

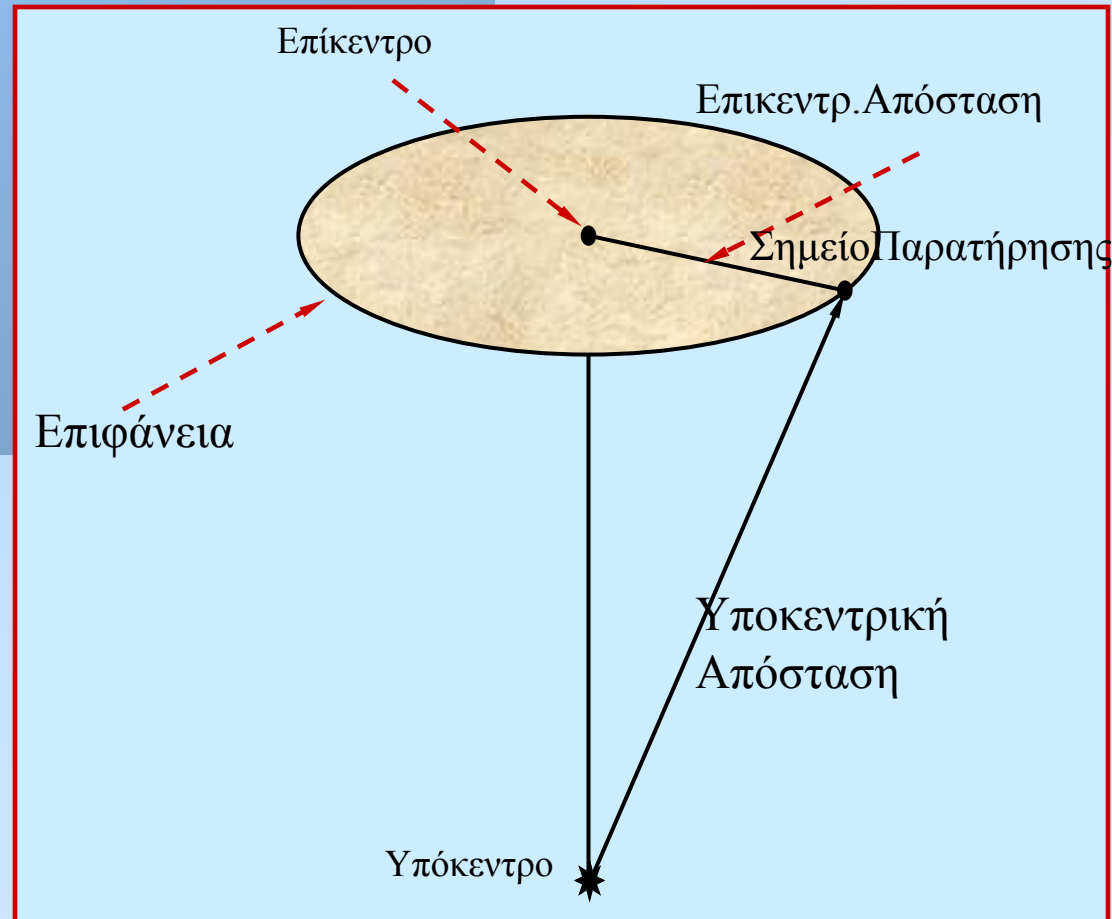
Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

Κ. Χ. Μακρόπουλος

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ

- ❶ ΕΣΤΙΑ Ή ΥΠΟΚΕΝΤΡΟ
- ❷ ΕΠΙΚΕΝΤΡΟ
- ❸ ΕΠΙΚΕΝΤΡΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ
- ❹ ΜΕΓΕΘΟΣ
- ❺ ΕΝΤΑΣΗ
- ❻ ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ



Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

Η ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ

● ΜΕΓΕΘΟΣ

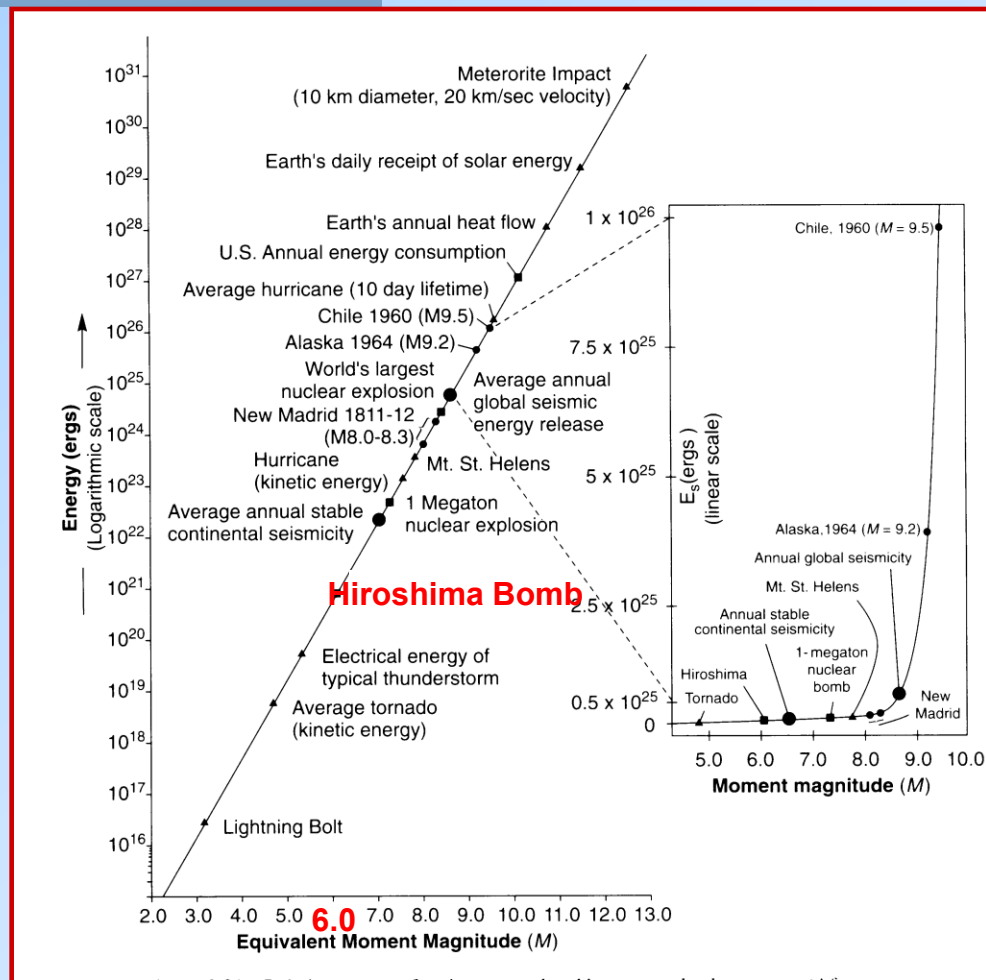
Η ΚΛΙΜΑΚΑ RICHTER (ΕΝΕΡΓΕΙΑ)

● ΕΝΤΑΣΗ

Η ΚΛΙΜΑΚΑ MERCALLI - SIEBERG (ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ)

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΣΧΕΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΜΕΓΕΘΟΥΣ



Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΟΡΓΑΝΑ

ΣΕΙΣΜΟΣΚΟΠΙΟ



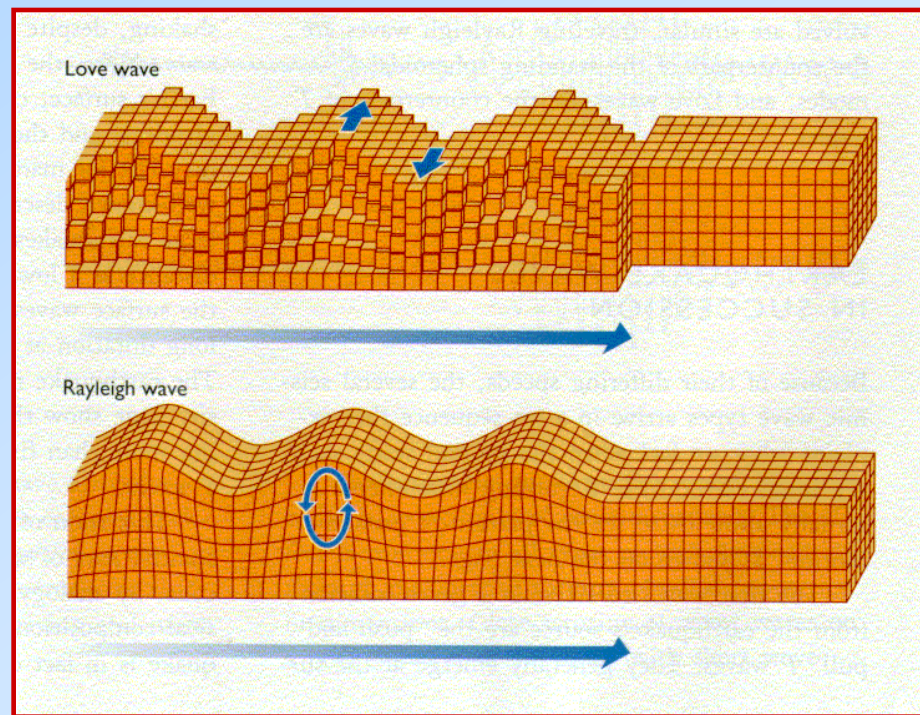
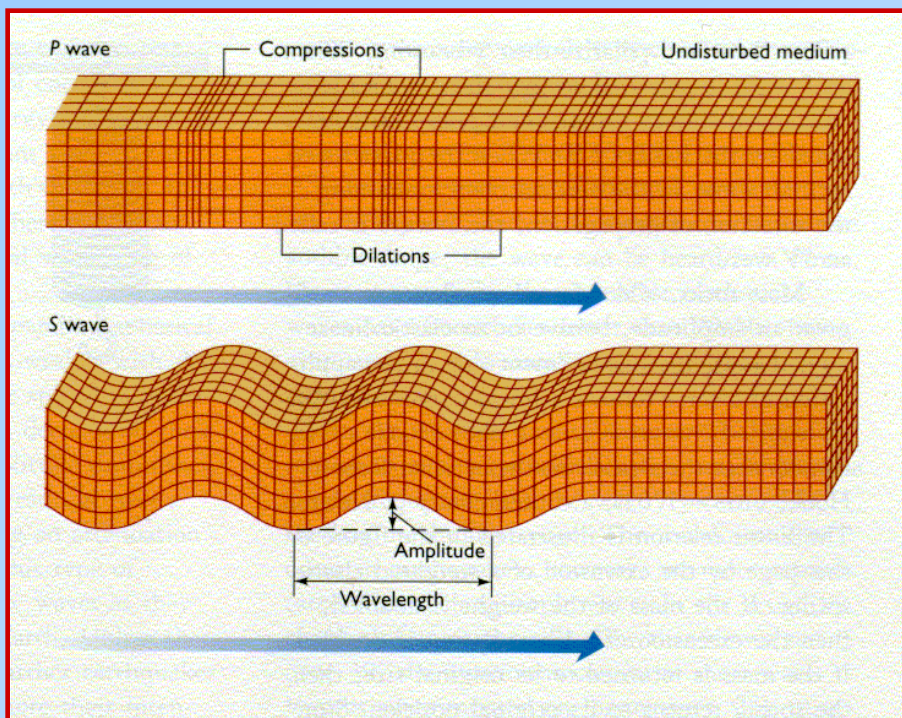
ΣΥΓΧΡΟΝΟΣ ΣΕΙΣΜΟΓΡΑΦΟΣ



Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

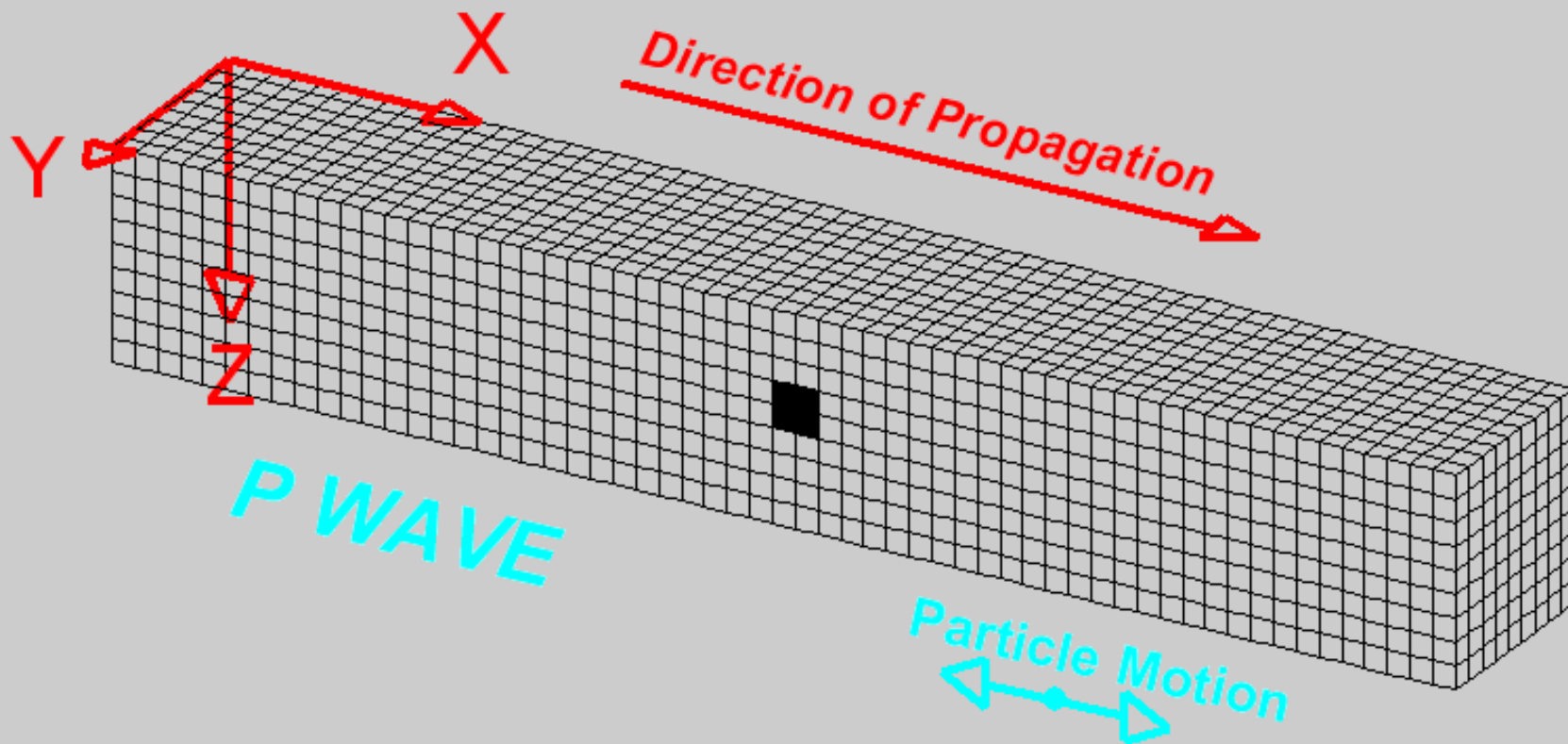
ΑΝΑΓΡΑΦΕΣ - ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

ΕΔΑΦΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΔΟΣΗ ΕΝΟΣ ΣΕΙΣΜΟΥ



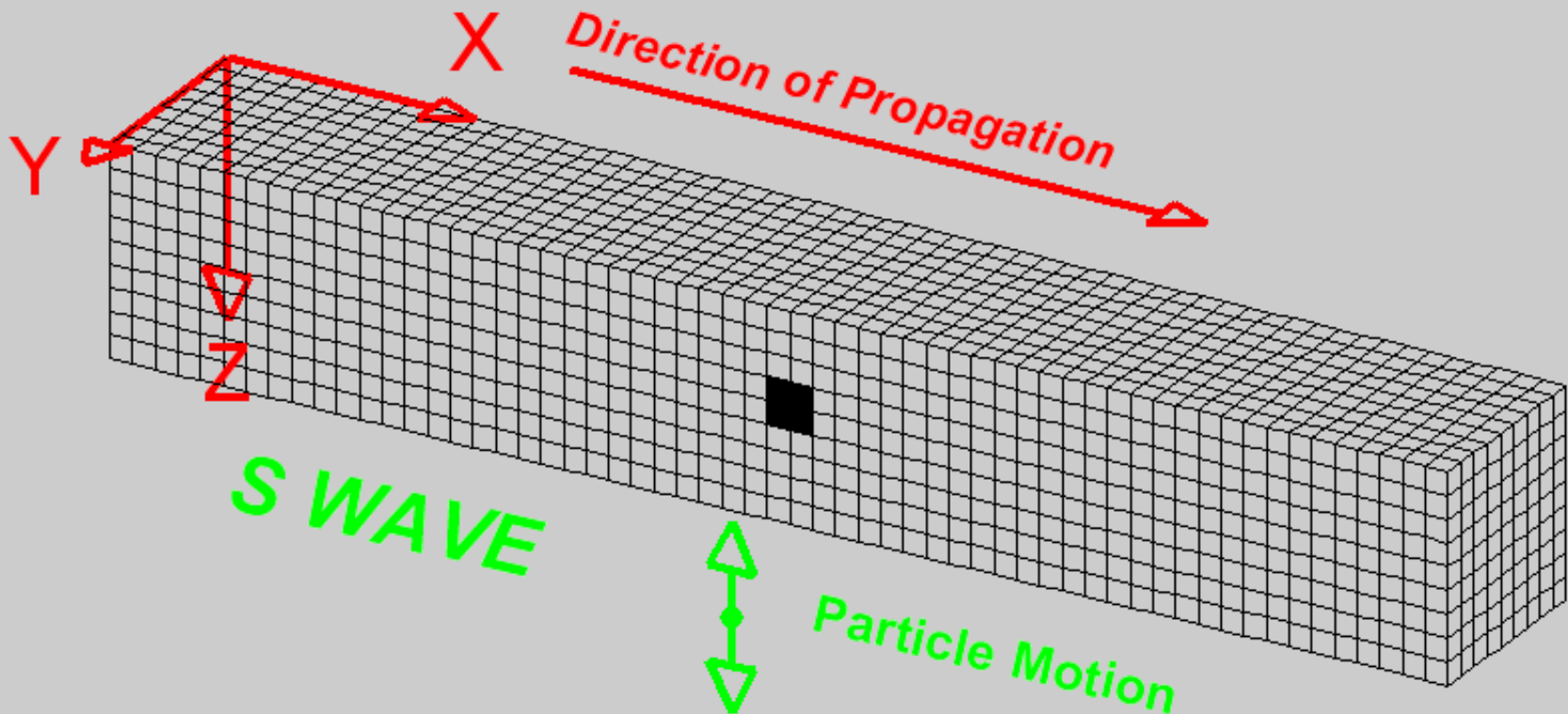
Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΑΝΑΓΡΑΦΕΣ - ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ – P ΚΥΜΑΤΑ



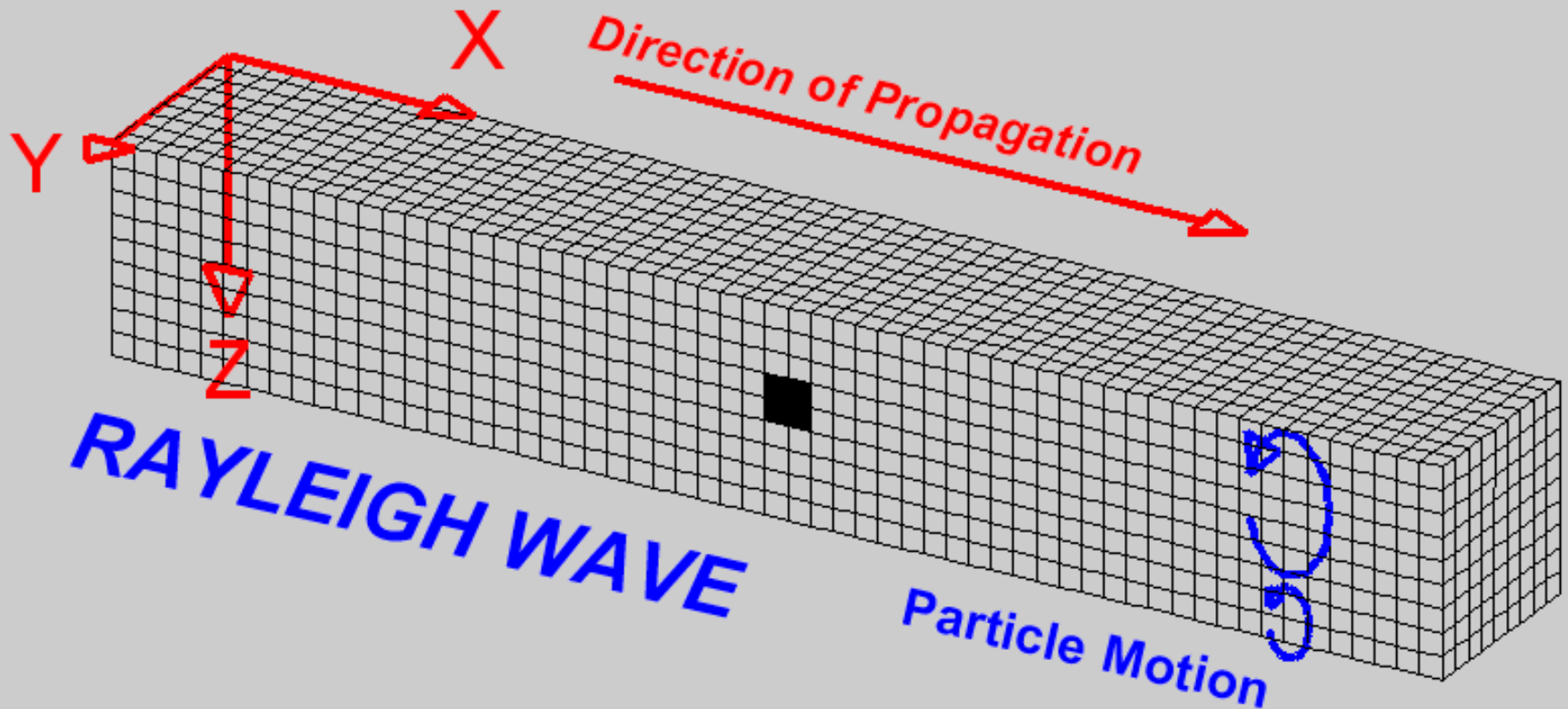
Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΑΝΑΓΡΑΦΕΣ - ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ – S ΚΥΜΑΤΑ



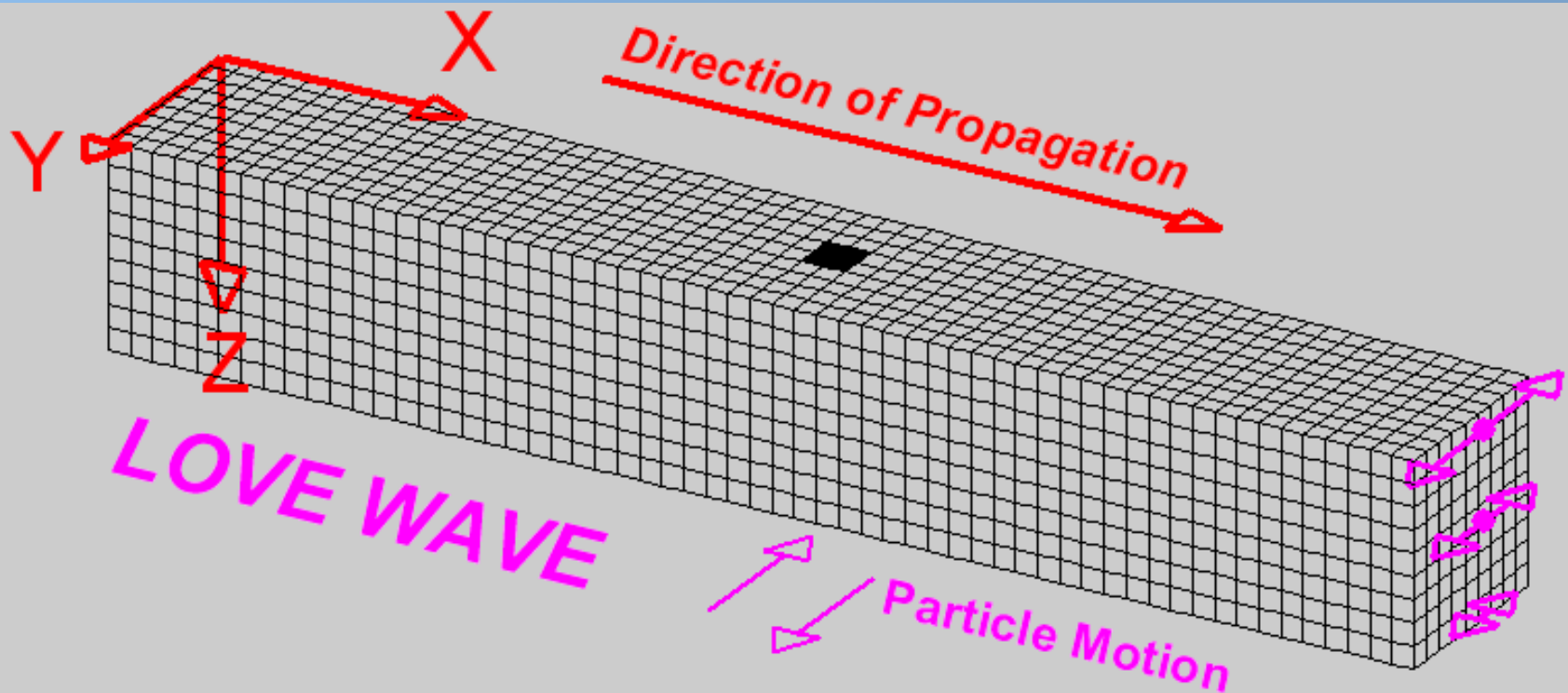
Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΑΝΑΓΡΑΦΕΣ - ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ – ΚΥΜΑΤΑ RAYLEIGH



Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΑΝΑΓΡΑΦΕΣ - ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ – ΚΥΜΑΤΑ LOVE

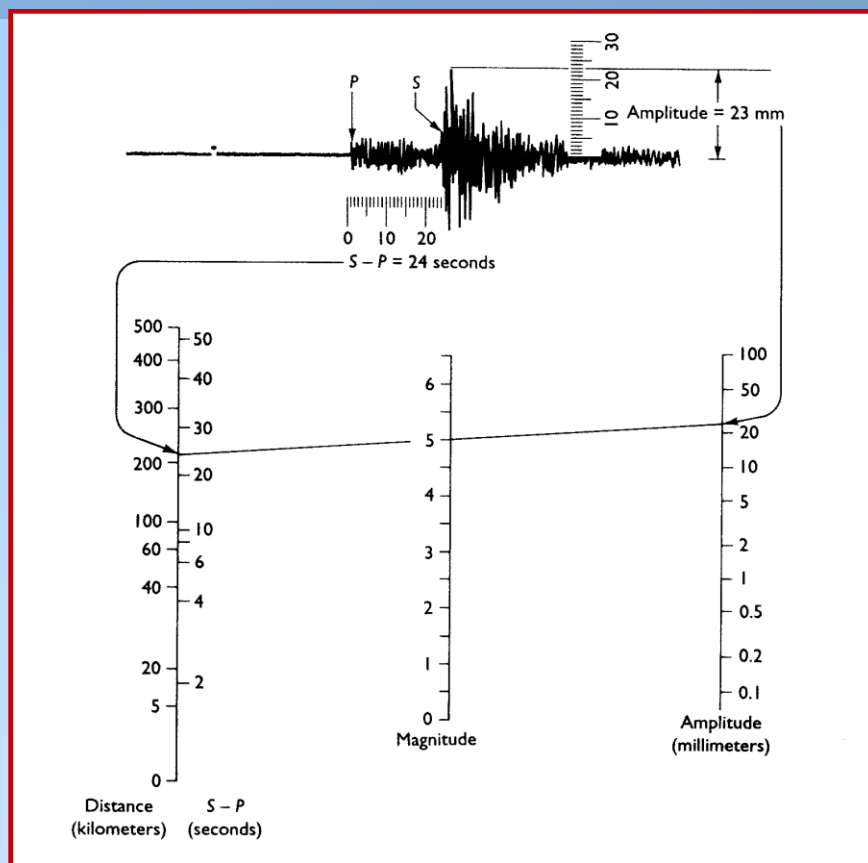


Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΑΝΑΓΡΑΦΕΣ

ΜΕΓΕΘΟΣ RICHTER (M_L)

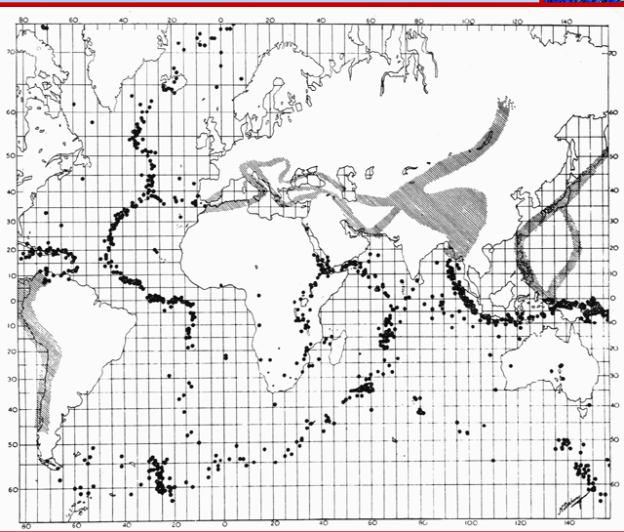
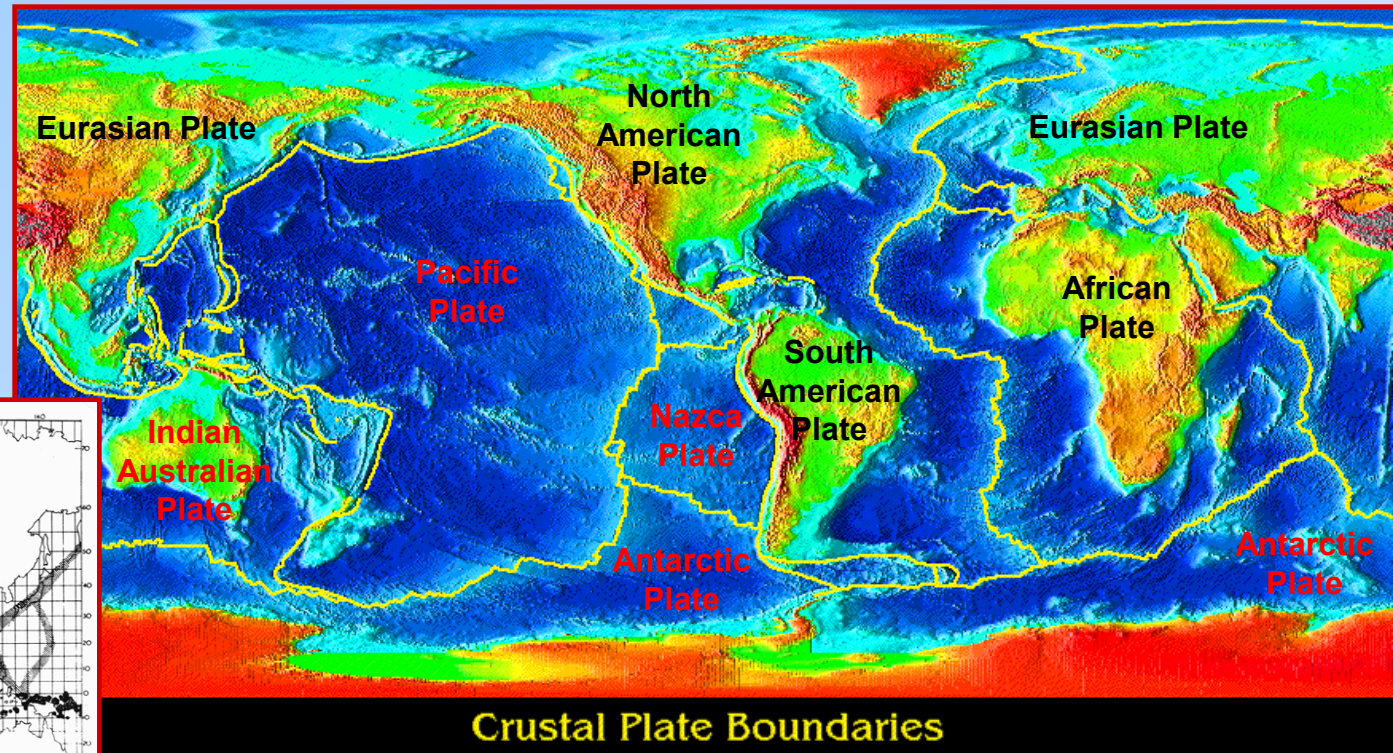
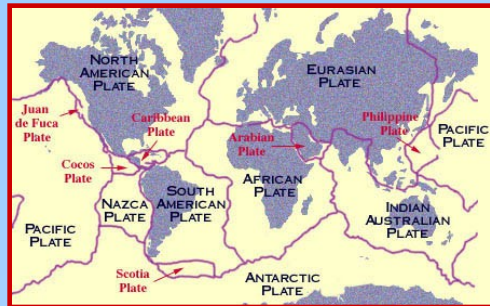
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΕΝΟΣ ΤΟΠΙΚΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ



Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΘΕΩΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΕΝΕΣΗ

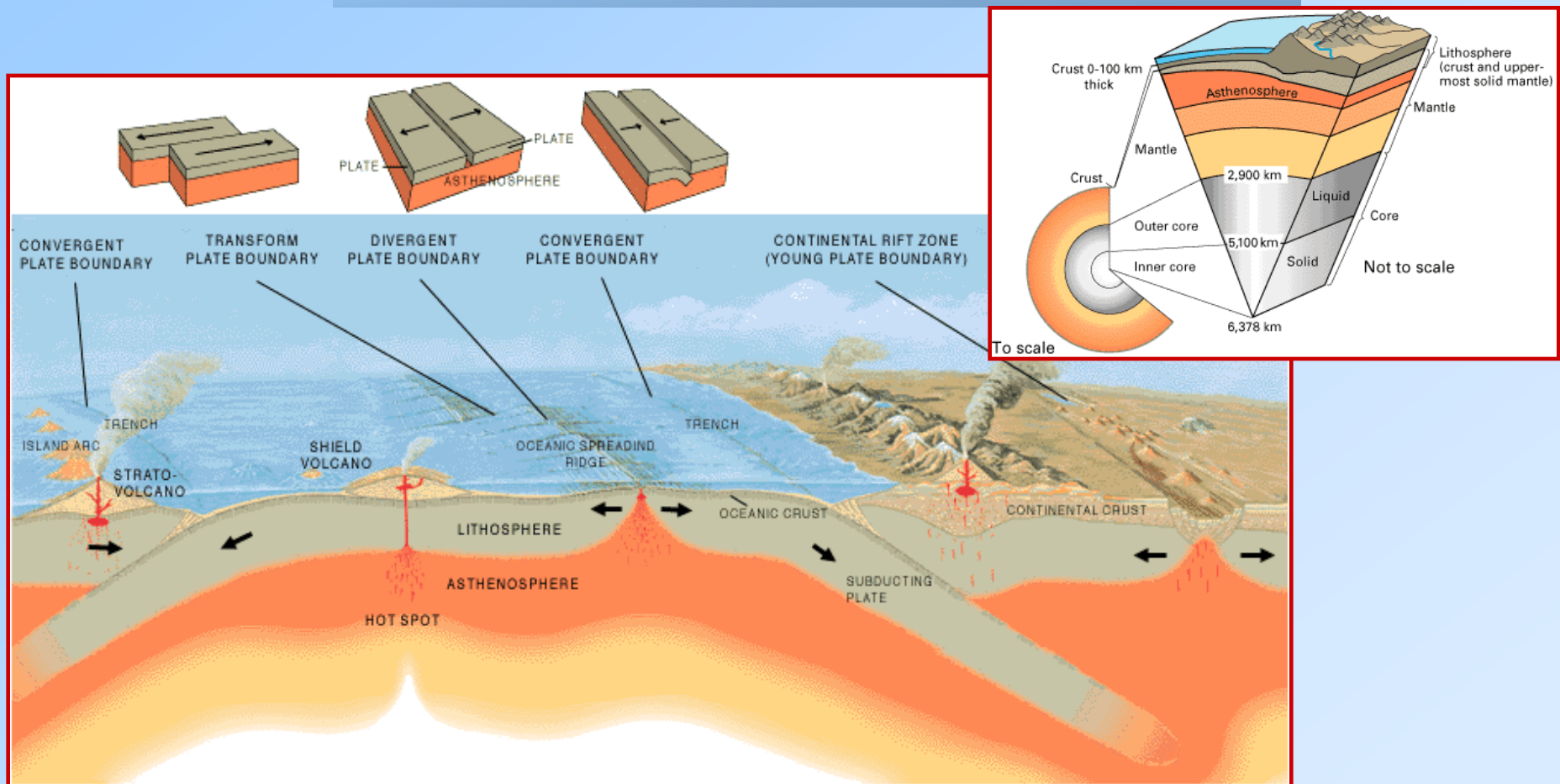
ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΩΝ ΛΙΘΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΠΛΑΚΩΝ



Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

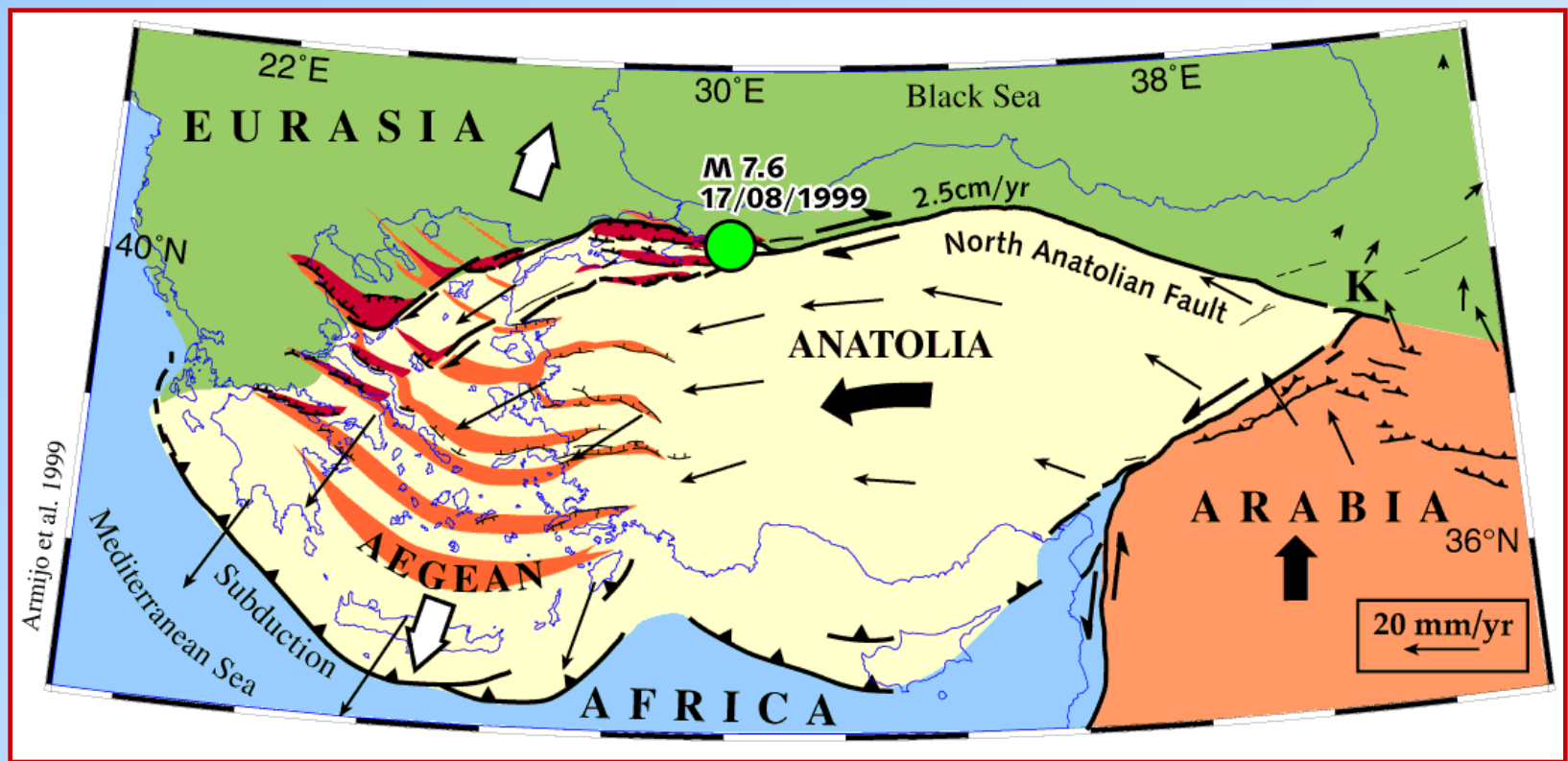
ΘΕΩΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΕΝΕΣΗ

ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΩΝ ΛΙΘΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΠΛΑΚΩΝ



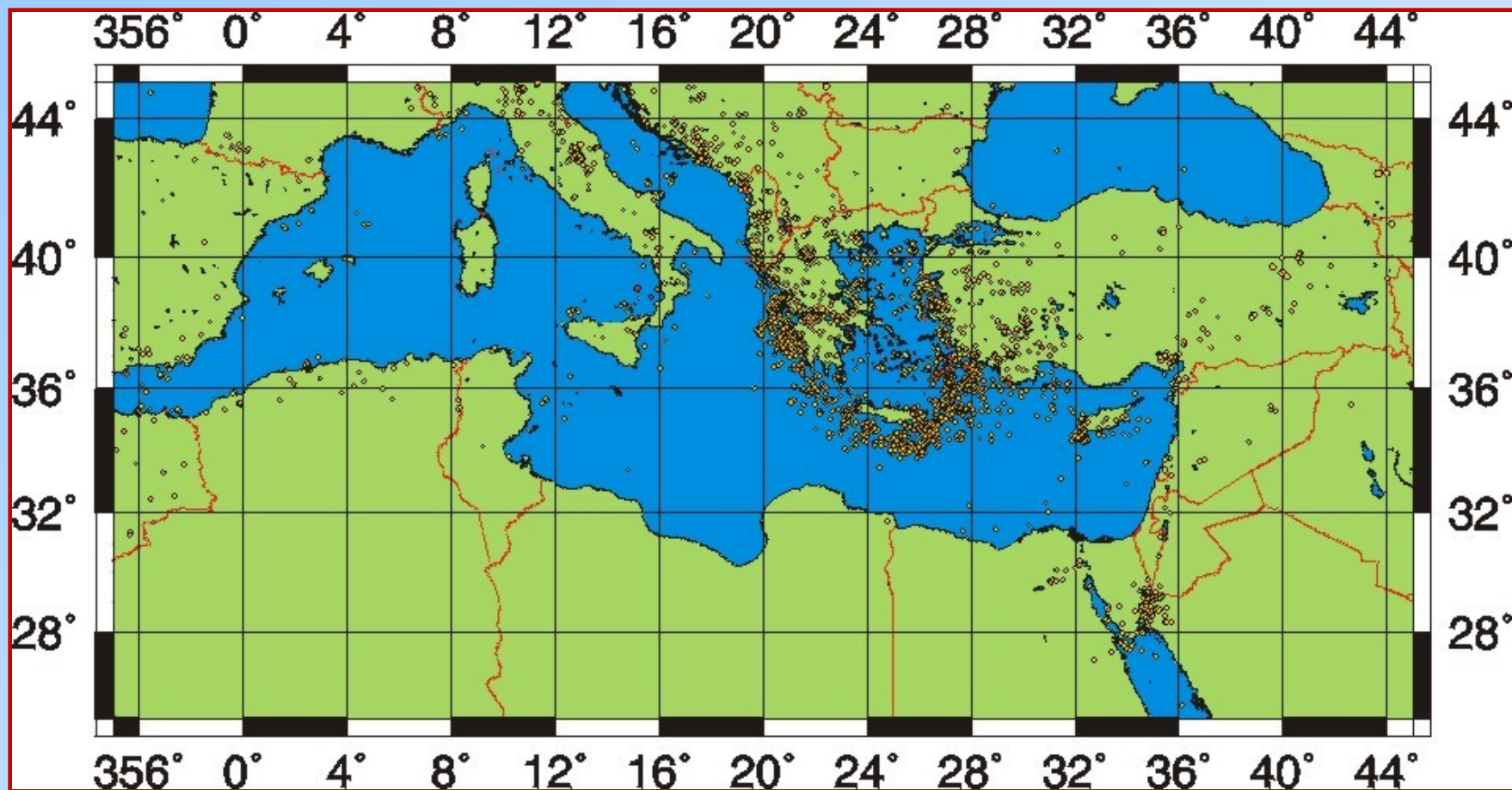
Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΩΝ ΛΙΘΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΠΛΑΚΩΝ ΣΤΗΝ ΝΟΤΙΟ-ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ



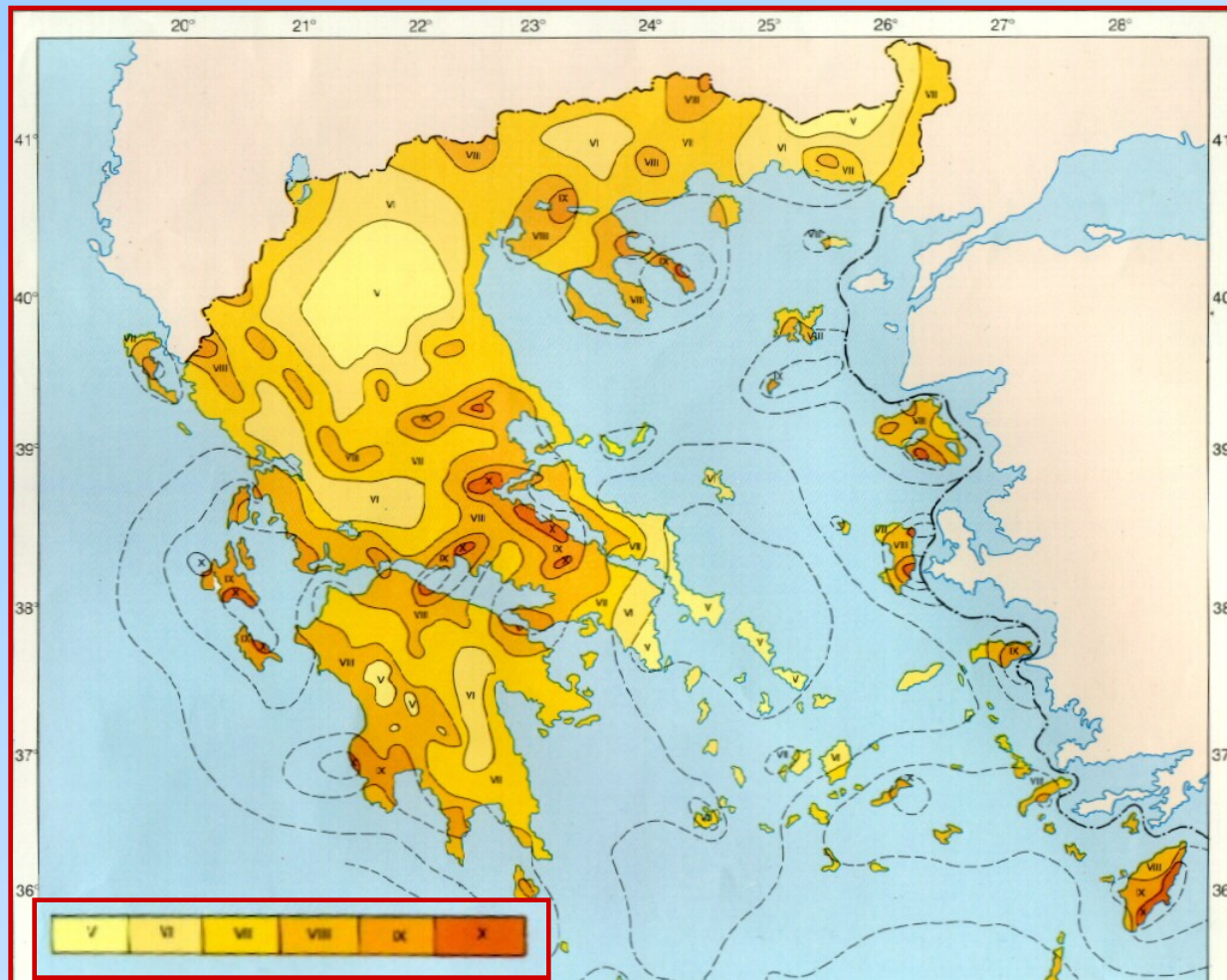
Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

Η ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ

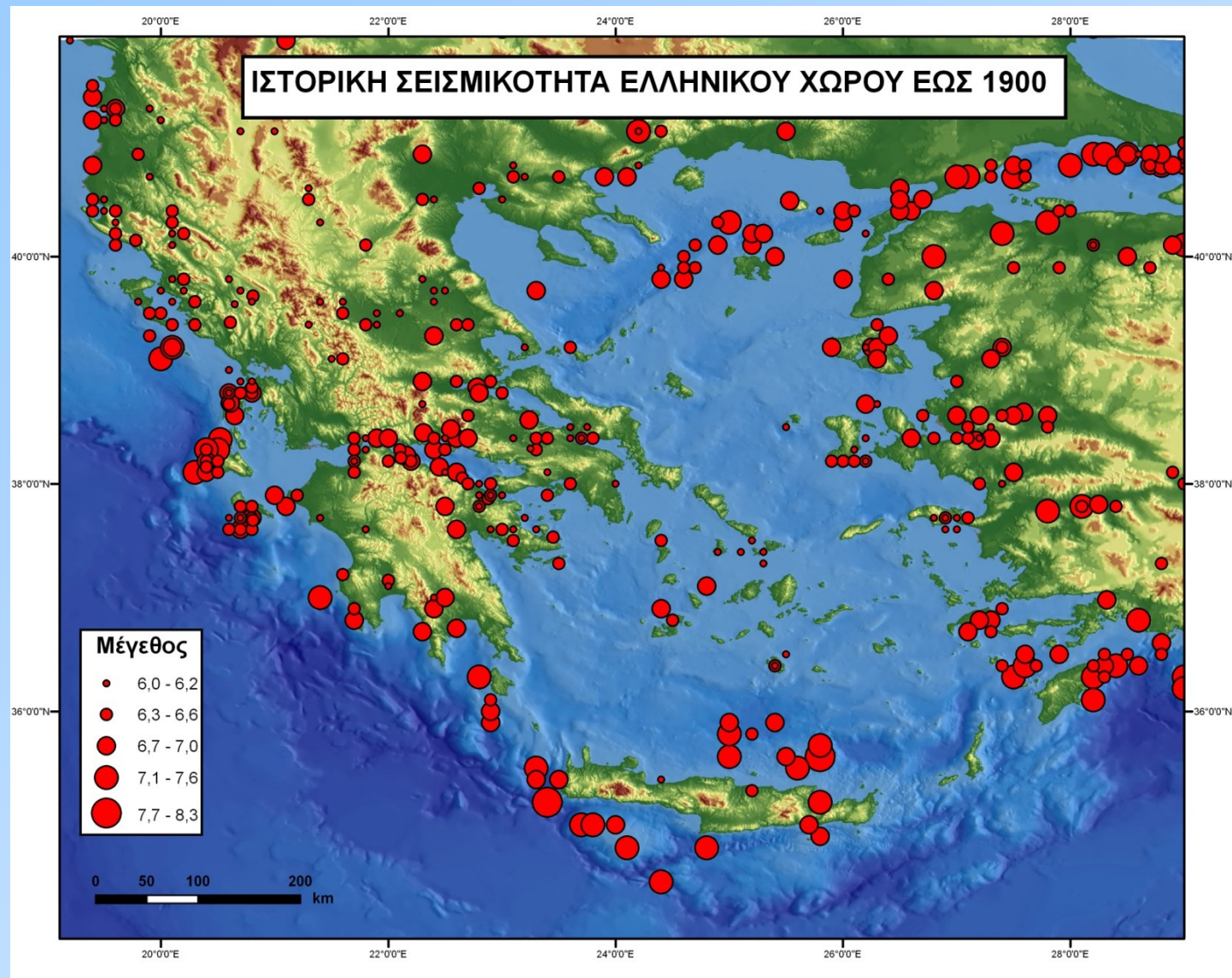


Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΘΕΙΣΕΣ ΕΝΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

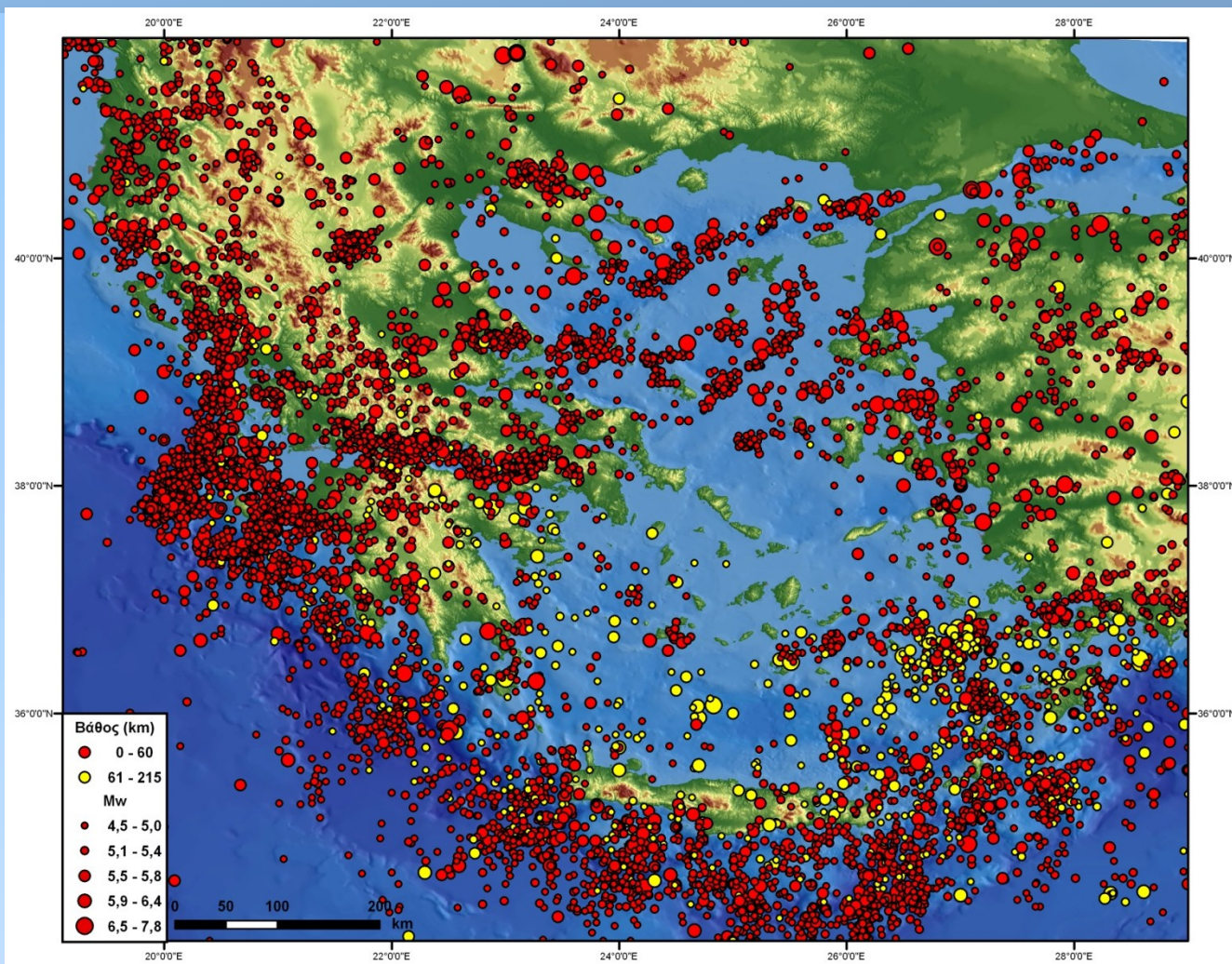


Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

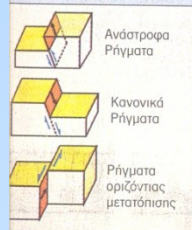


Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ (1900-2010)

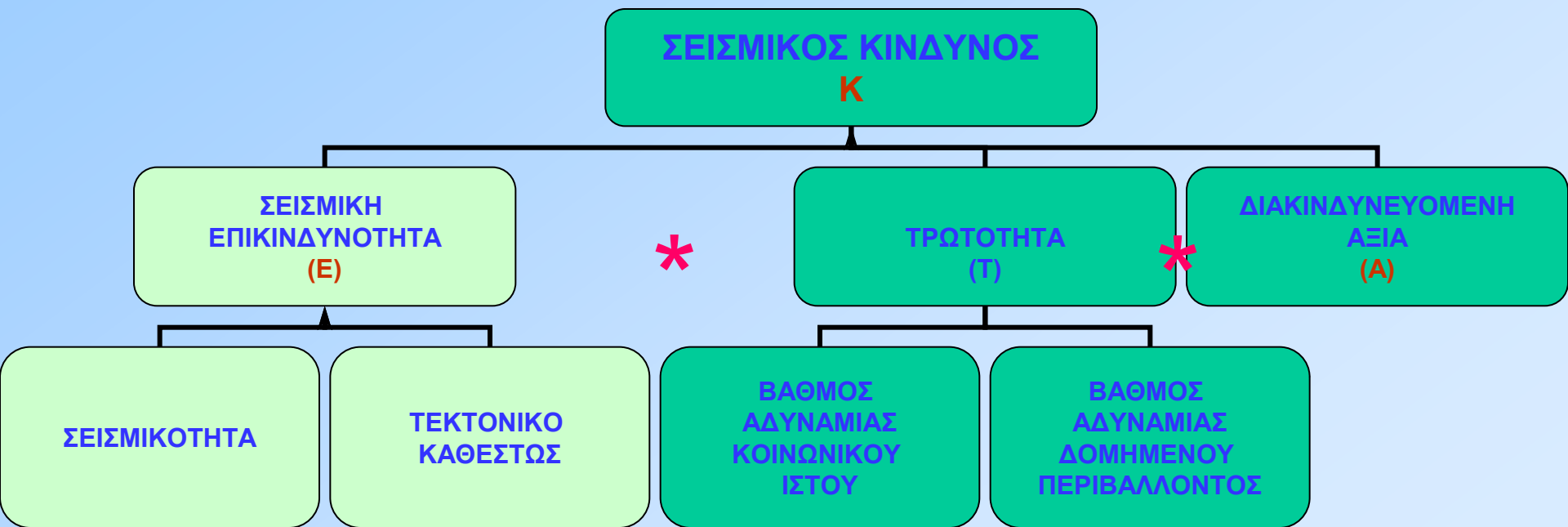


ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΕΝΕΡΓΑ ΡΗΓΜΑΤΑ



Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

$$K=E*T*A$$



Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

$$K=E*T*A$$



Σεισμική Επικινδυνότητα

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ

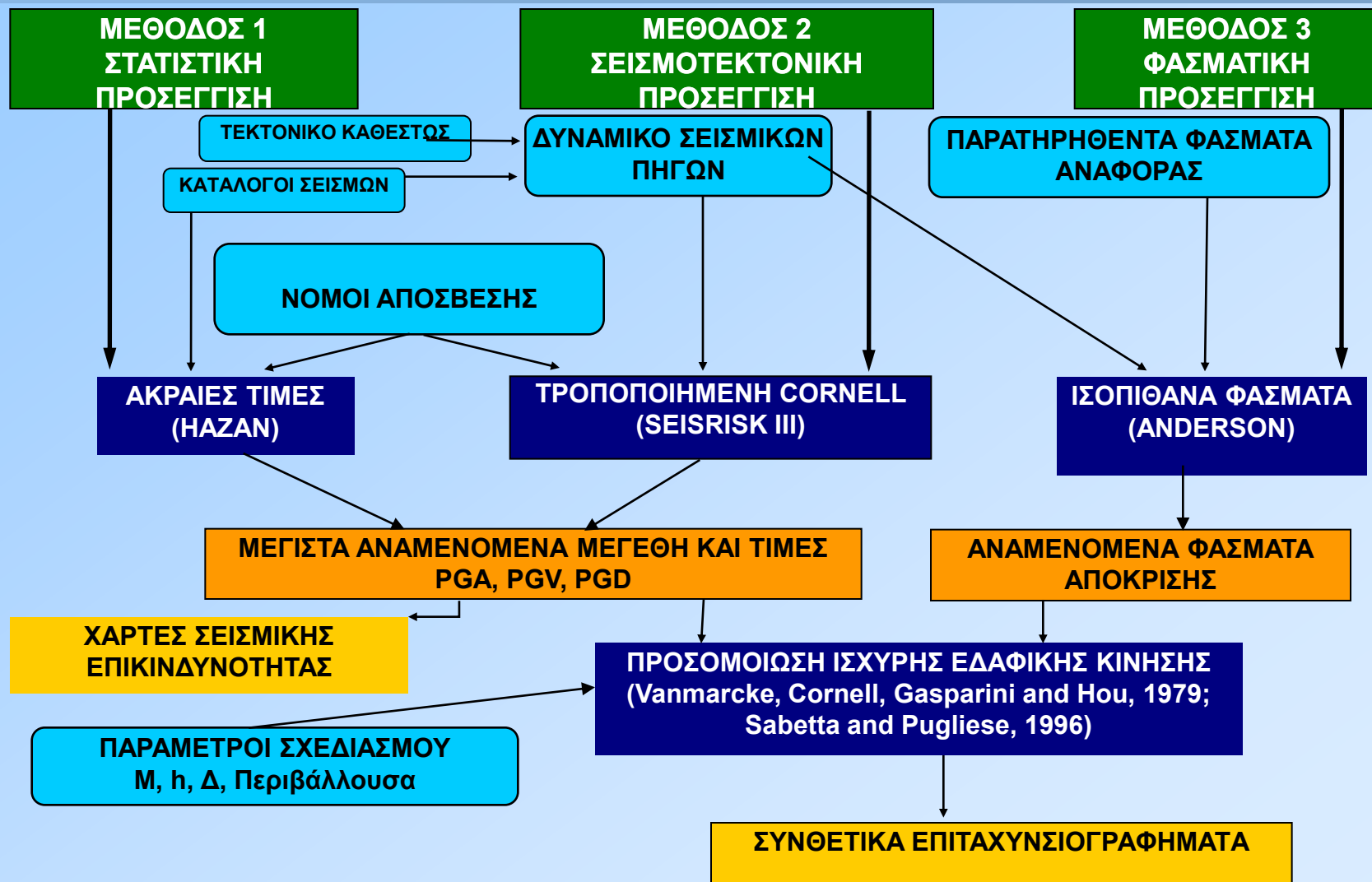
Σεισμική επικινδυνότητα μιας περιοχής είναι “η πιθανότητα, $P(M, A, V, D)$, να συμβεί ένας σεισμός συγκεκριμένου μεγέθους M ή εδαφικής παραμέτρου (π.χ. A, V ή D) στην περιοχή μελέτης εντός ορισμένου χρονικού διαστήματος T ”.

Οι μεθοδολογίες που έχουν αναπτυχθεί και εφαρμόζονται διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

1. Τις καθαρά στατιστικές μεθόδους οι οποίες βασίζονται στην επεξεργασία των δεδομένων, στη συγκεκριμένη περίπτωση σεισμολογικών στοιχείων που περιέχονται σε καταλόγους σεισμών της περιοχής μελέτης, διαφοροποιούμενες μόνο ως προς τους νόμους κατανομής που υιοθετούν για να περιγράψουν τον τρόπο γένεσης (π.χ. Poisson, Markov, Extreme Value, κ.α.) και
2. Τις μεθόδους εκείνες που λαμβάνουν υπ’ όψη τους και εισάγουν προς στατιστική επεξεργασία την επιμέρους κατανομή των σεισμικών εστιών ως αποτέλεσμα του γεωτεκτονικού καθεστώτος της περιοχής. Εισάγουν, δηλαδή, τα ιδιαίτερα γεωμετρικά στοιχεία συγκεκριμένων σεισμικών πηγών (π.χ. ρήγματος, επιφανείας κ.α.) καθώς και στοιχεία δυναμικότητάς τους (π.χ. ρυθμός έκλυσης, ελάχιστο και μέγιστο μέγεθος κ.α.) και συνθέτουν την συμβολή κάθε πηγής στην τελική διαμόρφωση της στάθμης επικινδυνότητας της θέσης μελέτης.

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

Λογικό διάγραμμα εργασιών αποτίμησης σεισμικής επικινδυνότητας



Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΣΧΕΣΕΙΣ ΕΞΑΣΘΕΝΙΣΗΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ

Για τον υπολογισμό των παραμέτρων εδαφικής κίνησης είναι απαραίτητη η γνώση του τρόπου με τον οποίο η ενέργεια που απελευθερώνεται στην εστία κάποιου σεισμού διαδίδεται προς τη θέση ενδιαφέροντος. Ο τρόπος αυτός συνήθως περιγράφεται από τους νόμους (εξασθένησης) απόσβεσης. Οι νόμοι αυτοί συνδέουν, συνήθως εμπειρικά, τη μέγιστη τιμή των παραμέτρων της εδαφικής κίνησης που παρατηρούνται στη θέση μελέτης με την ενέργεια που ελευθερώνεται στην εστία (μέγεθος σεισμού) και την απόσταση εστίας-θέσης.

Ένας γενικός τύπος εξασθένησης που περιγράφει τα παραπάνω και έχει τύχει μεγάλης εφαρμογής είναι της μορφής:

$$\ln(A) = b_1 + b_2M - b_4\ln(R+b_3)$$

Σχέσεις εξασθένησης της επιτάχυνσης που χρησιμοποιούνται για τον Ελληνικό χώρο

$$\ln(A) = 7.68 + 0.7M - 1.8\ln(R+20)$$

Makropoulos,(1978)

$$\ln(A) = 3.88 + 1.12M - 1.65\ln(R + 15) + 0.41S$$

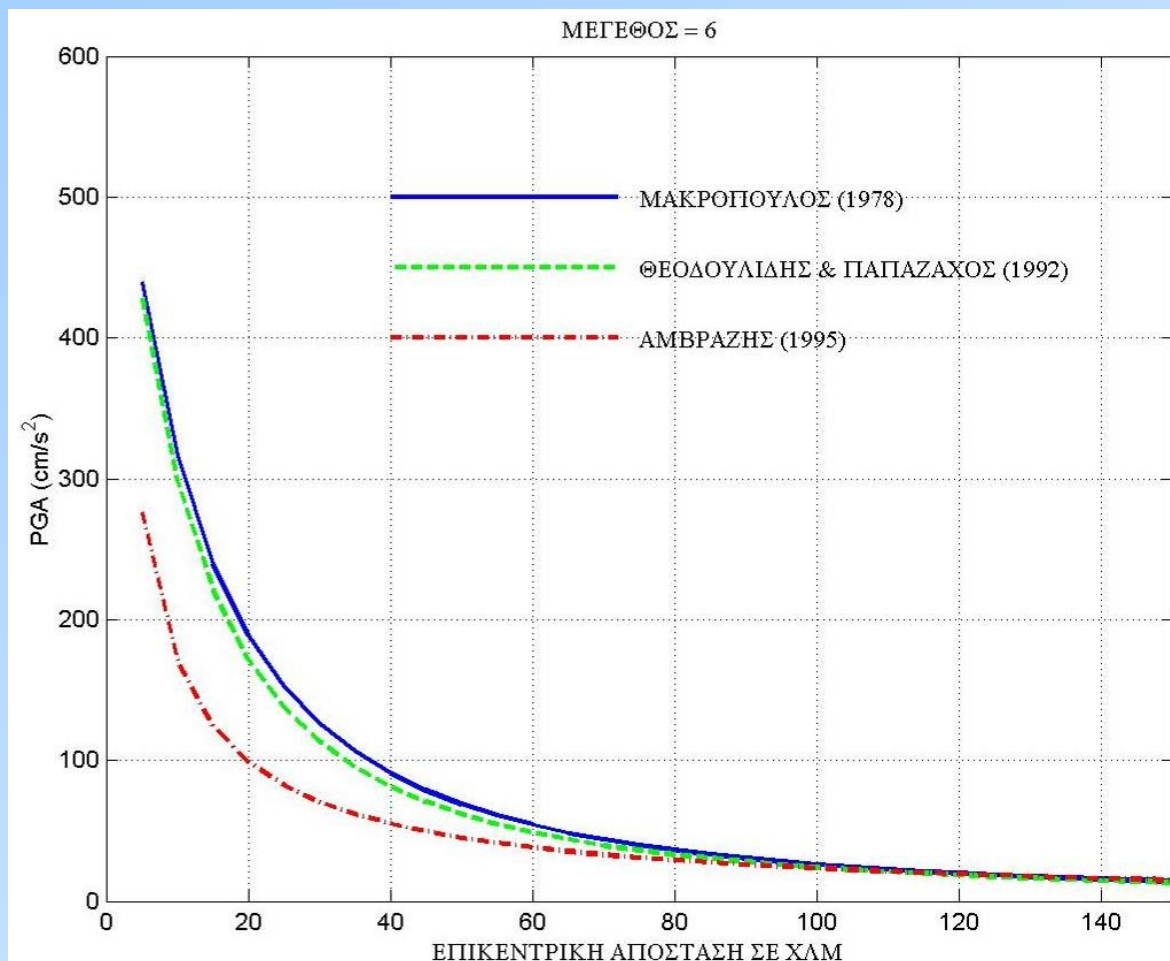
Theodulidis and Papazachos (1992)

$$\log(A) = -1.43 + 0.245M - 0.786\log(R_2 + 2.72)^{1/2} - 0.001(R_2 + 2.72)^{1/2}$$

Ambraseys (1995)

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΣΧΕΣΕΙΣ ΕΞΑΣΘΕΝΙΣΗΣ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ



Καμπύλες εξασθένησης επιτάχυνσης για M=6.0

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Η κατανομή των σεισμών σε συνάρτηση με το χρόνο και το μέγεθος ερευνάται με τη χρησιμοποίηση:

- α. Όλων των διαθέσιμων δεδομένων (σεισμών) μιας περιοχής (whole process).
- β. Μόνο των ακραίων μέγιστων τιμών δηλ. χρησιμοποιούνται οι μεγαλύτεροι σεισμοί που παρατηρήθηκαν ανά ορισμένη χρονική περίοδο (part process).

Τα στατιστικά πρότυπα που χρησιμοποιούν όλα τα δεδομένα βασίζονται:

- α) σε νόμους κατανομών του πλήθους των σεισμών στο χρόνο είτε θεωρώντας τα γεγονότα (σεισμούς) ανεξάρτητα μεταξύ τους (Poissonian memoryless), είτε εξαρτημένα (Semi-Markov) με απλές (Markovian) ή σύνθετες (non-Markovian) εξαρτήσεις και
- β) σε σχέσεις πλήθους με μέγεθος, είτε γραμμικές (Gutenberg - Richter, 1944) είτε δευτεροβάθμιες (Cornell and Vanmarcke, 1969).

Παρά τις προφανείς αδυναμίες πληρότητας, κυρίως σε μικρού μεγέθους σεισμούς που πάσχουν όλοι οι κατάλογοι, ακόμα και περιοχών με έντονη σεισμικότητα όπως είναι ο Ελληνικός χώρος, τα πρότυπα αυτά και κυρίως οι κατανομές Poisson, λόγω της μαθηματικής απλότητάς τους, έχουν τύχει ευρείας εφαρμογής.

Τα βασικά σημεία κατανομών Poisson και Ακραίων Τιμών έχουν ως εξής:

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

Η ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ (HAZAN)

Ανεξάρτητα από την κατανομή του πατρικού πληθυσμού, η κατανομή των ακραίων τιμών έχει τους εξής τρεις τύπους ασύμπτωτων κατανομών:

$$\text{I.} \quad \Phi(x)^{(1)} = \exp [-\exp (-a(x-u))], \quad a > 0$$

$$\text{II} \quad \Phi(x)^{(2)} = \exp [-(u - \varepsilon/x - \varepsilon)^k] \quad k > 0, \quad x \geq \varepsilon, \quad u > \varepsilon \geq 0$$

$$\text{III} \quad \Phi(x)^{(3)} = \exp \left[- (w - x/w - u)^k \right] \quad k > 0, \quad x \leq w, \quad u < w$$

Η πρώτη ασύμπτωτος ισχύει για αρχικές κατανομές ανοικτές και στις δύο διευθύνσεις, η δεύτερη για αρχικές κατανομές φραγμένες προς τα κάτω και η τρίτη για κατανομές που έχουν άνω όριο. Και στις τρεις ασύμπτωτους ισχύει:

$$\Phi(u) = 1/e$$

Δηλαδή περίπου το 36% των παρατηρήσεων σ' όλες τις περιπτώσεις πρέπει να βρίσκεται πριν από την τιμή $x=u$

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

Η ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ (HAZAN)

$\Phi(x)$ είναι η πιθανότητα να συμβεί σεισμός μικρότερος ή ίσος από αυτόν μεγέθους x ,
οπότε η πιθανότητα για μια τιμή να είναι μεγαλύτερη ή ίση αυτής του x είναι:

$$1 - \Phi(x)$$

και το αντίστροφό της

$$T(x) = 1/[1-\Phi(x)]$$

είναι η περίοδος επανάληψης σεισμού μεγέθους μεγαλύτερου ή ίσου του x που δείχνει το μέσο πλήθος των χρονικών διαστημάτων που απαιτούνται ώστε να παρουσιαστεί σεισμός με μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο από αυτόν μεγέθους x . Στον υπολογισμό του σεισμικού μεγέθους χρησιμοποιείται κυρίως η τρίτη ασύμπτωτος γιατί περιέχει ως παράμετρο το άνω όριο που στην περίπτωση μας είναι ο μέγιστος δυνατός σεισμός της περιοχής ω δηλαδή ο σεισμός με πιθανότητα:

$$\Phi(\omega) = 1$$

να είναι ο μέγιστος στην περιοχή.

Για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας από άποψη αναμενόμενων μέγιστων μεγεθών εφαρμόζεται η τρίτη ασύμπτωτος, ενώ για την εκτίμηση των αναμενόμενων μέγιστων εδαφικών παραμέτρων εφαρμόζεται η πρώτη ασύμπτωτος.

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

Η ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ (HAZAN)

α. Για την πρώτη ασύμπτωτο:

$$G(x) = [\exp - \exp [-a(x-u)]]$$

1. Πλέον πιθανό ετήσιο μέγιστο:

$$\bar{X}_1 = u$$

2. Πλέον πιθανό μέγιστο μέσα σε T χρόνια:

$$\bar{X}_T = u + \ln T/a$$

3. Η τιμή X_p του μεγέθους που με πιθανότητα $1-p$ το περιμένουμε να παρουσιαστεί σαν ετήσιο μέγιστο:

$$X_{1p} = u - [\ln - \ln(1-p)]/a$$

(οπότε για $P = 63\%$ έχουμε $X_1=u$).

4. Σε T χρόνια:

$$X_{TP} = X_{1p} + \ln T/a$$

5. Η πιθανότητα του να γίνει ένας σεισμός με παράμετρο $>X$ σε T έτη είναι:

$$P_{XT} = 1 - \exp [-T \exp [-a(X-u)]]$$

(οπότε για $X=u$ και $T=1$ έχουμε: $P=63\%$ δηλαδή την πιθανότητα του ετήσιου mode u).

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

Η ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ (HAZAN)

α. Για την τρίτη ασύμπτωτο:

Λόγω της ασυμμετρίας της τρίτης ασυμπτώτου η χαρακτηριστική τιμή u δεν είναι το mode της συνάρτησης κατανομής. Η τιμή δίνεται από τη σχέση:

$$\bar{X}_1 = \omega - (\omega - u) \cdot (1 - 1/k)^{1/k}$$

το οποίο για τα επόμενα T χρόνια θα είναι:

$$\bar{X}_T = \omega - (\omega - u) \left[(1 - 1/k) / T \right]^{1/k}$$

Και η παράμετρος X_{PT} που έχει πιθανότητα P να είναι το μέγιστο κατά τη διάρκεια T χρόνων είναι:

$$X_{PT} = \omega - (\omega - u) \cdot (-\ln p)^{1/k} / T^{1/k}$$

και η περίοδος επανάληψης σε χρόνια, Π.Ε:

$$\text{Π.Ε} = 1 / (1 - P)^{1/T}$$

οπότε (με $T=50$ και $P=0.90$, $\text{Π.Ε}=475\text{chr}$)
(η περ.επαν.των τιμών του ΝΕΑΚ)

Οι Epstein and Lomnitz (1966) έδειξαν ότι η παράμετρος u της πρώτης ασύμπτωτου που εκφράζει το πιο πιθανό ετήσιο μέγιστο μέγεθος συνδέεται με τις σταθερές του νόμου συχνότητας - μεγέθους των Gutenberg – Richter

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Τα σεισμοτεκτονικά μοντέλα που προτείνονται για τον καθορισμό της σεισμικής επικινδυνότητας συνδυάζουν τη σεισμικότητα της περιοχής μελέτης με τα κύρια τεκτονικά της στοιχεία. Ο κύριος σκοπός κάθε προσπάθειας προσομοίωσης είναι ο προσδιορισμός μιας σχέσης κατανομής της παραμέτρου που ενδιαφέρει, π.χ. επιτάχυνσης, στο χρόνο και χώρο που μελετάται. Τέτοιες κατανομές έχουν την μορφή:

$$F(a/t) = P(A < a/t)$$

όπου **P** είναι η πιθανότητα ότι η επιτάχυνση, **A**, δεν θα υπερβεί κάποια προκαθορισμένη τιμή **a**, μέσα στα επόμενα **T** χρόνια.

Για τον ακριβή προσδιορισμό της σχέσης $F(a)$ απαιτείται η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη συγκέντρωση και ανάλυση στοιχείων - καταγραφών, από σεισμούς της περιοχής. Δυστυχώς όμως, η έλλειψη τέτοιων δεδομένων (π.χ. επιταχυνσιογραφημάτων), όχι μόνο σε τοπικό επίπεδο αλλά και γενικότερα, όπως ήδη αναφέρθηκε, αναγκάζει την εισαγωγή στοχαστικών, πιθανολογικών μοντέλων κατανομής.

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Η σύγχρονη μεθοδολογία αποτύπωσης της σεισμικής επικινδυνότητας, περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

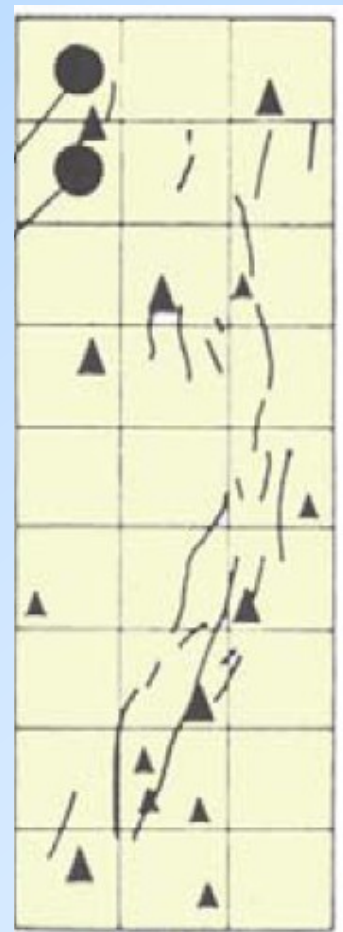
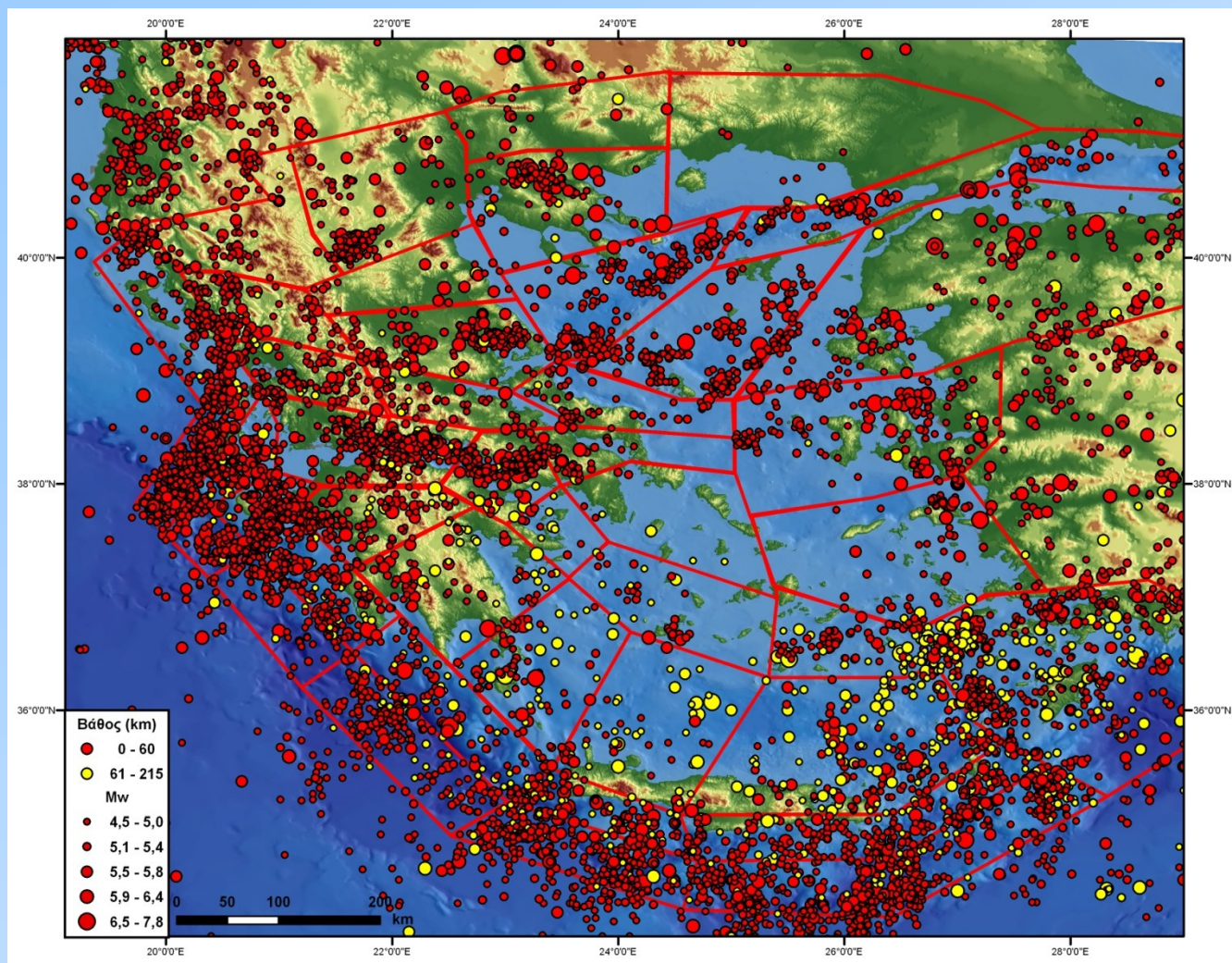
- (i) Καθορισμός των σεισμικών ζωνών με τη βοήθεια της χωρικής κατανομής των επικέντρων και των γεωτεκτονικών χαρακτηριστικών της περιοχής.
- (ii) Την παραδοχή της διακεκριμένης στο χρόνο στοχαστικής διαδικασίας στον τρόπο γένεσης των σεισμών.
- (iii) Για κάθε ζώνη, καθορισμός της σχέσης συχνότητας σεισμών με το μέγεθος τους.
- (iv) Καθορισμός της αντιπροσωπευτικής καμπύλης (νόμου) εξασθένισης, και τέλος
- (v) Υπολογισμός της σεισμικής επικινδυνότητας.

Όσον αφορά στο πρώτο βήμα, ο διαχωρισμός σε ζώνες μεγάλης ή μικρής σεισμικής δυναμικότητας βασίζεται κυρίως στη δυνατότητα διάκρισης των τεκτονικών χαρακτηριστικών. Τα μοντέλα μελλοντικών σεισμικών πηγών διακρίνονται σε

- σημειακά
- γραμμικά
- κυκλικά και
- τετραπλευρικά

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Για το δεύτερο βήμα, ο καθορισμός της χρονικής κατανομής των σεισμών στις ζώνες προσεγγίζεται με στατιστικά μοντέλα με πιο συνηθισμένο το μοντέλο Poisson. Έτσι, η κατανομή της πιθανότητας P να έχουμε n σεισμούς μέσα σε χρονικό διάστημα t δίνεται από τη σχέση:

$$P(n, t, \lambda) = \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!}$$

όπου λ είναι ο μέσος ρυθμός γένεσης (π.χ. πλήθος σεισμών ανά χρόνο). Αποδεικνύεται ότι στην κατανομή Poisson ο μέσος όρος της κατανομής $E(n/t, \lambda)$ και η τυπική της απόκλιση $\sigma(n/t, \lambda)$ παίρνουν την τιμή λt .

Ο ρυθμός γένεσης λ είναι συνάρτηση του σεισμικού μέγεθους M . Με δεδομένο ότι η κατανομή Poisson θεωρεί τα γεγονότα ανεξάρτητα μεταξύ τους, δηλαδή δεν επηρεάζεται από το αν έγιναν ή όχι σεισμοί προηγούμενα, έχουμε:

$$P(n, t, \lambda_c(M)) = \frac{(\lambda_c(M) \cdot t)^n \cdot e^{-\lambda_c(M) \cdot t}}{n!}$$

όπου $\lambda_c(M)$ είναι ο αθροιστικός ετήσιος ρυθμός, δηλαδή ο ετήσιος ρυθμός σεισμών με μέγεθος ίσο ή μεγαλύτερο του M .

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Το τρίτο βήμα, μετά τον καθορισμό των ζωνών και την εκλογή του μοντέλου κατανομής του πλήθους των αναμενόμενων σεισμών, είναι να καθοριστεί η σχέση που συνδέει το πλήθος των σεισμικών γεγονότων σε σχέση με το μέγεθος τους. Μια τέτοια σχέση είναι η γνωστή των Gutenberg-Richter:

$$\log N_c(M) = a + bM \quad (1)$$

όπου $N_c(M)$ είναι το πλήθος των σεισμών στη μονάδα χρόνου με μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο του M . Σύμφωνα με τα προηγούμενα, το $N_c(M)$ και $\lambda_c(M)$ είναι ισοδύναμα. Επομένως, στη σχέση:

$$P \approx t \cdot \lambda_c(M) = \frac{(\lambda_c(M) \cdot t)^n \cdot e^{-\lambda_c(M) \cdot t}}{n}$$

μπορεί να γίνει αντικατάσταση του $\lambda_c(M)$ με το $N_c(M)$ και έτσι να γίνει και χρήση της σχέσης (1) που αντιπροσωπεύει το σεισμικό δυναμικό της ζώνης.

Για τον υπολογισμό των παραμέτρων εδαφικής κίνησης στη θέση μελέτης, όπως είναι η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση ή η ταχύτητα ή η μετατόπιση που θα παρατηρηθούν σαν αποτέλεσμα της γένεσης ενός σεισμού με μέγεθος M σε απόσταση R από την εστία, απαιτείται (τέταρτο βήμα) η γνώση του τρόπου εξασθένισης. Οι νόμοι αυτοί, που έχουν ήδη αναφερθεί, συνδέουν τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα και μετατόπιση με το μέγεθος και την απόσταση από την εστία αντίστοιχα.

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Το τελικό βήμα είναι η αποτύπωση της σεισμικής επικινδυνότητας από άποψη παραμέτρων εδαφικής κίνησης A, V και D δηλαδή:

$$F(a,v,d/t) = P(A,V,D < a,v,d/t)$$

Για παράδειγμα, στην περίπτωση της εδαφικής επιτάχυνσης και με τις ίδιες παραδοχές (Poisson κατανομή), αν $\Phi_c(A)$ είναι ο μέσος αριθμός επιταχύνσεων με τιμή μεγαλύτερη ή ίση της τιμής A στη μονάδα χρόνου, τότε:

$$P(n/t, \Phi_c(A)) = \frac{(\Phi_c(A) \cdot t)^n \cdot e^{-\Phi_c(A) \cdot t}}{n!}$$

από όπου έχουμε:

$$F(A/t) = P(A/t, \Phi_c(A)) = e^{-\Phi_c(A) \cdot t}$$

Από τη σχέση Gutenberg-Richter και τον νόμο εξασθένησης της μορφής $A=f(R,M)$, υπολογίζεται η $\Phi_c(A)$ από την εξίσωση:

$$\Phi_c(A) = \sum_{ij} N_c^j(M_i)$$

όπου ο δείκτης j αναφέρεται στην j -οστή σεισμική πηγή της περιοχής ενώ το M_i στο μέγεθος που είναι ικανό να δώσει επιτάχυνση A σε απόσταση R από την εστία.

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

Η ΜΕΘΟΔΟΣ SEISRISK III ΤΩΝ BENDER AND PERKINS, 1987

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στα πέντε προαναφερθέντα βήματα που περιέχονται στην αρχική προσέγγιση του Cornell (1968), με τις ακόλουθες βασικές τροποποιήσεις:

α) Μέσα σε κάθε σεισμική ζώνη η κατανομή των σεισμών είναι κανονική (normal) και όχι ομοιόμορφη. Εάν σ η τυπική απόκλιση της θέσης του επικέντρου και εάν η αναμενόμενη θέση του βρίσκεται στο σημείο (X_e, Y_e) , η πιθανότητα να συμβεί σεισμός σε περιοχή A γύρω από την θέση $(X_e + \Delta x, Y_e + \Delta y)$, δίδεται από την σχέση:

$$P_A(\Delta x, \Delta y) = \frac{A}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{\Delta x^2 + \Delta y^2}{2\sigma^2}}$$

δηλαδή η επίδραση της ασάφειας ως προς τη θέση των επικέντρων και κατ' επέκταση της σεισμικής πηγής έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία γειτονικών πηγών στις θέσεις $(\Delta x, \Delta y)$ και τον υπολογισμό της συμβολής τους στην τελική εκτίμηση των εδαφικών παραμέτρων. Αποτέλεσμα της κανονικής κατανομής είναι να εξομαλύνονται οι μεταβολές σεισμικότητας των ζωνών και αντίστοιχα τα επίπεδα των επιταχύνσεων, ώστε να μην παρουσιάζεται το σύνηθες φαινόμενο της μεγάλης διαφοράς αναμενόμενων επιταχύνσεων σε αποστάσεις λίγων χιλιομέτρων λόγω του γεγονότος ότι ανήκουν σε διαφορετικές σεισμικές ζώνες.

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

Η ΜΕΘΟΔΟΣ SEISRISK III ΤΩΝ BENDER AND PERKINS, 1987

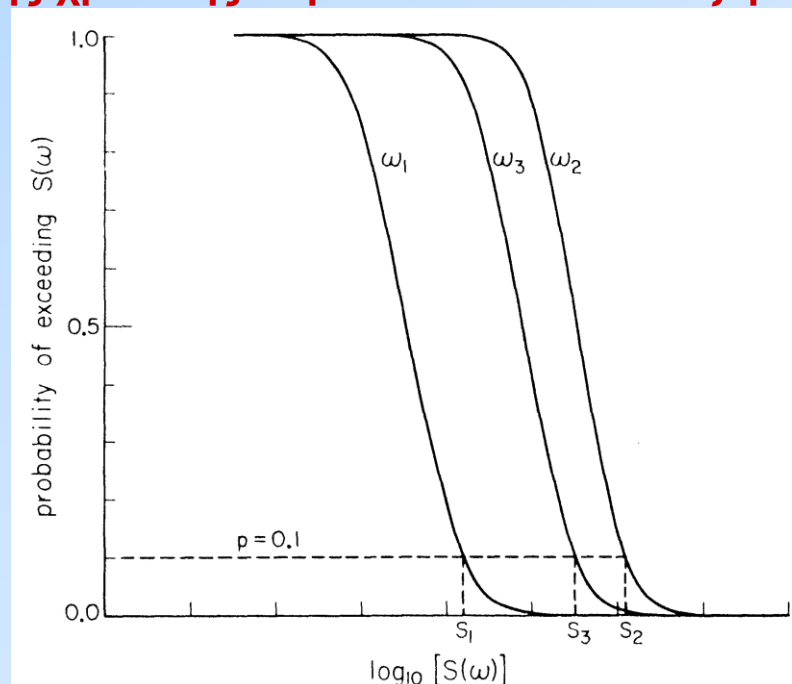
- (β) Εκτελεί μερική εξομάλυνση μεγεθών θεωρώντας τις διαρρήξεις των πλησιέστερων αποστάσεων από το ρήγμα σαν να συνέβαιναν από ένα εύρος μεγεθών. Με τον τρόπο αυτό εξομαλύνονται οι επιταχύνσεις που υπολογίζονται από τις διαρρήξεις αυτές.
- (γ) Επιτρέπει την εισαγωγή ρηγμάτων σύνθετης γεωμετρίας.
- (δ) Δέχεται και ενσωματώνει στους υπολογισμούς για κάθε ζώνη τόσο το σφάλμα στην ακρίβεια υπολογισμού των επικέντρων των σεισμών, Δx , όσο και στον νόμο απόσβεσης των εδαφικών παραμέτρων, Δy .

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΚΑΤΑ ANDERSON

Η μεθοδολογία υπολογισμού του ισοπιθανού φάσματος βασίζεται στον ανεξάρτητο προσδιορισμό, για κάθε συχνότητα, της πιθανότητας υπέρβασης συγκεκριμένου πλάτους της υπό θεώρηση φασματικής συνάρτησης (π.χ. φάσμα Fourier, φάσμα απόκρισης κ.α.). Το τελικό φάσμα κατασκευάζεται έτσι ώστε, για κάθε συχνότητα να υπάρχει η ίδια πιθανότητα υπέρβασης του πλάτους του. Άρα το τελικό φάσμα έχει την ιδιότητα η πιθανότητα υπέρβασης ενός συγκεκριμένου πλάτους κατά τη διάρκεια ενός σεισμού εντός ορισμένης χρονικής περιόδου να είναι ανεξάρτητη της συχνότητας.

Παράδειγμα συνάρτησης $p(S(\omega))$ για τρεις διαφορετικές συχνότητες ω_1 , ω_2 και ω_3 . Η πιθανότητα υπέρβασης στις συχνότητες αυτές είναι κοινή και ισούται με 0.1. Οπότε καθορίζονται τα S_1 , S_2 και S_3 .

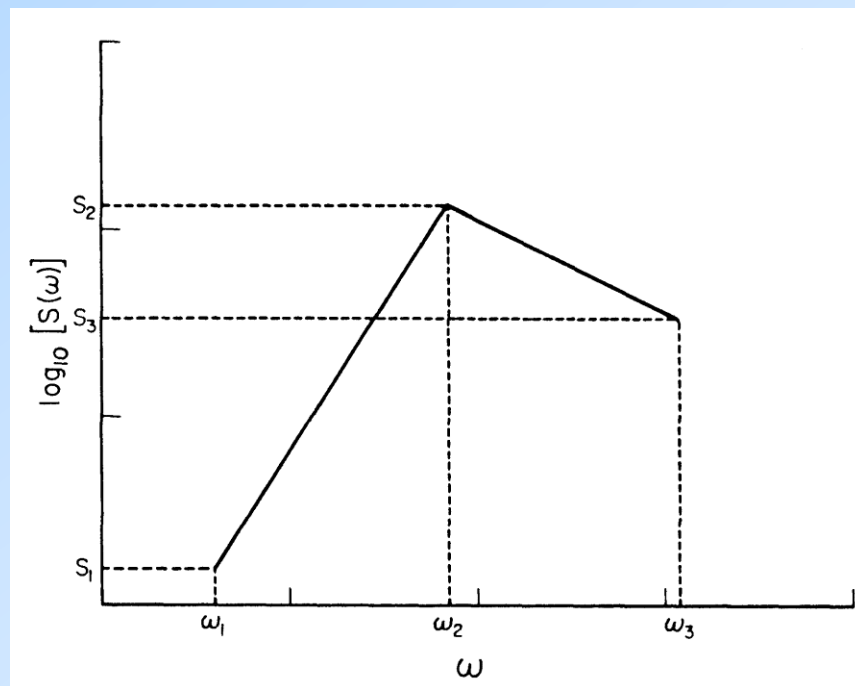


Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΚΑΤΑ ANDERSON

Το αντίστοιχο πρόγραμμα H/Y του Anderson (1978), δέχεται για είσοδο τις παραμέτρους σεισμικότητας των σεισμικών πηγών, όπως και το πρόγραμμα SeisRisk III, καθώς και πίνακες φασματικών τιμών για 11 διαφορετικές συχνότητες και διαφορετικούς συντελεστές απόσβεσης από τους οποίους, με παρεμβολή, υπολογίζει το τελικό ισοπιθανό φάσμα.

Ισοπιθανή φασματική συνάρτηση που προήλθε από τις συναρτήσεις $\rho(S(\omega))$ του προηγούμενου σχήματος. Σε κάθε συχνότητα, η πιθανότητα είναι 0.1 να γίνει υπέρβαση της $S(\omega)$ τουλάχιστον μία φορά μέσα σε Y χρόνια.



Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟΥ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΕΓΓΥΣ ΠΕΔΙΟΥ

Η μεθοδολογία των Vanmarcke, Cornell, Gasparini and Hou (1979), είναι μία στοχαστική μέθοδος κατασκευής συνθετικού επιταχυνσιογραφήματος, το οποίο συμφωνεί με συγκεκριμένο φάσμα απόκρισης. Η μέθοδος βασίζεται στο γεγονός ότι κάθε περιοδική συνάρτηση μπορεί να εκφραστεί από τη σχέση:

$$X(t) = \sum_n A_n \sin(\omega_n t + \phi_n)$$

δηλαδή από το άθροισμα ημιτονοειδών κυμάτων που περιγράφει την τυχαία στοχαστική κίνηση της οποίας οι φασικές γωνίες θεωρούνται τυχαίες μεταβλητές με ομοιόμορφη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας και τα πλάτη A_n δίδονται από:

$$A_n = \sqrt{2G(\omega_n)\Delta\omega} \quad G(\omega_n) = \frac{\left[1 + 4z_g^2 \left(\frac{\omega}{\omega_g}\right)^2\right] G_0}{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_g}\right)^2\right]^2 + 4z_g^2 \left(\frac{\omega}{\omega_g}\right)^2}$$

όπου ω_g είναι η κυρία περίοδος, z ο παράγων απόσβεσης και G_0 το φασματικό πλάτος.

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟΥ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ

ΕΓΓΥΣ ΠΕΔΙΟΥ

Δεδομένου ενός φάσματος σχεδιασμού (φάσμα-στόχος), ο αλγόριθμος παράγει φάσεις φ_n υπό μορφή (ψευδο)τυχαίων αριθμών και εξομοιώνει τις φασματικές εκτιμήτριες του φάσματος-στόχου, παράγοντας μία στατική χρονοσειρά που αναπαριστά την ισχυρή εδαφική κίνηση, αντιστοιχούσα στο δεδομένο φάσμα σχεδιασμού.

Η προσομοίωση ολοκληρώνεται με πολλαπλασιασμό της:

$$X(t) = \sum_n A_n \sin(\omega_n t + \phi_n)$$

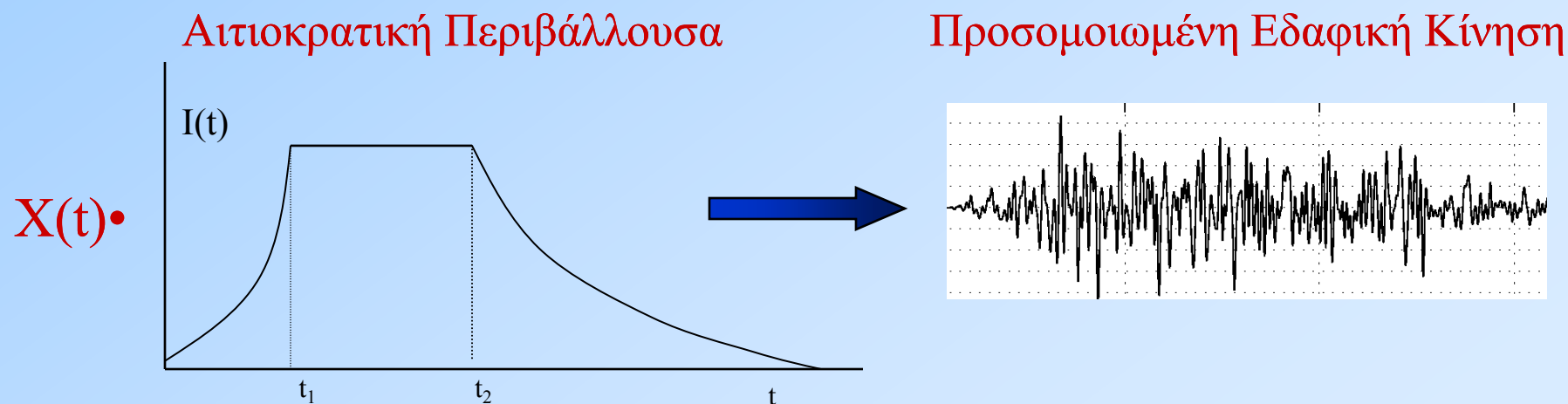
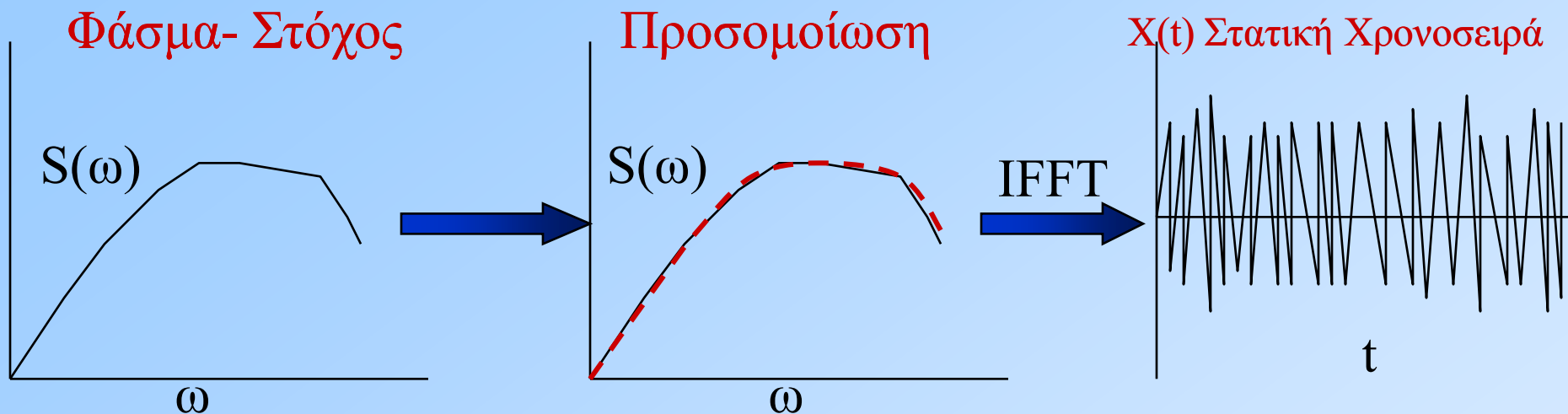
με μία αιτιοκρατικά καθορισμένη περιβάλλουσα συνάρτηση $I(t)$ που αναπαριστά τη χρονική διαφοροποίηση των μέγιστων τιμών του αναμενόμενου επιταχυνσιογραφήματος και τη χρονική διάρκεια της ισχυρής φάσης της δόνησης.

Η τεχνητή κίνηση $Z(t)$ γίνεται:

$$Z(t) = I(t) \sum_n A_n \sin(\omega_n t + \phi_n)$$

Αποτέλεσμα αυτού είναι να έχουμε μία κίνηση στατική ως προς το συχνοτικό περιεχόμενο με μέγιστο πλησίον της αναμενόμενης μέγιστης επιτάχυνσης.

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας



Σχηματική απόδοση της διαδικασίας προσομοίωσης ισχυρής εδαφικής κίνησης με την μέθοδο Vanmarcke, Cornell, Gasparini and Hou (1979).

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟΥ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ (SABETTA AND PUGLIESE, 1996)

Η προσομοίωση των ισχυρών εδαφικών κινήσεων επιτυγχάνεται με εμπειρική μέθοδο, όπου τα χρονικά και συχνотικά χαρακτηριστικά της κίνησης αναπαρίστανται μέσω φασμάτων, με άθροιση σειρών Fourier με χρονικά εξαρτώμενους συντελεστές:

$$a(t) = 2 \sum_{n=1}^N C_n(t) \cos(n2\pi f_0 t + \phi_n)$$

όπου

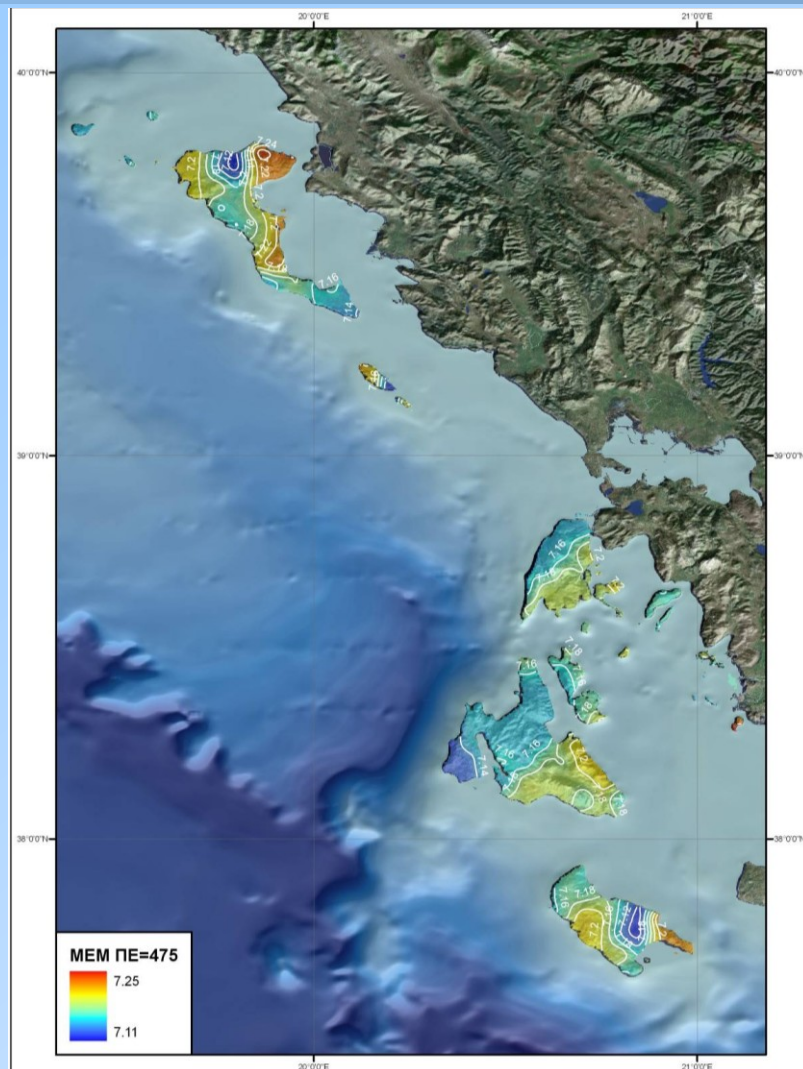
$$C_n(t) = \sqrt{2\pi f_0 PS(f_n, t)}$$

Οι προσομοιωθείσες χρονοϊστορίες συμφωνούν με τα καταγεγραμμένα επιταχυνσιογραφήματα όσον αφορά σε μετρήσεις πλατών εδαφικών παραμέτρων, όπως η μέγιστη επιτάχυνση, η μέγιστη ταχύτητα, τα φάσματα Fourier και τα φάσματα απόκρισης.

Το κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου συνίσταται στη συσχέτιση των παραμέτρων προσομοίωσης με το μέγεθος, την απόσταση από την πηγή και τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Τα ανωτέρω χρησιμοποιούνται ως παράμετροι εισόδου, με αποτέλεσμα τις αναμενόμενες χρονοϊστορίες επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης του σεισμού που θεωρήθηκε στη θέση μελέτης.

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

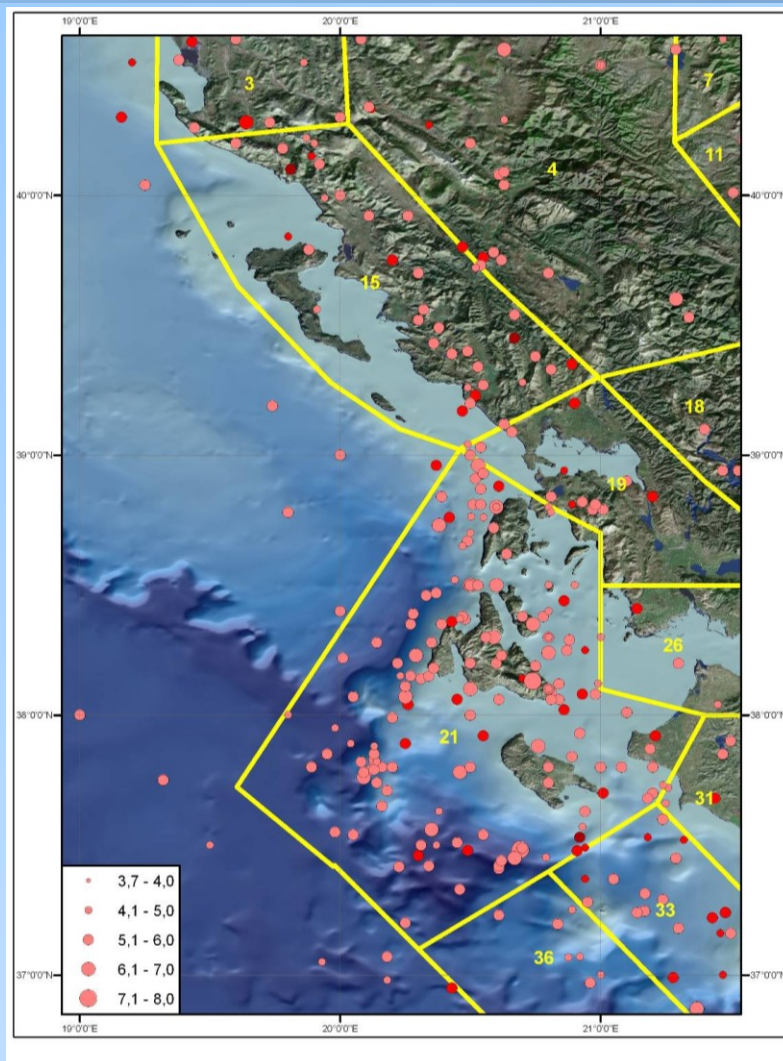
ΠΕΡΙΟΧΗ ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ - ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΚΡΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ (HAZAN)



Κατανομή του μέγιστου αναμενόμενου σεισμικού μεγέθους στην ευρύτερη περιοχή των Ιονίων νήσων για περίοδο επανάληψης 475 χρόνων ή με πιθανότητα 90% μη υπέρβασης τα επόμενα 50 χρόνια.

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

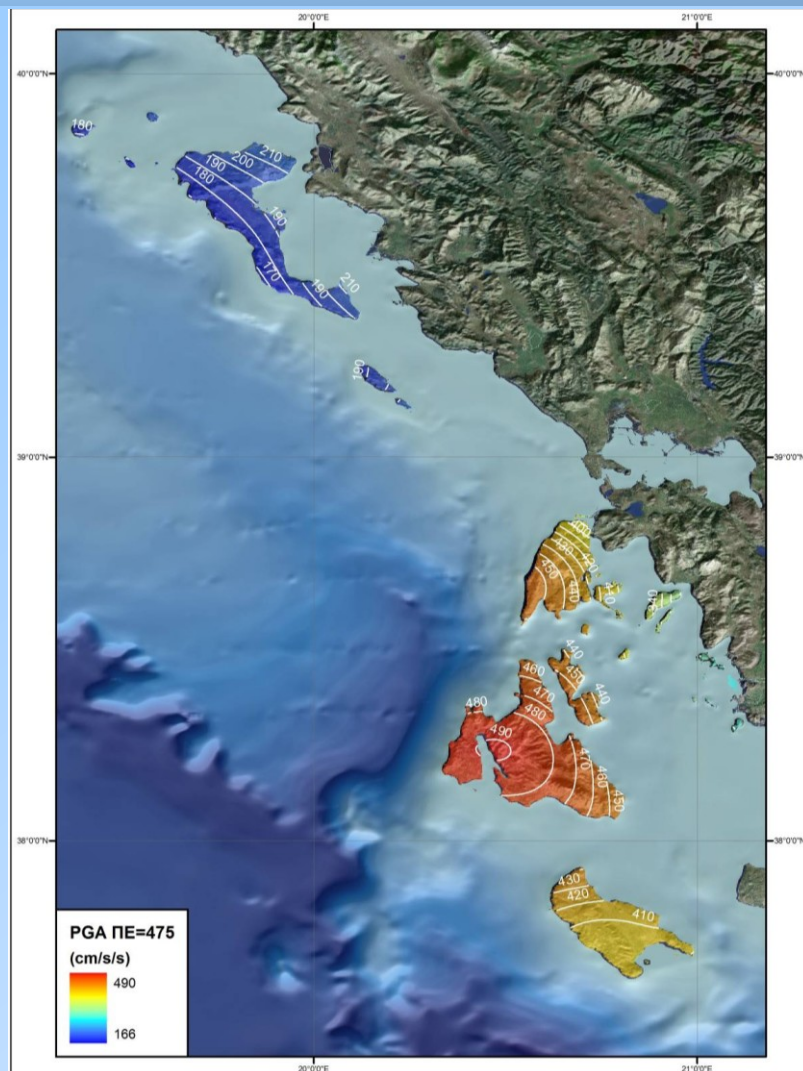
ΠΕΡΙΟΧΗ ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ - ΜΕΘΟΔΟΣ SEISRISK III



Χάρτης σεισμικών πηγών της ευρύτερης περιοχής των Ιονίων Νήσων.

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

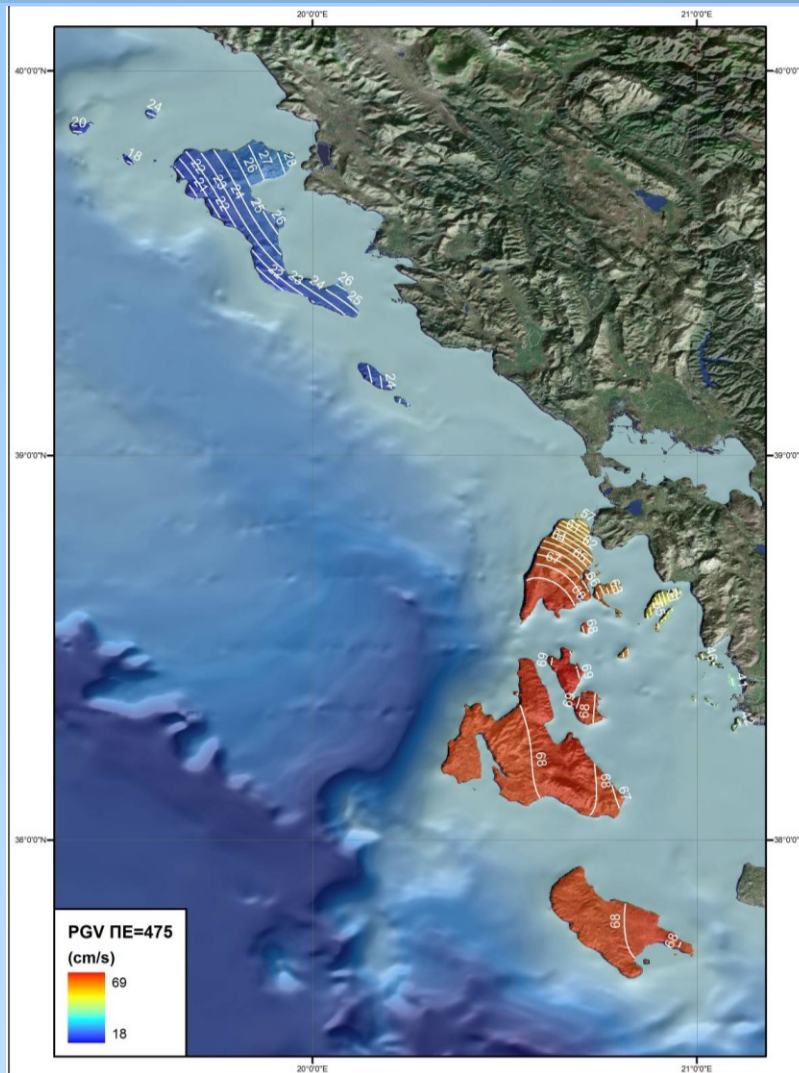
ΠΕΡΙΟΧΗ ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ - ΜΕΘΟΔΟΣ SEISRISK III



Κατανομή των αναμενόμενων μέγιστων τιμών της σεισμικής επιτάχυνσης (cm/sec^2) στην ευρύτερη περιοχή των Ιονίων νήσων για περίοδο επανάληψης 475 χρόνια ή 90% πιθανότητα μη υπέρβασης τα επόμενα 50 χρόνια.

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

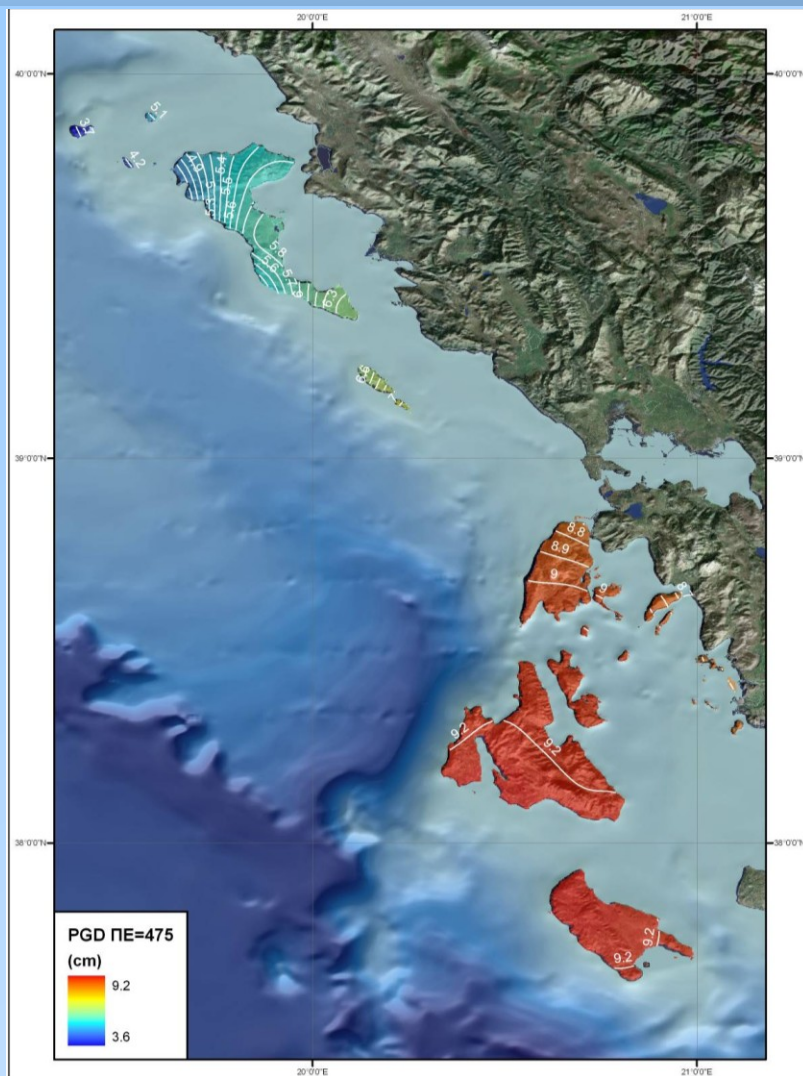
ΠΕΡΙΟΧΗ ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ - ΜΕΘΟΔΟΣ SEISRISK III



Κατανομή των αναμενόμενων μέγιστων τιμών της σεισμικής ταχύτητας (cm/sec) στην ευρύτερη περιοχή των Ιονίων νήσων για περίοδο επανάληψης 475 χρόνια ή 90% πιθανότητα μη υπέρβασης τα επόμενα 50 χρόνια.

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

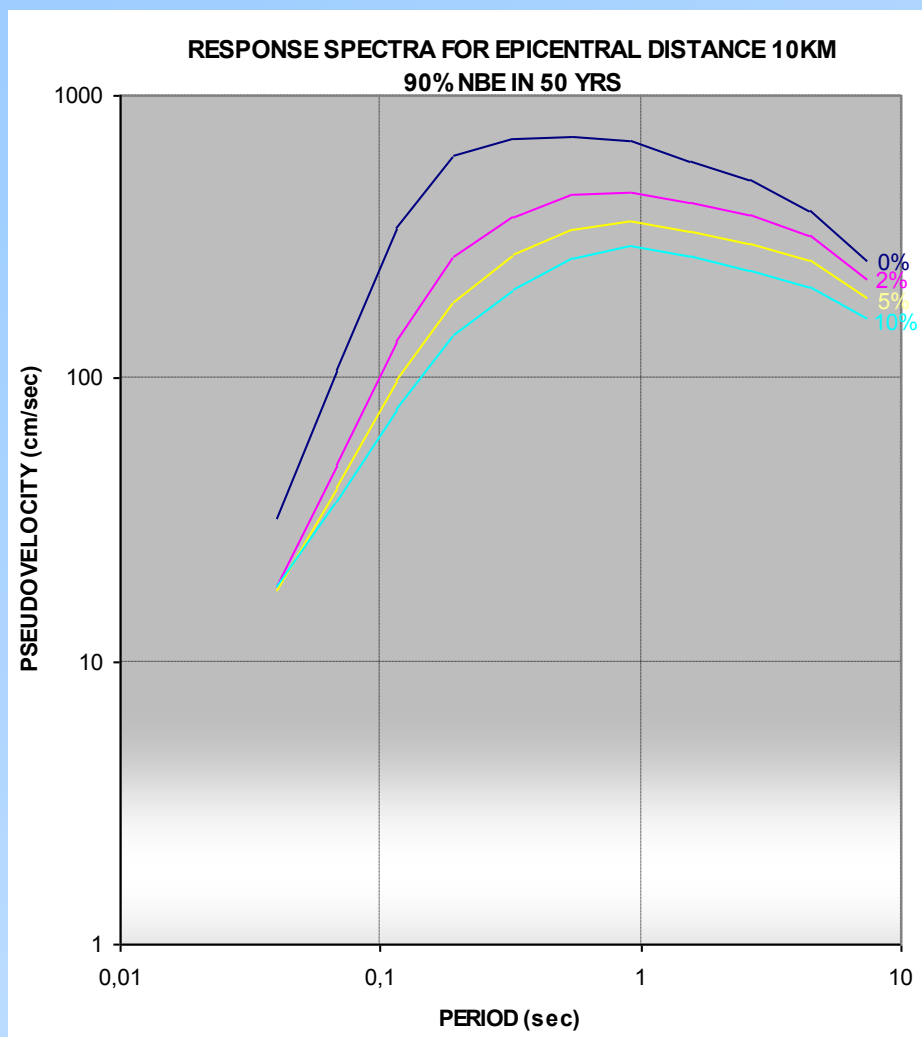
ΠΕΡΙΟΧΗ ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ - ΜΕΘΟΔΟΣ SEISRISK III



Κατανομή των αναμενόμενων μέγιστων τιμών της σεισμικής μετάθεσης (cm) στην ευρύτερη περιοχή των Ιονίων νήσων για περίοδο επανάληψης 475 χρόνια ή 90% πιθανότητα μη υπέρβασης τα επόμενα 50 χρόνια.

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

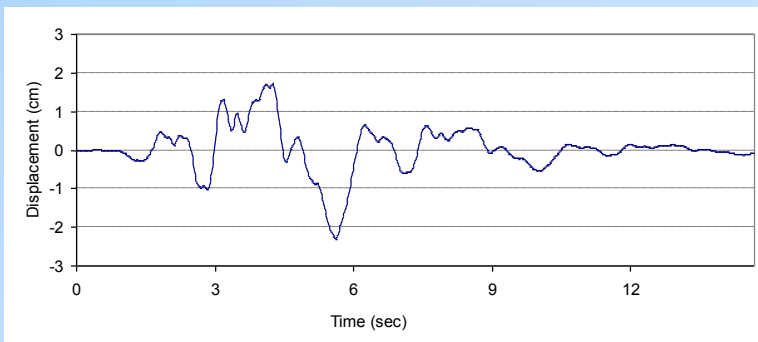
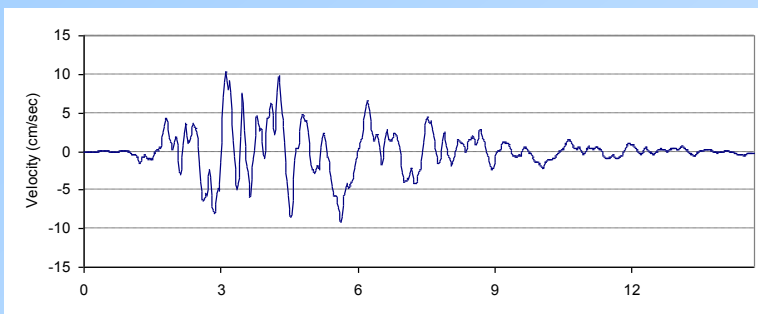
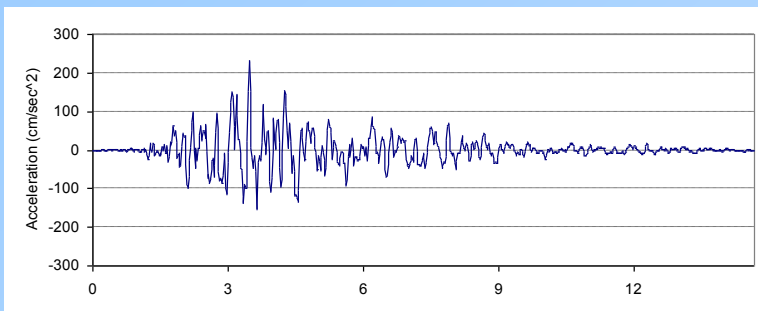
ΠΕΡΙΟΧΗ ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ - ΜΕΘΟΔΟΣ ANDERSON



Φασματική επιτάχυνση για συντελεστές απόσβεσης 0, 2, 5 και 10%, που αναμένεται να παρουσιαστεί στην περιοχή ενδιαφέροντος στην περίπτωση σεισμού με $M=6.0$, $\Delta=10$ km και για εδαφικές συνθήκες “σκληρό υπόβαθρο”.

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

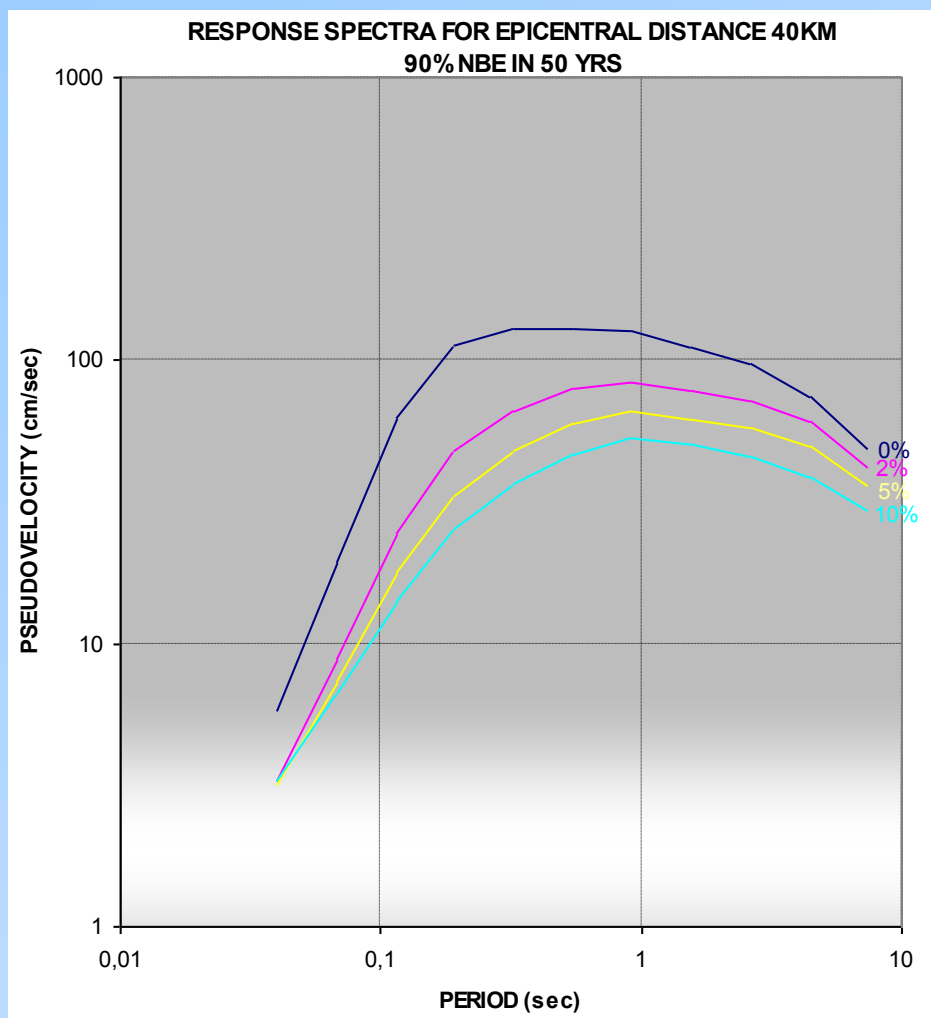
ΠΕΡΙΟΧΗ ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ - ΜΕΘΟΔΟΣ SABETTA & PUGLIESE



Συνθετικό επιταχυνσιογράφημα (άνω), σειсмоγράφημα (μέσο) και μεταθεσιογράφημα (κάτω), που αναμένεται να αναγραφούν στην περιοχή ενδιαφέροντος στην περίπτωση σεισμού με $M=6.0$, $\Delta=10$ km και για εδαφικές συνθήκες “σκληρό υπόβαθρο”.

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

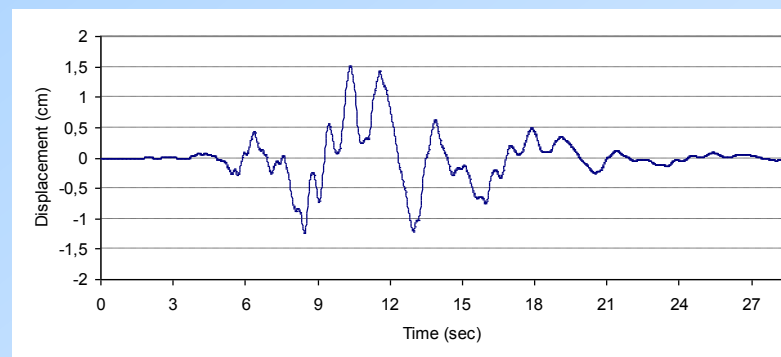
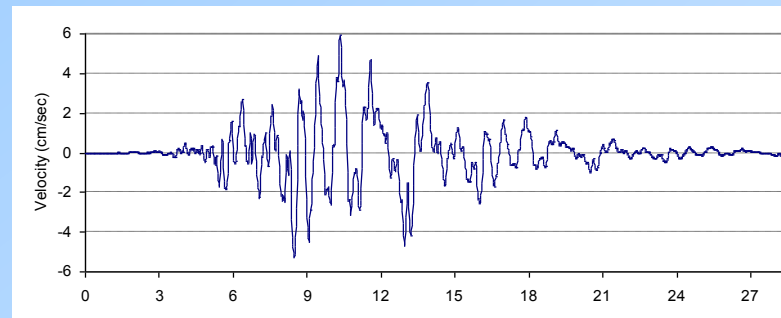
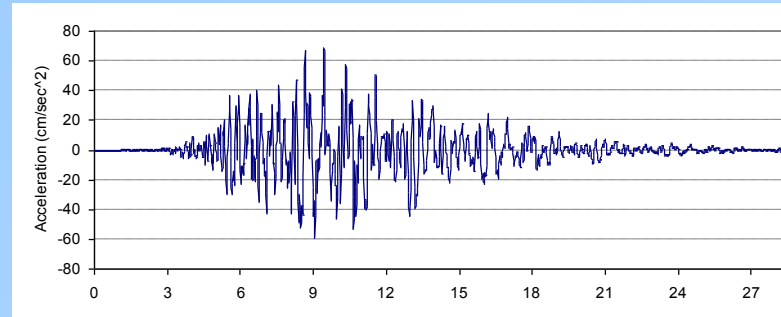
ΠΕΡΙΟΧΗ ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ - ΜΕΘΟΔΟΣ ANDERSON



Φασματική επιτάχυνση για συντελεστές απόσβεσης 0, 2, 5 και 10%, που αναμένεται να παρουσιαστεί στην περιοχή ενδιαφέροντος στην περίπτωση σεισμού με $M=6.5$, $\Delta=40$ km και για εδαφικές συνθήκες “σκληρό υπόβαθρο”.

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

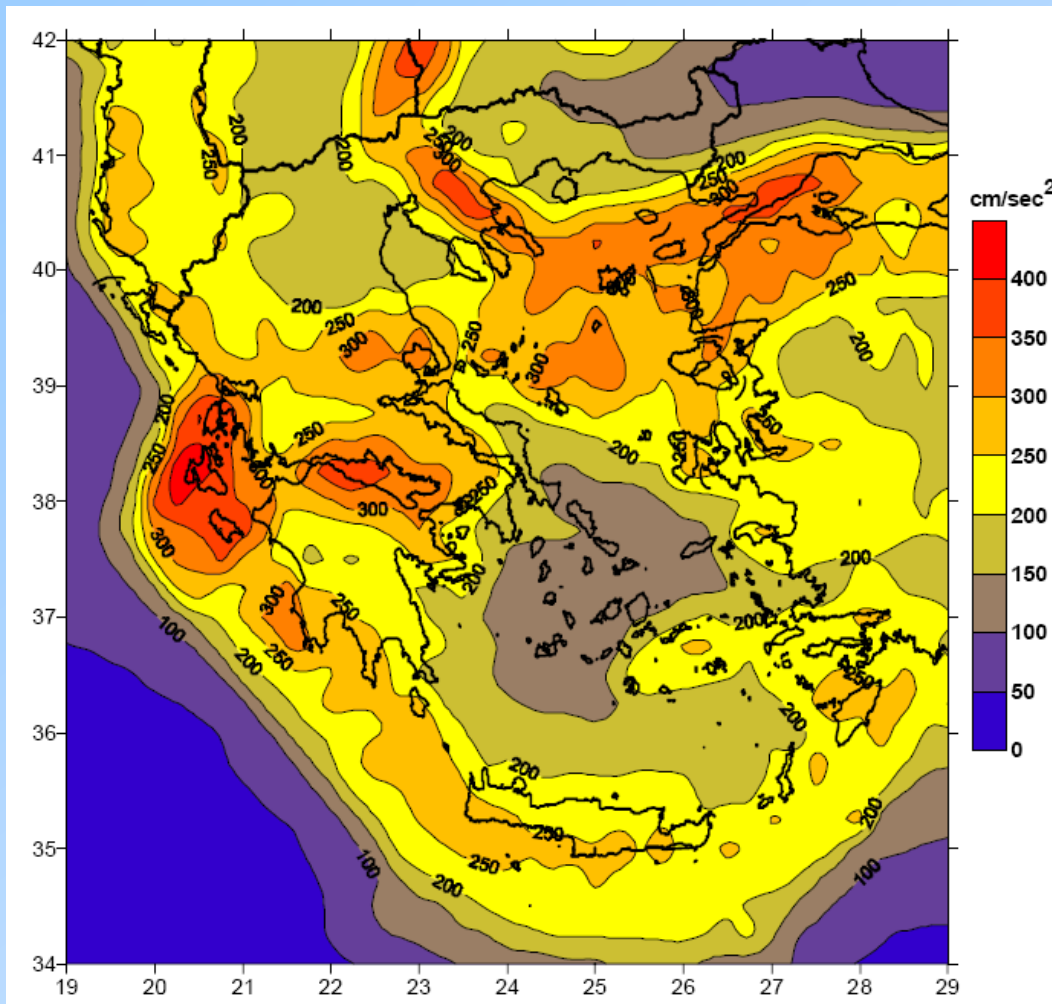
ΠΕΡΙΟΧΗ ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ - ΜΕΘΟΔΟΣ SABETTA & PUGLIESE



Συνθετικό επιταχυνσιογράφημα (άνω), σειсмоγράφημα (μέσο) και μεταθεσιογράφημα (κάτω), που αναμένεται να αναγραφούν στην περιοχή ενδιαφέροντος στην περίπτωση σεισμού με $M=6.5$, $\Delta=40$ km και για εδαφικές συνθήκες “σκληρό υπόβαθρο”.

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

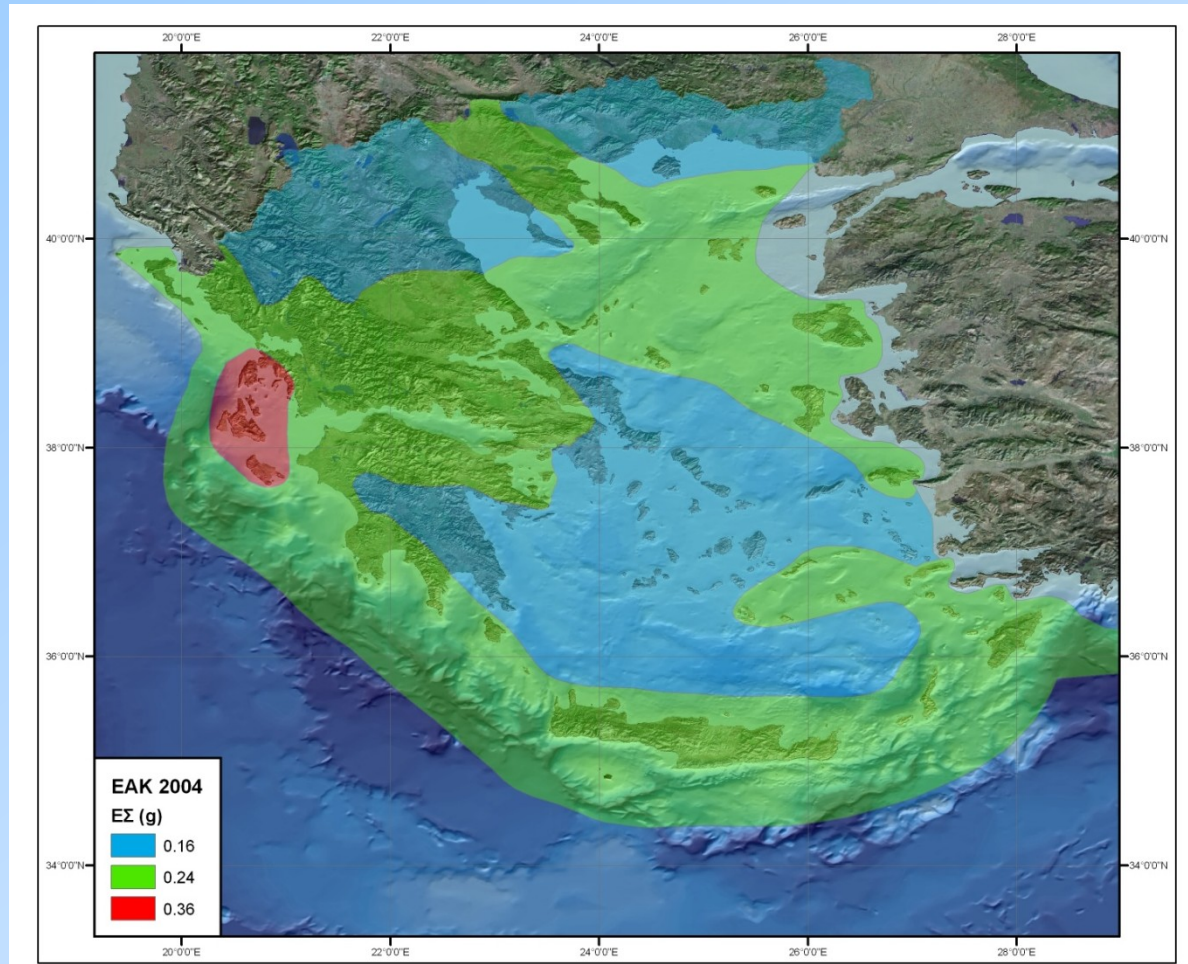
ΕΛΛΑΔΑ - ΜΕΘΟΔΟΣ SEISRISK III



Γεωγραφική κατανομή της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης (σε cm/sec^2) στην Ελλάδα και τις γύρω περιοχές για μέση περίοδο επανάληψης 475 έτη (Papaioannou et al., 2008).

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΖΩΝΕΣ ΝΕΑΚ ΠΟΥ ΙΣΧΥΟΥΝ ΑΠΟ 1-1-2004



Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

$$K=E*T*A$$



Μείωση Τρωτότητας !!!

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

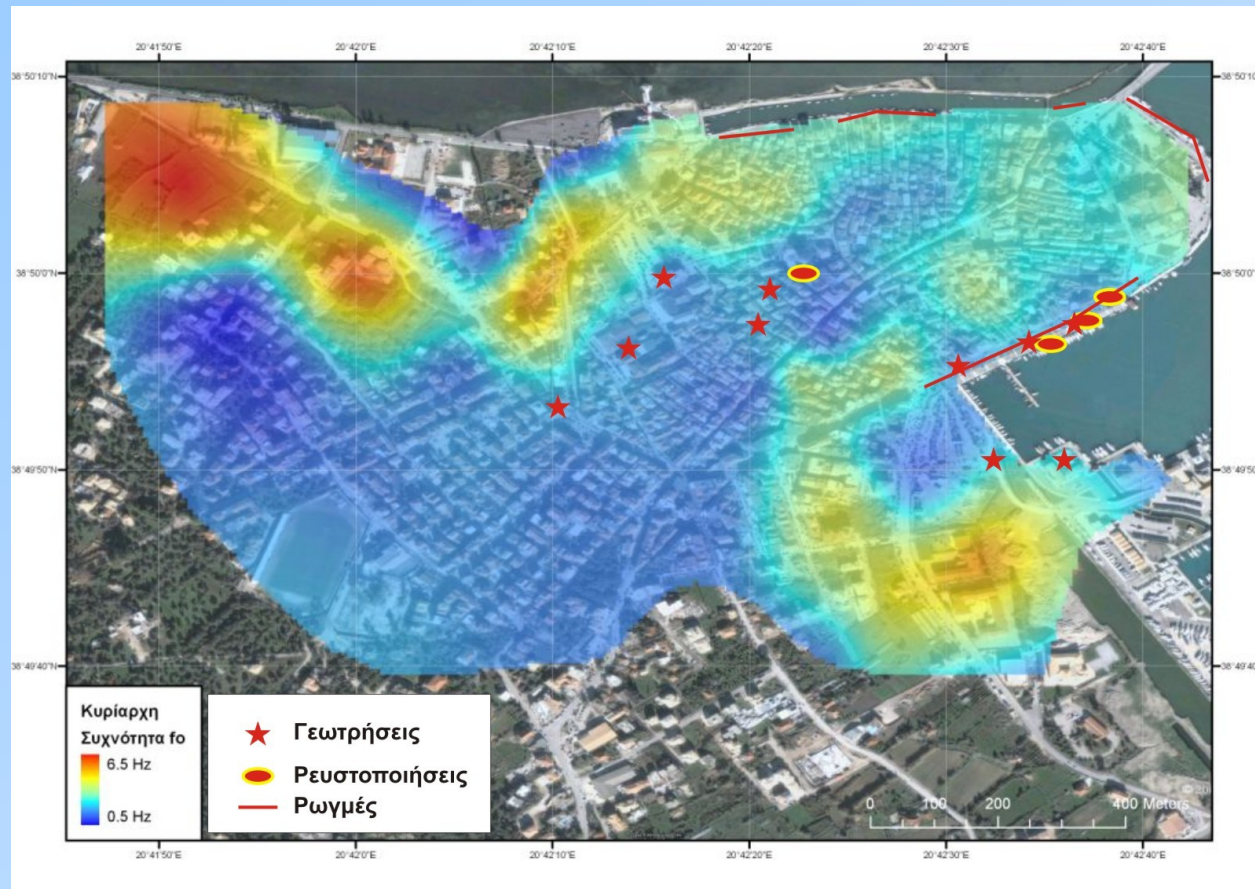
ΛΕΥΚΑΔΑ – ΜΙΚΡΟΖΩΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ



Θέσεις όπου λήφθηκαν μετρήσεις εδαφικού θορύβου στην πόλη της Λευκάδας

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

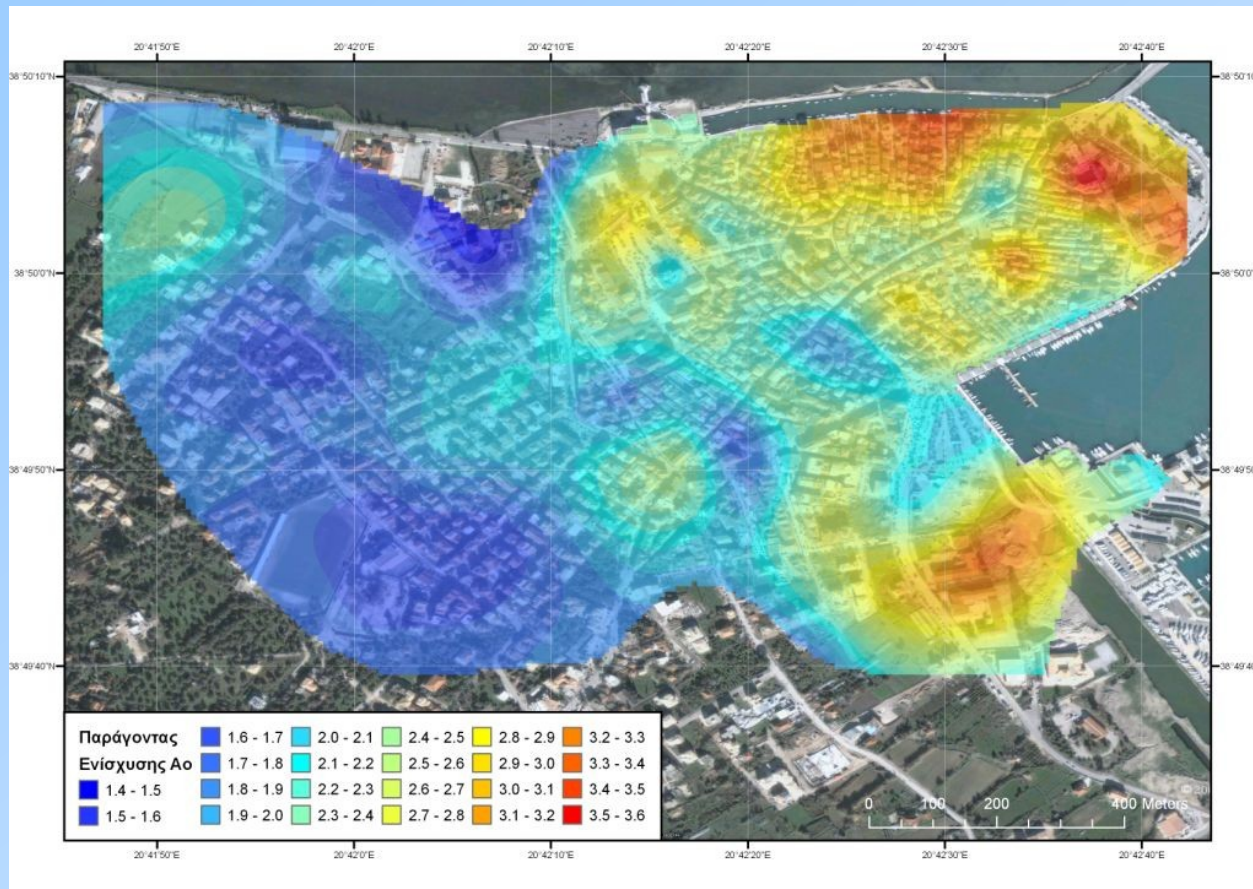
ΛΕΥΚΑΔΑ – ΜΙΚΡΟΖΩΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ



Χωρική κατανομή της κεντρικής συχνότητας ενίσχυσης (f_0) των επιφανειακών σχηματισμών στην πόλη της Λευκάδας. Αποτυπώνονται υπάρχουσες γεωτρήσεις και εδαφικές αστοχίες κατά το σεισμό της 14ης Αυγούστου 2003.

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΛΕΥΚΑΔΑ – ΜΙΚΡΟΖΩΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ



Χωρική κατανομή του παράγοντα ενίσχυσης (A_0) των επιφανειακών σχηματισμών στην πόλη της Λευκάδας.

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΚΑΠΝΙΚΑΡΕΑ – ΜΕΛΕΤΗ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ



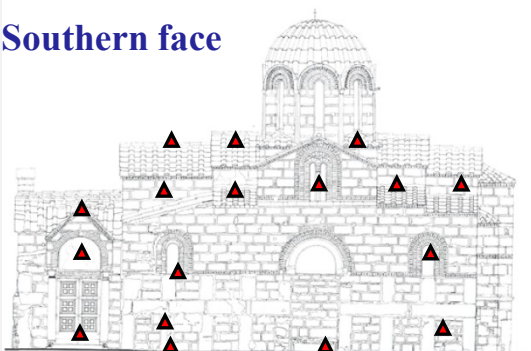
Παραδείγματα θέσεων όπου λήφθηκαν μετρήσεις εδαφικού θορύβου

Training Course on Seismic Risk Assessment in Specific Areas with Monumental Structures, Αθήνα, 6-10/12/2010

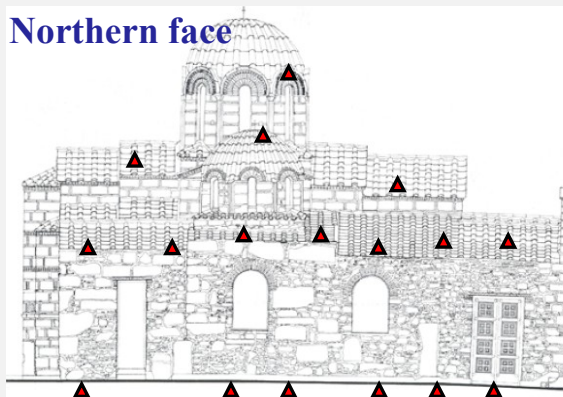
Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΚΑΠΝΙΚΑΡΕΑ – ΜΕΛΕΤΗ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ

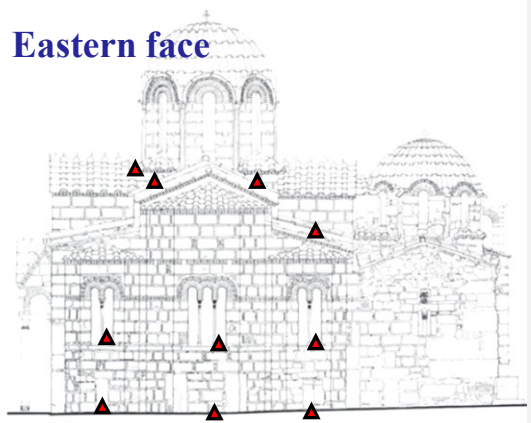
Southern face



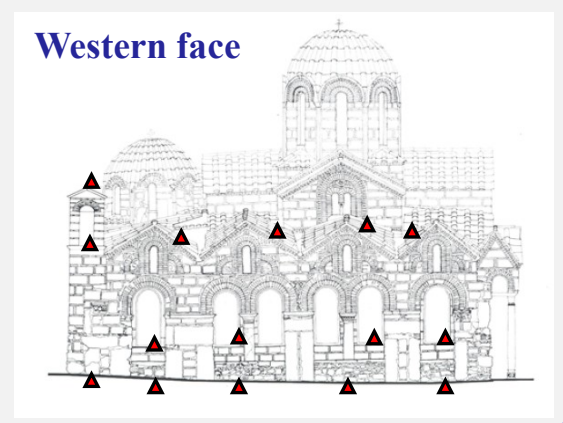
Northern face



Eastern face



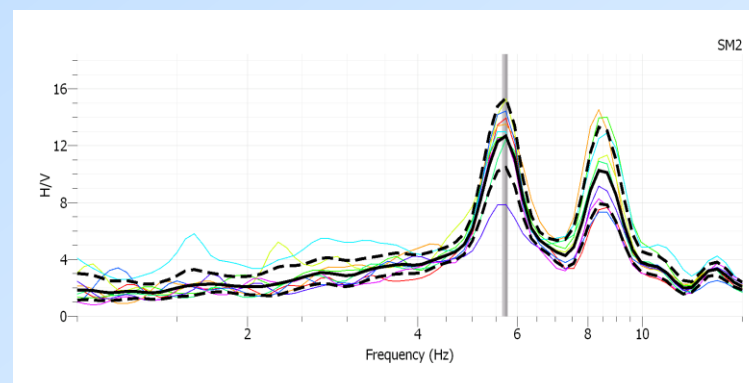
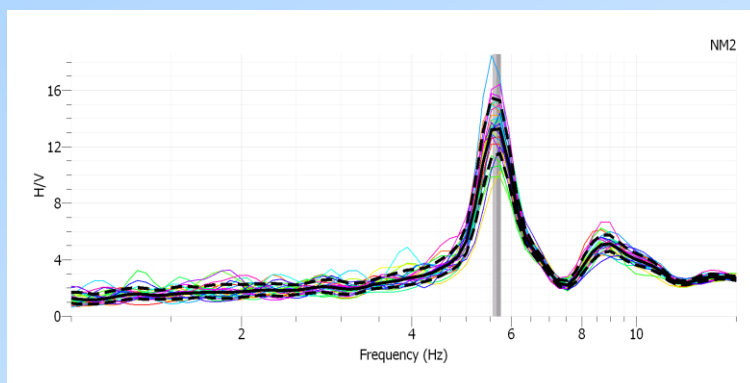
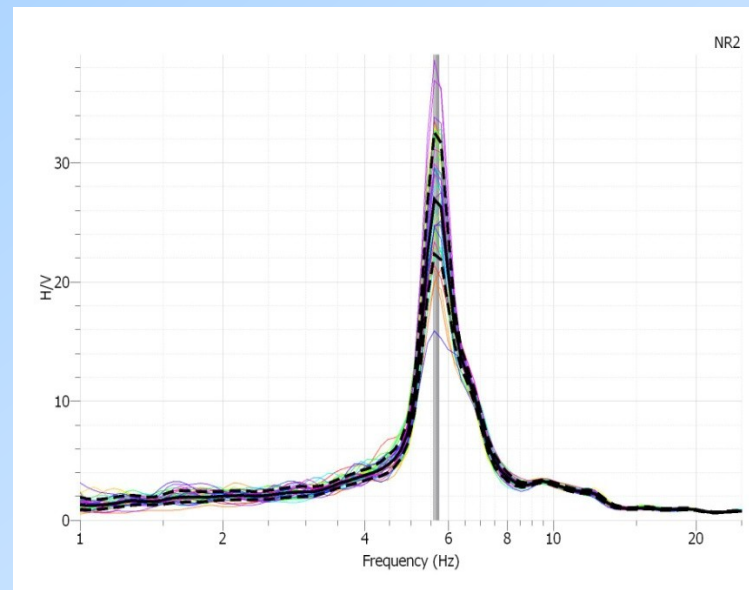
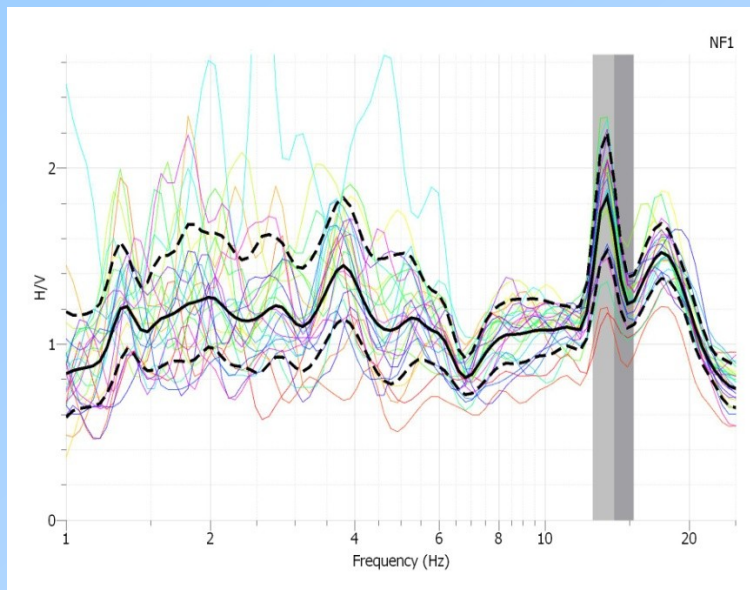
Western face



Οι 87 θέσεις όπου
λήφθηκαν μετρήσεις
εδαφικού θορύβου

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΚΑΠΝΙΚΑΡΕΑ – ΜΕΛΕΤΗ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ



Καμπύλες φασματικού λόγου HVSR σε θέσεις

Training Course on Seismic Risk Assessment in Specific Areas with Monumental Structures, Αθήνα, 6-10/12/2010

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας



ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ

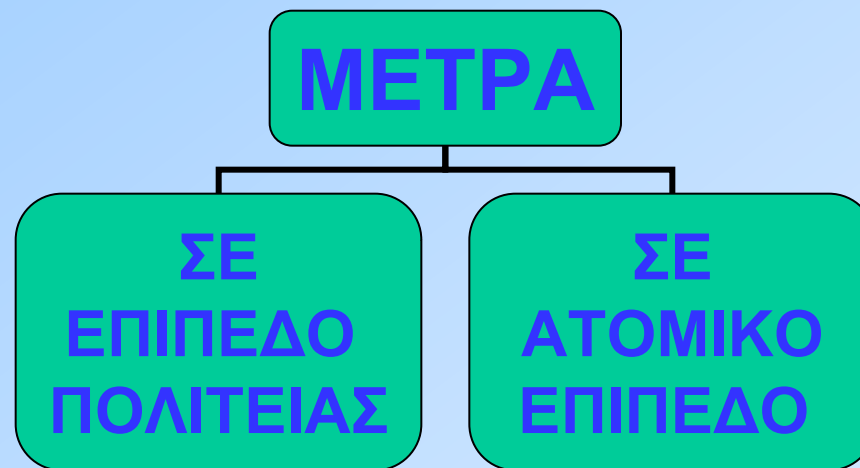
Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΛΗΨΗΣ



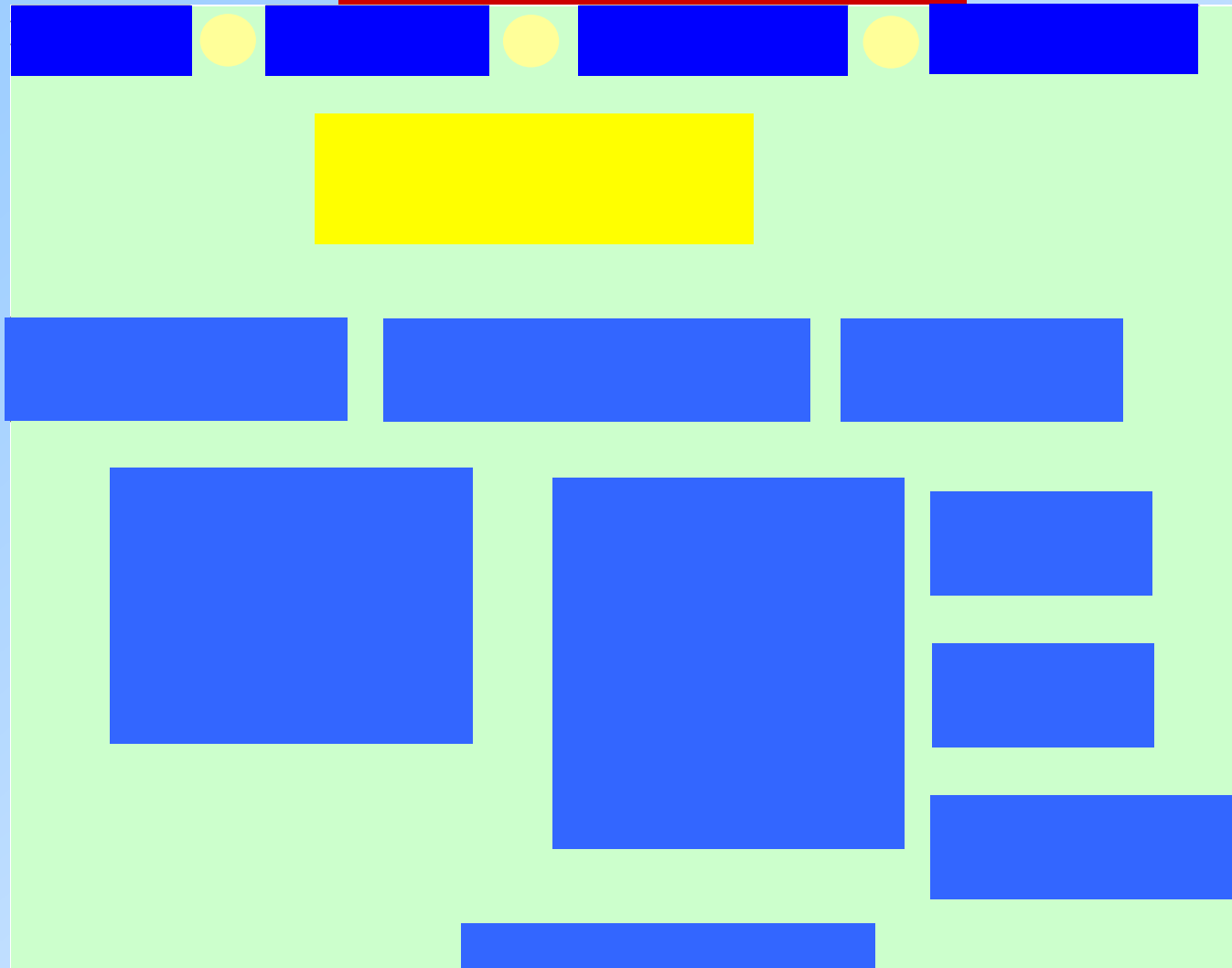
Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΛΗΨΗΣ



Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΟΛΙΤΕΙΑΣ



Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

Μέτρα Μείωσης Σεισμικού Κινδύνου

ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΛΗΨΗΣ



Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

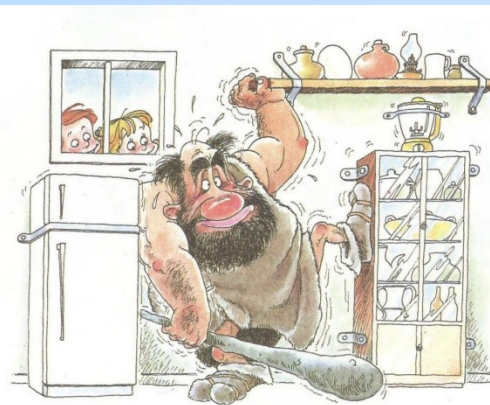
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ



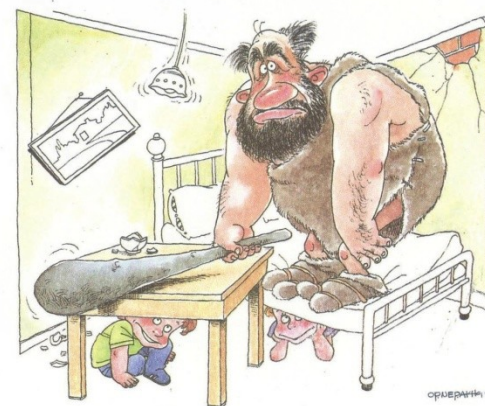
Πρέπει να έχετε οικογενειακό πλάνο δράσης για τους σεισμούς



Πρέπει να έχετε σπιτικό κατάλογο έκτακτης ανάγκης



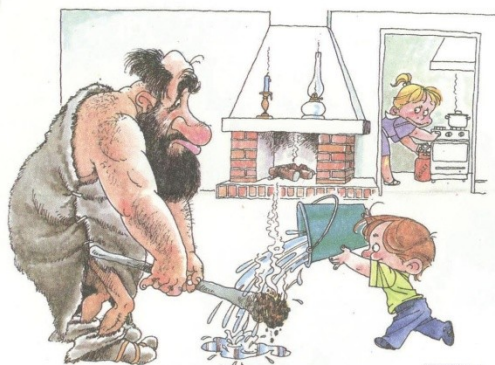
Στερεώστε καλά τα ψηλά ή βαριά αντικείμενα ή έπιπλα



Μπείτε κάτω από ένα γερό τραπέζι

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ



Σβήστε αμέσως τις φωτιές

ΟΡΓΕΡΑΝΗΣ 13



Μην πλησιάζετε στα παράθυρα

ΟΡΓΕΡΑΝΗΣ 13



Σταθείτε κάτω από την κάσα εσωτερικής πόρτας

ΟΡΓΕΡΑΝΗΣ 13



Μην χρησιμοποιείτε ασανσέρ

ΟΡΓΕΡΑΝΗΣ 13

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

Μέτρα Μείωσης Σεισμικού Κινδύνου

ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ



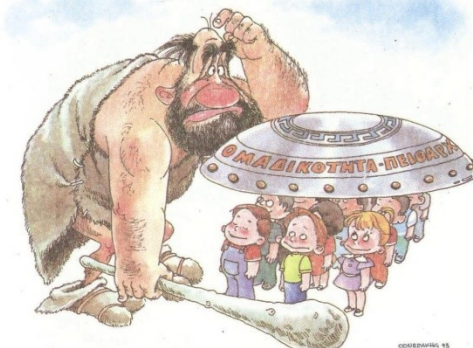
Μην τρέχετε όλοι μαζί προς την έξοδο



Μην αγγίζετε πεσμένα καλώδια



Μη δίνετε πίστη σε φημολογίες και μην τις διαδίδετε



Ο πανικός δημιουργεί θύματα.
Ομαδικότητα και πειθαρχία

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

Μέτρα Ατομικής Προστασίας Πριν από το σεισμό

Ελέγχουμε προσεκτικά το κτίριο που μένουμε και τα άλλα κτήρια των οποίων τυχόν είμαστε ιδιοκτήτες.

Για διαπίστωση βλαβών από προηγούμενο σεισμό.

Για άλλες αδυναμίες στην ηλεκτρική και υδραυλική εγκατάσταση του σπιτιού.

Επισκευάστε οποιεσδήποτε βαθιές ρωγμές στην οροφή ή τα θεμέλια. Ζητείστε την συμβουλή ειδικού αν υπάρχουν σημάδια αστοχίας της κατασκευής.

Τοποθετούμε ογκώδη ή βαριά αντικείμενα σε χαμηλότερα ράφια.

Ασφαλίστε τον θερμοσίφωνα στον τοίχο και την βάση του.

Ασφαλίστε τα ράφια στους τοίχους και δεν τοποθετούμε σ' αυτά αντικείμενα που μπορεί να πέσουν από το σεισμό.

Αποθηκεύστε εύθραυστα αντικείμενα σε χαμηλά, κλειστά ασφαλισμένα ντουλάπια.

Κρεμάστε βαριά αντικείμενα όπως εικόνες και καθρέπτες μακριά από κρεβάτια, καναπέδες και οπουδήποτε θα μπορούσαν κάποιιοι να κάθονται.

Ενισχύστε τα φωτιστικά οροφής.

Αποθηκεύστε ζιζανιοκτόνα, και εύφλεκτα υλικά σε ασφαλισμένα ντουλάπια

Πρέπει να γνωρίζουνε όλοι οι ενήλικες της οικογενείας μας:

Πού βρίσκονται και πώς λειτουργούν οι διακόπτες νερού, ηλεκτρικού ρεύματος και γκαζιού ώστε να τους χρησιμοποιήσουμε.

Όπου εργάζονται πολλοί, ορίζουμε ένα ή δύο άτομα υπεύθυνα για τις ενέργειες αυτές.

Ορισμένα άτομα κάθε οικογενείας πρέπει να πάρουν σειρά μαθημάτων πρώτων ιατρικών βοηθειών.

...ώστε να είναι ικανά για παροχή τέτοιας βοήθειας σε περίπτωση καταστρεπτικού σεισμού.

Εφοδιαζόμαστε με ορισμένα αντικείμενα που μπορεί να μας χρειαστούν...

...και τα τοποθετούμε σε σημείο εύκολης πρόσβασης του οποίου την θέση γνωρίζουμε όλοι. Τα πιο απαραίτητα από τα εφόδια αυτά είναι:

**Ένα κουτί πρώτων βοηθειών
Φακός
Δοχείο με φρέσκο νερό
Φορητό ραδιόφωνο**

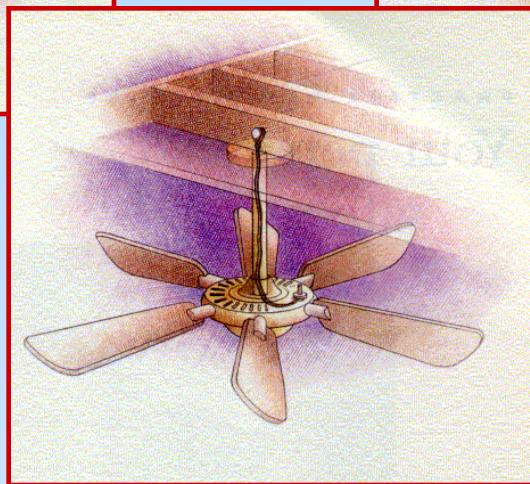
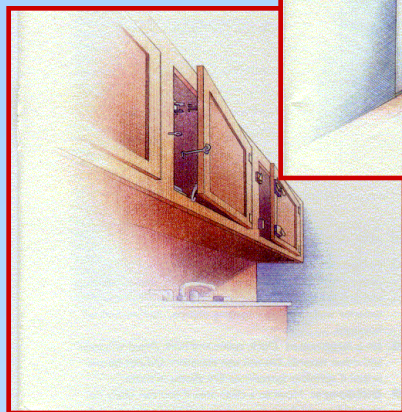
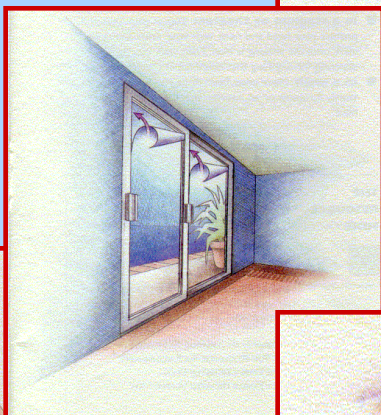
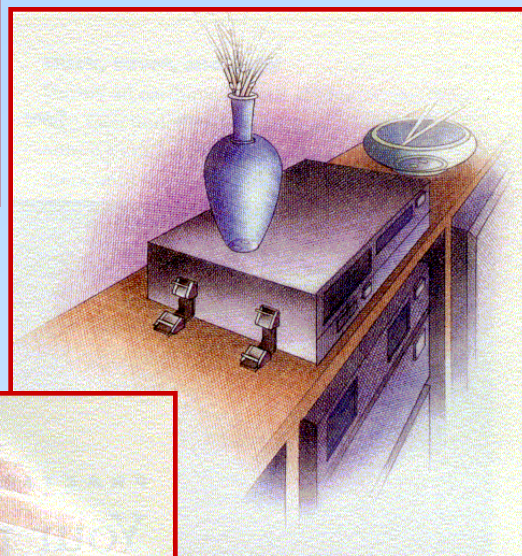
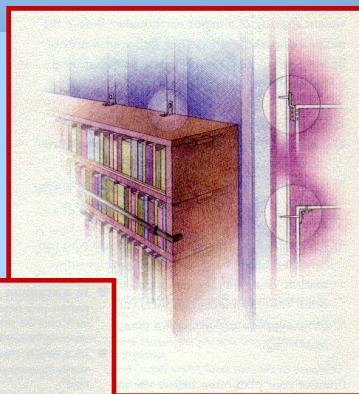
Ελέγχουμε αν υπάρχει σχέδιο έκτακτης ανάγκης.

... Στο χώρο εργασίας μας, μελετάμε το δικό μας ρόλο και μετέχουμε στις ασκήσεις σεισμικού συναγερμού που προβλέπονται σ' αυτό.

Πρέπει να είμαστε ψυχολογικά έτοιμοι να αντιμετωπίσουμε το σεισμό όπου κι αν βρισκόμαστε.

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΠΡΟΛΗΨΗ



**Πριν από τον
Σεισμό**

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

Μέτρα Ατομικής Προστασίας Κατά την ώρα του σεισμού

Όπου και αν βρεθούμε πρέπει να κρατηθούμε ψύχραιμοι...

...και κατά το δυνατόν ανεπηρέαστοι από τον σεισμό.

Εάν είμαστε σε κλειστό χώρο

Πρέπει να κινηθούμε προς ασφαλή θέση (κάτω από κούφωμα πόρτας, όταν το σπίτι έχει σενάξι, **όχι όμως όταν είναι κάτω από δοκάρι, όπως συμβαίνει συνήθως με τις σύγχρονες κατασκευές**, κάτω από θρανίο, ανθεκτικό τραπέζι ή γραφείο, κλπ). και να παραμείνουμε εκεί μέχρι να τελειώσει ο σεισμός. Η θέση αυτή να είναι μακριά από καθρέφτες και εξωτερικές πόρτες, ώστε να προφυλαχθούμε από την πτώση διάφορων αντικειμένων (σοβάδων, τούβλων, γύψων, τζαμιών, βιβλιοθηκών, κλπ). Μόλις σταματήσει ο σεισμός, κλείνουμε αμέσως τους διακόπτες του ηλεκτρικού ρεύματος και του γκαζιού(αν υπάρχει διαρροή), για να αποφευχθεί πυρκαγιά, και βγαίνουμε έξω ήρεμα και χωρίς μεγάλη βιασύνη.

Κατά την έξοδο μας από το κτίριο δε χρησιμοποιούμε το ασανσέρ, γιατί αυτό μπορεί να σταματήσει, να αποσυνδεθεί ή να πάρει φωτιά κατά το χρόνο που θα είμαστε μέσα. Τη στιγμή που βγαίνουμε από το κτίριο πρέπει να είμαστε εξαιρετικά προσεκτικοί για να μη χτυπήσουμε από αντικείμενα που τυχόν πέφτουν (μαρκίζες, κεραμίδια, κλπ).

Μόλις βγούμε από το κτίριο πρέπει να κινηθούμε προς κατάλληλο ανοιχτό χώρο (πλατεία, πάρκο, κλπ). Το χώρο αυτό πρέπει να τον έχουμε προσδιορίσει από πρώτα όταν είμαστε στο σπίτι ή στη δουλειά μας.

Αν είμαστε σε ανοιχτό χώρο...

...δεν πρέπει να στεκόμαστε κοντά σε ψηλά κτίρια, μανδρότοιχους, κολώνες της ΔΕΗ, βράχους, κλπ, για να μη τυχόν πέσουν αντικείμενα και μας χτυπήσουν.

Αν είμαστε μέσα σε κινούμενο αυτοκίνητο...

...πρέπει να παραμείνουμε μέσα και να κινηθούμε με αυτό προς ασφαλή ανοιχτό χώρο.

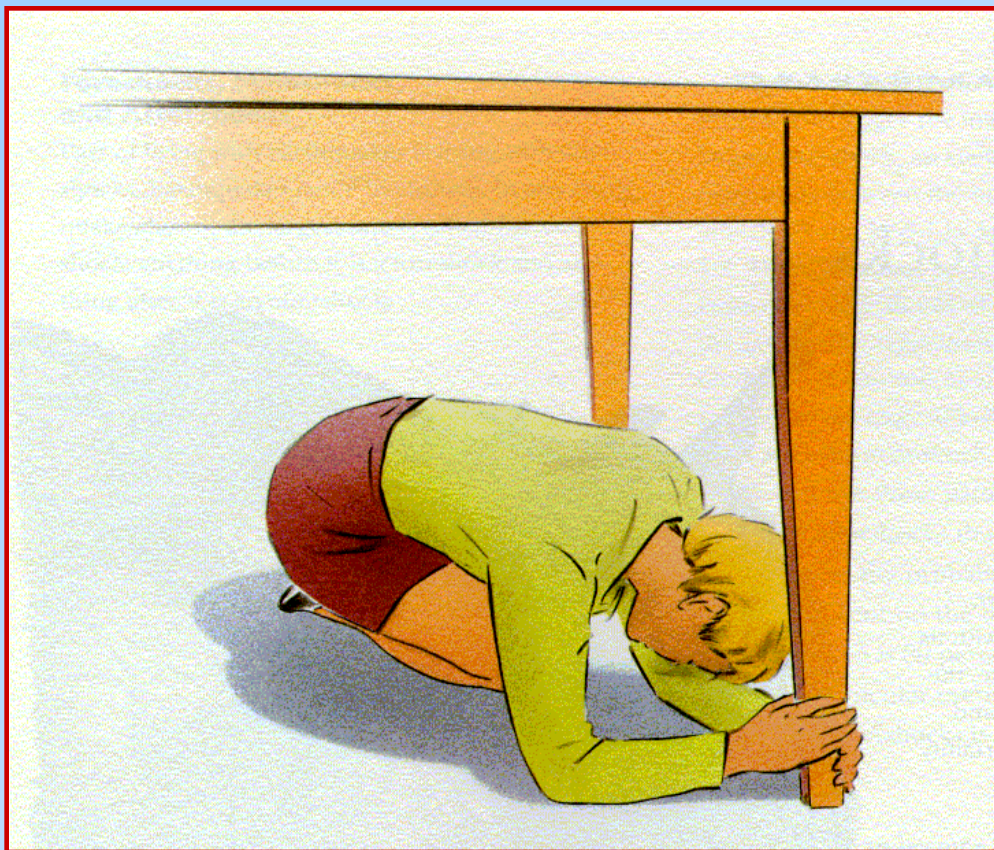
Αν κολυμπάμε στη θάλασσα...

...πρέπει να κινηθούμε γρήγορα αλλά ψύχραιμα προς την ξηρά μακριά από την παραλία για να προστατευθούμε από το θαλάσσιο κύμα (τσουνάμι) που τυχόν θα δημιουργηθεί στην εστία του σεισμού.

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

Μέτρα Ατομικής Προστασίας

ΠΡΟΛΗΨΗ



**Κατά τη
διάρκεια του
Σεισμού**

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

Μέτρα Ατομικής Προστασίας Μετά το σεισμό

Αν υπάρχουν εγκλωβισμένοι στα ερείπια ή τραυματισμένοι, ειδοποιούμε αμέσως την πυροσβεστική υπηρεσία, τα ιατρικά συνεργεία, κλπ και βοηθούμε και εμείς οι ίδιοι το έργο τους.

Αν δε μπορούμε ή δεν υπάρχει λόγος να βοηθήσουμε τα συνεργεία παραμένουμε στον ελεύθερο χώρο όπου συγκεντρωθήκαμε και έχουμε συνεχώς ένα ραδιόφωνο για να παίρνουμε πληροφορίες.

Όταν βγούμε από το σπίτι δεν παίρνουμε το αυτοκίνητο μας να φύγουμε, γιατί διατρέχουμε, κίνδυνο να πέσουν πάνω μας γκρεμίσματα και, συμβάλλοντας στην απόφραξη των δρόμων, εμποδίζουμε τα διάφορα συνεργεία να κινηθούν για να κάνουν τη δουλειά τους.

Δεν πρέπει αμέσως μετά το σεισμό να περιφερόμαστε στους δρόμους, γιατί διατρέχουμε κίνδυνο από την πτώση αντικειμένων, ούτε πρέπει να πλησιάσουμε στην παραλία, γιατί είναι δυνατόν ο σεισμός να έχει διεγείρει θαλάσσια κύματα (τσουνάμι) τα οποία είναι πολλές φορές επικίνδυνα.

Δεν πρέπει να πιστεύουμε στις διάφορες ανεύθυνες φήμες (για καταποντισμούς, για επερχόμενο μεγάλο σεισμό, κλπ) αλλά να δίνουμε πίστη μόνο στις υπευθύνες επιστημονικές ανακοινώσεις.

Πρέπει να είμαστε ψυχολογικά προετοιμασμένοι για τους μετασεισμούς και να γνωρίζουμε ότι υπάρχει πιθανότητα γένεσης ισχυρότερου σεισμού αλλά η πιθανότητα αυτή ελαττώνεται όσο περνάν οι μέρες.

Πρέπει να εξετάσουμε προσεκτικά το σπίτι μας για να

διαπιστώσουμε τυχόν βλάβες στους τοίχους, κολώνες, δοκάρια, σκεπή και θα μπούμε μόνιμα μέσα μόνο όταν αυτό επιτραπεί από την πολιτεία και μας βεβαιώσει υπεύθυνος μηχανικός ότι το κτίριο είναι ασφαλές.

Πρέπει να ερευνήσουμε προσεκτικά τις εγκαταστάσεις του

ηλεκτρικού ρεύματος, του νερού, του υγραερίου και της αποχέτευσης και, αν διαπιστώσουμε βλάβες, να ειδοποιήσουμε την αρμοδία υπηρεσία.

Επειδή μετά το σεισμό ο κίνδυνος πυρκαγιάς είναι μεγάλος,

...Αποφεύγουμε να ανοιγοκλείνουμε τους διακόπτες του ηλεκτρικού ρεύματος,

...Αποφεύγουμε να ανάβουμε σπέρτα, κεριά, αναπτήρες, γιατί μπορεί να ανάψει φωτιά από τυχόν διαρροή υγραερίου, πετρελαίου ή άλλης εύφλεκτης ύλης.

...Καθαρίζουμε αμέσως το σπίτι μας από αντικείμενα που περιέχουν εύφλεκτες ύλες (σπασμένα μπουκάλια με βενζίνη, κλπ).

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

Μέτρα Μείωσης Σεισμικού Κινδύνου

ΨΥΧΡΑΙΜΙΑ ...



Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ CORNELL ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΠΟ MCGUIRE

Η μεθοδολογία McGuire στηρίζεται στον υπολογισμό της συνεισφοράς στο τελικό αποτέλεσμα, δηλαδή της πιθανότητας που έχει να παρουσιαστεί ως μέγιστη στη θέση μελέτης μια συγκεκριμένη τιμή μεγέθους ή άλλης παραμέτρου αντιπροσωπευτικής της εδαφικής κίνησης, όλων των πηγών που περιβάλλουν τη θέση. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση του θεωρήματος της συνολικής πιθανότητας:

$$P(A>a) = \int_r \int_m P(A>a/s,r) \cdot f_S(s) \cdot f_R(r) ds \cdot dr$$

όπου P η πιθανότητα, A η παράμετρος ενδιαφέροντος και S , R είναι συνεχείς ανεξάρτητες μεταβλητές που επηρεάζουν την τιμή της A . Η πιθανότητα η τιμή της παραμέτρου A να υπερβεί δεδομένη τιμή a υπολογίζεται με τον πολλαπλασιασμό της δεσμευτικής πιθανότητας της A δεδομένων των τιμών των s και r , με τις ανεξάρτητες πιθανότητες των s και r , ολοκληρώνοντας για όλες τις πιθανές τιμές των s και r . Τα s και r στην περίπτωση μας αντιστοιχούν στο μέγεθος (m) και την απόσταση από τη θέση (R) αντίστοιχα, δηλαδή:

$$P(A>a) = \int_r \int_m P(A>a/m,r) f_M(m) f_R(r) dm dr$$

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ CORNELL ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΠΟ MCGUIRE

Σε ό,τι αφορά την κατανομή των μεγεθών, η μέθοδος υιοθετεί τη σχέση συχνότητας μεγέθους των Gutenberg-Richter και με την παραδοχή της ανεξαρτησίας των σεισμών, η αθροιστική κατανομή των μεγεθών $F_M(m)$ δίνεται από τη σχέση:

$$F_M(m) = k [1 - \exp(-\beta(m - m_0))], \quad m_0 \leq m \leq m_1$$

όπου m_0 είναι το κάτω όριο του μεγέθους και m_1 το μέγιστο μέγεθος που μπορεί να παρατηρηθεί στη συγκεκριμένη πηγή,

$$\beta = b \ln 10, \quad \text{και} \quad k = [1 - \exp(-\beta(m_1 - m_0))]^{-1},$$

οπότε η συνάρτηση πυκνότητας του μεγέθους $f_M(m)$ της σχέσης δίνεται από τη σχέση:

$$f_M(m) = \beta k \exp(-\beta(m - m_0))$$

Η συνήθης έκφραση της $A(m, r)$ είναι:

$$\ln A = c_1 + c_2 m + c_3 \ln(r + r_0)$$

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ CORNELL ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΠΟ MCGUIRE

Άρα:

$$P(A > a) = \int_r \int_{m_0}^{m_1} \left[\Phi^* (a - c_1 - c_2 m - c_3 \ln(r + r_0)) \right] \cdot \beta k e^{-\beta(m-m_0)} \cdot f_R(r) dm dr$$

Η λύση αυτής της εξίσωσης γίνεται αριθμητικά, υπολογίζοντας με το αντίστοιχο πρόγραμμα H/Y. Το πρόγραμμα υπολογίζει τον συνολικά αναμενόμενο αριθμό των σεισμών που προκαλούν $A \geq a$ στη θέση μελέτης, αθροίζοντας τη συμβολή κάθε πηγής. Τέλος υπολογίζει την αθροιστική ετήσια πιθανότητα υπέρβασης της συγκεκριμένης τιμής δεχόμενο κατανομή Poisson, από τη σχέση:

$$P = 1 - \exp(-\text{ολικός αναμενόμενος αριθμός σεισμών})$$

Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας

Λογικό διάγραμμα εργασιών αποτίμησης σεισμικής επικινδυνότητας

