάτων. Πιο συγκεκριμένα:

Στο Σχήμα 4.3 συγκρίνεται η γεωμορφική επιδείνωση της κοιλάδας με i1=45°, i2=30° με τις συζυγείς συμμετρικές της με i=45° και i=30°, ενώ οι τιμές των υπολοίπων σημαντικών παραμέτρων είναι κοινές και για τις 3 αναλύσεις (λ/H=1, B/λ=4, α=0.5 και ξ=5%).

Σχετικά με το συντελεστή A_h προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

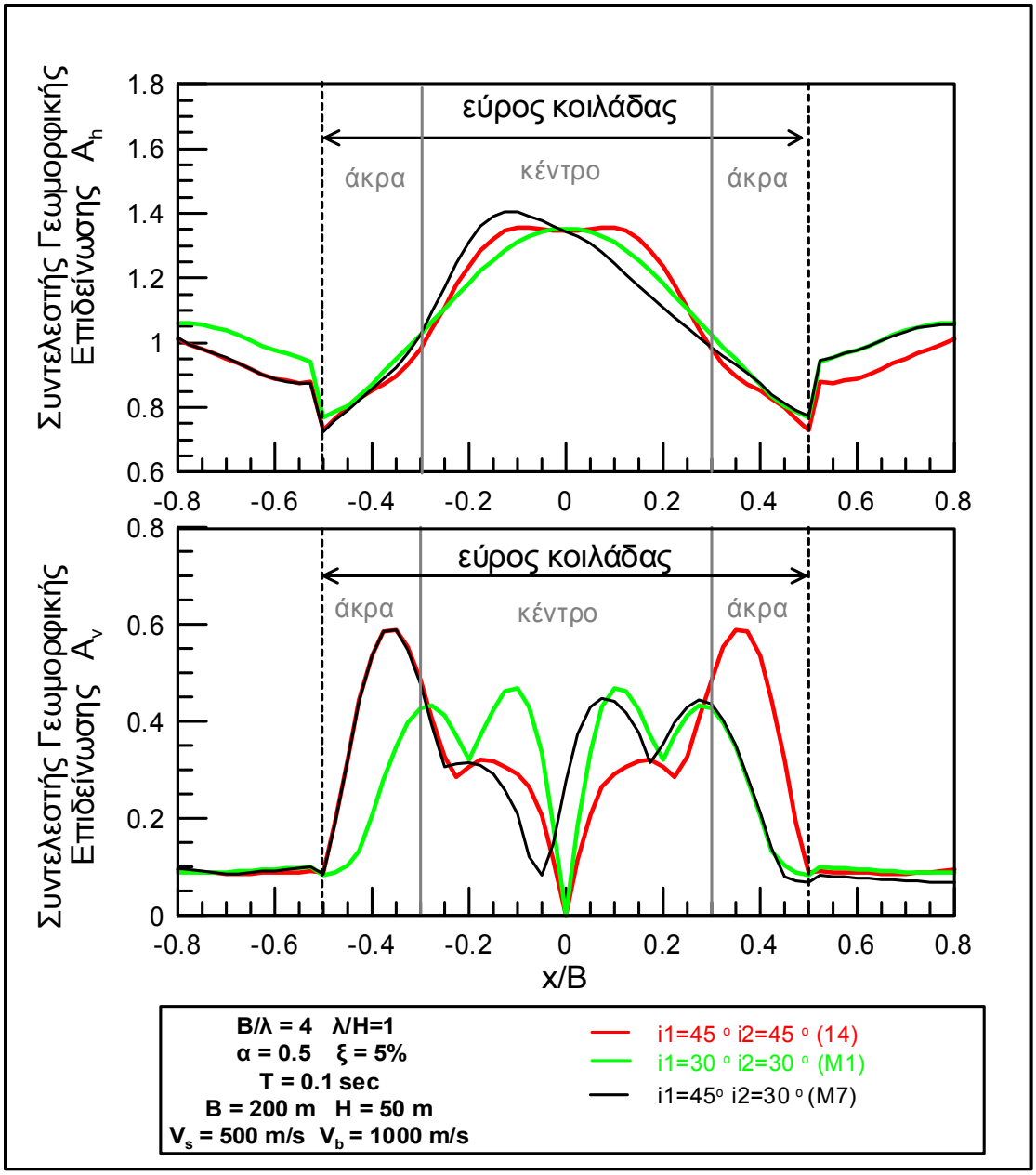
- Οι συμμετρικές αναλύσεις εμφανίζουν τη μέγιστη τιμή τους, έστω A_{hmax}, στην περιοχή του κέντρου (σε απόσταση x/B από 0 έως ±0.3), όπως άλλωστε αναμενόταν καθώς πρόκειται για «στενές» εδαφικές λεκάνες με αδιάστατο λόγο B/H=4 (βλ. Μέλλιος και Τέττα 2010). Επισημαίνεται πως η συμμετρική λεκάνη με τη μεγαλύτερη κλίση πρανών (i=45°) εμφανίζει την A_{hmax} σε κάποια απόσταση από τον άξονα συμμετρίας, σε αντίθεση με τη συμμετρική λεκάνη με κλίση πρανών i=30° η οποία την εμφανίζει ακριβώς στο κέντρο. Επιπλέον, οι μέγιστες οριζόντιες γεωμορφικές ενισχύσεις A_{hmax} των δύο συμμετρικών αναλύσεων δεν παρουσιάζουν σημαντικές ποσοτικές διαφορές, ως απόρροια της μικρής απόκλισης των τιμών i (i=45° και i=30°). Με βάση τα παραπάνω επαληθεύεται η γενικότερη επίδραση της παραμέτρου i, δηλαδή η αύξηση των γεωμορφικών ενισχύσεων και επιπλέον η μετάβαση της μέγιστης τιμής της γεωμορφικής επιδείνωσης (A_{hmax}) προς τα άκρα της λεκάνης, με την αύξηση της γωνίας κλίσης (βλ. Μέλλιος και Τέττα 2010).

- Στη μη-συμμετρική λεκάνη, η χωρική διαφοροποίηση της A_h παύει να είναι συμμετρική, όπως άλλωστε αναμενόταν, ενώ οι μεγαλύτερες τιμές του συντελεστή A_h παρατηρούνται σε εκείνο το τμήμα της λεκάνης όπου το πρανές έχει μεγαλύτερη γωνία κλίσης (i1=45°). Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται πως η μέγιστη οριζόντια ενίσχυση είναι A_{hmax}=1.406 υπερβαίνοντας για λίγο τις μέγιστες ενισχύσεις των συμμετρικών λεκανών (i=30° → A_{hmax}=1.353 και i=45° → A_{hmax}=1.36) και εμφανίζεται σε απόσταση x/B=-0.125, δηλαδή ελαφρώς πιο απομακρυσμένα από το κέντρο της λεκάνης συγκριτικά με τη θέση εμφάνισης της συμμετρικής i=45° (i=45° → x_{hmax}/B=-0.075). Επιπλέον, παρατηρείται η τέλεια ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων της μη συμμετρικής λεκάνης με την εκάστοτε αντίστοιχη περιοχή συμμετρικής λεκάνης με την ίδια κλίση στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.

Σε ότι αφορά το συντελεστή γεωμορφικής επιδείνωσης A_v, προκύπτει ότι:

- Η συμμετρική λεκάνη με κλίση i=45° παρουσιάζει μια τυπική συμπεριφορά, εμφανίζοντας τη μέγιστη τιμή A_{vmax} στην περιοχή των άκρων όπως άλλωστε συμβαίνει στο μεγαλύτερο ποσοστό των αναλύσεων (βλ. Μέλλιος και Τέττα 2010). Αντίθετα, η εδαφική λεκάνη με κλίση πρανών i=30°, παρουσιάζει σημαντικές κατακόρυφες ενισχύσεις τόσο στην περιοχή των άκρων όσο και στην περιοχή του κέντρου, με τη μέγιστη τιμή A_{vmax} να εμφανίζεται στην περιοχή του κέντρου. Η συγκεκριμένη απόκριση θυμίζει αρκετά αποτελέσματα για τριγωνικές λεκάνες (βλ. Μέλλιος και Τέττα 2010). Όμως αυτό αναμενόταν εδώ, καθώς η εξεταζόμενη τόσο στενή λεκάνη (B=200m) με σχετικά μικρή κλίση πρανών (i=30°) παραπέμπει περισσότερο σε τριγωνική λεκάνη, παρά σε μία τυπική τραπεζοειδή λεκάνη.
- Όπως και για την A_h, στη μη-συμμετρική λεκάνη παρατηρείται και πάλι μη-συμμετρική χωρική διαφοροποίηση. Πιο αναλυτικά, είναι φανερό πως παύει ο μηδενισμός του A_v στο κέντρο, κάτι που ήταν αποτέλεσμα της απόλυτης συμμετρίας, αλλά προκύπτει μια τοπική ελαχιστοποίηση προς τη πλευρά της μεγαλύτερης κλίσης υποβάθρου από τις δύο. Επιπλέον, παρατηρείται ταύτιση των κατακόρυφων γεωμορφικών ενισχύσεων της μη συμμετρικής λεκάνης με την αντίστοιχη περιοχή συμμετρικής κοιλάδας με ίδια κλίση στην περιοχή των άκρων της λεκάνης (σε απόσταση x/B από ±0.3 έως ±0.5). Όσο προσεγγίζεται η περιοχή του κέντρου της εδαφικής λεκάνης τα αποτελέσματα της μη συμμετρικής ανάλυσης αποκλίνουν από αυτά των αντίστοιχων συμμετρικών.
- Η μέγιστη τιμή A_{vmax} στη μη-συμμετρική λεκάνη συμπίπτει με εκείνη στη συμμετρική λεκάνη που έχει ίδια κλίση i στην πλευρά όπου εμφανίζεται η μέγιστη τιμή (μη συμμετρική → A_{vmax} =0.59, συμμετρική με i=45° → A_{vmax} =0.59). Το ίδιο ισχύει και για τις θέσεις εμφάνισης των παραπάνω μέγιστων τιμών, δηλ.

συμπίπτουν απόλυτα (x_{vmax}/B=0.35). Με άλλα λόγια, η μέγιστη τιμή του συντελεστή A_v εμφανίζεται στην πλευρά της μη-συμμετρικής λεκάνης όπου το πρανές έχει τη μεγαλύτερη κλίση (i1=45°). Μάλιστα, εμφανίζεται ακριβώς στην ίδια θέση όπου η αντίστοιχη συμμετρική κοιλάδα εμφανίζει τη δική της μέγιστη τιμή A_{vmax}. Αυτό είναι απόλυτα λογικό, καθώς η μη-συμμετρική λεκάνη έχει τη μέγιστη A_v στην πλευρά του πρανούς με τη μεγαλύτερη κλίση i=45°, ως αποτέλεσμα της αυξητικής επίδρασης του i στην τιμή της A_{vmax} (Μέλλιος και Τέττα 2010). Τέλος, όπως και στην A_h, παρατηρείται ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων A_v της μη-συμμετρικής λεκάνης με την εκάστοτε αντίστοιχη περιοχή συμμετρικής λεκάνης με την ίδια κλίση στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.



Σχήμα 4.3 : Επίδραση της μη-συμμετρίας της κοιλάδας στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος B αυτής, σε στενή εδαφική λεκάνη (i1=45°, i2=30°), για τη διέγερση του Αιγίου,

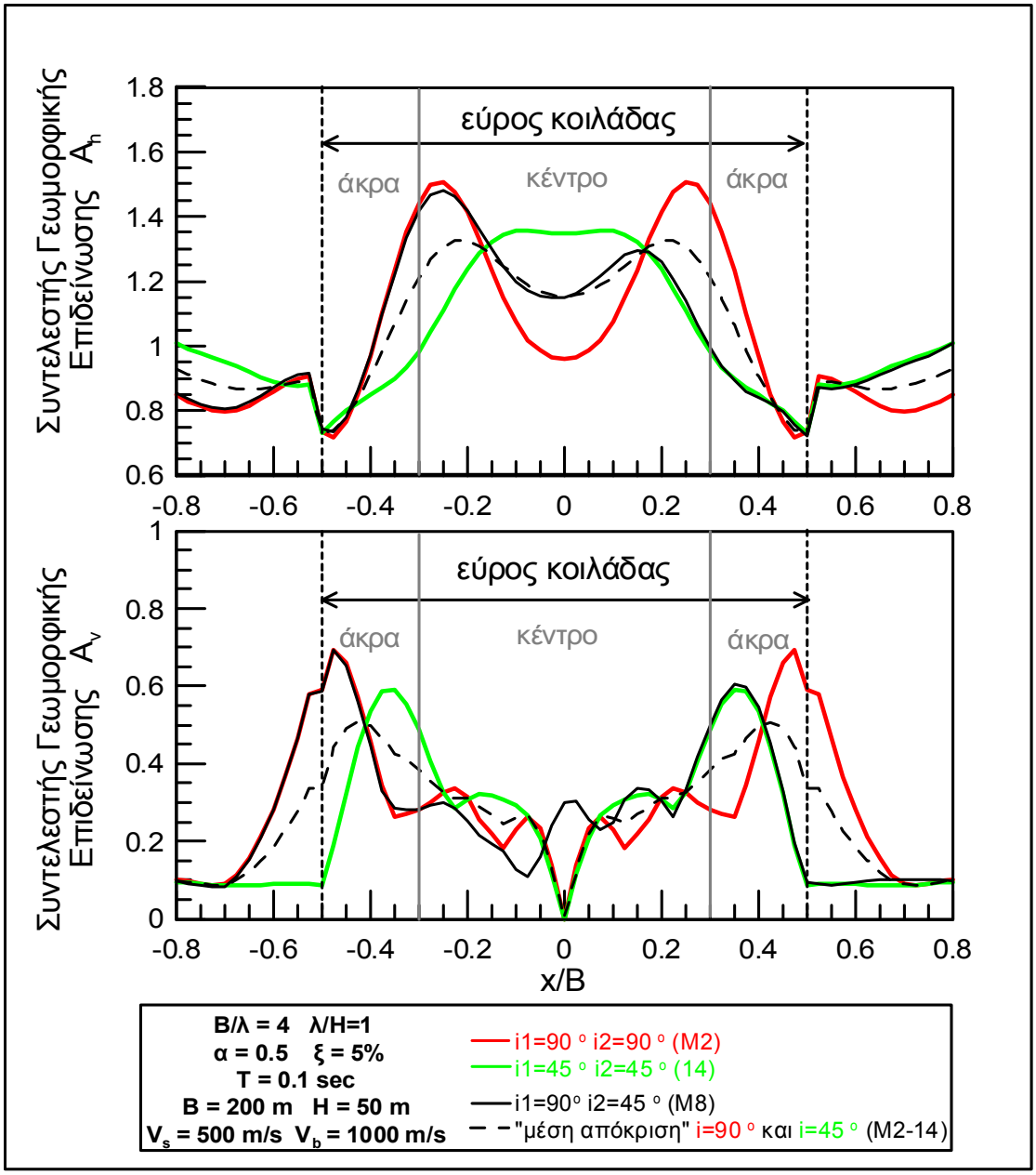
Στο προηγούμενο παράδειγμα οι δύο κλίσεις είναι σχετικώς μικρές (έως 45°) και δεν είναι σημαντικά διαφορετικές (i1=45°, i2=30°). Στο παράδειγμα που ακολουθεί διερευνάται αν τα συμπεράσματα που προέκυψαν πριν εξακολουθούν να ισχύουν και για την περίπτωση που οι δύο κλίσεις είναι μεγάλες (έως 90°) και είναι σημαντικά διαφορετικές, δηλαδή απέχουν πολύ (i1=90°, i2=45°). Η σύγκριση γίνεται στο Σχήμα 4.4, και έχει την ίδια μορφή και λογική παρουσίασης με το Σχήμα 4.3. Συγκεκριμένα, συγκρίνεται η μη-συμμετρική ανάλυση με i1=90°, i2=45° με τις συζυγείς συμμετρικές της i=90° και i=45°, ενώ οι τιμές των υπολοίπων σημαντικών παραμέτρων είναι κοινές και για τις 3 αναλύσεις (λ/H=1, B/λ=4, α=0.5 και ξ=5%). Σχετικά με το συντελεστή A_h προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- Οι δύο συμμετρικές λεκάνες εμφανίζουν τη μέγιστη τιμή του συντελεστή A_h στην ευρύτερη περιοχή του κέντρου της λεκάνης (απόσταση +0.3B από το κέντρο), ως αποτέλεσμα της μικρής τιμής του αδιάστατου γεωμετρικού λόγου (B/H=4), με τη θέση της μέγιστης ενίσχυσης να μετατοπίζεται προς τις άκρες όσο αυξάνει η γωνία κλίσης i. Καθώς όμως οι γωνίες κλίσεις των πρανών αποκλίνουν σημαντικά (i=90°, i=45°), υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση στις μέγιστες οριζόντιες γεωμορφικές ενισχύσεις A_{hmax} (i=90° → A_{hmax} =1.50 και i=45° → A_{hmax} =1.36), με την κλίση i να επιδρά ενισχυτικά στην τιμή της (βλ. Μέλλιος και Τέττα 2010).
- Ως αναμενόταν, η μη-συμμετρική κοιλάδα εμφανίζει μη-συμμετρική σεισμική απόκριση, ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των δύο μη συμμετρικών πρανών. Όμως, τα αποτελέσματα στις δύο ακραίες περιοχές της μη-συμμετρικής κοιλάδας (x/B από ±0.175 έως ±0.5) ταυτίζονται με εκείνα στις ακραίες περιοχές των αντίστοιχων συμμετρικών κοιλάδων. Ειδικότερα, η απόκριση της μη-συμμετρικής λεκάνης με κλίση πρανούς i1=90° συμπίπτει με εκείνη της συμμετρικής που έχει κλίση i=90° στο ίδιο εύρος αδιαστατοποιημένης απόστασης x/B (από x/B=-0.5 έως x/B=-0.175), ενώ η περιοχή της μη συμμετρικής με κλίση i2=45° συμπίπτει με το αντίστοιχο τμήμα της συμμετρικής με κλίση i=45° (δηλαδή από x/B=+0.175 έως x/B=+0.5). Αντίθετα, στην κεντρική περιοχή της μη-συμμετρικής λεκάνης υπάρχει μεγάλη απόκλιση απόκρισης από τις αντίστοιχες αποκρίσεις των συμμετρικών λεκανών. Προσεκτικότερη παρατήρηση υποδεικνύει ότι στη κεντρική περιοχή της μη-συμμετρικής λεκάνης, εκδηλώνεται μια «μέση» απόκριση, δηλαδή οι τιμές της A_h παίρνουν τιμές μεταξύ των εκάστοτε A_h των αντίστοιχων συμμετρικών λεκανών. Για την ποσοτικοποίηση αυτής της παρατήρησης, στο ίδιο σχήμα συμπεριλαμβάνεται και μια διακεκομμένη καμπύλη που δίνει τη μέση τιμή των συντελεστών A_h των δύο συμμετρικών λεκανών συναρτήσει της αδιαστατοποιημένης απόστασης x/B (δηλαδή $A_{h\ \text{μέσης-απόκρισης}}$ = ($A_{h\ \text{συμμετρικής i=90°}}$ + $A_{h\ \text{συμμετρικής i=45°}}$)/2). Παρατηρούμε, λοιπόν πως η καμπύλη της μέσης απόκρισης προσεγγίζει ικανοποιητικά την απόκριση της μη συμμετρικής λεκάνης στην κεντρική περιοχή της λεκάνης και κυρίως σε απόσταση από x/B=-0.2 έως x/B=+0.2.

Σε ότι αφορά το συντελεστή A_v, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Οι δύο συμμετρικές λεκάνες εμφανίζουν τις μέγιστες τιμές τους A_{vmax} στην περιοχή των άκρων, όπως άλλωστε συμβαίνει στο μεγαλύτερο ποσοστό των αναλύσεων. Επιπλέον, είναι εμφανής η αυξητική επίδραση της γωνίας κλίσης i στην τιμή της A_{vmax} (i=90°→ A_{vmax} =0.69, i=45°→ A_{vmax} =0.59), όπως και η μετάβαση της θέσης εμφάνισης της A_{vmax} προς τα άκρα της εδαφικής λεκάνης καθώς αυξάνεται η κλίση των πρανών i, σε συμφωνία πάντα με τη βιβλιογραφία (Μέλλιος και Τέττα 2010).

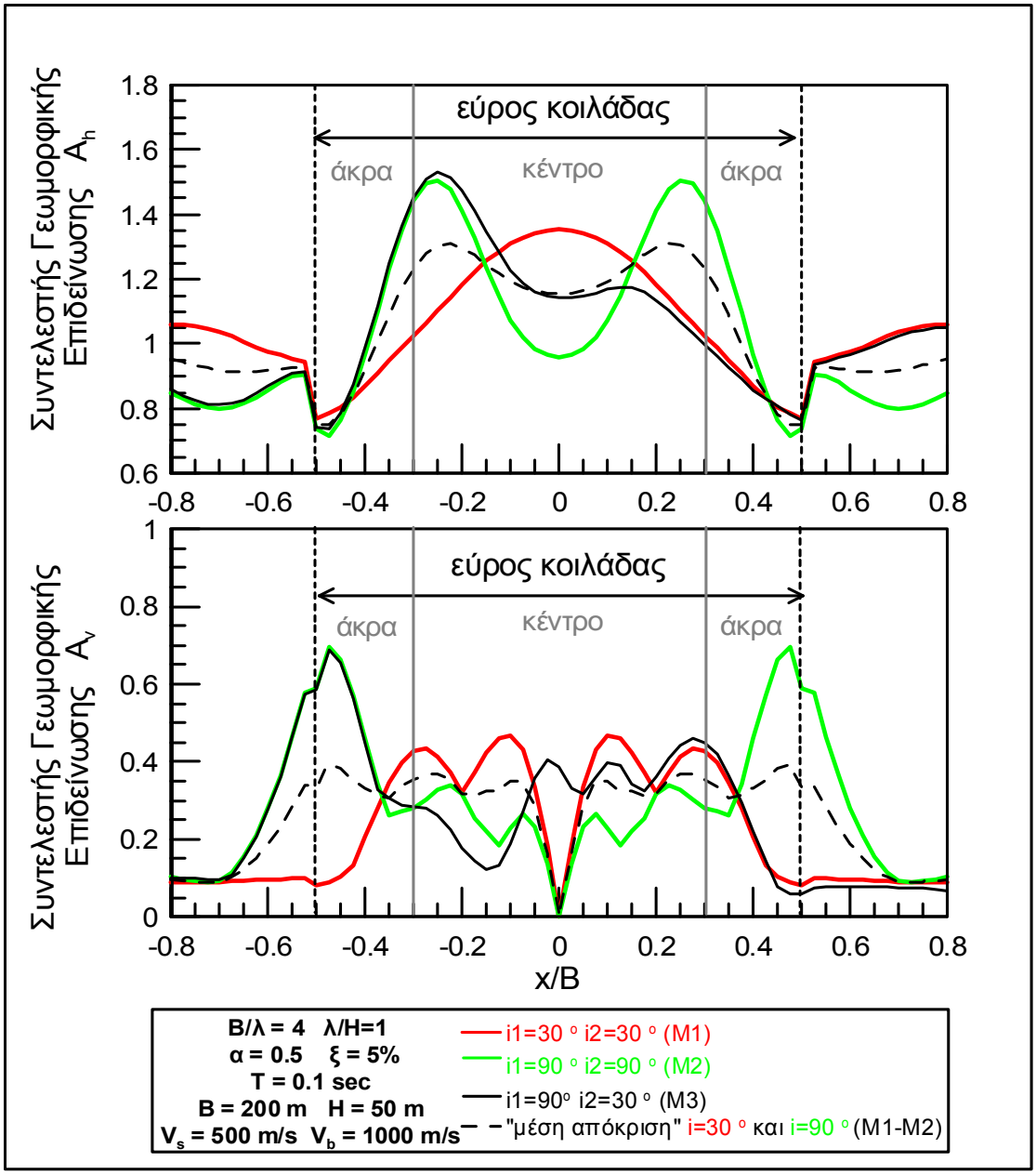
- Και σε αυτή τη μη-συμμετρική λεκάνη παρατηρείται μη-συμμετρική απόκριση, και παύει ο μηδενισμός του A_v στο κέντρο. Επιπλέον, είναι εμφανής η ταύτιση των τιμών της A_v της μη-συμμετρικής λεκάνης στην περιοχή των άκρων της λεκάνης (σε απόσταση x/B από ±0.3 έως ±0.5) με τις τιμές της A_v στην αντίστοιχη περιοχή της συμμετρικής λεκάνης με ίδια κλίση. Στην κεντρική περιοχή, η απόκριση της μη-συμμετρικής λεκάνης δε είναι η «μέση» απόκριση των δύο συμμετρικών, αλλά αυτό δε δημιουργεί πρακτικό πρόβλημα καθώς οι μέγιστες ενισχύσεις αναμένονται στα άκρα, όπου εμφανίζεται η προαναφερθείσα ταύτιση τιμών με τις αντίστοιχες συμμετρικές κοιλάδες. Έτσι, η μέγιστη ενίσχυση A_{vmax} στη μη-συμμετρική κοιλάδα είναι ίδια σε τιμή και θέση εμφάνισης με την A_{vmax} στη συμμετρική κοιλάδα με τη μεγαλύτερη κλίση πρανών (μη συμμετρική στην περιοχή με κλίση πρανούς i1=90° → A_{vmax}=0.69, συμμετρική με i=90° → A_{vmax}=0.69). Τέλος, παρατηρείται και πάλι ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων A_v της μη-συμμετρικής λεκάνης με την εκάστοτε αντίστοιχη περιοχή συμμετρικής λεκάνης με την ίδια κλίση στην περιοχή εκτός της κοιλάδας, δηλαδή στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν αυτής.



Σχήμα 4.4 : Επίδραση της μη-συμμετρίας της κοιλάδας στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος B αυτής, σε στενή εδαφική λεκάνη (i1=90°, i2=45°), για τη διέγερση του Αιγίου

Στο Σχήμα 4.5 συγκρίνεται η απόκριση της μη-συμμετρικής εδαφικής λεκάνης με i1=90°, i2=30° με τις συζυγείς συμμετρικές της i=90°και i=30°, ενώ οι τιμές των υπολοίπων σημαντικών παραμέτρων είναι κοινές και για τις 3 αναλύσεις (λ/H=1, B/λ=4, α=0.5 και ξ=5%). Η σύγκριση γίνεται με την ίδια μορφή και λογική παρουσίασης με τις προηγούμενες περιπτώσεις, και στοχεύει στη διερεύνηση της επίδρασης της μη-συμμετρίας σε περίπτωση που οι γωνίες κλίσης των πρανών της απέχουν ακόμη περισσότερο (90° με 30°, έναντι 90° με 45° στην προηγούμενη περίπτωση).

- Τα συμπεράσματα σχετικώς με την επίδραση της γωνίας κλίσης i στις συμμετρικές κοιλάδες είναι αντίστοιχα με πριν, και σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Μέλλιος και Τέττα 2010), οπότε δεν επαναλαμβάνονται εδώ.
- Σχετικά με το συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής ενίσχυσης A_h στη μη-συμμετρική κοιλάδα παρατηρείται η αναμενόμενη μη-συμμετρική απόκριση. Εδώ όμως, τα αποτελέσματα στις δύο ακραίες περιοχές της μη-συμμετρικής λεκάνης ταυτίζονται με εκείνα στις ακραίες περιοχές των αντίστοιχων συμμετρικών σε εύρος x/B από ±0.150 έως ±0.5, δηλαδή σε ελαφρώς μικρότερο εύρος, και αυτό γιατί εδώ η διαφορά των τιμών i είναι μεγαλύτερη. Αντίστοιχα, η καμπύλη της «μέσης απόκρισης» σε αυτή την περίπτωση λειτουργεί ικανοποιητικά για ένα μικρότερο όμως εύρος αδιάστατης απόστασης x/B συγκριτικά με την προηγούμενη μη συμμετρική ανάλυση (πρακτικά ταύτιση από x/B=-0.100 έως x/B=+0.100), για τον ίδιο λόγο. Όπως αναμενόταν, η τιμή και η θέση εμφάνισης της μέγιστη οριζόντια γεωμορφική επιδείνωση A_{hmax} της μη-συμμετρικής λεκάνης συμπίπτει με εκείνη της συμμετρικής λεκάνης με μεγαλύτερη κλίση πρανούς (i1=90°), όπως και στο προηγούμενο παράδειγμα.
- Σε ότι αφορά το συντελεστή γεωμορφικής επιδείνωσης A_v στη μη-συμμετρική λεκάνη, η συμπεριφορά του συντελεστή A_v είναι όμοια κι ανάλογη με αυτή των συντελεστών A_v όλων των μη-συμμετρικών λεκανών που έχουμε μελετήσει μέχρι τώρα (π.χ. σύγκλιση των τιμών A_v της μη συμμετρικής λεκάνης με την αντίστοιχη περιοχή της συμμετρικής λεκάνης με ίδια κλίση, στην περιοχή των άκρων της λεκάνης και σε απόσταση x/B από ±0.3 έως ±0.5, τιμή και θέση εμφάνισης A_{vmax} συμπίπτει με αυτή της συμμετρικής λεκάνης που έχει ίδια κλίση i με την κλίση του πρανούς της μη-συμμετρικής λεκάνης στην πλευρά που εμφανίζεται η μέγιστη τιμή.



Σχήμα 4.5 : Επίδραση της μη-συμμετρίας της κοιλάδας στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος B αυτής, σε στενή εδαφική λεκάνη (i1=90°, i2=30°), για τη διέγερση του Αιγίου

Συνοπτικά, λοιπόν, σχετικώς με τη γεωμορφική επιδείνωση «στενών» μη-συμμετρικών κοιλάδων προέκυψαν τα κάτωθι συμπεράσματα:

- Ταύτιση της σεισμικής απόκρισης της μη-συμμετρικής κοιλάδας με εκείνες των συζυγών συμμετρικών στην περιοχή των άκρων, τόσο για τις οριζόντιες (A_h) όσο και για τις κατακόρυφες (A_v) γεωμορφικές ενισχύσεις. Επίσης, προκύπτει αντίστοιχη ταύτιση της σεισμικής απόκρισης και εκτός των ορίων της κοιλάδας, στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν.
- Απόκλιση της σεισμικής απόκρισης της μη-συμμετρικής κοιλάδας από εκείνες των συζυγών συμμετρικών, στην περιοχή του κέντρου τόσο για τις οριζόντιες (A_h) όσο και για τις κατακόρυφες (A_v) γεωμορφικές ενισχύσεις, και αυτό ως αποτέλεσμα της έντονης αλληλεπίδρασης των ανόμοιων πρανών σε «στενές» κοιλάδες, ειδικά στην περιοχή του κέντρου.
  - ❖ Η απόκλιση της σεισμικής απόκρισης στην περιοχή του κέντρου για το συντελεστή A_h είναι αρκετά σημαντική, κυρίως όταν η μία από τις δύο κλίσεις πρανών είναι μικρή. Κι αυτό γιατί η μικρή τιμή της i σε ένα τουλάχιστον πρανές συντελεί στην εμφάνιση σημαντικών A_h στην περιοχή του κέντρου, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για μεγάλη τιμή i. Είναι δυνατή η αποτύπωση της απόκρισης της μη-συμμετρικής λεκάνης στην περιοχή του κέντρου με τη θεώρηση της «μέσης» απόκρισης των 2 συμμετρικών, μα το εύρος εφαρμογής αυτής της θεώρησης μικραίνει όσο μικραίνει η μικρή τιμή της γωνίας i. Αν και οι 2 γωνίες κλίσεις των πρανών μιας «στενής» λεκάνης είναι μικρές, τότε παρατηρείται ούτως ή άλλως, τόσο οι συμμετρικές όσο και οι μη-συμμετρικές δίνουν σημαντικές ενισχύσεις στο κέντρο με σχετικά μικρές αποκλίσεις, οπότε δεν έχει πρακτική χρησιμότητα η θεώρηση της «μέσης» απόκρισης.
  - ❖ Η απόκλιση της σεισμικής απόκρισης στην περιοχή του κέντρου για το συντελεστή A_v είναι σημαντική ποσοστιαία, αλλά μικρής πρακτικής σημασίας δεδομένου ότι οι μέγιστες τιμές A_v ούτως ή άλλως εμφανίζονται πάντα στην περιοχή των άκρων. Η θεώρηση μιας «μέσης» απόκρισης δε λειτουργεί σε καμία περίπτωση εδώ.
- Οι μέγιστες τιμές των οριζόντιων και κατακόρυφων γεωμορφικών ενισχύσεων A_{hmax} και A_{vmax} θα εμφανίζονται πάντα σε εκείνη την περιοχή της μη-συμμετρικής λεκάνης με το μεγαλύτερης κλίσης πρανές. Πρακτικά, θα υπάρχει ταύτιση των τιμών A_{hmax} και A_{vmax} της μη συμμετρικής λεκάνης με την αντίστοιχη συμμετρική, δηλαδή με εκείνη τη συμμετρική που έχει γωνία κλίσης ίση με τη μεγαλύτερη εκ των 2 γωνιών κλίσης της μη συμμετρικής. Επομένως, οι πολυ-παραμετρικές σχέσεις που είχαν αναπτυχθεί στην εργασία Μέλλιος και Τέττα (2010) για την εκτίμηση των τιμών A_{hmax} και A_{vmax} μπορούν να εφαρμοστούν και για «στενές» μη-συμμετρικές εδαφικές λεκάνες, δίνοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα, αντικαθιστώντας στην τιμή της παραμέτρου i τη μεγαλύτερη εκ των δύο κλίσεων

των πρανών της μη συμμετρικής λεκάνης, δηλαδή i=max(i1, i2). Επισημαίνεται βέβαια εδώ, ότι οι ανωτέρω σχέσεις έχουν εκτιμηθεί επί τη βάση αναλύσεων για τραπεζοειδείς συμμετρικές λεκάνες. Συνεπώς, για «στενές» λεκάνες, και ειδικά αν έχουν μικρές γωνίες κλίσης που κάνουν το σχήμα τους πρακτικώς τριγωνικό, οι ανωτέρω σχέσεις αναμένεται να υποεκτιμούν ελαφρά τις τιμές των A_{hmax} και A_{vmax}. Αυτό γιατί η γεωμορφική επιδείνωση «στενών» τριγωνικών κοιλάδων είναι πιο έντονη, ειδικά στο κέντρο όπου παρατηρούνται οι μέγιστες ενισχύσεις.

4.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΜΗ-ΣΥΜΜΕΤΡΙΑΣ ΚΟΙΛΑΔΑΣ ΣΤΗ ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ, ΓΙΑ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ «ΕΥΡΕΙΩΝ» ΚΟΙΛΑΔΩΝ

Για το σκοπό του τίτλου, επιλέγεται μία εδαφική λεκάνη με πλάτος B=1000m, πάχος H=50m (δηλαδή αδιάστατο γεωμετρικό λόγο B/H=20), ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων σε έδαφος V_s=500m/sec και σε βράχο V_b=1000m/sec, συχνότητα διέγερσης f=10Hz και ποσοστό απόσβεσης ξ=5%. Έτσι, η ανάλυση έχει τιμές βασικών παραμέτρων λ/H=1, B/λ=20, α=0.5 και ξ=5%. Στον Πίνακα 4.3 δίνονται αναλυτικά τα στοιχεία των αναλύσεων για τις 2 συμμετρικές λεκάνες και της μίας μη-συμμετρικής λεκάνης που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη του προβλήματος της ασυμμετρίας σε «ευρείες» λεκάνες. Πιο αναλυτικά, στο Σχήμα 4.6 συγκρίνεται η γεωμορφική επιδείνωση της μη-συμμετρικής λεκάνη με i1=45°, i2=15° με τις συζυγείς συμμετρικές της i=45° και i=15°, στη γνωστή μορφή διαγράμματος.
Σχετικά με το συντελεστή A_h προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

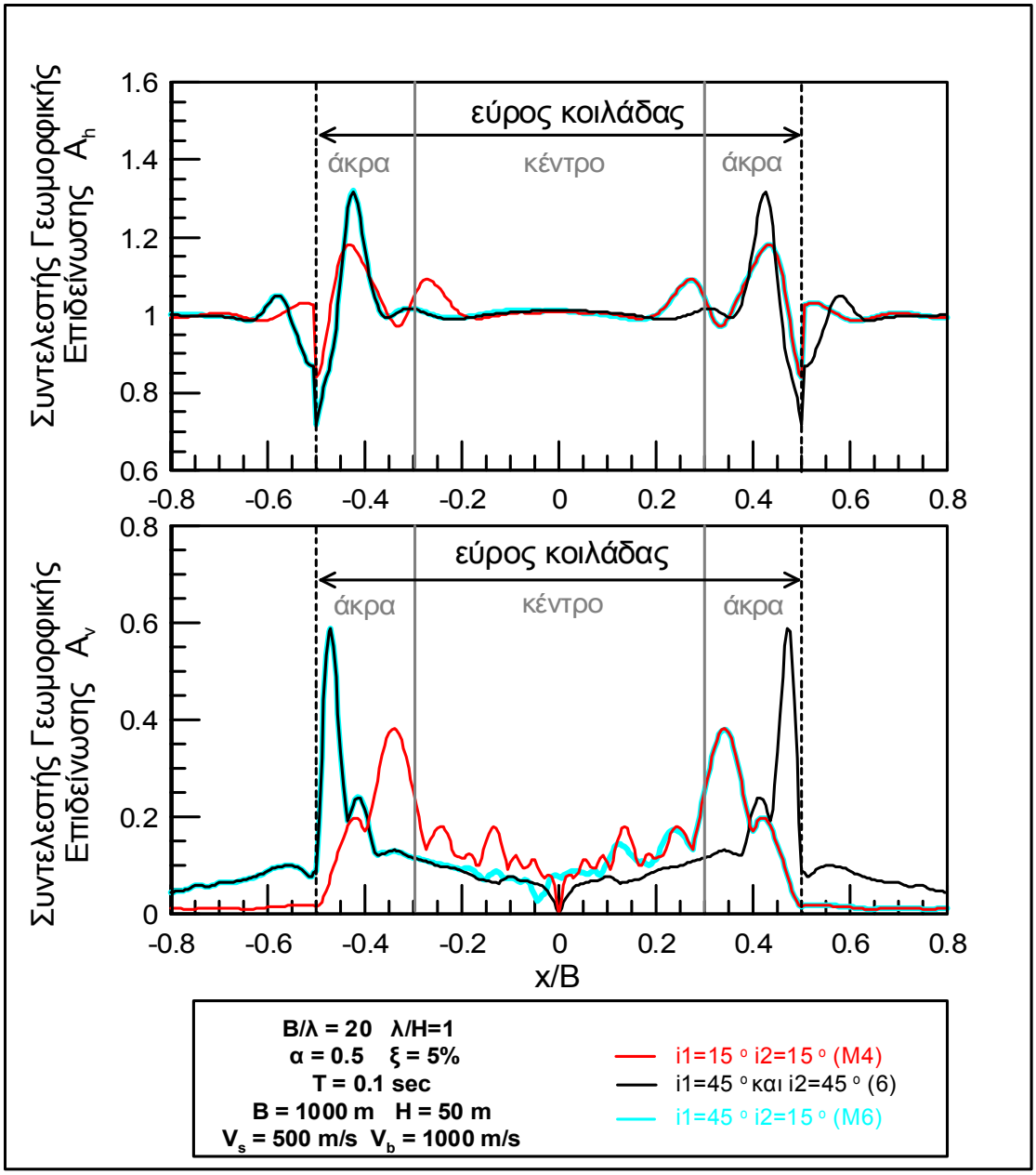
- Αντίθετα με τις «στενές» συμμετρικές κοιλάδες, στις «ευρείες» αντίστοιχες κοιλάδες οι μέγιστες γεωμορφικές ενισχύσεις A_{hmax} παρατηρούνται πλησίον των άκρων της λεκάνης (σε απόσταση από x/B=±0.3 έως x/B=±0.5), κάτι που ήταν αναμενόμενο καθώς πρόκειται για μία «ευρεία» λεκάνη με αδιάστατο λόγο B/H=20 (βλ. Μέλλιος και Τέττα 2010).
- Αντίθετα με τις «στενές» μη-συμμετρικές κοιλάδες, στις «ευρείες» αντίστοιχες κοιλάδες δεν υπάρχει αλληλεπίδραση των δύο πρανών της λεκάνης. Συνεπώς προκύπτει τέλεια ταύτιση των γεωμορφικών επιδεινώσεων από το κέντρο της λεκάνης έως τα άκρα της, με την αντίστοιχη περιοχή συμμετρικής λεκάνης με την ίδια κλίση. Όμοια με τις «στενές» μη-συμμετρικές κοιλάδες, η εκάστοτε ταύτιση αποκρίσεων εξακολουθεί και εκτός της λεκάνης, στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν. Συνεπώς, η μέγιστη τιμή του συντελεστή A_h θα εμφανίζεται στην περιοχή της μη συμμετρικής λεκάνης με το μεγαλύτερης κλίσης πρανές και η τιμή A_{hmax} της μη συμμετρικής λεκάνης θα συμπίπτει με αυτή της αντίστοιχης συμμετρικής (μη-συμμετρική → A_{hmax}=1.319, συμμετρική με i=45° → A_{hmax}=1.319) και θα εμφανίζεται ακριβώς στην ίδια θέση (x_{hmax}/B=-0.425).

Σε ότι αφορά το συντελεστή A_v, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Αντίστοιχα με τις «στενές» κοιλάδες, και στις «ευρείες» κοιλάδες οι μέγιστες τιμές του A_v αυξάνουν με αύξηση της κλίσης των πρανών i και η θέση εμφάνισης τους μετατοπίζεται προς τα άκρα.
- Ενώ για την A_h η αλληλεπίδραση των δύο πρανών στις «ευρείες» κοιλάδες είναι πρακτικώς μηδενική, για την τιμή του A_v η αλληλεπίδραση είναι πολύ μικρή και συνίσταται στην απαλοιφή του μηδενισμού του A_v στο κέντρο της κοιλάδας. Από εκεί και πέρα, υπάρχει πρακτικώς τέλεια ταύτιση της σεισμικής απόκρισης της μη-συμμετρικής με την αντίστοιχη, κάθε φορά, συμμετρική, όπως ακριβώς και για την A_h. Η μέγιστη τιμή A_{vmax} της μη-συμμετρικής λεκάνης και η θέση εμφάνισης αυτής, συμπίπτει με αυτή της συμμετρικής λεκάνης που έχει ίδια κλίση i με τη μεγαλύτερη εκ των δύο κλίσεων των πρανών της μη συμμετρικής λεκάνης (μη συμμετρική → A_{vmax}=0.587, συμμετρική με i=45° → A_{vmax}=0.587 και εμφανίζονται στην ίδια ακριβώς θέση x_{vmax}/B=-0.47).

#	B(m)	H(m)	V_s(m/s)	V_b(m/s)	T_e(s)	λ(m)	i1(°)	i2(°)	ξ(%)	B/λ	λ/H	α
M4	1000	50	500	1000	0.1	50	15	15	5	20	1	0.50
M5	1000	50	500	1000	0.1	50	90	90	5	20	1	0.50
M6	1000	50	500	1000	0.1	50	45	15	5	20	1	0.50

Πίνακας 4.3 : Τιμές σημαντικών παραμέτρων «ομάδων» αναλύσεων συμμετρικών και μη-συμμετρικών λεκανών που πραγματοποιήθηκαν για την επίδραση της μη-συμμετρίας σε «ευρείες» εδαφικές λεκάνες



Σχήμα 4.6 : Επίδραση της μη-συμμετρίας της κοιλάδας στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος B αυτής, σε ευρεία εδαφική λεκάνη (i1=45°, i2=15°), για τη διέγερση του Αιγίου

Συνοπτικά λοιπόν, για τις «ευρείες» μη-συμμετρικές κοιλάδες:

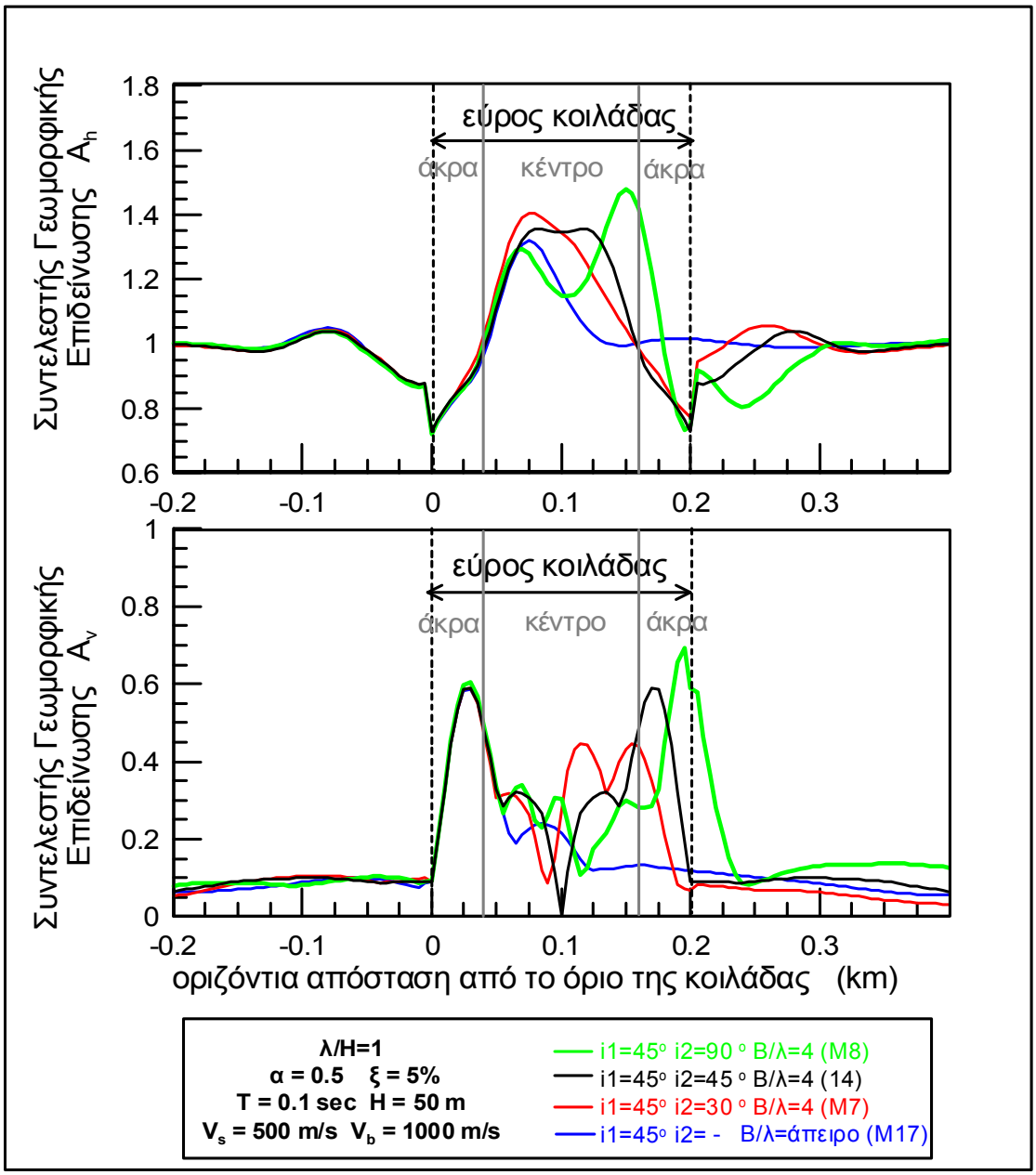
- Προκύπτει τέλεια ταύτιση της σεισμικής απόκρισης της μη-συμμετρικής λεκάνης με τις αντίστοιχες αποκρίσεις της εκάστοτε συμμετρικής λεκάνης, τόσο για τις οριζόντιες (A_h) όσο και για τις κατακόρυφες (A_v) γεωμορφικές ενισχύσεις σε όλο το μήκος της λεκάνης, επειδή δεν υπάρχει αλληλεπίδραση των πρανών (πέραν του μη-μηδενισμού της A_v στο κέντρο της μη-συμμετρικής κοιλάδας).
- Οι μέγιστες τιμές των οριζόντιων και κατακόρυφων γεωμορφικών ενισχύσεων A_{hmax} και A_{vmax} εμφανίζονται πάντα σε εκείνη την περιοχή της μη-συμμετρικής λεκάνης με το μεγαλύτερης κλίσης πρανές. Πρακτικά, οι τιμές και οι θέσεις εμφάνισης των A_{hmax} και A_{vmax} της μη-συμμετρικής λεκάνης συμπίπτουν με αυτές της αντίστοιχης συμμετρικής με τη μέγιστη εκ των δύο κλίσεων πρανών. Επομένως, οι σχέσεις που είχαν προταθεί στην εργασία Μέλλιος και Τέττα (2010) για την εκτίμηση των τιμών A_{hmax} και A_{vmax} μπορούν να εφαρμοστούν χωρίς κανένα πρόβλημα και για «ευρείες» μη-συμμετρικές λεκάνες, χρησιμοποιώντας ως τιμή της παραμέτρου i τη μεγαλύτερη εκ των δύο κλίσεων των πρανών της μη συμμετρικής λεκάνης (i=max[i1,i2]).

4.4 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ

Με στόχο την πλήρη διερεύνηση των χαρακτηριστικών της αλληλεπίδρασης των πρανών μιας κοιλάδας κατά τη σεισμική ταλάντωση, ενδιαφέρον παρουσιάζει και η μελέτη μιας ακραίως μη-συμμετρικής λεκάνης, δηλαδή της μονοκλινούς λεκάνης (με εύρος B που τείνει στο άπειρο). Για το σκοπό αυτό επιλέγεται μία εδαφική λεκάνη με H=50m, ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων σε έδαφος V_s=500m/sec και σε βράχο V_b =1000m/sec, συχνότητα διέγερσης f=10Hz και ποσοστό απόσβεσης ξ=5%. Η περίπτωση αυτή έχει τιμές βασικών παραμέτρων λ/H=1, B/λ=∞, α=0.5, ξ=5% και γωνία κλίσης του μοναδικού πρανούς i=45°, και μπορεί να συγκριθεί άμεσα με ήδη παρουσιασθείσες αναλύσεις που είχαν τις ίδιες τιμές των εν λόγω βασικών παραμέτρων.

Έτσι, στο Σχήμα 4.7 συγκρίνεται η χωρική διαφοροποίηση της γεωμορφικής επιδείνωσης (A_h και A_v με την απόσταση) της εν λόγω μονοκλινούς λεκάνης, με τα αντίστοιχα αποτελέσματα για «στενές» εδαφικές λεκάνες, συμμετρικές ή μη, που τουλάχιστον ένα πρανές τους έχει κλίση 45° (όπως της μονοκλινούς). Πιο αναλυτικά, στο Σχήμα 4.7 αποτυπώνονται ταυτόχρονα τα αποτελέσματα των αναλύσεων της μονοκλινούς λεκάνης, της συμμετρικής λεκάνης με i=45°, της μη-συμμετρικής λεκάνης με i1=45° και i2=30° και της μη-συμμετρικής λεκάνης με i1=45° και i2=90°.

Καθώς σε μια μονοκλινή λεκάνη δεν υπάρχει άξονας συμμετρίας, στον οριζόντιο άξονα αυτού του Σχήματος η αρχή μέτρησης θα μετατοπιστεί ώστε να συμπίπτει με το σημείο έναρξης της μονοκλινούς εδαφικής λεκάνης κι έτσι προκύπτει ο άξονας x΄.
Σχετικά με το συντελεστή A_h προκύπτει ταύτιση της απόκρισης της μονοκλινούς λεκάνης με τις αποκρίσεις των «στενών» λεκανών στην περιοχή του κοινού τους πρανούς κοντά στο όριο της εδαφικής λεκάνης (αλλά και εκτός αυτής, στο αναδυόμενο υπόβαθρο) και σταδιακή απόκλιση των αποκρίσεων όσο αυξάνει η απόσταση από την άκρη της κοιλάδας. Ειδικά στις «στενές» κοιλάδες όπου η αλληλεπίδραση των 2 πρανών είναι έντονη και η μέγιστη επιδείνωση αναμένεται στην περιοχή του κέντρου προκύπτει ότι σε όλες τις περιπτώσεις η μέγιστη επιδείνωση στη μονοκλινή κοιλάδα υπολείπεται εκείνων των συμμετρικών ή μη κλειστών «στενών» κοιλάδων. Επιπλέον προκύπτει ότι χρειάζονται τουλάχιστον 150m από το όριο της κοιλάδας για να γίνει η απόκριση πρακτικώς 1Δ, συνεπώς όταν B=200m υπάρχει πάντα αλληλεπίδραση των 2 πρανών, όταν ένα από αυτά έχει κλίση i=45° (αυτά ισχύουν τουλάχιστον για λ/H=1, με H=50m).
Όπως και για τον A_h, για το συντελεστή A_v προκύπτει ταύτιση των κατακόρυφων ενισχύσεων A_v στην περιοχή των άκρων της μονοκλινούς λεκάνης με αυτές που αφορούν κλειστές λεκάνες ίδιας κλίσης και πάχους, και τη σταδιακή απόκλισή τους με την απόσταση από το όριο. Όμως, επειδή οι σημαντικές κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις είναι κατά βάση συγκεντρωμένες στα άκρα, η σύγκλιση των επιδεινώσεων της μονοκλινούς κοιλάδας με τις αντίστοιχες περιοχές των συμμετρικών και μη «στενών» λεκανών στην ακραία περιοχή έχει ως αποτέλεσμα την ταύτιση των μέγιστων τιμών του συντελεστή A_v στην περιοχή του πρανούς i=45°. Αντίστοιχα με την οριζόντια διεύθυνση, και εδώ προκύπτει ότι σε απόσταση 150m από το όριο της κοιλάδας η απόκριση γίνεται πρακτικώς 1Δ (για κοιλάδα με i=45°, H=λ=50m), δηλαδή έχει συστηματικά τιμή $A_v < 0.1$.

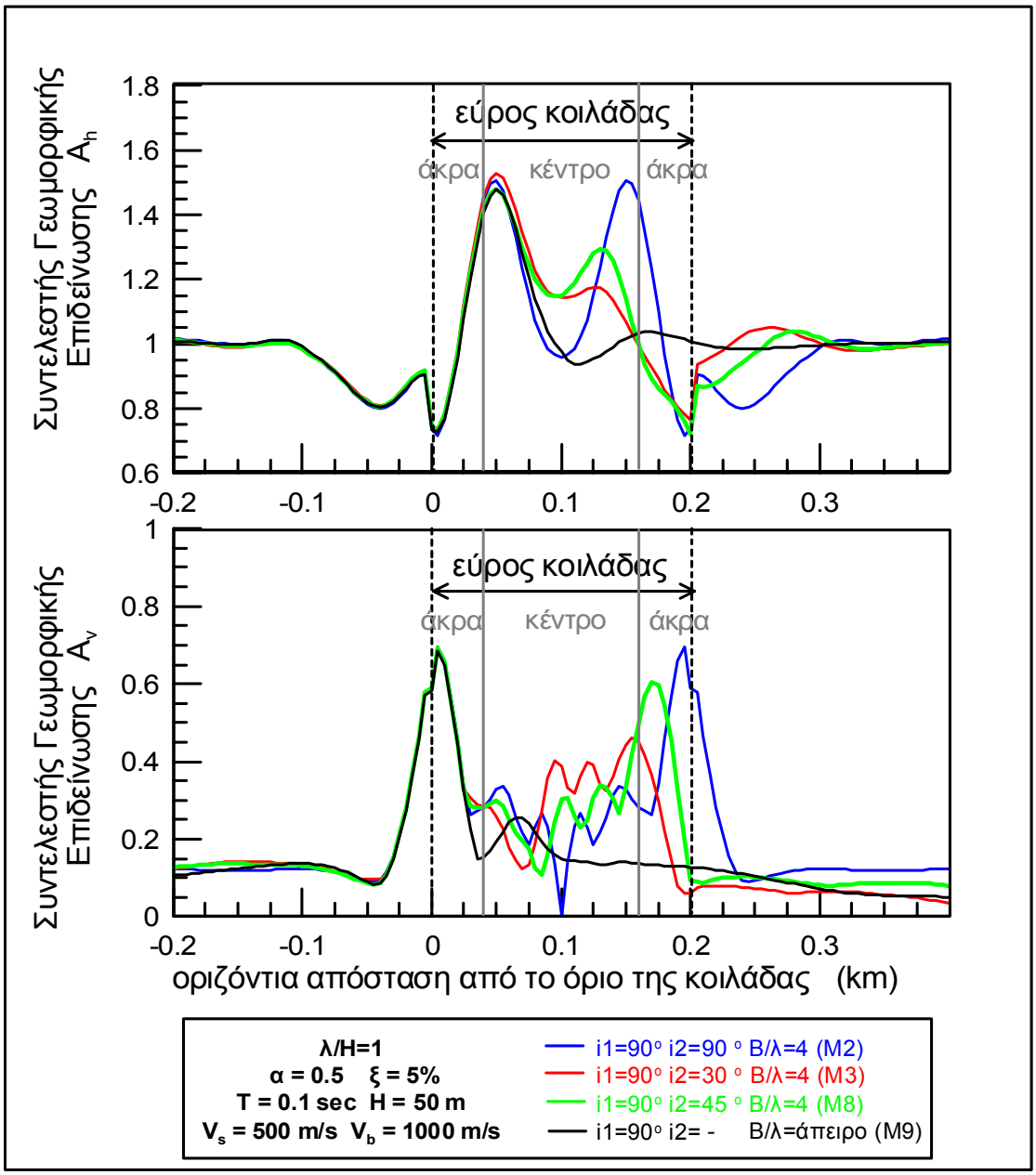


Σχήμα 4.7 : Σημασία της αλληλεπίδρασης των πρανών στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις για τη διέγερση του Αιγίου, σε στενή εδαφική λεκάνη (i=45°)

Στη συνέχεια, θα γίνει αντίστοιχη σύγκριση με εκείνη του Σχήματος 4.7, αλλά για κοιλάδες με πολύ έντονη κλίση πρανών (ακραία τιμή 90°). Έτσι, στο Σχήμα 4.8 αποτυπώνονται ταυτόχρονα οι συντελεστές A_h και A_v των αναλύσεων της μονοκλινούς λεκάνης με i=90°, της συμμετρικής λεκάνης με i=90°, της μη συμμετρικής λεκάνης με i1=45° και i2=30° και της μη συμμετρικής λεκάνης με i1=45° και i2=90° με την απόσταση από το όριο της λεκάνης (άξονας x΄).

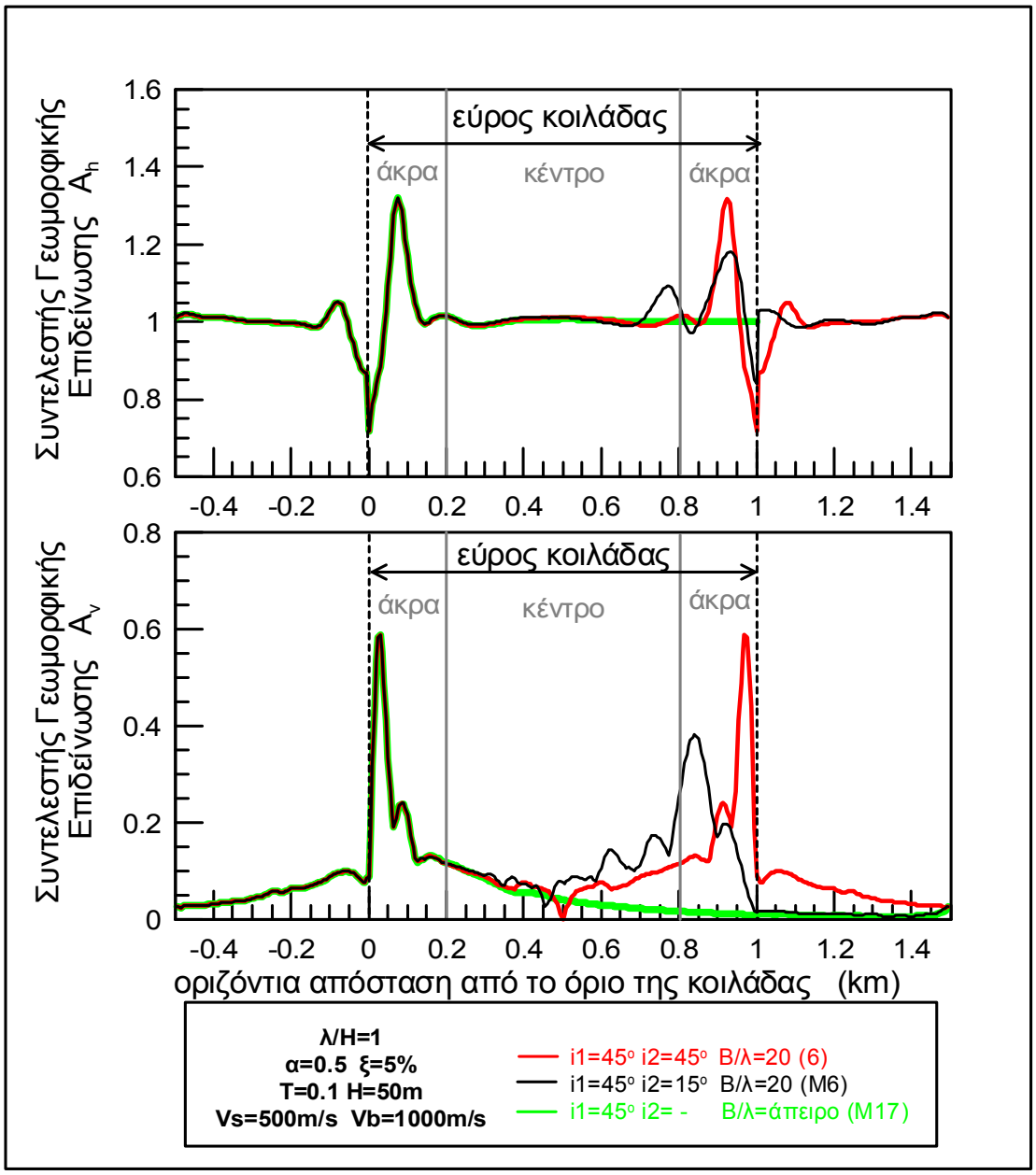
Σχετικά με το συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής ενίσχυσης A_h προκύπτει, και πάλι, πρακτικώς ταύτιση κοντά στην περιοχή του πρανούς με κλίση i=90° (και στο αναδυόμενο υπόβαθρο πλησίον του). Εδώ όμως, η ταύτιση πρακτικώς συμπεριλαμβάνει και τη μέγιστη τιμή επιδείνωσης αντίθετα απ' ότι συνέβει στο Σχήμα 4.7 όπου και πάλι ίσχυε B/λ=4 για τις κλειστές κοιλάδες. Αυτή η διαφοροποίηση οφείλεται στο ότι η μεγαλύτερη κλίση πρανών μεταφέρει τις θέσεις εμφάνισης των μεγίστων ενισχύσεων προς τα άκρα της κοιλάδας, οπότε γίνεται λιγότερο έντονη η αλληλεπίδραση των 2 πρανών, ακόμη και σε «στενές» κοιλάδες (όπως αυτές με B/λ=4). Όπως και πριν, όσο μεγαλώνει η απόσταση από το πρανές με i=90°, οι αποκρίσεις αρχίζουν να αποκλίνουν αισθητά. Μάλιστα χρειάζονται τουλάχιστον 100m από το όριο της κοιλάδας για να γίνει η απόκριση πρακτικώς 1Δ, συνεπώς όταν B=200m υπάρχει οριακώς πάντα αλληλεπίδραση των 2 πρανών, όταν ένα από αυτά έχει κλίση i=90° (αυτά ισχύουν τουλάχιστον για λ/H=1, με H=50m), με εξαίρεση ίσως τη συμμετρική κοιλάδα με i=90° όπου διαφαίνεται οριακά να μην αλληλεπιδρούν τα 2 πρανή.

Σε ότι αφορά το συντελεστή γεωμορφικής επιδείνωσης A_v, προκύπτουν αντίστοιχα συμπεράσματα με εκείνα για i=45° (Σχήμα 4.7). Η διαφορά εδώ είναι ότι η ταύτιση των αποκρίσεων στα όρια της κοιλάδας είναι απόλυτη, δεδομένου ότι για i=90° η θέση των μεγίστων μετατοπίζεται προς τα όρια, και η αλληλεπίδραση των 2 πρανών εξασθενίζει ακόμη περισσότερο.



Σχήμα 4.8 : Σημασία της αλληλεπίδρασης των πρανών στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις για τη διέγερση του Αιγίου, σε στενή εδαφική λεκάνη (i=90°)

Στη συνέχεια, στο Σχήμα 4.9 γίνεται περαιτέρω διερεύνηση της αλληλεπίδρασης των 2 πρανών για κλίση i=45° η οποία σε «στενές» κοιλάδες (Σχήμα 4.7) ήταν σαφής. Εδώ όμως, η ίδια προσέγγιση ανάλυσης γίνεται για «ευρείες» λεκάνες με ένα πρανές i=45°, συμμετρικές ή μη, οι οποίες συγκρίνονται με τη μονοκλινή κοιλάδα ιδίας κλίσης, με την ίδια μορφή παρουσίασης (άξονας x΄ από την άκρη της κοιλάδας). Όπως προκύπτει, σε μια «ευρεία» λεκάνη δεν υπάρχει καμμία αλληλεπίδραση μεταξύ των πρανών. Αυτό γιατί για τους συντελεστές A_h και A_v προκύπτει πια τέλεια ταύτιση των επιδεινώσεων της μονοκλινούς κοιλάδας με τις αντίστοιχες περιοχές των κλειστών «ευρειών» λεκανών στην περιοχή του κοινού τους πρανούς, από το κέντρο συμμετρίας τους έως και το αναδυόμενο υπόβαθρο εξωτερικά αυτών.



Σχήμα 4.9 : Σημασία της αλληλεπίδρασης των πρανών στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις για τη διέγερση του Αιγίου, σε ευρείας εδαφική λεκάνη (i=45°)

Συνοπτικά, σχετικώς με την αλληλεπίδραση των 2 πρανών κλειστών κοιλάδων:

- Προκύπτει τέλεια ταύτιση των αποκρίσεων της μονοκλινούς λεκάνης με την αντίστοιχη περιοχή της «ευρείας» συμμετρικής (ή μη) λεκάνης, τόσο για τις οριζόντιες (A_h) όσο και για τις κατακόρυφες (A_v) γεωμορφικές ενισχύσεις στο αντίστοιχο ημιεύρος της λεκάνης (από x/B=-0.5 έως x/B=0) και στο αναδυόμενο υπόβαθρο εξωτερικά αυτής, ενώ
- Η απόκριση της μονοκλινούς κοιλάδας συγκλίνει με αυτές των «στενών» λεκανών (συμμετρικών ή μη) μόνο στα άκρα της λεκάνης (και στο αναδυόμενο υπόβαθρο εξωτερικά αυτής). Αντίθετα, η αλληλεπίδραση των 2 πρανών προκαλεί απόκλιση των αποκρίσεων της μονοκλινούς κοιλάδας από εκείνες των κλειστών «στενών» λεκανών όσο απομακρυνόμαστε από το άκρο της.
- Η αλληλεπίδραση είναι λιγότερο έντονη όσο αυξάνει η γωνία κλίσης των πρανών, και μάλιστα για i=90° ακόμη και μια «στενή» κοιλάδα με B/λ=4 μπορεί να μην εμφανίζει ουσιώδη αλληλεπίδραση των πρανών της.
- Οι τιμές A_{hmax} και A_{vmax} της μονοκλινούς λεκάνης συμπίπτουν με αυτές της αντίστοιχης «ευρείας» συμμετρικής, αλλά διαφοροποιούνται κάπως από αυτές της «στενής» συμμετρικής λεκάνης, ή της αντίστοιχης μη-συμμετρικής που το ένα της πρανές έχει ίδια κλίση με αυτή του μονοκλινούς πρανούς. Επομένως, οι σχέσεις που είχαν προταθεί στην εργασία Μέλλιος και Τέττα (2010) για την εκτίμηση των τιμών A_{hmax} και A_{vmax} μπορούν να εφαρμοστούν για μονοκλινείς εδαφικές λεκάνες, αντικαθιστώντας στην τιμή της παραμέτρου i τη γωνία κλίσης του πρανούς της μονοκλινούς. Βέβαια, να επισημάνουμε σε αυτό το σημείο πως οι μονοκλινείς έχουν B/λ=∞, ενώ οι σχέσεις για την εκτίμηση των A_{hmax} και A_{vmax} ισχύουν για συγκεκριμένο εύρος τιμών B/λ από 1 έως 20. Αυτό όμως δεν είναι πρόβλημα καθώς όπως είδαμε σε προηγούμενες παραγράφους η απόκριση της μονοκλινούς λεκάνης ταυτίζεται τέλεια με την απόκριση της αντίστοιχης περιοχής μιας ευρείας λεκάνης με B/λ=20. Συνεπώς, μπορούμε να εφαρμόσουμε τις σχέσεις θέτοντας B/λ=20 (αντί για ∞) με ικανοποιητικά αποτελέσματα.

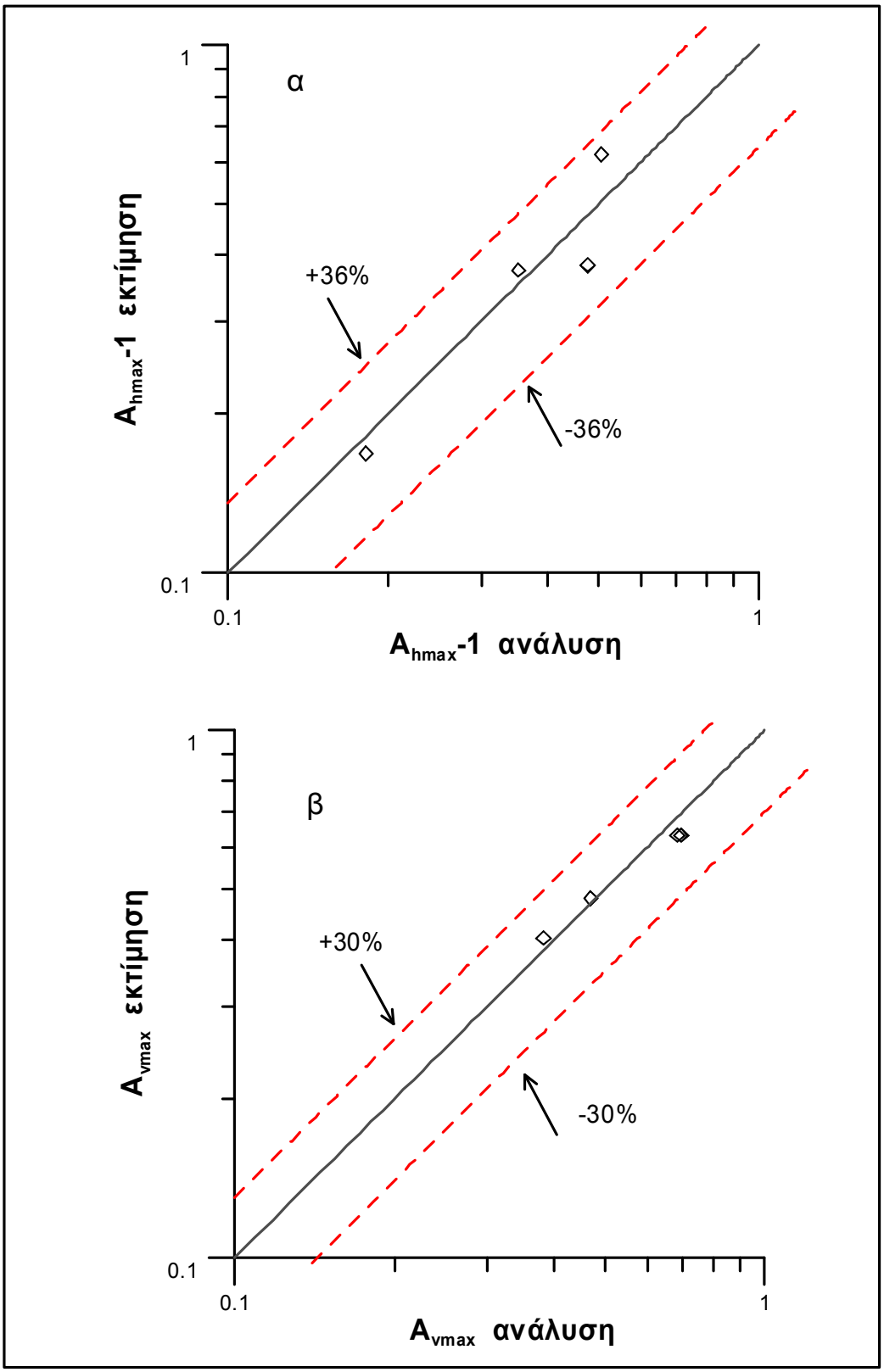
4.5 ΠΟΛΥ-ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗΣ

Στην παράγραφο αυτή χρησιμοποιούνται οι νέες αναλύσεις συμμετρικών λεκανών που πραγματοποιήθηκαν εδώ για να επαληθευτούν οι σχέσεις εκτίμησης των A_{hmax} και A_{vmax} των Μέλλιου και Τέττα (2010). Έτσι, στον Πίνακα 4.4 δίνονται τα στοιχεία των 4 νέων συμμετρικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, ενώ στο Σχήμα 4.10α συγκρίνονται οι μέγιστες οριζόντιες γεωμορφικές ενισχύσεις A_{hmax} που προέκυψαν από τις νέες αναλύσεις της παρούσας εργασίας με αυτές που εκτιμώνται από τη σχέση (2.1), βλ. Κεφ. 2 της βιβλιογραφίας. Αντίστοιχη σύγκριση γίνεται στο Σχήμα 4.10β και για τις μέγιστες κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις A_{vmax} χρησιμοποιώντας τη σχέση (2.2) και τα αριθμητικά αποτελέσματα. Παρατηρείται λοιπόν πως οι σχέσεις εκτιμούν με μεγάλη ακρίβεια τις μέγιστες τιμές των συντελεστών γεωμορφικών ενισχύσεων που προέκυψαν από τις πραγματοποιηθείσες αναλύσεις, χωρίς να υπάρχει συστηματική υπερεκτίμηση ή υποεκτίμηση.

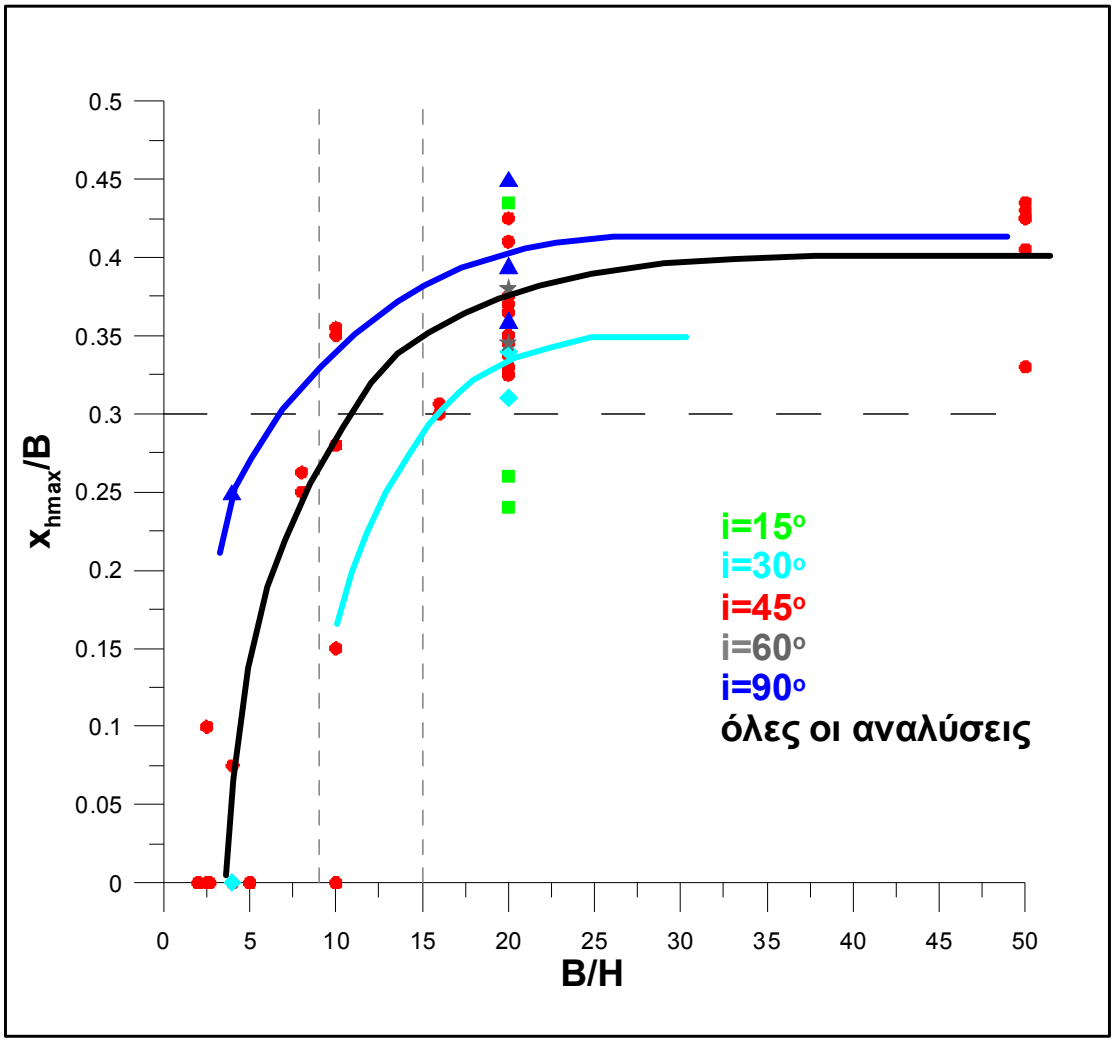
Στη συνέχεια, στα Σχήματα 4.11 και 4.12 αποτυπώνονται οι θέσεις εμφάνισης των μέγιστων οριζόντιων (x_{hmax}/B) και κατακόρυφων ενισχύσεων (x_{vmax}/B), συμπεριλαμβάνοντας όλα τα αποτελέσματα από την εργασία των Μέλλιος και Τέττα (2010), καθώς και τα στοιχεία των νέων συμμετρικών αναλύσεων του Πίνακα 4.5. Πιο συγκεκριμένα, αποτυπώνονται με διαφορετικό χρώμα οι αναλύσεις που διαφέρουν ως προς την κλίση των πρανών, έτσι ώστε να φανεί η επίδραση της παραμέτρου i, δηλαδή η μετάβαση των μέγιστων οριζόντιων και κατακόρυφων γεωμορφικών ενισχύσεων προς τα άκρα της λεκάνης καθώς αυξάνεται η γωνία κλίσης. Επιπλέον, στα ίδια σχήματα δίνονται ορισμένες καμπύλες «σχεδιασμού» προς χρήση σε προκαταρκτική εκτίμηση της γεωμορφικής επιδείνωσης, μαζί με τις πολυ-παραμετρικές σχέσεις του Κεφ. 2, οι οποίες έχουν ικανοποιητική ακρίβεια.

#	B(m)	H(m)	V_s(m/s)	V_b(m/s)	T_e(s)	λ(m)	i1(°)	i2(°)	ξ(%)	B/λ	λ/H	α
M1	200	50	500	1000	0.1	50	30	30	5	4	1	0.50
M2	200	50	500	1000	0.1	50	90	90	5	4	1	0.50
M4	1000	50	500	1000	0.1	50	15	15	5	20	1	0.50
M5	1000	50	500	1000	0.1	50	90	90	5	20	1	0.50

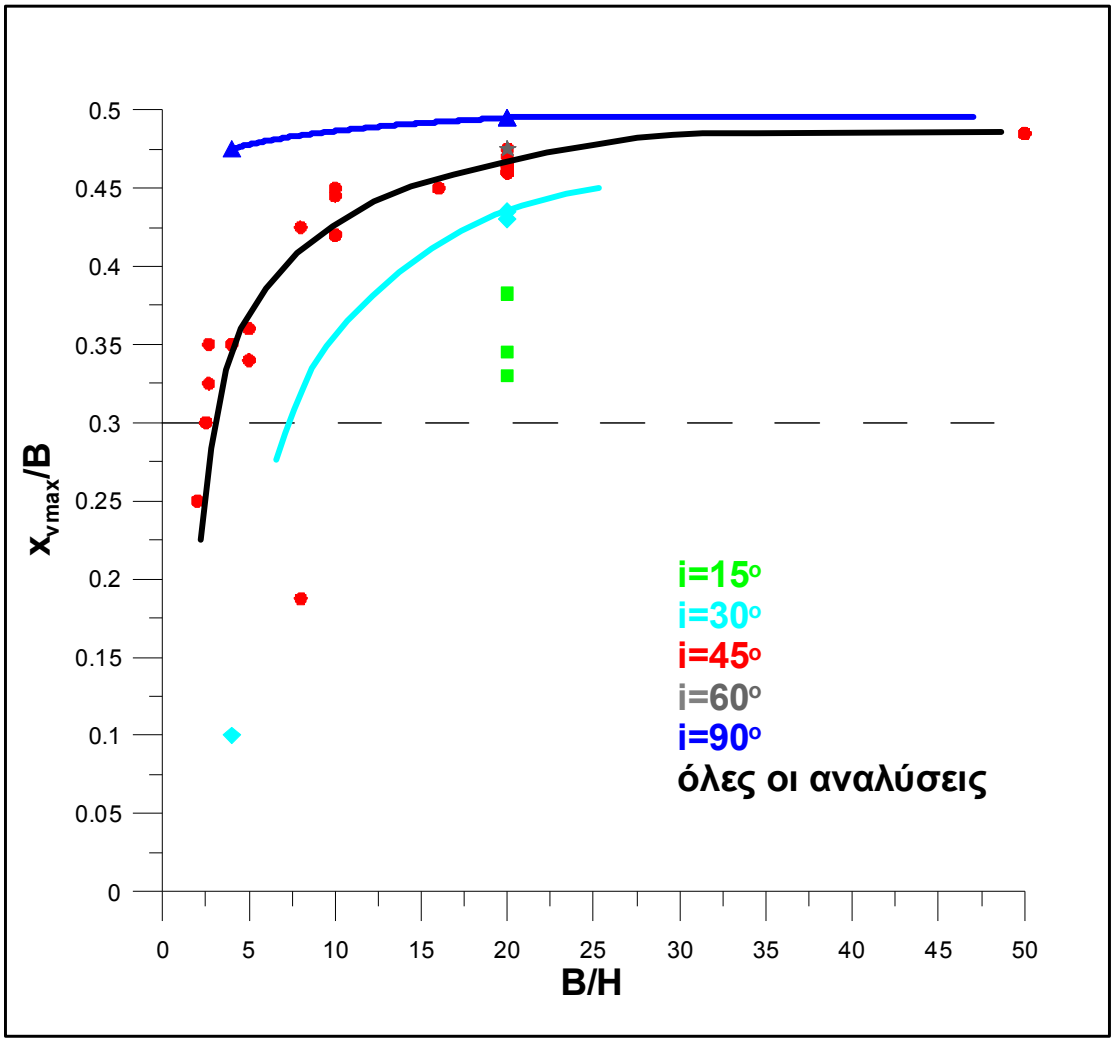
Πίνακας 4.4 : Τιμές σημαντικών παραμέτρων «ομάδων» αναλύσεων συμμετρικών λεκανών που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία



Σχήμα 4.10 : Διάγραμμα σύγκρισης των τιμών (α) A_{hmax} -1 και (β) A_{vmax}, που προέκυψαν από την ανάλυση σε σχέση με αυτές που εκτιμήθηκαν από την τελική σχέση εκτίμησης των (α) A_{hmax} -1 και (β) A_{vmax}



Σχήμα 4.11 : Επίδραση της αδιάστατης παραμέτρου B/H και της γωνίας κλίσης i στις θέσεις εμφάνισης των A_{hmax} αδιαστατοποιημένες ως προς το εκάστοτε πλάτος B της λεκάνης (x_{hmax}/B) και καμπύλες «σχεδιασμού»



Σχήμα 4.12 : Επίδραση της αδιάστατης παραμέτρου B/H και της γωνίας κλίσης i στις θέσεις εμφάνισης των A_{vmax} αδιαστατοποιημένες ως προς το εκάστοτε πλάτος B της λεκάνης (x_{vmax}/B) και καμπύλες «σχεδιασμού»

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ ΣΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο μελετάται η αλληλεπίδραση τοπογραφίας αναγλύφου και μορφολογίας υποβάθρου στη σεισμική απόκριση. Δηλαδή μελετάται τόσο η επίδραση ύπαρξης κοιλάδας στη σεισμική απόκριση φαραγγιών ή πρανών, όσο και η επίδραση της τοπογραφίας στο πρόβλημα της γεωμορφικής επιδείνωσης των μέγιστων σεισμικών επιταχύνσεων στην επιφάνεια του εδάφους. Αυτό γιατί έως τώρα στη βιβλιογραφία συνήθως μελετάται ξεχωριστά η επίδραση της τοπογραφίας του εδάφους από την επίδραση της μορφολογίας του υπεδάφους στις μέγιστες σεισμικές επιταχύνσεις στην επιφάνεια. Με άλλα λόγια, εδώ διερευνάται αν και πόσο επηρεάζονται οι συντελεστές γεωμορφικής επιδείνωσης εντός της εδαφικής λεκάνης, όταν το ένα ή και τα δύο πρανή του βραχώδους υποβάθρου εξέχουν απ' την επιφάνεια και δημιουργούν μονοκλινή πρανή ή φαράγγια μέσα στα οποία περικλείονται εδαφικές λεκάνες. Επίσης, θα εξεταστεί αν η ύπαρξη της εδαφικής λεκάνης επηρεάζει τη σεισμική απόκριση των εκατέρωθεν πρανών τοπογραφίας. Έτσι, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις σεισμικής απόκρισης, τα χαρακτηριστικά των οποίων δίνονται στον πίνακα 5.1. Για τον πίνακα αυτό επισημαίνεται ότι σε αναλύσεις όπου δε δίνονται H και V_s (#M12, #M14, #M15, #M16) μελετάται μόνο η σεισμική απόκριση μιας τοπογραφίας πρανούς ή φαραγγιού με αποκλειστικά βραχώδες γεωϋλικό, ενώ το ύψος υπερυψωμένου πρανούς αφορά πάνω από τη στάθμη της κοιλάδας. Δεδομένου του σχετικά μικρού πλήθους αναλύσεων, ξεκαθαρίζεται ότι τα αποτελέσματα και συμπεράσματα του παρόντος κεφαλαίου έχουν προκαταρκτικό χαρακτήρα.

#	B(m)	H(m)	V_s(m/s)	V_b(m/s)	T_e(s)	λ(m)	i(°)	ξ(%)	B/λ	λ/H	α	Ύψος υπερυψωμένου πρανούς (m)
M10	200	50	500	1000	0.1	50	45	5	4	1	0.50	50
M11	200	50	500	1000	0.1	50	45	5	4	1	0.50	50
M12	–	–	–	1000	0.1	–	–	–	–	–	–	50
M13	∞	50	500	1000	0.1	50	45	5	∞	1	0.50	50
M14	–	–	–	1000	0.1	–	–	–	–	–	–	100
M15	–	–	–	1000	0.1	–	–	–	–	–	–	50
M16	–	–	–	1000	0.1	–	–	–	–	–	–	100
M17	∞	50	500	1000	0.1	50	45	5	∞	1	0.50	0
M18	1000	50	500	1000	0.1	50	45	5	20	1	0.50	50

Πίνακας 5.1 : Πίνακας τιμών των χαρακτηριστικών παραμέτρων των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν για τη μελέτη της επίδρασης της τοπογραφίας στη γεωμορφική επιδείνωση

5.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΥΠΑΡΞΗΣ ΚΟΙΛΑΔΑΣ ΣΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΦΑΡΑΓΓΙΩΝ ΚΑΙ ΠΡΑΝΩΝ

5.2.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ «ΚΛΕΙΣΤΩΝ» ΚΟΙΛΑΔΩΝ ΣΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΦΑΡΑΓΓΙΩΝ ΚΑΙ ΠΡΑΝΩΝ

Αρχικά, μελετάται η σεισμική απόκριση μιας «κλειστής» εδαφικής λεκάνης με πλάτος B=200m, πάχος H=50m, ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων σε έδαφος V_s=500m/sec και σε βράχο V_b=1000m/sec, συχνότητα διέγερσης f=10Hz, ποσοστό απόσβεσης ξ=5% και γωνία κλίσης πρανών i=45°. Έτσι, η ανάλυση M11 του σχήματος 5.1 έχει τιμές βασικών παραμέτρων λ/H=1, B/λ=4, α=0.5, ξ=5% και i=45° σε ότι αφορά τα χαρακτηριστικά της εδαφικής λεκάνης, όπως και η ανάλυση 14 (βλέπε Πίνακα 2.1). Όμως, στην ανάλυση M11 και τα δύο πρανή υπερβαίνουν κατά 50m την επιφάνεια της εδαφικής στρώσης, σε αντίθεση με την ανάλυση 14 στην οποία τα πρανή δεν ξεπερνούν την επιφάνεια της εδαφικής λεκάνης. Στο ίδιο σχήμα, απεικονίζεται και η απόκριση ενός 2Δ «φαραγγιού» με βάθος 50m, δηλαδή όπου υπήρχε έδαφος στην ανάλυση M11 υπάρχει βράχος (M12). Επίσης, αποτυπώνεται στο ίδιο σχήμα η απόκριση ενός πιο βαθιού φαραγγιού βάθους 100m, δηλαδή όπου υπήρχε έδαφος στην ανάλυση M11 δεν υπάρχει κανένα γεωϋλικό (M16).

Στο σημείο αυτό πρέπει να γίνει μια επισήμανση σχετικά με το μέγεθος που απεικονίζεται στον κατακόρυφο άξονα του σχήματος αυτού. Στο Κεφάλαιο 4, στον κατακόρυφο άξονα υπήρχε ο συντελεστής οριζόντιας ή κατακόρυφης γεωμορφικής ενίσχυσης A_h ή A_v. Δηλαδή, σε όλα τα σχήματα του Κεφαλαίου 4 αποτυπώνονταν οι λόγοι των επιταχύνσεων στην επιφάνεια από τη 2Δ ανάλυση (PHA ή PVA) προς τη μέγιστη επιτάχυνση της 1Δ ανάλυσης εδάφους (1d_soil) όταν το σημείο ήταν εδαφικό ή με τη μέγιστη επιτάχυνση της 1Δ ανάλυσης βράχου (1d_rock) όταν το σημείο ήταν πάνω στον αναδυόμενο βράχο. Όμως, οι 2 από τις 4 αναλύσεις του σχήματος 5.1 δεν περιλαμβάνουν εδαφική λεκάνη με αποτέλεσμα να μην έχουν νόημα οι συντελεστές A_h και A_v, όπως είναι ορισμένοι, στη σύγκριση των συγκεκριμένων αναλύσεων. Επιπλέον, η έμφαση εδώ δίδεται στη σεισμική απόκριση των φαραγγιών ή των πρανών. Έτσι, στο σχήμα 5.1 (και σε άλλα σχήματα που ακολουθούν) απεικονίζονται οι λόγοι των μέγιστων επιταχύνσεων στην επιφάνεια που προκύπτουν από τη 2Δ ανάλυση προς τη μέγιστη επιτάχυνση της 1Δ ανάλυσης βράχου (1d_rock) σε όλο το μήκος της επιφάνειας του εδάφους, ανεξάρτητα αν το γεωϋλικό είναι βράχος ή μαλακό έδαφος (PHA/PHAr ή PVA/PHAr). Βέβαια, αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι ενισχύσεις της ανάλυσης M11 και 14 να οφείλονται τόσο στην ύπαρξη μαλακού εδάφους (soil effects) όσο και στην ύπαρξη κλειστής λεκάνης (valley effects). Όμως,

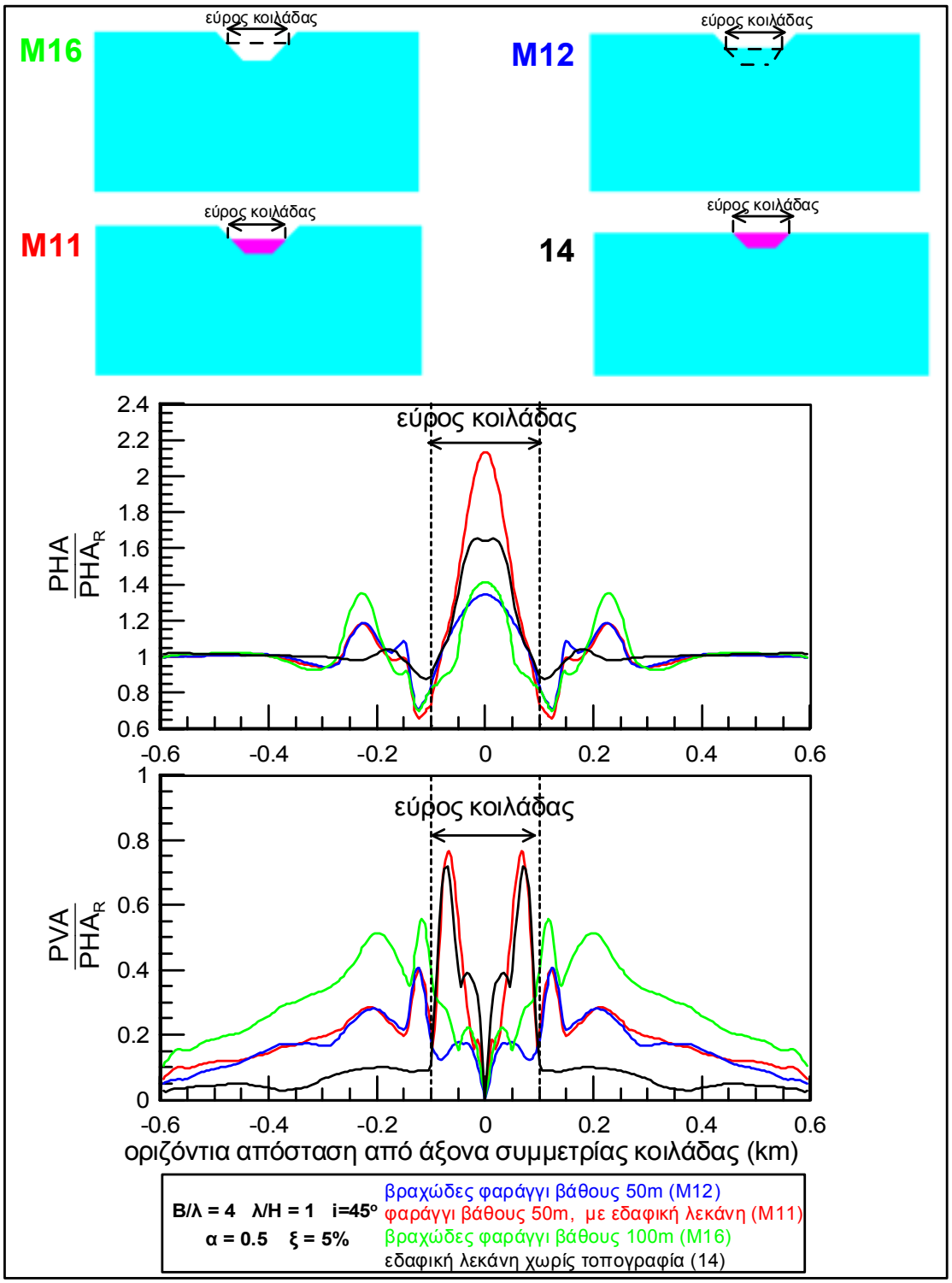
σκοπός του συγκεκριμένου σχήματος είναι η μελέτη της διαφοροποίησης της σεισμικής απόκρισης στα σημεία που βρίσκονται στα πρανή λόγω της ύπαρξης ή μη εδαφικής λεκάνης, άρα ο σκοπός εξυπηρετείται.

Σχετικά με τις οριζόντιες ενισχύσεις PHA/PHAr προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- Στην περιοχή ανάμεσα στα βραχώδη πρανή (-0.1 έως +0.1km, ή στην περιοχή της «κοιλάδας» αν αυτή υπάρχει), παρατηρείται παρόμοια χωρική διαφοροποίηση της σεισμικής απόκρισης. Έτσι, είτε πρόκειται για ένα αμιγώς βραχώδες φαράγγι, είτε για ένα φαράγγι που περικλείει εδαφική λεκάνη, όταν η απόσταση των πρανών είναι μικρή (δηλαδή η κλειστή περιοχή που ορίζεται μεταξύ των πρανών είναι στενή), τότε οι σημαντικές ενισχύσεις είναι συγκεντρωμένες στο κέντρο, ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των πρανών. Επιπλέον, είναι ξεκάθαρη η αύξηση των οριζόντιων ενισχύσεων στο μέσο της απόστασης των πρανών όταν υπάρχει εδαφική λεκάνη. Επιπλέον προκύπτει πως η ύπαρξη τοπογραφίας αναγλύφου, δηλαδή πρανών που ξεπερνούν την επιφάνεια της εδαφικής λεκάνης, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των οριζόντιων ενισχύσεων στο κέντρο της εδαφικής λεκάνης. Επικεντρώνοντας μόνο στις αναλύσεις με βραχώδη γεωϋλικά (M12, M16) παρατηρείται μια μικρή υπεροχή των οριζόντιων ενισχύσεων του πιο βαθιού φαραγγιού (βάθος 100m) κοντά στο κέντρο του φαραγγιού (περίπου σε x=0).
- Στις περιοχές πίσω από τα βραχώδη πρανή (αποστάσεις μεγαλύτερες από 0.1km, κατ' απόλυτη τιμή, ή στην περιοχή εκτός «κοιλάδας» αν αυτή υπάρχει), παρατηρείται πως και οι 3 αναλύσεις που έχουν υπερυψωμένα πρανή (M11, M12, M16) εμφανίζουν τοπογραφικές ενισχύσεις της οριζόντιας επιτάχυνσης συγκριτικά με την ανάλυση 14 που τα πρανή της δεν υπερβαίνουν την επιφάνεια της λεκάνης. Επιπλέον, είναι εμφανές πως η ανάλυση με την πιο έντονη τοπογραφία, δηλαδή το φαράγγι βάθους 100m, δίνει τις μεγαλύτερες οριζόντιες ενισχύσεις (PHA/PHAr ≈ 1.4) στην περιοχή των πρανών συγκριτικά με τις 2 άλλες περιπτώσεις τοπογραφίας Επισημαίνεται επίσης η ταύτιση της σεισμικής απόκρισης της εδαφικής λεκάνης με τα υπερυψωμένα πρανή με αυτή του μικρού φαραγγιού (βάθος 50m). Με άλλα λόγια, οι τιμές των οριζόντιων ενισχύσεων των σημείων που βρίσκονται στην περιοχή πίσω από τα βραχώδη πρανή εξαρτώνται κυρίως από το πόσο έντονη είναι η τοπογραφία του αναγλύφου και όχι από τι γεωϋλικό υπάρχει ανάμεσα στα πρανή (έδαφος ή βράχος). Τέλος, επισημαίνεται ότι απαιτείται ικανή απόσταση από τα πρανή (περίπου 150m και περισσότερο) ώστε η επίδραση της τοπογραφίας να εξαλειφθεί και όλες οι αναλύσεις να αγγίξουν τη μονοδιάστατη συμπεριφορά.

Σε ότι αφορά το λόγο των παρασιτικών κατακόρυφων ενισχύσεων PVA/PHAr, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Στην περιοχή ανάμεσα στα βραχώδη πρανή (-0.1 έως +0.1km, ή στην περιοχή της «κοιλάδας» αν αυτή υπάρχει), είναι ξεκάθαρη η επίδραση της εδαφικής λεκάνης στις τιμές των κατακόρυφων ενισχύσεων, καθώς οι τιμές του λόγου PVA/PHAr είναι αρκετά μεγαλύτερες (PVA/PHAr ≈ 0.8) στις 2 αναλύσεις που έχουν εδαφική λεκάνη (M11, 14) σε σχέση με τις άλλες 2 αναλύσεις που είναι καθαρά βραχώδεις 2Δ σχηματισμοί (M12, M16). Επιπλέον, προκύπτει ότι η ύπαρξη τοπογραφίας αναγλύφου δεν επηρεάζει σημαντικά τις κατακόρυφες ενισχύσεις, σε αντίθεση με την έντονη αυξητική επίδραση που είχαν στις οριζόντιες ενισχύσεις. Επιπλέον, παρατηρείται η υπεροχή των κατακόρυφων ενισχύσεων στην περίπτωση του βαθιού φαραγγιού σε σχέση με το πιο αβαθές φαράγγι σε όλο το εύρος της κλειστής περιοχής μεταξύ των πρανών.
- Στις περιοχές πίσω από τα βραχώδη πρανή (αποστάσεις μεγαλύτερες από 0.1km, κατ' απόλυτη τιμή, ή στην περιοχή εκτός «κοιλάδας» αν αυτή υπάρχει), προκύπτει αύξηση των κατακόρυφων ενισχύσεων αν υπάρχει τοπογραφία αναγλύφου. Πιο αναλυτικά, οι μέγιστες κατακόρυφες ενισχύσεις εμφανίζονται πίσω από τη στέψη ή κατά μήκος των κεκλιμένων επιφανειών των πρανών. Σημαντική παράμετρος για τις τιμές του λόγου PVA/PHAr στην περιοχή ενδιαφέροντος εδώ είναι η ένταση της τοπογραφίας αναγλύφου, και όχι αν τα πρανή σχηματίζουν ένα αμιγώς βραχώδες φαράγγι ή ένα φαράγγι ίδιου βάθους που να περικλείει εδαφική λεκάνη. Για παράδειγμα, το φαράγγι βάθους 100m έχει μέγιστη τιμή του λόγου PVA/PHAr ίση με 0.56 στην εν λόγω περιοχή, ενώ η εδαφική λεκάνη με πρανή που εξέχουν κατά 50m έχει αντίστοιχη τιμή ίση 0.4, δηλαδή τιμή που συμπίπτει με αυτή της περίπτωσης του μικρού φαραγγιού που επίσης έχει πρανή που εξέχουν κατά 50m.



Σχήμα 5.1 : Επίδραση της εδαφικής λεκάνης και των υπερυψωμένων πρανών στις οριζόντιες και κατακόρυφες ενισχύσεις «κλειστών» 2Δ σχηματισμών (14, M12, M11, M16) ως συνάρτηση της απόστασης x από τον άξονα συμμετρίας της κοιλάδας

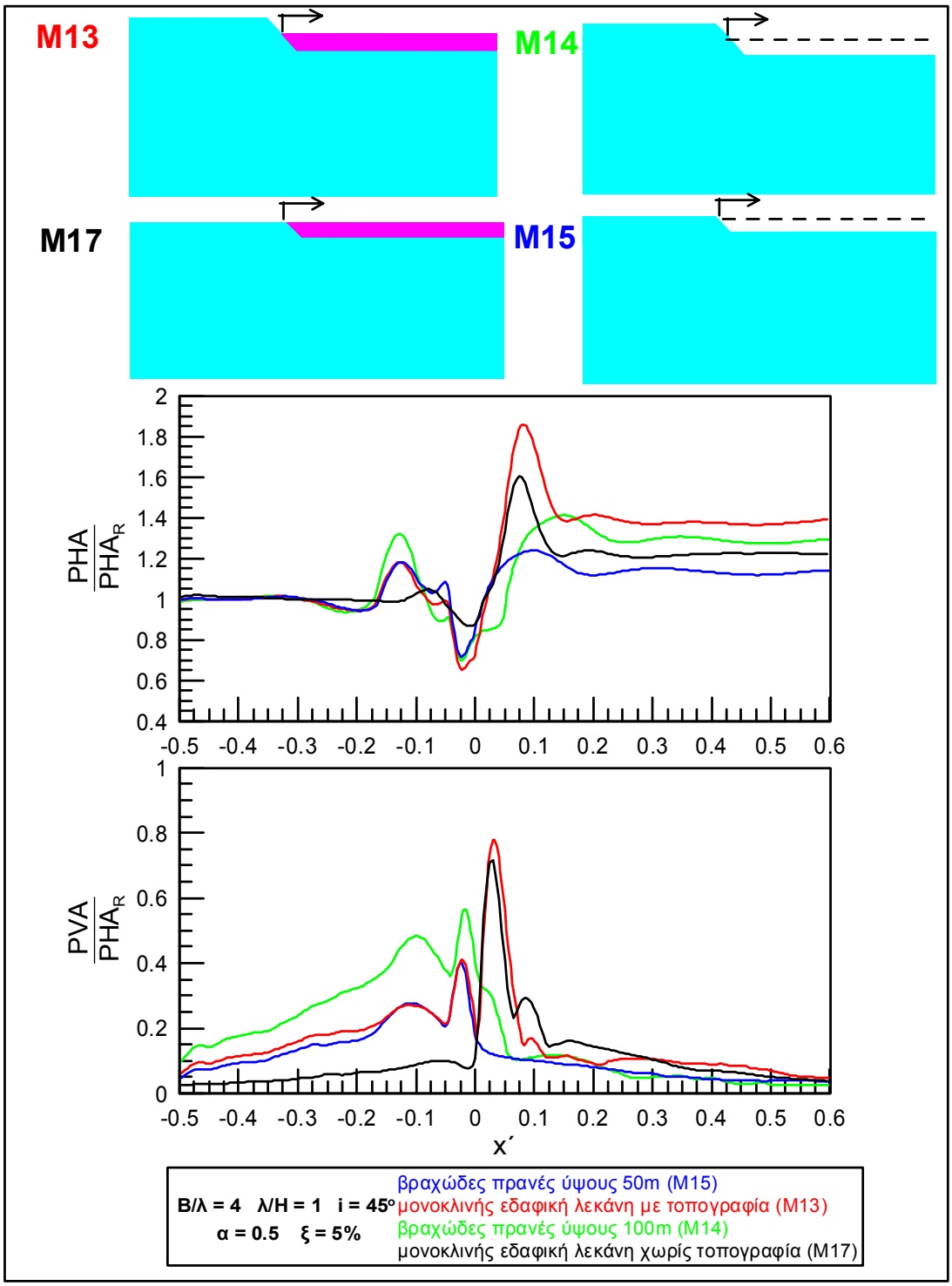
5.2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ «ΜΟΝΟΚΛΙΝΩΝ» ΛΕΚΑΝΩΝ ΣΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΦΑΡΑΓΓΙΩΝ ΚΑΙ ΠΡΑΝΩΝ

Στη συνέχεια, στο Σχήμα 5.2 παρουσιάζονται αναλύσεις σεισμικής απόκρισης για «μονοκλινείς» γεωμορφολογίες με ή χωρίς υπερυψωμένα πρανή αντίστοιχες των «κλειστών» γεωμορφολογιών που παρουσιάστηκαν στο Σχήμα 5.1. Η παρουσίαση είναι αντίστοιχης μορφής, μα ως οριζόντια απόσταση x΄ χρησιμοποιείται η απόσταση από τη θέση όπου ξεκινά η εδαφική κοιλάδα, όταν αυτή υπάρχει. Έτσι, στο Σχήμα 5.2 απεικονίζονται οι ενισχύσεις της οριζόντιας και κατακόρυφης μέγιστης επιτάχυνσης συγκριτικά με τη μέγιστη επιτάχυνση της 1Δ ανάλυσης βράχου (1d_rock) για 3 περιπτώσεις που έχουν στη μια περιοχή τους ένα υπερυψωμένο πρανές και μία μονοκλινής ανάλυση με αποκλειστικά οριζόντιο έδαφος.

Σχετικά με τις οριζόντιες ενισχύσεις PHA/PHAr προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- Εστιάζοντας στην περιοχή των υπερυψωμένων πρανών, είναι εμφανές πως τα αποτελέσματα είναι ανάλογα με αυτά που προέκυψαν στο Σχήμα 5.1, δηλαδή η ύπαρξη της τοπογραφίας έχει ως αποτέλεσμα τις αυξημένες ενισχύσεις στην περιοχή των πρανών συγκριτικά με τη μονοκλινή γεωμορφολογία χωρίς τοπογραφική ανωμαλία.
- Επιπλέον, οι οριζόντιες ενισχύσεις στην περιοχή του υψηλού πρανούς εξαρτώνται από το πόσο έντονη είναι η τοπογραφία αναγλύφου και όχι αν υπάρχει εδαφικό γεωϋλικό στη βάση του, αντίστοιχα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν για «κλειστές» γεωμορφολογίες στην προηγούμενη παράγραφο. Με άλλα λόγια, οι λόγοι των οριζόντιων ενισχύσεων της εδαφικής λεκάνης που στη μία της άκρη έχει πρανές που εξέχει κατά 50m συμπίπτουν με αυτές της ανάλυσης που αποτελείται μόνο από βραχώδες υλικό και έχει στην άκρη του πρανές που εξέχει επίσης κατά 50m. Αντίθετα, η μονοκλινής ανάλυση βράχου που έχει στη μία άκρη πρανές που εξέχει κατά 100m παρουσιάζει μεγαλύτερες οριζόντιες ενισχύσεις στην περιοχή του πρανούς συγκριτικά με τις 2 άλλες αναλύσεις που έχουν υπερυψωμένο πρανές μικρότερου ύψους.

Σε ότι αφορά το λόγο των παρασιτικών κατακόρυφων ενισχύσεων PVA/PHAr, προκύπτουν συμπεράσματα, και πάλι, αντίστοιχα με εκείνα για «συμμετρικές» γεωμορφολογίες (στην προηγούμενη παράγραφο).



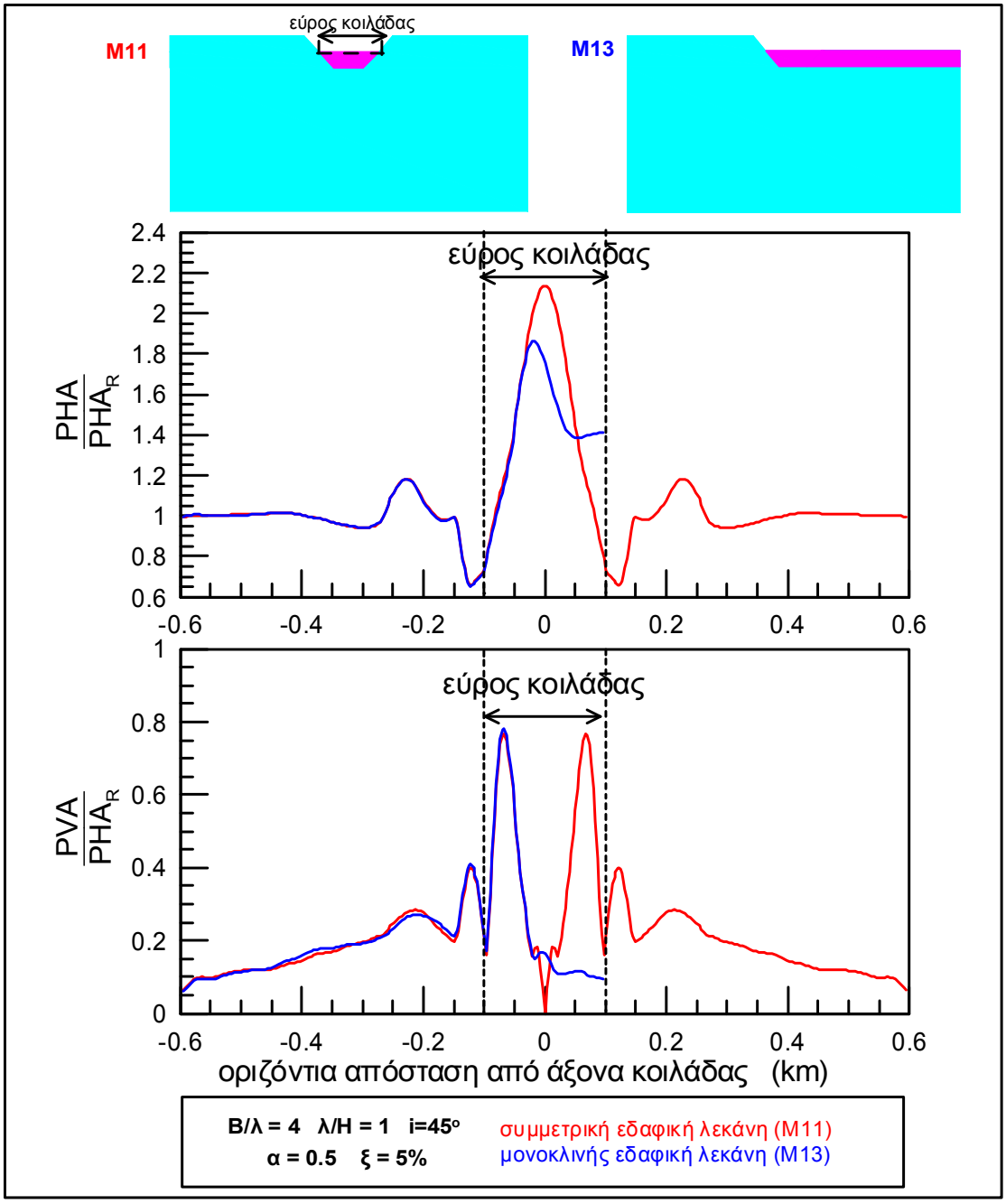
Σχήμα 5.2 : Επίδραση της εδαφικής λεκάνης και των υπερυψωμένων πρανών στις οριζόντιες και κατακόρυφες ενισχύσεις μονοκλινών σχηματισμών (M13, M14, M15, M17) ως συνάρτηση της απόστασης x΄ από το όριο της κοιλάδας

5.2.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ «ΚΛΕΙΣΤΩΝ» ΕΝΑΝΤΙ «ΜΟΝΟΚΛΙΝΩΝ» ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΦΑΡΑΓΓΙΩΝ ΚΑΙ ΠΡΑΝΩΝ

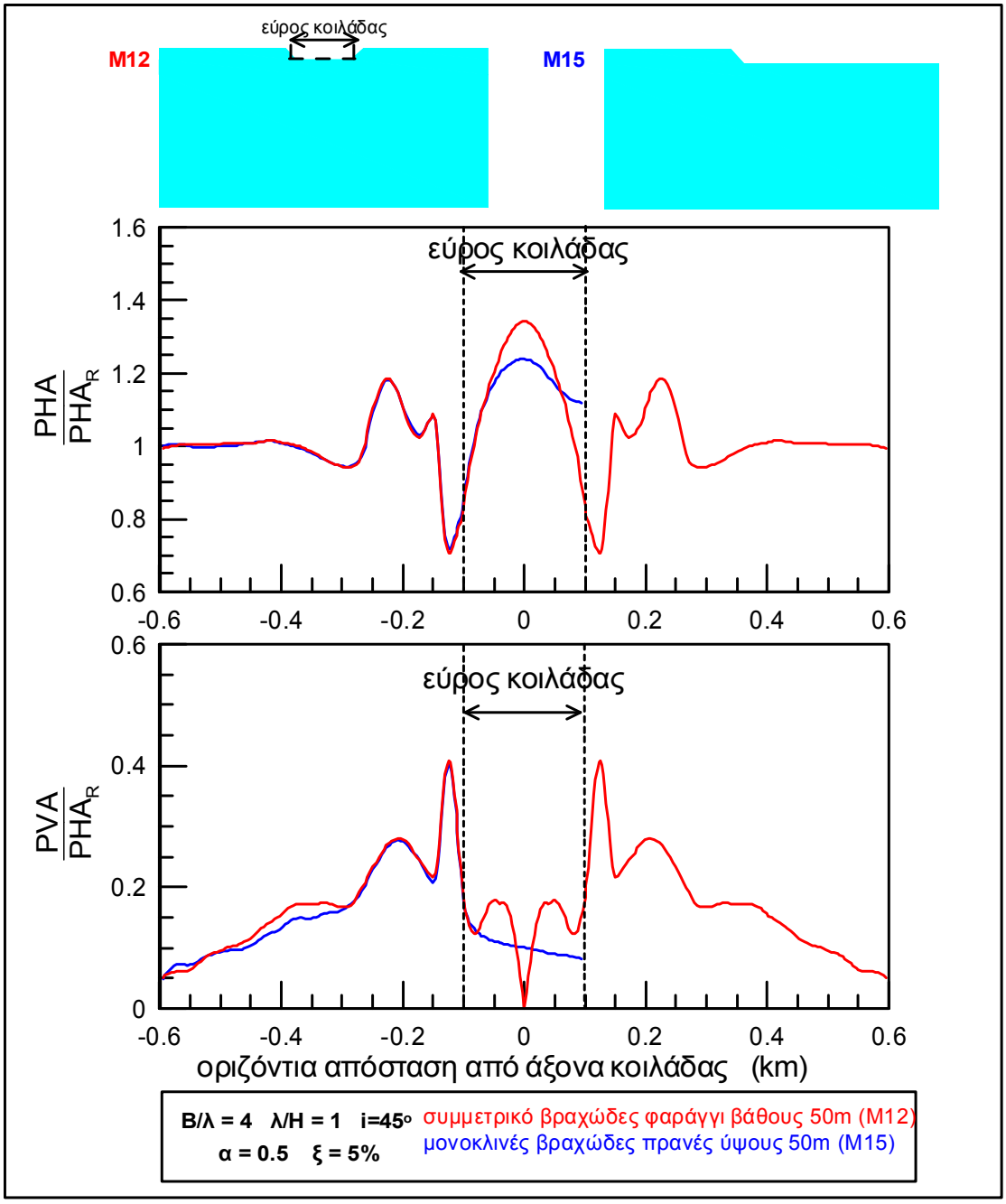
Τέλος, ολοκληρώνοντας τη μελέτη της επίδρασης εδαφικών λεκανών στη σεισμική απόκριση τοπογραφικών ανωμαλιών, στα Σχήματα 5.3 έως 5.5 παρουσιάζονται διαδοχικά κάθε μία από τις αναλύσεις για «κλειστές» συμμετρικές λεκάνες του Σχήματος 5.1 και συγκρίνονται με την ανάλυση για την εκάστοτε αντίστοιχη «μονοκλινή» λεκάνη (που συνοψίζονται στο Σχήμα 5.2). Σε κάθε περίπτωση προκύπτει ταύτιση των αποτελεσμάτων στην περιοχή του εκάστοτε κοινού πρανούς, συνεπώς οι ενισχύσεις στην περιοχή ενός υπερυψωμένου πρανούς δεν επηρεάζονται από το αν σε κάποια απόσταση υπάρχει ένα ίδιο υπερυψωμένο πρανές ή όχι, είτε υπάρχει είτε δεν υπάρχει εδαφική λεκάνη στη βάση του.

Συνολικά λοιπόν, προέκυψε ότι αν υπάρχει εδαφική λεκάνη στη βάση μιας τοπογραφικής ανωμαλίας, η σεισμική απόκριση της τελευταίας δεν επηρεάζεται ουσιωδώς. Προφανώς, το συμπέρασμα αυτό έχει εφαρμογή για το εύρος των περιπτώσεων που εξετάστηκαν, και δε μπορεί να θεωρηθεί ως πλήρους και γενικής εφαρμογής.

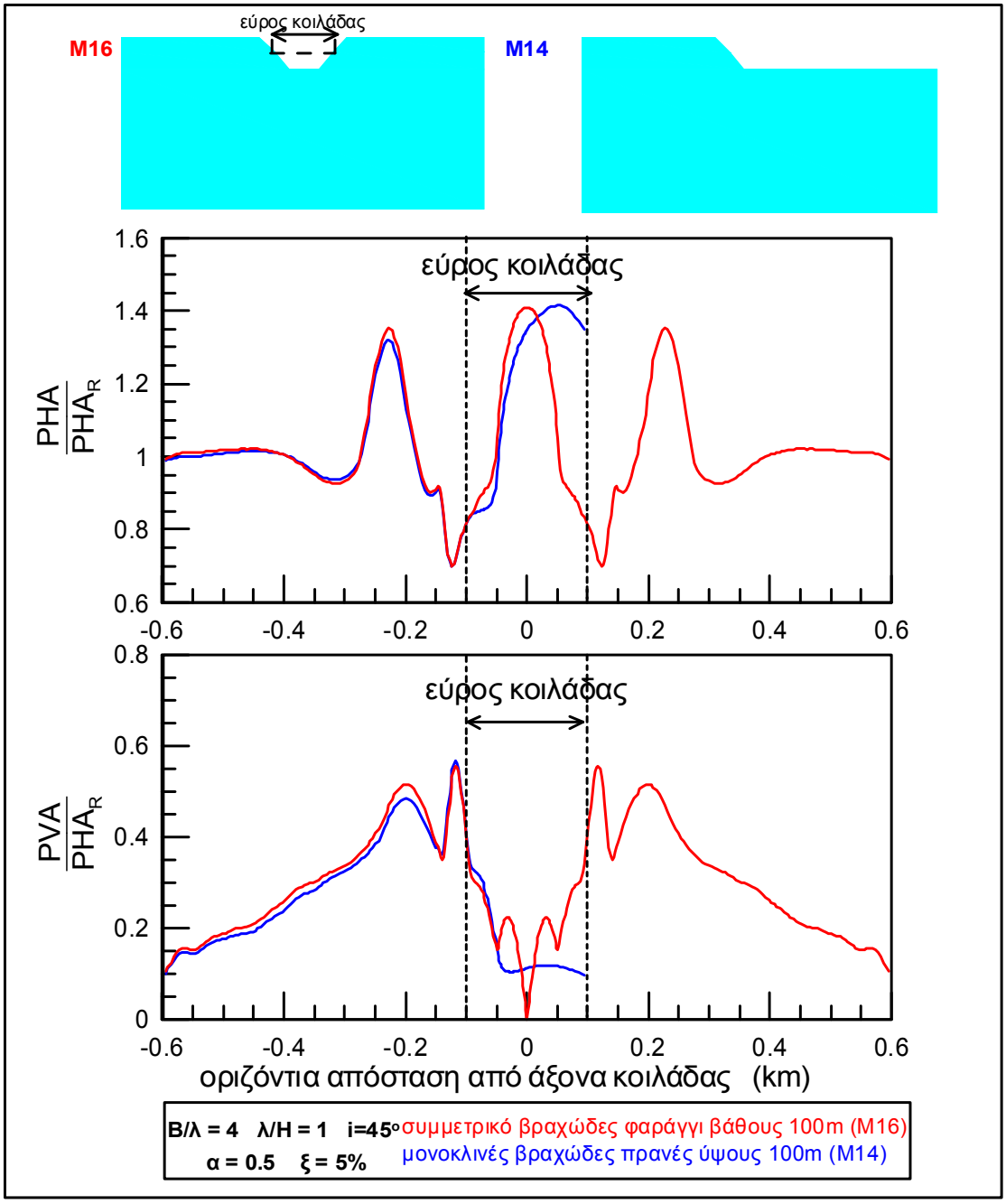
Στη συνέχεια, το ενδιαφέρον μας στρέφεται στο αντίστροφο πρόβλημα, δηλαδή στο αν επηρεάζεται η σεισμική απόκριση της εδαφικής λεκάνης από την ύπαρξη τοπογραφικής ανωμαλίας.



Σχήμα 5.3 : Σύγκριση κλειστής εδαφικής λεκάνης και μονοκλινούς λεκάνης με τοπογραφία



Σχήμα 5.4 : Σύγκριση κλειστού 2Δ σχηματισμού και μονοκλινούς σχηματισμού με ήπια τοπογραφία



Σχήμα 5.5 : Σύγκριση κλειστού 2Δ σχηματισμού και μονοκλινούς σχηματισμού με έντονη τοπογραφία

5.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΑΝΩΜΑΛΙΑΣ ΣΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΚΟΙΛΑΔΑΣ

5.3.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ «ΣΤΕΝΩΝ» ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ

Αρχικά, ερευνάται η σεισμική απόκριση σχετικά «στενών» εδαφικών λεκανών που έχουν ένα τουλάχιστον πρανές που ξεπερνά σε ύψος την επιφάνεια της εδαφικής λεκάνης. Έτσι, στο Σχήμα 5.6, μελετάται η επίδραση της τοπογραφίας σε μια «στενή» (και «κλειστή») εδαφική λεκάνη και συγκεκριμένα στη χωρική διαφοροποίηση των συντελεστών γεωμορφικής επιδείνωσης A_h και A_v. Για το σκοπό αυτό συγκρίνονται τα σχετικά αποτελέσματα των αναλύσεων M11, M10 του Πίνακα 5.1, με εκείνα της ανάλυσης 14 του Πίνακα 2.2. Με άλλα λόγια, όλες οι αναλύσεις του σχήματος 5.6 αφορούν την ίδια ακριβώς εδαφική λεκάνη, αλλά διαφέρουν ως προς τον αριθμό των υπερυψωμένων πρανών (14: κανένα υπερυψωμένο πρανές, M10: ένα υπερυψωμένο πρανές, M11: δύο υπερυψωμένα πρανή).

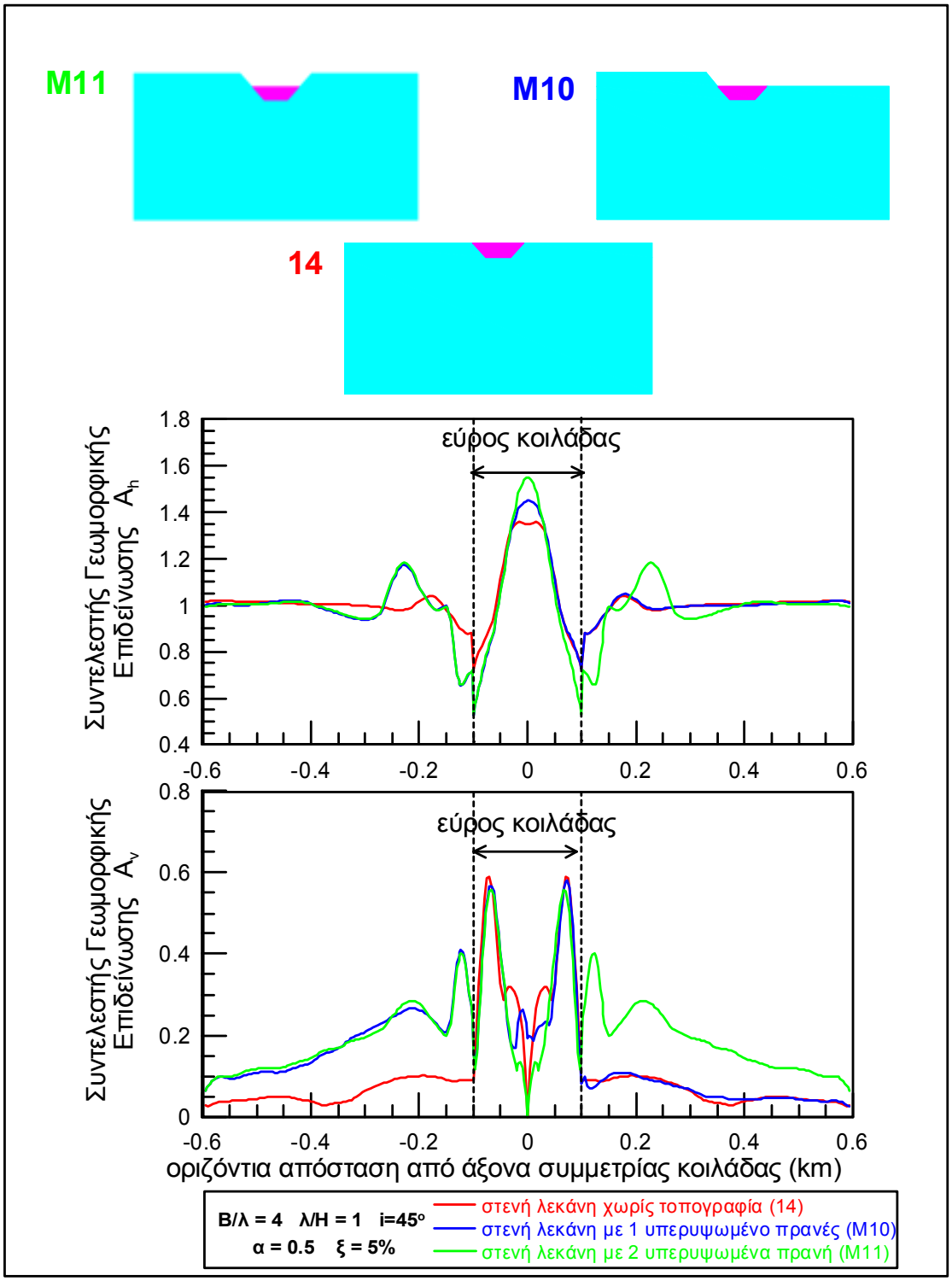
Σχετικά με το συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής ενίσχυσης A_h προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- Εστιάζοντας στην περιοχή της εδαφικής λεκάνης παρατηρείται πως η τοπογραφία δεν επηρεάζει ποιοτικά τη γεωμορφική επιδείνωση, καθώς και στις 3 αναλύσεις οι σημαντικές ενισχύσεις είναι συγκεντρωμένες στην περιοχή του κέντρου. Ποσοτικά όμως διακρίνονται διαφορές. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται αύξηση των οριζοντίων ενισχύσεων όταν υπάρχει ένα υπερυψωμένο πρανές, που γίνεται ακόμη μεγαλύτερη στην περίπτωση δύο τέτοιων πρανών. Συνεπώς, η τοπογραφία φαίνεται να επηρεάζει στη σεισμική απόκριση μιας «στενής», και μάλιστα όταν υπάρχει αλληλεπίδραση δύο αντικρινών υπερυψωμένων πρανών, η επίδραση είναι ακόμη πιο έντονη, και μάλιστα επαυξητικά ως προς τη γεωμορφική επιδείνωση. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πάντως, ότι στην ανάλυση με ένα υπερυψωμένο πρανές, η γεωμορφική επιδείνωση παραμένει χωρικά συμμετρική εντός της κοιλάδας, δεδομένης της συμμετρίας της ίδιας της κοιλάδας.
- Επικεντρώνοντας στην περιοχή εκτός της εδαφικής λεκάνης (δηλαδή στο αναδυόμενο υπόβαθρο) παρατηρείται αύξηση των ενισχύσεων όπου υπάρχει υπερυψωμένο πρανές, ανεξάρτητα με το τι συμβαίνει στην άλλη πλευρά της κοιλάδας. Με άλλα λόγια, οι τιμές του συντελεστή A_h της ανάλυσης που έχει μόνο ένα υπερυψωμένο πρανές, συμπίπτουν στην περιοχή που υπάρχει τοπογραφία με αυτές της ανάλυσης που έχει 2 υπερυψωμένα πρανή, ενώ στην περιοχή του χαμηλότερου πρανούς οι τιμές του A_h συμπίπτουν με την αντίστοιχη περιοχή της

ανάλυσης που έχει μόνο εδαφική λεκάνη χωρίς τοπογραφία. Συνεπώς, η ταυτόχρονη παρουσία – δράση 2 υπερυψωμένων πρανών επηρεάζει την απόκριση των σημείων της επιφάνειας μιας στενής εδαφικής λεκάνης, αλλά δεν επηρεάζει τη συμπεριφορά εκτός των ορίων της λεκάνης, συμβατά με όσα ειπώθηκαν και στην παράγραφο 5.2

Σε ότι αφορά το συντελεστή γεωμορφικής επιδείνωσης A_v, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Εστιάζοντας στην περιοχή της εδαφικής λεκάνης παρατηρείται πως η τοπογραφία δεν επηρεάζει ποιοτικά τη γεωμορφική επιδείνωση, καθώς και στις 3 αναλύσεις οι σημαντικές κατακόρυφες ενισχύσεις εμφανίζονται στην περιοχή των άκρων. Εξαίρεση αποτελεί το γεγονός ότι για τη λεκάνη που έχει ένα μόνο υπερυψωμένο πρανές, η γεωμορφική επιδείνωσή της είναι χωρικώς μη-συμμετρική τόσο εντός του εύρους της λεκάνης όσο και εκτός αυτού, σε αντίθεση με τις οριζόντιες γεωμορφικές ενισχύσεις στις οποίες η απόκριση ήταν μη-συμμετρική μόνο εκτός της λεκάνης. Έτσι στη συγκεκριμένη ανάλυση παύει ο μηδενισμός του A_v στο κέντρο της κοιλάδας, κάτι που ήταν αποτέλεσμα της απόλυτης συμμετρίας του καννάβου και της διέγερσης. Επιπλέον, ποσοτικά προκύπτει πως η μορφή της τοπογραφικής ανωμαλίας εκατέρωθεν της κοιλάδας δεν επηρεάζει ιδιαίτερα τις μέγιστες (τουλάχιστον) κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις των σημείων που βρίσκονται εντός της εδαφικής λεκάνης.
- Σε ότι αφορά την περιοχή εκτός της λεκάνης (στο αναδυόμενο υπόβαθρο), η ύπαρξη ενός τουλάχιστον υπερυψωμένου πρανούς επιδρά αυξητικά στις τιμές του συντελεστή παρασιτικών κατακόρυφων γεωμορφικών ενισχύσεων, καθώς εμφανίζονται καθολικά και σημαντικά μεγαλύτερες ενισχύσεις στο υψηλό πρανές συγκριτικά με το χαμηλό πρανές. Επιπλέον, όπως και για την A_h, παρατηρείται αύξηση των ενισχύσεων όπου υπάρχει υπερυψωμένο πρανές, ανεξάρτητα με το τι συμβαίνει στην άλλη πλευρά της κοιλάδας. Με άλλα λόγια, οι τιμές του συντελεστή A_v της ανάλυσης που έχει μόνο ένα υπερυψωμένο πρανές, συμπίπτουν στην περιοχή που υπάρχει τοπογραφία με αυτές της ανάλυσης που έχει 2 υπερυψωμένα πρανή, ενώ στην περιοχή του χαμηλότερου πρανούς οι τιμές του A_v συμπίπτουν με την αντίστοιχη περιοχή της ανάλυσης που έχει μόνο εδαφική λεκάνη χωρίς τοπογραφία.



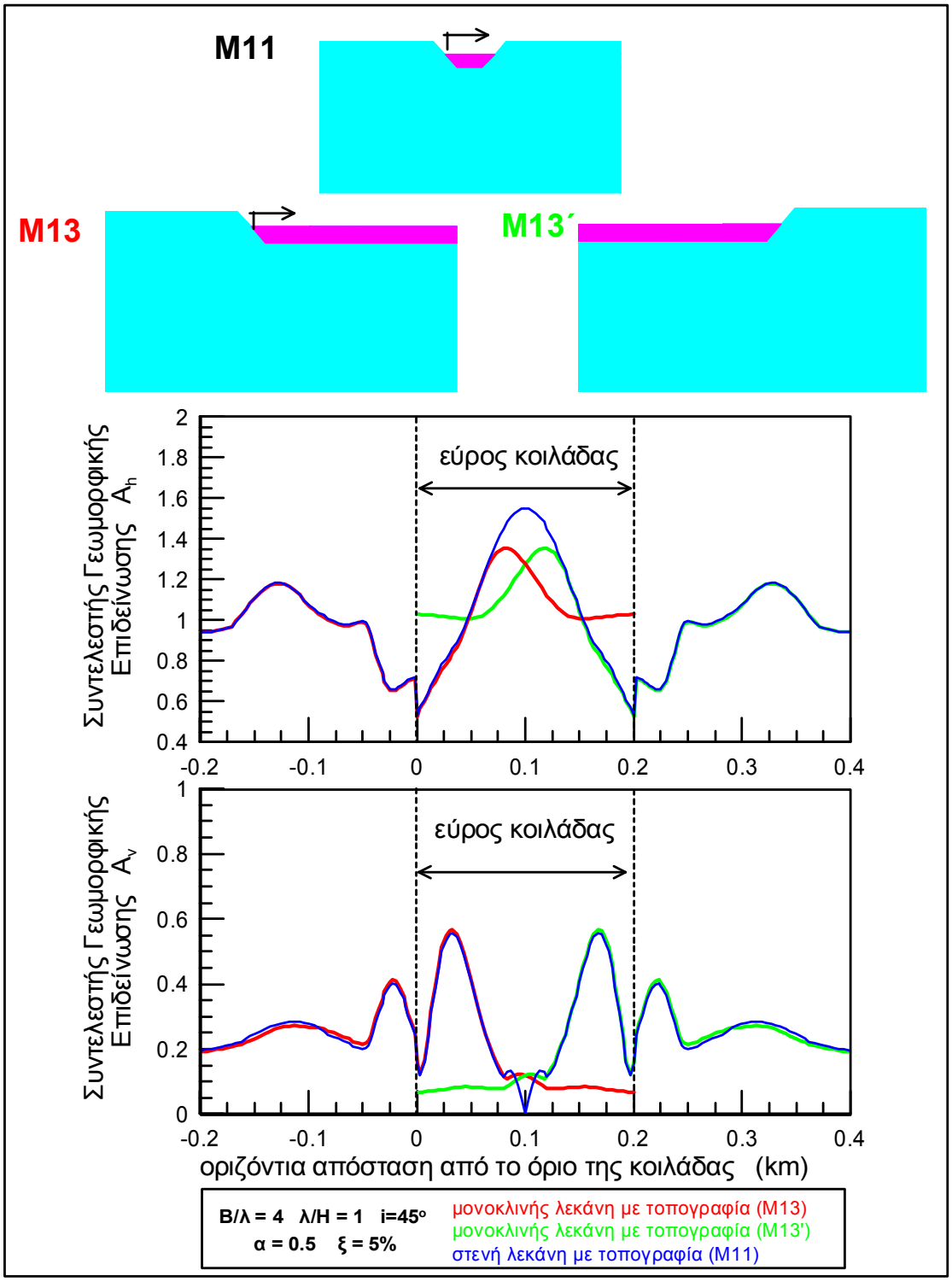
Σχήμα 5.6 : Επίδραση των υπερυψωμένων πρανών (0, 1, 2) στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις «στενών» εδαφικών λεκανών (14, M10, M11) ως συνάρτηση της απόστασης x από τον άξονα συμμετρίας της κοιλάδας

Στη συνέχεια, στο σχήμα 5.7 συγκρίνεται σε όρους χωρικής διαφοροποίησης των συντελεστών A_h και A_v η απόκριση της «στενής» εδαφικής λεκάνης με τα 2 υπερυψωμένα πρανή (M11) με την αντίστοιχη μονοκλινή λεκάνη, δηλαδή τη λεκάνη που έχει μόνο ένα πρανές κλίσης i=45° το οποίο εξέχει κατά 50m από την εδαφική λεκάνη. Στο ίδιο σχήμα απεικονίζονται επιπλέον και οι τιμές των συντελεστών A_h και A_v για την ίδια «μονοκλινή» κοιλάδα, αν χωρικά ήταν τοποθετημένη στην άλλη πλευρά της «στενής» εδαφικής κοιλάδας, χάριν σύγκρισης. Ο στόχος της σύγκρισης είναι να διαφανεί ότι η απόκριση της «κλειστής» κοιλάδας ομοιάζει με την απόκριση 2 αντικρινών «μονοκλινών» που προσεγγίζουν, και πιθανώς αλληλεπιδρούν, ανάλογα με το εύρος B. Σε αυτή την περίπτωση η απόσταση από το αριστερό όριο της εδαφικής λεκάνης της μίας μονοκλινούς ανάλυσης έως το όριο της αντικατοπτρικής ανάλυσης είναι 200m όσο δηλαδή και το πλάτος της κλειστής λεκάνης της ανάλυσης M11 (B=200m). Επισημαίνεται πως στον οριζόντιο άξονα η απόσταση μετριέται από το όριο της εδαφικής λεκάνης (άξονας x΄ κι όχι από τον άξονα συμμετρίας της λεκάνης x όπως στις περισσότερες αναλύσεις μέχρι τώρα), καθώς δεν έχει νόημα η έννοια του άξονα συμμετρίας σε «μονοκλινείς» κοιλάδες.

Σχετικά με το συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής ενίσχυσης A_h προκύπτει ποιοτική ομοιότητα της χωρικής διαφοροποίησης. Πιο συγκεκριμένα, είναι εμφανής η ταύτιση των αποτελεσμάτων γεωμορφικής επιδείνωσης για την «κλειστή» συμμετρική λεκάνη με τα αντίστοιχα τμήματα των «μονοκλινών» λεκανών στις περιοχές των άκρων της λεκάνης και η σταδιακή απόκλιση τους στην περιοχή του κέντρου. Η ταύτιση των αποτελεσμάτων εξακολουθεί και πέρα από τα όρια της λεκάνης στα πρανή εκατέρωθεν. Ποσοτικά προκύπτει ότι στην περιοχή του κέντρου, η αλληλεπίδραση των 2 πρανών λειτουργεί επαυξητικά και οδηγεί σε μέγιστη επιδείνωση στο κέντρο της κοιλάδας. Συνεπώς, σε μια περίπτωση «στενής» συμμετρικής λεκάνης η μικρή απόσταση μεταξύ των πρανών συντελεί στην αλληλεπίδρασή τους και κατ' επέκταση στην αύξηση των τιμών του συντελεστή A_h στην περιοχή του κέντρου της λεκάνης. Βέβαια να επισημανθεί πως αυτή η αλληλεπίδραση αφορά μόνο την περιοχή του κέντρου της λεκάνης κι όχι την περιοχή εκτός των ορίων της.

Σε ότι αφορά το συντελεστή γεωμορφικής επιδείνωσης A_v, προκύπτει ακόμη μικρότερη διαφοροποίηση μεταξύ των αποτελεσμάτων των 3 αναλύσεων. Με άλλα λόγια, η απόκριση της «κλειστής» συμμετρικής λεκάνης με τα 2 υπερυψωμένα πρανή ταυτίζεται πλήρως με τις αντίστοιχες αποκρίσεις των «μονοκλινών» λεκανών τόσο εντός της λεκάνης όσο και εκτός των ορίων της. Συνεπώς, δεν υπάρχει αλληλεπίδραση του ενός πρανούς με το άλλο στις κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις των «στενών» εδαφικών λεκανών με τα υπερυψωμένα πρανή, πέραν της

αλληλεξουδετέρωσης της κατακόρυφης συνιστώσας της ταλάντωσης στην πολύ στενή γειτονία του κέντρου της κοιλάδας.

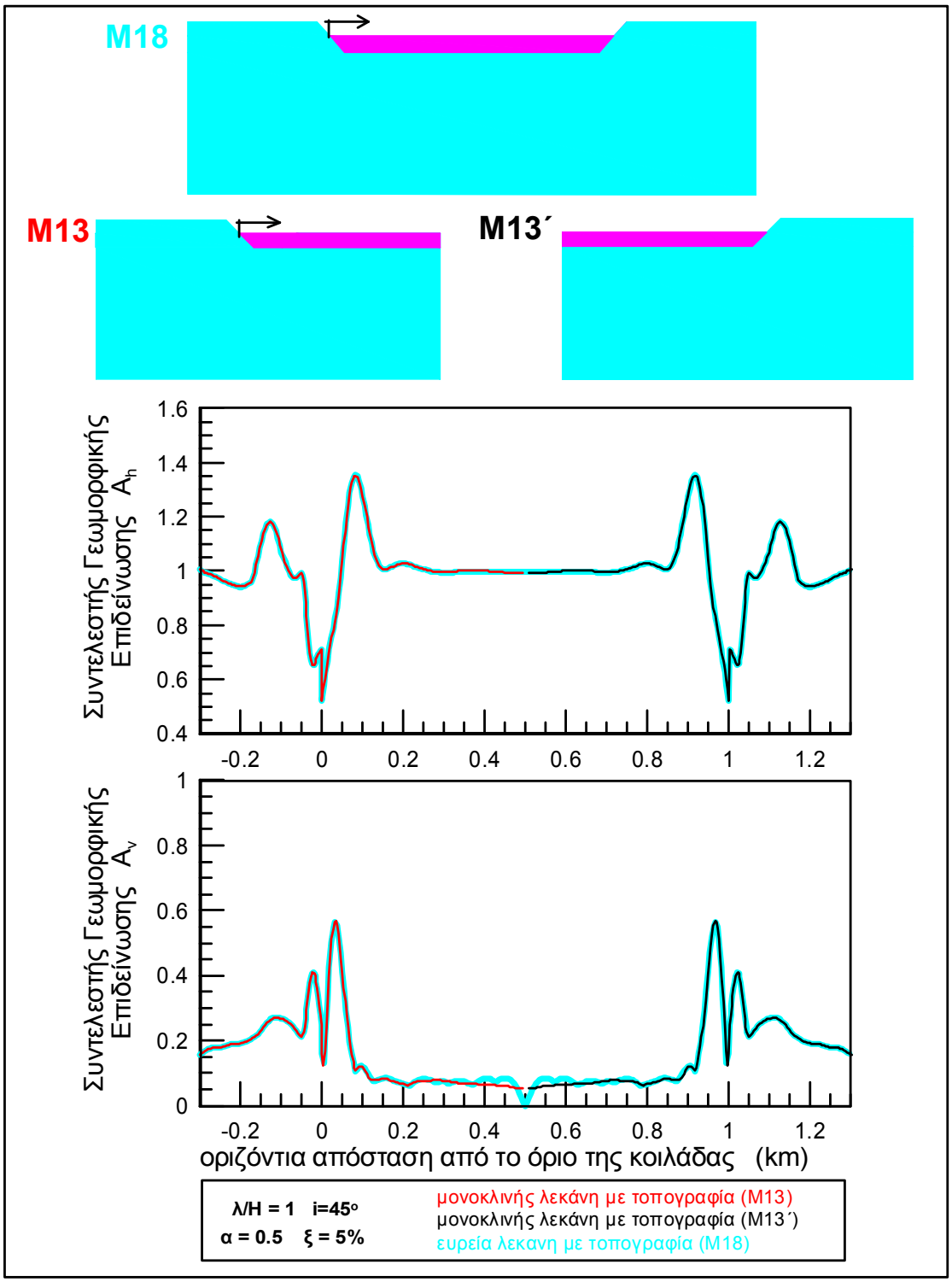


Σχήμα 5.7 : Σύγκριση της επίδρασης των υπερυψωμένων πρανών στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις «στενής» εδαφικής λεκάνης (M11) και μονοκλινών εδαφικών λεκανών (M13, M13΄) ως συνάρτηση της απόστασης x΄ από το όριο της κοιλάδας

5.3.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ «ΕΥΡΕΙΩΝ» ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ

Έχοντας ολοκληρώσει τη μελέτη σεισμικής απόκρισης «στενών» εδαφικών λεκανών με ένα τουλάχιστον υπερυψωμένο πρανές, η παράγραφος αυτή διερευνά αν τα προαναφερθέντα συμπεράσματα ισχύουν και για «ευρείες» λεκάνες. Πιο συγκεκριμένα, και αντίστοιχα με το Σχήμα 5.7, στο Σχήμα 5.8 συγκρίνεται σε όρους χωρικής διαφοροποίησης των συντελεστών A_h και A_v η απόκριση της «ευρείας» εδαφικής λεκάνης με τα 2 υπερυψωμένα πρανή (M18) με την αντίστοιχη μονοκλινή λεκάνη, δηλαδή τη λεκάνη που έχει μόνο ένα πρανές κλίσης i=45° το οποίο εξέχει κατά 50m από την εδαφική λεκάνη (ανάλυση 13 που χρησιμοποιήθηκε και στο Σχήμα 5.7). Στο ίδιο σχήμα απεικονίζονται επιπλέον και οι τιμές των συντελεστών A_h και A_v για την ίδια «μονοκλινή» κοιλάδα, αν χωρικά ήταν τοποθετημένη στην άλλη πλευρά της «στενής» εδαφικής κοιλάδας, χάριν σύγκρισης (ανάλυση 13΄). Η διαφορά με το Σχήμα 5.7 είναι ότι η απόσταση μεταξύ των μονοκλινών είναι μεγαλύτερη (η απόσταση από το αριστερό όριο της εδαφικής λεκάνης της μιας «μονοκλινούς» με το όριο της εδαφικής λεκάνης της αντικατοπτρικής της είναι 1000m, όσο δηλαδή και το πλάτος της εδαφικής λεκάνης που μελετάται εδώ).

Σχετικά με το συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής ενίσχυσης A_h προκύπτει μηδενική αλληλεπίδραση των πρανών, δηλαδή τέλεια ταύτιση των γεωμορφικών επιδεινώσεων στην «ευρεία» λεκάνη, με εκείνες των αντιστοίχων «μονοκλινών». Η ταύτιση είναι αντίστοιχη και για το συντελεστή γεωμορφικής επιδείνωσης A_v, με εξαίρεση την αλληλεξουδετέρωση της κατακόρυφης συνιστώσας της ταλάντωσης στην πολύ στενή γειτονία του κέντρου της κοιλάδας.



Σχήμα 5.8 : Σύγκριση της επίδρασης των υπερυψωμένων πρανών στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις «ευρείας» εδαφικής λεκάνης (M18) και μονοκλινών εδαφικών λεκανών (M13, M13΄) ως συνάρτηση της απόστασης x΄ από το όριο της κοιλάδας

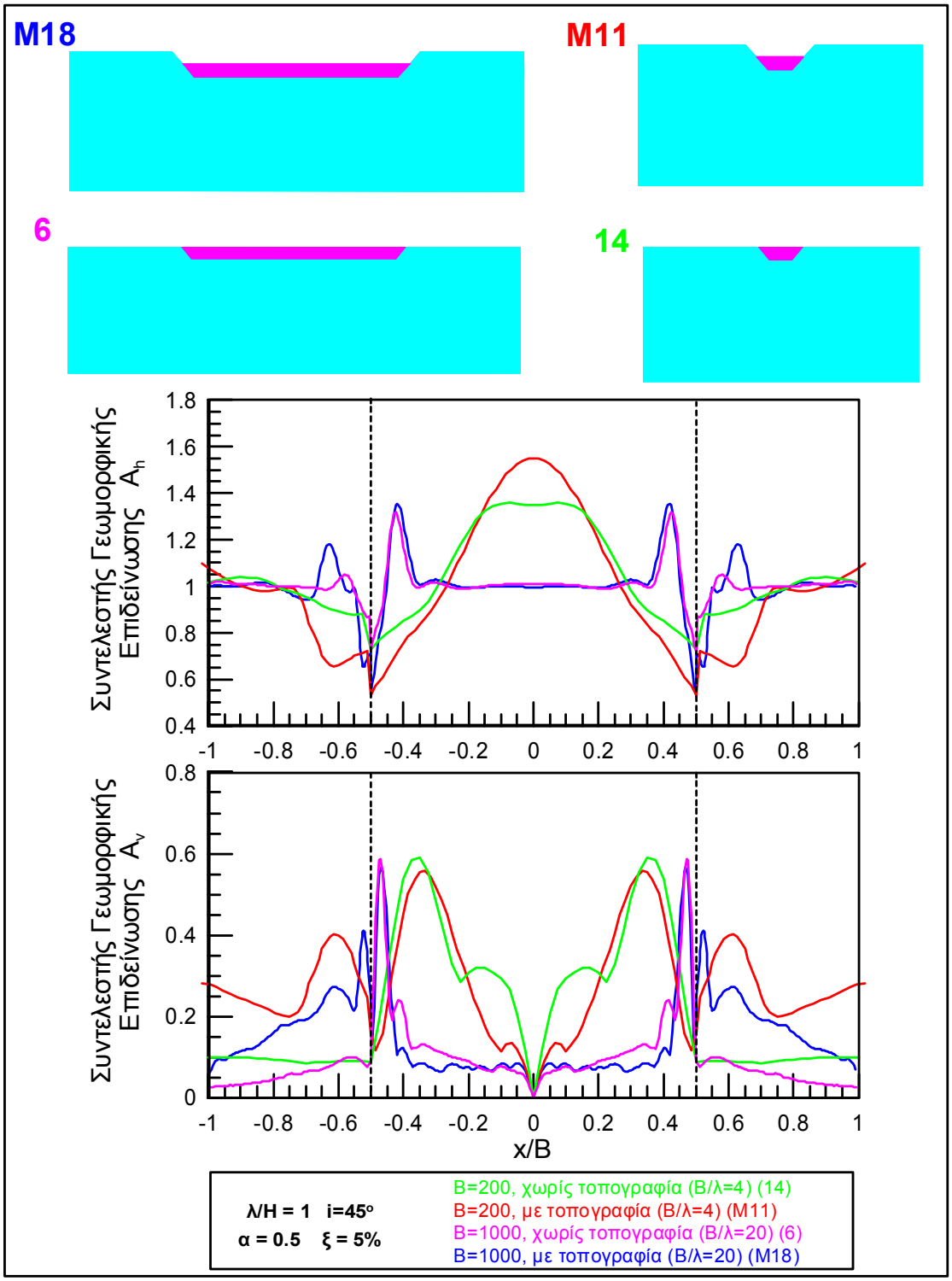
5.3.3 Η ΣΧΕΤΙΚΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΤΗΣ ΚΟΙΛΑΔΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΥΠΑΡΞΗΣ ΥΠΕΡΥΨΩΜΕΝΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ «ΚΛΕΙΣΤΩΝ» ΚΟΙΛΑΔΩΝ

Στο Σχήμα 5.9 συγκρίνονται ταυτόχρονα οι συντελεστές γεωμορφικής ενίσχυσης A_h και A_v μιας «στενής» και μιας «ευρείας» εδαφικής λεκάνης με και χωρίς υπερυψωμένα πρανή με την οριζόντια απόσταση x (από το κέντρο της κοιλάδας) να είναι αδιαστατοποιημένη ως προς το πλάτος B της εκάστοτε κοιλάδας. Για να είναι δυνατή η σύγκριση, και οι 4 αυτές αναλύσεις έχουν κοινές τιμές βασικών παραμέτρων λ/H=1, α=0.5, i=45° και ξ=5% και διαφέρουν ως προς την παράμετρο B/λ, με τις «ευρείες» λεκάνες (#6, #M18) να έχουν B/λ=20, και τις «στενές» λεκάνες (#14, M11) να έχουν B/λ=4.

Σχετικά με το συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής ενίσχυσης A_h προκύπτει ότι στις «ευρείες» εδαφικές λεκάνες, η ύπαρξη υπερυψωμένων πρανών δεν επηρεάζει ποιοτικά τη γεωμορφική επιδείνωση εντός αυτής. Ποσοτικά, όταν υπάρχουν υπερυψωμένα πρανή, προκύπτει μόνο μια μικρή υπεροχή των μέγιστων τιμών του συντελεστή A_h και μια μικρή μετάθεση της θέσης εμφάνισής τους προς το κέντρο της κοιλάδας. Αντίστοιχα, στις «στενές» εδαφικές λεκάνες (όπως φάνηκε και σε προηγούμενες παραγράφους), η ύπαρξη υπερυψωμένων πρανών και πάλι δεν επηρεάζει ποιοτικά τη γεωμορφική επιδείνωση, αλλά προκύπτει σημαντική αύξηση των γεωμορφικών επιδεινώσεων στο κέντρο της κοιλάδας, και ελαφρά μείωσή τους όταν προσεγγίζονται τα άκρα αυτής.

Σε ότι αφορά το συντελεστή γεωμορφικής επιδείνωσης A_v, προκύπτουν ότι οι τιμές του συντελεστή A_v των αναλύσεων χωρίς τοπογραφία υπερβαίνουν αυτές των αναλύσεων με τοπογραφία, τόσο σε «ευρείες» όσο και σε «στενές» λεκάνες, σε αντίθεση με ότι συνέβαινε στο συντελεστή A_h. Επίσης η θέση εμφάνισης των μεγίστων απομακρύνεται ελαφρώς από τα άκρα των κοιλάδων, αν υπάρχουν υπερυψωμένα πρανή, ειδικά στις «στενές» κοιλάδες.

Συνεπώς, η ύπαρξη υπερυψωμένων πρανών επηρεάζει τόσο τις «ευρείες» όσο και τις «στενές» εδαφικές λεκάνες με τον ίδιο τρόπο, δηλαδή υπάρχει η τάση η τοπογραφία αναγλύφου να οδηγεί στην αύξηση των μέγιστων οριζόντιων ενισχύσεων A_h και την εμφάνιση αυτών προς το μέσο της λεκάνης. Αντίστοιχα, η επίδραση της ύπαρξης υπερυψωμένων πρανών στο συντελεστή A_v είναι μικρότερη και μειωτική, και οδηγεί στη ελαφρά μετάθεση της θέσης εμφάνισης αυτού πιο κοντά στο κέντρο της κοιλάδας. Σε κάθε περίπτωση, οι επιδράσεις αυτές είναι πιο έντονες στις «στενές» κοιλάδες, όπου και η αλληλεπίδραση των 2 πρανών είναι εντονώτερη.



Σχήμα 5.9 : Σύγκριση οριζόντιων και κατακόρυφων γεωμορφικών ενισχύσεων ευρειών και στενών εδαφικών λεκανών με και χωρίς τοπογραφία, ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος B αυτής

5.3.4 Η ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ ΣΤΗΝ ΑΚΡΗ ΜΙΑΣ ΚΟΙΛΑΔΑΣ, ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΤΗΣ

Τέλος, στο Σχήμα 5.10 εστιάζεται η προσοχή στη χωρική μεταβολή της γεωμορφικής επιδείνωσης (σε όρους A_h και A_v) στην άκρη μιας κοιλάδας, κάνοντας τη σύγκριση των παρακάτω περιπτώσεων:

- δύο «μονοκλινών» λεκανών, μία με υπερυψωμένα πρανή και μία χωρίς,
- μίας «ευρείας» λεκάνης με 2 υψηλά πρανή,
- μίας «στενής» εδαφικής λεκάνης με ένα υψηλό πρανές, και
- μίας «στενής» εδαφικής λεκάνης με 2 υψηλά πρανή.

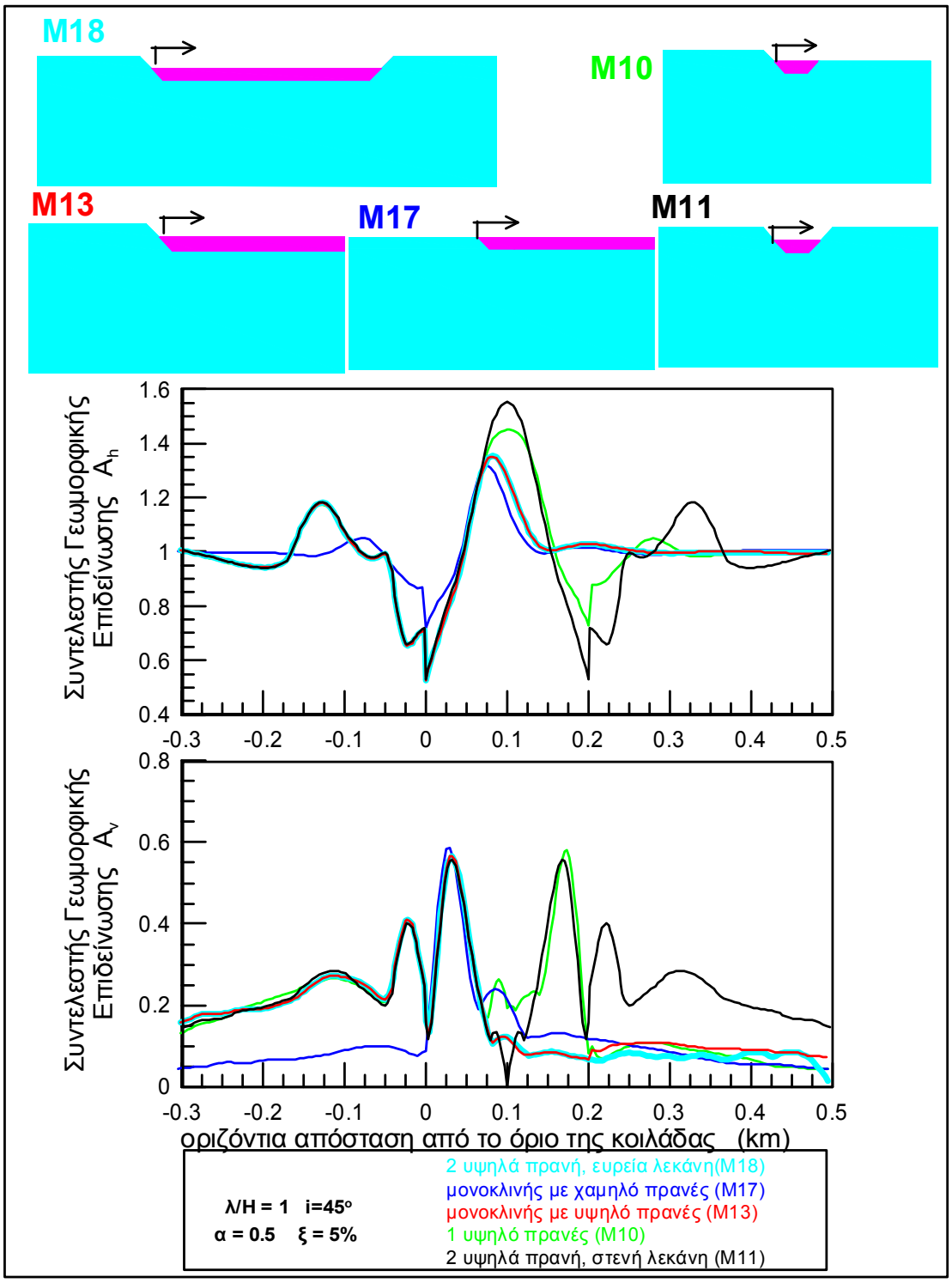
Στο συγκεκριμένο σχήμα η μόνη καινούρια ανάλυση είναι αυτή της «μονοκλινούς» λεκάνης χωρίς τοπογραφία με τιμές βασικών παραμέτρων $\lambda/H=1$, $B/\lambda=\infty$, $\alpha=0.5$, $i=45°$ και $\xi=5\%$, χάριν σύγκρισης με τις υπόλοιπες αναλύσεις.

Σχετικά με το συντελεστή A_h προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- Αν η λεκάνη είναι «μονοκλινής», τότε η ύπαρξη υπερυψωμένου πρανούς αυξάνει λίγο τις τιμές του συντελεστή A_h και η μέγιστη τιμή του εμφανίζεται σε μεγαλύτερη απόσταση από τα ακραία όρια της εδαφικής λεκάνης (όπως συμβαίνει και στις «ευρείες» λεκάνες, βλ. προηγούμενη παράγραφο). Επιπλέον, ακόμη και αν έχουμε υψηλά πρανή, προκύπτει πλήρης ταύτιση των γεωμορφικών ενισχύσεων της «ευρείας» λεκάνης με την αντίστοιχη περιοχή της «μονοκλινούς» ανάλυσης. Με άλλα λόγια δεν παρατηρείται καμία διαφοροποίηση στις οριζόντιες γεωμορφικές ενισχύσεις είτε έχουμε μόνο ένα υψηλό πρανές, είτε δύο που απέχουν αρκετά μεταξύ τους.
- Σημαντική διαφοροποίηση στις τιμές του συντελεστή A_h στα σημεία που βρίσκονται εντός της λεκάνης προκύπτει μόνο όταν η λεκάνη είναι «στενή». Συγκεκριμένα, η ύπαρξη ενός υπερυψωμένου πρανούς αυξάνει τις οριζόντιες ενισχύσεις εντός της λεκάνης και την εμφάνιση αυτών σε μεγαλύτερη απόσταση από τα άκρα, συγκριτικά με τη «μονοκλινή» (ή/και την «ευρεία») λεκάνη με ίδιου ύψους υπερυψωμένα πρανή. Ακόμη μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται στην περίπτωση της «στενής» εδαφικής λεκάνης με δύο υπερυψωμένα πρανή.
- Εστιάζοντας στην περιοχή του πρανούς που βρίσκεται εκτός της εδαφικής λεκάνης, παρατηρείται η διαφοροποίηση του συντελεστή A_h (τοπικά υψηλότερες τιμές και τοπικά χαμηλότερες τιμές) όταν υπάρχει υψηλό πρανές συγκριτικά με την περίπτωση που ο αναδυόμενος βράχος δεν ξεπερνά την επιφάνεια της εδαφικής λεκάνης. Παρ' όλα αυτά, μία ενδιαφέρουσα παρατήρηση είναι η ταύτιση των αποτελεσμάτων στην περιοχή εκτός των ορίων της λεκάνης όλων των περιπτώσεων που έχουν ένα τουλάχιστον υψηλό πρανές, ανεξαρτήτως από το αν η λεκάνη είναι απείρου μήκους («μονοκλινής»), «ευρεία», ή «στενή».

Σε ότι αφορά στο συντελεστή A_v, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Οι διαφοροποιήσεις στις κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις A_v είναι συγκριτικά αρκετά μικρότερες από εκείνες των οριζόντιων γεωμορφικών ενισχύσεων A_h εντός της λεκάνης, με μια ανεπαίσθητη υπεροχή στις μέγιστες τιμές όταν δεν υπάρχουν υπερυψωμένα πρανή (βλ. προηγούμενη παράγραφο).
- Αντίθετα, εκτός της λεκάνης είναι εμφανής η υπεροχή των τιμών του συντελεστή A_v σε όλες τις αναλύσεις που έχουν υπερυψωμένα πρανή. Επιπλέον, παρατηρείται και πάλι η πλήρης ταύτιση των αποκρίσεων στις περιπτώσεις που έχουν ένα τουλάχιστον υψηλό πρανές, ανεξαρτήτως από το αν η λεκάνη είναι απείρου μήκους («μονοκλινής»), «ευρεία», ή «στενή».



Σχήμα 5.10 : Σύγκριση οριζόντιων και κατακόρυφων γεωμορφικών ενισχύσεων ευρείας λεκάνης με 2 υπερυψωμένα πρανή, στενής εδαφικής λεκάνης με 1 και 2 υπερυψωμένα πρανή και μονοκλινών εδαφικών λεκανών με και χωρίς τοπογραφία, ως συνάρτηση της απόστασης x από το όριο της κοιλάδας

5.4 ΣΥΝΟΨΗ

Συνοπτικά, σχετικώς με την αλληλεπίδραση συμπεράσματα για την τοπογραφία αναγλύφου και μορφολογίας υποβάθρου στη σεισμική απόκριση προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η εδαφική λεκάνη δεν επηρεάζει τη σεισμική απόκριση στα αναδυόμενα πρανή υποβάθρου. Με άλλα λόγια, οι τιμές των οριζόντιων και κατακόρυφων ενισχύσεων της σεισμικής κίνησης, στην περιοχή εκτός των ορίων μιας εδαφικής λεκάνης που έχει υπερυψωμένα πρανή, εξαρτώνται μόνο από το πόσο έντονη είναι η τοπογραφία του αναγλύφου (δηλαδή πόσο είναι το ύψος του πρανούς που εξέχει από την επιφάνεια, ή και πιθανώς την κλίση του), κι όχι από το αν το υλικό στη βάση του πρανούς είναι βραχώδες ή εδαφικό.
- Αντιθέτως, η ύπαρξη υπερυψωμένων πρανών επηρεάζει τη γεωμορφική επιδείνωση εντός της κοιλάδας, και ειδικότερα οδηγεί:
  - Στην αύξηση των σημαντικών τιμών του συντελεστή A_h και την εμφάνιση των μεγίστων τιμών αυτού σε μεγαλύτερη απόσταση από τα όρια της λεκάνης. Η επίδραση αυτή είναι μικρή σε περιπτώσεις «μονοκλινών» ή «ευρείων» κοιλάδων, αλλά σημαντική σε περιπτώσεις «στενών» κοιλάδων όπου οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται στο κέντρο τους. Στις «στενές» κοιλάδες ειδικότερα, η ύπαρξη και ενός μόνο υπερυψωμένου πρανούς οδηγεί σε προσαύξηση των μεγίστων τιμών, ενώ η ταυτόχρονη ύπαρξη και δεύτερου πρανούς οδηγεί σε περαιτέρω προσαύξηση λόγω αλληλεπίδρασης
  - Στην πολύ μικρή μείωση των σημαντικών τιμών του συντελεστή A_v (πρακτικά αμελητέα) και την εμφάνιση των μεγίστων τιμών αυτού σε μεγαλύτερη απόσταση από τα όρια της λεκάνης, κυρίως σε «στενές» κοιλάδες και λιγότερο στις «ευρείες» ή «μονοκλινείς» κοιλάδες.

Τέλος, επισημαίνεται ότι στα Κεφάλαια 4 και 5 μελετήθηκαν δύο εκφάνσεις έλλειψης συμμετρίας στη γεωμορφολογία, είτε αυτή αφορά το θαμμένο υπόβαθρο (διαφορετικής κλίσης πρανή υποβάθρου κάτω από την επιφάνεια στο Κεφ. 4), είτε αυτή αφορά το αναδυόμενο υπόβαθρο (διαφορετικού ύψους πρανή αναγλύφου στο Κεφ. 5). Προκύπτει ότι και για τις δύο αυτές εκφάνσεις μη-συμμετρίας ισχύει ότι η σεισμική απόκριση της μη-συμμετρικής γεωμορφολογίας εκτός της εδαφικής λεκάνης, ταυτίζεται με εκείνη που προκύπτει από θεώρηση «μονοκλινούς» γεωμορφολογίας. Η ταύτιση αυτή στις οριζόντιες ενισχύσεις A_h εξακολουθεί σε όλο το μήκος της κλειστής λεκάνης αν αυτή είναι «ευρεία», ενώ περιορίζεται στα ακραία όρια της λεκάνης αν αυτή είναι «στενή». Αντίθετα, σε ότι αφορά στις παρασιτικές κατακόρυφες ενισχύσεις A_v παρατηρείται ταύτιση της σεισμικής απόκρισης, τόσο εντός όσο και εκτός των ορίων της λεκάνης, ανεξαρτήτως εύρους αυτής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΣΕ ΚΟΙΛΑΔΕΣ ΜΕ ΜΗ-ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΕΔΑΦΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σκοπός του συγκεκριμένου κεφαλαίου είναι η μελέτη της γεωμορφικής επιδείνωσης της σεισμικής κίνησης αν το έδαφος στην κοιλάδα προσομοιώνεται με μη γραμμικό και όχι με ιξωδο-ελαστικό προσομοίωμα. Πιο συγκεκριμένα, στις μη γραμμικές αναλύσεις που πραγματοποιούνται σε αυτό το κεφάλαιο, το έδαφος προσομοιώνεται με το μη γραμμικό καταστατικό νόμο Ramberg – Osgood όπως έχει αναφερθεί αναλυτικά στο κεφάλαιο 3, ενώ το βραχώδες υπόβαθρο θεωρείται ιξωδοελαστικό. Ως γνωστόν, στις μη γραμμικές αναλύσεις η ένταση της διέγερσης παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των γεωμορφικών ενισχύσεων, καθώς καθορίζουν το επίπεδο των διατμητικών παραμορφώσεων, άρα και το επίπεδο της απομειωμένης δυστμησίας και υστερητικής απόσβεσης της κάθε θέσης στην κοιλάδα. Αντίθετα, στις ιξωδο-ελαστικές αναλύσεις, η ένταση της διέγερσης δεν επηρεάζει τις γεωμορφικές ενισχύσεις A_h και A_v, αν δεν αλλάξει ρητά είτε η τιμή της δυστμησίας ή της υστερητικής απόσβεσης της ανάλυσης. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούνται 3 επίπεδα έντασης, και συγκεκριμένα ως μικρής έντασης διέγερση χαρακτηρίζεται αυτή που έχει μέγιστη εδαφική επιτάχυνση στον αναδυόμενο βράχο 0.02g, μεσαίας έντασης αυτή με μέγιστη εδαφική επιτάχυνση 0.10g, ενώ μεγάλης έντασης αυτή που έχει μέγιστη εδαφική επιτάχυνση 0.25g. Στον Πίνακα 6.1 δίνονται τα στοιχεία όλων των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο αυτού του κεφαλαίου (κυρίως μη γραμμικές αναλύσεις αλλά και ορισμένες ιξωδοελαστικές αναλύσεις χάριν σύγκρισης και ερμηνείας των αποτελεσμάτων).

#	B(m)	H(m)	V_s(m/s)	T_e(s)	T_s(s)	λ(m)	i(^{o})	ξ(%)	B/λ	λ/H	α	input	PI(%)	PGA(g)
M21(NL)	200	50	500	0.1	0.4	50	45		4	1	0.5	Αίγιο	0	0.02
M22(NL)	200	50	500	0.1	0.4	50	45		4	1	0.5	Αίγιο	0	0.10
M23(NL)	200	50	500	0.1	0.4	50	45		4	1	0.5	Αίγιο	0	0.25
M24(vel)	200	50	500	0.1	0.4	50	45	2	4	1	0.5	Αίγιο	0	
M25(NL)	200	50	500	0.1	0.4	50	45		4	1	0.5	Κοζάνη	0	0.02
M26(NL)	200	50	500	0.1	0.4	50	45		4	1	0.5	Κοζάνη	0	0.10
M27(NL)	200	50	500	0.1	0.4	50	45		4	1	0.5	Κοζάνη	0	0.25
M28(vel)	200	50	500	0.4	0.4	200	45	5	1	4	0.5	Αίγιο	0	
M29(NL)	200	50	500	0.4	0.4	200	45		1	4	0.5	Αίγιο	0	0.02
M30(NL)	200	50	500	0.4	0.4	200	45		1	4	0.5	Αίγιο	0	0.10
M31(NL)	200	50	500	0.4	0.4	200	45		1	4	0.5	Αίγιο	0	0.25
M32(NL)	800	50	500	0.4	0.4	200	45		4	4	0.5	Αίγιο	0	0.02
M33(NL)	800	50	500	0.4	0.4	200	45		4	4	0.5	Αίγιο	0	0.10
M34(NL)	800	50	500	0.4	0.4	200	45		4	4	0.5	Αίγιο	0	0.25
M35(NL)	200	50	500	0.4	0.4	200	45		1	4	0.5	Αίγιο	50	0.02
M36(NL)	200	50	500	0.4	0.4	200	45		1	4	0.5	Αίγιο	50	0.10
M37(NL)	200	50	500	0.4	0.4	200	45		1	4	0.5	Αίγιο	50	0.25

Πίνακας 6.1 : Πίνακας τιμών των χαρακτηριστικών παραμέτρων των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν για τη μελέτη της επίδρασης της μη γραμμικότητας

Στις περισσότερες αναλύσεις αυτού του κεφαλαίου οι τιμές των βασικών παραμέτρων του προσομοιώματος Ramberg – Osgood αναφέρονται σε ένα μη συνεκτικό έδαφος (άμμος, χάλικες), δηλαδή έδαφος με δείκτη πλαστιμότητας PI=0% (γ1=0.00016, α1=0.64 από τον πίνακα 3.1), και το οποίο εμφανίζει την πλέον έντονη μη-γραμμική συμπεριφορά. Στο τέλος του κεφαλαίου μελετάται και μία περίπτωση στενής εδαφικής λεκάνης για συνεκτικό έδαφος (άργιλος) με δείκτη πλαστιμότητας PI=50% (γ1=0.0015 σύμφωνα με τον πίνακα 3.1), χάριν σύγκρισης, για τι αναμένεται στην περίπτωση που το έδαφος είναι μεν μη-γραμμικό, αλλά εμφανίζει λιγότερο έντονη μη-γραμμικότητα.

6.2 ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ ΚΟΙΛΑΔΑΣ ΜΕ ΕΝΤΟΝΑ ΜΗ-ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ

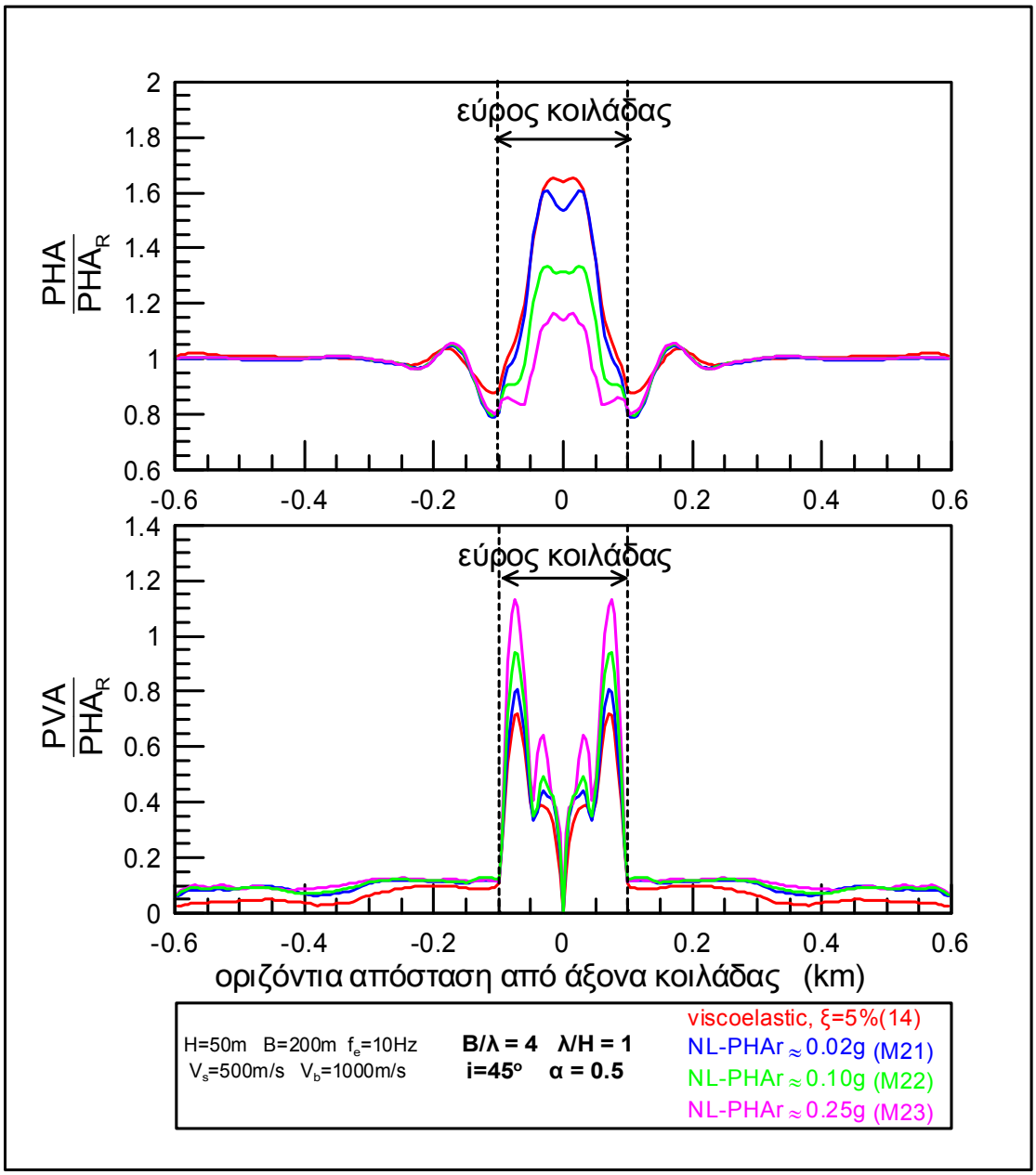
6.2.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΗ-ΓΡΑΜΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ «ΣΤΕΝΕΣ» ΚΟΙΛΑΔΕΣ

Αρχικά, μελετάται η επίδραση της μη γραμμικότητας στην απόκριση στενών εδαφικών λεκανών, και ειδικότερα η έμφαση δίνεται σε μια περίπτωση όπου η εδαφική στρώση είναι εξόχως εύκαμπτη, δηλαδή υπό 1Δ συνθήκες ταλάντωσης βρίσκεται πολύ μακριά από το συντονισμό. Πιο συγκεκριμένα, μελετάται η εδαφική λεκάνη με πλάτος B=200m, βάθος H=50m, (αρχικό) λόγο εμπέδησης α=0.5 και γωνία κλίσης πρανών i=45°. Ως διέγερση χρησιμοποιήθηκε ο σεισμός του Αιγίου προσαρμοσμένος σε συχνότητα διέγερσης f=10Hz (T_e=0.1sec), με αποτέλεσμα η εδαφική λεκάνη να έχει (αρχικούς) αδιάστατους λόγους λ/H=1 και B/λ=4. Η γραμμική ιδιοπερίοδος του εδάφους είναι $T_{s,lin} = 4 \cdot H/V_s = 4 \cdot 50/500 = 0.4s$, και συνεπώς ο λόγος $T_{s,lin}/T_e$ = 4. Στο Σχήμα 6.1 παρουσιάζονται οι λόγοι των μέγιστων επιταχύνσεων στην επιφάνεια της εδαφικής λεκάνης που προκύπτουν από τη 2Δ ανάλυση (PHA) προς τη μέγιστη επιτάχυνση της 1Δ ανάλυσης βραχώδους υποβάθρου (1d_rock) σε όλο το μήκος της λεκάνης (PHA/PHAr ή PVA/PHAr), αποτυπώνοντας με αυτό τον τρόπο τη συνολική ενίσχυση στην περιοχή της λεκάνης τόσο λόγω της ύπαρξης μαλακού εδάφους (soil effects) όσο και λόγω του κλειστού γεωμορφικού σχηματισμού (valley effects). Πιο συγκεκριμένα, στο Σχήμα 6.1 συγκρίνονται οι συνολικές ενισχύσεις στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης για τρία επίπεδα έντασης, καθώς και η αντίστοιχη συνολική ενίσχυση από την ιξωδοελαστική ανάλυση (με λόγο απόσβεσης ξ=5%).

Σχετικά με τις οριζόντιες συνολικές ενισχύσεις PHA/PHAr δεν προκύπτουν ποιοτικές διαφορές, αλλά μόνο σημαντικές ποσοτικές διαφορές. Πιο συγκεκριμένα, όσο

αυξάνεται η ένταση της διέγερσης τόσο μειώνονται οι συνολικές οριζόντιες ενισχύσεις της εδαφικής λεκάνης. Μάλιστα, οι συνολικές ενισχύσεις που προκύπτουν από τη διέγερση μικρής έντασης προσεγγίζουν αρκετά τα αποτελέσματα της ιξωδοελαστικής ανάλυσης.

Σε ότι αφορά το λόγο των συνολικών παρασιτικών κατακόρυφων ενισχύσεων PVA/PHAr, προκύπτουν και πάλι μόνο ποσοτικές διαφοροποιήσεις. Αυτό που παρατηρείται επίσης είναι η αύξηση των συνολικών παρασιτικών κατακόρυφων ενισχύσεων με την αύξηση της έντασης, σε αντίθεση με ότι συμβαίνει στις συνολικές οριζόντιες ενισχύσεις. Και πάλι όμως, οι συνολικές ενισχύσεις που προκύπτουν από τη διέγερση μικρής έντασης προσεγγίζουν πολύ τα αποτελέσματα της ιξωδοελαστικής ανάλυσης.



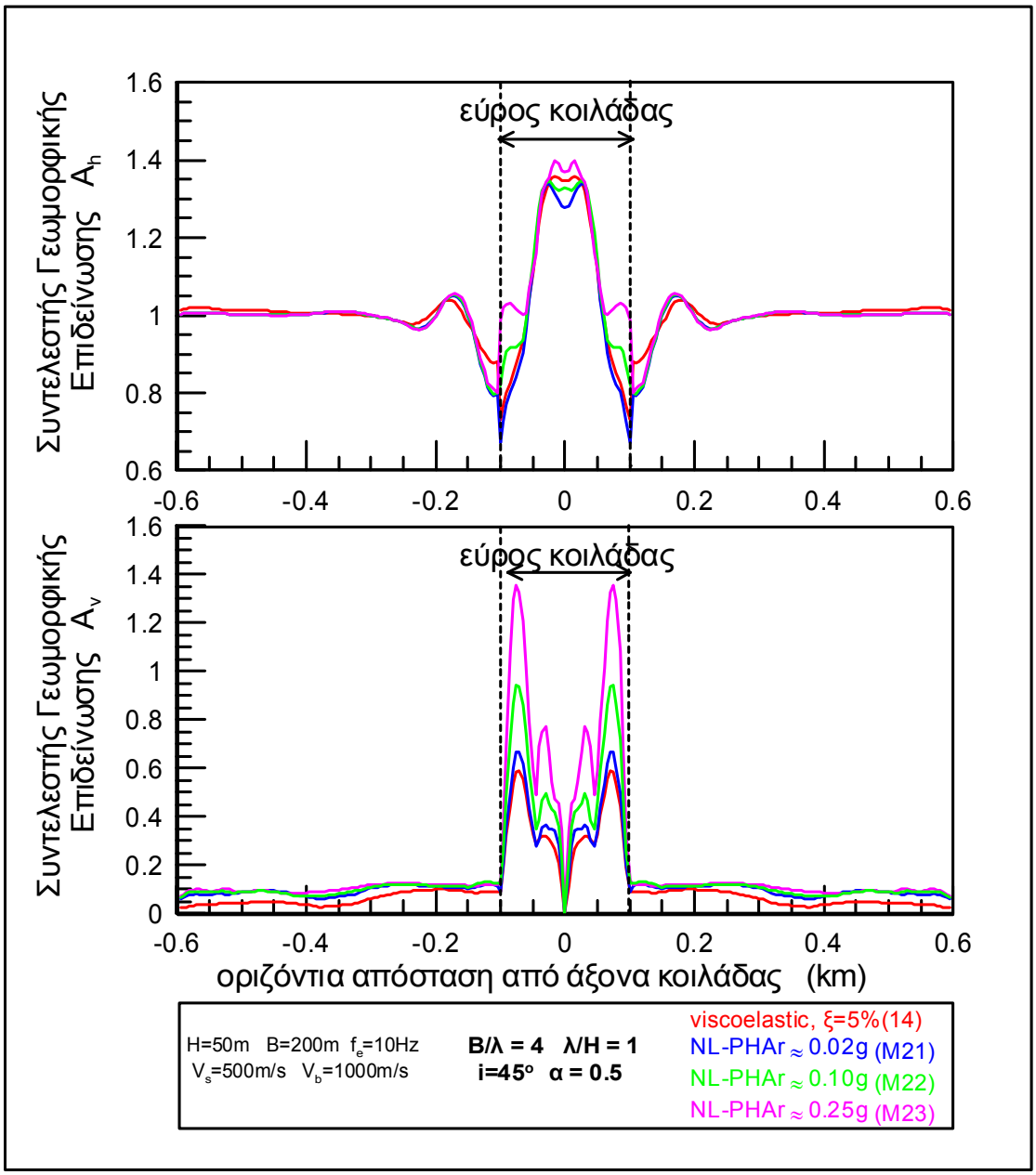
Σχήμα 6.1 : Οριζόντιες και κατακόρυφες συνολικές ενισχύσεις, ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας, για περίπτωση στενής λεκάνης με έδαφος δείκτη πλαστιμότητας PI=0%, υπό τη διέγερση του Αιγίου με συχνότητα που απέχει από το συντονισμό (υπό 1Δ συνθήκες).

Στη συνέχεια, στο Σχήμα 6.2 μελετώνται οι αναλύσεις του Σχήματος 6.1 αλλά αυτή τη φορά η σύγκριση γίνεται σε όρους γεωμορφικών ενισχύσεων A_h και A_v.

Σχετικά με το συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής ενίσχυσης A_h προκύπτει ότι η μη-γραμμική θεώρηση δεν αλλάζει ποιοτικά, αλλά μόνο ποσοτικά τη γεωμορφική επιδείνωση. Για παράδειγμα, σε όλες τις περιπτώσεις, οι σημαντικές οριζόντιες γεωμορφικές ενισχύσεις είναι συγκεντρωμένες στην περιοχή του κέντρου καθώς πρόκειται για μία περίπτωση στενής εδαφικής λεκάνης. Εξετάζοντας τα αποτελέσματα πιο αναλυτικά, προκύπτει ότι οι τιμές των A_h αυξάνουν λίγο με την ένταση της διέγερσης, χωρίς όμως να υπάρχουν μεγάλες διαφορές, και μόνο στο κέντρο υπάρχουν μικρές διαφοροποιήσεις από αυτή την εικόνα. Επιπλέον, προκύπτει ότι οι οριζόντιες γεωμορφικές ενισχύσεις της ιξωδοελαστικής ανάλυσης σχεδόν ταυτίζονται με τις ενισχύσεις της μικρής έντασης ανάλυσης σε όλο το μήκος της λεκάνης, και αποτελούν γενικώς το κάτω όριο τιμών A_h, αλλά χωρίς μεγάλες διαφορές.

Σε ότι αφορά το συντελεστή γεωμορφικής επιδείνωσης A_v, προκύπτει και πάλι ποιοτική ομοιότητα στη χωρική διαφοροποίηση, ανεξαρτήτως έντασης διέγερσης. Υπάρχουν όμως ποσοτικές διαφοροποιήσεις, καθώς παρατηρείται αύξηση των τιμών του συντελεστή A_v, όσο αυξάνεται η ένταση της διέγερσης. Επιπλέον, τα αποτελέσματα της ιξωδοελαστικής ανάλυσης αποκλίνουν πολύ λίγο από αυτά της διέγερσης με τη μικρή ένταση αλλά με μη-γραμμικό έδαφος. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως οι κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις που προκύπτουν από τις μη γραμμικές αναλύσεις είναι αρκετά υψηλές συγκριτικά με τις ενισχύσεις της ιξωδοελαστικής ανάλυσης.

Τα γενικά αυτά συμπεράσματα για τις συνολικές και γεωμορφικές ενισχύσεις είναι συμβατά με τη βιβλιογραφία (π.χ. Gelagoti et al. 2010, Psarropoulos et al 2007). Παρόλα αυτά κρίνεται ότι η ενίσχυση των κατακορύφων παρασιτικών ενισχύσεων σε μη-γραμμικές αναλύσεις, ειδικά για μεγάλης έντασης διεγέρσεις, είναι ένα θέμα που πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω, π.χ. με ανάλυση σήματος των χρονοϊστοριών επιτάχυνσης που προκύπτουν για τη διερεύνηση της αξιοπιστίας των παλμών (αφαίρεση εξαιρετικά υψίσυχνων αρμονικών). Συνεπώς, ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων στο παρόν κεφάλαιο σχετικά με τις PVA/PHAr και A_v γίνεται πάντα υπό την ανωτέρω αίρεση.



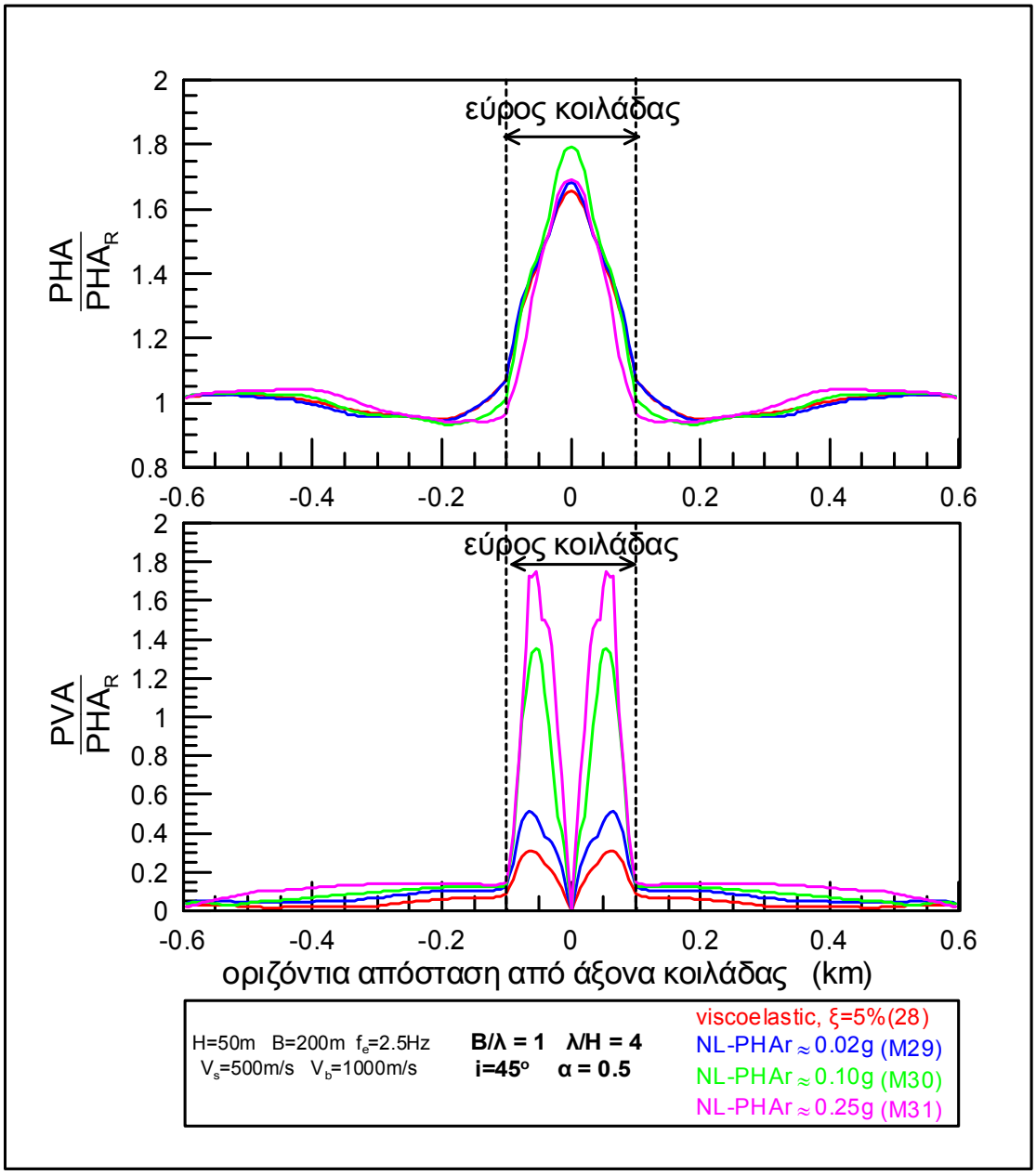
Σχήμα 6.2 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις, ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας, για περίπτωση στενής λεκάνης με έδαφος δείκτη πλαστιμότητας PI=0%, υπό τη διέγερση του Αιγίου με συχνότητα που απέχει από το συντονισμό (υπό 1Δ συνθήκες).

Στη συνέχεια, διερευνάται η επίδραση της δεσπόζουσας συχνότητας της διέγερσης, και πιθανών συντονισμών, σε όσα αναφέρθηκαν ανωτέρω. Πιο συγκεκριμένα, μελετάται η απόκριση στενών λεκανών με μη-γραμμικό έδαφος, αλλά αυτή τη φορά με δεσπόζουσα περίοδο της διέγερσης να έχει ίδια τιμή με τη γραμμική ιδιοπερίοδο της εδαφικής στρώσης (υπό 1Δ συνθήκες). Πιο αναλυτικά, χρησιμοποιείται ως διέγερση ο σεισμός του Αιγίου αλλά αυτή τη φορά προσαρμοσμένος σε συχνότητα διέγερσης f=2.5Hz (T_e=0.4sec), έτσι ώστε η εδαφική στρώση να βρεθεί κοντά στο συντονισμό.

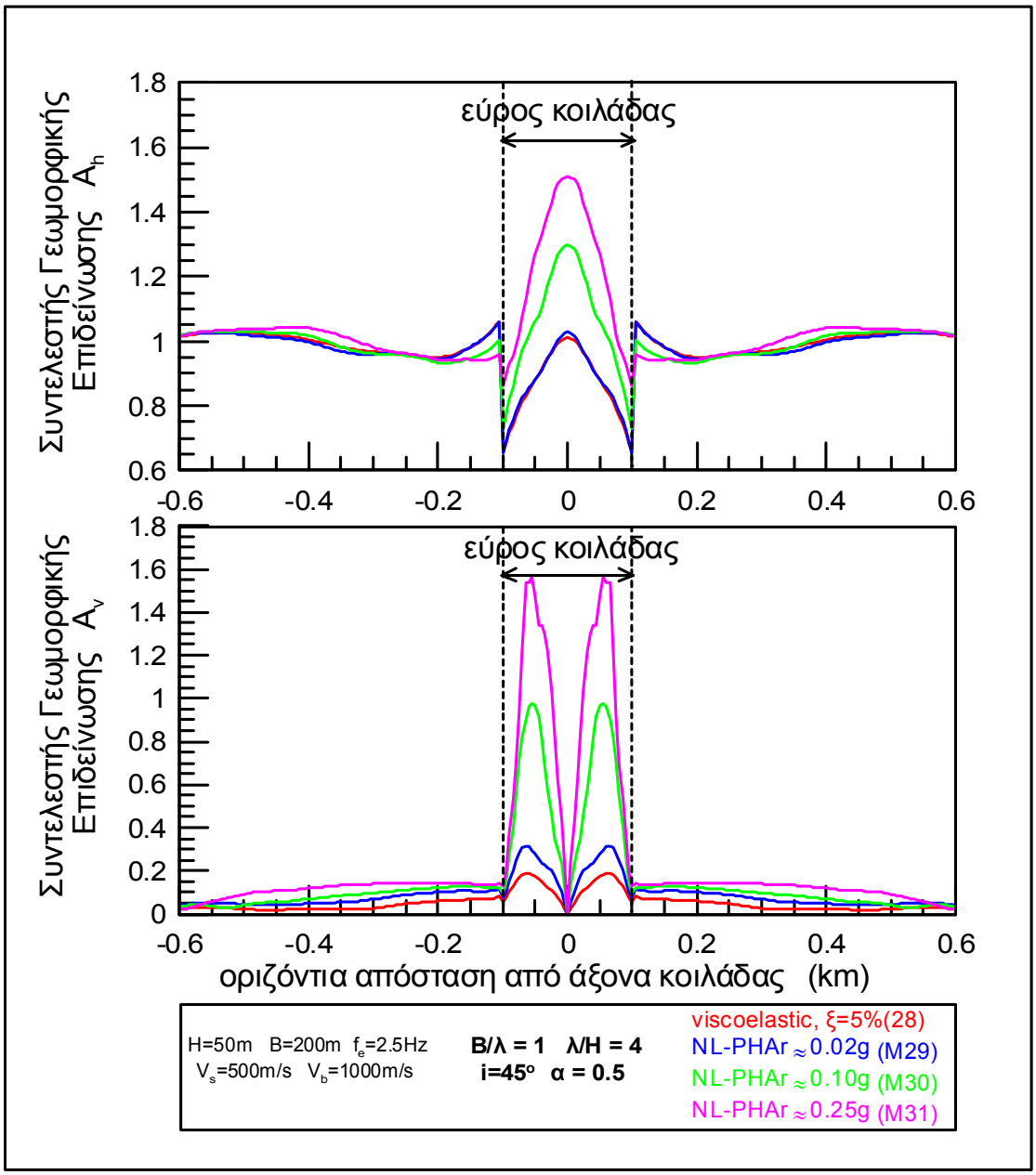
Στο Σχήμα 6.3 παρουσιάζεται η χωρική διαφοροποίηση των λόγων συνολικής ενίσχυσης PHA/PHAr και PVA/PHAr για τις τρεις περιπτώσεις έντασης διέγερσης (για μη-γραμμικό έδαφος), καθώς επίσης και για την ιξωδοελαστική ανάλυση με λόγο απόσβεσης ξ=5% χάριν σύγκρισης. Σχετικά με τις συνολικές οριζόντιες ενισχύσεις PHA/PHAr προκύπτει και πάλι ποιοτική ομοιότητα στη χωρική διαφοροποίηση τόσο εντός όσο και εκτός κοιλάδας. Το ενδιαφέρον εδώ είναι ότι δεν προκύπτουν ούτε σημαντικές ποσοτικές διαφορές, σε αντίθεση με τις αναλύσεις για διεγέρσεις μακριά από το συντονισμό. Αντιθέτως, σε ότι αφορά στις συνολικές παρασιτικές κατακόρυφες ενισχύσεις PVA/PHAr προκύπτει ποιοτική ομοιότητα, αλλά σημαντική ποσοτική διαφοροποίηση. Πιο συγκεκριμένα, προκύπτει ότι όσο αυξάνει η ένταση της διέγερσης, τόσο αυξάνουν οι συνολικές παρασιτικές κατακόρυφες ενισχύσεις PVA/PHAr, και μάλιστα περισσότερο απ' όσο στην περίπτωση όπου η διέγερση είναι μακριά απ' το συντονισμό.

Στο Σχήμα 6.4 συγκρίνονται οι αναλύσεις του Σχήματος 6.3 σε όρους γεωμορφικών ενισχύσεων A_h και A_v έτσι ώστε η έμφαση να δοθεί στις γεωμορφικές ενισχύσεις της εδαφικής λεκάνης. Σχετικά με το συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής ενίσχυσης A_h προκύπτει και εδώ ότι οι αποκρίσεις όλων των περιπτώσεων είναι ποιοτικά όμοιες, ενώ παρατηρούνται σημαντικές ποσοτικές διαφορές, σε αντίθεση με ότι παρατηρείται για περιπτώσεις διεγέρσεων μακριά απ' το συντονισμό. Πιο συγκεκριμένα, εδώ παρατηρείται σαφής αύξηση των οριζόντιων γεωμορφικών ενισχύσεων A_h με την αύξηση της έντασης της διέγερσης, με τα αποτελέσματα της ιξωδοελαστικής ανάλυσης να είναι πρακτικώς ταυτόσημα με εκείνα της μη-γραμμικής ανάλυσης για μικρή ένταση διέγερσης, ενώ υποεκτιμώνται οι τιμές της A_h για μεγαλύτερες εντάσεις. Σε ότι αφορά στο συντελεστή γεωμορφικής επιδείνωσης A_v, προκύπτει σημαντική αύξηση με την αύξηση της έντασης της διέγερσης, ενώ δεν παρατηρούνται ποιοτικές διαφορές στη χωρική διαφοροποίηση, όπως ακριβώς και για τη διέγερση μακριά απ' το συντονισμό. Αντιθέτως όμως εδώ, οι ποσοτικές αυξήσεις με την ένταση της διέγερσης είναι ακόμη μεγαλύτερες, καθιστώντας την ιξωδο-ελαστική ανάλυση να δίδει τιμές A_v μικρότερες από εκείνες των μη-γραμμικών αναλύσεων, ανεξαρτήτως έντασης αυτών. Επισημαίνεται και πάλι, ότι

αυτές οι πολύ μεγάλες τιμές A_v έχουν την ανάγκη περαιτέρω διερεύνησης, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν ανωτέρω.



Σχήμα 6.3 : Οριζόντιες και κατακόρυφες συνολικές ενισχύσεις, ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας, για περίπτωση στενής λεκάνης με έδαφος δείκτη πλαστιμότητας PI=0%, υπό τη διέγερση του Αιγίου με συχνότητα που πλησιάζει στο συντονισμό (υπό 1Δ συνθήκες).



Σχήμα 6.4 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις, ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας, για περίπτωση στενής λεκάνης με έδαφος δείκτη πλαστιμότητας PI=0%, υπό τη διέγερση του Αιγίου με συχνότητα που πλησιάζει στο συντονισμό (υπό 1Δ συνθήκες).

Στο σημείο αυτό θα γίνει μια απευθείας σύγκριση των αποτελεσμάτων των μη-γραμμικών αναλύσεων που αφορούν στις στενές εδαφικές λεκάνες που παρουσιάστηκαν προηγουμένως και διαφέρουν μόνο ως προς τη συχνότητα διέγερσης. Πιο συγκεκριμένα, συγκρίνονται οι σεισμικές αποκρίσεις δύο ίδιων εδαφικών λεκανών, υπό διαφορετικές συχνότητες διέγερσης, η μία να οδηγεί την εδαφική στρώση κοντά στο συντονισμό υπό 1Δ συνθήκες, $T_{s,lin}/T_e = 1$, ενώ η άλλη σημαντικά μακριά από το συντονισμό, $T_{s,lin}/T_e = 4$.

Στο Σχήμα 6.5α συγκρίνονται μεμονωμένα οι ιξωδοελαστικές αναλύσεις κοντά και μακριά απ' το συντονισμό, ενώ στα Σχήματα 6.5β έως 6.5δ γίνεται το ίδιο για τα αντίστοιχα ζευγάρια μη γραμμικών αναλύσεων με διαφορετικό επίπεδο έντασης διέγερσης. Σε όλα τα σχήματα αυτά η σύγκριση γίνεται σε όρους χωρικής διαφοροποίησης γεωμορφικών ενισχύσεων A_h και A_v.

- Από τα Σχήματα 6.5α και 6.5β προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις των αναλύσεων χωρίς συντονισμό ξεπερνούν τις ενισχύσεις των αναλύσεων με συντονισμό τόσο στις ιξωδοελαστικές αναλύσεις όσο και στις μη-γραμμικές αναλύσεις μικρής έντασης.
- Η εικόνα διαφοροποιείται στις μη-γραμμικές αναλύσεις μεσαίας έντασης (Σχήμα 6.5γ) καθώς οι οριζόντιες ενισχύσεις της περίπτωσης χωρίς συντονισμό ξεπερνούν οριακά τις ενισχύσεις της περίπτωσης με συντονισμό. Σχετικά με το συντελεστή A_v παρατηρείται η μικρή υπεροχή των κατακόρυφων ενισχύσεων της περίπτωσης με συντονισμό.
- Τέλος, στο Σχήμα 6.5δ παρουσιάζονται οι γεωμορφικές ενισχύσεις των μη γραμμικών αναλύσεων μεγάλες έντασης. Παρατηρείται η υπεροχή των οριζόντιων και κατακόρυφων γεωμορφικών ενισχύσεων της περίπτωσης που η εδαφική στρώση προσεγγίζει το συντονισμό συγκριτικά με την περίπτωση χωρίς συντονισμό, κάτι που έρχεται σε αντίθεση με τα αποτελέσματα των ιξωδοελαστικών αναλύσεων και των μη-γραμμικών αναλύσεων μικρής και μεσαίας έντασης.

Για την κατανόηση των ανωτέρω επιδράσεων παρουσιάζεται ο Πίνακας 6.2, όπου συνοψίζονται οι λόγοι των ενισχύσεων στην επιφάνεια της στενής εδαφικής λεκάνης για τις 2 περιπτώσεις διεγέρσεων με διαφορετική συχνότητα διέγερσης. Πιο αναλυτικά, στις 2 πρώτες στήλες του πίνακα δίνεται η 1Δ εδαφική ενίσχυση (δηλαδή Ah,1D=PHAs/PHAr), ακολουθούν στις 2 επόμενες στήλες οι μέγιστες οριζόντιες/κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις (A_{hmax}, A_{hmax}) και στις τελευταίες στήλες αποτυπώνονται οι συνολικές ενισχύσεις στην επιφάνεια της λεκάνης, οι οποίες δεν είναι τίποτα άλλο από το γινόμενο των 2 προηγούμενων λόγων ενίσχυσης.

Συνοπτικά, στην περίπτωση που η εδαφική λεκάνη απέχει από το φαινόμενο του συντονισμού (υπό 1Δ συνθήκες), η 1Δ εδαφική ενίσχυση είναι μικρή στην ιξωδοελαστική ανάλυση και στην ανάλυση με τη μικρή ένταση (1.22, 1.20), και μικραίνει περαιτέρω σημαντικά όσο αυξάνει η ένταση λόγω αύξησης της εδαφικής απόσβεσης (παρατηρείται ακόμη και απομείωση). Εστιάζοντας στις τιμές A_{hmax} παρατηρείται πως στην περίπτωση που η εδαφική στρώση απέχει από το συντονισμό οι μέγιστες γεωμορφικές ενισχύσεις αυξάνονται πολύ ελαφρώς με την αύξηση της έντασης της διέγερσης, αλλά με μικρές διαφοροποιήσεις (κυμαίνονται από 1.35 έως 1.40 τόσο στην ιξωδοελαστική ανάλυση όσο και στις 3 μη-γραμμικές αναλύσεις με μικρή, μεσαία και μεγάλη ένταση διέγερση). Σχετικά με τις συνολικές ενισχύσεις (PHA/PHAr) παρατηρείται σημαντική μείωση των μέγιστων τιμών καθώς αυξάνεται η ένταση της διέγερσης, που οφείλεται στην αντίστοιχη μείωση των εδαφικών ενισχύσεων. Σχετικά με τις κατακόρυφες ενισχύσεις παρατηρείται σημαντική αύξηση των γεωμορφικών ενισχύσεων με αύξηση της έντασης της διέγερσης, που γίνεται λιγότερο έντονη στις συνολικές ενισχύσεις λόγω της εδαφικής ενίσχυσης που έχει αντίστροφη επίδραση.

Σε ότι αφορά στην περίπτωση κοιλάδας όπου το έδαφος πλησίασε το φαινόμενο του συντονισμού (υπό 1Δ συνθήκες), παρατηρούνται σημαντικές 1Δ εδαφικές ενισχύσεις στην ιξωδοελαστική ανάλυση και στη μη-γραμμική ανάλυση μικρής έντασης (≈1.60), ενώ όσο αυξάνεται η ένταση της διέγερσης οι μονοδιάστατες εδαφικές ενισχύσεις μειώνονται σημαντικά (λόγω αύξησης της εδαφικής απόσβεσης και αύξησης της ευκαμψίας του εδάφους που το απομακρύνει από το συντονισμό). Αντίθετα, σε ότι αφορά στις τιμές A_{hmax} παρατηρούνται πολύ μικρές τιμές στην ιξωδοελαστική ανάλυση και στην μη-γραμμική ανάλυση μικρής έντασης (≈1.06, πρακτικά καθόλου ενίσχυση), ενώ οι τιμές αυτές αυξάνουν σημαντικά καθώς μεταβαίνουμε σε διέγερση μεσαίας και μεγάλης έντασης. Έτσι, οι συνολικές ενισχύσεις δεν επηρεάζονται ουσιωδώς από την ένταση της διέγερσης, καθώς προκύπτουν από αλληλοαναίρεση της αυξανόμενης γεωμορφικής επιδείνωσης με τη μειώμενη εδαφική ενίσχυση. Η εικόνα για τις παρασιτικές κατακόρυφες ενισχύσεις είναι αντίστοιχη ποιοτικά με την περίπτωση όπου το έδαφος ήταν μακριά απ' το συντονισμό. Δηλαδή, και πάλι, παρατηρείται σημαντική αύξηση των γεωμορφικών ενισχύσεων με αύξηση της έντασης της διέγερσης, που γίνεται λιγότερο έντονη στις συνολικές ενισχύσεις λόγω της εδαφικής ενίσχυσης που έχει αντίστροφη επίδραση.

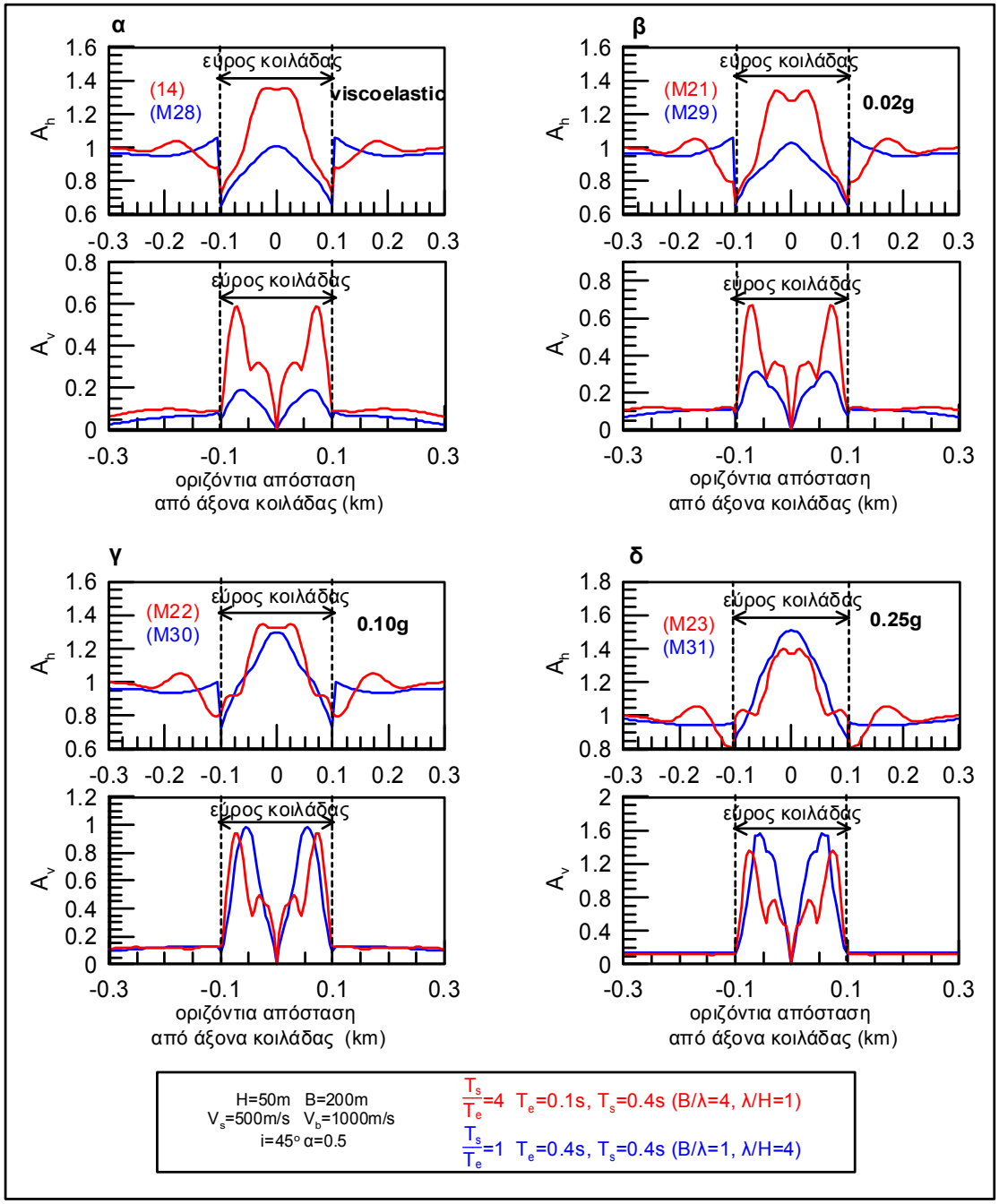
	T_e=0.1	T_s=0.4	T_e=0.4	T_s=0.4	T_e=0.1	T_s=0.4	T_e=0.4	T_s=0.4	T_e=0.1	T_s=0.4	T_e=0.4	T_s=0.4
	Ah,1D=PHAs/PHAr				**A_{hmax}**				**PHA_{max}/PHAr**			
viscoel.	1.22		1.64		1.36		1.01		1.65		1.65	
0.02g	1.20		1.63		1.34		1.03		1.61		1.68	
0.10g	0.99		1.38		1.35		1.30		1.34		1.79	
0.25g	0.83		1.12		1.40		1.51		1.17		1.69	

α

	T_e=0.1	T_s=0.4	T_e=0.4	T_s=0.4	T_e=0.1	T_s=0.4	T_e=0.4	T_s=0.4	T_e=0.1	T_s=0.4	T_e=0.4	T_s=0.4
	Ah,1D=PHAs/PHAr				**A_{vmax}**				**PVA_{max}/PHAr**			
viscoel.	1.22		1.64		0.59		0.19		0.72		0.31	
0.02g	1.20		1.63		0.67		0.32		0.81		0.52	
0.10g	0.99		1.38		0.94		0.98		0.93		1.35	
0.25g	0.83		1.12		1.36		1.56		1.13		1.75	

β

Πίνακας 6.2 : Επίδραση του συντονισμού της εδαφικής στρώσης στις μέγιστες τιμές των συντελεστών ενίσχυσης : στο συντελεστή μονοδιάστατης ενίσχυσης (Ah,1D), (α) στους συντελεστές οριζόντιων (A_{hmax}) και (β) κατακόρυφων (A_{vmax}) γεωμορφικών ενισχύσεων και στους συντελεστές συνολικών (α) οριζόντιων (PHA/PHAr) και (β) κατακόρυφων ενισχύσεων (PVA/PHAr)

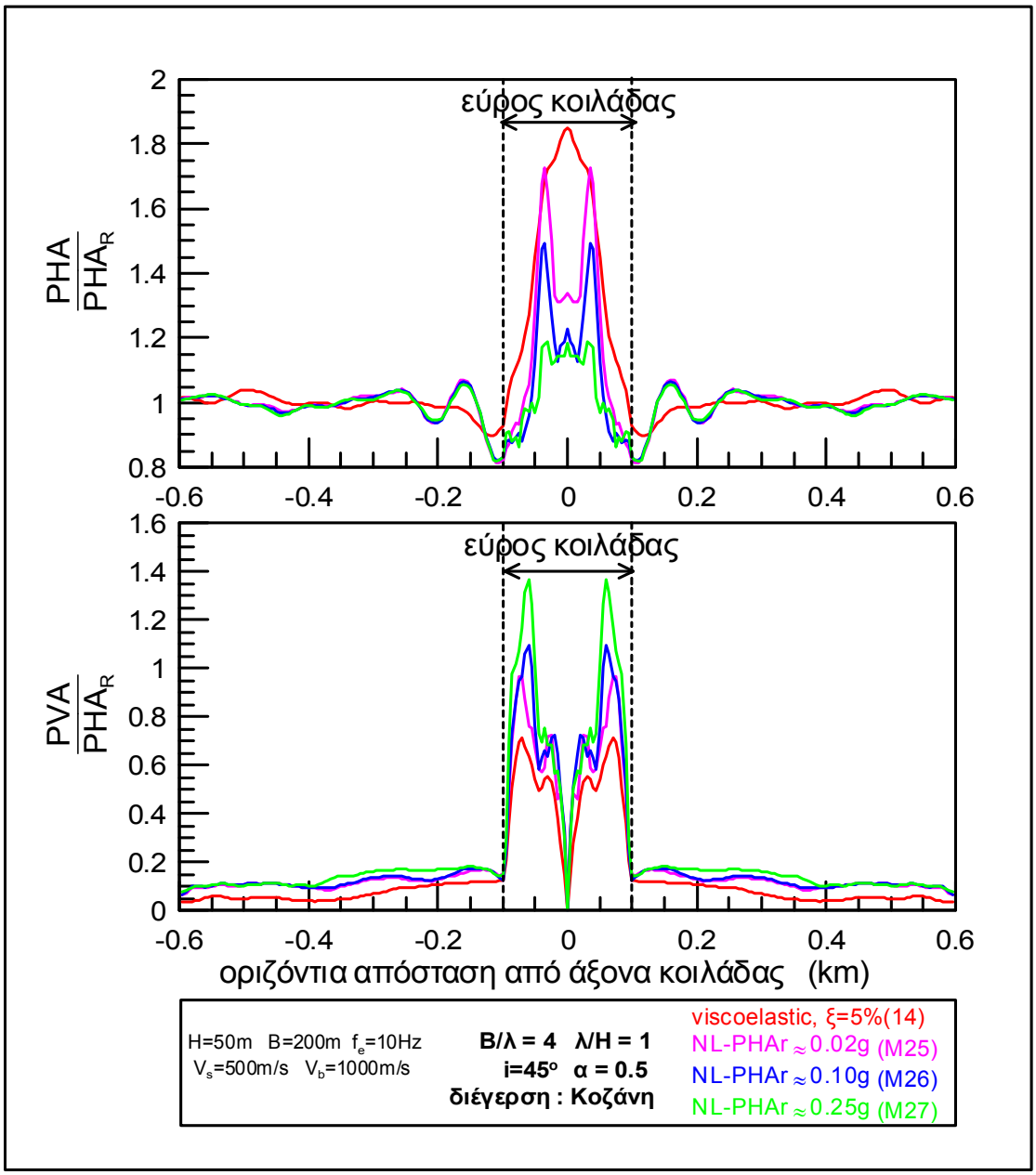


Σχήμα 6.5 : Επίδραση του συντονισμού της εδαφικής στρώσης στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας, για περίπτωση στενής λεκάνης με έδαφος δείκτη πλαστιμότητας PI=0%, για τη διέγερση του Αιγίου

Εδώ γίνεται μια ενδεικτική προσπάθεια μελέτης της επίδρασης των σημαντικών κύκλων φόρτισης σε κοιλάδες με μη-γραμμική εδαφική συμπεριφορά. Έχουν ήδη πραγματοποιηθεί αναλύσεις με διέγερση τον προσαρμοσμένο σεισμό του Αιγίου, ο οποίος αποτελείται από 1 σημαντικό κύκλο φόρτισης. Επομένως, σε αυτό το σημείο θα πραγματοποιηθεί μια σειρά αναλύσεων με διέγερση το σεισμό της Κοζάνης (1995), η οποία χαρακτηρίζεται από 4 σημαντικούς κύκλους φόρτισης. Χάριν σύγκρισης, επιλέγεται και πάλι η ίδια στενή εδαφική λεκάνη που μελετάται από την αρχή αυτού του κεφαλαίου με πλάτος B=200m, βάθος H=50m, λόγο εμπέδησης α=0.5, γωνία κλίσης πρανών i=45°, συχνότητα διέγερσης f=10Hz και (αρχικούς) αδιάστατους λόγους λ/H=1 και B/λ=4. Στο Σχήμα 6.6 συγκρίνονται οι συνολικές ενισχύσεις στην επιφάνεια της εδαφικής λεκάνης των μη γραμμικών αναλύσεων με μικρή, μεσαία και μεγάλη ένταση καθώς επίσης και της ιξωδοελαστικής ανάλυσης με ξ=5% σε όρους PHA/PHAr και PVA/PHAr για τη διέγερση της Κοζάνης.

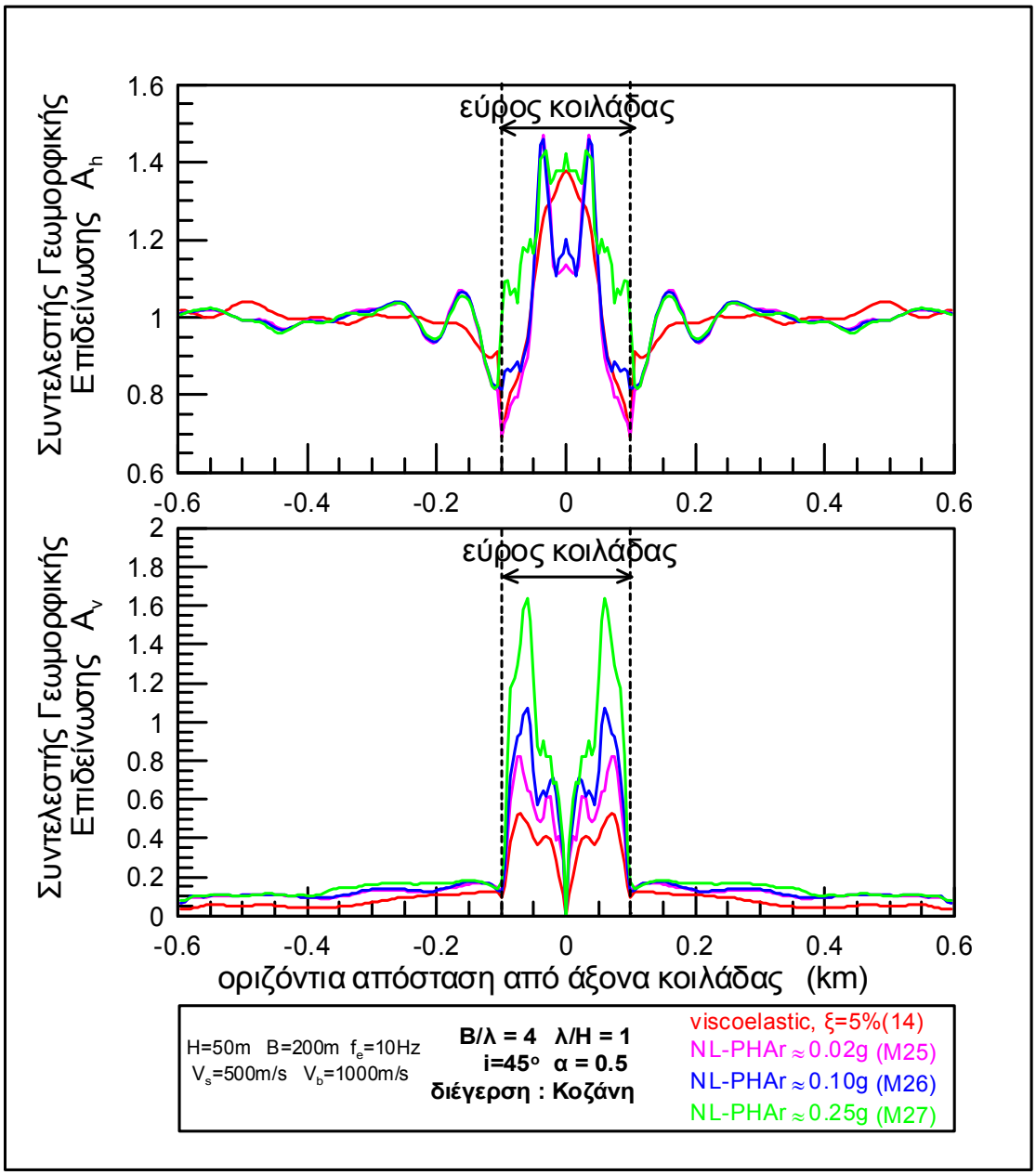
Σχετικά με τις συνολικές οριζόντιες ενισχύσεις PHA/PHAr προκύπτει παρόμοια ποιοτικά χωρική διαφοροποίηση, με μόνη διαφοροποίηση να προκύπτει στην ιξωδοελαστική ανάλυση, που εμφανίζει την απόλυτη τιμή μεγίστου ακριβώς στο κέντρο, ενώ όλες οι μη-γραμμικές στην περιοχή, αλλά όχι απολύτως στη θέση του κέντρου. Αυτή η διαφοροποίηση δεν υπάρχει στην ανάλυση Αιγίου, αλλά δεν κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική. Αντιθέτως, σημαντικές είναι οι ποσοτικές διαφορές μεταξύ των αναλύσεων, και πιο συγκεκριμένα, η ιξωδοελαστική ανάλυση παρουσιάζει τις μέγιστες συνολικές ενισχύσεις, οι οποίες μειώνονται στις μη-γραμμικές αναλύσεις όσο αυξάνει η ένταση της διέγερσης. Τα ανωτέρω συμπεράσματα έρχονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της αντίστοιχης ανάλυσης για το σεισμό του Αιγίου.

Αντίστοιχη είναι η εικόνα και για τις συνολικές παρασιτικές κατακόρυφες ενισχύσεις PVA/PHAr, των οποίων η χωρική διαφοροποίηση δεν παρουσιάζει ποιοτικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των αναλύσεων, αλλά εμφανίζονται σημαντικές ποσοτικές διαφορές. Πιο συγκεκριμένα προκύπτει αύξηση των κατακόρυφων ενισχύσεων, καθώς αυξάνεται η ένταση της διέγερσης, με την ιξωδοελαστική ανάλυση να δίνει τις χαμηλότερες τιμές ενισχύσεων. Συνεπώς, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη διέγερση της Κοζάνης έρχονται σε συμφωνία με αυτά της διέγερσης του Αιγίου.



Σχήμα 6.6 : Οριζόντιες και κατακόρυφες συνολικές ενισχύσεις, ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας, για περίπτωση στενής λεκάνης με έδαφος δείκτη πλαστιμότητας PI=0%, υπό τη διέγερση της Κοζάνης με συχνότητα που πλησιάζει στο συντονισμό (υπό 1Δ συνθήκες).

Στη συνέχεια, στο Σχήμα 6.7 συγκρίνονται οι αναλύσεις του Σχήματος 6.6 αλλά σε όρους γεωμορφικής επιδείνωσης A_h και A_v. Σχετικά με τον πρώτο προκύπτει μικρή επίδραση της έντασης της διέγερσης στις τιμές του, με τις μέγιστες οριζόντιες γεωμορφικές ενισχύσεις των μη-γραμμικών αναλύσεων να εμφανίζουν μία ελαφρά τάση να αυξάνονται με την αύξηση της έντασης της διέγερσης, αλλά στη συγκεκριμένη περίπτωση οι ποσοτικές τους διαφοροποιήσεις είναι πολύ μικρές. Επιπλέον, οι μέγιστες τιμές του συντελεστή A_h εμφανίζονται μεν στην περιοχή του κέντρου της στενής λεκάνης, αλλά όχι ακριβώς στο κέντρο όπως στις αναλύσεις για το σεισμό με έναν σημαντικό κύκλο (Αιγίου). Σε ότι αφορά στο συντελεστή γεωμορφικής επιδείνωσης A_v, προκύπτει εικόνα αντίστοιχη με εκείνη για το σεισμό του Αιγίου, δηλαδή αύξηση των κατακόρυφων γεωμορφικών ενισχύσεων με την αύξηση της έντασης της διέγερσης, χωρίς ποιοτικές αλλαγές στη χωρική διαφοροποίηση, με την ιξωδοελαστική ανάλυση να δίνει τις ελάχιστες τιμές.



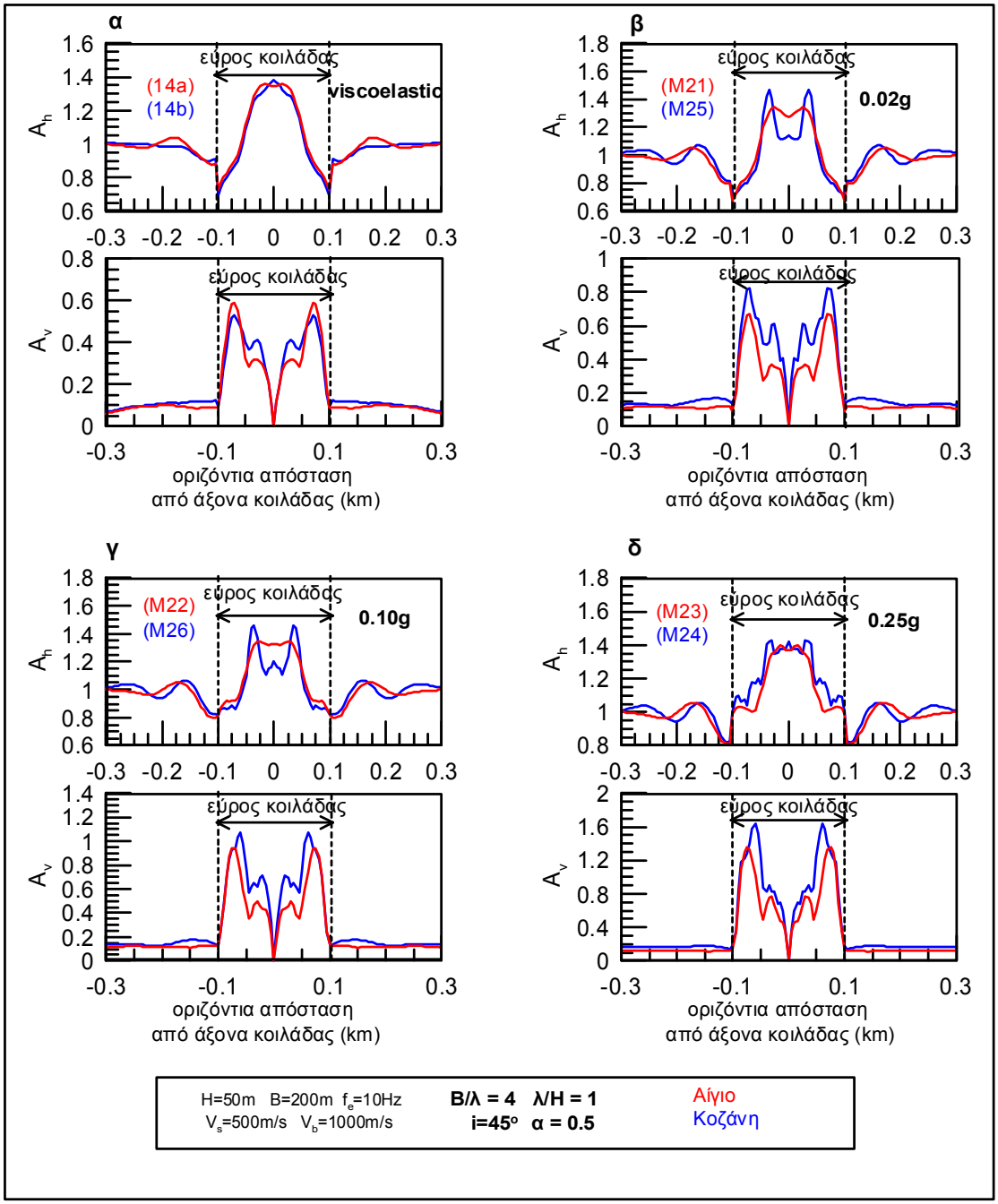
Σχήμα 6.7 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις, ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας, για περίπτωση στενής λεκάνης με έδαφος δείκτη πλαστιμότητας PI=0%, υπό τη διέγερση της Κοζάνης με συχνότητα που πλησιάζει στο συντονισμό (υπό 1Δ συνθήκες).

Στη συνέχεια, για να υπάρξει μία καλύτερη εποπτεία της επίδρασης των σημαντικών κύκλων φόρτισης της διέγερσης στη μη-γραμμική γεωμορφική επιδείνωση, συγκρίνονται τα αποτελέσματα των γεωμορφικών ενισχύσεων της εκάστοτε ιξωδο-ελαστικής ή μη-γραμμικής ανάλυσης για τις δύο διαφορετικές προσαρμοσμένες διεγέρσεις του Αιγίου και της Κοζάνης.

- Έτσι, στο Σχήμα 6.8α συγκρίνονται οι γεωμορφικές ενισχύσεις των ιξωδοελαστικών αναλύσεων για τις δύο διαφορετικές διεγέρσεις. Είναι εμφανές ότι τα αποτελέσματα συγκλίνουν ποιοτικά τόσο για τις οριζόντιες όσο και για τις κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις. Επιπλέον, οι τιμές του συντελεστή A_h πρακτικά ταυτίζονται και για τις δύο διεγέρσεις σε όλο το μήκος της εδαφικής λεκάνης, ενώ παρατηρείται μια μικρή υπεροχή των τιμών του συντελεστή A_v στην περίπτωση του σεισμού του Αιγίου έναντι του σεισμού της Κοζάνης.
- Στη συνέχεια, στο Σχήμα 6.8β συγκρίνονται οι συντελεστές γεωμορφικής επιδείνωσης των μη γραμμικών αναλύσεων μικρής έντασης για τους σεισμούς του Αιγίου και της Κοζάνης. Σε αυτή την περίπτωση μη γραμμικών αναλύσεων τα αποτελέσματα εμφανίζουν μικρές ποιοτικές διαφορές, αλλά και ορισμένες ποσοτικές διαφορές. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται πολύ κοντά στο κέντρο της λεκάνης μια υπεροχή των οριζόντιων γεωμορφικών επιδεινώσεων του σεισμού του Αιγίου, ενώ σε λίγο μεγαλύτερη απόσταση από το κέντρο η εικόνα αλλάζει και ο σεισμός της Κοζάνης δίνει μεγαλύτερες ενισχύσεις. Έτσι, συνολικά σε όλο το μήκος της λεκάνης η διέγερση της Κοζάνη δίνει $A_{hmax} \approx 1.45$ ενώ αυτή του Αιγίου $A_{hmax} \approx 1.35$. Σχετικά με τις κατακόρυφες ενισχύσεις, αντίθετα με ότι συμβαίνει στις ιξωδοελαστικές αναλύσεις, ο σεισμός της Κοζάνης δίνει μεγαλύτερες ενισχύσεις συγκριτικά με το σεισμό του Αιγίου, με αποτέλεσμα οι μέγιστες κατακόρυφες ενισχύσεις στην περίπτωση της Κοζάνης να είναι $A_{vmax} \approx 0.83$, ενώ στην περίπτωση του σεισμού του Αιγίου $A_{vmax} \approx 0.67$.
- Στο Σχήμα 6.8γ συγκρίνονται οι συντελεστές γεωμορφικής επιδείνωσης για τις μη γραμμικές αναλύσεις μεσαίας έντασης για τις δύο περιπτώσεις διέγερσης. Τα αποτελέσματα είναι ανάλογα με τις μη γραμμικές αναλύσεις μικρής έντασης. Σε αυτή την περίπτωση ο σεισμός της Κοζάνης δίνει μέγιστες οριζόντιες γεωμορφικές ενισχύσεις $A_{hmax} \approx 1.45$ και μέγιστες κατακόρυφες $A_{vmax} \approx 1.16$, ενώ ο σεισμός του Αιγίου δίνει $A_{hmax} \approx 1.35$ και $A_{vmax} \approx 0.94$. Προφανώς υπάρχει σαφής αύξησης των τιμών A_{vmax} ως συνάρτησης της έντασης, ανεξαρτήτως χρονοϊστορίας.
- Τέλος, στο Σχήμα 6.8δ συγκρίνονται οι μη γραμμικές αναλύσεις μεγάλης έντασης σε όρους A_h και A_v. Τα αποτελέσματα και σε αυτή την περίπτωση συγκλίνουν με αυτά των μη γραμμικών αναλύσεων μικρής και μεσαίας έντασης. Έτσι, ο σεισμός της Κοζάνης δίνει μέγιστες οριζόντιες ενισχύσεις

A_{hmax} ≈1.44 και μέγιστες κατακόρυφες A_{vmax} ≈1.65, ενώ ο σεισμός του Αιγίου δίνει A_{hmax} ≈1.40 και μέγιστες κατακόρυφες A_{vmax} ≈1.35. Επιβεβαιώνεται λοιπόν η σαφής αύξηση των A_{vmax} και η ασθενέστερη αύξηση των A_{hmax} με την ένταση της διέγερσης, ανεξαρτήτως χρονοϊστορίας.

Συνοψίζοντας, συγκριτικά με τον προσαρμοσμένο σεισμό του Αιγίου (με 1 σημαντικό κύκλο), ο αντίστοιχος σεισμός της Κοζάνης (με 4 σημαντικούς κύκλους) δίνει συστηματικά πιο μεγάλες οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές επιδεινώσεις στις μη-γραμμικές αναλύσεις ανεξάρτητα από το επίπεδο έντασης, χωρίς όμως να αλλάζει ποιοτικά η χωρική διαφοροποίηση της γεωμορφικής επιδείνωσης (δηλαδή και για τους δύο σεισμούς παρατηρείται ενίσχυση στην περιοχή του κέντρου της λεκάνης ως αποτέλεσμα των B/λ και λ/H, με ίδια «μεσοσταθμικά» τιμή επιδείνωσης εκεί). Επιπλέον, ο σεισμός με 1 σημαντικό κύκλο φόρτισης (δηλαδή ο σεισμός του Αιγίου) δίνει πιο ομαλή χωρική διαφοροποίηση της οριζόντιας γεωμορφικής επιδείνωσης, αλλά δε φαίνεται να επηρεάζει αντίστοιχα την παρασιτική κατακόρυφη γεωμορφική επιδείνωση.



Σχήμα 6.8 : Επίδραση των σημαντικών κύκλων φόρτισης της διέγερσης (συχνότητας που προσεγγίζει στο συντονισμό υπό 1Δ συνθήκες) στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας, για περίπτωση στενής λεκάνης με έδαφος δείκτη πλαστιμότητας PI=0%

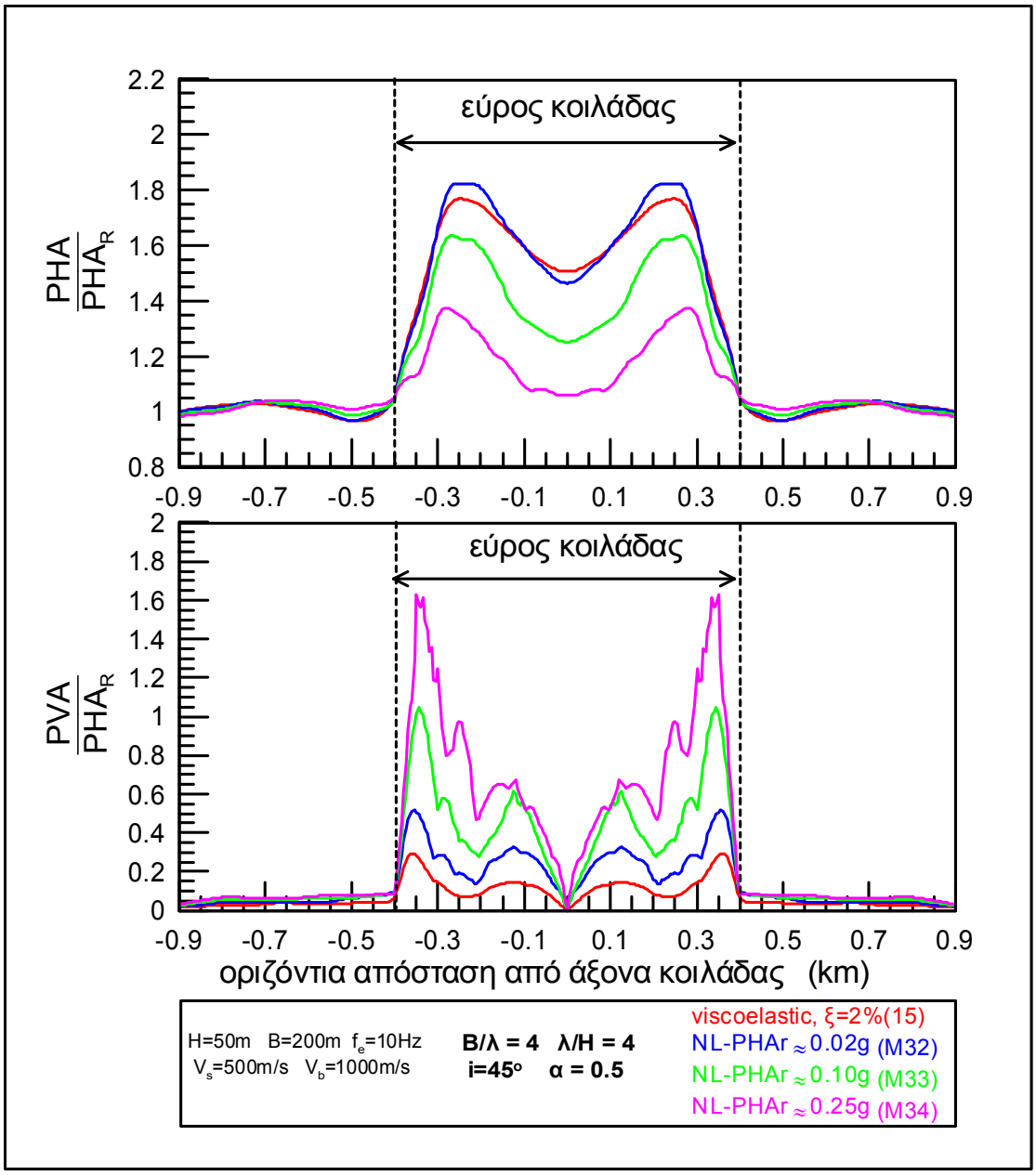
6.2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΗ-ΓΡΑΜΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ «ΕΥΡΕΙΕΣ» ΚΟΙΛΑΔΕΣ

Μετά τις στενές κοιλάδες, εδώ μελετάται η επίδραση της μη-γραμμικότητας εδάφους στη σεισμική απόκριση ευρείας λεκάνης. Πιο αναλυτικά, στο Σχήμα 6.9 μελετάται η απόκριση της εδαφικής λεκάνης σε όρους χωρικής διαφοροποίησης της συνολικής ενίσχυσης PHA/PHAr και PVA/PHAr. Τα χαρακτηριστικά της εδαφικής λεκάνης είναι: πλάτος B=800m, πάχος H=50m, λόγος εμπέδησης α=0.5, γωνία κλίσης πρανών i=45° και αδιάστατοι λόγοι λ/H=4 και B/λ=4, καθώς χρησιμοποιήθηκε ως διέγερση ο σεισμός του Αιγίου με συχνότητα διέγερσης f=2.5Hz (T_e=0.4sec), ενώ η γραμμική ιδιοπερίοδος του εδάφους είναι $T_{s,lin} = 4 \cdot H/V_s = 4 \cdot 50/500 = 0.4s$, συνεπώς η διέγερση φέρνει την κοιλάδα κοντά στο συντονισμό (υπό 1Δ συνθήκες).

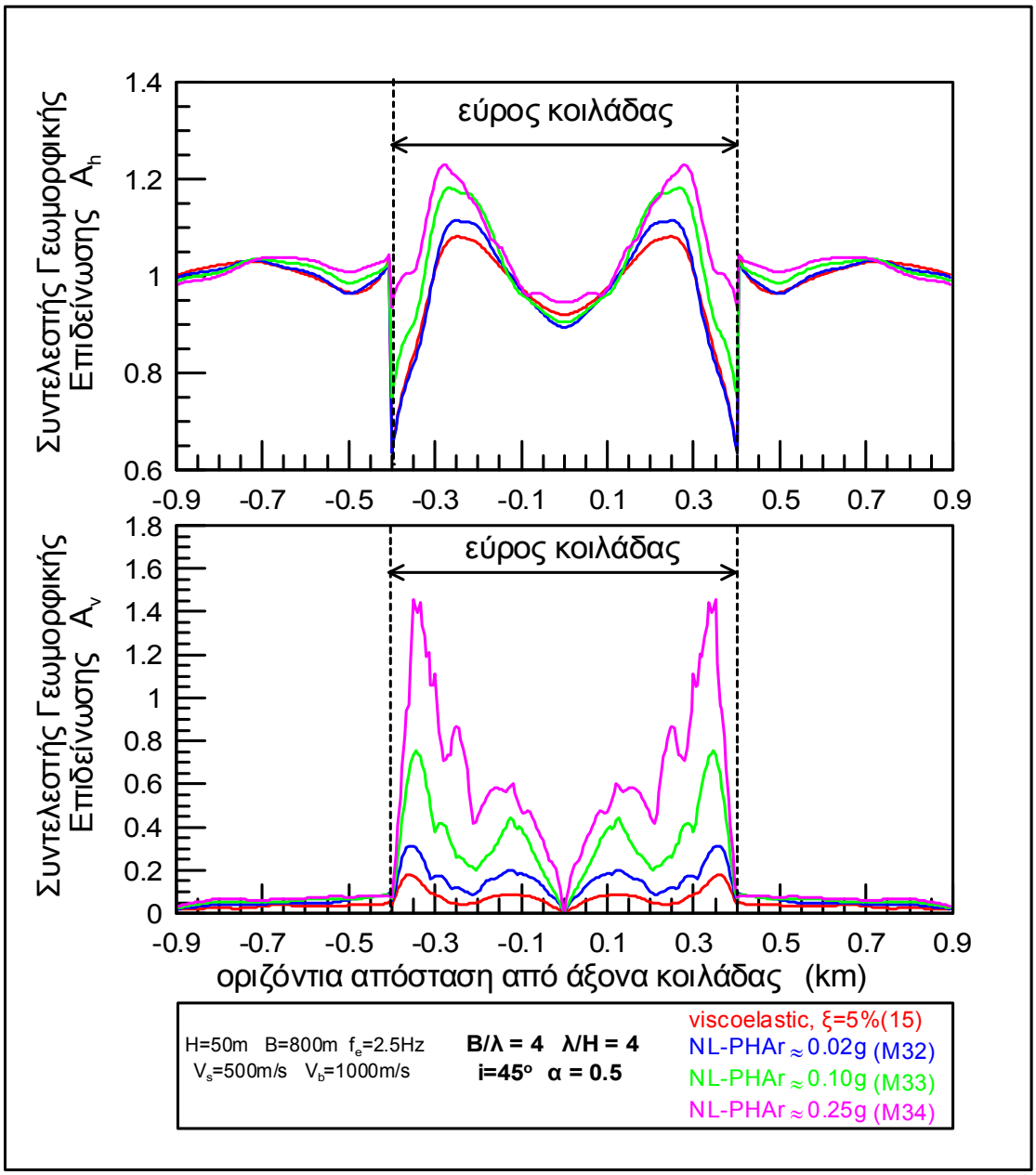
Σχετικά με τις συνολικές οριζόντιες ενισχύσεις PHA/PHAr προκύπτει ότι τα αποτελέσματα όλων των αναλύσεων δε διαφέρουν ποιοτικά, αλλά μόνο ποσοτικά. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται η μείωση των συνολικών ενισχύσεων στην επιφάνεια της λεκάνης καθώς αυξάνεται η ένταση της διέγερσης, ενώ τα αποτελέσματα της ιξωδοελαστικής ανάλυσης πλησιάζουν περισσότερα τα αποτελέσματα της μη-γραμμικής ανάλυσης με τη μικρή ένταση, όπως και για τη στενή εδαφική λεκάνη. Σε ότι αφορά στο συντελεστή των συνολικών παρασιτικών κατακόρυφων ενισχύσεων PVA/PHAr, παρατηρείται και στην περίπτωση της ευρείας εδαφικής λεκάνης η αύξηση των κατακόρυφων ενισχύσεων καθώς αυξάνεται η ένταση της διέγερσης.

Στη συνέχεια στο Σχήμα 6.10 συγκρίνονται οι αναλύσεις του Σχήματος 6.9, αλλά αυτή τη φορά σε όρους σε όρους χωρικής διαφοροποίησης γεωμορφικών ενισχύσεων A_h και A_v. Σχετικά με το συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής ενίσχυσης A_h προκύπτει και πάλι ότι η ένταση ή το είδος της ανάλυσης δεν επηρεάζουν ποιοτικά τα αποτελέσματα, αλλά μόνο ποσοτικά. Με άλλα λόγια, οι μέγιστες γεωμορφικές ενισχύσεις παρατηρούνται στην περιοχή των άκρων της λεκάνης, κάτι που είναι αναμενόμενο καθώς πρόκειται για μία ευρεία εδαφική λεκάνη. Επιπλέον, παρατηρείται αύξηση των οριζόντιων γεωμορφικών ενισχύσεων καθώς αυξάνεται η ένταση της διέγερσης και σύγκλιση των αποτελεσμάτων της ιξωδοελαστικής με τη μη γραμμική ανάλυση μικρής έντασης, κάτι που έρχεται σε πλήρη συμφωνία με τα αποτελέσματα της στενής εδαφικής λεκάνης (τόσο για τη διέγερση με συχνότητα f=2.5Hz, αλλά και για τη διέγερση με συχνότητα f=10Hz). Ακόμη, η μη γραμμική ανάλυση μεγάλης έντασης παρουσιάζει αυξημένες τιμές ενισχύσεων κοντά στα άκρα της λεκάνης συγκριτικά με τις υπόλοιπες αναλύσεις, κάτι που παρατηρήθηκε και στις στενές εδαφικές λεκάνες.

Σε ότι αφορά το συντελεστή γεωμορφικής επιδείνωσης A_v, προκύπτουν αντίστοιχα συμπεράσματα με εκείνα για την περίπτωση της στενής εδαφικής λεκάνης, καθώς και σε αυτή την περίπτωση οι κατακόρυφες ενισχύσεις αυξάνονται απότομα καθώς η διέγερση γίνεται πιο ισχυρή.



Σχήμα 6.9: Οριζόντιες και κατακόρυφες συνολικές ενισχύσεις, ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας, για περίπτωση ευρείας λεκάνης με έδαφος δείκτη πλαστιμότητας PI=0%, υπό τη διέγερση του Αιγίου με συχνότητα που πλησιάζει στο συντονισμό (υπό 1Δ συνθήκες)



Σχήμα 6.10 : Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις, ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας, για περίπτωση ευρείας λεκάνης με έδαφος δείκτη πλαστιμότητας PI=0%, υπό τη διέγερση του Αιγίου με συχνότητα που πλησιάζει στο συντονισμό (υπό 1Δ συνθήκες)

6.2.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΛΟΓΟΥ λ/Η ΣΤΗ ΜΗ-ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΚΟΙΛΑΔΩΝ

Στο σημείο αυτό έχοντας στη διάθεση μας τα αποτελέσματα από τη στενή εδαφική λεκάνη για τη διέγερση του Αιγίου με συχνότητα f=10Hz, καθώς επίσης και τα αποτελέσματα για την ευρεία εδαφική λεκάνη για τη διέγερση του Αιγίου με συχνότητα f=2.5Hz, μπορεί να μελετηθεί η επίδραση του αδιάστατου λόγου λ/Η στις μη γραμμικές αναλύσεις. Έτσι, στα Σχήματα 6.11α έως 6.11δ αποτυπώνονται οι οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις A_h και A_v με την αδιάστατη απόσταση x/B, των ιξωδοελαστικών αναλύσεων με λόγο απόσβεσης ξ=5% και των μη γραμμικών αναλύσεων μικρής, μεσαίας και μεγάλης έντασης, οι οποίες έχουν κοινές τιμές παραμέτρων: B/λ=4, λόγο εμπέδησης α=0.5, γωνία κλίσης πρανών i=45°, αλλά διαφορετικό αδιάστατο πάχος λ/Η.

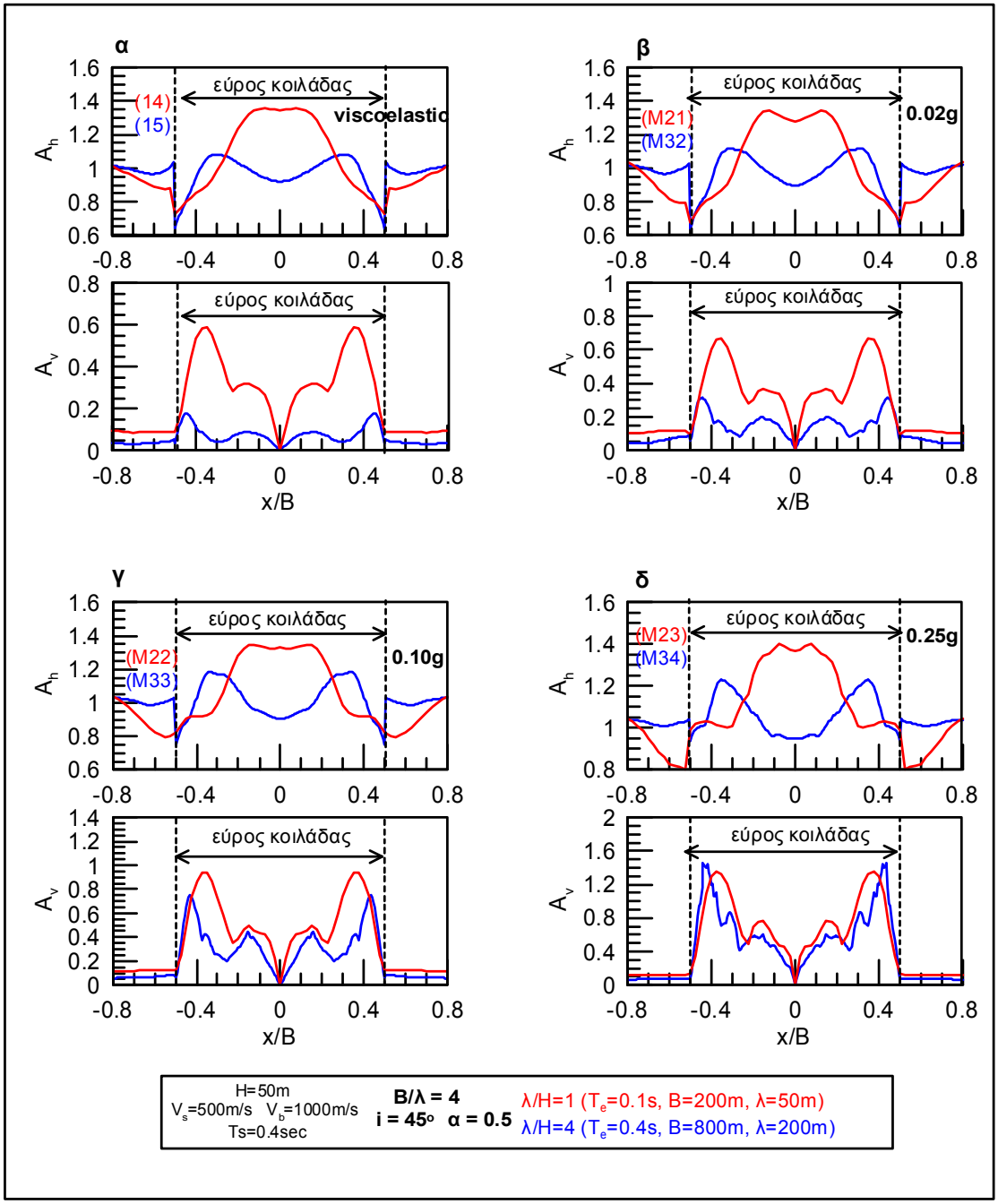
Από το Σχήμα 6.11α είναι εμφανής η υπεροχή των ενισχύσεων της ιξωδοελαστικής ανάλυσης με τη μικρότερη τιμή του αδιάστατου λόγου λ/Η (λ/Η=1) έναντι αυτής με τη μεγαλύτερη τιμή λ/Η (λ/Η=4), κάτι που έχει τονιστεί ιδιαίτερα και σε παλιότερες εργασίες (Papadimitriou et al. 2011, Μέλλιος και Τέττα 2010).

Στο Σχήμα 6.11β, και για το συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής ενίσχυσης A_h προκύπτουν συμπεράσματα ανάλογα με αυτά των ιξωδοελαστικών αναλύσεων, δηλαδή οι οριζόντιες γεωμορφικές ενισχύσεις της ανάλυσης με τη μικρή τιμή αδιάστατου λόγου λ/Η υπερβαίνουν τις ενισχύσεις της ανάλυσης με τη μεγάλη τιμή αδιάστατου λόγου λ/Η. Η μεταβολή του αδιάστατου πάχους λ/Η επιφέρει και ποιοτικές διαφορές στις οριζόντιες γεωμορφικές ενισχύσεις καθώς η ανάλυση με λόγο λ/Η=1 εμφανίζει τις μέγιστες ενισχύσεις στην περιοχή του κέντρου της λεκάνης ως αποτέλεσμα της μικρής τιμής της αδιάστατης παραμέτρου B/H που προκύπτει ($B/H = B/\lambda \cdot \lambda/H = 4 \cdot 1 = 4$, σχετικώς στενή λεκάνη), σε αντίθεση με την ανάλυση που έχει μεγάλη τιμή αδιάστατης παραμέτρου λ/Η και κατ' επέκταση μεγάλη τιμή του λόγου B/H ($B/H = B/\lambda \cdot \lambda/H = 4 \cdot 4 = 16$, σχετικώς ευρεία λεκάνη) και εμφανίζει τις μέγιστες ενισχύσεις στην περιοχή των άκρων. Αντίστοιχα, για το συντελεστή γεωμορφικής επιδείνωσης A_v, προκύπτουν, και πάλι, συμπεράσματα αντίστοιχα με αυτά των ιξωδοελαστικών αναλύσεων. Είναι εμφανής η μειωτική επίδραση της παραμέτρου λ/Η, καθώς όσο μειώνεται ο λόγος λ/Η τόσο αυξάνονται οι κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις. Επιπλέον, η αύξηση του αδιάστατου πάχους λ/Η επιφέρει χωρική διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων και συγκεκριμένα μετάβαση των μέγιστων ενισχύσεων προς τα άκρα της λεκάνης. Επισημαίνεται επίσης ότι η συμφωνία στα αποτελέσματα για τις τιμές A_h και A_v σε μη-γραμμικές αναλύσεις

μικρής έντασης είναι και ποσοτικώς συγκρίσιμες με των ιξωδοελαστικών αναλύσεων.

Στο Σχήμα 6.11γ συγκρίνονται οι τιμές των συντελεστών γεωμορφικής ενίσχυσης A_h και A_v των 2 εδαφικών λεκανών με διαφορετικές τιμές λ/Η, σε μη γραμμικές αναλύσεις μεσαίας έντασης. Σχετικά με το συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής ενίσχυσης A_h προκύπτει επίδραση του λ/Η αντίστοιχη με τις ιξωδοελαστικές, και τις μη-γραμμικές αναλύσεις μικρής έντασης. Το ίδιο ισχύει και για το συντελεστή γεωμορφικής επιδείνωσης A_v, με μία βασική διαφορά: η υπεροχή των ενισχύσεων της μη γραμμικής ανάλυσης μεσαίας έντασης με λ/Η=1 έναντι της ανάλυσης με λ/Η=4 είναι μικρότερη συγκριτικά με την απόκλιση των κατακόρυφων ενισχύσεων που παρατηρήθηκε στις ιξωδοελαστικές αναλύσεις και στις μη γραμμικές αναλύσεις μικρής έντασης.

Τέλος, στο Σχήμα 6.11δ γίνεται η ίδια σύγκριση για τις μη-γραμμικές αναλύσεις μεγάλης έντασης της διέγερσης. Όπως προκύπτει, η επίδραση της λ/Η στη χωρική διαφοροποίηση του συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής ενίσχυσης A_h παραμένει απαράλαχτη, δηλαδή υπάρχει μειωτική επίδραση του λόγου λ/Η, καθώς οι οριζόντιες ενισχύσεις της ανάλυσης με λ/Η=1 υπερβαίνουν αυτές της ανάλυσης με λ/Η=4. Αντιθέτως όμως, για το συντελεστή γεωμορφικής επιδείνωσης A_v, προκύπτουν πρακτικώς συγκρίσιμα αποτελέσματα για τις 2 τιμές λ/Η, και μάλιστα οι μέγιστες ενισχύσεις της ανάλυσης με λ/Η=4 υπερβαίνουν πολύ λίγο τις ενισχύσεις της ανάλυσης με λ/Η=1. Συνεπώς, η τάση για μείωση της απόκλισης των κατακόρυφων ενισχύσεων των 2 περιπτώσεων με διαφορετικούς λόγους λ/Η που παρατηρήθηκε στις μη γραμμικές αναλύσεις μεσαίας έντασης εδραιώθηκε στη μεγάλης έντασης διέγερση με αποτέλεσμα να ανατραπεί το αποτέλεσμα της μειωτικής επίδρασης του λ/Η.



Σχήμα 6.11 : Επίδραση του αδιάστατου πάχους λ/Η λεκάνης στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος Β αυτής, για περίπτωση λεκάνης με έδαφος δείκτη πλαστιμότητας PI=0%, υπό τη διέγερση του Αιγίου

Ολοκληρώνοντας την ενότητα για την επίδραση του λόγου λ/Η στις μη γραμμικές αναλύσεις, στον Πίνακα 6.3α και 6.3β παρουσιάζονται οι συντελεστές ενίσχυσης για τις 2 περιπτώσεις λεκανών που διαφέρουν μόνο ως προς την τιμή της παραμέτρου λ/Η. Πιο αναλυτικά στις 2 πρώτες στήλες δίνονται οι συντελεστές 1Δ εδαφικής ενίσχυσης (λόγω της ύπαρξης της εδαφικής στρώσης) και ακολουθούν οι συντελεστές μέγιστης οριζόντιας (Πίνακας 6.3α) και κατακόρυφης (Πίνακας 6.3β) γεωμορφικής επιδείνωσης. Τέλος, στις 2 τελευταίες στήλες δίνονται οι μέγιστες συνολικές οριζόντιες (Πίνακας 6.3α) και κατακόρυφες ενισχύσεις (Πίνακας 6.3β) οι οποίες προκύπτουν απλά από τον πολλαπλασιασμό των 2 προηγούμενων λόγων και αποτυπώνουν την ενίσχυση στην επιφάνεια της εδαφικής στρώσης τόσο λόγω της ύπαρξης της εδαφικής στρώσης, όσο και λόγο της ύπαρξης κλειστού σχηματισμού – εδαφικής λεκάνης.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 6.3, προκύπτει ότι η ανάλυση με αδιάστατο λόγο λ/Η=4 έχει περίοδο διέγερσης T_e=0.4sec, τιμή που συμπίπτει με τη γραμμική ιδιοπερίοδο της εδαφικής στρώσης κι επομένως σε αυτή την περίπτωση η εδαφική στρώση πλησιάζει στο φαινόμενο του συντονισμού. Συνεπώς, για τις συγκεκριμένες αναλύσεις που έχουν λ/Η=4, παρατηρούμε γενικά υψηλές 1Δ εδαφικές ενισχύσεις οι οποίες μειώνονται με την αύξηση της έντασης της διέγερσης. Αντίθετα, η ανάλυση με λόγο λ/Η=1 έχει περίοδο διέγερσης Te=0.1sec, τιμή που απέχει αρκετά από την ιδιοπερίοδο της εδαφικής στρώσης κι επομένως το έδαφος αποκλίνει από το φαινόμενο του συντονισμού. Επομένως, σε αυτή την περίπτωση παρατηρούνται χαμηλότερες τιμές του συντελεστή Ah,1D, ενώ σε διέγερση μεσαίας και μεγάλης έντασης παρατηρείται και απομείωση της εδαφικής κίνησης (λόγω εδαφικής απόσβεσης).

Εστιάζοντας στις γεωμορφικές ενισχύσεις, η περίπτωση κοιλάδας μακριά απ' το συντονισμό και μικρή τιμή λ/Η δίνει μεγαλύτερες οριζόντιες γεωμορφικές ενισχύσεις A_h τόσο στην ιξωδοελαστική ανάλυση όσο και στις μη γραμμικές αναλύσεις όλων των εντάσεων. Με άλλα λόγια, η παράμετρος λ/Η είναι πολύ σημαντική στη διαμόρφωση των οριζόντιων γεωμορφικών ενισχύσεων και στις μη γραμμικές αναλύσεις (όπως και στις ιξωδοελαστικές) και συγκεκριμένα καθώς μειώνεται η τιμή της τόσο αυξάνονται οι οριζόντιες γεωμορφικές ενισχύσεις. Η απόκλιση των οριζόντιων γεωμορφικών ενισχύσεων των αναλύσεων με λ/Η=1 έναντι αυτών με λ/Η=4 είναι περίπου σταθερή σε όλες τις μη γραμμικές αναλύσεις (σε κάθε επίπεδο έντασης) αλλά και στην ιξωδοελαστική ανάλυση.

Σχετικά με τις κατακόρυφες ενισχύσεις A_v τα αποτελέσματα είναι λίγο πιο περίπλοκα. Πιο αναλυτικά, παρατηρείται γενικά η αύξηση των τιμών των συντελεστών A_v καθώς αυξάνει η ένταση της διέγερσης της μη γραμμικής ανάλυσης.

Επιπλέον, η μειωτική επίδραση του λόγου λ/Η φαίνεται να έχει ισχύ σε μικρής έντασης διεγέρσεις. Όμως, ο συνδυασμός της μειωτικής επίδρασης του λ/Η σε μικρής έντασης σεισμό και η αύξηση των ενισχύσεων με την αύξηση της έντασης της διέγερσης, οδηγεί σε μικρή υπεροχή των κατακόρυφων ενισχύσεων της ανάλυσης με λ/Η=1 στη διέγερση μεσαίας έντασης και αντιστροφή της εικόνας σε μεγάλης έντασης σεισμό καθώς οι ενισχύσεις της ανάλυσης με λ/Η=4 ξεπερνούν για λίγο αυτές της ανάλυσης με λ/Η=1.

	λ/H=1	λ/H=4	λ/H=1	λ/H=4	λ/H=1	λ/H=4
	Ah,1D=PHAs/PHAr		**A_{hmax}**		**PHA_{max}/PHAr**	
viscoel.	1.22	1.64	1.36	1.08	1.65	1.77
0.02g	1.20	1.64	1.34	1.11	1.61	1.82
0.10g	0.99	1.38	1.35	1.18	1.34	1.64
0.25g	0.83	1.12	1.40	1.23	1.17	1.38

α

	λ/H=1	λ/H=4	λ/H=1	λ/H=4	λ/H=1	λ/H=4
	Ah,1D=PHAs/PHAr		**A_{vmax}**		**PVA_{max}/PHAr**	
viscoel.	1.22	1.64	0.59	0.18	0.72	0.29
0.02g	1.20	1.64	0.67	0.31	0.81	0.52
0.10g	0.99	1.38	0.94	0.76	0.93	1.05
0.25g	0.83	1.12	1.36	1.45	1.13	1.63

β

Πίνακας 6.3: Επίδραση του αδιάστατου πάχους λ/H στις μέγιστες τιμές των συντελεστών ενίσχυσης : στο συντελεστή μονοδιάστατης ενίσχυσης (Ah,1D), (α) στους συντελεστές οριζόντιων (A_{hmax}) και (β) κατακόρυφων (A_{vmax}) γεωμορφικών ενισχύσεων και στους συντελεστές συνολικών (α) οριζόντιων (PHA/PHAr) και (β) κατακόρυφων ενισχύσεων (PVA/PHAr)

6.2.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΛΟΓΟΥ Β/λ ΣΤΗ ΜΗ-ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΚΟΙΛΑΔΩΝ

Στην ενότητα αυτή μελετάται η επίδραση του αδιάστατου πλάτους Β/λ στις μη γραμμικές αναλύσεις. Πιο συγκεκριμένα, στα Σχήματα 6.12α έως 6.12δ που ακολουθούν συγκρίνονται οι οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις 2 περιπτώσεων εδαφικών λεκανών για ιξωδοελαστικές αναλύσεις, μη γραμμικές αναλύσεις μικρής, μεσαίας και μεγάλης έντασης αντίστοιχα. Όλες οι αναλύσεις έχουν κοινές τιμές παραμέτρων: λ/Η=4, λόγο εμπέδησης α=0.5 και γωνία κλίσης πρανών i=45° ενώ διαφέρουν ως προς αδιάστατο πλάτος Β/λ, καθώς η μία ομάδα αναλύσεων έχει Β/λ=1 ενώ η άλλη Β/λ=4.

Εστιάζοντας στις τιμές των γεωμορφικών ενισχύσεων των ιξωδοελαστικών αναλύσεων (6.12 α) αξίζει να επισημάνουμε τα εξής: Γενικά ανατρέχοντας και σε παλιότερες εργασίες (Μέλλιος και Τέττα 2010) η επίδραση του αδιάστατου πλάτους Β/λ στις τιμές των οριζόντιων και κατακόρυφων ενισχύσεων είναι αρκετά συγκεχυμένη. Ανατρέχοντας στο Σχήμα 2.36 παρατηρούμε τη μεγάλη απόκλιση των μέγιστων οριζόντιων γεωμορφικών ενισχύσεων στις μικρές τιμές του λόγου Β/λ (Β/λ=1, 2, 4), ενώ από το Σχήμα 2.38 παρατηρούμε πως δεν υπάρχει συγκεκριμένη επίδραση της παραμέτρου Β/λ στις κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις. Πιο αναλυτικά, στην περίπτωσή μας η μεγάλη τιμή του λόγου λ/Η (λ/Η=4) οδηγεί σε μικρές τιμές γεωμορφικών ενισχύσεων και στην περίπτωση των ιξωδοελαστικών αναλύσεων τυχαίνει η ευρεία λεκάνη να δίνει μεγαλύτερες οριζόντιες γεωμορφικές ενισχύσεις (ενώ γενικά είχε παρατηρηθεί η αύξηση των ενισχύσεων καθώς μειώνεται το αδιάστατο πλάτος Β/λ).

Στη συνέχεια, εξετάζεται η απόκριση των μη γραμμικών αναλύσεων (Σχήματα 6.12 β έως δ).

Σχετικά με το συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής ενίσχυσης A_h προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

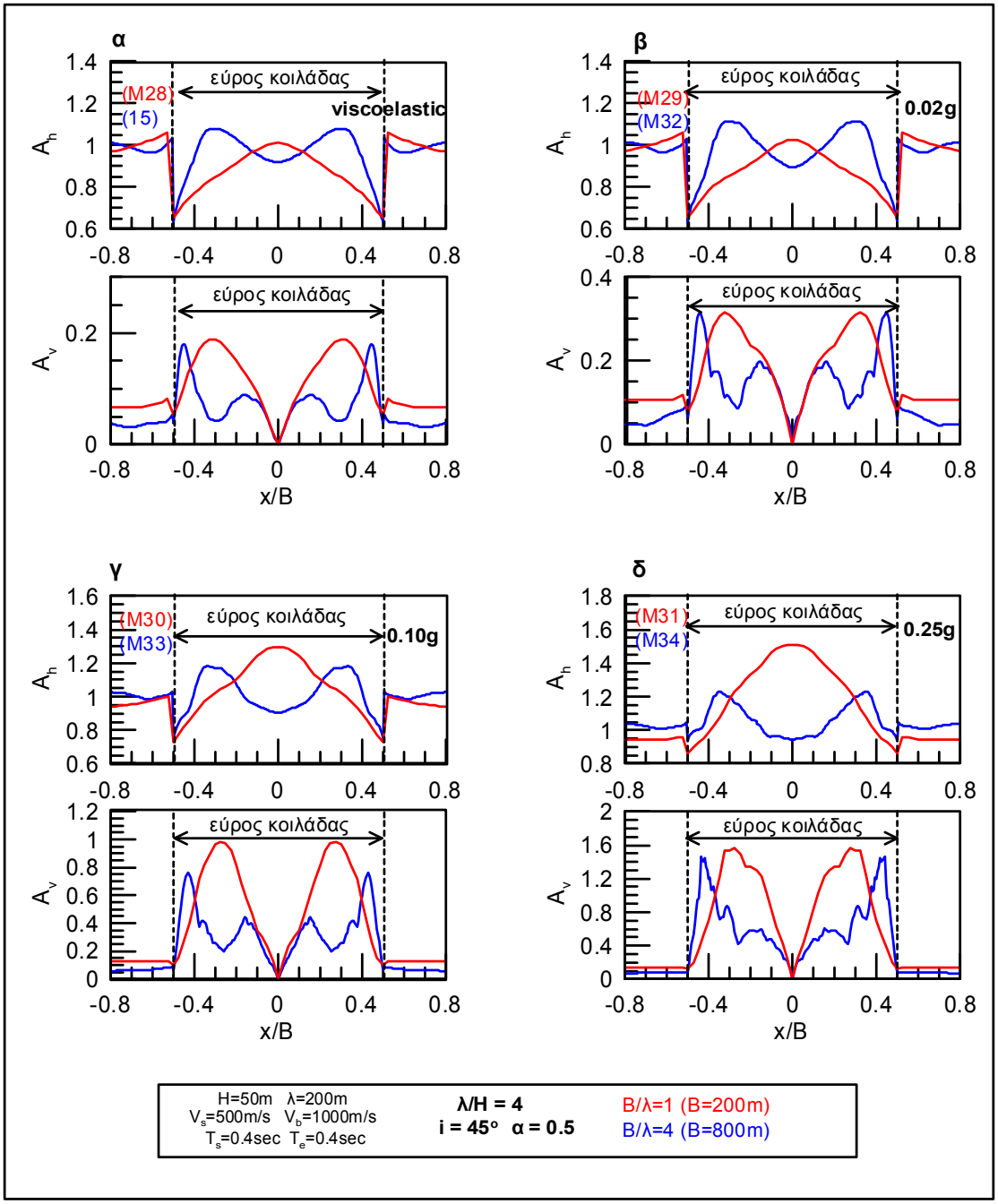
- Είναι εμφανής η χωρική διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων καθώς μεταβάλλεται η τιμή του αδιάστατου λόγου Β/λ. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται η μετάβαση των σημαντικών οριζόντιων γεωμορφικών ενισχύσεων στην περιοχή των άκρων της λεκάνης καθώς αυξάνεται το αδιάστατο πλάτος Β/λ τόσο στην ιξωδοελαστική όσο και στις μη γραμμικές αναλύσεις όλων των επιπέδων έντασης της διέγερσης.
- Στις μη γραμμικές αναλύσεις μικρής έντασης τα αποτελέσματα είναι ανάλογα με αυτά των ιξωδοελαστικών αναλύσεων, καθώς οι ενισχύσεις των αναλύσεων με Β/λ=4 δίνουν ελαφρώς μεγαλύτερες ενισχύσεις συγκριτικά με

την ανάλυση που έχει Β/λ=1. Η εικόνα διαφοροποιείται στις μη γραμμικές αναλύσεις μεσαίας και μεγάλης έντασης καθώς οι αναλύσεις με Β/λ=1 δίνουν μεγαλύτερες ενισχύσεις. Επιπλέον, η απόκλιση των γεωμορφικών ενισχύσεων στις μη γραμμικές αναλύσεις μεγάλης έντασης είναι σαφώς μεγαλύτερες συγκριτικά με τις αναλύσεις με διέγερση μεσαίας έντασης.

Σε ότι αφορά το συντελεστή γεωμορφικής επιδείνωσης A_v, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Παρατηρείται η χωρική διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων και στις κατακόρυφες ενισχύσεις καθώς μεταβάλλεται η τιμή του αδιάστατου λόγου Β/λ. Πιο αναλυτικά, είναι εμφανής η μετάβαση των μέγιστων κατακόρυφων γεωμορφικών ενισχύσεων προς τα ακραία όρια της λεκάνης καθώς αυξάνεται το αδιάστατο πλάτος Β/λ τόσο για τις ιξωδοελαστικές αναλύσεις όσο και για όλες τις μη γραμμικές αναλύσεις όλων των επιπέδων έντασης.
- Επιπλέον, η μεταβολή του λόγου Β/λ επηρεάζει και ποσοτικά τις κατακόρυφες ενισχύσεις καθώς μεταβάλλεται η ένταση της διέγερσης. Πιο συγκεκριμένα, στις ιξωδοελαστικές και στις μη γραμμικές αναλύσεις μικρής έντασης παρατηρούνται πρακτικά ίδιες μέγιστες κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις. Αντίθετα, στις μη γραμμικές αναλύσεις μεσαίας και μεγάλης έντασης το αδιάστατο πλάτος Β/λ δρα μειωτικά καθώς οι αναλύσεις με Β/λ=1 δίνουν μεγαλύτερες τιμές ενισχύσεων συγκριτικά με τις αναλύσεις που έχουν μεγαλύτερο αδιάστατο πλάτος, όπως ακριβώς και οι οριζόντιες ενισχύσεις των αντίστοιχων αναλύσεων.

Ολοκληρώνοντας την ενότητα για τη μελέτη της επίδρασης του αδιάστατου πλάτους Β/λ, δίνονται στον Πίνακα 6.4 οι συντελεστές ενίσχυσης για τις 2 περιπτώσεις εδαφικών λεκανών που διαφέρουν μόνο ως το αδιάστατο πλάτος Β/λ. Πρακτικά, οι 2 ομάδες αναλύσεων (Β/λ=1 και Β/λ=4) που μελετήθηκαν σε αυτή την ενότητα διαφέρουν μόνο ως προς το πλάτος της λεκάνης. Συνεπώς, οι 1Δ εδαφικές ενισχύσεις είναι κοινές για τις 2 ομάδες αναλύσεων για την εκάστοτε ένταση της μη γραμμικής ανάλυσης, καθώς το πλάτος της λεκάνης Β είναι παράμετρος του 2Δ προβλήματος και δεν επηρεάζει την 1Δ εδαφική ενίσχυση. Συνεπώς, όλα αυτά που μόλις περιγράψαμε σχετικά με την ποσοτική επίδραση του Β/λ στις μη γραμμικές αναλύσεις, αποτυπώνονται στις μέγιστες τιμές του συντελεστών γεωμορφικής ενίσχυσης A_h και A_v .



Σχήμα 6.12: Επίδραση του αδιάστατου πλάτους B/λ λεκάνης στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος B αυτής, για περίπτωση λεκάνης με έδαφος δείκτη πλαστιμότητας PI=0%, υπό τη διέγερση του Αιγίου με συχνότητα που πλησιάζει στο συντονισμό (υπό 1Δ συνθήκες)

	B/λ=1	B/λ=4	B/λ=1	B/λ=4	B/λ=1	B/λ=4
	Ah,1D=PHAs/PHAr		A_{hmax}		PHA_{max}/PHAr	
viscoel.	1.64	1.64	1.01	1.08	1.65	1.77
0.02g	1.63	1.64	1.03	1.11	1.68	1.82
0.10g	1.38	1.38	1.30	1.18	1.79	1.64
0.25g	1.12	1.12	1.51	1.23	1.69	1.38

α

	B/λ=1	B/λ=4	B/λ=1	B/λ=4	B/λ=1	B/λ=4
	Ah,1D=PHAs/PHAr		A_{vmax}		PVA_{max}/PHAr	
viscoel.	1.64	1.64	0.19	0.18	0.31	0.29
0.02g	1.63	1.64	0.32	0.31	0.52	0.52
0.10g	1.38	1.38	0.98	0.76	1.35	1.05
0.25g	1.12	1.12	1.56	1.45	1.75	1.63

β

Πίνακας 6.4: Επίδραση του αδιάστατου πλάτους στις μέγιστες τιμές των συντελεστών ενίσχυσης: στο συντελεστή μονοδιάστατης ενίσχυσης (Ah,1D), (α) στους συντελεστές οριζόντιων (A_{hmax}) και (β) κατακόρυφων (A_{vmax}) γεωμορφικών ενισχύσεων και στους συντελεστές συνολικών (α) οριζόντιων (PHA/PHAr) και (β) κατακόρυφων ενισχύσεων (PVA/PHAr)

6.3 ΓΕΩΜΟΡΦΙΚΗ ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ ΚΟΙΛΑΔΑΣ ΜΕ ΕΛΑΦΡΑ ΜΗ-ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ

Ολοκληρώνοντας το κεφάλαιο για την επίδραση της μη γραμμικότητας του εδάφους στις γεωμορφικές ενισχύσεις, μελετάται μία περίπτωση στενής εδαφικής λεκάνης για ένα συνεκτικό έδαφος (άργιλος) με δείκτη πλαστιμότητας PI=50%. Με άλλα λόγια θα μελετηθεί ένα ελαφρά μη-γραμμικό έδαφος συγκριτικά με το έδαφος των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν έως τώρα (μη συνεκτικά εδάφη με δείκτη πλαστιμότητας PI=0%). Πιο αναλυτικά, μελετάται η στενή εδαφική λεκάνη με πλάτος B=200m, βάθος H=50m, λόγο εμπέδησης α=0.5 και γωνία κλίσης πρανών i=45°, ενώ ως διέγερση χρησιμοποιήθηκε ο προσαρμοσμένος σεισμός του Αιγίου με συχνότητα διέγερσης f=2.5Hz (T_e=0.4sec) με αποτέλεσμα η εδαφική λεκάνη να έχει αδιάστατους λόγους λ/H=4 και B/λ=1, ενώ η ιδιοπερίοδος του εδάφους είναι T_s =0.4s. Στο Σχήμα 6.13 αποτυπώνονται οι οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις A_h και A_v της εδαφικής λεκάνης για μη γραμμικό έδαφος με δείκτη πλαστιμότητας PI=50%. Σχετικά με το συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής ενίσχυσης A_h προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

Πρώτα από όλα είναι εμφανής η ποιοτική σύγκλιση των αποτελεσμάτων των μη γραμμικών αναλύσεων ανεξάρτητα από το επίπεδο έντασης της διέγερσης και της ιξωδοελαστικής ανάλυσης. Επιπλέον, παρατηρούμε πως σε ένα ελαφρά μη-γραμμικό έδαφος οι τιμές του συντελεστή A_h δεν παρουσιάζουν σημαντικές ποσοτικές διαφορές για τα διάφορα επίπεδα έντασης της διέγερσης, σε αντίθεση με τις σημαντικές διαφορές που υπήρχαν στο έντονα μη γραμμικό έδαφος με δείκτη πλαστιμότητας PI=0% όταν η εδαφική στρώση προσέγγιζε το συντονισμό (υπό 1Δ συνθήκες) (Σχήμα 6.4). Σε αυτή την περίπτωση οι γεωμορφικές ενισχύσεις της ιξωδοελαστικής ανάλυσης προσεγγίζουν περισσότερο αυτές της μη γραμμικής ανάλυσης μεσαίας έντασης.

Σε ότι αφορά το συντελεστή γεωμορφικής επιδείνωσης A_v, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Τα αποτελέσματα των κατακόρυφων γεωμορφικών ενισχύσεων και στην περίπτωση συνεκτικού εδάφους είναι όμοια ποιοτικά ενώ διαφέρουν ποσοτικά. Πιο αναλυτικά παρατηρείται και στην περίπτωση του συνεκτικού εδάφους αύξηση των κατακόρυφων γεωμορφικών ενισχύσεων με την αύξηση της έντασης της διέγερσης. Βέβαια οι ποσοτικές διαφοροποιήσεις του συντελεστή A_v σε αυτή την περίπτωση είναι πολύ μικρότερες συγκριτικά με τις μη-γραμμικές αναλύσεις του μη συνεκτικού εδάφους (PI=0%).

Για να υπάρξει μία καλύτερη εποπτεία της επίδρασης του δείκτη πλαστιμότητας, συγκρίνονται στα σχήματα 6.14 β έως δ που ακολουθούν οι μη-γραμμικές αναλύσεις για κάθε επίπεδο έντασης διέγερσης για τις 2 περιπτώσεις που διαφέρουν μόνο ως προς τη δείκτη πλαστιμότητας. Προφανώς οι 2 περιπτώσεις εδαφικών λεκανών που διαφέρουν μόνο ως προς το δείκτη πλαστιμότητας PI έχουν ίδια ιξωδοελαστική ανάλυση (6.14 α)

Σχετικά με το συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής ενίσχυσης A_h προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

Παρατηρείται σε όλα τα επίπεδα έντασης της διέγερσης η ποιοτική ταύτιση των αποκρίσεων. Εξετάζοντας τις αναλύσεις ποσοτικά είναι εμφανής η σταδιακή απόκλιση και διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων καθώς αυξάνεται η ένταση της διέγερσης.

Σε ότι αφορά το συντελεστή γεωμορφικής επιδείνωσης A_v, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

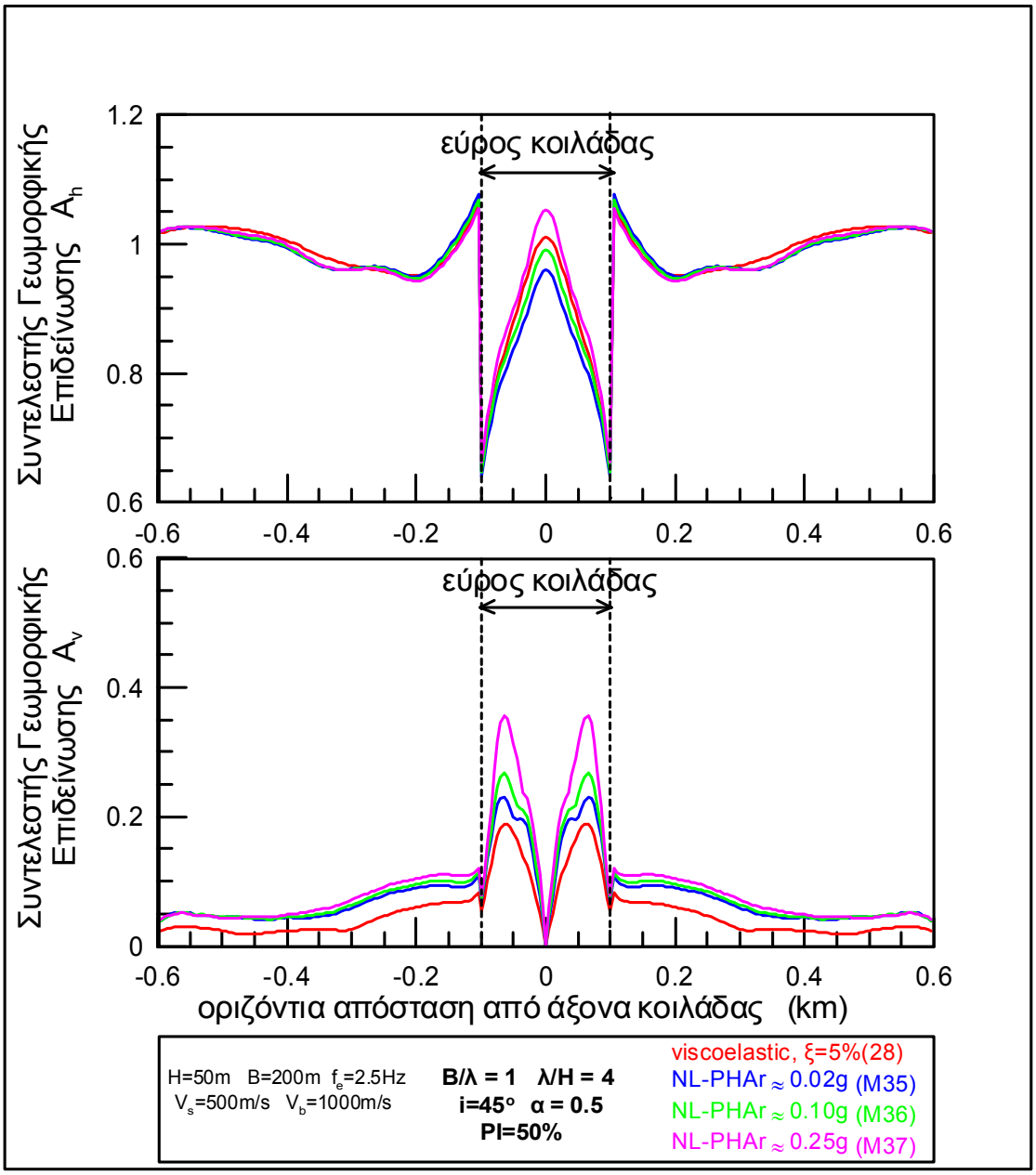
Τα αποτελέσματα είναι αντίστοιχα με αυτά των οριζόντιων γεωμορφικών ενισχύσεων, δηλαδή παρατηρείται αύξηση της απόκλισης των τιμών του συντελεστή A_v καθώς αυξάνεται το επίπεδο έντασης της διέγερσης.

Συνοψίζοντας, παρατίθεται ο πίνακας 6.5 όπου συγκρίνονται οι συντελεστές μονοδιάστατης ενίσχυσης, οι συντελεστές γεωμορφικής ενίσχυσης καθώς επίσης και οι συνολικές ενισχύσεις στην επιφάνεια της εδαφικής λεκάνης για τις περιπτώσεις μη συνεκτικού και συνεκτικού εδάφους.

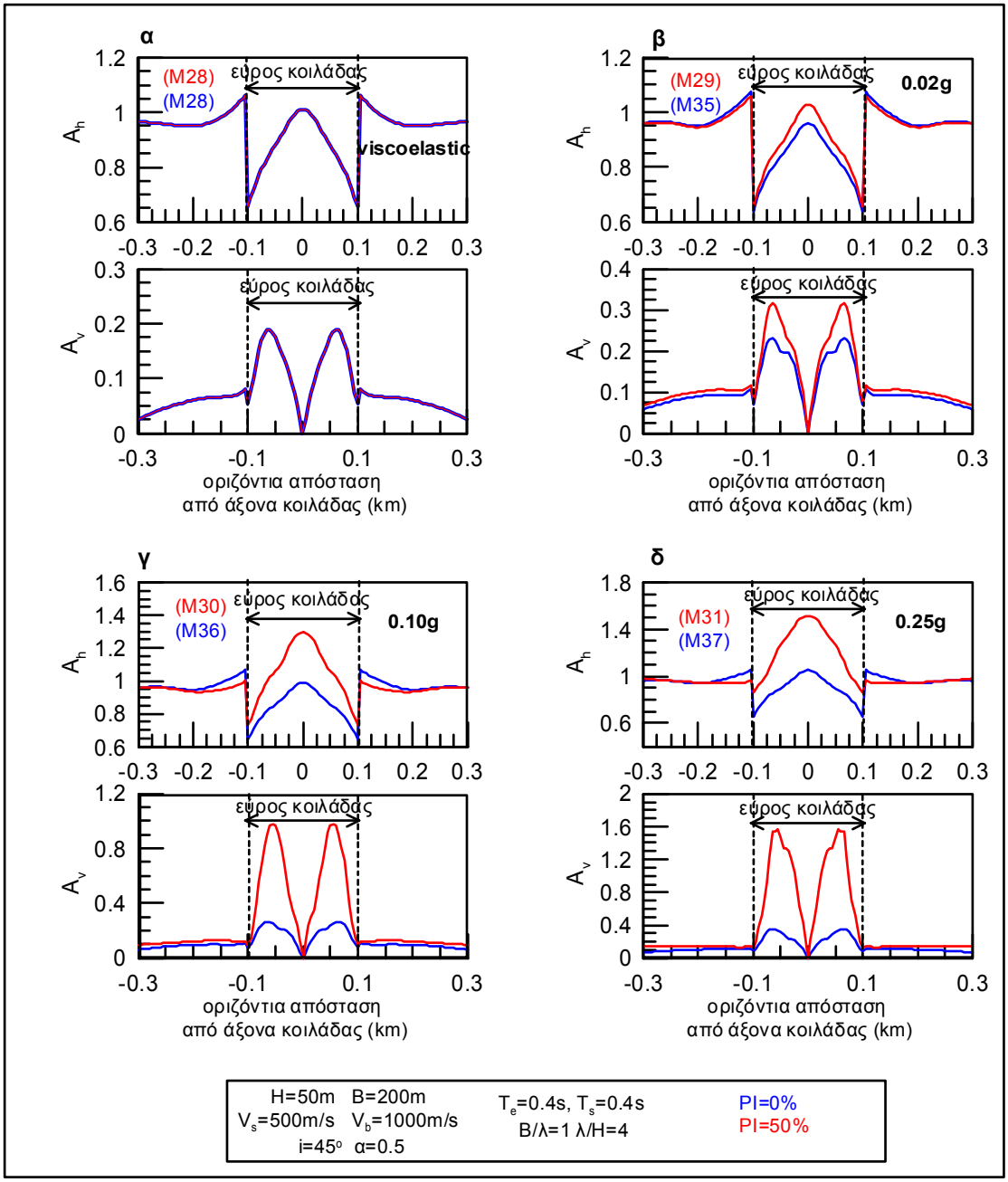
Πιο αναλυτικά, παρατηρείται στην περίπτωση του μη συνεκτικού εδάφους μεγάλη μονοδιάστατη εδαφική ενίσχυση για μικρής έντασης διέγερση (αποτέλεσμα του 1Δ συντονισμού της εδαφικής στρώσης) και απότομη απομείωση των μονοδιάστατων ενισχύσεων καθώς αυξάνεται η ένταση της διέγερσης, αποτέλεσμα της αύξησης της εδαφικής απόσβεσης. Σχετικά με τις γεωμορφικές ενισχύσεις παρατηρείται σημαντική αύξηση των τιμών των συντελεστών A_h και A_v καθώς αυξάνεται η ένταση της διέγερσης. Οι οριζόντιες συνολικές ενισχύσεις κυμαίνονται στο ίδιο επίπεδο τόσο για την ιξωδοελαστική όσο και τις μη γραμμικές αναλύσεις όλων των εντάσεων, ενώ οι κατακόρυφες ενισχύσεις παρουσιάζουν σημαντική αύξηση όσο πιο έντονη γίνεται η διέγερση.

Σχετικά με την περίπτωση του συνεκτικού εδάφους παρατηρείται μία σημαντική μονοδιάστατη ενίσχυση στη διέγερση μικρής έντασης (λόγω 1Δ συντονισμού της εδαφικής στρώσης). Οι μονοδιάστατες ενισχύσεις μειώνονται ελαφρώς με την αύξηση της έντασης της διέγερσης αλλά παραμένουν σε υψηλά επίπεδα καθώς το συνεκτικό έδαφος εμφανίζει πιο ελαστική συμπεριφορά συγκριτικά με το μη συνεκτικό έδαφος. Εστιάζοντας στις γεωμορφικές ενισχύσεις παρατηρείται αύξηση των τιμών των συντελεστών A_h και A_v καθώς αυξάνεται η ένταση της διέγερσης αλλά οι διαφοροποιήσεις σε αυτή την περίπτωση είναι πολύ μικρές. Τέλος οι οριζόντιες και

κατακόρυφες συνολικές ενισχύσεις στην επιφάνεια της εδαφικής λεκάνης αυξάνονται ελαφρώς καθώς η ένταση της διέγερσης γίνεται πιο μεγάλη.



Σχήμα 6.13: Οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις, ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας, για περίπτωση στενής λεκάνης με έδαφος δείκτη πλαστιμότητας PI=50%, υπό τη διέγερση του Αιγίου με συχνότητα που πλησιάζει στο συντονισμό (υπό 1Δ συνθήκες)



Σχήμα 6.14: Επίδραση της έντασης της μη-γραμμικότητας του εδάφους (όπως εκφράζεται από το δείκτη πλαστιμότητας PI) στις οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις ως συνάρτηση της απόστασης x από το κέντρο της κοιλάδας αδιαστατοποιημένης ως προς το εύρος B αυτής, για περίπτωση στενής εδαφικής λεκάνης, υπό τη διέγερση του Αιγίου με συχνότητα που πλησιάζει στο συντονισμό (υπό 1Δ συνθήκες)

	PI=50%	PI=0%	PI=50%	PI=0%	PI=50%	PI=0%
	Ah,1D=PHAs/PHAr		A_{hmax}		PHA_{max}/PHAr	
viscoel.	1.64	1.64	1.01	1.01	1.65	1.65
0.02g	1.70	1.63	0.96	1.03	1.64	1.68
0.10g	1.67	1.38	0.99	1.30	1.66	1.79
0.25g	1.61	1.12	1.05	1.51	1.70	1.69

α

	PI=50%	PI=0%	PI=50%	PI=0%	PI=50%	PI=0%
	Ah,1D=PHAs/PHAr		A_{vmax}		PVA_{max}/PHAr	
viscoel.	1.64	1.64	0.19	0.19	0.31	0.31
0.02g	1.70	1.63	0.23	0.32	0.39	0.52
0.10g	1.67	1.38	0.27	0.98	0.45	1.35
0.25g	1.61	1.12	0.36	1.56	0.57	1.75

β

Πίνακας 6.5: Επίδραση της έντασης της μη-γραμμικότητας του εδάφους (όπως εκφράζεται από το δείκτη πλαστιμότητας PI) στις μέγιστες τιμές των συντελεστών ενίσχυσης: στο συντελεστή μονοδιάστατης ενίσχυσης (Ah,1D), (α) στους συντελεστές οριζόντιων (A_{hmax}) και (β) κατακόρυφων (A_{vmax}) γεωμορφικών ενισχύσεων και στους συντελεστές συνολικών (α) οριζόντιων (PHA/PHAr) και (β) κατακόρυφων ενισχύσεων (PVA/PHAr)

6.4 ΣΥΝΟΨΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΜΗ-ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΚΟΙΛΑΔΩΝ

Με βάση όσα παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο προκύπτουν τα κάτωθι συμπεράσματα:

- Η χωρική διαφοροποίηση των οριζοντίων A_h και κατακορύφων παρασιτικών A_v γεωμορφικών ενισχύσεων στις μη-γραμμικές αναλύσεις δεν παρουσιάζουν ποιοτικές διαφορές με τα αποτελέσματα των ιξωδοελαστικών αναλύσεων που αποτελούν την πλειοψηφία των αναλύσεων αυτής της εργασίας.
- Όμως, η χρήση μη-γραμμικού προσομοιώματος για το έδαφος της κοιλάδας, αντί για τη συνηθέστερη ιξωδο-ελαστική θεώρηση επιφέρει ποσοτικές διαφοροποιήσεις στους συντελεστές οριζόντιας A_h και κατακόρυφης παρασιτικής A_v γεωμορφικής επιδείνωσης. Πιο συγκεκριμένα:
    - ❖ Η ένταση της διέγερσης δρα ελαφρώς ή σημαντικώς αυξητικά στο συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής επιδείνωσης A_h, όταν χρησιμοποιείται μη-γραμμικός καταστατικός νόμος για το έδαφος. Ο ρυθμός αύξησης των τιμών του A_h εξαρτάται κυρίως από τη διαφοροποίηση που επιφέρει η ένταση της διέγερσης στην εδαφική ενίσχυση (υπό 1Δ συνθήκες). Πιο συγκεκριμένα, η αύξηση της έντασης της διέγερσης δρα ελαφρώς μειωτικά στη 1Δ εδαφική ενίσχυση, όταν η εδαφική στρώση απέχει απ' το συντονισμό ή όταν το έδαφος εμφανίζει ούτως ή άλλως ελαφρά μη-γραμμικότητα ακόμη και πλησίον του συντονισμού (π.χ. όταν πρόκειται για πλαστική άργιλο με PI=50%). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ελαφρά αύξηση των τιμών του A_h. Αντιθέτως, η αύξηση της έντασης της διέγερσης δρα έντονα μειωτικά στη 1Δ εδαφική ενίσχυση όταν η εδαφική στρώση είναι πλησίον του συντονισμού, ειδικά αν το έδαφος είναι έντονα μη-γραμμικό (π.χ. μη συνεκτικό με PI=0%). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση των οριζόντιων γεωμορφικών ενισχύσεων καθώς αυξάνεται η ένταση της διέγερσης.
    - ❖ Όταν χρησιμοποιείται μη-γραμμικός καταστατικός νόμος για το έδαφος, παρατηρείται σημαντική αύξηση των κατακόρυφων γεωμορφικών ενισχύσεων με την αύξηση της έντασης της διέγερσης. Οι αυξήσεις αυτές οφείλονται τόσο σε αύξηση των παρασιτικών κατακόρυφων επιταχύνσεων όσο και στην απομείωση των 1Δ οριζοντίων ενισχύσεων σύμφωνα με όσα αναφέρονται και ανωτέρω. Ως εκ τούτου, οι μη-γραμμικές αναλύσεις δίνουν τιμές του A_v που είναι σαφώς μεγαλύτερες εκείνων από τις ιξωδοελαστικές αναλύσεις. Οι υψηλές αυτές τιμές των παρασιτικών κατακόρυφων επιταχύνσεων σε μη-γραμμικές αναλύσεις, ειδικά για μεγάλης έντασης διεγέρσεις, είναι ένα θέμα που πρέπει να διερευνηθεί

περαιτέρω, π.χ. με ανάλυση σήματος των χρονοϊστοριών επιτάχυνσης που προκύπτουν για τη διερεύνηση της αξιοπιστίας των παλμών (αφαίρεση εξαιρετικά υψίσυχνων αρμονικών, που δεν έχουν πρακτικό ενδιαφέρον για έργα πολιτικού μηχανικού).

- Η επίδραση του αδιάστατου πάχους λ/Η στις μη γραμμικές αναλύσεις είναι ανάλογη με αυτή στις ιξωδοελαστικές αναλύσεις. Πιο συγκεκριμένα,
  - ❖ Το αδιάστατο πάχος λ/Η αλλάζει τη χωρική διαφοροποίηση των οριζόντιων και κατακόρυφων γεωμορφικών ενισχύσεων και στις μη γραμμικές αναλύσεις. Πιο αναλυτικά, σε όλες τις μη γραμμικές αναλύσεις ανεξάρτητα από την ένταση της διέγερσης παρατηρείται μετάβαση των σημαντικών ενισχύσεων προς τα άκρα της λεκάνης καθώς αυξάνεται ο αδιάστατος λόγος λ/Η (μικραίνει το πάχος της λεκάνης).
  - ❖ Σχετικά με την επίδραση της παραμέτρου λ/Η στις τιμές των συντελεστών οριζόντιων και κατακόρυφων γεωμορφικών ενισχύσεων προκύπτει μειωτική επίδραση στις τιμές του A_h, για κάθε επίπεδο έντασης στις μη-γραμμικές αναλύσεις, όπως και στις ιξωδοελαστικές. Αντιθέτως, η μειωτική επίδραση του λ/Η και στις τιμές της A_v γίνεται λιγότερο έντονη όσο αυξάνει η ένταση της διέγερσης, και μπορεί και να αντιστραφεί η εικόνα για μεγάλης έντασης διέγερση.
- Η επίδραση του αδιάστατου πλάτους Β/λ στις μη γραμμικές αναλύσεις συμφωνεί με εκείνη των ιξωδοελαστικών αναλύσεων ποιοτικά, αλλά διαφοροποιείται ποσοτικά. Πιο συγκεκριμένα,
  - ❖ Το αδιάστατο πλάτος Β/λ αλλάζει τη χωρική διαφοροποίηση των οριζόντιων και κατακόρυφων γεωμορφικών ενισχύσεων και στις μη γραμμικές αναλύσεις. Πιο αναλυτικά, σε όλες τις μη γραμμικές αναλύσεις ανεξάρτητα από την ένταση της διέγερσης παρατηρείται μετάβαση των σημαντικών ενισχύσεων προς τα άκρα της λεκάνης καθώς αυξάνεται η τιμή της αδιάστατης παραμέτρου Β/λ (αυξάνει το εύρος της λεκάνης).
  - ❖ Σχετικά με την επίδραση της παραμέτρου Β/λ στις τιμές του συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής επιδείνωσης A_h προκύπτει ότι σε μεσαίες και μεγάλης έντασης διεγέρσεις, η στενή εδαφική κοιλάδα δίνει μεγαλύτερες μέγιστες τιμές, απ' ότι η ευρεία κοιλάδα. Αυτό δεν ισχύει για μικρής έντασης διεγέρσεις ή ιξωδοελαστικές αναλύσεις, όπου δεν υπάρχει ουσιώδης διαφορά στις τιμές. Στην κατακόρυφη διεύθυνση (συντελεστής A_v) η μεταβολή της παραμέτρου Β/λ δεν επιφέρει πρακτικά διαφοροποίηση στις τιμές του συντελεστή A_v στις μη γραμμικές αναλύσεις μικρής έντασης, όπως και στις ιξωδοελαστικές. Αντίθετα, στις μη γραμμικές αναλύσεις μεσαίας και μεγάλης έντασης το αδιάστατο πλάτος Β/λ δρα μειωτικά στις κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις.

- Ο αριθμός σημαντικών κύκλων της διέγερσης δεν αλλάζει ποιοτικώς τη χωρική διαφοροποίηση της γεωμορφικής επιδείνωσης. Ποσοτικά όμως, η διέγερση με τους 4 σημαντικούς κύκλους φόρτισης (Κοζάνη) οδηγεί συστηματικά σε μεγαλύτερες οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις συγκριτικά με τη διέγερση που χαρακτηρίζεται από 1 σημαντικό κύκλο φόρτισης (Αίγιο), αν η ανάλυση είναι μη-γραμμική, και για όλα τα επίπεδα έντασης. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τις ιξωδοελαστικές αναλύσεις που φαίνεται να επιφέρουν πρακτικά ίδιες γεωμορφικές ενισχύσεις, ειδικά στην οριζόντια διεύθυνση.
- Η αύξηση του δείκτη πλαστιμότητας PI(%) του εδάφους ισοδυναμεί με μείωση της μη-γραμμικότητας του. Μια τέτοια αλλαγή δεν αλλάζει ποιοτικά τη χωρική διαφοροποίηση της γεωμορφικής επιδείνωσης, αλλά επιφέρει μείωση των οριζόντιων A_h και κατακόρυφων A_v γεωμορφικών ενισχύσεων. Μάλιστα, όσο αυξάνεται η ένταση της διέγερσης τόσο πιο πολύ διαφοροποιούνται οι τιμές των συντελεστών A_h και A_v του συνεκτικού και του μη συνεκτικού εδάφους. Αυτό γιατί όσο αυξάνεται η ένταση της διέγερσης, η συμπεριφορά του εδάφους γίνεται πιο μη γραμμική, και συνεπώς η απόκλιση στην απόκριση ενός συνεκτικού από ένα μη συνεκτικό έδαφος όλο και μεγαλώνει.
- Ως γενικός κανόνας προκύπτει ότι η ιξωδοελαστική απόκριση προσεγγίζει ικανοποιητικά την απόκριση της μη-γραμμικής ανάλυσης μικρής έντασης για όλα τα έντονα μη-γραμμικά εδάφη (πχ. μη συνεκτικά με δείκτη πλαστιμότητας PI=0%), και υποεκτιμά τις τιμές των A_h και A_v για μέτριες ή μεγάλες επιταχύνσεις. Αντιθέτως, για εδάφη λιγότερο μη-γραμμικά (π.χ. συνεκτικά με δείκτη πλαστιμότητας PI=50%), η ιξωδοελαστική θεώρηση προσεγγίζει ικανοποιητικά την απόκριση της μη-γραμμικής ανάλυσης μέτριας έντασης, υπερεκτιμά τις τιμές των A_h και A_v για μικρές επιταχύνσεις, ενώ το ανάποδο ισχύει για μεγάλες επιταχύνσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ

7.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η εργασία αφορά στην παραμετρική διερεύνηση του προβλήματος της (γεωμορφικής) επιδείνωσης της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης στην επιφάνεια του εδάφους αλλουβιακών κοιλάδων. Για το σκοπό αυτό εκτελέσθηκαν 2Δ αριθμητικές αναλύσεις σεισμικής απόκρισης για ομοιόμορφες τραπεζοειδείς λεκάνες επί ιξωδο-ελαστικού υποβάθρου, με διεγέρσεις που αφορούν κατακορύφως προσπίπτοντα κύματα SV με χρονοϊστορίες που βασίζονται σε σεισμικές καταγραφές (Αίγιο, Κοζάνη 1995).

Ειδικότερα, στόχος της εργασίας είναι η αναίρεση ορισμένων περιορισμών που έχουν ληφθεί υπόψη στην αναλυτική και αριθμητική μελέτη του προβλήματος στη βιβλιογραφία. Πιο συγκεκριμένα, χάριν απλότητας, η βιβλιογραφία συνήθως επικεντρώνεται σε ομοιόμορφες συμμετρικές λεκάνες (διαφόρων σχημάτων), που έχουν οριζόντια επιφάνεια αναγλύφου και στις οποίες το έδαφος και ο βράχος θεωρούνται ομοιόμορφα (ιξωδο-) ελαστικά υλικά. Για την ποσοτικοποίηση της γεωμορφικής επιδείνωσης στην οριζόντια διεύθυνση ορίζεται ο λόγος A_h της μέγιστης οριζόντιας επιτάχυνσης σε κάθε θέση, προς την αντίστοιχη τιμή υπό 1Δ συνθήκες ταλάντωσης στην ίδια θέση. Αντίστοιχα, ορίζεται ο λόγος A_v σε κάθε θέση, με τον αριθμητή να έχει ως τιμή τη μέγιστη (παρασιτική) κατακόρυφη επιτάχυνση σε κάθε θέση, και τον παρονομαστή να είναι εκείνος του A_h, δεδομένου ότι δεν υπάρχει κατακόρυφη ταλάντωση υπό 1Δ συνθήκες.

Αρχικά, μελετήθηκε η επίδραση της μη-συμμετρίας της εδαφικής λεκάνης (με τα δύο θαμμένα πρανή της να έχουν διαφορετική γωνία κλίσης i) στη γεωμορφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας A_h και της παρασιτικής κατακόρυφης A_v επιτάχυνσης στην επιφάνεια του εδάφους. Στη συνέχεια, μελετήθηκε η αλληλεπίδραση της τοπογραφίας αναγλύφου και μορφολογίας υποβάθρου στη σεισμική απόκριση. Τέλος, μελετήθηκε η επίδραση της χρήσης ενός μη-γραμμικού υστερητικού προσομοιώματος (τύπου Ramberg-Osgood) για το έδαφος, αντί για τη συνήθη θεώρηση ιξωδο-ελαστικής συμπεριφοράς. Τα κυριότερα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας συνοψίζονται στην παράγραφο 7.2, ενώ οι περιορισμοί της παρούσας έρευνας συνοψίζονται στην παράγραφο 7.3, όπου σκιαγραφείται και η πιθανή μελλοντική έρευνα σε αντίστοιχο αντικείμενο.

7.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν για τη μελέτη της μη-συμμετρίας της εδαφικής λεκάνης στη γεωμορφική επιδείνωση της μέγιστης οριζόντιας A_h και της παρασιτικής κατακόρυφης A_v επιτάχυνσης στην επιφάνεια του εδάφους προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

Σχετικά με τη γεωμορφική επιδείνωση «στενών» μη-συμμετρικών κοιλάδων προέκυψαν τα κάτωθι συμπεράσματα:

- Ταύτιση της σεισμικής απόκρισης της μη-συμμετρικής κοιλάδας με εκείνες των συζυγών συμμετρικών στην περιοχή των άκρων, τόσο για τις οριζόντιες (A_h) όσο και για τις κατακόρυφες (A_v) γεωμορφικές ενισχύσεις. Επίσης, προκύπτει αντίστοιχη ταύτιση της σεισμικής απόκρισης και εκτός των ορίων της κοιλάδας, στους αναδυόμενους βράχους εκατέρωθεν.
- Απόκλιση της σεισμικής απόκρισης της μη-συμμετρικής κοιλάδας από εκείνες των συζυγών συμμετρικών, στην περιοχή του κέντρου τόσο για τις οριζόντιες (A_h) όσο και για τις κατακόρυφες (A_v) γεωμορφικές ενισχύσεις, και αυτό ως αποτέλεσμα της έντονης αλληλεπίδρασης των ανόμοιων πρανών σε «στενές» κοιλάδες, ειδικά στην περιοχή του κέντρου.
  - ❖ Η απόκλιση της σεισμικής απόκρισης στην περιοχή του κέντρου για το συντελεστή A_h είναι αρκετά σημαντική, κυρίως όταν η μία από τις δύο κλίσεις πρανών είναι μικρή. Κι αυτό γιατί η μικρή τιμή της i σε ένα τουλάχιστον πρανές συντελεί στην εμφάνιση σημαντικών A_h στην περιοχή του κέντρου, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για μεγάλη τιμή i.
  - ❖ Η απόκλιση της σεισμικής απόκρισης στην περιοχή του κέντρου για το συντελεστή A_v είναι σημαντική ποσοστιαία, αλλά μικρής πρακτικής σημασίας δεδομένου ότι οι μέγιστες τιμές A_v ούτως ή άλλως εμφανίζονται πάντα στην περιοχή των άκρων. Η θεώρηση μιας «μέσης» απόκρισης δε λειτουργεί σε καμία περίπτωση εδώ.

Για τις «ευρείες» μη-συμμετρικές κοιλάδες:

- Προκύπτει τέλεια ταύτιση της σεισμικής απόκρισης της μη-συμμετρικής λεκάνης με τις αντίστοιχες αποκρίσεις της εκάστοτε συμμετρικής λεκάνης, τόσο για τις οριζόντιες (A_h) όσο και για τις κατακόρυφες (A_v) γεωμορφικές ενισχύσεις σε όλο το μήκος της λεκάνης, επειδή δεν υπάρχει αλληλεπίδραση των πρανών (πέραν του μη-μηδενισμού της Αν στο κέντρο της μη-συμμετρικής κοιλάδας).

Σχετικά με την αλληλεπίδραση των 2 πρανών κλειστών κοιλάδων:

- Προκύπτει τέλεια ταύτιση των αποκρίσεων της μονοκλινούς λεκάνης με την αντίστοιχη περιοχή της «ευρείας» συμμετρικής (ή μη) λεκάνης, τόσο για τις οριζόντιες (A_h) όσο και για τις κατακόρυφες (A_v) γεωμορφικές ενισχύσεις στο

αντίστοιχο ημιεύρος της λεκάνης (από x/B=-0.5 έως x/B=0) και στο αναδυόμενο υπόβαθρο εξωτερικά αυτής, ενώ

- Η απόκριση της μονοκλινούς κοιλάδας συγκλίνει με αυτές των «στενών» λεκανών (συμμετρικών ή μη) μόνο στα άκρα της λεκάνης (και στο αναδυόμενο υπόβαθρο εξωτερικά αυτής). Αντίθετα, η αλληλεπίδραση των 2 πρανών προκαλεί απόκλιση των αποκρίσεων της μονοκλινούς κοιλάδας από εκείνες των κλειστών «στενών» λεκανών όσο απομακρυνόμαστε από το άκρο της.
- Η αλληλεπίδραση είναι λιγότερο έντονη όσο αυξάνει η γωνία κλίσης των πρανών, και μάλιστα για i=90° ακόμη και μια «στενή» κοιλάδα με B/λ=4 μπορεί να μην εμφανίζει ουσιώδη αλληλεπίδραση των πρανών της.

Οι μέγιστες τιμές των οριζόντιων και κατακόρυφων γεωμορφικών ενισχύσεων A_{hmax} και A_{vmax} εμφανίζονται πάντα σε εκείνη την περιοχή της μη-συμμετρικής λεκάνης με το μεγαλύτερης κλίσης πρανές.

Στη συνέχεια σχετικά με την αλληλεπίδραση τοπογραφίας αναγλύφου και μορφολογίας υποβάθρου προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- Η εδαφική λεκάνη δεν επηρεάζει τη σεισμική απόκριση στα αναδυόμενα πρανή υποβάθρου. Με άλλα λόγια, οι τιμές των οριζόντιων και κατακόρυφων ενισχύσεων της σεισμικής κίνησης, στην περιοχή εκτός των ορίων μιας εδαφικής λεκάνης που έχει υπερυψωμένα πρανή, εξαρτώνται μόνο από το πόσο έντονη είναι η τοπογραφία του αναγλύφου (δηλαδή πόσο είναι το ύψος του πρανούς που εξέχει από την επιφάνεια, ή και πιθανώς την κλίση του), κι όχι από το αν το υλικό στη βάση του πρανούς είναι βραχώδες ή εδαφικό.
- Αντιθέτως, η ύπαρξη υπερυψωμένων πρανών επηρεάζει τη γεωμορφική επιδείνωση εντός της κοιλάδας, και ειδικότερα οδηγεί:
  - ❖ Στην αύξηση των σημαντικών τιμών του συντελεστή A_h και την εμφάνιση των μεγίστων τιμών αυτού σε μεγαλύτερη απόσταση από τα όρια της λεκάνης. Η επίδραση αυτή είναι μικρή σε περιπτώσεις «μονοκλινών» ή «ευρείων» κοιλάδων, αλλά σημαντική σε περιπτώσεις «στενών» κοιλάδων όπου οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται στο κέντρο τους. Στις «στενές» κοιλάδες ειδικότερα, η ύπαρξη και ενός μόνο υπερυψωμένου πρανούς οδηγεί σε προσαύξηση των μεγίστων τιμών, ενώ η ταυτόχρονη ύπαρξη και δεύτερου πρανούς οδηγεί σε περαιτέρω προσαύξηση λόγω αλληλεπίδρασης
  - ❖ Στην πολύ μικρή μείωση των σημαντικών τιμών του συντελεστή A_v (πρακτικά αμελητέα) και την εμφάνιση των μεγίστων τιμών αυτού σε μεγαλύτερη απόσταση από τα όρια της λεκάνης, κυρίως σε «στενές» κοιλάδες και λιγότερο στις «ευρείες» ή «μονοκλινείς» κοιλάδες.

Επισημαίνεται ότι στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν δύο εκφάνσεις έλλειψης συμμετρίας στη γεωμορφολογία, είτε αυτή αφορά το θαμμένο υπόβαθρο

(διαφορετικής κλίσης πρανή υποβάθρου κάτω από την επιφάνεια), είτε αυτή αφορά το αναδυόμενο υπόβαθρο (διαφορετικού ύψους πρανή αναγλύφου). Προκύπτει ότι και για τις δύο αυτές εκφάνσεις μη-συμμετρίας ισχύει ότι η σεισμική απόκριση της μη-συμμετρικής γεωμορφολογίας εκτός της εδαφικής λεκάνης, ταυτίζεται με εκείνη που προκύπτει από θεώρηση «μονοκλινούς» γεωμορφολογίας. Η ταύτιση αυτή στις οριζόντιες ενισχύσεις A_h εξακολουθεί σε όλο το μήκος της κλειστής λεκάνης αν αυτή είναι «ευρεία», ενώ περιορίζεται στα ακραία όρια της λεκάνης αν αυτή είναι «στενή». Αντίθετα, σε ότι αφορά στις παρασιτικές κατακόρυφες ενισχύσεις A_v παρατηρείται ταύτιση της σεισμικής απόκρισης, τόσο εντός όσο και εκτός των ορίων της λεκάνης, ανεξαρτήτως εύρους αυτής.

Τέλος, από τη μελέτη της γεωμορφικής επιδείνωσης της σεισμικής κίνησης αν το έδαφος στην κοιλάδα προσομοιώνεται με μη γραμμικό και όχι με ιξωδο-ελαστικό προσομοίωμα προκύπτουν τα κάτωθι συμπεράσματα:

- Η χωρική διαφοροποίηση των οριζοντίων A_h και κατακορύφων παρασιτικών A_v γεωμορφικών ενισχύσεων στις μη-γραμμικές αναλύσεις δεν παρουσιάζουν ποιοτικές διαφορές με τα αποτελέσματα των ιξωδοελαστικών αναλύσεων που αποτελούν την πλειοψηφία των αναλύσεων αυτής της εργασίας.
- Όμως, η χρήση μη-γραμμικού προσομοιώματος για το έδαφος της κοιλάδας, αντί για τη συνηθέστερη ιξωδο-ελαστική θεώρηση επιφέρει ποσοτικές διαφοροποιήσεις στους συντελεστές οριζόντιας A_h και κατακόρυφης παρασιτικής A_v γεωμορφικής επιδείνωσης. Πιο συγκεκριμένα:
    - ❖ Η ένταση της διέγερσης δρα ελαφρώς ή σημαντικώς αυξητικά στο συντελεστή οριζόντιας γεωμορφικής επιδείνωσης A_h, όταν χρησιμοποιείται μη-γραμμικός καταστατικός νόμος για το έδαφος. Ο ρυθμός αύξησης των τιμών του A_h εξαρτάται κυρίως από τη διαφοροποίηση που επιφέρει η ένταση της διέγερσης στην εδαφική ενίσχυση (υπό 1Δ συνθήκες).
    - ❖ Όταν χρησιμοποιείται μη-γραμμικός καταστατικός νόμος για το έδαφος, παρατηρείται σημαντική αύξηση των κατακόρυφων γεωμορφικών ενισχύσεων με την αύξηση της έντασης της διέγερσης. Οι αυξήσεις αυτές οφείλονται τόσο σε αύξηση των παρασιτικών κατακόρυφων επιταχύνσεων όσο και στην απομείωση των 1Δ οριζοντίων ενισχύσεων σύμφωνα με όσα αναφέρονται και ανωτέρω.
- Ο αριθμός σημαντικών κύκλων της διέγερσης δεν αλλάζει ποιοτικώς τη χωρική διαφοροποίηση της γεωμορφικής επιδείνωσης. Ποσοτικά όμως, η διέγερση με τους 4 σημαντικούς κύκλους φόρτισης (Κοζάνη) οδηγεί συστηματικά σε μεγαλύτερες οριζόντιες και κατακόρυφες γεωμορφικές ενισχύσεις συγκριτικά με τη διέγερση που χαρακτηρίζεται από 1 σημαντικό κύκλο φόρτισης (Αίγιο), αν η ανάλυση είναι μη-γραμμική, και για όλα τα επίπεδα έντασης. Αυτό έρχεται σε

αντίθεση με τις ιξωδοελαστικές αναλύσεις που φαίνεται να επιφέρουν πρακτικά ίδιες γεωμορφικές ενισχύσεις, ειδικά στην οριζόντια διεύθυνση.

- Η αύξηση του δείκτη πλαστιμότητας PI(%) του εδάφους ισοδυναμεί με μείωση της μη-γραμμικότητας του. Μια τέτοια αλλαγή δεν αλλάζει ποιοτικά τη χωρική διαφοροποίηση της γεωμορφικής επιδείνωσης, αλλά επιφέρει μείωση των οριζόντιων A_h και κατακόρυφων A_v γεωμορφικών ενισχύσεων. Μάλιστα, όσο αυξάνεται η ένταση της διέγερσης τόσο πιο πολύ διαφοροποιούνται οι τιμές των συντελεστών A_h και A_v του συνεκτικού και του μη συνεκτικού εδάφους. Αυτό γιατί όσο αυξάνεται η ένταση της διέγερσης, η συμπεριφορά του εδάφους γίνεται πιο μη γραμμική, και συνεπώς η απόκλιση στην απόκριση ενός συνεκτικού από ένα μη συνεκτικό έδαφος όλο και μεγαλώνει.
- Ως γενικός κανόνας προκύπτει ότι η ιξωδοελαστική απόκριση προσεγγίζει ικανοποιητικά την απόκριση της μη-γραμμικής ανάλυσης μικρής έντασης για όλα τα έντονα μη-γραμμικά εδάφη (πχ. μη συνεκτικά με δείκτη πλαστιμότητας PI=0%), και υποεκτιμά τις τιμές των A_h και A_v για μέτριες ή μεγάλες επιταχύνσεις. Αντιθέτως, για εδάφη λιγότερο μη-γραμμικά (π.χ. συνεκτικά με δείκτη πλαστιμότητας PI=50%), η ιξωδοελαστική θεώρηση προσεγγίζει ικανοποιητικά την απόκριση της μη-γραμμικής ανάλυσης μέτριας έντασης, υπερεκτιμά τις τιμές των A_h και A_v για μικρές επιταχύνσεις, ενώ το ανάποδο ισχύει για μεγάλες επιταχύνσεις.

7.3 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η συγκεκριμένη εργασία και τα συμπεράσματα της αφορούν περιπτώσεις 2Δ εδαφικής λεκάνης τραπεζοειδούς μορφής με ομοιόμορφο έδαφος επί ιξωδο-ελαστικού βραχώδους υποβάθρου το οποίο διεγείρεται με κατακόρυφα κύματα SV με τη μορφή πραγματικών χρονοϊστοριών με πολλούς και λίγους σημαντικούς κύκλους φόρτισης. Μελετήθηκαν μη-συμμετρικές εδαφικές λεκάνες (με τα δύο θαμμένα πρανή της να έχουν διαφορετική γωνία κλίσης i) καθώς επίσης και εδαφικές λεκάνες με μη οριζόντια επιφάνεια αναγλύφου θεωρώντας ιξωδο-ελαστικό έδαφος. Επιπλέον, μελετήθηκε η επίδραση της χρήσης ενός μη-γραμμικού υστερητικού προσομοιώματος (τύπου Ramberg-Osgood) για το έδαφος, αντί για τη συνήθη θεώρηση ιξωδο-ελαστικής συμπεριφοράς. Συνεπώς, η μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να στοχεύσει στην περεταίρω διερεύνηση των ανωτέρω θεμάτων. Για παράδειγμα, θα μπορούσαν να διερευνηθούν διεξοδικά 2Δ λεκάνες τριγωνικής ή και άλλου είδους μορφής, (ελλειπτική, ημικυκλική) ή να γίνουν αναλύσεις για πιο ρεαλιστικές 3Δ γεωμετρίες υποβάθρου. Ακόμη, στην παρούσα εργασία θεωρήθηκε ίδια πυκνότητα σε έδαφος και βράχο, με αποτέλεσμα ο λόγος εμπέδησης να είναι το πηλίκο των V_s και V_b, κάτι το οποίο θα μπορούσε να διερευνηθεί παραπάνω. Τέλος, θα μπορούσε να διερευνηθεί

και η επίδραση της γωνίας πρόσπτωσης των κυμάτων από το υπόβαθρο, κάτι που θα οδηγούσε σε μη συμμετρική απόκριση ακόμη και συμμετρικών λεκανών ομοιόμορφου εδάφους.

Πέραν των ανωτέρω, και με οδηγό τις ήδη πραγματοποιηθείσες αναλύσεις, στο μέλλον θα μπορούσαν να γίνουν συμπληρωματικές αναλύσεις που να καλύπτουν περισσότερες περιπτώσεις τοπογραφίας αναγλύφου. Επιπλέον, αξίζει να διεξαχθούν περισσότερες μη γραμμικές αναλύσεις για πλήρη κατανόηση και ερμηνεία της επίδρασης της χρήσης μη-γραμμικού προσομοιώματος για το έδαφος. Πιο σημαντικά όμως, η μελέτη θα μπορούσε να επεκταθεί στη γεωμορφική επιδείνωση ολόκληρου του ελαστικού φάσματος απόκρισης στην επιφάνεια του εδάφους, και όχι μόνο σε εκείνη της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Papadimitriou A. G., Tetta Z., Mellios M.(2011) "Numerical evaluation of basin effects on peak seismic acceleration at the ground surface" Proceedings, ERTC-12 Workshop on Geotechnical Aspects of EC8, Athens, September 11 2011
2. Μέλλιος και Τέττα (2010) "Γεωμορφική επιδείνωση της μέγιστης επιτάχυνσης του εδάφους υπό πραγματικές σεισμικές διεγέρσεις" Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Π.Θ
3. Pierre-Yves Bard, Jean-Christophe Gariel (1986) "The seismic response of two dimensional sedimentary deposits with large vertical velocity gradients" BSSA, Vol.76, No2, pp.343-346
4. F.J. Sanchez-Sesma, F.J. Chavez-Garcia, M.A. Bravo (1988) "Seismic response of a class of alluvial valleys for incident SH waves" BSSA, Vol.78, No1, pp.83-95
5. Corinne Lacave, Pierre-Yves Bard, Marc Kham, Martin G. Koller (2008) "2D equivalent linear site effect simulation: example applications to two deep valleys" Bull Earthquake Eng, 6:197-211
6. K. Makra, F.J. Chavez-Garcia, D. Raptakis, K. Pitilakis (2005) "Parametric analysis of the seismic response of a 2D sedimentary valley: implications for code implementations of complex site effects" Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 25 303-315
7. B.S. Bakir, M.Y. Ozkan, S. Ciliz (2002) "Effects of Basin edge on the distribution of damage in 1995 Dinar, Turkey earthquake" Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 22 335-345
8. J.F. Semblat, A.M. Duval , P. Dangla (2000) " Numerical Analysis of Seismic Wave Amplification in Nice (France) and comparisons with experiments" Soil Dynamics and Earthquake Engineering 19:347-362
9. F. Pergalani, R. de Franco, M. Compagnoni, G. Caielli (2006) "Evaluation of site effects using numerical and experimental analyses in Citta di Castello (Italy)" Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 26 941-951
10. Jian Zhang, John X. Zhao (2009) "Response spectral amplification ratios from 1- and 2- dimensional nonlinear soil site models" Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 29 563-573
11. C.G. Sun, C.K. Chung (2006) "Assessment of site effects of a shallow and wide basin using geotechnical information-based spatial characterization" Soil Dynamics and Earthquake Engineering 28:1028-1044
12. B. Gatmiri, C. Arson (2007) "Seismic site effects by an optimized 2D BE/FE method II. Quantification of site effects in two-dimensional sedimentary valleys" Soil Dynamics and Earthquake Engineering 28:646-661

13. P. N. Psarropoulos, T. Tazoh, G. Gazetas, M. Apostolou (2007) "Linear and nonlinear valley amplification effects on seismic ground motion" Soils and Foundations Journal
14. F. Gelagoti, R. Kourkoulis, I. Anastasopoulos, T.Tazoh, G.Gazetas (2010) "Seismic wave propagation in alluvial valleys: Sensitivity to ground motion 'details' and soil nonlinearity, Generation of parasitic vertical component", BSSA (in press)
15. T. Zheng, M. Dravinski (1999) "Amplification of waves by an orthotropic basin: sagittal plane motion" Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 28 565-584
16. J.F. Semblat, A.M. Duval, P. Dangla (2002) "Seismic site effects in a deep alluvial basin: numerical analysis by the boundary element method" Computers and Geotechnics, 29 573-585
17. F. Gelagoti, R. Kourkoulis, I. Anastasopoulos, G.Gazetas (2010) "Σεισμική αλληλεπίδραση εδάφους-θεμελιώσεως πλαισίου, σε περιοχές εντόνου γεωμορφικού αναγλύφου" Πρακτικά 6^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής (Βόλος 2010)