

5. Τοπογραφική Επιδείνωση του Σεισμικού Κραδασμού

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- 5.1 Τυπικές περιπτώσεις και μηχανισμοί
- 5.2 Σεισμολογικά δεδομένα
- 5.3 Οδηγίες-Κανονισμοί
- 5.4 Μέθοδοι υπολογισμού
- 5.5 Παραδείγματα αριθμητικών αναλύσεων

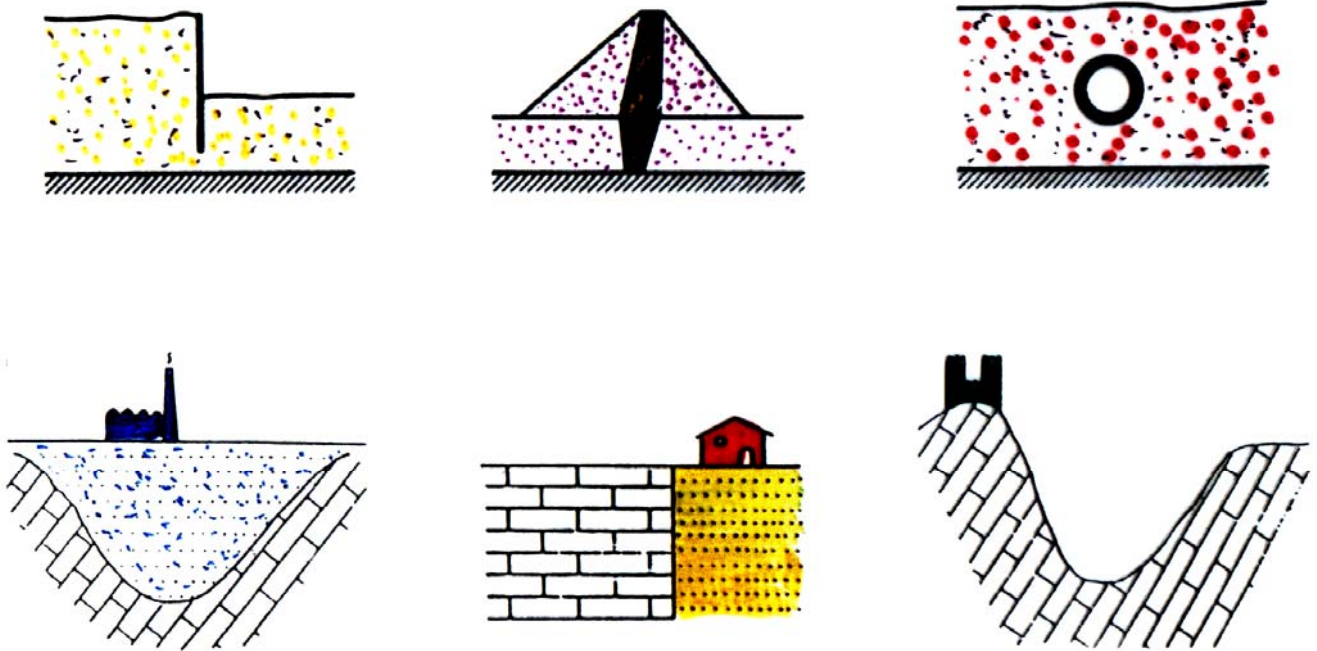
Πρόσθετο Διάβασμα

- **Steven Kramer:** Chapter 7 (7.3 & 7.4) και Chapter 8 (8.2.5)

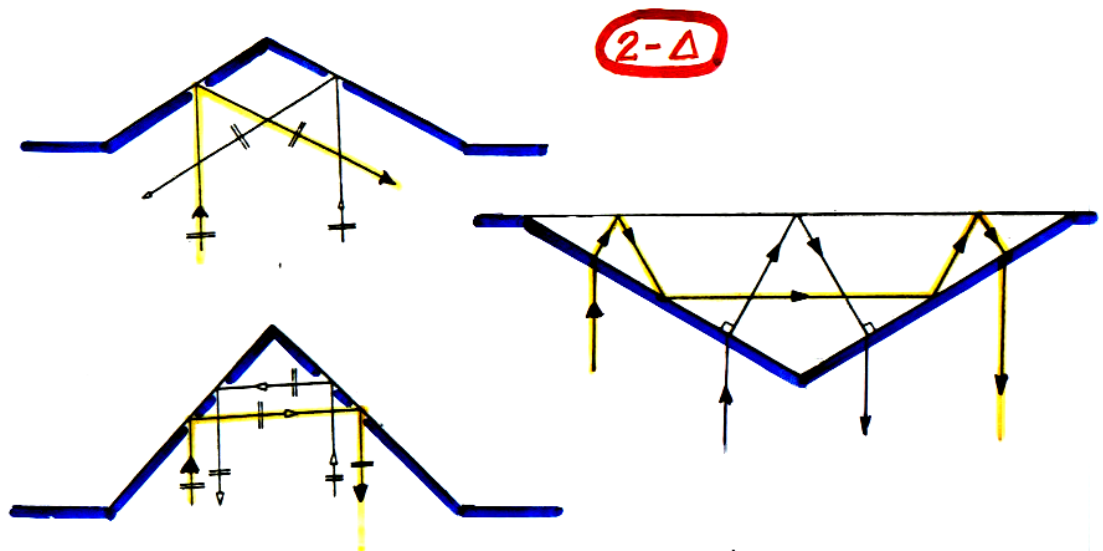
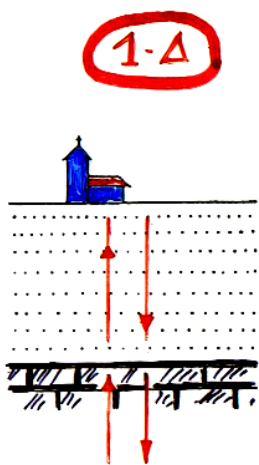
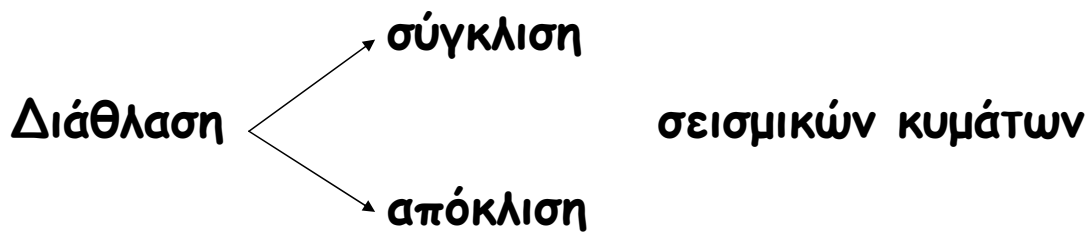
Εισαγωγική Σημείωση:

Σε αντίθεση με το πρόβλημα της «εδαφικής ενίσχυσης», το οποίο έχει διερευνηθεί αρκετά συστηματικά τα τελευταία 30 χρόνια και αποτελεί σήμερα αναπόσπαστο τμήμα του αντισεισμικού σχεδιασμού έργων υποδομής, το πρόβλημα της «τοπογραφικής επιδείνωσης» ευρίσκεται ακόμη στην πρώτη γραμμή της έρευνας και είναι πολλές οι πτυχές του που δεν έχουν κατανοηθεί. Για τον λόγο αυτό, τα σχετικά στοιχεία είναι περιορισμένα, όπως και οι αντίστοιχες διατάξεις των αντισεισμικών κανονισμών.

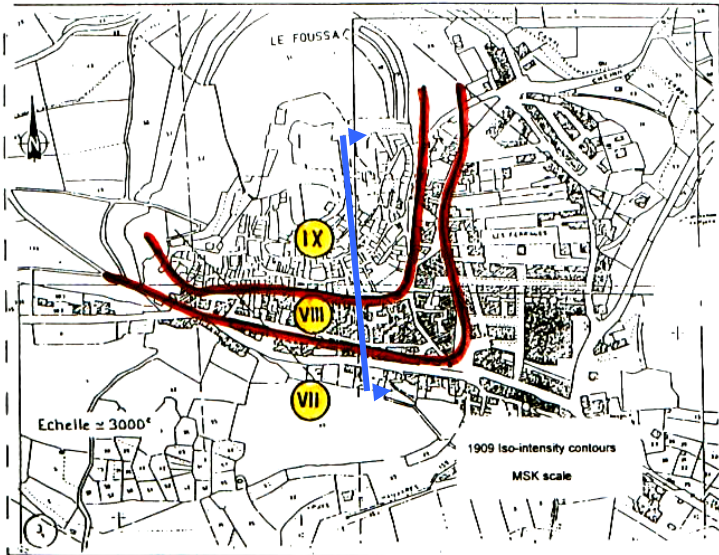
5.1 ΤΥΠΙΚΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ & ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ



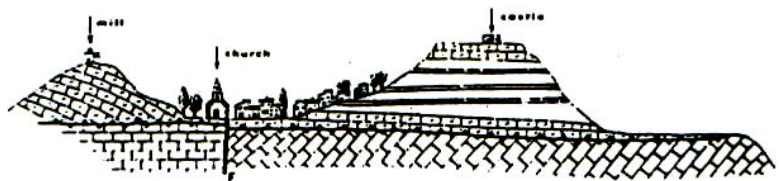
Βασικοί Μηχανισμοί



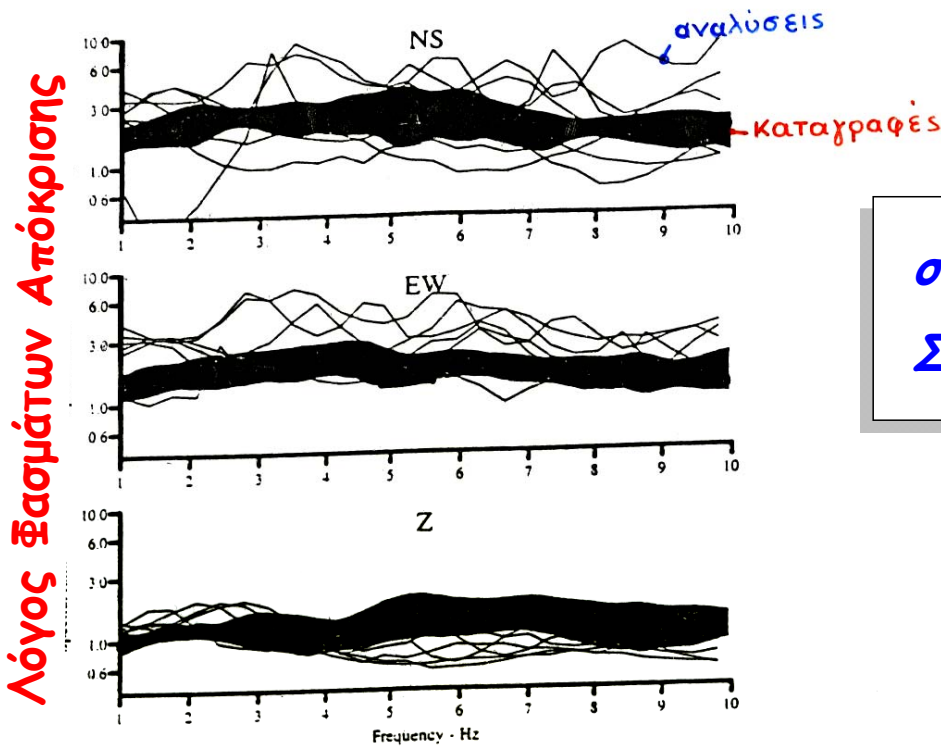
5.2 ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ



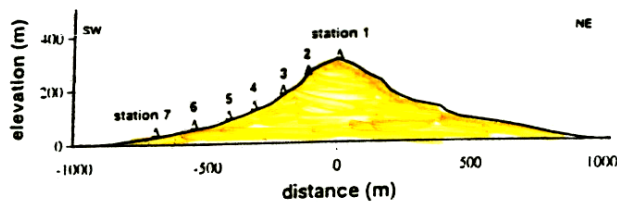
1909 Lambesc earthquake



- MOLASSIC DEPOSITS
- SANDS - SANDSTONE
- LIMESTONE
- FAULT
- UNCONFORMITY



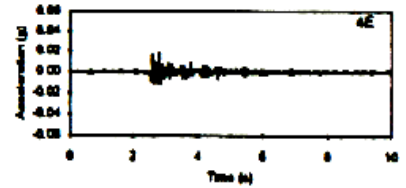
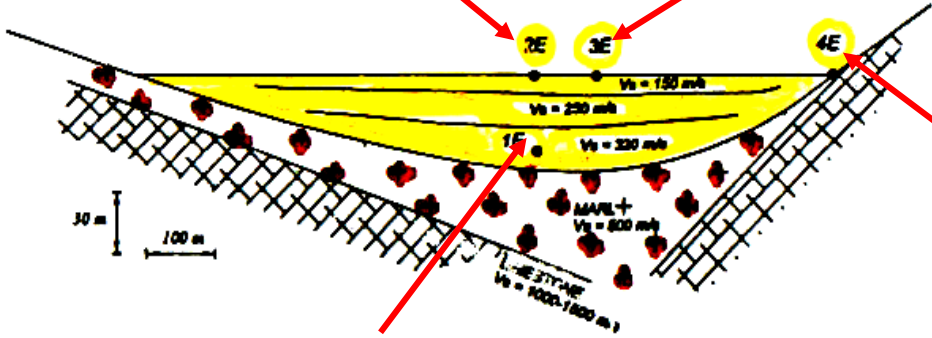
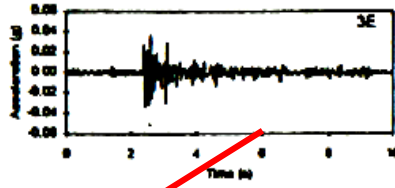
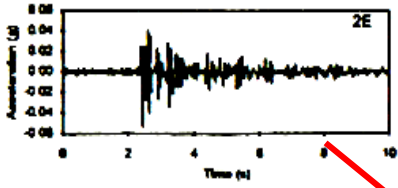
σεισμικό δίκτυο ΣΟΥΡΤΗΣ



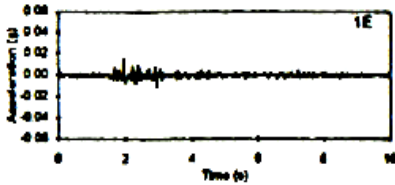
Σεισμικό δίκτυο ΚΕΦΑΛΟΝΙΑΣ

$a_{max} = 0.055g$

$a_{max} = 0.035g$

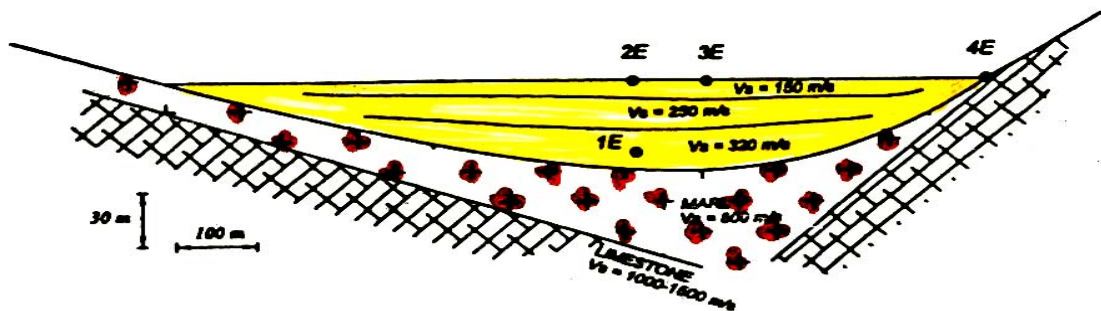
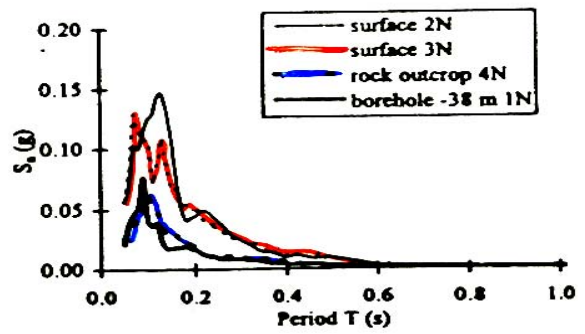
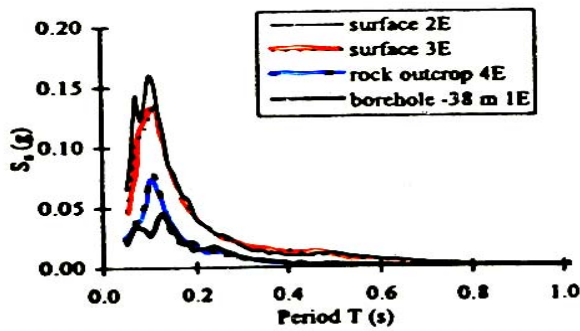


$a_{max} = 0.020g$

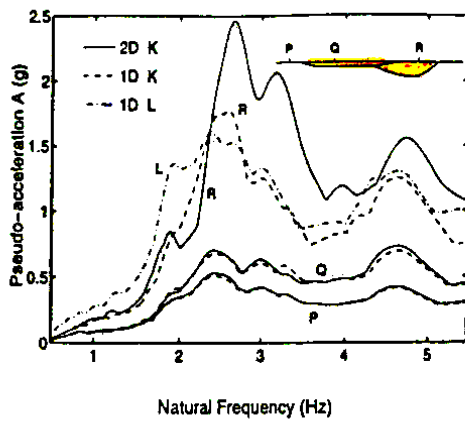
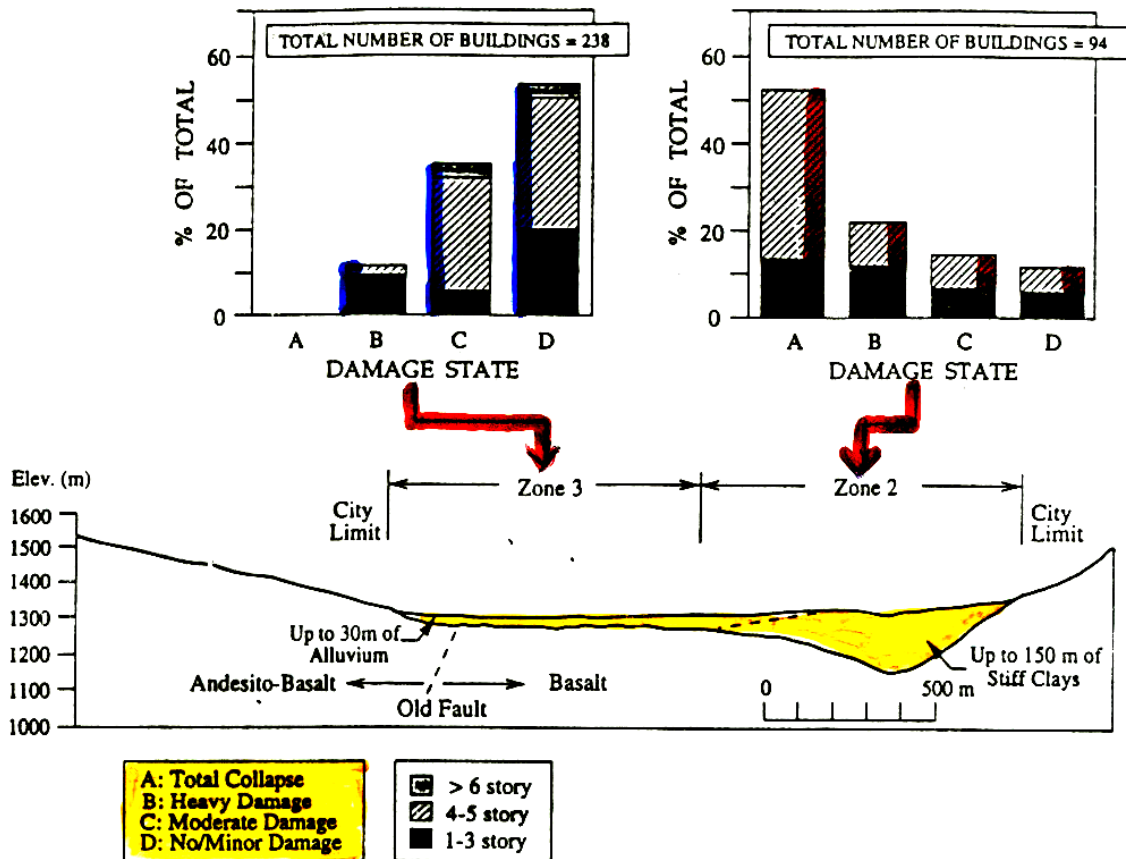


$a_{max} = 0.017g$

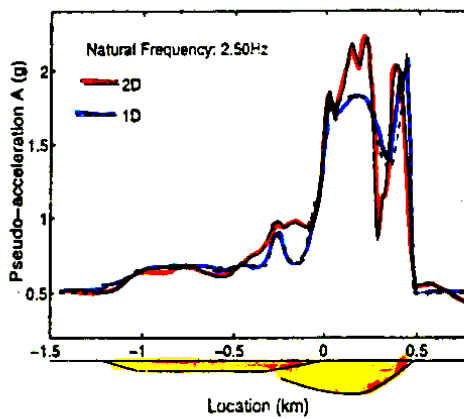
Σεισμικό δίκτυο ΚΕΦΑΛΟΝΙΑΣ



ΚΙΡΟΒΑΚΑΝ σεισμός ΑΡΜΕΝΙΑΣ 1988

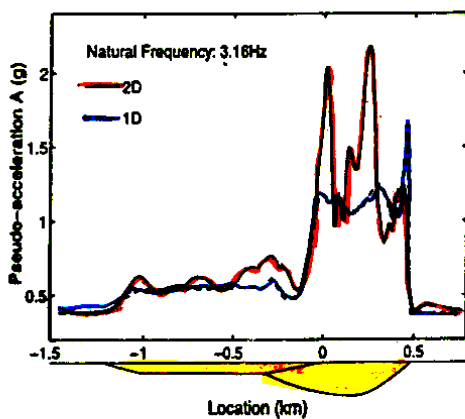


(a)

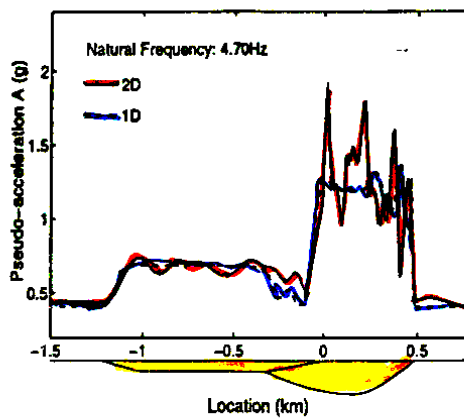


(b)

**ΚΙΡΟΒΑΚΑΝ
αναλύσεις
σεισμικής
απόκρισης**



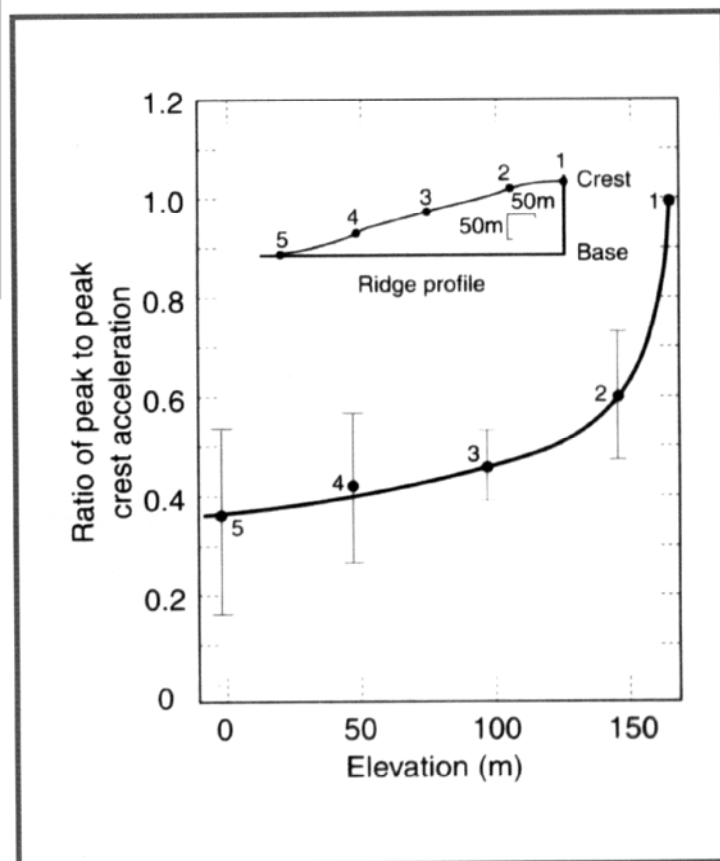
(c)



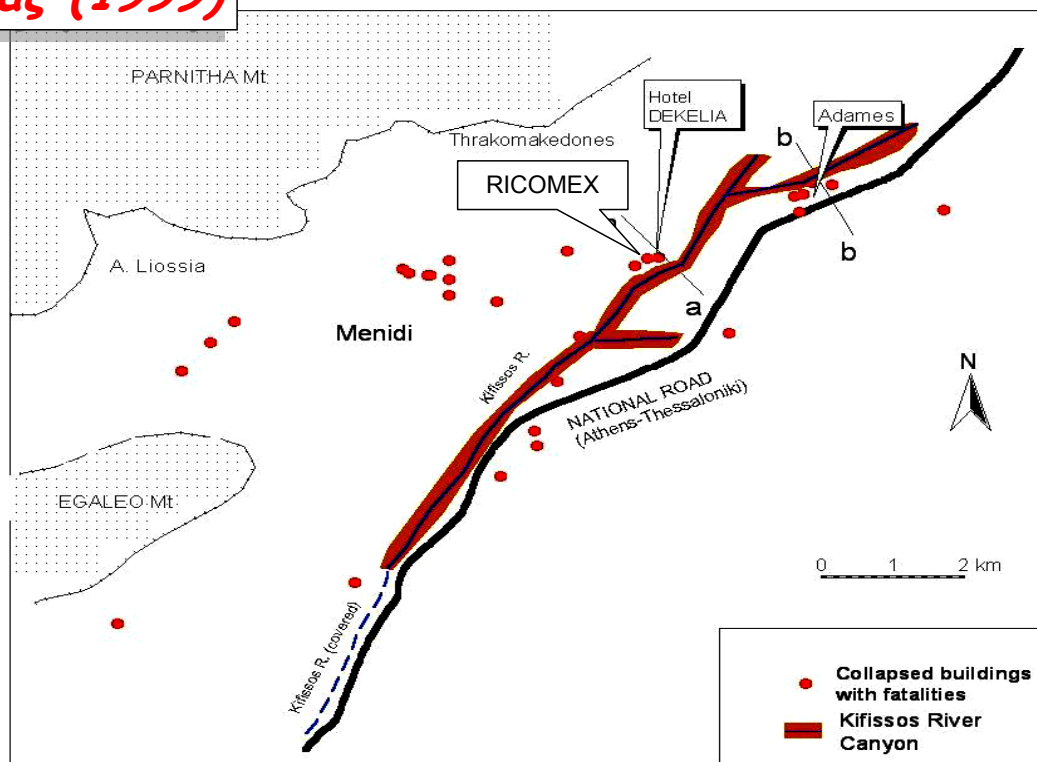
(d)

**σεισμικό δίκτυο
Matsuzaki, JAPAN
(5 σεισμοί)**

Η μέγιστη σεισμική επιτάχυνση στην κορυφή απότομων πρανών είναι ίση με ... 250% της επιτάχυνσης στους πρόποδες



**Σεισμός
Αθήνας (1999)**



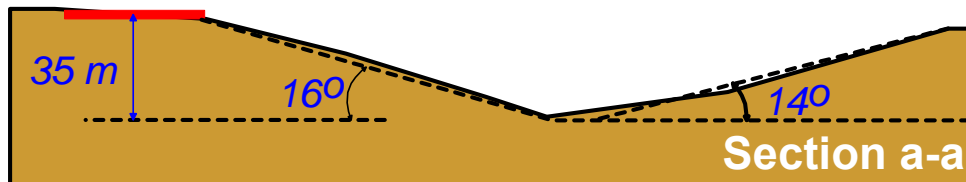
Συγκέντρωση βλαβών στην δυτική όχθη του ρέματος ΧΕΛΙΔΟΝΟΥΣ και στις ΑΔΑΜΕΣ

Εργοστάσιο RICOMEX (μετά τον σεισμό)



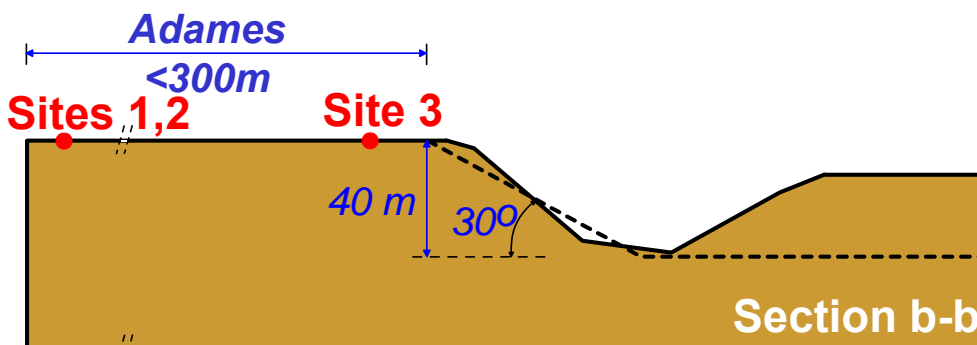
~40 m

Hotel DEKELIA



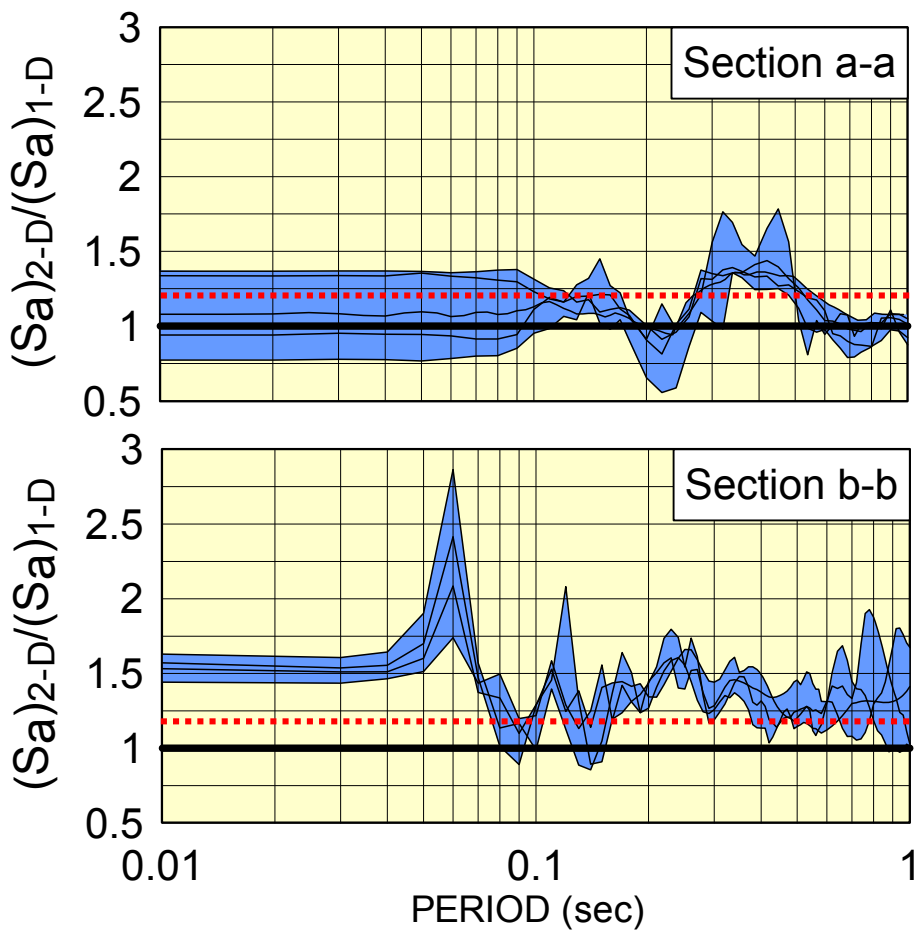
$\bar{V}_{s,30} = 380 \text{ m/sec}$
(NEHRP C)

Athanasopoulos et al.
(2001)



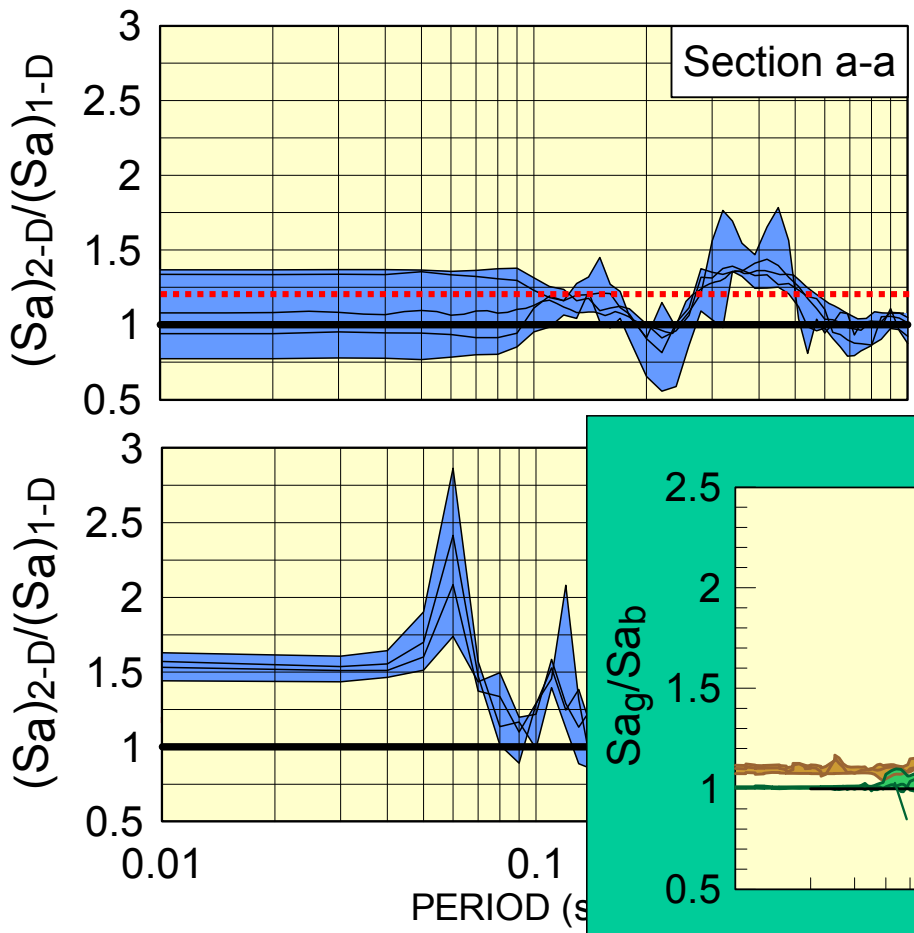
$\bar{V}_{s,30} = 370 \div 490 \text{ m/sec}$
(NEHRP C)

Kallou et al.
(2001)

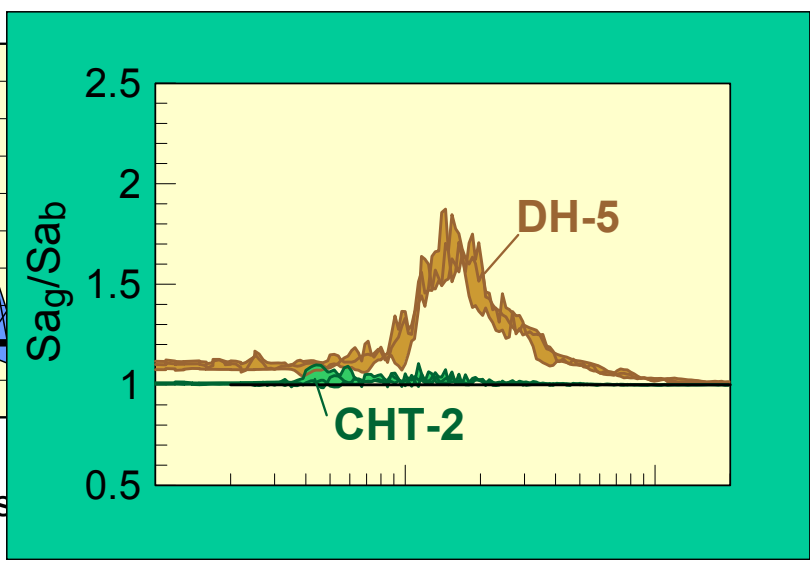


Συντελεστής
«τοπογραφικής
επιδείνωσης»
(από αριθμητικές
αναλύσεις)

..... EC-8



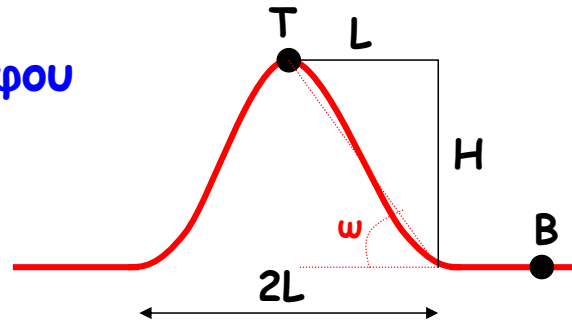
Συντελεστής
«τοπογραφικής
επιδείνωσης»



5.3 ΟΔΗΓΙΕΣ - ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

(A) GELI et al. (1988) για τοπογραφία μορφής λόφου

• Η σεισμική κίνηση στην κορυφή (σημείο T) είναι μεγαλύτερη από ότι στην βάση (σημείο B)



• Η ενίσχυση είναι μεγαλύτερη για την οριζόντια συνιστώσα της κίνησης από ότι για την κατακόρυφη συνιστώσα (η οποία μπορεί να αγνοηθεί)

• Η ενίσχυση μεγαλώνει ανάλογα προς την μέση κλίση του πρανούς, για $i=H/L > 0,25$ ($\omega > 14^\circ$)

• Η ενίσχυση της σεισμικής κίνησης είναι συνάρτηση της συχνότητας. Εν γένει, η μέγιστη ενίσχυση αντιστοιχεί σε μήκη κύματος $\lambda \approx 2L$

(B) Γαλλικός Αντισεισμικός Κανονισμός (PS 92):

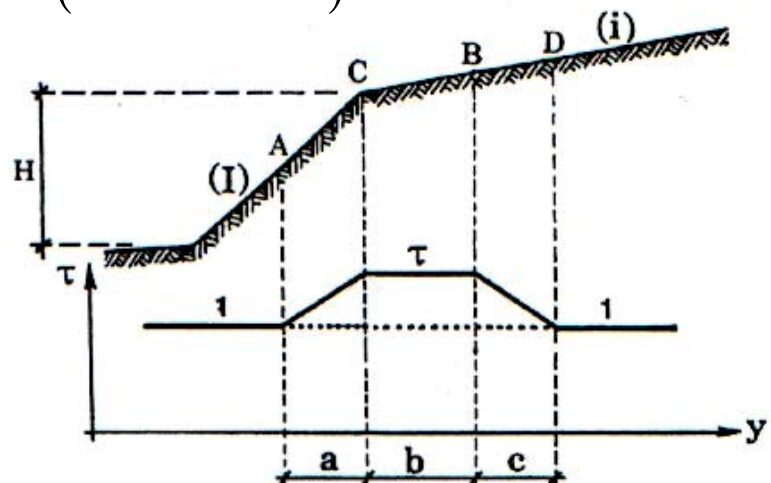
$$a_{\max}(2D) = \tau \cdot a_{\max}(1D)$$

$$\tau = 1 + 0.8(I - i - 0.4) \quad (1.0 \leq \tau \leq 1.4)$$

$$a = H / 3$$

$$c = H / 4$$

$$b = \min \left\{ \frac{H + 10}{4}, 20I \right\}$$

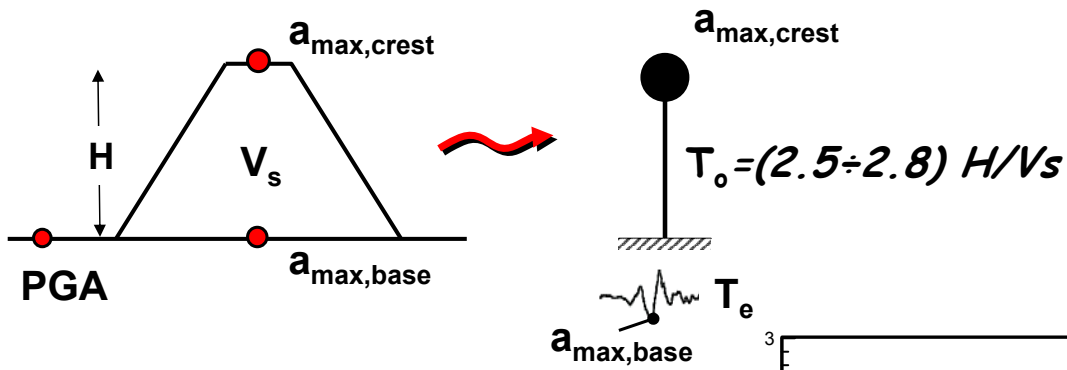


Παράδειγμα:

Για $I=1.5$ (62.5°) και $i=0$, $\tau=1.40$.

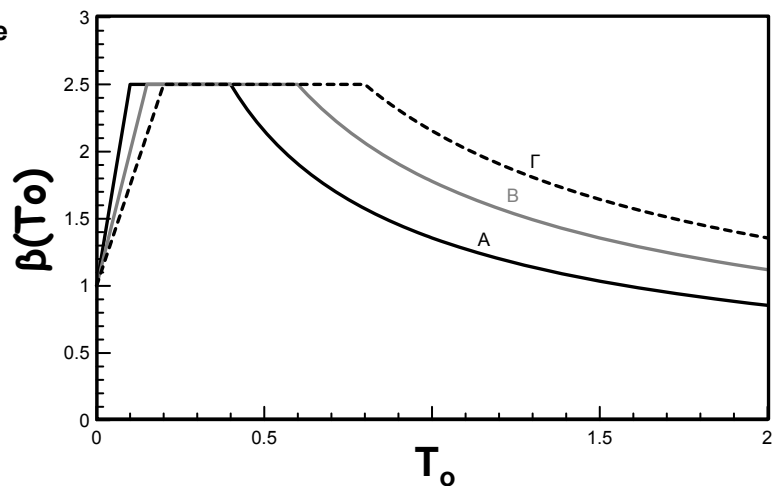
Επιπλέον, για $H=50\text{m}$, η απόσταση έως το ελεύθερο πεδίο πίσω από το πρανές είναι $b+c=15.0+12.5=27.5\text{m}$ ή $0.55H$

(Γ) Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός ΕΑΚ 2000



$$a_{max, base} = 0.50 \text{ PGA}$$

$$a_{max, crest} = \beta(T_o) a_{max, base}$$



$$a_{max, crest} \leq 1.25 \text{ PGA}$$

(Δ) Ευρωκώδικας (EC-8)

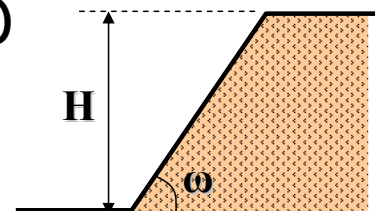
- Αυξάνεται η κορυφαία σεισμική επιτάχυνση αναφοράς (για κατηγορία εδάφους A):

$$a_{gR} \rightarrow S_T \cdot a_{gR}$$

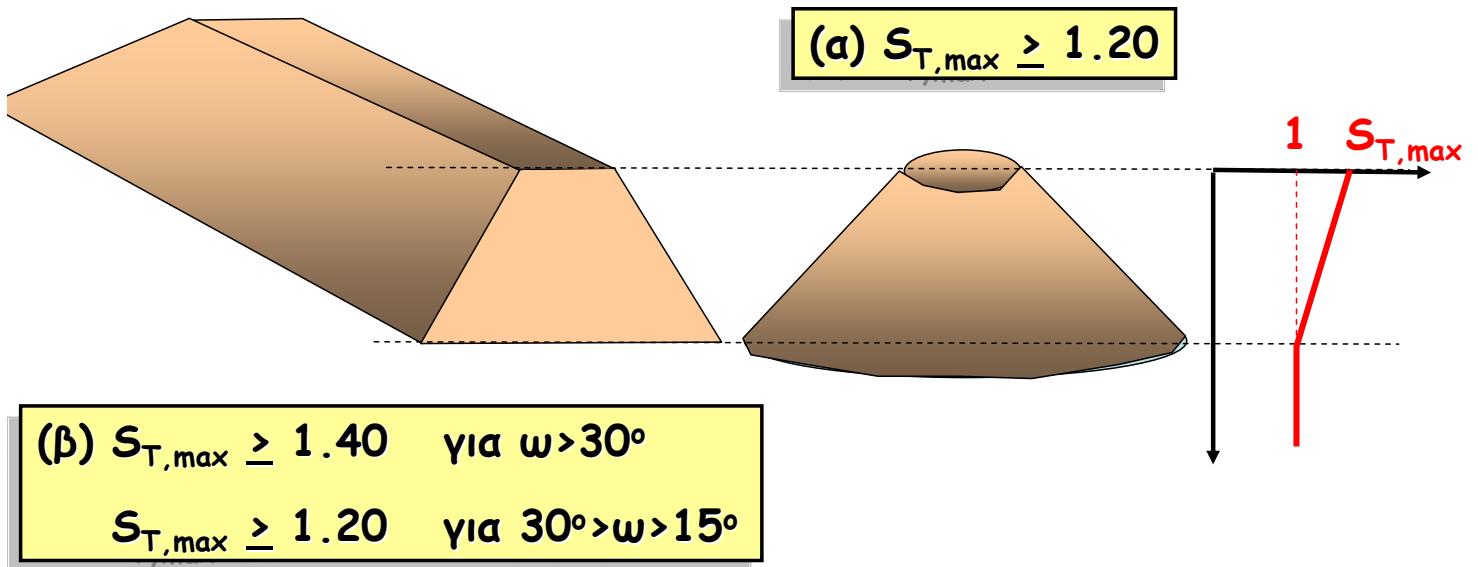
- Ο S_T δεν εξαρτάται από τη συχνότητα, πολλαπλασιάζοντας ενιαία το φάσμα απόκρισης $S_e(T)$

- Η επίδραση της τοπογραφίας αγνοείται ($S_T=1$) για

- κτίσματα μικρής σπουδαιότητας ($\gamma_I < 1$)
- $H < 30\text{m}$ ή/και $\omega \leq 15^\circ$

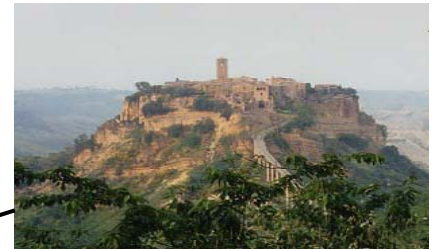


✚ ΣΤΙΣ ΆΛΛΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ, Η ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΑΥΞΑΝΕΤΑΙ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΒΑΣΗ ΩΣ ΤΗΝ ΚΟΡΥΦΗ:

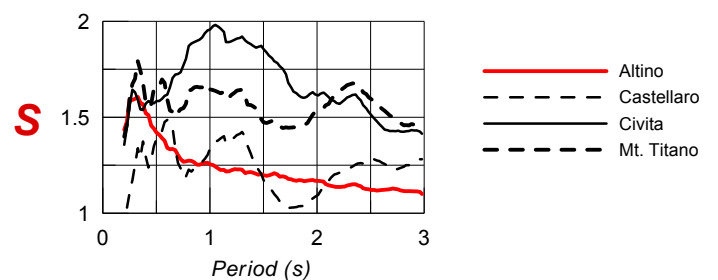


✚ Για επικάλυψη με μαλακό έδαφος πάχους άνω των 5.0m οι ανωτέρω τιμές του $S_{T,max}$ θα πρέπει να αυξηθούν κατά 20% τουλάχιστον

Τοπογραφίες λόφου ή «λοφο-σειράς»



θέση	είδος	EC8	3D
CIVITA	υψηλός λόφος	1.2	1.75 +46%
ALTINO	λόφος	1.2	1.30 +8%
MT. TITANO	«λόφο-σειρά» με $i > 30^\circ$	1.4	1.58 +13%
CASTELLARC	«λόφο-σειρά» με $i < 30^\circ$	1.2	1.25 +4%



Οι συντελεστές S του EC-8 είναι πράγματι ένα . . . κάτω όριο

5.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

✚ αναλυτικές

για απλές γεωμετρίες, ομοιόμορφα και γραμμικώς ελαστικά υλικά

✚ αριθμητικές

για σύνθετες γεωμετρίες, ανομοιόμορφο και (θεωρητικά τουλάχιστον) για μη γραμμικά-ελαστοπλαστικά εδάφη

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Οι αριθμητικές μέθοδοι υπολογισμού της επίδρασης της τοπογραφίας αποτελούν ουσιαστικά γενίκευση των όσων είπαμε στο αντίστοιχο κεφάλαιο για τον αριθμητικό υπολογισμό της επίδρασης (οριζόντια διαστρωμένου) εδάφους, μια και:

Επίδραση εδάφους = 1- Δ (κατακόρυφη) διάδοση σεισμικών κυμάτων, ενώ

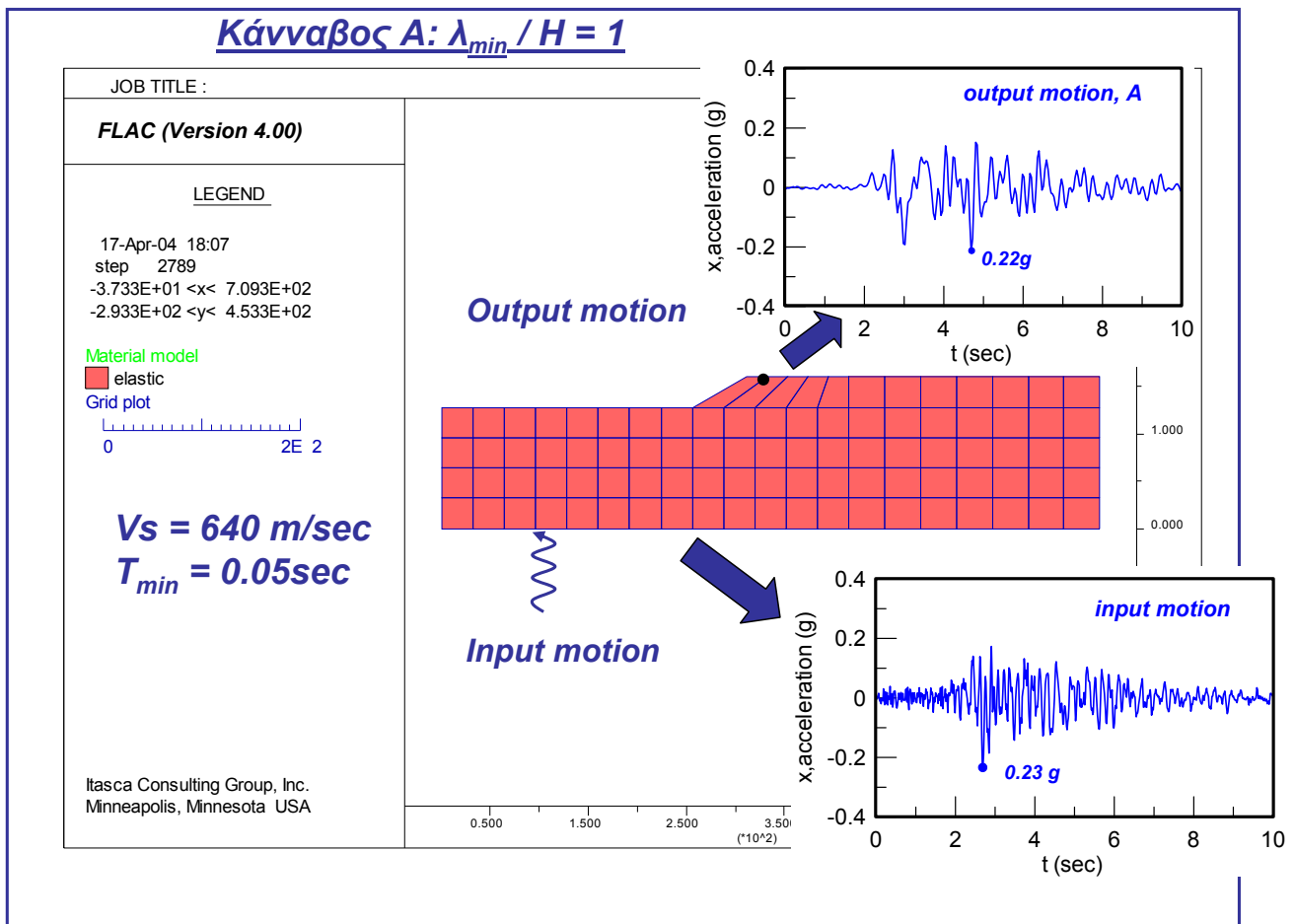
Επίδραση τοπογραφίας = 2- Δ ή 3- Δ διάδοση σεισμικών κυμάτων.

Έτσι, ισχύουν όσα είχαμε πει τότε, και ειδικά όσα είχαμε πει σχετικά με την σπουδαιότητα επιλογής κατάλληλου προσομοιώματος της ανακυκλικής συμπεριφοράς του εδαφικού στοιχείου. **Τονίζεται βέβαια ότι τώρα δεν είναι δυνατόν να εφαρμοσθεί η μέθοδος ανάλυσης στο «πεδίο των συχνοτήτων» μια και δεν υπάρχουν τόσο απλές αναλυτικές λύσεις για αρμονικές διεγέρσεις, όπως στην περίπτωση της 1- Δ διάδοσης σεισμικών κυμάτων.**

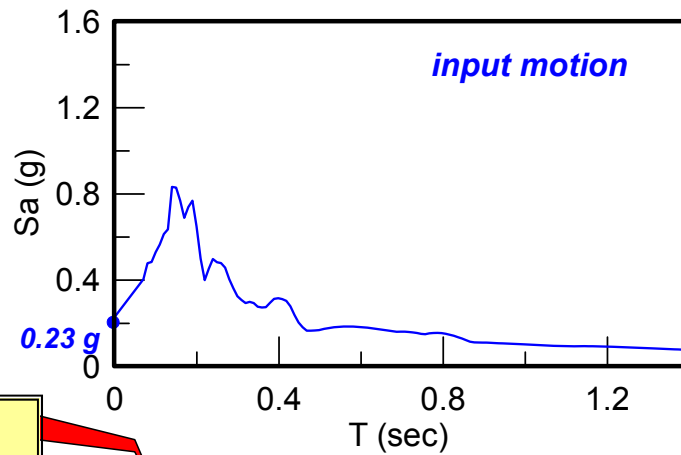
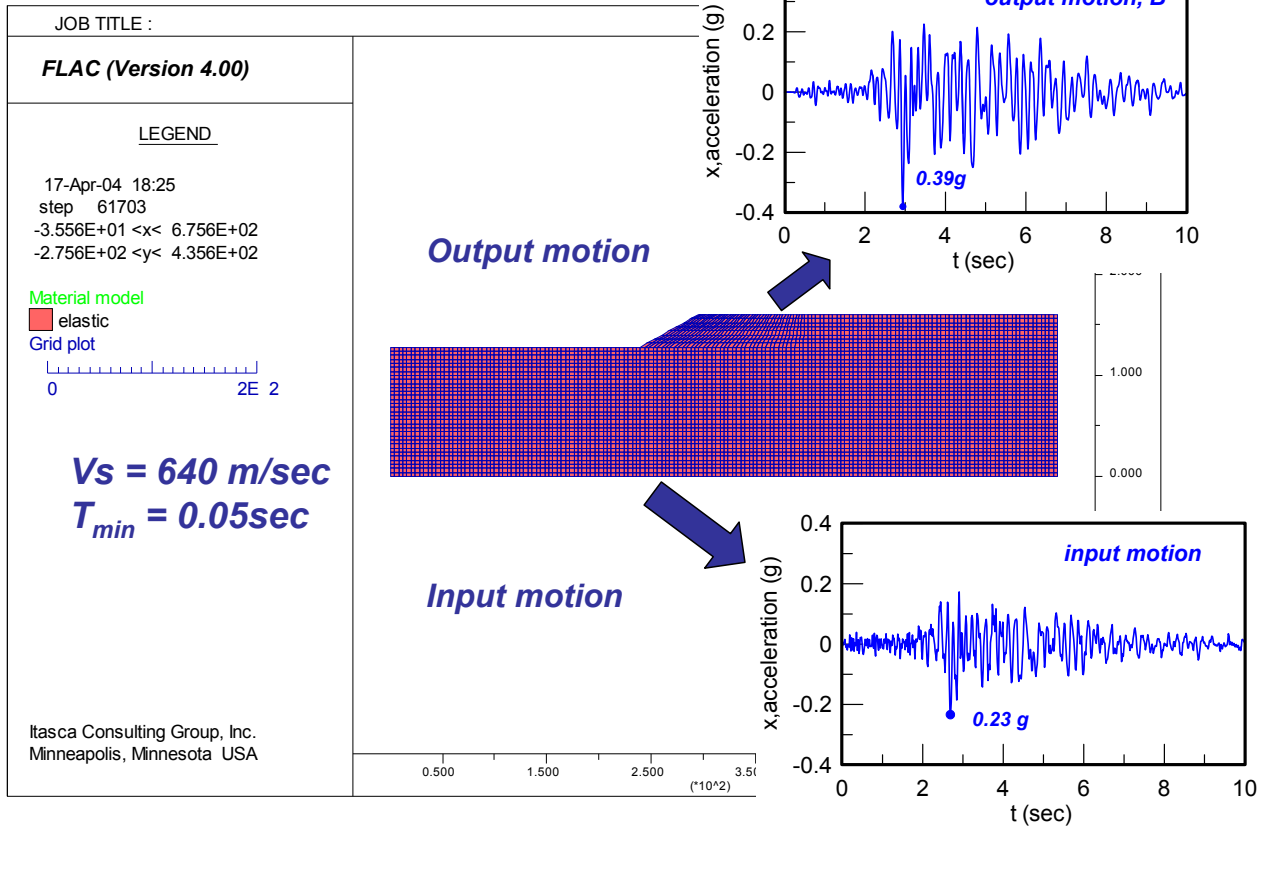
Μοιραία λοιπόν θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε την μη γραμμική μέθοδο Πεπερασμένων Στοιχείων (QUAD4M, TELEDYN, ABAQUS, PLAXIS...) ή των Πεπερασμένων Διαφορών (FLAC) αφού βεβαιωθούμε ότι οι διαθέσιμοι κώδικες, και η διακριτοποίηση (κάνναβος) που θα υιοθετηθεί πληρούν τις παρακάτω βασικές προϋποθέσεις:

Βασικές προϋποθέσεις αριθμητικών αναλύσεων

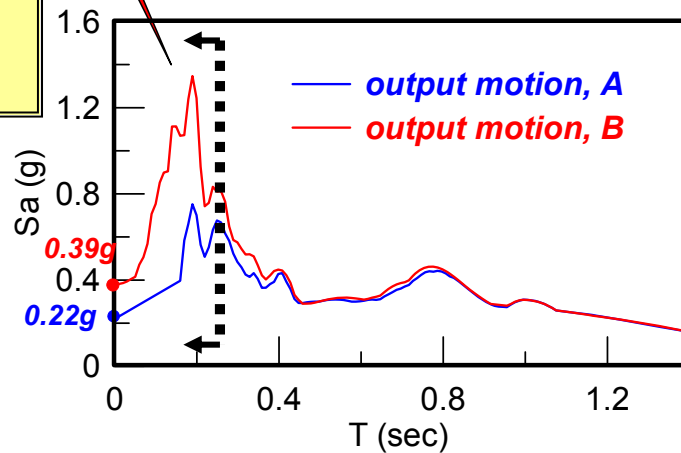
- A. Το καταστατικό προσομοίωμα προσομοιάζει ικανοποιητικά την ανακυκλική συμπεριφορά του εδαφικού στοιχείου, όπως περιγράφεται για παράδειγμα από τις γνωστές μας καμπύλες $G/G_{max} - \gamma$ και $\xi - \gamma$.
- B. Οι συνοριακές συνθήκες για το κάτω όριο και για τα πλευρικά όρια του καννάβου δεν είναι απλά αρθρώσεις ή κυλίσεις, αλλά επιτρέπουν την μετάδοση κυμάτων από «μέσα» (κάνναβος) προς τα «έξω». Σε αντίθετη περίπτωση, **θα έχουμε**
- Γ. Η σεισμική διέγερση εφαρμόζεται ως χρονο-ιστορία τάσεων στην βάση του καννάβου και όχι ως χρονο-ιστορία μετακινήσεων (ταχυτήτων και επιταχύνσεων). Με τον τρόπο αυτό, και σε συνδυασμό με το Β παραπάνω, εξασφαλίζεται η ελεύθερη διέλευση των ανακλώμενων κυμάτων μέσω του κάτω ορίου του καννάβου.
- Δ. Ο κάνναβος διακριτοποίησης του συνεχούς μέσου είναι αρκετά λεπτομερής έτσι ώστε να μην εμποδίζεται η διάδοση των σημαντικών υψίσυχνων αρμονικών της διέγερσης μας. Εάν η μέγιστη συχνότητα ενδιαφέροντος είναι f_{max} και η ταχύτητα μετάδοσης διατμητικών κυμάτων είναι C_s , τότε η αντίστοιχη διάσταση του εδαφικού στοιχείου δεν πρέπει να υπερβαίνει το $(0.10-0.15)\lambda_{min} = (0.10-0.15)C_s/f_{max}$ (γιατί:)



Κάνναβος B: $\lambda_{min} / H = 8$



Αυτά τα μήκη κύματος ($\lambda=VT$) με δυσκολία Διέρχονται από τον αδρό κάνναβο..

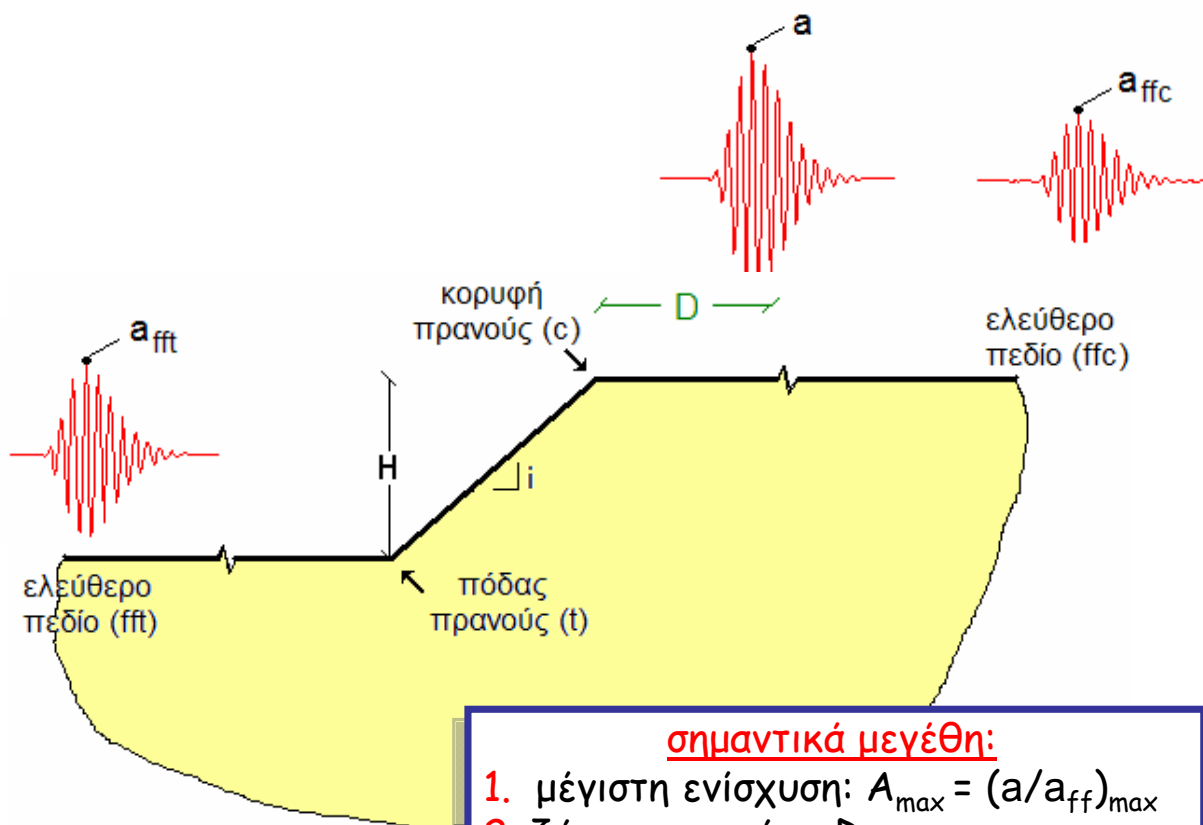


5.5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

παραμετρικές αναλύσεις για την επίδραση μονο-κλινούς πρηνούς



Ορισμοί...



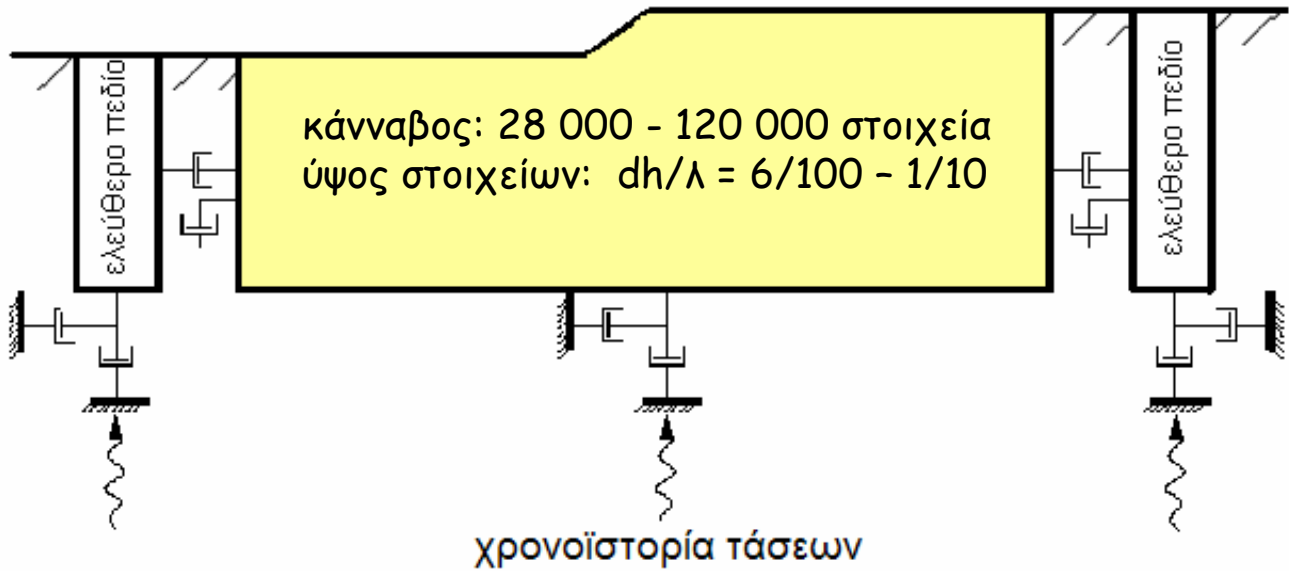
σημαντικά μεγέθη:

1. μέγιστη ενίσχυση: $A_{\max} = (a/a_{ff})_{\max}$
2. ζώνη επιρροής: D
(οριζόντια και κατακόρυφη συνιστώσα)

Μεθοδολογία παραμετρικών αναλύσεων

λογισμικό Γεπερασμένων Διαφορών FLAC

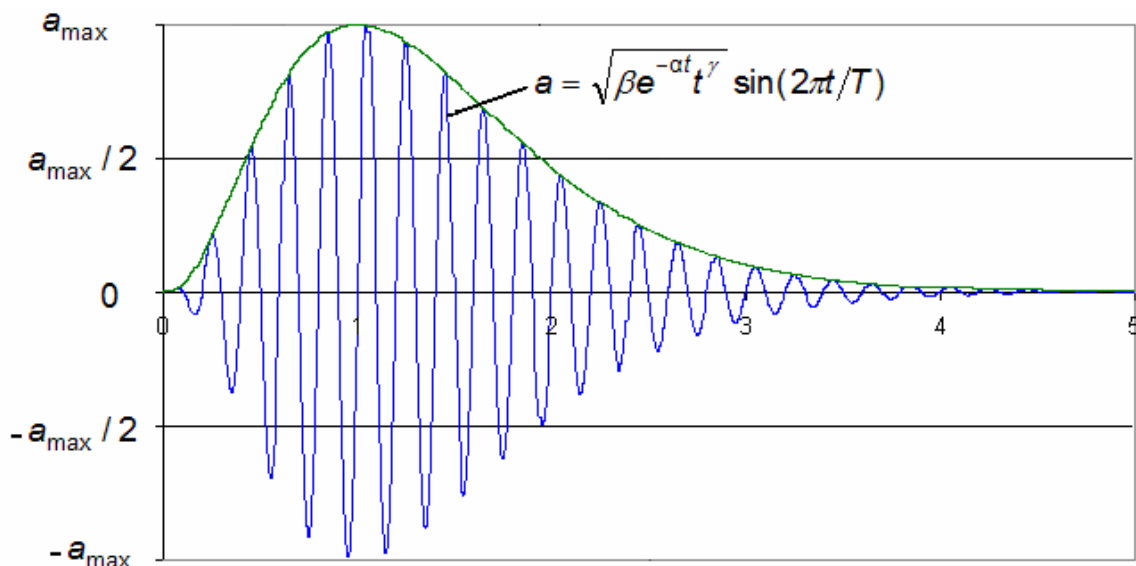
παραδοχές: 2-D ομοιογενής ιξωδο-ελαστικός ημίχωρος
κατακόρυφη πρόσπτωση κυμάτων SV



Διέγερση

Κυματοπαλμός Chang: ουσιαστικά αποτελεί αρμονική διέγερση με χρονική εξέλιξη αντίστοιχη με αυτή του σεισμού

- αριθμός σημαντικών κύκλων φόρτισης N
 - μέγιστη επιτάχυνση a_{max}
 - δεσπόζουσα περίοδος T
- } κατάλληλες σταθερές α, β, γ



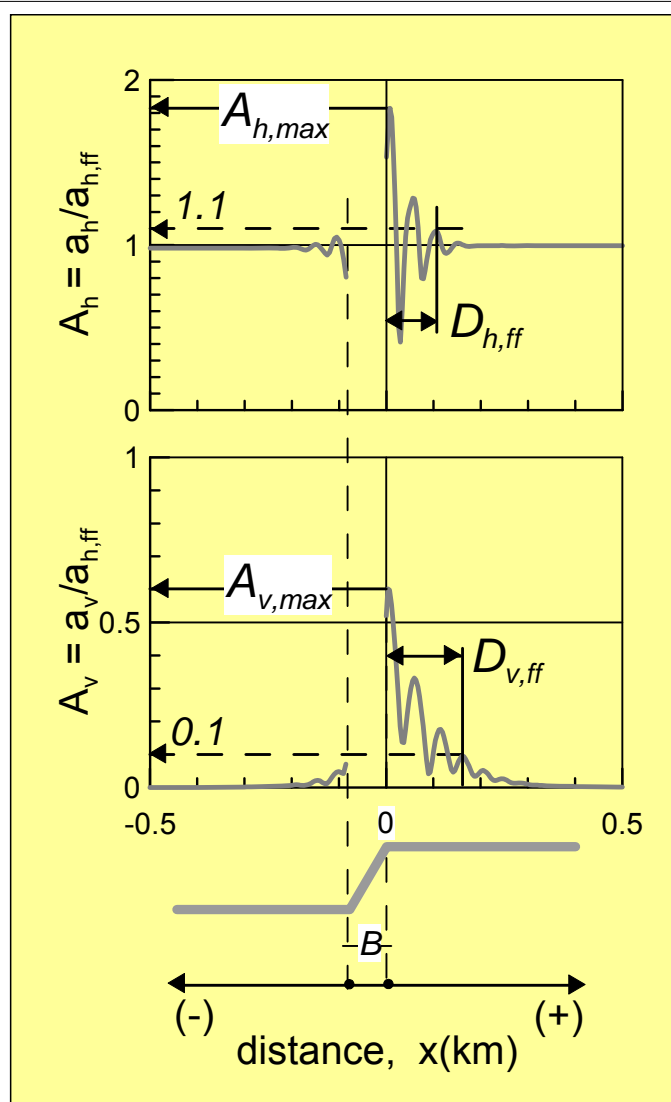
Τυπικά αποτελέσματα

για $H/\lambda=2$, $i=30^\circ$, $\xi=5\%$ και $N=6$

Παρατηρείστε (πίσω από την κορυφή του πρανούς):

- την μέγιστη ενίσχυση της οριζόντιας συνιστώσας της κίνησης.
- την εμφάνιση μεγάλης «παρασιτικής» κατακόρυφης συνιστώσας της κίνησης.
- την έντονη διακύμανση της τοπογραφικής επίδρασης μέσα σε μικρή απόσταση από την κορυφή.
- την μεγάλη απόσταση μετάβασης σε συνθήκες ελεύθερου πεδίου.

Ερώτηση: πόσο εύκολη ή δύσκολη είναι η καταγραφή της τοπογραφικής επίδρασης σε πραγματικούς σεισμούς;

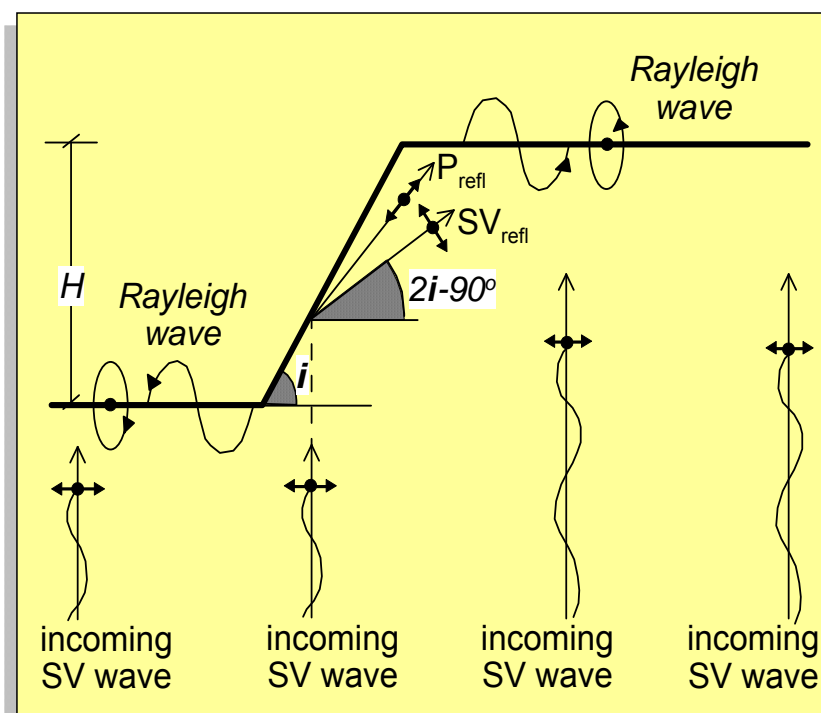


Μηχανισμοί τοπογραφικής επιδείνωσης:

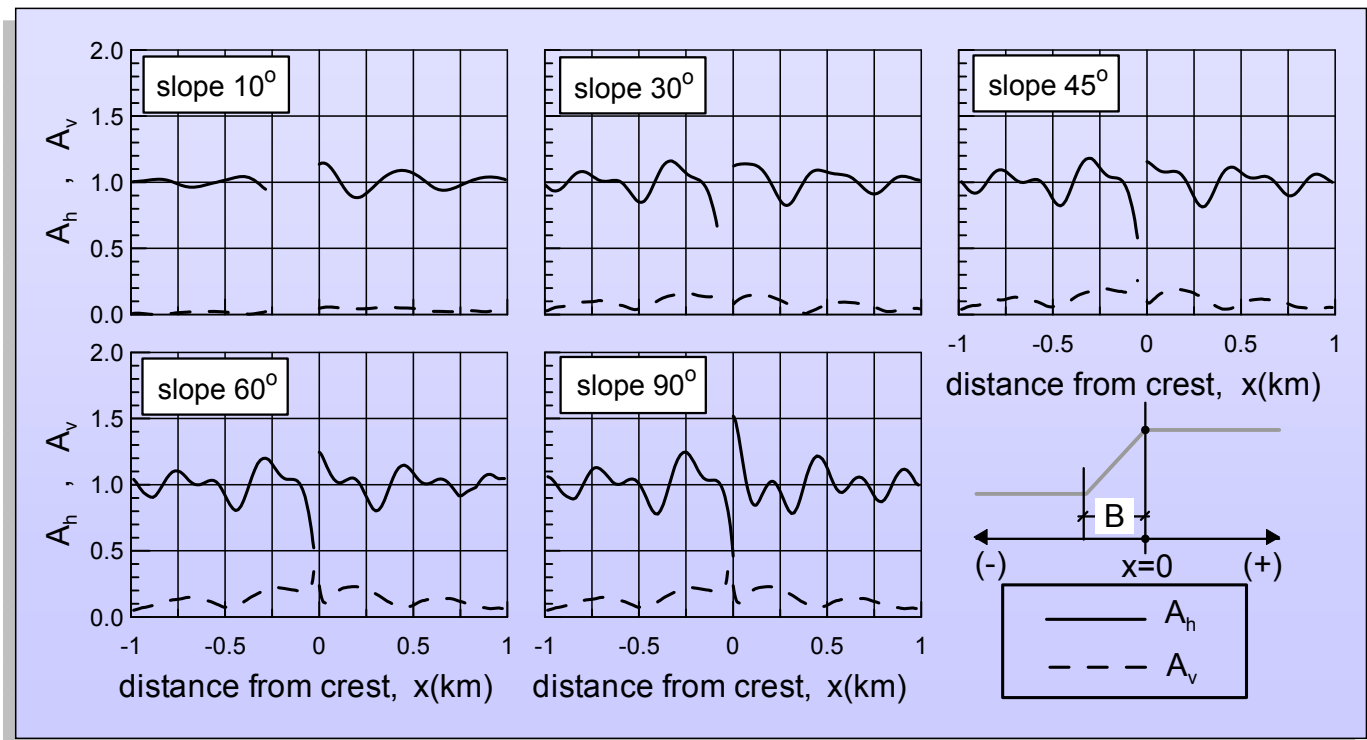
- Σε κάθε σημείο της ελεύθερης επιφάνειας συμβάλλουν τέσσερα κύματα: ένα κατακόρυφα μεταδιδόμενα SV, ένα ανακλώμενο SV και ένα ανακλώμενο P, και τέλος ένα επιφανειακό κύμα Rayleigh.

- Τα κύματα αυτά έχουν διαφορετικές ταχύτητες μετάδοσης και διαφορετικά μήκη διαδρομής και επομένως η άφιξη τους γίνεται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, μπορεί δε να οδηγήσει τόσο σε αύξηση όσο και σε μείωση της εδαφικής κίνησης.

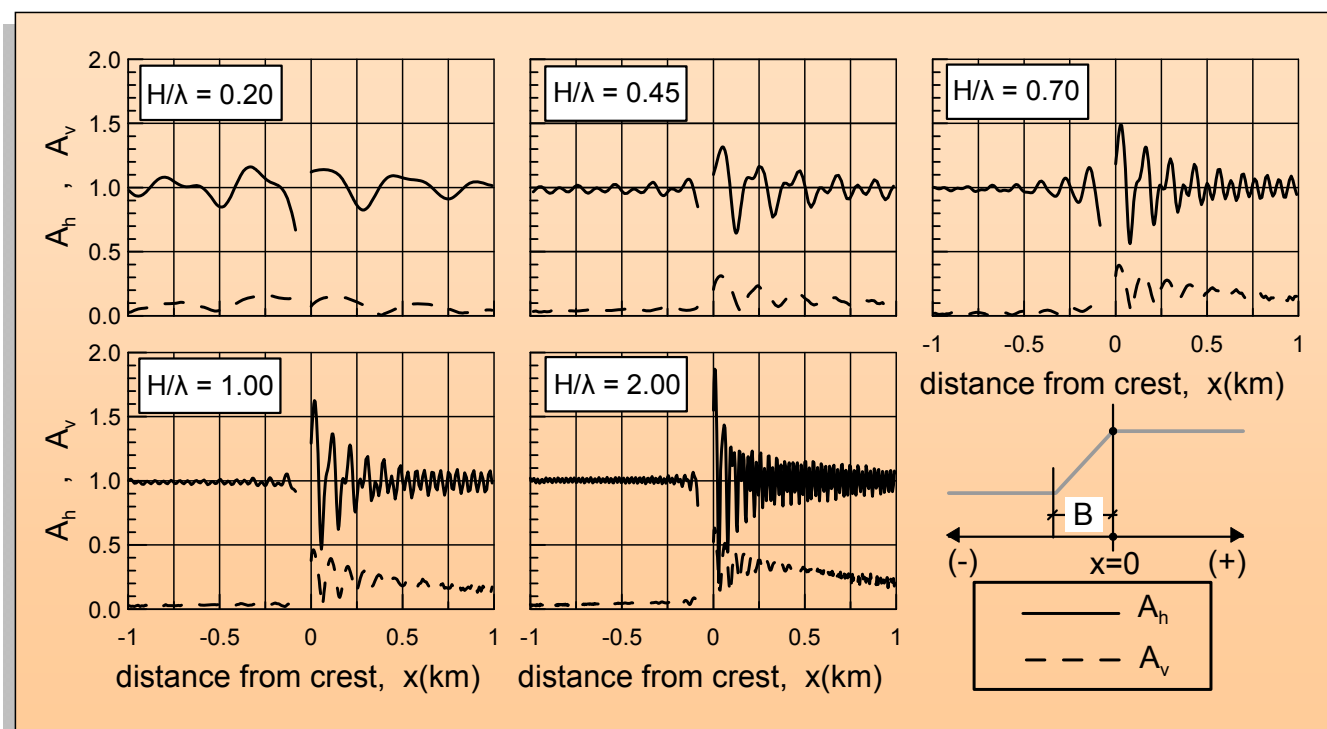
- Επιπλέον, τα τρία τελευταία κύματα έχουν και **κατακόρυφη** συνιστώσα



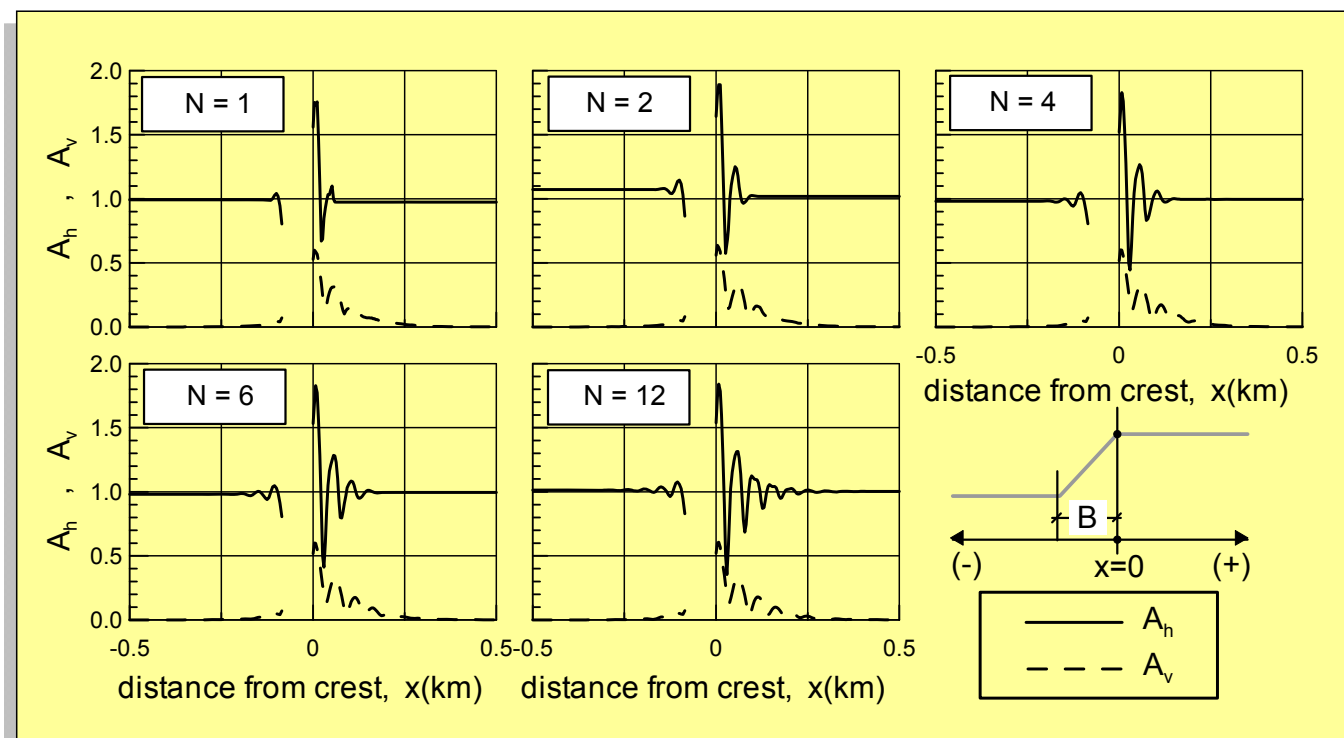
Επίδραση της κλίσης....



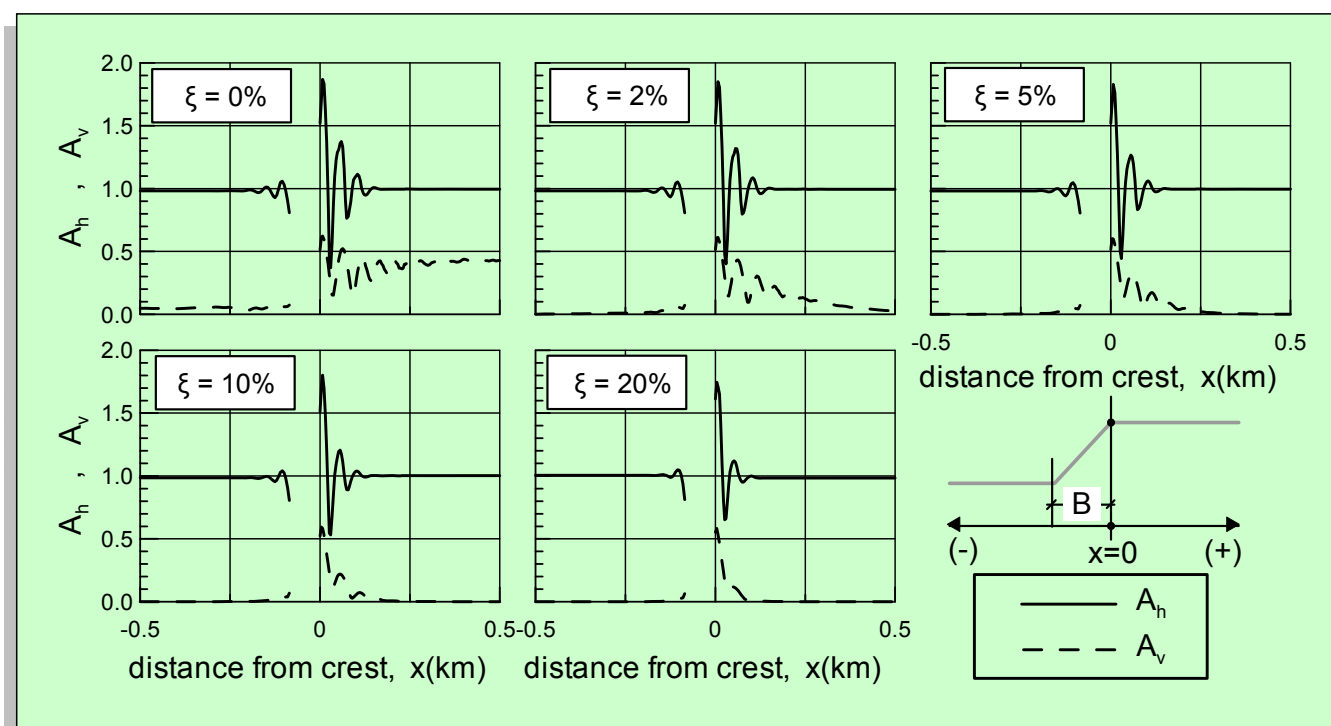
Επίδραση του (αδιαστατοποιημένου) ύψους του πρανούς....



Επίδραση του αριθμού σημαντικών κύκλων



Επίδραση της υστερητικής απόσβεσης



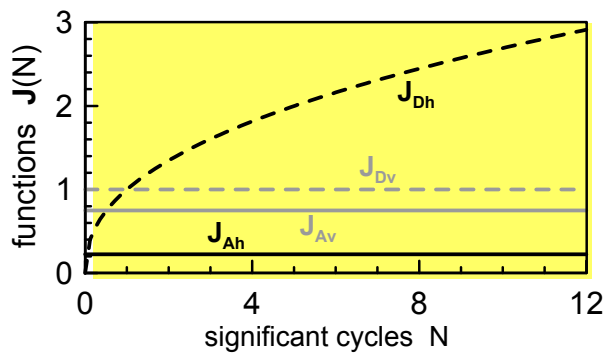
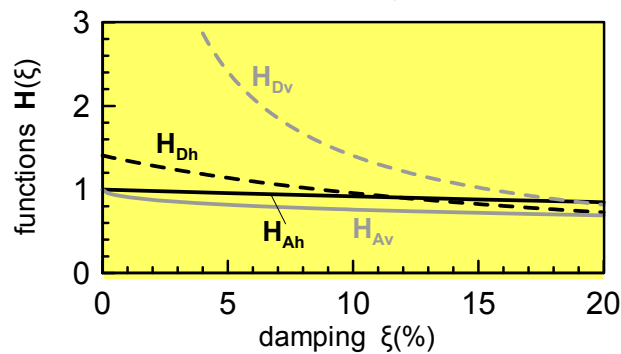
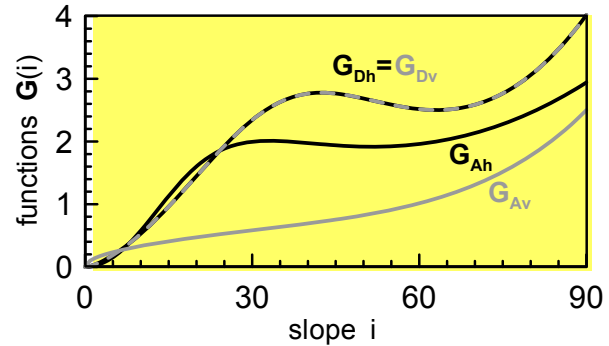
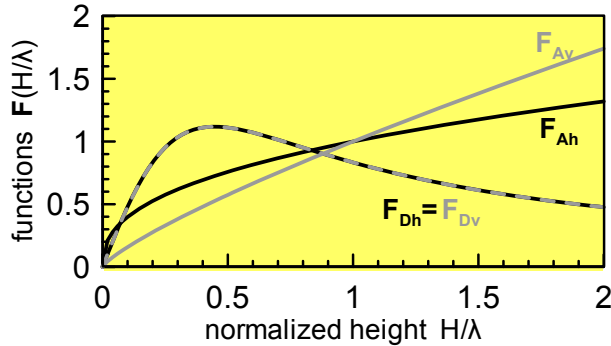
Προσεγγιστικές σχέσεις

$$A_{h,\max} = 1 + F_{Ah} \left(\frac{H}{\lambda} \right) G_{Ah}(I) H_{Ah}(\xi) J_{Ah}(N)$$

$$D_h / H = F_{Dh} \left(\frac{H}{\lambda} \right) G_{Dh}(I) H_{Dh}(\xi) J_{Dh}(N)$$

$$A_{v,\max} = F_{Av} \left(\frac{H}{\lambda} \right) G_{Av}(I) H_{Av}(\xi) J_{Av}(N)$$

$$D_v / H = F_{Dv} \left(\frac{H}{\lambda} \right) G_{Dv}(I) H_{Dv}(\xi) J_{Dv}(N)$$



Προσεγγιστικές σχέσεις

$$A_{h,\max} = 1 + F_{Ah} \left(\frac{H}{\lambda} \right) G_{Ah}(I) H_{Ah}(\xi) J_{Ah}(N)$$

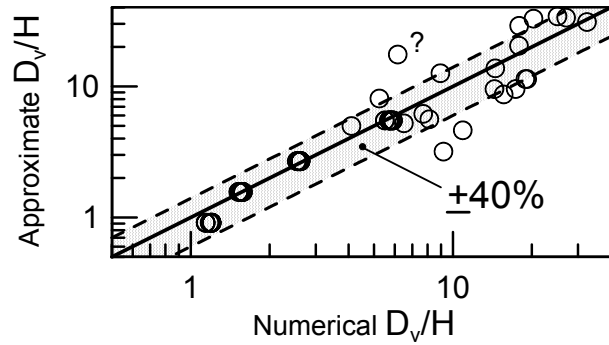
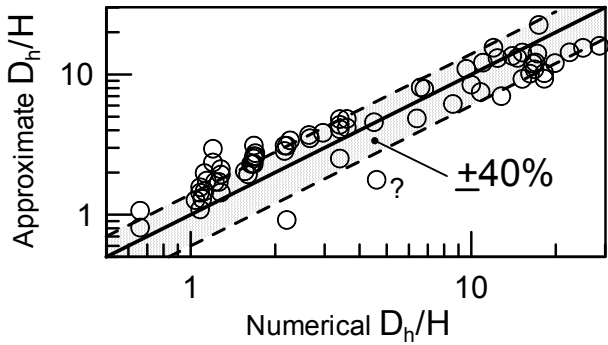
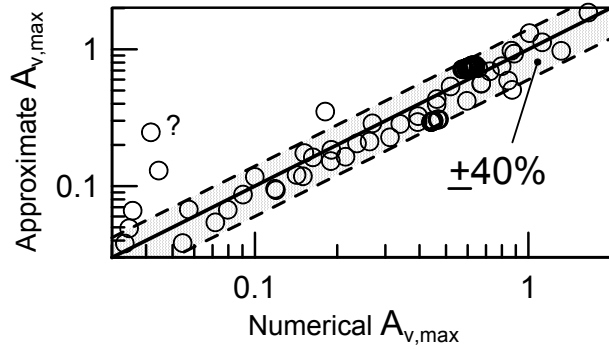
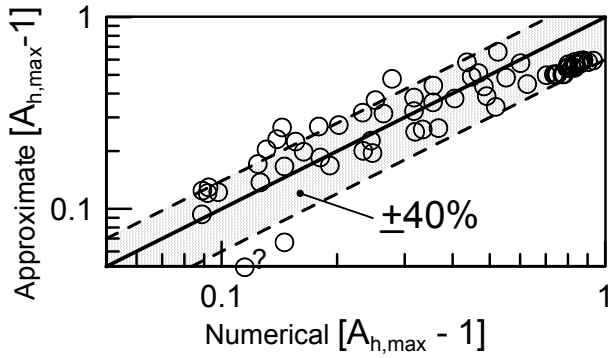
$$D_h / H = F_{Dh} \left(\frac{H}{\lambda} \right) G_{Dh}(I) H_{Dh}(\xi) J_{Dh}(N)$$

$$A_{v,\max} = F_{Av} \left(\frac{H}{\lambda} \right) G_{Av}(I) H_{Av}(\xi) J_{Av}(N)$$

$$D_v / H = F_{Dv} \left(\frac{H}{\lambda} \right) G_{Dv}(I) H_{Dv}(\xi) J_{Dv}(N)$$

Parameter	$F(H/\lambda)$	$G(I)$	$H(\xi)$	$J(N)$
$A_{h,\max}$	$(H/\lambda)^{0.4}$	$\frac{I^2 + 2I^6}{I^3 + 0.02}$	$\frac{1}{1 + 0.9\xi}$	0.225
$A_{v,\max}$	$(H/\lambda)^{0.8}$	$I^{0.5} + 1.5I^5$	$\frac{1}{1 + 0.15\xi^{0.5}}$	0.75
D_h/H	$\frac{(H/\lambda)}{(H/\lambda)^2 + 0.2}$	$\frac{I^{1.5} + 3.3I^8}{I^4 + 0.07}$	$\frac{1}{0.71 + 3.33\xi}$	$N^{0.43}$
D_v/H	$\frac{(H/\lambda)}{(H/\lambda)^2 + 0.2}$	$\frac{I^{1.5} + 3.3I^8}{I^4 + 0.07}$	$\frac{0.233}{\xi^{0.78}}$	1.00

Ακρίβεια προσεγγιστικών σχέσεων.....

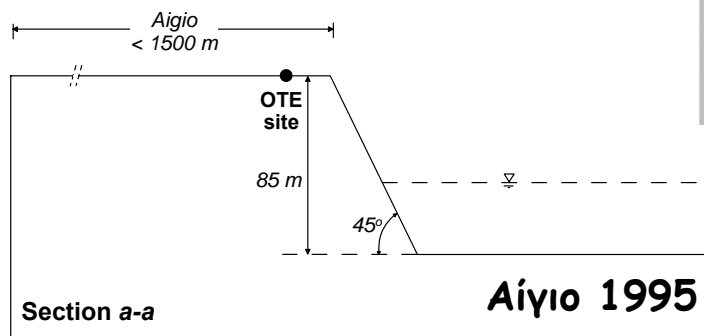


Ακρίβεια προσεγγιστικών σχέσεων.....

Αριθμητικές αναλύσεις

$$A_h = 1.40$$

$$D_h = 6.2H$$



Προσεγγιστικές σχέσεις

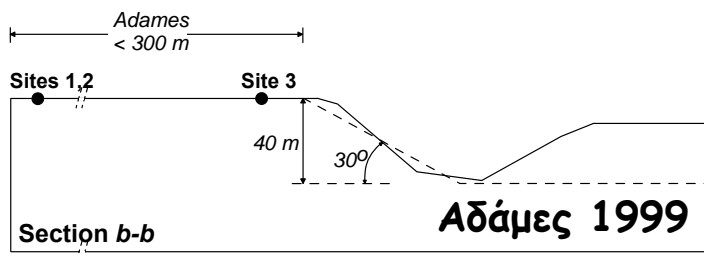
$$A_h = 1.20 - 1.32$$

$$D_h = (3.5 - 5.6)H$$

$$A_h = 1.30 - 1.50$$

$$A_v = 0.24 - 0.26$$

$$D_h = (1.9 - 2.5)H$$



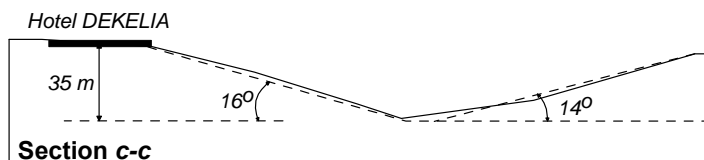
$$A_h = 1.28 - 1.45$$

$$A_v = 0.17 - 0.47$$

$$D_h = (2.7 - 4.6)H$$

$$A_h = 0.75 - 1.35$$

$$D_h = (2 - 3)H$$



$$A_h = 1.16 - 1.25$$

$$D_h = (1.5 - 2.0)H$$

Ξενοδοχ. Δεκέλεια 1999

Άσκηση για το σπίτι:

(α) Εφαρμόστε τις προσεγγιστικές σχέσεις για «συνήθεις» περιπτώσεις φυσικών πρηνών και «συνήθεις» περιπτώσεις διεγέρσεων. Ποιο είναι το αναμενόμενο εύρος διακύμανσης των βασικών συντελεστών της τοπογραφικής επιδείνωσης (A_h , A_v , D_h και D_v):

(β) Με βάση τα αποτελέσματα του (α) ανωτέρω, και με την βοήθεια των ακόλουθων δύο σχημάτων αξιολογήστε τις διατάξεις των κανονισμών σε σχέση με την επίδραση μονοκλινών πρηνών.

