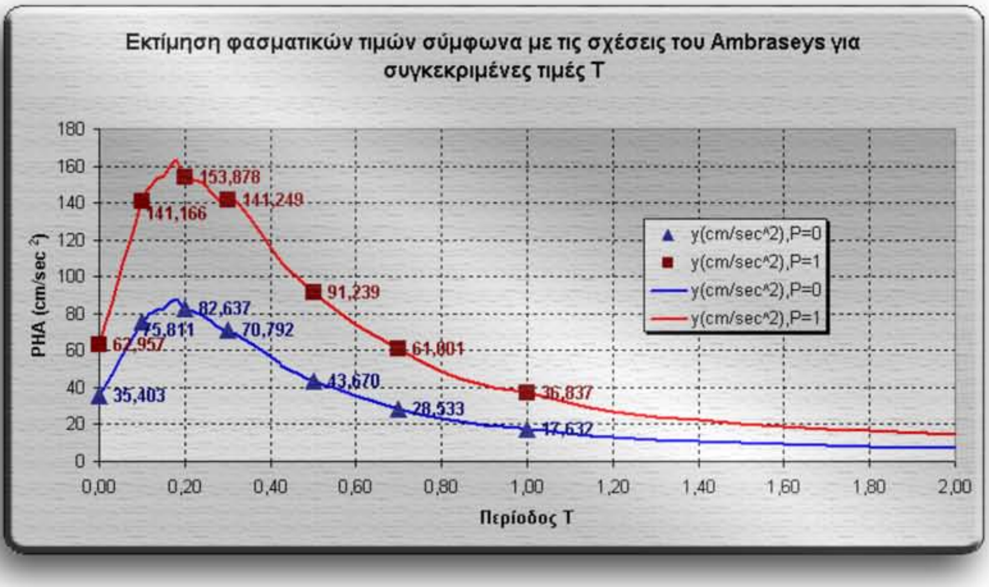
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ»

Α.Σ.Τ.Ε. Ι

Υπεύθυνος: Θ. *Ζατζηγώγος*

Ασκήσεις Σεισμικής Επικινδυνότητας



Ονοματεπώνυμο: *Οικονόμου Θεμιστοκλής*

Δευτέρα, 27 Ιανουαρίου 2003

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
Πολυτεχνική Σχολή - Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας : Γεωτεχνικής Μηχανικής
Εργ/ριο : Εδαφομηχανικής & Θεμελιώσεων

Α. Σ. Τ. Ε. - 1
ΜΑΘΗΜΑ : «Τεχνική Σεισμολογία - Εδαφοδυναμική»

ΟΝΟΜΑ:	**Οικονόμου Θεμιστοκλής**
Ημ/νία παραλαβής :	
Ημ/νία παράδοσης :	

Θ έ μ α :

Καθηγητής Θ. Χατζηγώγος

ΑΣΚΗΣΕΙΣ :

Α.1. Για τις σεισμικές παραμέτρους της ζώνης ....**38**.............. (πίνακας 7.1., σελ. 120, Papazachos - Papazachou: The earthquakes of Greece), υπολογίστε το μέγεθος του σεισμού με πιθανότητα υπέρβασης 5%. Να εφαρμοσθεί ο νόμος Gutenberg - Richter με άνω και κάτω όριο.

Α.2.
(α) Να σχεδιάσετε διαγράμματα PHA με την απόσταση (προσαρμοσμένα στις ανάγκες μελέτης σεισμικής επικινδυνότητας) για τους νόμους εξασθένισης των Θεοδουλίδη - Παπαζάχου και Ambraseys για μέγεθος σεισμού Μ = ...**5,5**........... και για βραχώδες έδαφος,
(β) Για το νόμο του Ambraseys υπολογίστε την πιθανότητα υπέρβασης της α = 0,20g για το μέγεθος Μ και απόσταση σεισμού R = ...**35 Km**.........
(γ) Για τα δεδομένα του ερωτήματος [β] *να* εκτιμηθούν οι φασματικές τιμές (T = 0 - 0,1 - 0,2 - 0,3 - 0,5 - 0,7 - 1) της PHA, σύμφωνα με τις σχέσεις του Ambraseys που αντιστοιχούν στη μέση τιμή των σχέσεων εξασθένισης και στην τιμή που αντιστοιχεί σε ποσοστό 84% αντίστοιχα.

Α.3. Να υπολογισθεί η μέση ετήσια τιμή υπέρβασης της PHA = **…..........0,25g..........,** για την περίπτωση σημειακής σεισμικής πηγής με α = 4,0, b = 1,0 και απόσταση R = 35km. Να χρησιμοποιηθεί η σχέση Ambraseys με άνω όριο m_{max} = 7,0.

Α.4. Για μία θέση που ανήκει στην κατηγορία …**II**… σεισμικής επικινδυνότητας του ΝΕΑΚ, σχεδιάστε διάγραμμα της α_{max} με το χρόνο, για πιθανότητα υπέρβασης 5% και 10%.

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
Πολυτεχνική Σχολή - Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας : Γεωτεχνικής Μηχανικής
Εργ/ριο : **Εδαφομηχανικής & Θεμελιώσεων**

Α. Σ. Τ. Ε. - 1
ΜΑΘΗΜΑ : «Τεχνική Σεισμολογία - Εδαφοδυναμική»

Θ έ μ α :

Καθηγητής Θ. Χατζηγώγος

Ένα σημαντικό έργο πρόκειται να κατασκευασθεί στη θέση 40°,75 και 22°,75. Να γίνει εκτίμηση της PHA με τους ακόλουθους τρόπους :

✓ Με βάση τις ισόσειστες καμπύλες εντάσεων των ιστορικών σεισμών.

✓ Με βάση τους ιστορικούς σεισμούς (από το 1500 μέχρι σήμερα) και σε απόσταση μέχρι 100km από τη θέση που εξετάζεται.

✓ Με ντετερμινιστική ανάλυση με βάση την απόσταση από το ρήγμα της Βόλβης.

✓ Με πιθανοκρατική μελέτη σεισμικής επικινδυνότητας, με χρήση του προγράμματος CRISIS 99 (να χρησιμοποιηθούν δεδομένα που εκφράζουν την επιρροή των ζωνών 35 και 36 του ελληνικού χώρου).

ΠΡΟΣΟΧΗ : Το σύνολο των δεδομένων που απαιτούνται κατά την εκπόνηση του θέματος, θα δοθούν την ώρα του εργαστηρίου.

[Α.1.] Άσκηση Α.1.

Για τις σεισμικές παραμέτρους της ζώνης 38 (πίνακας 7.1., σελ. 120, Papazachos – Papazachou: The earthquakes of Greece), υπολογίστε το μέγεθος του σεισμού με πιθανότητα υπέρβασης 5%. Να εφαρμοσθεί ο νόμος Gutenberg - Richter με άνω και κάτω όριο.

Οι πληροφορίες για τη ζώνη 38 του πίνακα 7.1, σελ.120, *Papazachos – Papazachou: The earthquakes of Greece*, είναι οι εξής:

No.................: 38
Source Name.: Cremasta
b....................: 0,93 → β=0,93•ln10 → β =2,1414
a....................: 4,34
M_{max}..............: 6,8

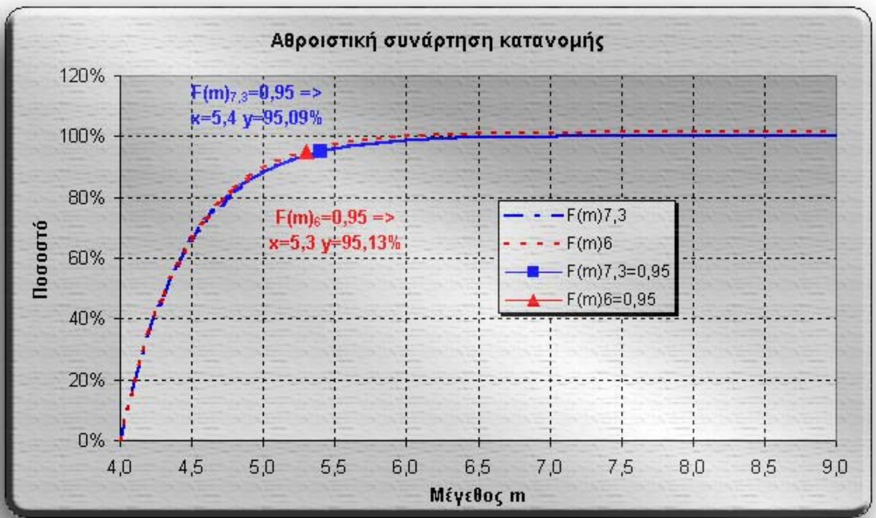
Θεωρούμε κάτω όριο το m_o = 4, ενώ για άνω όριο θα πάρουμε μία προσαυξημένη τιμή του M_{max} κατά 0,5 για την κάλυψη τυχόν αβεβαιοτήτων.

Έτσι, λοιπόν, έχουμε την εξίσωση από:
Καθορισμός του σεισμικού μοντέλου που περιγράφει τη σεισμικότητα κάθε σεισμικής πηγής [σημειώσεις ΑΣΤΕ-1, Χατζηγώγος (Κεφάλαιο 4), ενότητα 2.3] → σχέση 2.2:

$$F(m)=\frac{1-\exp(-\beta(m-m_o))}{1-\exp(-\beta(m_u-m_o))}\Rightarrow F(m)=\frac{1-\exp(-2{,}1414(m-4{,}0))}{1-\exp(-2{,}1414(7{,}3-4{,}0))}$$

Για καλύτερη σύγκριση για την κατανόηση της έννοιας του άνω ορίου, θεωρούμε και την εξίσωση (κόκκινη γραμμή) με άνω όριο πλέον αντί για το 7,3, το 6,0.

$$F'(m)=\frac{1-\exp(-2{,}1414(m-4{,}0))}{1-\exp(-2{,}1414(6{,}0-4{,}0))}$$



Σημειώνουμε ότι οι ανωτέρω συναρτήσεις είναι αθροιστικές (Cumulative DF), οπότε για να βρούμε την πιθανότητα υπέρβασης 5%, αρκεί να πάμε στο διάγραμμα και να βρούμε την τιμή x (μέγεθος m) για την οποία το y (ποσοστό) είναι ίσο με 95%. Έτσι, λοιπόν, βλέπουμε ότι το μέγεθος του σεισμού με πιθανότητα υπέρβασης 5% είναι το **m=5,4**. (για m_u = 6,0, είναι m=5,3).

[A.2.] Ασκηση Α.2.

_A.2.a)_ Να σχεδιάσετε διαγράμματα PHA με την απόσταση (προσαρμοσμένα στις ανάγκες μελέτης σεισμικής επικινδυνότητας) για τους νόμους εξασθένισης των Θεοδουλίδη – Παπαζάχου και Ambraseys για μέγεθος σεισμού M = 5,5 και για βραχώδες έδαφος.

Ο νόμος εξασθένησης του Θεοδουλίδη–Παπαζάχου (1992) βρίσκεται στις σημειώσεις ΑΣΤΕ-1, στη σελίδα 166:

$$\ln PHA(\frac{cm}{\sec^2}) = 3{,}88 + 1{,}12M_s - 1{,}65\ln(R+15) + 0{,}41S + 0{,}71P$$

M_s:Επιφανειακό μέγεθος σεισμού
R: Απόσταση από τη σεισμική πηγή. Πρέπει να θεωρούμε R>10 (συνθήκες μη κοντινού πεδίου)
S: Αλλούβια → S=0, Βράχος ή οιονεί βράχος (V_s≥750m/s) → S=1
P: 50% μη υπέρβαση της lnPHA → P=0, ενώ για 84% μη υπέρβαση της lnPHA → P=1

Για παράδειγμα, για R=75Km, βραχώδες έδαφος και P=0:

$$\ln PHA(\frac{cm}{\sec^2}) = 3{,}88 + 1{,}12\bullet 5{,}5 - 1{,}65\ln(75+15) + 0{,}41\bullet 1 + 0{,}71\bullet 0 = 3{,}0253 \Rightarrow$$

PHA=20,60 cm/sec^2.

Ο νόμος εξασθένησης του Ambraseys (1996) βρίσκεται σε συμπληρωματικές σημειώσεις ΑΣΤΕ-1:
log(y) = C_1’ + C_2•M + C_4•log(r) + C_a•S_A + C_s•S_s+σP
Για T=0:
C_1’ = -1,48
C_2 = 0,266

$$h_o = 3{,}5$$

$$r = \sqrt{R^2 + h_o^2} \quad \Rightarrow \quad r = \sqrt{R^2 + 3{,}5^2}$$, με R>10 (συνθήκες μη κοντινού πεδίου)

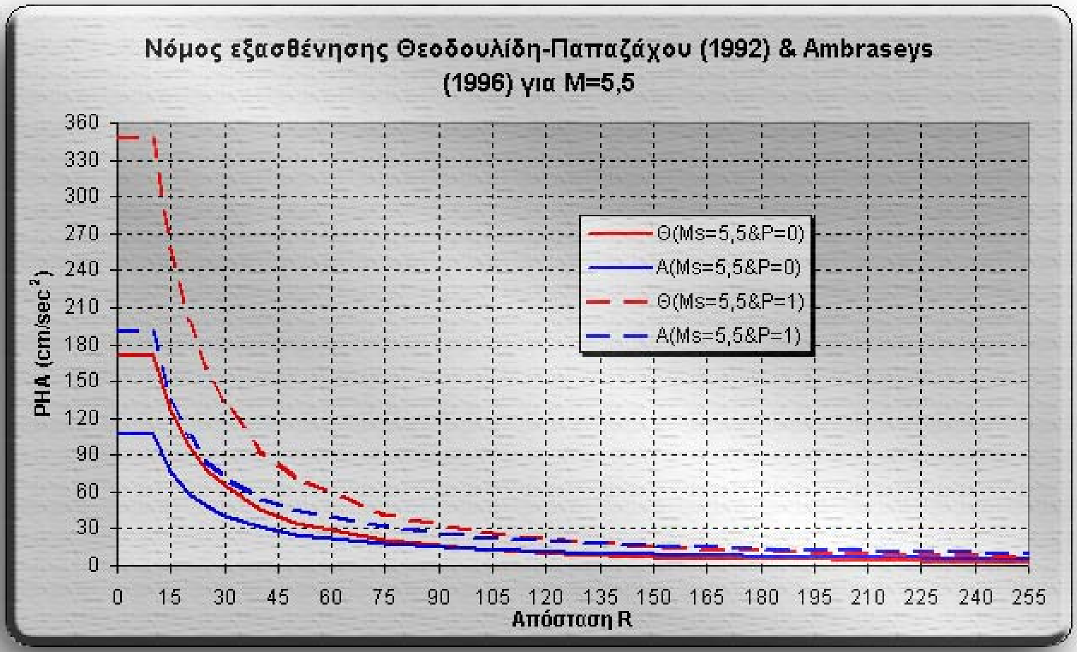
C_4 = -0,922
C_a = 0,117
S_A = 0 (βράχος ή μαλακό έδαφος) ή S_A = 1 (σκληρό έδαφος)
C_s = 0,124
S_S = 0 (βράχος ή σκληρό έδαφος) ή S_S = 1 (μαλακό έδαφος)
σ = 0,25 (Τυπική απόκλιση)
P = 0 (50% μη υπέρβαση της logy) ή P = 1 (84% μη υπέρβαση της logy)
M: Μέγεθος σεισμού

Για παράδειγμα, για R=75Km, βραχώδες έδαφος και P=0:

$$\log(y) = -1{,}48 + 0{,}266 \bullet 5{,}5 - 0{,}922 \bullet \log\left(\sqrt{75^2 + 3{,}5^2}\right) + 0{,}117 \bullet 0 + 0{,}124 \bullet 0 + 0{,}25 \bullet 0 = -1{,}7462$$

y = 0,017937 m/sec^2 = 981*0,017937 → y = 17,5965 cm/sec^2.

Με παρόμοιο τρόπο και αυτοματοποίηση στο Excel, φτιάχνουμε το εξής διάγραμμα:


Νόμος εξασθένησης Θεοδουλίδη-Παπαζάχου (1992) & Ambraseys (1996) για M=5,5
PHA (cm/sec²)
Απόσταση R
Θ(Ms=5,5&P=0)
A(Ms=5,5&P=0)
Θ(Ms=5,5&P=1)
A(Ms=5,5&P=1)
0
30
60
90
120
150
180
210
240
270
300
330
360
0
15
30
45
60
75
90
105
120
135
150
165
180
195
210
225
240
255

A.2.b) Για το νόμο του Ambraseys υπολογίστε την πιθανότητα υπέρβασης της α = 0,20g για το μέγεθος Μ και απόσταση σεισμού R = 35 Km.

Σύμφωνα με τη θεωρία:

Αν έχουμε έναν αριθμό γεγονότων με $\overline{x}$ τη μέση τιμή τους και σx την τυπική απόκλιση, αποδεικνύεται ότι για κάποιο Ζ που προκύπτει από τυχαίο Χ ➔ $Z = \dfrac{X - \overline{x}}{\sigma_x}$

1) Η πιθανότητα P[x<X] = P[z<Z] = F_Z[Z]

Η συνάρτηση F_Z είναι μια πινακοποιημένη συνάρτηση που περιγράφεται στην σελίδα 593 του βιβλίου του *Kramer, "Geotechnical Earthquake Engineering"*.

2) Η πιθανότητα P[x>X] = P[z>Z] = 1–Fz[–Z]

3) Η πιθανότητα P[X_1<x<X_2] = P[Z_1<z<Z_2] = F_Z[Z_2]-F_Z [Z_1]

4) Επειδή ο πίνακας έχει τιμές για Z<0, αν έχουμε Z>0, τότε Fz[Z|Z>0] = 1-FZ[-Z]

Παράδειγμα: η πιθανότητα P[240<x<300] με $\overline{x}$ =270 και σ_x = 40 είναι:

$$Z_1 = \frac{240-270}{40} = -0{,}75 \quad \kappa\alpha\iota \quad Z_1 = \frac{300-270}{40} = 0{,}75$$

$$P[240 < x < 300] = P[-0{,}75 < z < 0{,}75] = F_z[0{,}75] - F_z[-0{,}75] = 1 - F_z[-0{,}75] - F_z[-0{,}75]$$

P[240<x<300] = 1–2•0,2266 ➔ P[240<x<300]=54,68%

Για R=35Km, βραχώδες έδαφος, σ=0,25 (σχέση Ambraseys) και P=0:

$$\log(y) = -1{,}48 + 0{,}266 \bullet 5{,}5 - 0{,}922 \bullet \log\left(\sqrt{35^2 + 3{,}5^2}\right) + 0{,}117 \bullet 0 + 0{,}124 \bullet 0 + 0{,}25 \bullet 0 = -1{,}4426$$

y = 0,036089 m/sec² = 981*0,036089 ➔ y = 35,4035 cm/sec².

logPHA = log(35,4035) ➔ $\overline{\mathbf{logPHA}} = \mathbf{1{,}5490}$

log(0,20g) = log(0,2•981cm/sec²) = log(196,2 cm/sec²) ➔ $\mathbf{\log(0{,}20g)} = \mathbf{2{,}2927}$

$$Z_1 = \frac{\log(0{,}20g) - \overline{\log PHA}}{\sigma} = \frac{2{,}2927 - 1{,}5490}{0{,}25} = 2{,}9748$$

Έτσι, λοιπόν, P[PHA>0,20g] = 1-F_Z[2,9748] = F_Z[-2,9748] = 0,0015 ➔ **P[PHA>0,20g] = 0,15%**

Για R=35Km, βραχώδες έδαφος, σ=0,25 (σχέση Ambraseys) και P=1:

$$\log(y) = -1{,}48 + 0{,}266 \bullet 5{,}5 - 0{,}922 \bullet \log\left(\sqrt{35^2 + 3{,}5^2}\right) + 0{,}117 \bullet 0 + 0{,}124 \bullet 0 + 0{,}25 \bullet 1 = -1{,}1926$$

y = 0,064180 m/sec² = 981*0,064180 ➔ y = 62,9606 cm/sec².

logPHA = log(62,9606) ➔ $\overline{\mathbf{logPHA}} = \mathbf{1{,}7990}$

log(0,20g) = log(0,2•981cm/sec²) = log(196,2 cm/sec²) ➔ $\mathbf{\log(0{,}20g)} = \mathbf{2{,}2927}$

$$Z_1 = \frac{\log(0{,}20g) - \overline{\log PHA}}{\sigma} = \frac{2{,}2927 - 1{,}7990}{0{,}25} = 1{,}9748$$

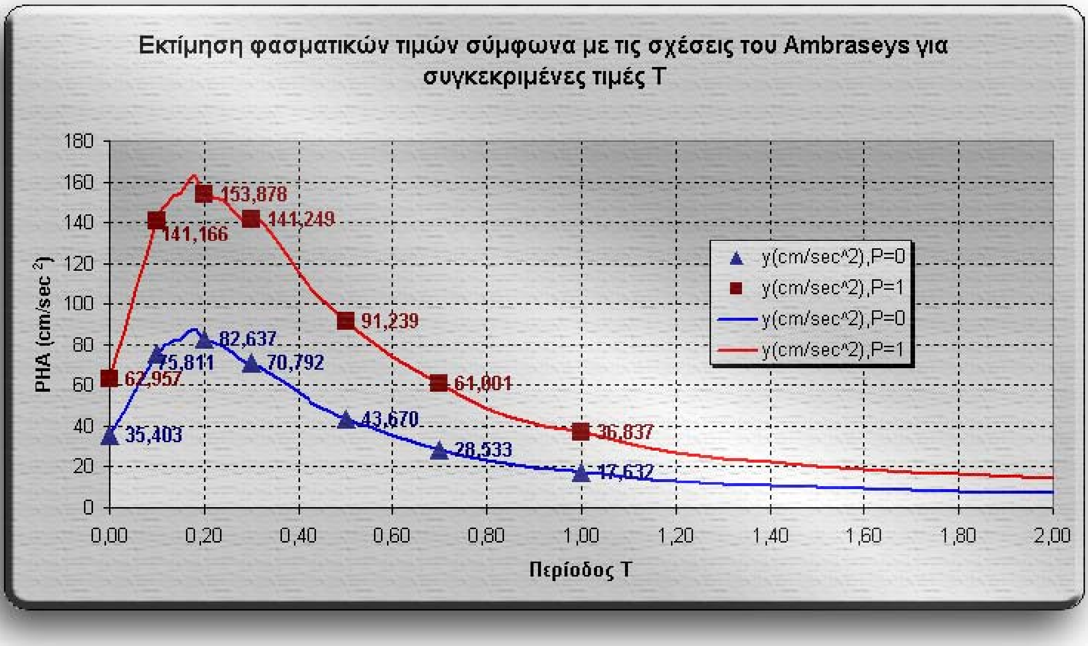
Έτσι, λοιπόν, P[PHA>0,20g] = 1-F_Z[1,9748] = F_Z[-1,9748] = 0,0242 ➔ **P[PHA>0,20g] = 2,42%**

Α.2.c) Για τα δεδομένα του ερωτήματος [β] να εκτιμηθούν οι φασματικές τιμές (Τ = 0 – 0,1 – 0,2 – 0,3 – 0,5 – 0,7 – 1,0) της PHA, σύμφωνα με τις σχέσεις του Ambraseys που αντιστοιχούν στη μέση τιμή των σχέσεων εξασθένισης και στην τιμή που αντιστοιχεί σε ποσοστό 84% αντίστοιχα.

Ο νόμος εξασθένησης του Ambraseys (1996) βρίσκεται σε συμπληρωματικές σημειώσεις ΑΣΤΕ-1:
$\mathbf{\log(y) = C_1' + C_2 \bullet M + C_4 \bullet \log(r) + C_a \bullet S_A + C_s \bullet S_s + \sigma P}$

Θεωρούμε βράχο, οπότε $S_A = S_s = 0$.
Οι τιμές για τις ανωτέρω μεταβλητές έχουν εξάρτηση από την περίοδο T_α. Επειδή έχουμε τις τιμές για T_α=0,28 και T_α=0,32 αλλά όχι για T_α=0,30, κάνουμε ειδικά για το T_α=0,30 γραμμική παρεμβολή. Οι υπόλοιπες τιμές και τα αποτελέσματα δίνονται παρακάτω σε μορφή πίνακα αλλά και σε διάγραμμα το οποίο έχει μεγαλύτερο εύρος τιμών T_α.

Tα	C_1'	C_2	h_0	C_4	C_a	C_s	sigma	ln(10^{sigma})	y(cm/sec²),P=0	y(cm/sec²),P=1
0,00	-1,48	0,266	3,5	-0,922	0,117	0,124	0,25	0,576	35,403	62,957
0,10	-0,84	0,219	4,5	-0,954	0,078	0,027	0,27	0,622	75,811	141,166
0,20	-1,21	0,284	4,2	-0,922	0,135	0,142	0,27	0,622	82,637	153,878
0,30	-1,55	0,338	4,3	-0,939	0,130	0,160	0,30	0,691	70,792	141,249
0,50	-2,25	0,420	3,3	-0,913	0,147	0,201	0,32	0,737	43,670	91,239
0,70	-2,67	0,463	3,1	-0,914	0,116	0,214	0,33	0,760	28,533	61,001
1,00	-3,17	0,508	4,3	-0,885	0,128	0,219	0,32	0,737	17,632	36,837



[Α.3.] Άσκηση Α.3.

Να υπολογισθεί η μέση ετήσια τιμή υπέρβασης της PHA = 0,25g, για την περίπτωση σημειακής σεισμικής πηγής με α = 4,0, b = 1,0 και απόσταση R = 35km. Να χρησιμοποιηθεί η σχέση Ambraseys με άνω όριο m_{max} = 7,0.

Σύμφωνα με τη θεωρία πιθανοτήτων, $P(A \cap B) = P(A|B) \bullet P(B)$

Η μέση ετήσια τιμή υπέρβασης της PHA=0,25g είναι η εξής:

$$\lambda_{0,01g} = \nu_1 \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{n} P[PHA > 0,01g \mid M = m_i, R = r_j] \bullet P[M = m_i] \bullet P[R = r_j]$$

$\log\nu_1$ = b–α•M [εδώ, επειδή δεν ασχολούμαστε με M≤4,0, είναι $\log\nu_1$ = 4,00–1,00•4,0 = 0 → **ν_1=1**]

Έτσι, λοιπόν, πρέπει να διακριτοποιήσουμε κατάλληλα τα <u>ανεξάρτητα</u> μεταξύ τους M και R, για να έχουμε όσο το δυνατόν πιο σωστά αποτελέσματα. Επειδή μας έχει δοθεί ήδη ότι μας ενδιαφέρει μόνο η απόσταση R=35Km, θα θεωρήσουμε στον ανωτέρω τύπο ότι n=1, και έτσι, άρα, P[R=35 Km]=1. Στην περίπτωση που δε μας είχε δοθεί η απόσταση R, θα έπρεπε να διακριτοποιήσουμε και αυτό το μέγεθος και να βρούμε τη σχετική πιθανότητα εμφάνισης κάθε κομματιού του.

Μας μένει, δηλαδή, μόνο να διακριτοποιήσουμε τα μεγέθη από 4,0 μέχρι π.χ. 8,0:

Η πιθανότητα ενός μεγέθους σεισμού να βρίσκεται ανάμεσα σε κάποια όρια m_l και m_u είναι:

$$P[m_l<m<m_u] = \int_{M=m_l}^{M=m_u} f_M(m)dm \approx f_M\left(\frac{m_l+m_u}{2}\right)(m_u - m_l)$$

Όσο πιο πυκνή είναι η διακριτοποίηση, τόσο πιο ακριβή αποτελέσματα δίνει ο ανωτέρω τύπος.

Εμείς έχουμε επιλέξει τη διαφορά μεταξύ των ορίων σε τιμές μεγέθους να είναι ίση με 0,1. Έτσι, θα ασχοληθούμε με τις τιμές m=4,05, m=4,15, m=4,25 κλπ και να βρούμε τη σχετική πιθανότητα εμφάνισης του καθενός από αυτές. Το σύνολό τους, βέβαια, πρέπει να είναι όσο το δυνατόν κοντύτερα στο ΣΕ=1. <u>Αραιότερη διακριτοποίηση (πχ m=4,5, m=5,5 κλπ) οδηγεί σε αποτελέσματα στο όριο του λάθους</u>.

Για παράδειγμα, έχουμε:

$$P[5,90<m<6,00] = \int_{M=5,90}^{M=6,00} f_M(m)dm \approx f_M\left(\frac{5,90+6,00}{2}\right)(6,00-5,90) = 0,10 f_M(5,95)$$

b = 1,0 → β = b•ln10 → **β = 2,303**.

$$P[5,90<m<6,00] = 0,10 \bullet = \frac{\beta \bullet \exp(-\beta(m-m_l))}{1-\exp(-\beta(m_u - m_l))} = 0,10 \bullet \frac{2,303 \bullet \exp(-2,303(5,95-4,00))}{1-\exp(-2,303(7,5-4,00))}$$

(m_u = M_{max}+0,5=7,0+0,5=7,5)

P[5,90<m<6,00] =0,258%

Σε αυτό το εύρος μεγεθών σεισμού, πρέπει να βρούμε την πιθανότητα να ξεπεραστεί το PHA=0,25g.

Για R=35Km, βραχώδες έδαφος, σ=0,25 (σχέση Ambraseys που δίνει το y σε g) και P=0:

$$\log(y) = -1{,}48 + 0{,}266 \bullet 5{,}95 - 0{,}922 \bullet \log\left(\sqrt{35^2 + 3{,}5^2}\right) + 0{,}117 \bullet 0 + 0{,}124 \bullet 0 + 0{,}25 \bullet 0 = -1{,}3229$$

y = 0,047542 g (m/sec²) = 9,81*0,047542 ➔ y = 0,466387 m/sec².
Παραμένουμε σε μονάδες g (δεν παίζουν ρόλο, αρκεί παντού να έχουμε τις ίδιες μονάδες):

$$\mathbf{\overline{\log PHA} = -1{,}3229}$$
$$\mathbf{\log(0{,}25g) = -0{,}6021}$$

$$Z = \frac{\log(0{,}25g) - \overline{\log PHA}}{\sigma} = \frac{-0{,}6021 + 1{,}3229}{0{,}25} = 2{,}8832$$

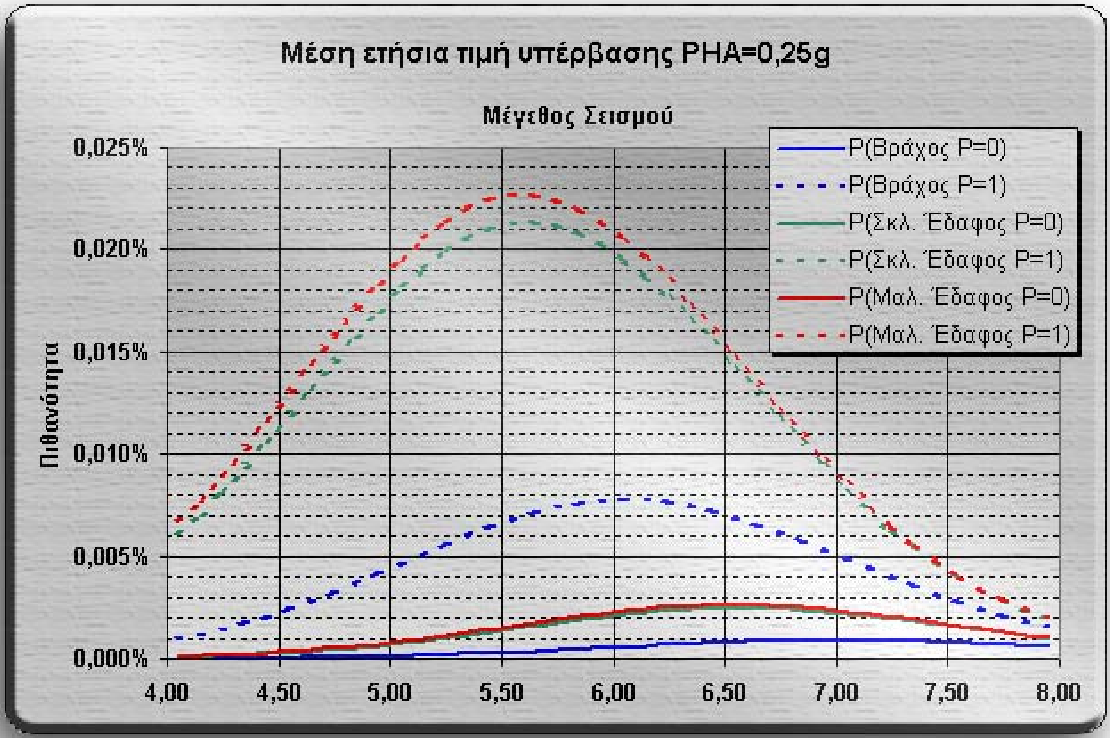
Έτσι, λοιπόν, P[PHA>0,25g] = 1-F_Z[-Z] = 1-F_Z[-2,8836] = 1–0,9980 ➔ **P[PHA>0,20g] = 0,20%**

Τελικά, λοιπόν για το m=5,95 (διάστημα 5,9<m<6,0) είναι:
$\nu_1 \bullet P[PHA > 0{,}01g \mid M = 5{,}95, R = 35] \bullet P[M = 5{,}95] \bullet P[R = 35] = 1 \bullet 0{,}0020 \bullet 0{,}00258 = 0{,}00051\%$
Αν αθροίσουμε και τις υπόλοιπες τιμές για να καλύψουμε όλο το διάστημα (πχ. m=4~8), θα έχουμε τη μέση ετήσια τιμή υπέρβασης της PHA=0,25g.

		S_A	S_S	P		S_A	S_S	P	
		0	0	0		1	0	0	
m	P[m-δ<M<m+δ]	μέσο logPHA(g)	z	p	$P_{(Βράχος\ P=0)}$	μέσο logPHA(g)	z	p	$P_{(Σκλ.\ Έδαφος\ P=0)}$
4,05	20,528%	-1,8283	4,9051	0,00%	**0,00001%**	-1,7113	4,4371	0,00%	**0,00009%**
4,15	16,306%	-1,8017	4,7987	0,00%	**0,00001%**	-1,6847	4,3307	0,00%	**0,00012%**
4,25	12,952%	-1,7751	4,6923	0,00%	**0,00002%**	-1,6581	4,2243	0,00%	**0,00016%**
4,35	10,289%	-1,7485	4,5859	0,00%	**0,00002%**	-1,6315	4,1179	0,00%	**0,00020%**
4,45	8,172%	-1,7219	4,4795	0,00%	**0,00003%**	-1,6049	4,0115	0,00%	**0,00025%**
4,55	6,492%	-1,6953	4,3731	0,00%	**0,00004%**	-1,5783	3,9051	0,00%	**0,00031%**
4,65	5,156%	-1,6687	4,2667	0,00%	**0,00005%**	-1,5517	3,7987	0,01%	**0,00038%**
4,75	4,096%	-1,6421	4,1603	0,00%	**0,00007%**	-1,5251	3,6923	0,01%	**0,00046%**
4,85	3,254%	-1,6155	4,0539	0,00%	**0,00008%**	-1,4985	3,5859	0,02%	**0,00055%**
4,95	2,584%	-1,5889	3,9475	0,00%	**0,00010%**	-1,4719	3,4795	0,03%	**0,00065%**
5,05	2,053%	-1,5623	3,8411	0,01%	**0,00013%**	-1,4453	3,3731	0,04%	**0,00076%**
5,15	1,631%	-1,5357	3,7347	0,01%	**0,00015%**	-1,4187	3,2667	0,05%	**0,00089%**
5,25	1,295%	-1,5091	3,6283	0,01%	**0,00018%**	-1,3921	3,1603	0,08%	**0,00102%**
5,35	1,029%	-1,4825	3,5219	0,02%	**0,00022%**	-1,3655	3,0539	0,11%	**0,00116%**
5,45	0,817%	-1,4559	3,4155	0,03%	**0,00026%**	-1,3389	2,9475	0,16%	**0,00131%**
5,55	0,649%	-1,4293	3,3091	0,05%	**0,00030%**	-1,3123	2,8411	0,22%	**0,00146%**
5,65	0,516%	-1,4027	3,2027	0,07%	**0,00035%**	-1,2857	2,7347	0,31%	**0,00161%**
5,75	0,410%	-1,3761	3,0963	0,10%	**0,00040%**	-1,2591	2,6283	0,43%	**0,00176%**
5,85	0,325%	-1,3495	2,9899	0,14%	**0,00045%**	-1,2325	2,5219	0,58%	**0,00190%**
5,95	0,258%	-1,3229	2,8835	0,20%	**0,00051%**	-1,2059	2,4155	0,79%	**0,00203%**
6,05	0,205%	-1,2963	2,7771	0,27%	**0,00056%**	-1,1793	2,3091	1,05%	**0,00215%**
6,15	0,163%	-1,2697	2,6707	0,38%	**0,00062%**	-1,1527	2,2027	1,38%	**0,00225%**
6,25	0,130%	-1,2431	2,5643	0,52%	**0,00067%**	-1,1261	2,0963	1,80%	**0,00234%**
6,35	0,103%	-1,2165	2,4579	0,70%	**0,00072%**	-1,0995	1,9899	2,33%	**0,00240%**
6,45	0,082%	-1,1899	2,3515	0,94%	**0,00076%**	-1,0729	1,8835	2,98%	**0,00244%**
6,55	0,065%	-1,1633	2,2451	1,24%	**0,00080%**	-1,0463	1,7771	3,78%	**0,00245%**
6,65	0,052%	-1,1367	2,1387	1,62%	**0,00084%**	-1,0197	1,6707	4,74%	**0,00244%**
6,75	0,041%	-1,1101	2,0323	2,11%	**0,00086%**	-0,9931	1,5643	5,89%	**0,00241%**
6,85	0,033%	-1,0835	1,9259	2,71%	**0,00088%**	-0,9665	1,4579	7,24%	**0,00236%**
6,95	0,026%	-1,0569	1,8195	3,44%	**0,00089%**	-0,9399	1,3515	8,83%	**0,00228%**
7,05	0,021%	-1,0303	1,7131	4,34%	**0,00089%**	-0,9133	1,2451	10,66%	**0,00219%**
7,15	0,016%	-1,0037	1,6067	5,41%	**0,00088%**	-0,8867	1,1387	12,74%	**0,00208%**
7,25	0,013%	-0,9771	1,5003	6,68%	**0,00086%**	-0,8601	1,0323	15,10%	**0,00196%**
7,35	0,010%	-0,9505	1,3939	8,17%	**0,00084%**	-0,8335	0,9259	17,73%	**0,00182%**
7,45	0,008%	-0,9239	1,2875	9,90%	**0,00081%**	-0,8069	0,8195	20,63%	**0,00169%**
7,55	0,006%	-0,8973	1,1811	11,88%	**0,00077%**	-0,7803	0,7131	23,79%	**0,00154%**
7,65	0,005%	-0,8707	1,0747	14,13%	**0,00073%**	-0,7537	0,6067	27,20%	**0,00140%**
7,75	0,004%	-0,8441	0,9683	16,65%	**0,00068%**	-0,7271	0,5003	30,84%	**0,00126%**
7,85	0,003%	-0,8175	0,8619	19,44%	**0,00063%**	-0,7005	0,3939	34,68%	**0,00113%**
7,95	0,003%	-0,7909	0,7555	22,50%	**0,00058%**	-0,6739	0,2875	38,69%	**0,00100%**
SUM	99,801%			SUM	0,01869%			SUM	0,05663%

Όπως βλέπουμε, για σκληρό έδαφος έχουμε μέση τιμή ετήσιας υπέρβασης **0,01869%**, μια μικρή τιμή που εξηγείται στο ότι έχουμε περιοριστεί στο χρονικό περιθώριο ενός μόνο έτους και στο ότι έχουμε μεγάλη τιμή υπέρβασης (0,25g). Για παράδειγμα, αν είχαμε υπέρβαση 0,03g στο ένα έτος, θα είχαμε μέση τιμή ετήσιας υπέρβασης 22,42%.

Παρακάτω φαίνεται το μη αθροιστικό διάγραμμα των πιθανοτήτων υπέρβασης της PHA=0,25g για διαφόρους συνδυασμούς μεταβλητών:



[Α.4.] <u>Άσκηση Α.4.</u>

Για μία θέση που ανήκει στην κατηγορία ΙΙ σεισμικής επικινδυνότητας του ΝΕΑΚ, σχεδιάστε διάγραμμα της α_{max} με το χρόνο, για πιθανότητα υπέρβασης 5% και 10%.

Από τις σημειώσεις *ΑΣΤΕ-1, κεφάλαιο 4, ενότητα 6*, βλέπουμε ότι σύμφωνα με *Παπαζάχο–Παπαζάχου (1989)*, η συνάρτηση για τη μέση περίοδο επανάληψης της μέγιστης επιτάχυνσης για την κατηγορία ΙΙ του ΕΑΚ είναι:

$$\log(a_{g,max}) = 0{,}277 \cdot \log(Ty) + 1{,}579$$

Αν υποθέσουμε κανονική κατανομή του ενδεχομένου εμφάνισης της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, η μέση περίοδος επανάληψης T_y μιας μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης με πιθανότητα υπέρβασης P_t σε χρονικό διάστημα Δt ίσο με το χρόνο ζωής του έργου δίνεται από τη σχέση:

$$T_m = \frac{-\Delta t}{\ln(1-P_t)}$$

Για παράδειγμα, για χρονική περίοδο 150 ετών με πιθανότητα υπέρβασης 10% έχουμε:

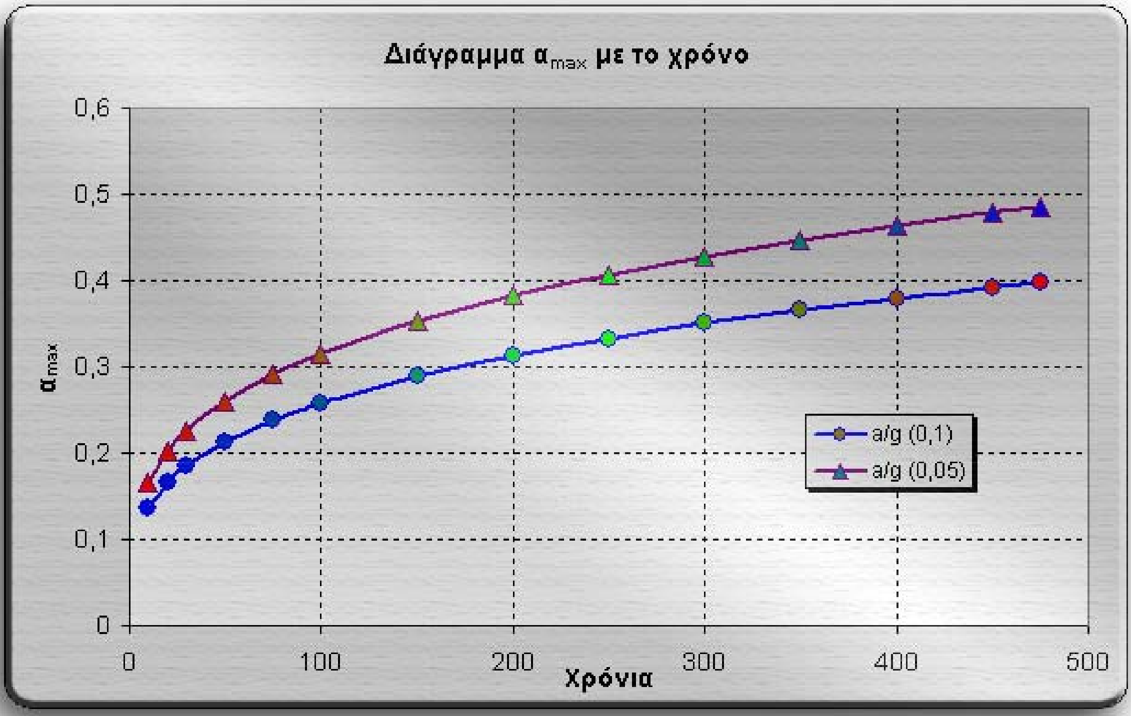
$$T_m = \frac{-150}{\ln(1-0{,}10)} = 1423{,}583$$

log(ag,max) = 0,277•log(1423,583)+1,579 ➔ $a_{g,\max} = 10^{2,4525} = 283{,}46\dfrac{cm}{\sec^2} = 0{,}2890 \bullet g$

Μπορούμε να αυτοματοποιήσουμε τη διαδικασία αυτή και τελικά καταλήγουμε στους κάτωθι πίνακες και το αντίστοιχο διάγραμμα:

Πιθανότητα υπέρβασης			10,0%
Χρονική Περίοδος	T_y (χρόνια)	a_g (cm/sec²)	a/g (0,1)
10	94,912	133,881	0,1365
20	189,824	162,220	0,1654
30	284,737	181,502	0,1850
50	474,561	209,090	0,2131
75	711,842	233,943	0,2385
100	949,122	253,348	0,2583
150	1423,683	283,462	0,2890
200	1898,244	306,975	0,3129
250	2372,805	326,548	0,3329
300	2847,366	343,464	0,3501
350	3321,928	358,447	0,3654
400	3796,489	371,954	0,3792
450	4271,050	384,289	0,3917
475	4508,330	390,088	0,3976

Πιθανότητα υπέρβασης			5,0%
Χρονική Περίοδος	T_y (χρόνια)	a_g (cm/sec²)	a/g (0,05)
10	194,957	163,423	0,1666
20	389,915	198,015	0,2019
30	584,872	221,552	0,2258
50	974,786	255,228	0,2602
75	1462,179	285,565	0,2911
100	1949,573	309,252	0,3152
150	2924,359	346,011	0,3527
200	3899,145	374,713	0,3820
250	4873,931	398,605	0,4063
300	5848,718	419,253	0,4274
350	6823,504	437,542	0,4460
400	7798,290	454,029	0,4628
450	8773,077	469,087	0,4782
475	9260,470	476,165	0,4854


Διάγραμμα α_{max} με το χρόνο
α_{max}
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
0
100
200
300
400
500
Χρόνια
a/g (0,1)
a/g (0,05)

[A.5.] Θέμα:

Ένα σημαντικό έργο πρόκειται να κατασκευασθεί στη θέση 40°,75 και 22°,75. Να γίνει εκτίμηση της PHA με τους ακόλουθους τρόπους.

A.5.a) Με βάση τις ισόσειστες καμπύλες εντάσεων των ιστορικών σεισμών.

Από τους δοθέντες χάρτες ισόσειστων εντάσεων, προέκυψαν οι εξής ιστορικοί σεισμοί που επηρεάζουν (λόγω μεγέθους, απόστασης και έντασης) το έργο στη συγκεκριμένη θέση:

1) 1829, May 5, 41.10°N, 24.50°E, M=7.3, Drama, R=150Km, I = 6,8 (R>10 km).
2) 1931, Mar.8, 41.28°N, 22.49°E, M=6.7, Yugoslavia, R=60Km, I = 6,6 (R>10 km).
3) 1978, June 20, 40.61°N, 23.27°E, M=6.5, Stivos, R=60Km, I = 5,8 (R>10 km).

Σύμφωνα με τη σχέση του *Θεοδουλίδη (1991)* από τις συμπληρωματικές σημειώσεις, έχουμε:
logPGA (cm/sec^2) = 0,29•maxI$_{MM}$ + 0,21 = 0,29•6,8+0,21= 2,182→ **PGA = 152,05 cm/sec^2**.

Εναλλακτικά, σύμφωνα με τις σχέσεις εξασθένησης των *Θεοδουλίδη-Παπαζάχου (1992)* ισχύει ότι:
lnPHA = 3.88+1.12M$_S$-1.65ln(R+15)+0.41S+0.71P (εδαφική επιτάχυνση) από τη σελίδα 166.
lnPHV = -0.79+1.41M$_S$-1.62ln(R+10)-0.22S+0.80P (εδαφική ταχύτητα) από τη σελίδα 168.
lnPHD = -5.92+2.08M$_S$-1.85ln(R+5)-0.97S+1.23P (εδαφική μετατόπιση) από τη σελίδα 168.
όπου P = 0 (για μέση τιμή) και S = 1 για βράχο, ή S = 0 για αλλούβια.
Εφαρμόζοντας τις ανωτέρω σχέσεις έχουμε:

	x=A & n=2		x=V & n=1		x=D & n=0	
C1	3,88		-0,79		-5,92	
C2	1,12		1,41		2,08	
C3	-1,65		-1,62		-1,85	
C4	15,00		10,00		5,00	
C5	0,41		-0,22		-0,97	
S	1	0	1	0	1	0
C6	0,71		0,80		1,23	
P	0		0		0	
M1	7,3		7,3		7,3	
R1	150,000		150,000		150,000	
lnPHx	4,041	3,631	1,061	1,281	-1,036	-0,066
PHx (cm/sec^n)	56,894	37,758	2,890	3,601	0,355	0,936
M2	6,7		6,7		6,7	
R2	60,000		60,000		60,000	
lnPHx	4,670	4,260	1,554	1,774	-0,677	0,293
PHx (cm/sec^n)	106,713	70,820	4,732	5,897	0,508	1,341
M3	6,5		6,5		6,5	
R3	60,000		60,000		60,000	
lnPHx	4,446	4,036	1,272	1,492	-1,093	-0,123
PHx (cm/sec^n)	85,297	56,608	3,570	4,448	0,335	0,885

A.5.b) Με βάση τους ιστορικούς σεισμούς (από το 1500 μέχρι σήμερα) και σε απόσταση μέχρι 100km από τη θέση που εξετάζεται.

Με βάση κατάλογο που μας δόθηκε στα πλαίσια του μαθήματος, από 164 σεισμούς με αρχή τον σεισμό στις 29/5/1508 στην Ιεράπετρα και τέλος το σεισμό της 15/6/1995 στο Αίγιο, επιλέχθηκαν 5 σεισμοί οι οποίοι έγιναν σε απόσταση μεγαλύτερη των 10 km και μικρότερη των 100 km από τη θέση του έργου. Θυμίζουμε ότι απόσταση μικρότερη από 10 km σημαίνει ότι λόγω συνθηκών κοντινού πεδίου δεν μπορούμε να εφαρμόσουμε σχέσεις εξασθένησης.

Οι σεισμοί είναι οι εξής:

1) 22/6/1759, Θεσσαλονίκη, M = 6,5, R = 15,811 km.
2) 5/7/1902, Θεσσαλονίκη, M = 6,5, R = 29,833 km.
3) 8/3/1931, Ν. Γιουγκοσλαβία, M = 6,7, R = 59,034 km.
4) 20/6/1978, Θεσσαλονίκη, M = 6,5, R = 53,852 km.
5) 21/12/1990, Πέλλα, M = 6,0, R = 42,154 km.

Λόγω αβεβαιοτήτων, επιλέγουμε να προσθέσουμε μέγεθος 0,5 στα ανωτέρω M για τις σχέσεις εξασθένησης. Σύμφωνα με την ίδια διαδικασία που ακολουθήθηκε στο πρώτο ερώτημα, έχουμε:

	x=A & n=2		x=V & n=1		x=D & n=0	
C1	3,88		-0,79		-5,92	
C2	1,12		1,41		2,08	
C3	-1,65		-1,62		-1,85	
C4	15,00		10,00		5,00	
C5	0,41		-0,22		-0,97	
S	1	0	1	0	1	0
C6	0,71		0,80		1,23	
P	0		0		0	
M1	7,0		7,0		7,0	
R1	15,811		15,811		15,811	
lnPHx	6,474	6,064	3,594	3,814	2,054	3,024
PHx (cm/sec^n)	648,065	430,088	36,368	45,317	7,802	20,580
M2	7,0		7,0		7,0	
R2	29,833		29,833		29,833	
lnPHx	5,855	5,445	2,891	3,111	1,101	2,071
PHx (cm/sec^n)	349,026	231,631	18,008	22,439	3,009	7,936
M3	7,2		7,2		7,2	
R3	59,034		59,034		59,034	
lnPHx	5,252	4,842	2,282	2,502	0,391	1,361
PHx (cm/sec^n)	190,859	126,664	9,796	12,206	1,479	3,900
M4	7,0		7,0		7,0	
R4	53,852		53,852		53,852	
lnPHx	5,147	4,737	2,126	2,346	0,131	1,101
PHx (cm/sec^n)	171,962	114,123	8,384	10,448	1,140	3,008
M5	6,5		6,5		6,5	
R5	42,154		42,154		42,154	
lnPHx	4,894	4,484	1,749	1,969	-0,499	0,471
PHx (cm/sec^n)	133,553	88,633	5,750	7,165	0,607	1,602

A.5.c) Με ντετερμινιστική ανάλυση με βάση την απόσταση από το ρήγμα της Βόλβης.

Σύμφωνα με τις συμπληρωματικές σημειώσεις, το ρήγμα της Βόλβης περικλείεται γεωμετρικά από ένα παραλληλόγραμμο με κορυφές τα σημεία Α(23.1,40.78), Β(23.1,40.63), Γ(23.7,40.63) και Δ(23.7,40.78).

Επειδή το έργο τοποθετείται στο σημείο Ε(22.75,40.75), η κοντινότερη κορυφή είναι η Α και η πλευρά που μας ενδιαφέρει είναι η ΑΒ και όχι η ΑΔ.

Η (κάθετη) απόσταση του Ε από την ΑΒ είναι R = 23.10 – 22.75 = 0,35 ➔ R = 35 km > 10km.

Εφαρμόζουμε τις σχέσεις εξασθένησης που έχουμε εφαρμόσει ήδη σε προηγούμενα ερωτήματα:

$\ln PHA = 3.88+1.12M_S-1.65\ln(R+15)+0.41S+0.71P$ (εδαφική επιτάχυνση) από τη σελίδα 166.
$\ln PHV = -0.79+1.41M_S-1.62\ln(R+10)-0.22S+0.80P$ (εδαφική ταχύτητα) από τη σελίδα 168.
$\ln PHD = -5.92+2.08M_S-1.85\ln(R+5)-0.97S+1.23P$ (εδαφική μετατόπιση) από τη σελίδα 168.

Για R = 35km και M = 6,5 + 0,5 = 7,0 (το 6,5 από τις συμπληρωματικές σημειώσεις και το 0,5 λόγω αβεβαιοτήτων) έχουμε:

	x=A & n=2		x=V & n=1		x=D & n=1	
C1	3,88		-0,79		-5,92	
C2	1,12		1,41		2,08	
C3	-1,65		-1,62		-1,85	
C4	15,00		10,00		5,00	
C5	0,41		-0,22		-0,97	
S	1	0	1	0	1	0
C6	0,71		0,80		1,23	
P	0		0		0	
M1	7,0		7,0		7,0	
R1	35,000		35,000		35,000	
lnPHx	5,675	5,265	2,693	2,913	0,846	1,816
PHx (cm/sec^n)	291,536	193,478	14,779	18,416	2,329	6,145

A.5.d) Με πιθανοκρατική μελέτη σεισμικής επικινδυνότητας, με χρήση του προγράμματος CRISIS 99 (να χρησιμοποιηθούν δεδομένα που εκφράζουν την επιρροή των ζωνών 35 και 36 του ελληνικού χώρου).

Το πρόγραμμα δεν ήταν διαθέσιμο και η πιθανοκρατική μελέτη με το CRISIS 99 δεν έγινε.