

Επίδραση του αναθεωρημένου Ευρωκώδικα 8-1 στον αντισεισμικό σχεδιασμό κτιρίων

The effect of the revised Eurocode 8-1 in the antiseismic design of buildings

Σοφία Γιασουμή¹, Νικόλας Κυριακίδης², Κρίστης Χρυσοστόμου³

Λέξεις κλειδιά: Ευρωκώδικας 8-1, αντισεισμικός σχεδιασμός κτιρίων, φάσμα απόκρισης επιτάχυνσης, Eurocode 8-1, antiseismic design of buildings, acceleration response spectrum

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Η έκθεση έχει σκοπό τον προσδιορισμό των αλλαγών που επιφέρει η αναθεώρηση του Ευρωκώδικα 8-1 στον αντισεισμικό σχεδιασμό κτιρίων. Η σύγκριση μεταξύ των υφιστάμενων φασμάτων επιτάχυνσης και των προτεινόμενων, δείχνει πως τα πλατό των φασμάτων πλέον αφορούν μεγαλύτερα διαστήματα περιόδων ταλάντωσης και πιο μεγάλες επιταχύνσεις ενώ η περιοχή των χαμηλών περιόδων ταλάντωσης όντας καλύτερα οπτικοποιημένη τονίζει πως τα χαμηλά κτίρια θα σχεδιάζονται με τις μέγιστες φασματικές επιταχύνσεις. Θέτοντας σενάρια κτιρίων διαφορετικών υψών και εξετάζοντας τα υπό την επίδραση διαφορετικών PGA για όλες τις κατηγορίες εδαφών, προέκυψε πως τα χαμηλά κτίρια επηρεάζονται περισσότερο με το έδαφος Γ ενώ τα ψηλά κτίρια επηρεάζονται κυρίως από το έδαφος Ε. Τα πιο πάνω αποτελέσματα καθόρισαν τα χαρακτηριστικά των δύο προσομοιωμάτων κτιρίων που επιλύθηκαν στο λογισμικό με την ιδιομορφική μέθοδο χρησιμοποιώντας τον υφιστάμενο και το νέο ορισμό της σεισμικής φόρτισης. Οι οικονομικές διαφορές που προκύπτουν αφορούν αύξηση της τάξης του 10% και έγκεινται στη διαφορετική διαστασιολόγηση των μελών.

ABSTRACT: This report aims to determine the effects of the revision of the Eurocode 8-1 on the antiseismic design of buildings. Looking at the proposed spectra of acceleration one can see that the spectrum plateaus are henceforth related to larger interval periods of oscillation as well as bigger accelerations while a lot of attention is paid in the region of low periods of oscillation. Using different height scenario buildings and under the effect of different PGA for all the ground categories, it revealed that low buildings are influenced more in a ground C category while ground category E influences mostly the tall buildings. The above results determined the characteristics of the two building that were solved in the software using the modal analysis method with the current and the new definition of seismic

¹ Σοφία Γιασουμή, Πολιτικός Μηχανικός, sofiaiasoumi95@gmail.com

² Νικόλας Κυριακίδης, Λέκτορας., Τμήμα ΠΟΜΗΓΕ, ΤΕΠΑΚ,

³ Κρίστης Χρυσοστόμου, Καθηγητής, Αντιπρύτανης Οικονομικού Προγραμματισμού, ΤΕΠΑΚ

load. The economic differences that occur cover a percentage of 10% and they owe their nature to the different dimensioning of their structural members.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε περιοχές που παρουσιάζεται σεισμική δραστηριότητα, απαιτείται κατά τη μελέτη και το σχεδιασμό κτιρίων και έργων πολιτικής μηχανικής να εφαρμόζεται ο Ευρωκώδικας 8, σε συνδυασμό με τους υπόλοιπους κατάλληλους Ευρωκώδικες.

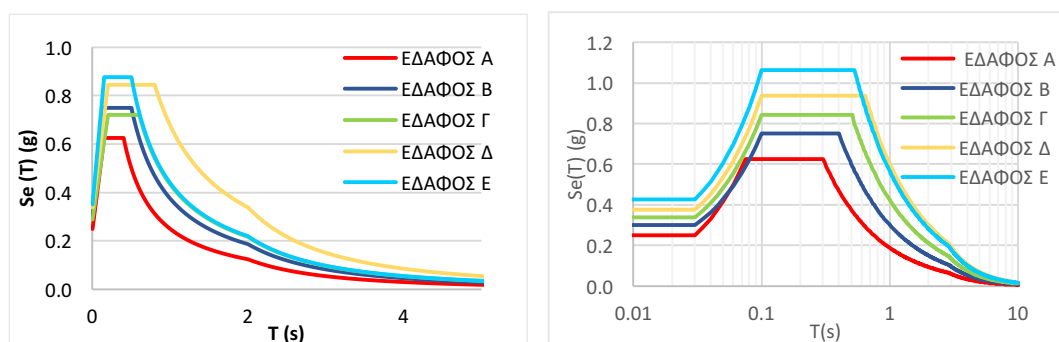
Σύμφωνα με τον υφιστάμενο αντισεισμικό σχεδιασμό, για τον υπολογισμό των οριζόντιων φορτίων που επιδρούν στα κτίρια, οι δύο κύριες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι η ισοδύναμη στατική και φασματική ανάλυση, χρησιμοποιώντας το ελαστικό φάσμα απόκρισης επιτάχυνσης.

Το 2015 ξεκίνησε η αναθεώρηση του Ευρωκώδικα 8 Μέρος-1 και έχει αλλάξει ο ορισμός της σεισμικής φόρτισης με σκοπό τη βελτίωση της ακρίβειας των φασμάτων απόκρισης επιτάχυνσης όπως επίσης και την παροχή ενός πιο ολοκληρωμένου πλαισίου σχεδιασμού. Η αναθεώρηση της υφιστάμενης έκδοσης του Ευρωκώδικα 8-1 προτείνει νέα φάσματα απόκρισης επιτάχυνσης για το σχεδιασμό των κατασκευών τα οποία τείνουν προς την πιο ολοκληρωτική προσομοίωση της απόκρισης των κατασκευών υπό την επίδραση ενός σεισμικού φαινομένου. Για τον υπολογισμό των σεισμικών τεμνουσών στα κτίρια χρησιμοποιούνται και πάλι η ισοδύναμη στατική και φασματική ανάλυση.

Με δεδομένα τα παραπάνω σκοπός της εργασίας αυτής είναι η ποσοτικοποίηση της επίδρασης των αλλαγών που επιφέρει ο αναθεωρημένος Ευρωκώδικας 8-1, στον αντισεισμικό σχεδιασμό κτιρίων και να χαρακτηρίσει την αποτελεσματικότητα των προτεινόμενων φασμάτων απόκρισης και εάν η βελτίωση που προσφέρουν στο χαρακτηρισμό του σεισμικού φορτίου είναι σημαντική για να θεωρηθεί αναγκαία η αντικατάσταση της υφιστάμενης έκδοσης του Ευρωκώδικα 8-1.

ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

Υφιστάμενα και προτεινόμενα ελαστικά φάσματα απόκρισης επιτάχυνσης



Σχήμα 1. Το υφιστάμενο και το προτεινόμενο ελαστικό φάσμα απόκρισης επιτάχυνσης για κατηγορίες εδαφών A- E για PGA 0,25g.

Επισημάνση προτεινόμενων αλλαγών στην αναπαράσταση της σεισμικής δράσης

Οι εξισώσεις του υφιστάμενου ελαστικού φάσματος απόκρισης προσαρμόστηκαν στις δύο νέες παραμέτρους σεισμικού κινδύνου S_s και S_1 έτσι που να μπορούν να υιοθετηθούν από χαμηλής και από υψηλής σεισμικότητας χώρες.

Εισάχθηκαν οι παράγοντες ενίσχυσης F_s και F_1 στο ελαστικό φάσμα απόκρισης, οι οποίοι περιλαμβάνουν με απλοποιημένο τρόπο τις πιθανές μη γραμμικές επιπτώσεις των σεισμικών δράσεων στα εδάφη.

Εισάχθηκαν επίσης οι παράμετροι T_A (περίοδος κάτω από την οποία οι φασματικές τεταγμένες τείνουν προς την PGA), $\kappa = T_C/T_B$ και F_0 (ο λόγος της μέγιστης φασματικής επιτάχυνσης προς την μέγιστη εδαφική επιτάχυνση). Για τον υπολογισμό των περιόδων T_B και T_C , εισάχθηκαν σχέσεις οι οποίες εξαρτώνται από τις παραμέτρους S_s , S_1 . Εισάχθηκαν σχέσεις και για την περίοδο T_D η οποία πλέον εξαρτάται από την S_{IRP} και συσχετίζεται το μέγεθος του σεισμού.

Τα ελαστικά φάσματα απόκρισης σχεδιάζονται τέλος σε ημιλογαριθμικά γραφήματα για την καλύτερη οπτικοποίηση των επιταχύνσεων των χαμηλών περιόδων ταλάντωσης του ελαστικού φάσματος απόκρισης επιτάχυνσης.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΝΕΟΥ ΟΡΙΣΜΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΣΕ CASE STUDY ΚΤΙΡΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΥΨΩΝ

Για σκοπούς σύγκρισης θεωρήθηκαν τέσσερα σενάρια κτιρίων με ιδιοπεριόδους ταλάντωσης $T_1=0.3s$, $T_2=0.6s$, $T_3=1s$ και $T_4=2s$ αντιστοίχως. Τα κτίρια ελέγχθηκαν με τα υφιστάμενα και προτεινόμενα ελαστικά φάσματα απόκρισης επιτάχυνσης για όλες τις κατηγορίες εδαφών για τις μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις (PGA) 0.05g, 0.15g, 0.2g, 0.25g, 0.4g και 0.65g.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης κάθε σεναρίου αναπαρίστανται στους επόμενους πίνακες όπως και τα ποσοστά αύξησης ή μείωσης της επιτάχυνσης αναλόγως των αλλαγών της σεισμικής φόρτισης που προτείνει ο καινούριος κώδικας.

Σε γενική ανάλυση τα διαστήματα μέγιστων φασματικών επιταχύνσεων (πλατό), για κάθε έδαφος, έχουν μετατοπιστεί προς τα αριστερά και το εύρος τους έχει μείνει σχεδόν σταθερό, εκτός του εδάφους Δ που έχει συσταλεί και του εδάφους Ε που έχει διασταλεί.

Οι προτεινόμενες αλλαγές επισημαίνουν πως για όλα τα εδάφη και για οποιαδήποτε μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PG.A), τα κτίρια με μικρότερες ιδιοπεριόδους ταλάντωσης θα σχεδιάζονται με αυξημένες σεισμικές δράσεις, ενώ κτίρια με μεγαλύτερες ιδιοπεριόδους ταλάντωσης θα σχεδιάζονται με μειωμένες σεισμικές δράσεις.

Πίνακας 1. Τιμές επιταχύνσεων κτιρίου με ιδιοπερίοδο ταλάντωσης $T=0,3s$ σύμφωνα με το υφιστάμενο και το προτεινόμενο φάσμα επιτάχυνσης

PGA	Α			Β			Γ			Δ			Ε		
	ΥΦΙΣ	ΠΡΟΤ	%	ΥΦΙΣ	ΠΡΟΤ	%	ΥΦΙΣ	ΠΡΟΤ	%	ΥΦΙΣ	ΠΡΟΤ	%	ΥΦΙΣ	ΠΡΟΤ	%
0,05g	0,125	0,125	0,00	0,150	0,150	0,00	0,144	0,169	17,36	0,169	0,188	11,24	0,175	0,213	21,71
0,15g	0,375	0,375	0,00	0,450	0,450	0,00	0,431	0,506	17,40	0,506	0,563	11,26	0,525	0,638	21,52
0,2g	0,50	0,50	0,00	0,600	0,600	0,00	0,575	0,675	17,39	0,675	0,750	11,11	0,700	0,850	21,43
0,25g	0,625	0,625	0,00	0,750	0,750	0,00	0,719	0,844	17,39	0,844	0,938	11,14	0,875	1,063	21,49
0,4g	1,00	1,00	0,00	1,200	1,200	0,00	1,150	1,350	17,39	1,350	1,500	11,11	1,400	1,700	21,43
0,65g	1,625	1,625	0,00	1,950	1,950	0,00	1,869	2,194	17,39	2,194	2,438	11,12	2,275	2,763	21,45

Για τα εδάφη Α και Β δεν παρατηρείται καμία αλλαγή στην επιτάχυνση του κτιρίου αφού το πλατό του προτεινόμενου φάσματος συμπίπτει με το πλατό του υφιστάμενου για αυτή την ιδιοπερίοδο ταλάντωσης. Για τα εδάφη Γ, Δ και Ε παρατηρείται αύξηση 17%, 11% και 21% αντιστοίχως αφού αυξήθηκαν οι μέγιστες τιμές των επιταχύνσεων των φασμάτων.

Πίνακας 2. Τιμές επιταχύνσεων κτιρίου με ιδιοπερίοδο ταλάντωσης $T=0,6s$ σύμφωνα με το υφιστάμενο και το προτεινόμενο φάσμα επιτάχυνσης

PGA	Α			Β			Γ			Δ			Ε		
	ΥΦΙΣ	ΠΡΟΤ	%	ΥΦΙΣ	ΠΡΟΤ	%	ΥΦΙΣ	ΠΡΟΤ	%	ΥΦΙΣ	ΠΡΟΤ	%	ΥΦΙΣ	ΠΡΟΤ	%
0,05g	0,083	0,063	-24,10	0,125	0,100	-20,00	0,144	0,141	-2,08	0,169	0,188	11,24	0,146	0,188	28,77
0,15g	0,25	0,188	-24,80	0,375	0,300	-20,00	0,431	0,422	-2,09	0,506	0,563	11,26	0,438	0,563	28,54
0,2g	0,333	0,25	-24,92	0,500	0,400	-20,00	0,575	0,562	-2,26	0,675	0,750	11,11	0,583	0,750	28,64
0,25g	0,417	0,313	-24,94	0,625	0,500	-20,00	0,719	0,703	-2,23	0,844	0,938	11,14	0,729	0,938	28,67
0,4g	0,667	0,5	-25,04	1,000	0,800	-20,00	1,150	1,125	-2,17	1,350	1,500	11,11	1,167	1,500	28,53
0,65g	1,083	0,813	-24,93	1,625	1,300	-20,00	1,869	1,828	-2,19	2,194	2,438	11,12	1,896	2,438	28,59

Για το έδαφος Α, Β και Γ παρατηρείται μείωση των επιταχύνσεων κατά 24%, 20% και 2% περίπου αντιστοίχως. Αυτό συμβαίνει επειδή τα φάσματα μετακινήθηκαν προς τα αριστερά, και επομένως τα πλατό των φασμάτων αντιστοιχούν σε χαμηλότερες περιόδους ταλάντωσης. Όσον αφορά τα φάσματα των εδαφών Δ και Ε, για την ιδιοπερίοδο ταλάντωσης $T=0,6s$ παρουσιάζεται αύξηση της τάξης του 11% και 28% της φασματικών επιταχύνσεων αντιστοίχως.

Πίνακας 3. Τιμές επιταχύνσεων κτιρίου με ιδιοπερίοδο ταλάντωσης $T=1s$ σύμφωνα με το υφιστάμενο και το προτεινόμενο φάσμα επιτάχυνσης

PGA	Α			Β			Γ			Δ			Ε		
	ΥΦΙΣ	ΠΡΟΤ	%	ΥΦΙΣ	ΠΡΟΤ	%	ΥΦΙΣ	ΠΡΟΤ	%	ΥΦΙΣ	ΠΡΟΤ	%	ΥΦΙΣ	ΠΡΟΤ	%
0,05g	0,05	0,038	-24,00	0,075	0,060	-20,00	0,086	0,084	-2,33	0,135	0,120	-11,11	0,088	0,113	28,41
0,15g	0,15	0,113	-24,67	0,225	0,180	-20,00	0,259	0,253	-2,32	0,405	0,360	-11,11	0,263	0,338	28,52
0,2g	0,2	0,15	-25,00	0,300	0,240	-20,00	0,345	0,338	-2,03	0,540	0,480	-11,11	0,350	0,450	28,57
0,25g	0,25	0,188	-24,80	0,375	0,300	-20,00	0,431	0,422	-2,09	0,675	0,600	-11,11	0,438	0,562	28,31
0,4g	0,4	0,3	-25,00	0,600	0,480	-20,00	0,690	0,675	-2,17	1,080	0,960	-11,11	0,700	0,900	28,57
0,65g	0,65	0,488	-24,92	0,975	0,780	-20,00	1,121	1,097	-2,14	1,755	1,560	-11,11	1,138	1,462	28,47

Το κτίριο μέσου ύψους για όλα τα εδάφη εκτός του Ε, θα σχεδιαστεί με μικρότερες σεισμικές δυνάμεις. Για εδάφη Α και Β, θα σχεδιαστεί με σεισμική δύναμη περίπου 25% και 20% αντιστοίχως μικρότερη, ενώ για εδάφη Γ και Δ με 2% και 11% μικρότερη. Μόνο για το έδαφος Ε το ποσοστό διαφοράς μεταξύ προτεινόμενου και υφιστάμενου φάσματος φτάνει το 28% περίπου σε αύξηση. Όσον αφορά το έδαφος Ε το εύρος του διαστήματος του πλατώ του φάσματος επεκτάθηκε καλύπτοντας περισσότερες περιόδους ταλάντωσης.

Πίνακας 4. Τιμές επιταχύνσεων κτιρίου με ιδιοπερίοδο ταλάντωσης $T=2s$ σύμφωνα με το υφιστάμενο και το προτεινόμενο φάσμα επιτάχυνσης

PGA	Α			Β			Γ			Δ			Ε		
	ΥΦΙΣ	ΠΡΟΤ	%	ΥΦΙΣ	ΠΡΟΤ	%	ΥΦΙΣ	ΠΡΟΤ	%	ΥΦΙΣ	ΠΡΟΤ	%	ΥΦΙΣ	ΠΡΟΤ	%
0,05g	0,025	0,019	-24,00	0,038	0,030	-20,63	0,043	0,042	-2,33	0,068	0,060	-11,76	0,044	0,057	28,41
0,15g	0,075	0,056	-25,33	0,113	0,090	-20,35	0,129	0,126	-2,33	0,203	0,180	-11,33	0,131	0,169	29,01
0,2g	0,1	0,075	-25,00	0,150	0,120	-20,00	0,173	0,169	-2,31	0,270	0,240	-11,11	0,175	0,225	28,57
0,25g	0,125	0,094	-24,80	0,188	0,150	-20,21	0,216	0,211	-2,31	0,338	0,300	-11,24	0,219	0,281	28,31
0,4g	0,2	0,15	-25,00	0,300	0,240	-20,00	0,345	0,338	-2,03	0,540	0,480	-11,11	0,350	0,450	28,57
0,65g	0,325	0,244	-24,92	0,488	0,390	-20,08	0,561	0,548	-2,32	0,878	0,780	-11,16	0,569	0,731	28,47

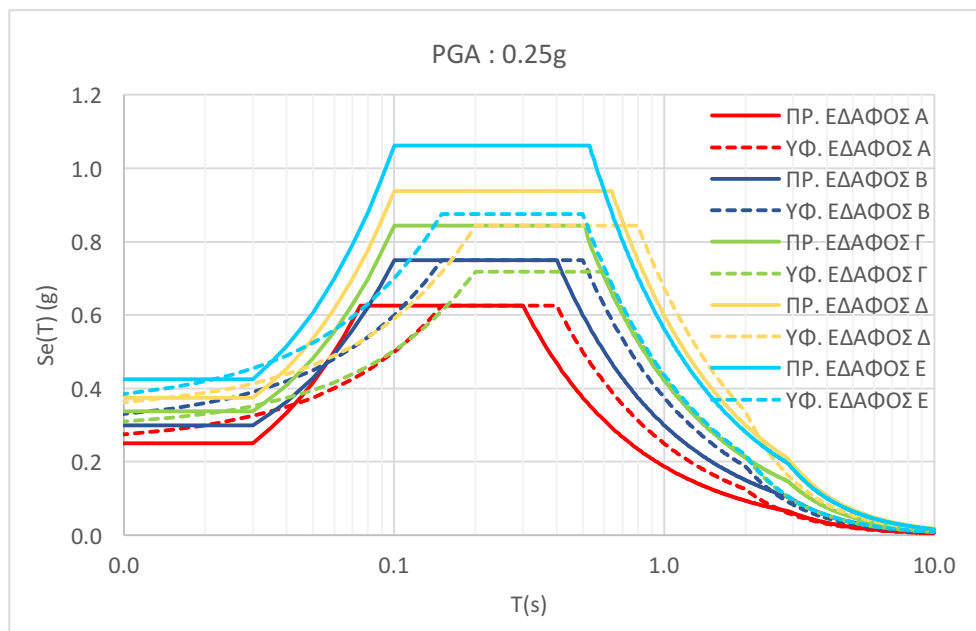
Εδώ οι αλλαγές είναι σχεδόν ίδιες με το σενάριο 3 ($T=1s$) εξαιτίας του τρόπου κατασκευής των ελαστικών φασμάτων απόκρισης. Τα ψηλά κτίρια φαίνεται να ακολουθούν τα ίδια μοτίβα στα προτεινόμενα φάσματα, μετά την περίοδο ταλάντωσης $T=1s$ επειδή όλα τα φάσματα μετακινήθηκαν προς πιο χαμηλές περιόδους ταλάντωσης.

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΤΙΡΙΩΝ, ΜΕ ΤΟΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΚΑΙ ΤΟ ΝΕΟ ΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΤΟΥ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 8-1

Παρατηρώντας το πιο κάτω σχήμα που παρουσιάζει τα υφιστάμενα και τα προτεινόμενα φάσματα απόκρισης επιτάχυνσης με PGA 0.25g, προκύπτει πως οι σημαντικότερες αλλαγές αφορούν τα εδάφη Γ και Ε τα οποία φαίνεται να επηρεάζονται περισσότερο.

Πιο συγκεκριμένα για το έδαφος Γ οι επιταχύνσεις που αντιστοιχούν στις χαμηλές περιόδους ταλάντωσης ($T < 0,5s$) παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη αύξηση. Για το έδαφος Ε παρατηρείται αύξηση των τιμών των επιταχύνσεων στις πιο μεγάλες περιόδους ταλάντωσης ($T > 0,5s$) εν συγκρίσει με τα υπόλοιπα εδάφη στα οποία οι τιμές των επιταχύνσεων μειώνονται.

Με βάση τις πιο πάνω παρατηρήσεις επιλέχθηκαν προς ανάλυση στο πρόγραμμα μελετών προσομοιώματα τριώροφου κτιρίου σε έδαφος κατηγορίας Γ και επταώροφου κτιρίου σε έδαφος Ε. Τα πλαισιακά αυτά κτίρια επιλύθηκαν τόσο με τον υφιστάμενο αλλά και με το νέο ορισμό της σεισμικής φόρτισης χρησιμοποιώντας την ιδιομορφική μέθοδο φάσματος ανάλυσης.



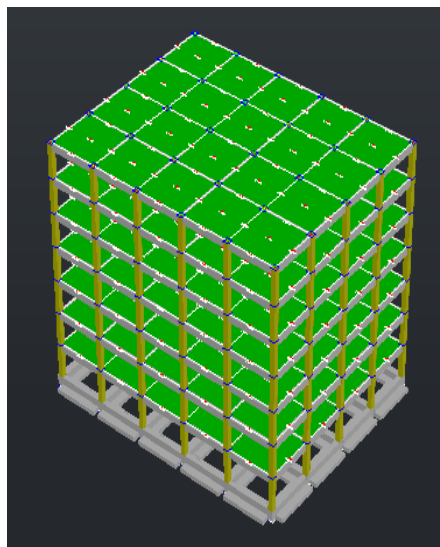
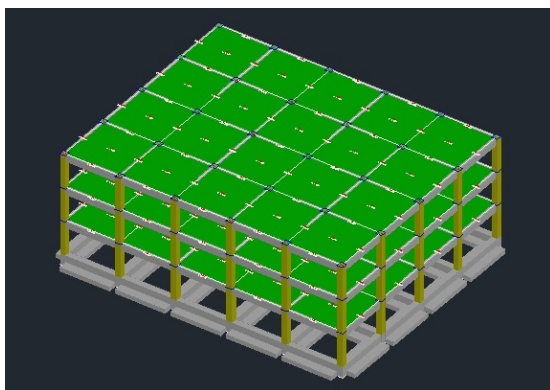
Σχήμα 2. Τα υφιστάμενα και τα προτεινόμενα φάσματα απόκρισης επιτάχυνσης για όλες τις κατηγορίες εδαφών και μέγιστη εδαφική επιτάχυνση 0,25g.

Προσομοίωση κτιρίων στο στατικό πρόγραμμα ανάλυσης 3DR.STRAD

Το ύψος ορόφου των κτιρίων είναι 3m. Η στάθμη 1 των κτιρίων καθορίζεται ως θεμελίωση με πεδילוδοκούς, με ύψος 1m που αντιπροσωπεύει τον ελαστικό ημιχώρο. Η στάθμη 2 που αποτελεί το ισόγειο, έχει ύψος 4m στο οποίο περιλαμβάνεται το ύψος ορόφου 3m αλλά και το ύψος των πεδילוδοκών 1m.

Το τριώροφο και επτάωροφο κτίριο είναι ίδια όσο αφορά το σχήμα, την κάτοψη και τις ιδιότητες υλικών που τέθηκαν για την κατασκευή. Και τα δύο κτίρια αποτελούνται από έξι πλαίσια των τεσσάρων ανοιγμάτων παράλληλα στη Χ-διεύθυνση και πέντε πλαίσια των πέντε ανοιγμάτων παράλληλα στη Υ-διεύθυνση. Το κάθε άνοιγμα έχει μήκος 5 μέτρων.

Η κατηγορία του σκυροδέματος είναι C30/37, και η χαρακτηριστική αντοχή του χάλυβα για τους οπλισμούς των κολώνων και των δοκών είναι $F_{yk}=500\text{MPa}$. Όλα τα υποστυλώματα έχουν διαστάσεις 0.5m X 0.5m και οι δοκοί 0.3m X 0.6m. Το πάχος των πλακών είναι 0.2m. Η κάλυψη στα υποστυλώματα και στις δοκούς είναι ίση με $c=25\text{mm}$ (μέχρι την άκρη του συνδετήρα). Τα φορτία που υπάρχουν στις πλάκες του κτιρίου είναι μόνιμο φορτίο 6.5KN/m^2 συμπεριλαμβανομένου του ιδίου βάρους και κινητό φορτίο 2KN/m^2 . Ο συντελεστής συμπεριφοράς q των κτιρίων τέθηκε ίσος με 1,5.



Σχήμα 3. Τρισδιάστατη απεικόνιση του τριώροφου και του επτάωροφου κτιρίου που επιλύθηκαν στο στατικό πρόγραμμα ανάλυσης 3DR.STRAD

Αποτελέσματα επιλύσεων σχεδιασμού κτιρίων, εκτίμηση κόστους κατασκευής και σύγκριση αποτελεσμάτων

Η ποσότητα του χάλυβα δίνεται σε τόνους (T), του σκυροδέματος σε κυβικά μέτρα (m3) και του ξυλότυπου σε τετραγωνικά μέτρα (m2). Παρουσιάζονται σε πίνακες οι συνολικές ποσότητες των υλικών που επιμετρήθηκαν για την κατασκευή των κτιρίων οι οποίες πολλαπλασιάζονται με τις αντίστοιχες τιμές τους όπως κυκλοφορούν στην αγορά τη δεδομένη χρονική στιγμή. Έτσι υπολογίζονται οι συνολικές τιμές, οι οποίες προστίθενται μεταξύ τους και υπολογίζεται το τελικό συνολικό κόστος της κατασκευής του κτιρίου.

Για τη σύγκριση του τελικού κόστους μεταξύ των 3-όροφων κτιρίων που σχεδιάστηκαν με τον υφιστάμενο αλλά και τον προτεινόμενο Ευρωκώδικα 8-1, υπολογίζεται η ποσοστιαία τους διαφορά.

Εκτίμηση κόστους κατασκευής τριώροφου κτιρίου

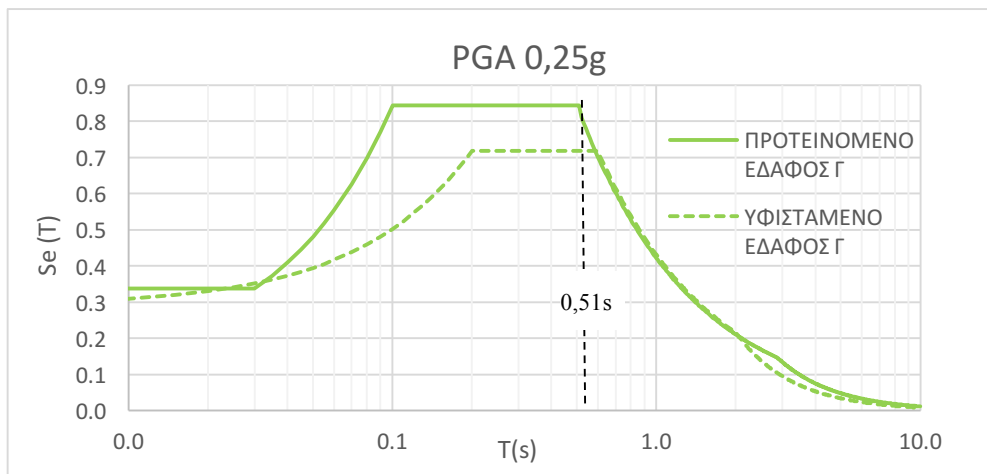
Πίνακας 5 Συνολικά κόστη κατασκευής τριώροφου κτιρίου

ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ – ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΣ ΕΚ 8-1 €			ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ – ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ €		
ΧΑΛΥΒΑΣ (T)	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (M3)	ΞΥΛΟΤΥΠΟΣ (M2)	ΧΑΛΥΒΑΣ (T)	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (M3)	ΞΥΛΟΤΥΠΟΣ (M2)
68,89	618,25	3515,15	82,33	617,83	3527,95
ΤΙΜΕΣ ΥΛΙΚΩΝ					
ΧΑΛΥΒΑΣ	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	ΞΥΛΟΤΥΠΟΣ			
1000 €/T	100 €/M3	20 €/M2			
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ €			ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ €		
68890	61825	70303	82330	61783	70559
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ €			ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ €		
201.018,00			214.672,00		

Σύγκριση και σχολιασμός των Συνολικών Κοστών από τις δύο επιλύσεις του τριώροφου κτιρίου

Πίνακας 6. Ποσοστιαία διαφορά των συνολικών κοστών του τριώροφου κτιρίου

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ – ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΣ ΕΚ 8-1 €	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ – ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ €	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΟΣΤΟΥΣ %
201.018,00	214.672,00	6,79



Σχήμα 4. Ελαστικό φάσμα απόκρισης επιτάχυνσης για έδαφος Γ στο οποίο επισημαίνεται η ιδιοπερίοδος ταλάντωσης του τριώροφου κτιρίου

Το 3-όροφο κτίριο έχει ιδιοπερίοδο ταλάντωσης $T=0,51s$. Σύμφωνα με το υφιστάμενο φάσμα απόκρισης επιτάχυνσης του Ευρωκώδικα 8-1 για το έδαφος Γ, η ιδιοπερίοδος ταλάντωσης $T=0,51s$ εμπίπτει στο διάστημα των μέγιστων του φασματικών επιταχύνσεων (πλατό). Όμως η ιδιοπερίοδος αυτή εμπίπτει και στο πλατό του προτεινόμενου ελαστικού φάσματος απόκρισης για έδαφος Γ.

Πιο συγκεκριμένα, η μέγιστη επιτάχυνση του πλατό του υφιστάμενου φάσματος έχει τιμή $0,719g$, ενώ η μέγιστη επιτάχυνση του πλατό του προτεινόμενου φάσματος έχει τιμή $0,844g$. Επομένως η σεισμική δράση για την οποία θα σχεδιαστεί το κτίριο με τις προτεινόμενες αλλαγές, θα είναι αυξημένη κατά περίπου $17,4\%$ από ότι με το υφιστάμενο φάσμα απόκρισης.

Αυτή η αύξηση φαίνεται πρακτικά στο σχεδιασμό του κτιρίου, αφού οδηγεί σε αύξηση των διατομών των δοκών και των υποστυλωμάτων των πιο χαμηλών σταθμών. Η αύξηση των διατομών επιφέρει μεγαλύτερα κόστη στην κατασκευή του κτιρίου προφανώς, και όπως φαίνεται στον Πίνακα 6 το συνολικό κόστος της κατασκευής με τις προτεινόμενες αλλαγές παρουσιάζει μια αύξηση σχεδόν 7% .

Εκτίμηση κόστους κατασκευής επτάώροφου κτιρίου

Πίνακας 7 Συνολικά κόστη κατασκευής επτάώροφου κτιρίου

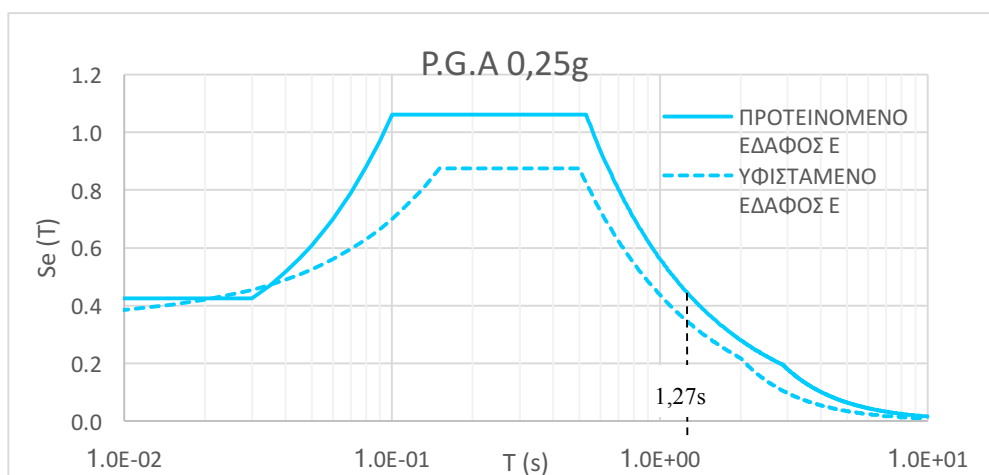
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ – ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΣ ΕΚ 8-1 €			ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ – ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ €		
ΧΑΛΥΒΑΣ (T)	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (M3)	ΞΥΛΟΥΤΥΠΟΣ (M2)	ΧΑΛΥΒΑΣ (T)	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (M3)	ΞΥΛΟΥΤΥΠΟΣ (M2)
154,27	1269,11	7558,05	188,88	1292,87	7597,65
ΤΙΜΕΣ ΥΛΙΚΩΝ					

ΧΑΛΥΒΑΣ	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	ΞΥΛΟΥΤΥΠΟΣ
1000 €/Τ	100 €/Μ3	20 €/Μ2
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ €		ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ €
154270	126911	151161
188880	129287	151953
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ €		ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ
432.342,00		470.120,00

Σύγκριση και σχολιασμός των συνολικών κοστών από τις δύο επιλύσεις του επταώροφου κτιρίου

Πίνακας 8 Ποσοστιαία διαφορά των συνολικών κόστων του επταώροφου κτιρίου

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ – ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΣ ΕΚ. 8-1 €	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ – ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ €	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΟΣΤΟΥΣ %
432.342,00	470.120,00	8,74



Σχήμα 5. Ελαστικό φάσμα απόκρισης επιτάχυνσης για έδαφος Ε στο οποίο επισημαίνεται η ιδιοπερίοδος ταλάντωσης του επταώροφου κτιρίου

Το επταώροφο κτίριο έχει ιδιοπερίοδο ταλάντωσης $T=1,27s$. Σύμφωνα με το υφιστάμενο φάσμα απόκρισης επιτάχυνσης του Ευρωκώδικα 8-1 για το έδαφος Ε, η ιδιοπερίοδος ταλάντωσης $T=1,27s$ εμπίπτει στη φασματική επιτάχυνση $0,344g$ ενώ με το προτεινόμενο φάσμα απόκρισης εμπίπτει στη φασματική επιτάχυνση $0,443g$. Ένεκα της αύξησης αυτής της τιμής της φασματικής επιτάχυνσης η σεισμική δράση για την οποία θα σχεδιαστεί το κτίριο με τις προτεινόμενες αλλαγές, θα είναι αυξημένη κατά περίπου 28,8%.

Από το σχεδιασμό του επταώροφου κτιρίου που επιλύθηκε με τις προτεινόμενες αλλαγές προκύπτει ότι, οι διαστάσεις των διατομών των δοκών και των υποστυλωμάτων των πιο χαμηλών σταθμών του έπρεπε να μεγαλώσουν ώστε να μπορούν να παραλάβουν τις τέμνουσες δυνάμεις της αυξημένης σεισμικής δράσης.

Η αύξηση των διατομών των δοκών και των υποστυλωμάτων επιφέρουν αύξηση του κόστους κατασκευής του κτιρίου και όπως φαίνεται στον Πίνακα 8 η ποσοστιαία διαφορά μεταξύ των δύο παραγόμενων κοστών είναι περίπου 9% (συμπεριλαμβανομένων σφαλμάτων κλπ).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα έκθεση διερευνά την επίδραση των προτεινόμενων ελαστικών φασμάτων απόκρισης στο σχεδιασμό τυπικών κτιρίων ΟΣ, και τη σύγκριση των σεισμικών φορτίων σχεδιασμού με τις αντίστοιχες δυνάμεις που δίδουν τα υφιστάμενα φάσματα. Στις επόμενες παραγράφους δίνονται τα κύρια αποτελέσματα και συμπεράσματα που εξάγονται από την έκθεση.

Κατ' αρχήν στα προτεινόμενα φάσματα ο ορισμός του σχήματος και των τιμών στον τεταγμένο άξονα γίνεται με τη χρήση δύο τιμών - της S_s (μέγιστη φασματική επιτάχυνση) και S_1 (φασματική επιτάχυνση στην περίοδο ταλάντωσης $T=1s$) - οι οποίες πρέπει να είναι καθορισμένες για κάθε περιοχή του σεισμικού χάρτη της κάθε χώρας. Η εισαγωγή των δύο αυτών συντελεστών συμβάλλει στην καλύτερη περιγραφή του σχήματος του φάσματος στην περιοχή που είναι ευαίσθητη στις επιταχύνσεις.

Σύμφωνα με την καινούρια λογική κτίρια ή συστήματα με χαμηλές ιδιοπεριόδους ταλάντωσης ($\sim T=0.10s$), θα σχεδιάζονται με τις μέγιστες επιταχύνσεις των φασμάτων απόκρισης (πλατό), για όλα τα εδάφη, αφού οι επιταχύνσεις τους τείνουν προς συντονισμό με τις PGA. Παρεπόμενο είναι ο σχεδιασμός των χαμηλών κτιρίων να γίνεται με μεγαλύτερη σεισμική δράση από ότι ήταν καθιερωμένη μέχρι τώρα, έτσι ώστε αυτά να παραμένουν στην οριακή κατάσταση σημαντικών βλαβών στην περίπτωση ενός σεισμικού γεγονότος.

Τα ψηλά κτίρια ($T > 0,50s$) ενδέχεται να επηρεάζονται μονοπλεύρως από το έδαφος E αφού μόνο για αυτό παρουσιάζεται αύξηση των τιμών των επιταχύνσεων σε μεγάλες ιδιοπεριόδους ταλάντωσης, εν συγκρίσει με τα υπόλοιπα εδάφη για τα οποία οι τιμές των επιταχύνσεων μειώνονται.

Το γεγονός αυτό προκύπτει εξαιτίας της καθολικής αριστερής μετατόπισης των φασμάτων προς χαμηλότερες περιόδους ταλάντωσης. Εξαιτίας αυτού, οι επιταχύνσεις που αναπτύσσονται στην περιοχή του φάσματος μεγάλων περιόδων ταλάντωσης είναι σχετικά μικρές και ίσως ανίκανες να οδηγήσουν σε ένα ικανοποιητικό σχεδιασμό. Επειδή ως γνωστόν αυτή η περιοχή του φάσματος είναι ευαίσθητη στις μετατοπίσεις, σχεδιάζοντας ψηλά κτίρια αποκλειστικά και μόνο με το φάσμα απόκρισης επιτάχυνσης ίσως να αποτελεί αμφίβολη και ανεπαρκή λύση σχεδιασμού. Για μια πιο τεκμηριωμένη και ακέραια λύση σχεδιασμού θα πρέπει να

σχεδιάζεται το σύστημα και με τα δύο ελαστικά φάσματα απόκρισης - επιτάχυνσης και μετατόπισης- και να συγκρίνονται τα μεταξύ τους αποτελέσματα.

Μέσω του σχεδιασμού των προσομοιώσεων των κτιρίων στο λογισμικό 3DR.STRAD και του εκτιμημένου συνολικού κόστους κατασκευής τους, αντιλαμβάνεται κανείς ποσοτικά τις οικονομικές διαφορές που προκύπτουν με τις προτεινόμενες αλλαγές της αναθεωρημένης έκδοσης του Ευρωκώδικα 8-1. Η αύξηση του κόστους κατασκευής των δύο κτιρίων που επιλύθηκαν αγγίζει περίπου το 8-10% (συμπεριλαμβανομένου σφαλμάτων και αμφιβολιών) και είναι εύλογη εξαιτίας της αύξησης της σεισμικής δράσης με την οποία σχεδιάστηκαν.

Σαν γενικό συμπέρασμα εξάγεται ότι οι προτεινόμενες αλλαγές επιφέρουν μια ανεπαίσθητη αύξηση περίπου του 10% στο σχεδιασμό συγκεκριμένων case study κτιρίων που ίσως να μην κρίνεται επαρκής έτσι ώστε τα ελαστικά φάσματα της υφιστάμενης έκδοσης του Ευρωκώδικα 8-1 να αντικατασταθούν. Η ολική επίδραση των προτεινόμενων αλλαγών θα κριθεί σε μεγαλύτερο βαθμό και πιο αποκλειστικά από την επίδραση που θα έχουν στο κομμάτι της αξιολόγησης των φερόντων οργανισμών υφιστάμενων κτιρίων, και που αποτελεί το δεύτερο μελλοντικό άξονα κατεύθυνσης της έκθεσης αυτής.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. CEN (European Committee for Standardization). (2004b). “Ευρωκώδικας 8: Design provisions of structures for earthquake resistance. 1: General rules, seismic actions and rules for buildings.” EN1998-1, Brussels, Belgium.