

Σύστημα ΛΙΚΝΕΙΣΜΟΣ (Λικνισμός + Σεισμός) Προκατασκευασμένες κυψέλες σκυροδέματος συνδεδεμένες με προένταση μέσω εφεδράνων

Μάντζαρης Αλέξανδρος

Πολιτικός Μηχανικός, MSc Imperial College., am3907@googlemail.com

Μάντζαρης Γιάννης

Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ., imant@tee.gr

Πνευματικός Νίκος

Επίκουρος Καθηγητής ΤΕΙ Αθήνας, pnevma@teiath.gr

Γεωργία Τσιμπουκάκη

Πολιτικός Μηχανικός Παν. Πατρών, MSc ΕΜΠ, getsimp@gmail.com

Οι τρισδιάστατες κυψέλες σκυροδέματος χρησιμοποιήθηκαν από τον Οργανισμό Σχολικών Κτιρίων, (ΟΣΚ), από την 10ετία του '80. Η βασική μορφή που προτάθηκε από τον κ. Κώστα Χριστόπουλο, ήταν κυψέλες διαστάσεων 7,20x 3,60m (με 2 κυψέλες σχηματίζεται μία αίθουσα 7,20x7,20m), και καθαρό ύψος 3,00m με επίπεδη ή δικλινή στέγη, και μέχρι 2 ορόφους. Το σύστημα αυτό, χρησιμοποιήθηκε καθολικά από τον ΟΣΚ, και κατασκευάστηκαν χιλιάδες σχολικές αίθουσες σε όλη την Ελλάδα. Επίσης το σύστημα χρησιμοποιήθηκε για κατοικίες σε σεισμοπαθείς περιοχές, αλλά και γενικά για ιδιωτικές κατοικίες.

Το 1996, προτάθηκε από τον κ. Γιάννη Μάντζαρη εναλλακτική λύση με κυψέλες 7,20mx2,40m (με 3 κυψέλες σχηματίζεται μία αίθουσα 7,20 X 7,20m), η οποία μετά την κατασκευή μερικών δεκάδων αιθουσών, δεν συνεχίστηκε, λόγω των περισσότερων συνδέσεων που απαιτούσε, αλλά και περισσότερων μεταφορών παρόλο το μικρότερο βάρος και το μικρότερο πλάτος (2,40m) μεταφοράς.

Το 1999, σχεδιάστηκε από τον κ. Γ. Μάντζαρη το σύστημα πολυώροφων κυψελών σκυροδέματος συνδεδεμένων κατακορύφως με προένταση (ΤΡΙΒΕΣ). Πρώτη εφαρμογή έγινε το 2000 στα κτίρια του ΨΝΑ (Νοσοκομείο Δαφνίου) με διάφορες κυψέλες (Εικ. 1 & 2).

Το σύστημα αυτό υιοθετήθηκε κατόπιν από τον ΟΣΚ, και έγιναν πολλές εφαρμογές.



Εικ. 1: Αίθουσες του ΨΝΑ με διώροφες κυψέλες.



Εικ. 2: Οπή διέλευσης του συρματόσχοινου της προέντασης και οι προεξοχές του σκυροδέματος για την παρεμπόδιση οριζόντιων μετακινήσεων κατά τις 2 διευθύνσεις.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το σύστημα περιγράφεται σε διώροφη εφαρμογή, αλλά μπορεί να εφαρμοστεί και σε περισσότερους ορόφους.

Η βασική κυψέλη είναι 7,20x7,20m, η οποία αποτελεί μονολιθικό στοιχείο, και σχηματίζεται είτε από δύο κυψέλες των 3,60x7,20m, είτε από τρεις κυψέλες των 2,40x7,20m, είτε από μεμονωμένα στοιχεία (τοιχία-πλάκες). Εναλλακτικά μπορεί να εξεταστεί ως βασική κυψέλη και η 14,40x14,40m. Το ύψος των κυψελών είναι 3,20m.

Η σύνδεση των βασικών κυψελών μεταξύ τους γίνεται με συνδυασμό προέντασης (κατακόρυφης και οριζόντιας - X και Y) και εφεδράνων.

Στα σημεία σύνδεσης των βασικών κυψελών μεταξύ τους προβλέπονται ειδικοί μεταλλικοί σύνδεσμοι με οπές διελεύσεως των συρματοσχοίων ή των ράβδων προεντάσεως. Στα σημεία αυτά τοποθετούνται ελαστομεταλλικά εφέδρανα neoprene, ή αντίστοιχα στοιχεία. Τα εφέδρανα τοποθετούνται και κατακορύφως και οριζοντίως. Στα σημεία σύνδεσης υπάρχουν προεξοχές που δεν επιτρέπουν την οριζόντια μετακίνηση μεταξύ τους.

Τυχόν μικρομετακινήσεις είναι προσωρινές κατά την διάρκεια του σεισμού και η επαναφορά εξασφαλίζεται από την ελαστικότητα του εφεδράνου και την συνιστώσα της προέντασης που είναι κάθετη προς τον άξονα της προέντασης.

Έμφαση δίνεται στην δυνατότητα αντικατάστασης των εφεδράνων, αλλά και των συρματοσχοίων.

ΣΤΑΤΙΚΗ & ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

Για τη διερεύνηση της συμπεριφοράς του συστήματος υπό στατικές και δυναμικές φορτίσεις, εξετάστηκε ένας βασικός φορέας αποτελούμενος από 8 κυψέλες διαστάσεων 7,20x7,20m, με συνολικές διαστάσεις 14,40x14,40x6,40m συνδεδεμένες με οριζόντια και κατακόρυφη προένταση, και κατά περίπτωση οριζόντια ή/και κατακόρυφα εφέδρανα. Πιο συγκεκριμένα, διερευνήθηκαν οι εξής περιπτώσεις:

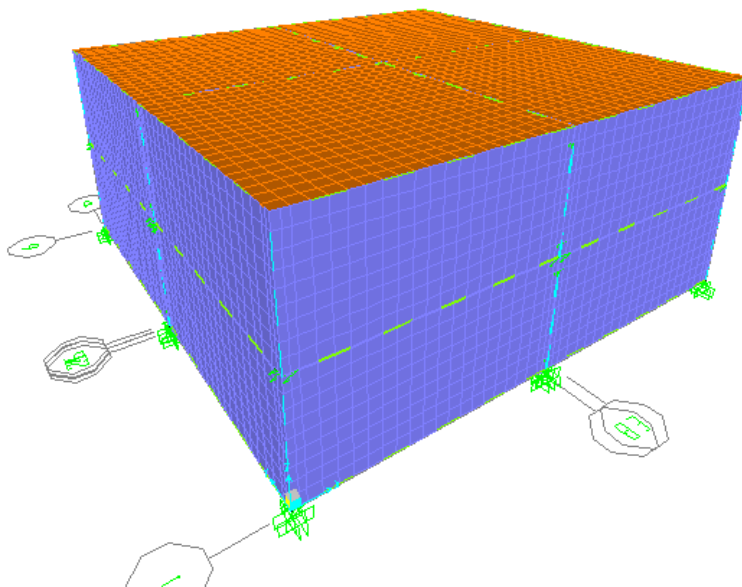
1. Σύστημα από 8 βασικές κυψέλες 7,20x7,20m ανεξάρτητες, 4 στο ισόγειο και 4 στον 1ο όροφο, συνδεδεμένες οριζοντίως και κατακορύφως με 32 συρματοσχοίνα Φ6/10". Χρησιμοποιούνται 32 οριζόντια και 32 κατακόρυφα εφέδρανα.
2. Η ίδια περίπτωση, αλλά τα εφέδρανα τίθενται μόνον μεταξύ της θεμελίωσης, του ισόγειου και του 1ου ορόφου. Χρησιμοποιούνται 32 συρματοσχοίνα Φ6/10" και 32 οριζόντια εφέδρανα.
3. Η ίδια περίπτωση, αλλά τα εφέδρανα τίθενται μόνον μεταξύ της θεμελίωσης και της ανωδομής. Χρησιμοποιούνται 32 συρματοσχοίνα Φ6/10" και 16 οριζόντια εφέδρανα.
4. Το κτίριο χωρίζεται σε 4 κατακόρυφα μπλόκ 7,20x7,20m και ύψους 2x3,20m = 6,40m με κατακόρυφη μόνον σύνδεση μεταξύ θεμελίωσης, ισόγειου και 1ου ορόφου. Χρησιμοποιούνται 32 συρματοσχοίνα Φ6/10" και 32 κατακόρυφα εφέδρανα.
5. Οι 8 βασικές κυψέλες συνδέονται με προένταση οριζοντίως και κατακορύφως μεταξύ τους και με την θεμελίωση, αλλά χωρίς εφέδρανα.
6. Οι 8 βασικές κυψέλες συνδέονται με εφέδρανα οριζοντίως και κατακορύφως μεταξύ τους και με την θεμελίωση, αλλά χωρίς προένταση.

Οι παραπάνω φορείς εξετάστηκαν με τις εξής παραδοχές:

- Σκυρόδεμα C30/37
- Εφέδρανο: ορθογώνιο neoprene 150x150x35mm, με δυσκαμψία 1kN/mm.
- Τένοντες προεντάσεως Φ6/10" με δύναμη προέντασης 140kN ανά συρματοσχοίνο
- Μόνιμα φορτία 2.00kN/m² σε όλες τις πλάκες

- Κινητό φορτίο 5.00kN/m^2 στα δάπεδα και 2.00kN/m^2 στην οροφή
- Σεισμική φόρτιση με το ελαστικό φάσμα του EC8, δηλ. $q=1$, $a_{gR}=0.36g$, κατηγορία εδάφους D.

Η προσομοίωση των στοιχείων σκυροδέματος έγινε με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία στο λογισμικό SAP 2000nl. Τα εφεδράνα προσομοιώθηκαν με μη γραμμικά πεπερασμένα στοιχεία (link elements), όπου η δυσκαμψία εντός του επιπέδου τους (δηλαδή κατά u_2 και u_3) ήταν ίση με 1kN/mm , ενώ κάθετα στο επίπεδο του εφεδράνου θεωρήθηκε πεπερασμένη δυσκαμψία μεγάλου μεγέθους. Οι τένοντες προσομοιώθηκαν με στοιχεία τένοντων, όπως τα υποστηρίζει το λογισμικό.



Εικ. 3: Ο βασικός φορέας προσομοιωμένος με πεπερασμένα στοιχεία.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στον Πίν. 1 παρουσιάζονται οι ιδιοπερίοδοι των δύο πρώτων ιδιομορφών για τους 6 εξεταζόμενους φορείς. Επίσης, στον Πίν. 2 παρουσιάζονται οι οριζόντιες μετακινήσεις κατά X στην οροφή του ισογείου και στην οροφή του 1ου ορόφου για το σεισμικό συνδυασμό κατά X. Λόγω συμμετρίας, αντίστοιχα είναι και τα αποτελέσματα για το σεισμικό συνδυασμό κατά Y.

Πίν. 1: Ιδιοπερίοδοι των 6 εξεταζόμενων φορέων

Φορέας	T_1 (sec)	T_2 (sec)
1	0,08272	0,08258
2	0,08274	0,08259
3	0,08310	0,08292
4	0,08271	0,08254
5	0,08271	0,08254
6	1,25378	1,25378

Πίν. 2: Οριζόντιες μετακινήσεις για το σεισμικό συνδυασμό κατά X

Φορέας	Οροφή ισογείου (m)	Οροφή 1 ^{ου} ορόφου (m)
1	0,0001	0,0011

2	0,0001	0,0011
3	0,0001	0,0011
4	0,0001	0,0011
5	0,00009886	0,0011
6	0,1649	0,2808

Όπως προκύπτει από τους παραπάνω πίνακες, οι 5 φορείς παρουσιάζουν παρόμοια δυσκαμψία, παρόλο που διαφοροποιούνται ως προς τις διατάξεις των εφεδράνων. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στην ύπαρξη της κατακόρυφης και οριζόντιας προέντασης, η οποία ήταν ίδια σε όλα τα μοντέλα που είχαν προένταση. Φάνηκε δηλαδή ότι η ύπαρξη των εφεδράνων της συγκεκριμένης ακαμψίας, σε όλες τις πιθανές θέσεις, δεν επηρεάζει την απόκριση του συστήματος όσο υπάρχει η προένταση που συγκρατεί τα κιβώτια μεταξύ τους με την δύναμη των 140kN. Ανεξάρτητα όμως από την επίδραση αυτή, η παρουσία τους είναι σημαντική και κατά την οριζόντια και κατά την κατακόρυφη διεύθυνση για κατασκευαστικούς λόγους, καθώς προφυλάσσουν τα κιβώτια σκυροδέματος από βλάβες τόσο κατά την εφαρμογή της προέντασης όσο κυρίως κατά την ταλάντωση των κιβωτίων υπό δυναμικές φορτίσεις.

Έχοντας ως αφετηρία τα παραπάνω αποτελέσματα, προγραμματίζεται να γίνουν περαιτέρω αναλύσεις, με διαφορετικές ιδιότητες εφεδράνων και ένταση συρματοσχοίνων. Επίσης προβλέπεται Η επιβεβαίωση των ανωτέρω συμπερασμάτων θα επιτευχθεί και με την αντίστοιχη πειραματική διερεύνηση υπό κλίμακα, αλλά και σε φυσικό μέγεθος. Επιπλέον, για την εφαρμογή του συστήματος στην πράξη, θα πρέπει να διερευνηθούν κατασκευαστικές λύσεις ώστε το βάρος, οι διαστάσεις, και οι διπλές χρήσεις (πχ ύπαρξη ταυτοχρόνως οροφής του ισογείου και πατώματος του 1ου ορόφου) των μεταφερομένων στοιχείων σκυροδέματος να μειωθούν δραματικά για λόγους οικονομίας και αποτελεσματικότητας.

Σε κάθε περίπτωση, η συμπεριφορά του συστήματος ΔΙΚΝΕΙΣΜΟΣ υπό δυναμικές φορτίσεις μεγάλου μεγέθους έδειξε ότι το σύστημα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε σημαντικά δημόσια κτίρια (σχολεία, νοσοκομεία, ξενοδοχεία κλπ) σε εξαιρετικά σεισμοπαθείς περιοχές.

Βιβλιογραφία

Γρ. Μανωλάτος, Π. Γιαννόπουλος, Σ.Γ. Τσουκαντάς, Ο. Κούρτα, Τ. Τοπιντζής, Γ. Σκούρας, Χ. Ζώης, Α. Κριθάρης, “Νέο σύστημα προκατασκευής του Οργανισμού Σχολικών Κτιρίων με βάση τις μεταφερόμενες κυνέλες από σκυρόδεμα”, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος ΤΕΕ, 14ο Συνέδριο Σκυροδέματος, Κως, 15-17 Οκτωβρίου 2003

EN (2004), “Eurocode 2. Design of concrete structures – Part 1–1: General rules and rules for buildings (EN 1992-1-1)”, Brussels.

EN (2004), “Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings (EN 1998-1)”, Brussels.