ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ
ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ

ΣΧΕΣΕΙΣ ΜΕΓΕΘΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

Τοπικό Μέγεθος (M_L) με Επιφανειακό Μέγεθος (M_S) (Κυρατζή)

$$M_S = 0.95 \cdot M_L + 0.72$$

Τοπικό Μέγεθος (M_L) με Μέγεθος Ροπής (M_W)

$$M_W = 0.97 \cdot M_L + 0.58$$

Πρακτικά για μεγέθη μέχρι 6.50 $M_L = M_W = M_S$

ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΡΟΠΗΣ M_W ΚΑΙ ΜΗΚΟΥΣ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ L(Km) (Wells and Coppersmith 1994)

Οριζόντιο ρήγμα: $\log L = -3.55 + 0.74 M_w$, $\sigma_{\log_L} = 0.23$

Ανάστροφο ρήγμα: $\log L = -2.86 + 0.63 M_w$, $\sigma_{\log_L} = 0.20$

Κανονικό ρήγμα: $\log L = -2.01 + 0.50 M_w$, $\sigma_{\log_L} = 0.21$

Όλοι οι τύποι: $\log L = -3.22 + 0.69 M_w$, $\sigma_{\log_L} = 0.22$

ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΡΟΠΗΣ M_W ΚΑΙ ΠΛΑΤΟΥΣ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ W(Km) (Wells and Coppersmith 1994)

Οριζόντιο ρήγμα: $\log W = -0.76 + 0.27 M_w$, $\sigma_{\log W} = 0.14$

Ανάστροφο ρήγμα: $\log W = -1.61 + 0.41 M_w$, $\sigma_{\log W} = 0.15$

Κανονικό ρήγμα: $\log W = -1.14 + 0.35 M_w$, $\sigma_{\log W} = 0.12$

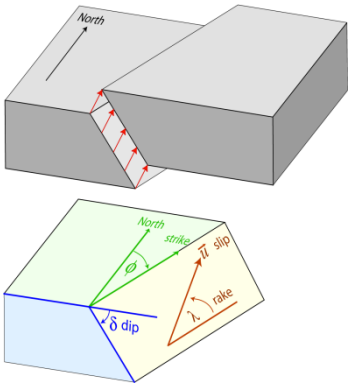
ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΡΟΠΗΣ M_W ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΑΙΣ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ A(Km^2) (Wells and Coppersmith 1994)

Οριζόντιο ρήγμα: $\log A = -3.42 + 0.90 M_w$, $\sigma_{\log_A} = 0.22$

Ανάστροφο ρήγμα: $\log A = -3.99 + 0.98 M_w$, $\sigma_{\log_A} = 0.26$

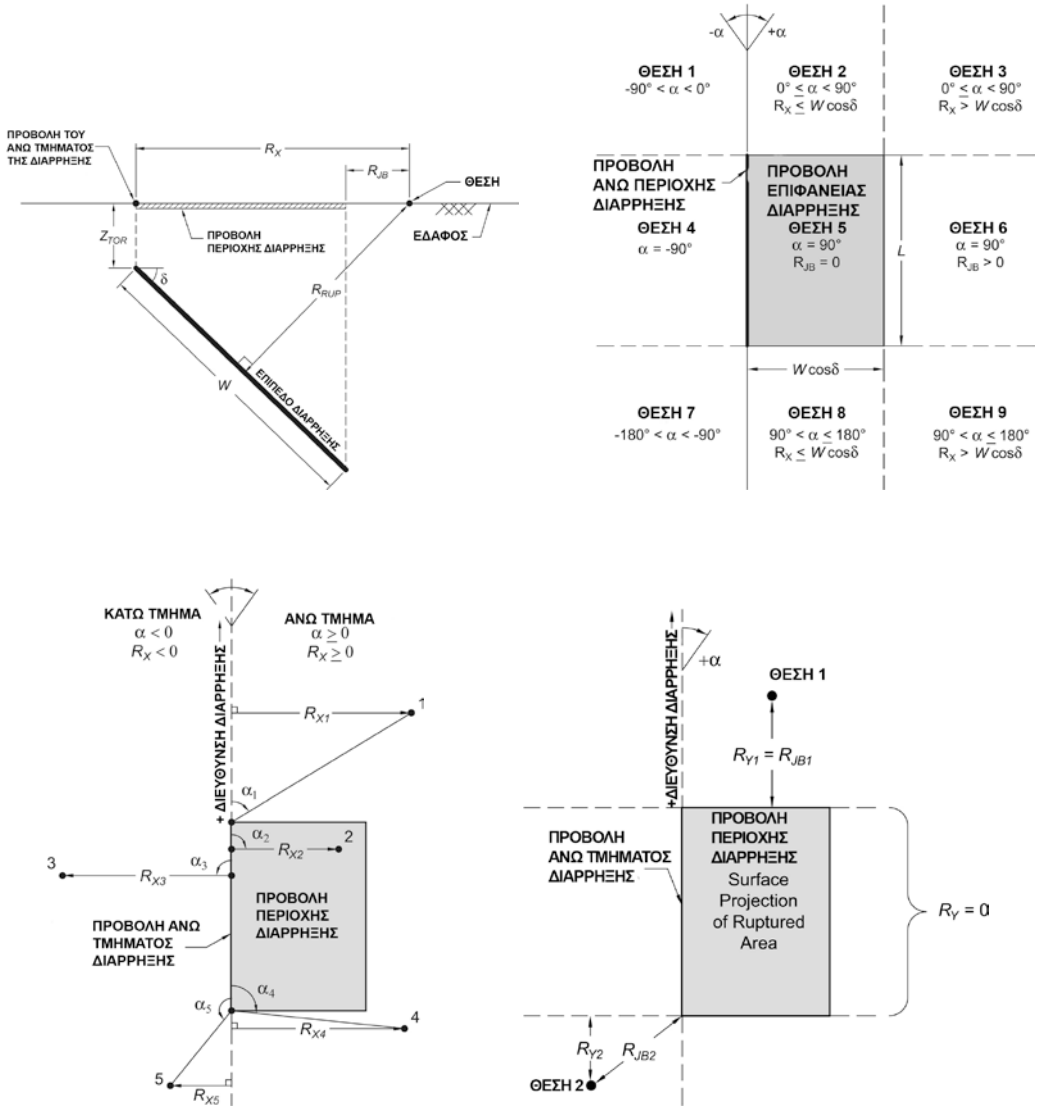
Κανονικό ρήγμα: $\log A = -2.87 + 0.82 M_w$, $\sigma_{\log_A} = 0.22$

Όλοι οι τύποι: $\log A = -3.49 + 0.91 M_w$, $\sigma_{\log_A} = 0.24$



Strike: ίχνος ρήγματος
λ: γωνία ολίσθησης
δ: Γωνία βύθισης
φ: γωνία ολίσθησης
slip: διεύθυνση ολίσθησης

Σχήμα 1. Χαρακτηριστικές γωνίες ρήγματος



Σχήμα 2. Χαρακτηριστικές αποστάσεις

ΣΧΕΣΕΙΣ ΕΞΑΣΘΕΝΙΣΗΣ

<u>Οριζόντια συνιστώσα των εδαφικών παραμέτρων για σεισμούς μικρού εστιακού βάθους στον Ελλαδικό χώρο (Skarlatoudis et.al., 2003):</u>

Γνωστό εστιακό βάθος h

Επιτάχυνση (cm/s^2) $\log PGA = 0.86 + 0.45M_W - 1.27 \log (R^2 + h^2)^{1/2} + 0.10F + 0.06S + 0.286\varepsilon$

Ταχύτητα (cm/s) $\log PGV = -1.47 + 0.52 M_W - 0.93 \log (R^2 + h^2)^{1/2} + 0.07F + 0.11S + 0.303\varepsilon$

Μετακίνηση (cm) $\log PGD = -4.08 + 0.88 M_W - 1.27 \log (R^2 + h^2)^{1/2} - 0.02F + 0.25S \pm +0.424\varepsilon$

Άγνωστο εστιακό βάθος h

Επιτάχυνση (cm/s^2) $\log PGA = 1.07 + 0.45 M_W - 1.35 \log (R + 6) + 0.09F + 0.06S + 0.286\varepsilon$

Ταχύτητα (cm/s) $\log PGV = -1.31 + 0.52 M_W - 0.97 \log (R + 6) + 0.06F + 0.11S + 0.305\varepsilon$

Μετακίνηση (cm) $\log PGD = -3.87 + 0.87 M_W - 1.31 \log (R + 6) - 0.04F + 0.24S +0.428\varepsilon$

M: Μέγεθος του σεισμού ($4.5 \le M \le 7.0$)

R(km): Επικεντρική απόσταση ($1km \le R \le 100km$)

h(km): Εστιακό βάθος

Επιρροή του μηχανισμού γένεσης του σεισμού: F=0 για κανονικό ρήγμα, F=1 για οριζόντιο ρήγμα και F=2 για ανάστροφο ρήγμα

Επιρροή κατηγορίας εδάφους: Έδαφος B S=0.000, Έδαφος C S=0.058, Έδαφος D S=0.125.

Ο τελευταίος όρος των σχέσεων εκφράζει την τυπική απόκλιση της τιμής της παραμέτρου, ε συντελεστής που δηλώνει πόσες φορές θα ληφθεί υπόψη η τυπική απόκλιση.

(Θεοδουλίδης –Παπαζάχος 1989):

Επιτάχυνση (cm/s^2) $\ln a_g = 3.88 + 1.12 \cdot M_s - 1.65 \cdot \ln(R+15) + 0.41 \cdot S + 0.71 \cdot \varepsilon$

Ταχύτητα (cm/s) $\ln v_g = -0.79 + 1.41 \cdot M_s - 1.62 \cdot \ln(R+10) - 0.22 \cdot S + 0.80 \cdot \varepsilon$

Μετακίνηση (cm) $\ln d_g = -5.92 + 2.08 \cdot M_s - 1.85 \cdot \ln(R+5) - 0.97 \cdot S$ (για ε=0)

M_S: Επιφανειακό μέγεθος σεισμού

R(Km): Επικεντρική απόσταση

Εδαφικές συνθήκες: S=0 για αλλούβια και S=1 για βράχο.

Οριζόντια και κατακόρυφη συνιστώσα για σεισμούς μικρού εστιακού βάθους στον Ευρωπαϊκό χώρο (Ambraseys, et. al.,1996):

Οριζόντια Επιτάχυνση (g) $\log(PGA_h) = -1.48 + 0.266 \cdot M_s - 0.922 \cdot \log(r) + 0.117 \cdot S_A + 0.124 \cdot S_S + 0.25 \cdot \varepsilon$

Κατακόρυφη Επιτάχυνση (g) $\log(PGA_v) = -1.74 + 0.273 \cdot M_s - 0.954 \cdot \log(r) + 0.076 \cdot S_A + 0.058 \cdot S_S + 0.26 \cdot \varepsilon$

M_S: Επιφανειακό μέγεθος (4.0≤M≤7.3)

$$r = \sqrt{d^2 + h_o^2}$$

όπου d(km) η κοντινότερη απόσταση του σταθμού από την προβολή του ρήγματος στην επιφάνεια. Προσεγγιστικά, για πρακτικές εφαρμογές $d=R_{JB}$ (1km≤R≤310km).

Οριζόντια συνιστώσα: h_o (km) =3.50. Κατακόρυφη συνιστώσα: h_o (km) =4.70.

Επιρροή κατηγορίας εδάφους. Μαλακό έδαφος S_A =0 και S_S=1. Σκληρό έδαφος S_A =1 και S_S=0. Βράχος S_A =0 και S_S=0.

Ο τελευταίος όρος των σχέσεων εκφράζει την τυπική απόκλιση της τιμής της παραμέτρου, ε συντελεστής που δηλώνει πόσες φορές θα ληφθεί υπόψη η τυπική απόκλιση.

Ελαστικό Φάσμα απόκρισης ζ=5% για τον Ευρωπαϊκό χώρο (Ambraseys, et. al.,1996):

Οριζόντια Φασματική Επιτάχυνση (g) $\log(PSA_h(T)) = C_1'(T) + C_2(T) \cdot M_s + C_4(T) \cdot \log(r) + C_A \cdot S_A + C_S \cdot S_S + \varepsilon \cdot \sigma$

4.0≤M≤7.9, 1km≤R≤200km. Επιρροή κατηγορίας εδάφους: Μαλακό έδαφος S_A =0 και S_S=1. Σκληρό έδαφος S_A =1 και S_S=0. Βράχος S_A =0 και S_S=0. $C_1'(T)$, $C_2(T)$, $C_4(T)$ C_A, C_S, h_o και σ δίνονται συναρτήσει της περιόδου T στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1 Πρόβλεψη φασματικών τιμών στην οριζόντια διεύθυνση

T	C'1	C2	ho	C4	CA	CS	σ
0.100	-0.840	0.219	4.500	-0.954	0.078	0.027	0.270
0.110	-0.860	0.221	4.500	-0.945	0.098	0.036	0.270
0.120	-0.870	0.231	4.700	-0.960	0.111	0.052	0.270
0.130	-0.870	0.238	5.300	-0.981	0.131	0.068	0.270
0.140	-0.940	0.244	4.900	-0.955	0.136	0.077	0.270
0.150	-0.980	0.247	4.700	-0.938	0.143	0.085	0.270
0.160	-1.050	0.252	4.400	-0.907	0.152	0.101	0.270
0.170	-1.080	0.258	4.300	-0.896	0.140	0.102	0.270
0.180	-1.130	0.268	4.000	-0.901	0.129	0.107	0.270
0.190	-1.190	0.278	3.900	-0.907	0.133	0.130	0.280
0.200	-1.210	0.284	4.200	-0.922	0.135	0.142	0.270
0.220	-1.280	0.295	4.100	-0.911	0.120	0.143	0.280
0.240	-1.370	0.308	3.900	-0.916	0.124	0.155	0.280
0.260	-1.400	0.318	4.300	-0.942	0.134	0.163	0.280
0.280	-1.460	0.326	4.400	-0.946	0.134	0.158	0.290
0.300	-1.550	0.338	4.200	-0.933	0.133	0.148	0.300
0.320	-1.630	0.349	4.200	-0.932	0.125	0.161	0.310
0.340	-1.650	0.351	4.400	-0.939	0.118	0.163	0.310
0.360	-1.690	0.354	4.500	-0.936	0.124	0.160	0.310
0.380	-1.820	0.364	3.900	-0.900	0.132	0.164	0.310
0.400	-1.940	0.377	3.600	-0.888	0.139	0.172	0.310
0.420	-1.990	0.384	3.700	-0.897	0.147	0.180	0.320
0.440	-2.050	0.393	3.900	-0.908	0.153	0.187	0.320
0.460	-2.110	0.401	3.700	-0.911	0.149	0.191	0.320
0.480	-2.170	0.410	3.500	-0.920	0.150	0.197	0.320
0.500	-2.250	0.420	3.300	-0.913	0.147	0.201	0.320
0.550	-2.380	0.434	3.100	-0.911	0.134	0.203	0.320
0.600	-2.490	0.438	2.500	-0.881	0.124	0.212	0.320
0.650	-2.580	0.451	2.800	-0.901	0.122	0.215	0.320
0.700	-2.670	0.463	3.100	-0.914	0.116	0.214	0.330
0.750	-2.750	0.477	3.500	-0.942	0.113	0.212	0.320
0.800	-2.860	0.485	3.700	-0.925	0.127	0.218	0.320
0.850	-2.930	0.492	3.900	-0.920	0.124	0.218	0.320
0.900	-3.030	0.502	4.000	-0.920	0.124	0.225	0.320
0.950	-3.100	0.503	4.000	-0.892	0.121	0.217	0.320
1.000	-3.170	0.508	4.300	-0.885	0.128	0.219	0.320
1.100	-3.300	0.513	4.000	-0.857	0.123	0.206	0.320
1.200	-3.380	0.513	3.600	-0.851	0.128	0.214	0.310
1.300	-3.430	0.514	3.600	-0.848	0.115	0.200	0.310
1.400	-3.520	0.522	3.400	-0.839	0.109	0.197	0.310
1.500	-3.610	0.524	3.000	-0.817	0.109	0.204	0.310
1.600	-3.680	0.520	2.500	-0.781	0.108	0.206	0.310
1.700	-3.740	0.517	2.500	-0.759	0.105	0.206	0.310
1.800	-3.790	0.514	2.400	-0.730	0.104	0.204	0.332
1.900	-3.800	0.508	2.800	-0.724	0.103	0.194	0.332
2.000	-3.790	0.503	3.200	-0.728	0.101	0.182	0.332

Κατακόρυφη Φασματική Επιτάχυνση(g): $\log(PSA_V(T)) = C_1\ (T) + C_2(T)\cdot M_S + C_4(T)\cdot \log(r) + C_A\cdot S_A + C_S\cdot S_S + \varepsilon\cdot\sigma$

4.0≤M≤7.3, 1km≤R≤310km. Επιρροή κατηγορίας εδάφους: Μαλακό έδαφος S_A =0 και S_S=1. Σκληρό έδαφος S_A =1 και S_S=0. Βράχος S_A =0 και S_S=0. $C_1'(T)$, $C_2(T)$, $C_4(T)$ C_A, C_S h_o και σ δίνονται συναρτήσει της περιόδου T στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2 Πρόβλεψη φασματικών τιμών στην κατακόρυφη διεύθυνση

T	C1	C2	C4	ho	CA	CS	σ
0.100	-1.180	0.267	-1.049	5.400	0.057	0.041	0.290
0.110	-1.170	0.260	-1.033	6.000	0.078	0.066	0.280
0.120	-1.210	0.262	-1.018	6.100	0.099	0.084	0.280
0.130	-1.210	0.269	-1.038	6.600	0.103	0.081	0.280
0.140	-1.320	0.276	-1.007	6.000	0.113	0.079	0.270
0.150	-1.420	0.278	-0.959	5.200	0.117	0.092	0.270
0.160	-1.490	0.283	-0.937	4.900	0.112	0.085	0.270
0.170	-1.500	0.283	-0.920	5.300	0.110	0.084	0.280
0.180	-1.560	0.286	-0.901	5.400	0.120	0.075	0.280
0.190	-1.590	0.289	-0.901	5.600	0.125	0.064	0.270
0.200	-1.610	0.291	-0.894	5.900	0.123	0.060	0.270
0.220	-1.720	0.303	-0.868	5.500	0.099	0.062	0.270
0.240	-1.830	0.318	-0.864	5.200	0.089	0.046	0.270
0.260	-1.890	0.321	-0.850	4.700	0.083	0.023	0.270
0.280	-1.900	0.323	-0.859	5.100	0.070	0.001	0.280
0.300	-1.930	0.340	-0.906	6.200	0.064	-0.003	0.280
0.320	-2.060	0.353	-0.887	5.700	0.056	-0.004	0.280
0.340	-2.150	0.361	-0.875	5.600	0.059	0.030	0.280
0.360	-2.280	0.370	-0.839	5.000	0.062	0.046	0.270
0.380	-2.360	0.371	-0.805	4.600	0.063	0.054	0.280
0.400	-2.430	0.375	-0.791	4.200	0.067	0.068	0.280
0.420	2.490	0.380	-0.791	3.800	0.074	0.094	0.280
0.440	-2.540	0.388	-0.804	3.900	0.074	0.101	0.280
0.460	-2.590	0.396	-0.806	4.000	0.076	0.105	0.280
0.480	-2.610	0.401	-0.821	4.600	0.073	0.104	0.280
0.500	-2.640	0.402	-0.818	4.900	0.075	0.100	0.280
0.550	-2.760	0.412	-0.800	4.900	0.074	0.095	0.280
0.600	-2.770	0.413	-0.810	6.400	0.073	0.091	0.280
0.650	-2.880	0.422	-0.786	6.100	0.058	0.089	0.290
0.700	-2.940	0.425	-0.789	5.900	0.060	0.102	0.290
0.750	-3.020	0.435	-0.802	5.700	0.071	0.111	0.300
0.800	-3.090	0.432	-0.765	5.200	0.076	0.111	0.310
0.850	-3.130	0.430	-0.750	5.000	0.078	0.125	0.310
0.900	-3.230	0.439	-0.736	4.700	0.087	0.144	0.320
0.950	-3.320	0.444	-0.714	4.500	0.085	0.141	0.320
1.000	-3.360	0.449	-0.718	4.600	0.072	0.130	0.330
1.100	-3.450	0.448	-0.684	4.500	0.062	0.128	0.320
1.200	-3.480	0.443	-0.672	4.900	0.076	0.127	0.330
1.300	-3.510	0.443	-0.680	4.700	0.073	0.120	0.330
1.400	-3.500	0.443	-0.711	5.600	0.076	0.116	0.330
1.500	-3.550	0.440	-0.697	5.300	0.082	0.123	0.340
1.600	-3.560	0.431	-0.676	5.300	0.082	0.124	0.340
1.700	-3.600	0.426	-0.654	5.100	0.078	0.113	0.350
1.800	-3.650	0.425	-0.630	5.000	0.066	0.090	0.350
1.900	-3.670	0.421	-0.612	5.500	0.057	0.091	0.350
2.000	-3.690	0.418	-0.601	5.600	0.058	0.098	0.360

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΕΠΟΜΕΝΗΣ ΓΕΝΕΑΣ

Boore-Atkinson 2008 (BA08)
Cambell and Bozorgnia 2008 (CB08)
Abrahamson and Silva 2008 (AS08)

Πίνακας: Δεδομένα για προσομοιώματα πρόβλεψης εδαφικής κίνησης επόμενης γενιάς (Kaklamanos et al., Technical Notes, 2011)

Παράμετρος	Ορισμός	Σημείωση	**BA08**	**CB08**	**AS08**
M	Μέγεθος Ροπής		**√**	**√**	**√**
δ	Γωνία βύθισης (σε μοίρες)	δ =90° για κατακόρυφο ρήγμα δ =40° για κανονικό ρήγμα δ =50° για ανάστροφο ρήγμα		**√**	**√**
φ	Γωνία διεύθυνσης (σε μοίρες)				
λ	Γωνία ολίσθησης (σε μοίρες)		**√**	**√**	**√**
R_{RUP}	Απόσταση από τη διάρρηξη(Km)			**√**	**√**
R_{JB}	Απόσταση Joyner-Boore (Km)		**√**	**√**	**√**
R_X	Οριζόντια απόσταση από το υψηλότερο άκρο της διάρρηξης (Km)	Μετρείται κάθετα στη διεύθυνση του ίχνους του ρήγματος			**√**
Z_{TOR}	Βάθος του ανώτερου άκρου της διάρρηξης (Km)			**√**	**√**
F_{RV}	Συντελεστής για ανάστροφο ρήγμα	1 για ανάστροφο και ανάστροφο/πλάγιο για σεισμούς που ορίζονται για 30°<λ <150°, 0 σε κάθε άλλη περίπτωση	**√**	**√**	**√**
F_{NM}	Συντελεστής για κανονικό ρήγμα	1 για κανονικό για σεισμούς που ορίζονται για -60°<λ <-120°, 0 για κάθε άλλη περίπτωση	**√**	**√**	**√**
F_{AS}	Συντελεστής μετασεισμού	1 για μετασεισμούς, 0 για κύριους σεισμούς, προσεισμού και σμηνοσειρές			**√**
F_{HW}	Συντελεστής περιοχών στο άνω τέμαχος (hanging wall)	1 για περιοχές πάνω στο άνω τέμαχος του ρήγματος, 0 σε κάθε άλλη περίπτωση. Το σύνορο μεταξύ Άνω Τέμαχος και Κάτω Τέμαχος ορίζεται από την κατακόρυφη προβολή της άκρης της διάρρηξης. Για δ=90°, F_{HW}=0.			**√**
V_{S30}	Ταχύτητα διατμητικών κυμμάτων μέχρι βάθος 30m (m/sec)		**√**	**√**	**√**
$Z_{1.0}$	Βάθος για V_S=1.0Km/sec στη θέση (m)				**√**
$Z_{2.5}$	Βάθος για V_S=2.50Km/sec στη θέση (Km)			**√**	**√**
$P\hat{G}A_{1100}$	Γεωμετρικός μέσος της μέγιστης επιτάχυνσης (g) για V_{S30}=1100m/sec	Υπολογίζεται για κάθε ιδιοπερίοδο T	**√**	**√**	**√**
W	Πλάτος διάρρηξης (Km)				**√**

Πίνακας: Χαρακτηρισμός ρήγματος κατά προσομοιώματα πρόβλεψης εδαφικής κίνησης επόμενης γενιάς (Kaklamanos et al., Technical Notes, 2011)

Προσομοίωμα	Ανάστροφο ρήγμα	Κανονικό ρήγμα	Οριζόντιο ρήγμα
BA08	30 ≤ λ ≤ 150	-150 ≤ λ ≤ -30	-180 < λ < -150, -30 < λ < 30 και 150 < λ < 180
CB08	30 ≤ λ ≤ 150	-150 ≤ λ ≤ -30	-180 ≤ λ ≤ -150, -30 ≤ λ ≤ 30 και 150 ≤ λ ≤ 180
AS08	30 ≤ λ ≤ 150	-120 ≤ λ ≤ -60	-180 < λ < -120, -60 < λ < 30 και 150 < λ < 180

Boore-Atkinson 2008- (BA08):

$$\ln Y = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{S30}, R_{JB}, M) + \varepsilon \cdot \sigma_T$$, Y σε g και R_{JB} σε Km

$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$ για ακαθόριστο ρήγμα (U), $\sigma_T = \sigma_{TU}$, (Πίνακας 8)

για καθορισμένο ρήγμα (M), $\sigma_T = \sigma_{TM}$, (Πίνακας 8)

Επιρροή μεγέθους: $F_M(M)$ (Πίνακες 3 και 4)

α. $M \le M_h$ $F_M(M) = e_1 \cdot U + e_2 \cdot SS + e_3 \cdot NS + e_4 \cdot RS + e_5 \cdot (M - M_h) + e_6 \cdot (M - M_h)^2$

β. $M > M_h$ $F_M(M) = e_1 \cdot U + e_2 \cdot SS + e_3 \cdot NS + e_4 \cdot RS + +e_7 \cdot (M - M_h)$

Επιρροή της απόστασης: $F_D(R_{JB}, M)$ (Πίνακας 5)

$$F_D(R_{JB}, M) = \left[c_1 + c_2 \cdot (M - M_{ref})\right] \cdot \ln(R/R_{ref}) + c_3 \cdot (R - R_{ref})$$

$$R = \sqrt{R_{JB}^2 + h^2}$$

Επιρροή εδάφους F_S (Πίνακες 6 και 7)

$$F_S(V_{S30}, R_{JB}, M) = F_{LIN} + F_{NL}$$

Ελαστική επιρροή εδάφους: F_{LIN}

$$F_{LIN} = b_{lin} \cdot \ln(V_{S30}/V_{ref})$$

Ανελαστική επιρροή εδάφους: F_{NL}

α. $pga4nl \le \alpha_1$ $F_{NL} = b_{nl} \cdot \ln(pga_low)$

β. $\alpha_1 < pga4nl \le \alpha_2$ $F_{NL} = b_{nl} \cdot \ln((pga_low/0.1)) + c \cdot [\ln(pga4nl/\alpha_1)]^2 + d \cdot [\ln(pga4nl/\alpha_1)]^3$

γ. $\alpha_2 < pga4nl$ $F_{NL} = b_{nl} \cdot \ln((pga_low/0.1))$

pga4nl υπολογίζεται για F_S=0 και ε=0

$$c = (3 \cdot \Delta y - b_{nl} \cdot \Delta x)/\Delta x^2$$

$$d = -(2 \cdot \Delta y - b_{nl} \cdot \Delta x)/\Delta x^3$$

$$\Delta x = \ln\left(\frac{\alpha_2}{\alpha_1}\right), \ \Delta y = \ln\left(\frac{\alpha_2}{pga_low}\right)$$

α. $V_{S30} \le V_1$ $b_{nl} = b_1$

β. $V_1 < V_{S30} \le V_2$ $b_{nl} = (b_1 - b_2) \cdot \ln(V_{S30}/V_2)/\ln(V_1/V_2) + b_2$

γ. $V_2 < V_{S30} < V_{ref}$ $b_{nl} = b_2 \cdot \ln(V_{S30}/V_{ref})/\ln(V_2/V_{ref})$

δ. $V_{ref} \le V_{S30}$ $b_{nl} = 0$

Πίνακας 3. Συντελεστές U, SS, NS, RS

Τύπος Ρήγματος	U	SS	NS	RS
Ακαθόριστο	1	0	0	0
Οριζόντιο	0	1	0	0
Κανονικό	0	0	1	0
Ανάστροφο	0	0	0	1

Πίνακας 4.

Period	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6	e_7	M_h
PGV	5.00121	5.04727	4.63188	5.08210	0.18322	−0.12736	0.00000	8.50
PGA	−0.53804	−0.50350	−0.75472	−0.50970	0.28805	−0.10164	0.00000	6.75
0.010	−0.52883	−0.49429	−0.74551	−0.49966	0.28897	−0.10019	0.00000	6.75
0.020	−0.52192	−0.48508	−0.73906	−0.48895	0.25144	−0.11006	0.00000	6.75
0.030	−0.45285	−0.41831	−0.66722	−0.42229	0.17976	−0.12858	0.00000	6.75
0.050	−0.28476	−0.25022	−0.48462	−0.26092	0.06369	−0.15752	0.00000	6.75
0.075	0.00767	0.04912	−0.20578	0.02706	0.01170	−0.17051	0.00000	6.75
0.100	0.20109	0.23102	0.03058	0.22193	0.04697	−0.15948	0.00000	6.75
0.150	0.46128	0.48661	0.30185	0.49328	0.17990	−0.14539	0.00000	6.75
0.200	0.57180	0.59253	0.40860	0.61472	0.52729	−0.12964	0.00102	6.75
0.250	0.51884	0.53496	0.33880	0.57747	0.60880	−0.13843	0.08607	6.75
0.300	0.43825	0.44516	0.25356	0.51990	0.64472	−0.15694	0.10601	6.75
0.400	0.39220	0.40602	0.21398	0.46080	0.78610	−0.07843	0.02262	6.75
0.500	0.18957	0.19878	0.00967	0.26337	0.76837	−0.09054	0.00000	6.75
0.750	−0.21338	−0.19496	−0.49176	−0.10813	0.75179	−0.14053	0.10302	6.75
1.000	−0.46896	−0.43443	−0.78465	−0.39330	0.67880	−0.18257	0.05393	6.75
1.500	−0.86271	−0.79593	−1.20902	−0.88085	0.70689	−0.25950	0.19082	6.75
2.000	−1.22652	−1.15514	−1.57697	−1.27669	0.77989	−0.29657	0.29888	6.75
3.000	−1.82979	−1.74690	−2.22584	−1.91814	0.77966	−0.45384	0.67466	6.75
4.000	−2.24656	−2.15906	−2.58228	−2.38168	1.24961	−0.35874	0.79508	6.75
5.000	−1.28408	−1.21270	−1.50904	−1.41093	0.14271	−0.39006	0.00000	8.50
7.500	−1.43145	−1.31632	−1.81022	−1.59217	0.52407	−0.37578	0.00000	8.50
10.000	−2.15446	−2.16137	−2.53323	−2.14635	0.40387	−0.48492	0.00000	8.50

Πίνακας 5. Συντελεστής αναγωγής απόστασης

M_{ref}=4.5, R_{ref}=1Km για όλες της περιόδους και R_{ref}=5Km για pga4nl

Period	c_1	c_2	c_3	h
PGV	−0.87370	0.10060	−0.00334	2.54
PGA	−0.66050	0.11970	−0.01151	1.35
0.010	−0.66220	0.12000	−0.01151	1.35
0.020	−0.66600	0.12280	−0.01151	1.35
0.030	−0.69010	0.12830	−0.01151	1.35
0.050	−0.71700	0.13170	−0.01151	1.35
0.075	−0.72050	0.12370	−0.01151	1.55
0.100	−0.70810	0.11170	−0.01151	1.68
0.150	−0.69610	0.09884	−0.01113	1.86
0.200	−0.58300	0.04273	−0.00952	1.98
0.250	−0.57260	0.02977	−0.00837	2.07
0.300	−0.55430	0.01955	−0.00750	2.14
0.400	−0.64430	0.04394	−0.00626	2.24
0.500	−0.69140	0.06080	−0.00540	2.32
0.750	−0.74080	0.07518	−0.00409	2.46
1.000	−0.81830	0.10270	−0.00334	2.54
1.500	−0.83030	0.09793	−0.00255	2.66
2.000	−0.82850	0.09432	−0.00217	2.73
3.000	−0.78440	0.07282	−0.00191	2.83
4.000	−0.68540	0.03758	−0.00191	2.89
5.000	−0.50960	−0.02391	−0.00191	2.93
7.500	−0.37240	−0.06568	−0.00191	3.00
10.000	−0.09824	−0.13800	−0.00191	3.04

Πίνακας 6. Παράμετροι για την τοπική ενίσχυση ανεξάρτητες της περιόδου

Coefficient	Value
a_1	0.03 g
pga_low	0.06 g
a_2	0.09 g
V_1	180 m/s
V_2	300 m/s
V_{ref}	760 m/s

Πίνακας 7. Παράμετροι για την τοπική ενίσχυση εξαρτημένες από την περίοδο

Period	b_{lin}	b_1	b_2
PGV	−0.600	−0.500	−0.06
PGA	−0.360	−0.640	−0.14
0.010	−0.360	−0.640	−0.14
0.020	−0.340	−0.630	−0.12
0.030	−0.330	−0.620	−0.11
0.050	−0.290	−0.640	−0.11
0.075	−0.230	−0.640	−0.11
0.100	−0.250	−0.600	−0.13
0.150	−0.280	−0.530	−0.18
0.200	−0.310	−0.520	−0.19
0.250	−0.390	−0.520	−0.16
0.300	−0.440	−0.520	−0.14
0.400	−0.500	−0.510	−0.10
0.500	−0.600	−0.500	−0.06
0.750	−0.690	−0.470	0.00
1.000	−0.700	−0.440	0.00
1.500	−0.720	−0.400	0.00
2.000	−0.730	−0.380	0.00
3.000	−0.740	−0.340	0.00
4.000	−0.750	−0.310	0.00
5.000	−0.750	−0.291	0.00
7.500	−0.692	−0.247	0.00
10.000	−0.650	−0.215	0.00

Πίνακας 8. (U=ακαθόριστο, M= καθορισμένο)

Period	σ	τ_U	σ_{TU}	τ_M	σ_{TM}
PGV	0.500	0.286	0.576	0.256	0.560
PGA	0.502	0.265	0.566	0.260	0.564
0.010	0.502	0.267	0.569	0.262	0.566
0.020	0.502	0.267	0.569	0.262	0.566
0.030	0.507	0.276	0.578	0.274	0.576
0.050	0.516	0.286	0.589	0.286	0.589
0.075	0.513	0.322	0.606	0.320	0.606
0.100	0.520	0.313	0.608	0.318	0.608
0.150	0.518	0.288	0.592	0.290	0.594
0.200	0.523	0.283	0.596	0.288	0.596
0.250	0.527	0.267	0.592	0.267	0.592
0.300	0.546	0.272	0.608	0.269	0.608
0.400	0.541	0.267	0.603	0.267	0.603
0.500	0.555	0.265	0.615	0.265	0.615
0.750	0.571	0.311	0.649	0.299	0.645
1.000	0.573	0.318	0.654	0.302	0.647
1.500	0.566	0.382	0.684	0.373	0.679
2.000	0.580	0.398	0.702	0.389	0.700
3.000	0.566	0.410	0.700	0.401	0.695
4.000	0.583	0.394	0.702	0.385	0.698
5.000	0.601	0.414	0.730	0.437	0.744
7.500	0.626	0.465	0.781	0.477	0.787
10.000	0.645	0.355	0.735	0.477	0.801

Cambell and Bozorgnia 2008 (CB08):

$$\ln Y = f_{mag} + f_{dis} + f_{flt} + f_{hng} + f_{site} + f_{sed}, \text{ (PGA (g), PGV (cm/s), PGD(cm), PSA(g))}$$

f_{mag}: Επιρροή του σεισμικού μεγέθους

$$f_{mag} = \begin{cases} c_0 + c_1 \cdot M & M \le 5.5 \\ c_0 + c_1 \cdot M + c_2 \cdot (M - 5.5) & 5.5 < M \le 6.5 \\ c_0 + c_1 \cdot M + c_2 \cdot (M - 5.5) + c3 \cdot (M - 6.5) & M > 6.5 \end{cases}$$

f_{dis}: Επιρροή της απόστασης

$$f_{dis} = (c_4 + c_5 \cdot M) \cdot \ln(\sqrt{R_{RUP}^2 + c_6^2})$$

f_{flt}: Επιρροή του τύπου του ρήγματος

$$f_{flt} = c_7 \cdot F_{RV} \cdot f_{flt,Z} + c_8 \cdot F_{NM}$$

$$f_{flt,Z} = \begin{cases} Z_{TOR} & Z_{TOR} < 1 \\ 1 & Z_{TOR} \ge 1 \end{cases}$$

f_{hng}: Επιρροή του άνω τέμαχους (hanging wall effect)

$$f_{hng} = c_9 \cdot f_{hng,R} \cdot f_{hng,M} \cdot f_{hng,Z} \cdot f_{hng,\delta}$$

$$f_{hng,R} = \begin{cases} 1 & R_{JB} = 0 \\ \left[\max\left(R_{RUP}, \sqrt{R_{JB}^2 + 1}\right) - R_{JB}\right] \Big/ \max\left(R_{RUP}, \sqrt{R_{JB}^2 + 1}\right) & R_{JB} > 0,\ Z_{TOR} < 1 \\ (R_{RUP} - R_{JB}) \big/ R_{RUP} & R_{JB} > 0,\ Z_{TOR} \ge 1 \end{cases}$$

$$f_{hng,M} = \begin{cases} 0 & M \le 6.0 \\ 2 \cdot (M - 6) & 6.0 < M < 6.5 \\ 1 & M \ge 6.5 \end{cases}$$

$$f_{hng,Z} = \begin{cases} 0 & Z_{TOR} \ge 20 \\ (20 - Z_{TOR}) \big/ 20 & 0 \le Z_{TOR} \le 20 \end{cases}$$

$$f_{hng,\delta} = \begin{cases} 1 & \delta \le 70 \\ (90 - \delta) \big/ 20 & \delta > 70 \end{cases}$$

f_{site}: Επιρροή των επιφανειακών γεωτεχνικών χαρακτηριστικών της θέσης παρατήρησης

$$f_{site} = \begin{cases} c_{10} \cdot \ln\left(\frac{V_{S30}}{k_1}\right) + k_2 \cdot \left\{\ln\left[A_{1100} + c \cdot \left(\frac{V_{S30}}{k_1}\right)^n\right] - \ln\left[A_{1100} + c\right]\right\} & V_{S30} < k_1 \\ (c_{10} + k_2 \cdot n) \cdot \ln\left(\frac{V_{S30}}{k_1}\right) & k_1 < V_{S30} < 1100 \\ (c_{10} + k_2 \cdot n) \cdot \ln\left(\frac{1100}{k_1}\right) & V_{S30} \ge 1100 \end{cases}$$

f_{sed}: Επιρροή των επιφανειακών ιζημάτων και της επίδραση της τρισδιάστατης λεκάνης (3D basin effect)

$$f_{sed} = \begin{cases} c_{11} \cdot (Z_{2.5} - 1) & Z_{2.5} < 1 \\ 0 & 1 \le Z_{2.5} \le 3 \\ c_{12} \cdot k_3 \cdot e^{-0.75} \cdot \left[1 - e^{-0.25 \cdot (Z_{2.5} - 3)}\right] & Z_{2.5} > 3 \end{cases}$$

CAMPBELL-BOZORGNIA NGA MODEL COEFFICIENTS

T (s)	c_0	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	c_7	c_8	c_9	c_{10}	c_{11}	c_{12}	k_1	k_2	k_3	c	n	$\sigma_{\ln Y}$	$\tau_{\ln Y}$	$\sigma_{\ln AF}$	σ_C	ρ
0,010	-1,715	0,500	-0,530	-0,262	-2,118	0,170	5,60	0,280	-0,120	0,490	1,058	0,040	0,610	865	-1,186	1,839	1,88	1,18	0,478	0,219	0,300	0,166	1,000
0,020	-1,680	0,500	-0,530	-0,262	-2,123	0,170	5,60	0,280	-0,120	0,490	1,102	0,040	0,610	865	-1,219	1,840	1,88	1,18	0,480	0,219	0,300	0,166	0,999
0,030	-1,552	0,500	-0,530	-0,262	-2,145	0,170	5,60	0,280	-0,120	0,490	1,174	0,040	0,610	908	-1,273	1,841	1,88	1,18	0,489	0,235	0,300	0,165	0,989
0,050	-1,209	0,500	-0,530	-0,267	-2,199	0,170	5,74	0,280	-0,120	0,490	1,272	0,040	0,610	1054	-1,346	1,843	1,88	1,18	0,510	0,258	0,300	0,162	0,963
0,075	-0,657	0,500	-0,530	-0,302	-2,277	0,170	7,09	0,280	-0,120	0,490	1,438	0,040	0,610	1086	-1,471	1,845	1,88	1,18	0,520	0,292	0,300	0,158	0,922
0,10	-0,314	0,500	-0,530	-0,324	-2,318	0,170	8,05	0,280	-0,099	0,490	1,604	0,040	0,610	1032	-1,624	1,847	1,88	1,18	0,531	0,286	0,300	0,170	0,898
0,15	-0,133	0,500	-0,530	-0,339	-2,309	0,170	8,79	0,280	-0,048	0,490	1,928	0,040	0,610	878	-1,931	1,852	1,88	1,18	0,532	0,280	0,300	0,180	0,890
0,20	-0,486	0,500	-0,446	-0,398	-2,220	0,170	7,60	0,280	-0,012	0,490	2,194	0,040	0,610	748	-2,188	1,856	1,88	1,18	0,534	0,249	0,300	0,186	0,871
0,25	-0,890	0,500	-0,362	-0,458	-2,146	0,170	6,58	0,280	0,000	0,490	2,351	0,040	0,700	654	-2,381	1,861	1,88	1,18	0,534	0,240	0,300	0,191	0,852
0,30	-1,171	0,500	-0,294	-0,511	-2,095	0,170	6,04	0,280	0,000	0,490	2,460	0,040	0,750	587	-2,518	1,865	1,88	1,18	0,544	0,215	0,300	0,198	0,831
0,40	-1,466	0,500	-0,186	-0,592	-2,066	0,170	5,30	0,280	0,000	0,490	2,587	0,040	0,850	503	-2,657	1,874	1,88	1,18	0,541	0,217	0,300	0,206	0,785
0,50	-2,569	0,656	-0,304	-0,536	-2,041	0,170	4,73	0,280	0,000	0,490	2,544	0,040	0,883	457	-2,669	1,883	1,88	1,18	0,550	0,214	0,300	0,208	0,735
0,75	-4,844	0,972	-0,578	-0,406	-2,000	0,170	4,00	0,280	0,000	0,490	2,133	0,077	1,000	410	-2,401	1,906	1,88	1,18	0,568	0,227	0,300	0,221	0,628
1,0	-6,406	1,196	-0,772	-0,314	-2,000	0,170	4,00	0,255	0,000	0,490	1,571	0,150	1,000	400	-1,955	1,929	1,88	1,18	0,568	0,255	0,300	0,225	0,534
1,5	-8,692	1,513	-1,046	-0,185	-2,000	0,170	4,00	0,161	0,000	0,490	0,406	0,253	1,000	400	-1,025	1,974	1,88	1,18	0,564	0,296	0,300	0,222	0,411
2,0	-9,701	1,600	-0,978	-0,236	-2,000	0,170	4,00	0,094	0,000	0,371	-0,456	0,300	1,000	400	-0,299	2,019	1,88	1,18	0,571	0,296	0,300	0,226	0,331
3,0	-10,556	1,600	-0,638	-0,491	-2,000	0,170	4,00	0,000	0,000	0,154	-0,820	0,300	1,000	400	0,000	2,110	1,88	1,18	0,558	0,326	0,300	0,229	0,289
4,0	-11,212	1,600	-0,316	-0,770	-2,000	0,170	4,00	0,000	0,000	0,000	-0,820	0,300	1,000	400	0,000	2,200	1,88	1,18	0,576	0,297	0,300	0,237	0,261
5,0	-11,684	1,600	-0,070	-0,986	-2,000	0,170	4,00	0,000	0,000	0,000	-0,820	0,300	1,000	400	0,000	2,291	1,88	1,18	0,601	0,359	0,300	0,237	0,200
7,5	-12,505	1,600	-0,070	-0,656	-2,000	0,170	4,00	0,000	0,000	0,000	-0,820	0,300	1,000	400	0,000	2,517	1,88	1,18	0,628	0,428	0,300	0,271	0,174
10,0	-13,087	1,600	-0,070	-0,422	-2,000	0,170	4,00	0,000	0,000	0,000	-0,820	0,300	1,000	400	0,000	2,744	1,88	1,18	0,667	0,485	0,300	0,290	0,174
PGA	-1,715	0,500	-0,530	-0,262	-2,118	0,170	5,60	0,280	-0,120	0,490	1,058	0,040	0,610	865	-1,186	1,839	1,88	1,18	0,478	0,219	0,300	0,166	1,000
PGV	0,954	0,696	-0,309	-0,019	-2,016	0,170	4,00	0,245	0,000	0,358	1,694	0,092	1,000	400	-1,955	1,929	1,88	1,18	0,484	0,203	0,300	0,190	0,691
PGD	-5,270	1,600	-0,070	0,000	-2,000	0,170	4,00	0,000	0,000	0,000	-0,820	0,300	1,000	400	0,000	2,744	1,88	1,18	0,667	0,485	0,300	0,290	0,174

Abrahamson and Silva 2008 (AS08):

$$\ln Sa(g) = f_1(M,R_{RUP}) + \alpha_{12}\cdot F_{RV} + \alpha_{13}\cdot F_{NM} + \alpha_{15}\cdot F_{AS} + f_5(P\hat{G}A_{1100},V_{S30}) + F_{HW}\cdot f_4(R_{JB},R_{RUP},R_X,W,\delta,Z_{TOR},M) + f_6(Z_{TOR}) + f_8(R_{RUP},M) + f_{10}(Z_{1.0},V_{S30})$$

$$f_1(M,R_{rup}) = \begin{cases} \alpha_1 + \alpha_4\cdot(M-c_1) + \alpha_8\cdot(8.5-M)^2 + [\alpha_2 + \alpha_3\cdot(M-c_1)]\cdot\ln(R) & \text{για } M \le c_1 \\ \alpha_1 + \alpha_5\cdot(M-c_1) + \alpha_8\cdot(8.5-M)^2 + [\alpha_2 + \alpha_3\cdot(M-c_1)]\cdot\ln(R) & \text{για } M > c_1 \end{cases}$$

$$R = \sqrt{R_{RUP}^2 + c_4^2}$$

$$f_5(P\hat{G}A_{1100},V_{S30}^*) = \begin{cases} \alpha_{10}\cdot\ln\left(\frac{V_{S30}^*}{V_{LIN}}\right) - b\cdot\ln\left(P\hat{G}A_{1100}+c\right) + b\cdot\ln\left(P\hat{G}A_{1100} + c\cdot\left(\frac{V_{S30}^*}{V_{LIN}}\right)^n\right) & \text{για } V_{S30} < V_{LIN} \\ (\alpha_{10} + b\cdot n)\cdot\ln\left(\frac{V_{S30}^*}{V_{LIN}}\right) & \text{για } V_{S30} \ge V_{LIN} \end{cases}$$

$$V_{S30}^* = \begin{cases} V_{S30} & \text{για } V_{S30} < V_1 \\ V_1 & \text{για } V_{S30} \ge V_1 \end{cases}$$

$$V_1 = \begin{cases} 1500\text{m/s} & \text{για } T \le 0.50\text{sec και για PGA} \\ \exp[8.0 - 0.795\cdot\ln(T/0.21)] & \text{για } 0.50\text{sec} < T \le 1\text{sec} \\ \exp[6.76 - 0.297\cdot\ln(T)] & \text{για } 1\text{sec} < T < 2\text{sec} \\ 700\text{m/s} & \text{για } T \ge 2\text{sec} \\ 862\text{m/s} & \text{για for PGV} \end{cases}$$

, όπου T η εξεταζόμενη περίοδος

$$f_4(R_{JB},R_{RUP},R_X,W,\delta,Z_{TOR},M,W) = \alpha_{14}\cdot T_1(R_{JB})\cdot T_2(R_X,W,\delta)\cdot T_3(R_X,Z_{TOR})\cdot T_4(M)\cdot T_5(\delta)$$

$$T_1(R_{JB}) = \begin{cases} 1 - \frac{R_{JB}}{30} & \text{για } R_{JB} < 30\text{Km} \\ 0 & \text{για } R_{JB} \ge 30\text{Km} \end{cases}$$

$$T_2(R_X,W,\delta) = \begin{cases} 0.5 + \frac{R_X}{2\cdot W\cdot\cos(\delta)} & \text{για } R_X < W\cdot\cos(\delta) \\ 1 & \text{για } R_X > W\cdot\cos(\delta) \text{ ή } \delta = 90 \end{cases}$$

$$T_3(R_X,Z_{TOR}) = \begin{cases} 1 & \text{για } R_X \ge Z_{TOR} \\ \frac{R_X}{Z_{TOR}} & \text{για } R_X < Z_{TOR} \end{cases}$$

$$T_4(M) = \begin{cases} 0 & \text{για } M \le 6 \\ M-6 & \text{για } 6 < M < 7 \\ 1 & \text{για } M \ge 7 \end{cases}$$

$$T_5(\delta) = \begin{cases} 1 - \frac{\delta - 70}{20} & \text{για } \delta \ge 70 \\ 1 & \text{για } \delta < 70 \end{cases}$$

$$f_6(Z_{TOR}) = \begin{cases} \frac{\alpha_{16}\cdot Z_{TOR}}{10} & \text{για } Z_{TOR} < 10\text{Km} \\ \alpha_{16} & \text{για } Z_{TOR} \ge 10\text{Km} \end{cases}$$

$$f_8(R_{RUP},M) = \begin{cases} 0 & \text{για } R_{RUP} < 100\text{Km} \\ \alpha_{18}\cdot(R_{RUP} - 100)\cdot T_6(M) & \text{για } R_{RUP} \ge 100\text{Km} \end{cases}$$

$$T_6(M) = \begin{cases} 1 & \text{για } M < 5.5 \\ 0.5\cdot(6.5 - M) + 0.5 & \text{για } 5.5 \le M \le 6.5 \\ 0.5 & \text{για } M > 6.5 \end{cases}$$

$$f_{10}(Z_{1.0},V_{S30}) = \alpha_{21}\cdot\ln\left(\frac{Z_{1.0}+c_2}{\hat{Z}_{1.0}(V_{S30})+c_2}\right) + \begin{cases} \alpha_{22}\cdot\ln\left(\frac{Z_{1.0}}{200}\right) & \text{για } Z_{1.0} \ge 200 \\ 0 & \text{για } Z_{1.0} < 200 \end{cases}$$

$$\ln\left(\hat{Z}_{1.0}\left(V_{S30}\right)\right)=\begin{cases} 6.745 & \text{για } V_{S30} < 180\text{m/s} \\ 6.745 - 1.35\cdot\ln\left(\dfrac{V_{S30}}{180}\right) & \text{για } 180 \le V_{S30} \le 500\text{m/s} \\ 5.394 - 4.48\cdot\ln\left(\dfrac{V_{S30}}{500}\right) & \text{για } V_{S30} > 500\text{m/s} \end{cases}$$

$$\alpha_{21}=\begin{cases} 0 & \text{για } V_{S30} \ge 1000 \\ \dfrac{-\left(\alpha_{10}+b\cdot n\right)\cdot\ln\left(\dfrac{V^{*}_{S30}}{\min\left(V_1,1000\right)}\right)}{\ln\left(\dfrac{Z_{1.0}+c_2}{\hat{Z}_{1.0}+c_2}\right)} & \text{για } \left(\alpha_{10}+b\cdot n\right)\cdot\ln\left(\dfrac{V^{*}_{S30}}{\min\left(V_1,1000\right)}\right)+e_2\cdot\ln\left(\dfrac{Z_{1.0}+c_2}{\hat{Z}_{1.0}+c_2}\right)<0 \\ e_2 & \text{για κάθε άλλη περίπτωση} \end{cases}$$

$$e_2=\begin{cases} 0 & \text{για } T < 0.35\text{sec ή } V_{S30} > 1000 \\ -0.25\cdot\ln\left(\dfrac{V_{S30}}{1000}\right)\cdot\ln\left(\dfrac{T}{0.35}\right) & \text{για } 0.35 \le T \le 2\text{sec} \\ -0.25\cdot\ln\left(\dfrac{V_{S30}}{1000}\right)\cdot\ln\left(\dfrac{2}{0.35}\right) & \text{για } T > 2\text{sec} \end{cases}$$

$$\alpha_{22}=\begin{cases} 0 & \text{για } T < 2\text{sec} \\ 0.0625\cdot\left(T-2\right) & \text{για } T \ge 2\text{sec} \end{cases}$$

Για τον υπολογισμό της PGV, οι τιμές των α_{21} και α_{22} υπολογίζονται για T=1 sec.

ABRAHAMSON-SILVA NGA MODEL COEFFICIENTS (FEB 2008, EARTHQUAKE SPECTRA, V. 24, P. 67-97)

T (s)	c_1	c_4	a_3	a_4	a_5	n	c	c_2	V_{LIN}	b	a_1	a_2	a_8	T (s)	a_{10}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}	a_{18}
0,010	6,75	4,5	0,265	-0,231	-0,398	1,18	1,88	50,0	865,1	-1,186	0,8110	-0,9679	-0,0372	0,010	0,9445	0,0000	-0,0600	1,0800	-0,3500	0,9000	-0,0067
0,020	6,75	4,5	0,265	-0,231	-0,398	1,18	1,88	50,0	865,1	-1,219	0,8550	-0,9774	-0,0372	0,020	0,9834	0,0000	-0,0600	1,0800	-0,3500	0,9000	-0,0067
0,030	6,75	4,5	0,265	-0,231	-0,398	1,18	1,88	50,0	907,8	-1,273	0,9620	-1,0024	-0,0372	0,030	1,0471	0,0000	-0,0600	1,1331	-0,3500	0,9000	-0,0067
0,040	6,75	4,5	0,265	-0,231	-0,398	1,18	1,88	50,0	994,5	-1,308	1,0370	-1,0289	-0,0315	0,040	1,0884	0,0000	-0,0600	1,1708	-0,3500	0,9000	-0,0067
0,050	6,75	4,5	0,265	-0,231	-0,398	1,18	1,88	50,0	1053,5	-1,346	1,1330	-1,0508	-0,0271	0,050	1,1333	0,0000	-0,0600	1,2000	-0,3500	0,9000	-0,0076
0,075	6,75	4,5	0,265	-0,231	-0,398	1,18	1,88	50,0	1085,7	-1,471	1,3750	-1,0810	-0,0191	0,075	1,2808	0,0000	-0,0600	1,2000	-0,3500	0,9000	-0,0093
0,10	6,75	4,5	0,265	-0,231	-0,398	1,18	1,88	50,0	1032,5	-1,624	1,5630	-1,0833	-0,0166	0,10	1,4613	0,0000	-0,0600	1,2000	-0,3500	0,9000	-0,0093
0,15	6,75	4,5	0,265	-0,231	-0,398	1,18	1,88	50,0	877,6	-1,931	1,7160	-1,0357	-0,0254	0,15	1,8071	0,0181	-0,0600	1,1683	-0,3500	0,9000	-0,0093
0,20	6,75	4,5	0,265	-0,231	-0,398	1,18	1,88	50,0	748,2	-2,188	1,6870	-0,9700	-0,0396	0,20	2,0773	0,0309	-0,0600	1,1274	-0,3500	0,9000	-0,0083
0,25	6,75	4,5	0,265	-0,231	-0,398	1,18	1,88	50,0	654,3	-2,381	1,6460	-0,9202	-0,0539	0,25	2,2794	0,0409	-0,0600	1,0956	-0,3500	0,9000	-0,0069
0,30	6,75	4,5	0,265	-0,231	-0,398	1,18	1,88	50,0	587,1	-2,518	1,6010	-0,8974	-0,0656	0,30	2,4201	0,0491	-0,0600	1,0697	-0,3500	0,9000	-0,0057
0,40	6,75	4,5	0,265	-0,231	-0,398	1,18	1,88	50,0	503,0	-2,657	1,5110	-0,8677	-0,0807	0,40	2,5510	0,0619	-0,0600	1,0288	-0,3500	0,8423	-0,0039
0,50	6,75	4,5	0,265	-0,231	-0,398	1,18	1,88	50,0	456,6	-2,669	1,3970	-0,8475	-0,0924	0,50	2,5395	0,0719	-0,0600	0,9971	-0,3191	0,7458	-0,0025
0,75	6,75	4,5	0,265	-0,231	-0,398	1,18	1,88	50,0	410,5	-2,401	1,1370	-0,8206	-0,1137	0,75	2,1493	0,0800	-0,0600	0,9395	-0,2629	0,5704	0,0000
1,0	6,75	4,5	0,265	-0,231	-0,398	1,18	1,88	50,0	400,0	-1,955	0,9150	-0,8088	-0,1289	1,0	1,5705	0,0800	-0,0600	0,8985	-0,2230	0,4460	0,0000
1,5	6,75	4,5	0,265	-0,231	-0,398	1,18	1,88	50,0	400,0	-1,025	0,5100	-0,7995	-0,1534	1,5	0,3991	0,0800	-0,0600	0,8409	-0,1668	0,2707	0,0000
2,0	6,75	4,5	0,265	-0,231	-0,398	1,18	1,88	50,0	400,0	-0,299	0,1920	-0,7960	-0,1708	2,0	-0,6072	0,0800	-0,0600	0,8000	-0,1270	0,1463	0,0000
3,0	6,75	4,5	0,265	-0,231	-0,398	1,18	1,88	50,0	400,0	0,000	-0,2800	-0,7960	-0,1954	3,0	-0,9600	0,0800	-0,0600	0,4793	-0,0708	-0,0291	0,0000
4,0	6,75	4,5	0,265	-0,231	-0,398	1,18	1,88	50,0	400,0	0,000	-0,6390	-0,7960	-0,2128	4,0	-0,9600	0,0800	-0,0600	0,2518	-0,0309	-0,1535	0,0000
5,0	6,75	4,5	0,265	-0,231	-0,398	1,18	1,88	50,0	400,0	0,000	-0,9360	-0,7960	-0,2263	5,0	-0,9208	0,0800	-0,0600	0,0754	0,0000	-0,2500	0,0000
7,5	6,75	4,5	0,265	-0,231	-0,398	1,18	1,88	50,0	400,0	0,000	-1,5270	-0,7960	-0,2509	7,5	-0,7700	0,0800	-0,0600	0,0000	0,0000	-0,2500	0,0000
10,0	6,75	4,5	0,265	-0,231	-0,398	1,18	1,88	50,0	400,0	0,000	-1,9930	-0,7960	-0,2683	10,0	-0,6630	0,0800	-0,0600	0,0000	0,0000	-0,2500	0,0000
PGA	6,75	4,5	0,265	-0,231	-0,398	1,18	1,88	50,0	865,1	-1,186	0,8040	-0,9679	-0,0372	PGA	0,9445	0,0000	-0,0600	1,0800	-0,3500	0,9000	-0,0067
PGV	6,75	4,5	0,265	-0,231	-0,398	1,18	1,88	50,0	400,0	-1,955	5,7578	-0,9046	-0,1200	PGV	1,5390	0,0800	-0,0600	0,7000	-0,3900	0,6300	0,0000

ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Κλασικός νόμος Gutenberg – Richter:

$$\lambda_m = 10^{a-b\cdot m} = e^{(\alpha-\beta\cdot m)}, \text{ όπου } \alpha = 2.303\cdot a \text{ και } \beta = 2.303\cdot b$$

Νόμος Gutenberg – Richter φραγμένος κάτω (McGuire and Arabasz, 1990):

$$\lambda_m = \nu\cdot e^{-\beta\cdot(m-m_o)},\ m_o < m \text{ και } \nu = e^{(\alpha-\beta\cdot m_o)}$$

Νόμος Gutenberg – Richter φραγμένος άνω και κάτω (McGuire and Arabasz, 1990):

$$\lambda_m = \nu\cdot\frac{e^{-\beta\cdot(m-m_o)} - e^{-\beta\cdot(m_{max}-m_o)}}{1-e^{-\beta\cdot(m_{max}-m_o)}} \quad m_o \le m \le m_{max} \text{ και } \nu = e^{(\alpha-\beta\cdot m_o)}$$

Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας φραγμένη άνω και κάτω:

$$f_M(m) = \frac{\beta\cdot e^{[-\beta(m-m_0)]}}{1-e^{[-\beta(m_{max}-m_0)]}} \text{ αν } m_o<m<m_{max},$$

Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας φραγμένη κάτω

$$f_M(m) = \beta\cdot e^{[-\beta(m-m_0)]} \text{ αν } m>m_o,$$

Αθροιστική συνάρτηση κατανομής για το νόμο Gutenberg-Richter φραγμένο άνω και κάτω:

$$F_M(m) = \frac{1-e^{[-\beta(m-m_0)]}}{1-e^{[-\beta(m_{max}-m_0)]}} \text{ αν } m_o<m<m_{max},$$

m_{max}= Μέγιστο Μέγεθος σεισμού

m_o= Μέγεθος για το οποίο αγνοούνται οι σεισμοί που είναι μικρότεροι από αυτό.

Η πιθανότητα το μέγεθος του σεισμού M να είναι μεταξύ ενός κάτω ορίου m_L και ενός άνω ορίου m_U:

$$P[m_L < M < m_U] = f_M\left(\frac{m_L+m_U}{2}\right)\cdot(m_U-m_L)$$

Η πιθανότητα P το Μέγεθος M να πάρει την τιμή m_j:

$$P(M=m_j) = F_M(m_{j+1}) - F_M(m_j)$$

Κατανομή Poisson για τον υπολογισμό της πιθανότητας υπέρβασης P ώστε η παράμετρος m να εμφανιστεί τουλάχιστον μια φορά (N ≥1) σε χρονικό διάστημα t με γνωστή την ετήσια συχνότητα υπέρβασης λ_m:

$$P[N \ge 1, t] = 1 - e^{-\lambda_m\cdot t}$$

Κατανομή Poisson για τον υπολογισμό της πιθανότητας υπέρβασης P ώστε η παράμετρος m να εμφανιστεί ακριβώς n φορές (N =n) σε χρονικό διάστημα t με γνωστή την ετήσια συχνότητα υπέρβασης λ_m:

$$P[N=n, t] = \frac{(\lambda_m\cdot t)^n\cdot e^{-\lambda_m\cdot t}}{n!}$$

Θεώρημα ολικής πιθανότητας

A1, A2, …….A_N είναι N ξένα ανά δύο ενδεχόμενα των οποίων η ένωση ισούται με Ω. Υποθέτουμε επίσης ότι είναι γνωστές οι πιθανότητες $P[B|A_k]$ και $P[A_k]$ για $1 \le k \le N$. Τότε αν B είναι ένα ενδεχόμενο του Ω, η πιθανότητα $P[B]$ δίνεται:

$$P[B] = \sum_{k=1}^{N} P[B\,|\,A_k]\cdot P[A_k]$$

Ο μέσος ετήσιος ρυθμός υπέρβασης της Παραμέτρου PAR> a* για όλες τις πηγές:

$$\lambda(PAR > a^*) = \sum_{i=1}^{N_{Sources}} \lambda_i(M_i > m_{oi})\cdot\sum_{j=1}^{N_M}\sum_{k=1}^{N_R}\cdot P[PAR > a^* \mid M_j, R_k]\cdot P[M=M_j]\cdot P[R=R_k]$$

$$P[PAR > a^* \mid M_j, R_k] = P[\varepsilon > a^*] = 1 - P[\varepsilon < a^*]$$

ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Ανάδρομη ανάλυση σεισμικού κινδύνου εκτίμηση πηγής:

$$P(\text{Πηγή}_j \mid PAR > a^*) = \frac{\lambda(PAR > a^*, \text{Πηγή}_j)}{\lambda(PAR > a^*)}$$

Ανάδρομη ανάλυση σεισμικού κινδύνου εκτίμηση μεγέθους:

$$P(M = m \mid PAR > a^*) = \frac{\lambda(PAR > a^*, M = m)}{\lambda(PAR > a^*)}$$

Μέσο αναμενόμενο μέγεθος:

$$\overline{M} = \sum_j m_j \cdot P(M = m_j \mid PAR > a^*)$$

Ανάδρομη ανάλυση σεισμικού κινδύνου εκτίμηση απόστασης:

$$P(R = r \mid PAR > a^*) = \frac{\lambda(PAR > a^*, R = r)}{\lambda(PAR > a^*)}$$

Μέση αναμενόμενη απόσταση:

$$\overline{R} = \sum_j r_j \cdot P(R = r_j \mid PAR > a^*)$$

Ανάδρομη ανάλυση σεισμικού κινδύνου εκτίμηση συνδυασμού μεγέθους και απόστασης:

$$P(M = m, R = r \mid PAR > a^*) = \frac{\lambda(PAR > a^*, M = m, R = r)}{\lambda(PAR > a^*)}$$

Ανάδρομη ανάλυση σεισμικού κινδύνου εκτίμηση ε:

$$P(\varepsilon \mid PAR > a^*) = \frac{\lambda(PAR > a^*, \varepsilon)}{\lambda(PAR > a^*)}$$

Μέσο ε:

$$\overline{\varepsilon} = \sum_j \varepsilon_j \cdot P(\varepsilon_j \mid PAR > a^*)$$

Δεσμευμένο φάσμα απόκρισης:

Δίνονται $\overline{M}, \overline{R}, \overline{\varepsilon}$ από ανάδρομη ανάλυση

$$\mu_{logPSA(T_i)|PSA(T^*)} = \mu_{logPSA}\left(\overline{M}, \overline{R}, T_i\right) + \rho\left(T_i, T^*\right) \cdot \varepsilon\left(T^*\right) \cdot \sigma_{logPSA(T_i)}$$

$$\rho\left(T_{min}, T_{max}\right) = 1 - \cos\left(\frac{\pi}{2} - \left(0.359 + 0.163 \cdot I_{(T_{min} < 0.189)} \cdot \ln\frac{T_{min}}{0.189}\right) \cdot \ln\frac{T_{max}}{T_{min}}\right)$$

$I_{(T_{min} < 0.189)} = 1.0$ εάν $T_i < 0.189\text{sec}$

$I_{(T_{min} < 0.189)} = 0$ εάν $T_i > 0.189$

Ομοιόμορφο Φάσμα σεισμικού κινδύνου:

Η τεταγμένες τιμές του φάσματος αναφέρονται στον ίδιο ετήσιο ρυθμό υπέρβασης.

Συνάρτηση Αθροιστικής Κατανομής CDF (Cumulative Distribution Function) Fz(z) της Κατανομής Gauss.

z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
-3.4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002
-3.3	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003
-3.2	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005
-3.1	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007	0.0007
-3.0	0.0013	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010
-2.9	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
-2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
-2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
-2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
-2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
-2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
-2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
-2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
-2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
-2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
-1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
-1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
-1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
-1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
-1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
-1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
-1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
-1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
-1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
-1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
-0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
-0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
-0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
-0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
-0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
-0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
-0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
-0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
-0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
-0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641

$$F_z(z_a) = F_z\left(\frac{x_a - \overline{x}}{\sigma_x}\right) = P[x \le x_a] = \int_{-\infty}^{x_a} f(x)dx$$

$$P[x > x_a] = 1 - P[x \le x_a] = 1 - F_z(z_a) = F_z(-z_a)$$

$$P[x_a < x < x_b] = F_z(z_b) - F_z(z_a)$$

Όπου:

f(x) η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για κατανομή Gauss

F(x) η συνάρτηση αθροιστικής κατανομής

P η εκτίμηση της πιθανότητας

ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΤΗΤΑ

(Εμπειρικές σχέσεις Somervill 1999):

Ταχύτητα ολίσθησης του ρήγματος $v_{ολ}$ (km/sec) $$v_{ολ} = \frac{\Delta\sigma \times V_r}{G}$$

$\Delta\sigma$ (kN/m^2): πτώση της τάσης στην επιφάνεια διάρρηξης

V_r (km/sec): ταχύτητα διάρρηξης

G (kN/m^2): μέτρο διάτμησης

Διάρκεια παλμού επιμέρους διάρρηξης τ (sec): $$\frac{\rho_o}{V_r} \le \tau \le \frac{2 \cdot \rho_o}{V_r}$$

ρ_0 (km): ακτίνα επιμέρους διάρρηξης

Συσχέτιση διάρκειας παλμού επιμέρους διάρρηξης τ (sec) και χαρακτηριστικής περιόδου του σεισμού

$$T_p \text{ (sec)}: \tau = \frac{1}{2} T_p$$

Συσχέτιση ακτίνας επιμέρους διάρρηξης ρ_0 (km) και μεγέθους σεισμικής ροπής M_W:

$$\log 2\rho_0 = -2.6 + 0.5 M_W$$

Συνολική διάρκεια διάρρηξης t (sec): $$\frac{L}{2V_r} \le t \le \frac{L}{V_r}$$

Μέγιστη εδαφική ταχύτητα v_g (ίδιες μονάδες με $v_{ολ}$) στην περιοχή με πρόσω κατευθυντικότητα (προς την διεύθυνση διάδοσης της διάρρηξης).

Ρήγμα οριζόντιας διάρρηξης:

$$v_g = v_{ολ} \times \frac{S}{L} \times \cos\theta$$

$v_{ολ}$:ταχύτητα ολίσθησης

S (km):προβολή επικεντρικής απόστασης στο ίχνος του ρήγματος

L (km): μήκος διάρρηξης

θ :γωνία μεταξύ επικεντρικής διεύθυνσης και ίχνους του ρήγματος

Ρήγμα κατακόρυφης διάρρηξης:

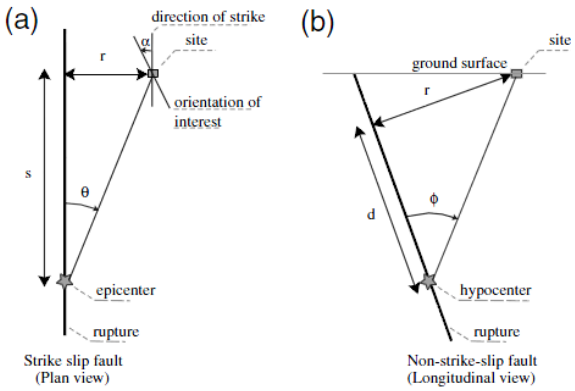
$$v_g = v_{ολ} \times \frac{d}{W} \times \cos\varphi$$

$v_{ολ}$: ταχύτητα ολίσθησης

d (km): προβολή υποκεντρικής απόστασης στο πλάτος του ρήγματος

W (km): πλάτος διάρρηξης

φ : γωνία μεταξύ υποκεντρικής διεύθυνσης και ίχνους του ρήγματος



Σχήμα 3: (a): Οριζόντιο ρήγμα, (b): Άλλες περιπτώσεις

Ενίσχυση φασματικής επιτάχυνσης για περίοδο T του φάσματος απόκρισης λόγω παλμού:

$\ln S_{a,παλμός} = \ln Af + \ln S_a$

$$\ln Af = \begin{cases} 1.131 \times \exp\left(-3.11 \times \left(\ln\left(\frac{T}{T_p}\right) + 0.127\right)^2\right) + 0.058 \text{ για } T \le 0.88T_p \\ 0.896 \times \exp\left(-2.11 \times \left(\ln\left(\frac{T}{T_p}\right) + 0.127\right)^2\right) + 0.255 \text{ για } T > 0.88T_p \end{cases}$$

$\ln S_a$ από τη σχέση Boore-Atkinson 2008

Σχέση Περιόδου του παλμού και Μεγέθους (Baker 2007):

$\ln T_p = -5.73 + 0.99M$

Απομείωση της φασματικής επιτάχυνσης για περίοδο T του φάσματος απόκρισης λόγω της μη εμφάνισης παλμού:

$\ln S_{a,\ \text{οχι παλμός}} = \ln Df + \ln S_a$

$$\ln Df = \begin{cases} \max[-0.0905\times\ln T\times g_M\times g_R,\ \ -0{,}0905\times\ln 2\times g_M\times g_R] & \text{για οριζόντιο ρήγμα} \\ -0.029\times\ln T\times g_M\times g_R & \text{για μη οριζόντιο ρήγμα} \end{cases}$$

$$g_M = \begin{cases} 0 & \text{όταν } M<6 \\ \dfrac{(M-6)}{0.5} & \text{όταν } 6\le M\le 6.5 \\ 1 & \text{όταν } M\ge 65 \end{cases}$$

$$g_R = \begin{cases} 10-R_{JB} & \text{όταν } R_{JB}\le 10\text{km} \\ 0 & \text{όταν } R_{JB}>10\text{km} \end{cases}$$

R_{JB} η απόσταση Joyner-Boore

$\ln S_a$ από τη σχέση Boore-Atkinson 2008

ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Πίνακας 9: Μείωση ταχύτητας διάδοσης διατμητικών κυμάτων και μέτρου διάτμησης συναρτήσει του εύρους της εδαφικής επιτάχυνσης.

PGA (g)	V_S/V_{So}	G/G_0
≤0.10	0.90	0.81
0.15	0.80	0.64
0.20	0.70	0.49
≥0.30	0.65	0.42

Ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων $V_S = \sqrt{\dfrac{G}{\rho}}$

PGA (g): μέγιστη εδαφική επιτάχυνση

G (kN/m^2): μέτρο διάτμησης

V_S (m/sec): ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων

G_0 (kN/m^2): μέτρο διάτμησης εδάφους σε μικρές εδαφικές παραμορφώσεις

V_{S0} (m/sec): ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων σε μικρές εδαφικές παραμορφώσεις

ρ (Mgr/m^3): πυκνότητα εδάφους

Ενεργός ιδιοπερίοδος κατασκευής

$\tilde{T}$ **(sec)** $$\tilde{T} = T\cdot\sqrt{1+\frac{k}{k_y}\cdot\left(1+\frac{k_y\cdot h^2}{k_\theta}\right)}$$

Οριζόντια δυσκαμψία k_y (kN/m) $$k_y = \frac{8\cdot G\cdot r_\alpha}{2-\nu},\quad r_\alpha = \sqrt{\frac{A_0}{\pi}}\ \text{(m)}$$

Στρεπτική δυσκαμψία k_θ (kNm/rad) $$k_\theta = \frac{8\cdot G\cdot r_m^3}{3\cdot(1-\nu)},\quad r_m = \sqrt[4]{\frac{4\cdot I_0}{\pi}}\ \text{(m)}$$

Οι σχέσεις r_α, r_m χρησιμοποιούνται για μη-κυκλικά θεμέλια. Στην περίπτωση κυκλικών θεμελίων ακτίνας r, ισχύει $r_\alpha = r_m = r$

k (kN/m): δυσκαμψία κατασκευής με θεώρηση πάκτωσης

T (sec): ιδιοπερίοδος κατασκευής με θεώρηση πάκτωσης

ν: λόγος Poisson εδάφους

Εκτίμηση συντελεστή απόσβεσης θεμελίωσης

Απόσβεση συστήματος εδάφους-κατασκευής $\tilde{\zeta} = \tilde{\zeta}_0 + \dfrac{\zeta}{\left(\tilde{T}/T\right)^3}$

ζ: απόσβεση κατασκευής με θεώρηση πάκτωσης

$$c_e = 1.5 \cdot \left(\frac{e}{r_a}\right) + 1$$

$$\alpha_1 = c_e \cdot \exp\left(4.7 - 1.6 \cdot \frac{h}{r_m}\right) \quad \Rightarrow \quad \tilde{\zeta}_0 = \alpha_1 \cdot \left(\frac{\tilde{T}}{T} - 1\right) + \alpha_2 \cdot \left(\frac{\tilde{T}}{T} - 1\right)^2$$

$$\alpha_2 = c_e \cdot \left[25 \cdot \ln\left(\frac{h}{r_m}\right) - 16\right]$$

e (m): βάθος ορύγματος

h (m): ενεργό ύψος κατασκευής

Μείωση φάσματος σχεδιασμού λόγω αλληλεπίδρασης εδάφους κατασκευής

Συντελεστής μείωσης φάσματος σχεδιασμού λόγω διαστάσεων θεμελίου

$$RRS_{bsa} = \max\left[1 - \frac{1}{3390} \cdot \left(\frac{b_e}{\tilde{T}}\right)^{1.2}, 1 - \frac{1}{3390} \cdot \left(\frac{b_e}{0.20}\right)^{1.2}\right] \text{ (αδιάστατο)}$$

$b_e = \sqrt{a \cdot b} = \sqrt{\pi \cdot r^2}$ (m): ενεργός διάσταση θεμελίωσης

Συντελεστής μείωσης φάσματος σχεδιασμού λόγω ορύγματος και μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης

$$RRS_e = \max\left[\cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot e}{\tilde{T} \cdot V_s}\right), 0.453, \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot e}{0.20 \cdot V_s}\right)\right] \quad \text{(αδιάστατο)}$$

e (m): βάθος ορύγματος

V_s (m/sec): ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων

Ελαστική φασματική επιτάχυνση στη βάση για απόσβεση ζ=5%

SA_{FIM} ($\tilde{T}$, ζ=5%) = SA_{FFM} ($\tilde{T}$, ζ=5%) · RRS_{bsa} ($\tilde{T}$) · RRS_e ($\tilde{T}$)

SA_{FFM}: φασματικές τιμές στο ελεύθερο πεδίο (απουσία κατασκευής)

SA_{FIM}: φασματικές τιμές στην βάση των ελατηρίων στήριξης της κατασκευής