

# Πιλοτική Εφαρμογή Ευρωκώδικα 8 - Μέρος 3 για Σεισμική Αποτίμηση και Ενίσχυση Pilot application of Eurocode 8 – Part 3 for seismic assessment and strengthening

Αντώνης ΚΟΣΜΟΠΟΥΛΟΣ<sup>1</sup>, Στάθης ΜΠΟΥΣΙΑΣ<sup>2</sup>, Μιχαήλ Ν. ΦΑΡΔΗΣ<sup>3</sup>

*Λέξεις κλειδιά: Ευρ. κώδικας 8, σεισμική αποτίμηση, σεισμική ενίσχυση*

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ :** Παρουσιάζεται η πρώτη εφαρμογή στην πράξη των διατάξεων αποτίμησης και σεισμικής αναβάθμισης κτηρίων του Ευρωκώδικα 8 - Μέρος 3, σε υφιστάμενο κτήριο θεάτρου με μη-κανονικότητα σε κάτοψη και καθ' ύψος και διάβρωση των οπλισμών των περιμετρικών υποστυλωμάτων. Η αποτίμηση έγινε με βάση ανελαστική στατική και δυναμική ανάλυση και έδειξε υπέρβαση των σχετικών ορίων για σεισμό με μέγιστη εδαφική επιτάχυνση 0.1g. Τα μέτρα σεισμικής αναβάθμισης (αποκατάσταση της κανονικότητας, αύξηση της καμπυλικής και διαμηκικής αντοχής των στοιχιών) αξιολογήθηκαν μέσω μη-γραμμικών δυναμικών αναλύσεων οι οποίες έδειξαν ότι για τη θεισμική δράση σχεδιασμού με μέγιστη εδαφική επιτάχυνση 0.36g όλα τα στοιχεία της ενισχυθείσας κατασκευής ικανοποιούν τα όρια του Ευρωκώδικα 8, Μέρος 3.

**ABSTRACT :** The paper presents the first application Eurocode 3 – Part 3 for the assessment of the seismic capacity of a RC building constructed in the early 1970s to house a theater. Apart from the irregularities of the building both in plan and in elevation, the structure had severe reinforcement corrosion in its perimeter vertical members. Nonlinear time history analyses of the as-is building with modeling according to EC8 for an earthquake with PGA of 0.1g, shows exceedence of shear capacity at two interior and two exterior shear walls. The seismic upgrading of the building for the design earthquake of 0.36g was realized by adding two new walls, jacketing of the perimeter vertical members, externally bonding Fiber Reinforced Polymers on shear-deficient members and integrating the two parts of the building across a vertical expansion joint into a single integral structure.

---

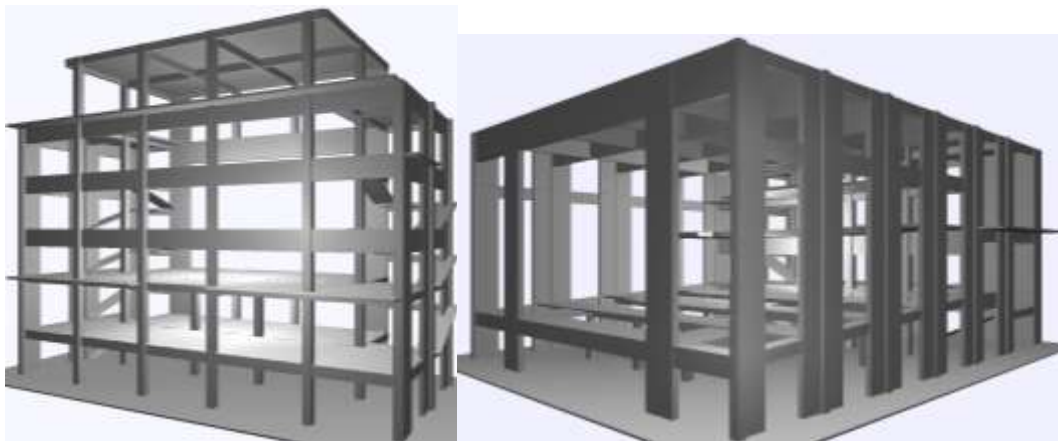
<sup>1</sup> Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, email: akosmop@upatras.gr

<sup>2</sup> Αν. Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Παν/μιο Πατρών, email: sbousias@upatras.gr

<sup>3</sup> Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Παν/μιο Πατρών, email: fardis@upatras.gr

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αποτίμηση και η ενίσχυση υφιστάμενων κατασκευών με βάση τους σύγχρονους Κανονισμούς γίνεται με έλεγχο επίτευξης μίας ή περισσοτέρων σταθμών επιθυμητής συμπεριφοράς («Οριακές Καταστάσεις») υπό αντίστοιχους σεισμούς με ορισμένη πιθανότητα υπέρβασης στη ζωή του κυρίου. Ο Ευρωκώδικας 8 – Μέρος 3 εισάγει τρεις δυνατές «Οριακές Καταστάσεις» με δεδομένη πιθανότητα υπέρβασης υπό αντίστοιχους σεισμούς: Περιορισμό Βλαβών, Σεμαντικές Βλάβες και Οιονεί Κατάρρευση. Τα κριτήρια ελέγχου κάθε στάθμης έχουν τη μορφή της ανίσωσης ασφαλείας σε όρους παραμορφώσεων για τους πλάσιμους τρόπους αστοχίας, ή δυνάμεων για τους ψαθυρούς. Η ελαστική στατική και η ελαστική δυναμική ανάλυση επιτρέπονται για τον υπολογισμό των παραμορφώσεων υπό αυσιερές προϋποθέσεις κανονικότητας του κυρίου. Η ανελαστική στατική ανάλυση μπορεί να εφαρμόζεται χωρίς σημαντικές προϋποθέσεις κανονικότητας και με τουλάχιστον επαρκή αξιοπιστία δεδομένων. Η ανελαστική δυναμική ανάλυση (χρονοϊστορίας) δεν έχει προϋποθέσεις κανονικότητας αλλά απαιτεί τεκνοποιητική αξιοπιστία δεδομένων.

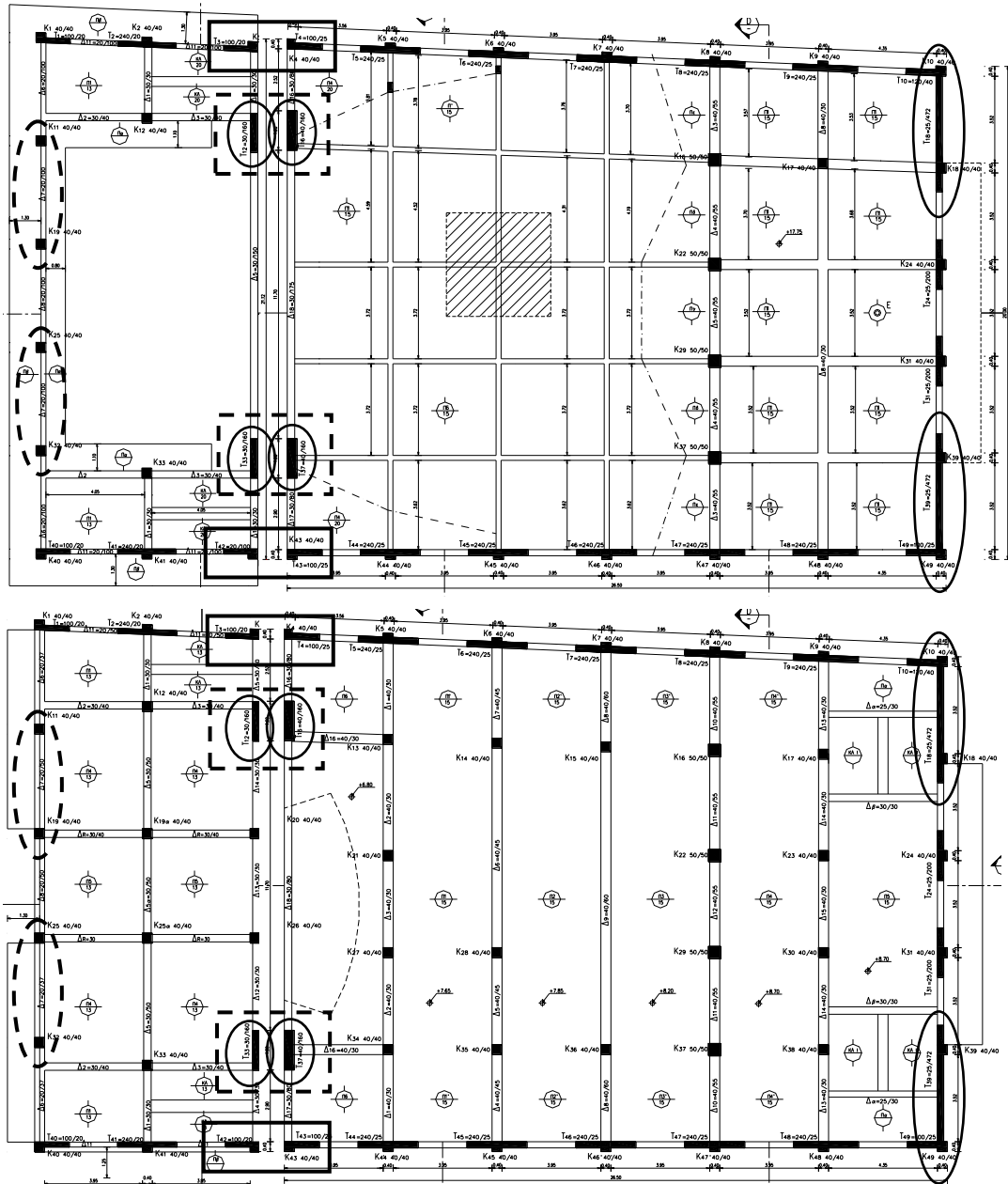


**Σχήμα 1.** Τρισδιάστατη απεικόνιση Τμήματος I (Σκηνή) και II (Θέατρο).

## ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΚΑΙ ΦΟΡΕΑ

Το κτήριο έχει έντονη μη-κανονικότητα σε κάτοψη και καθ' ύψος. Αποτελείται από τη Σκηνή (Τμήμα I) και το Θέατρο (Τμήμα II), τα οποία διαχωρίζονται πλήρως με κατακόρυφο αρμό από τη θεμελίωση έως το δώμα και θεμελιώνονται σε χωρστή θεμελίωση εσχάρας υψίκορμων πεδιλοδοκών. Το Τμήμα I (Σχήμα 1, 2, αριστερά) διαστάσεων κάτοψης 9.10μ. × 21.12μ. έχει συνολικά 6 οριζόνιες στάθμες πάνω από τη θεμελίωση (συν δύο ενδιάμεσες πλατυσκάλων κλιμακοστασίων). Επιπλέον έχει υπόγειο όροφο πλήρως επιχωμένο, με περιμετρικά φατνώματα πληρωμένα με σκυρόδεμα. Στο υπόγειο και στο ισόγειο του Τμήματος I υπάρχει πλήρης κάρναβος εσωτερικών υποστυλωμάτων και δοκών. Ο όροφος του υπερυψωμένου δώματος έχει περιμετρικά κατακόρυφα

στοιχεία, που περιλαμβάνουν δύο υποστυλώματα φυτευτά σε δοκό πάνω από το άνοιγμα της σκεπής.



**Σχήμα 2.** Κάτοψη. Πάνω: δώμα, κάτω: ισόγειο. Αρτηρά: Τμήμα Ι, δεξιά: Τμήμα ΙΙ (Ελλείψεις συνεχούς γραμμής: Μονόπλευρη ενίσχυση με ΙΟΠ. Διακεκομμένες Ελλείψεις: Νέα ιαχώματα. Ορθογώνια συνεχούς γραμμής: Ενιαίος μανδύας εκατέρωθεν αρμού. Ορθογώνια διακεκομμένης: Σύνδεση ιαχωμάτων εγκάρσια στον αρμό.

Το Τμήμα Π – Θέατρο (Σχήμα 1, δεξιά), διαστάσεων 26.50μ. × 20.0μ, εκτείνεται σε συνολικά 4 οριζόντιες σιάσμες νάνω από τη σεμελίωση, συν δύο ενδιάμεσες σιάσμες υλαιυσκάλων ιων δύο κλιμακοστιασίων. Έχει υλήρε ισόγειο όροκο από 4.7 μ. έως ιεν οροκή με αναβασμούς σια 8.7 μ, 8.2 μ, 7.85 μ. και 7.65 μ. Το ισόγειο έχει υλήρε κάρναβο εσωτερικών υυοσιλωμάιων και δοκών , αλλά μία μόνο θητρά από τα ηθωτηρτικά ποθητπλώματα θηνηχίζητατ πάνω από τη θτάθμη της οροκής τθογηίοπ. Η πλάκα τοπ ζώματος θητηρίζητατ θτα πητημητρικά κατακόρпка θτοτχηία κατ την ανωτέρω θητρά ηθωτηρτικών ποθητπλωμάτων θτο ένα-τρίτο της μηγάλης δτάστασης τοπ σηάτροπ από την πρόσωση.

Λόγω διάβρωσης (Σχήμα 3) οι συνδετήρες υαρουσίασαν μείωση της ποσότητάς τους στα πητημητρικά κατακόρпка στοτχηία έως 25% κατά μέσο όρο, αλλά ση ορτισμένα η δτάβρωση ήχη οδηγήσητ στο μηδηνητσμό της δτατομής τοπδτάβρωση τοπ δταμήκοπς οπλτισμού των κατακόρпкаων στοτχηίω (κυρίως γωντακών της ηξωτηρτικής υληυράς) ημκανίδονταν ση λίγης μόνον ράβδους



Σχήμα 3. Δτάβρωση ουλτισμού κατακόρпкаων στοτχηίω

### ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 8 – ΜΕΡΟΣ 3

Λόγω της μη κανοντικότητας του κτηρίου δην υληρούντατ οτ κατά τον Ευρωκώδτκα 8 – Μέρος 3 υροΐυοσέσητς γτα την ηκαρμογή ηλασττκής ανάλυσης, σταττκής ή δυναμτκής. Έτστ έγτηνη υρώτα ανηλασττκή σταττκή ανάλυση, χωρτιστά σττς δύο κύρτης ορτδόνττης δτηυσύνητς του κάση τμήματος του κττηρίου, Q<sub>1</sub>ή

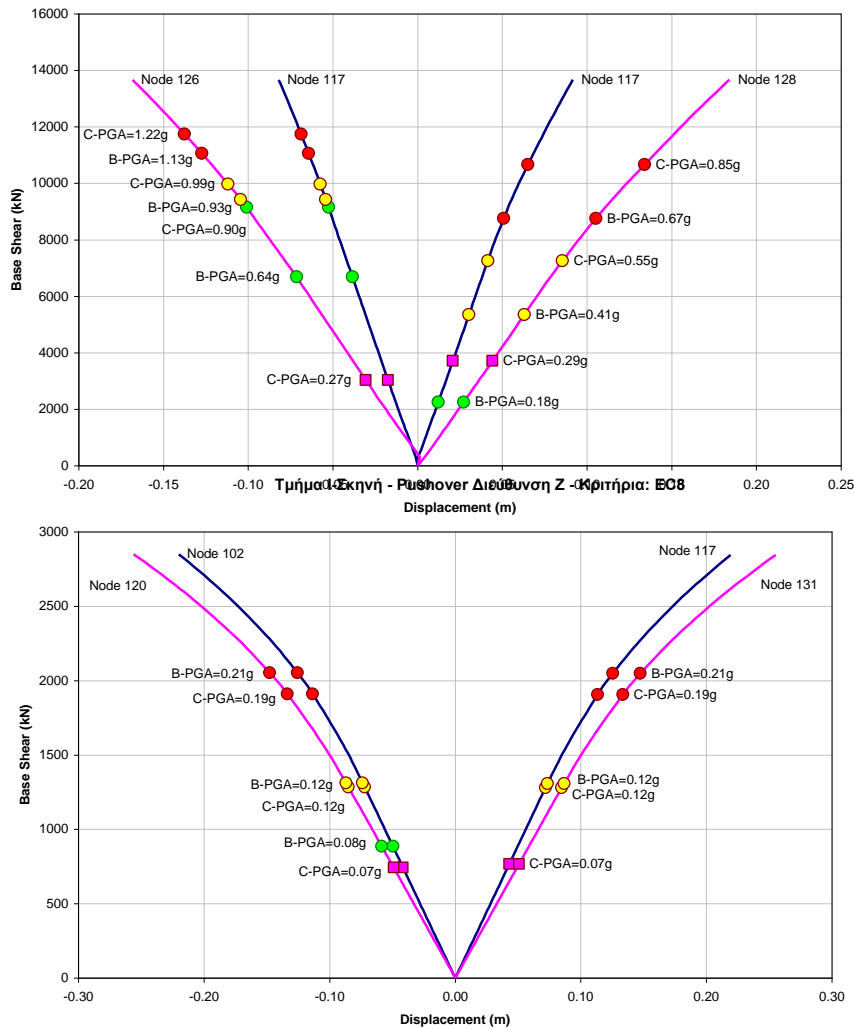
Η υροσομοίωση και ε ανάλυση έγτηνε με το λογισμικό ANSRuop (www.ansruop.net), του είναι μειεξέλιξε του υρογράμματος ANSR-I (Mondkar & Powel 1975). Σιε βασική δομή του υρογράμματος και υς υυο-ρουτίνες ανάλυσης, υροστέσεκαν στο Πανευτστήμητο Πατρών στοτχηία συγκενηρωμένες ανελασττκότητας γτα μέλε ουλτισμένου σκυροδέματος, γρακτκό υερτβάλλον γτα τεν υροσομοίωση κττηρίω στο χώρο κατ τεν ετσαγωγή δεδομένων, υυολογτισμός κατά Ευρωκώδτκα 8 των υαραμέτρων του αυαττούντατ γτα τε σετσημτκή ανάλυση, τεν αυοτίμεσε των μελών κα τ ενισχύσεις με μανδύες ουλτισμένου σκυροδέματος κατ Ινο-ουλτισμένων Πολυμερών (Kosmopoulos & Fardis 2006).

Συς ανελαθιικές θιαυκές αναλύθεις εκαρμόθηκαν μονοιωνικά αυξανόμενα θιαυκά οριζόνια κοριία με υρείς ζιακορευικές καθ'ύψος καιανομές :

“Ανεστραμμένη ιριγωνική”, “1η ιδιομορφική” (κατά την ιδιομορφή με τη μεγαλύτερη ιδιομορφική μάζα στην υπόψη οριζόνια διεύθυνση) και “Ομοιόμορφη” σ’ όλους τους κόμβους (με οριζόνια φορτία ανάλογα τη μάζα κόμβου). Τα φορτία εφαρμόζονται σε θετική και αρνητική φορά με ταυτόχρονη εφαρμογή των κατακόρυφων φορτίων του σεισμικού συνδυασμού δράσεων

Αποτελέσματα της ανελαστικής στατικής ανάλυσης παρουσιάζονται στο Σχήμα 4 σε μορφή διαγραμμάτων Τέμνουσας βάσης – Οριζόντιας μετακίνησης κόμβων της κορυφής του κυρίου. Σε κάθε διάγραμμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για σεισμική δράση σε μία οριζόνια διεύθυνση (X ή .), αλλά σε δύο αντίθετο φορές (θετική ή αρνητική). Στο Τμήμα II (Θέατρο), το οποίο εμφανίζει σημαντική ασυμμετρία σε κάτοψη ως προς την παράλληλη στο επίπεδο του αρμού οριζόνια διεύθυνση (Διευθ. Z), από τη διαφορά των μετακινήσεων των 4 γωνιακών κόμβων κορυφής στη διεύθυνση του σεισμού προκύπτει η στρεπτική συντοστώσα της απόκρισης. Στο Τμήμα I (Σκηνή), το οποίο δεν εμφανίζει μεγάλη ασυμμετρία σε κάτοψη, η οριζόνια μετακίνηση παρουσιάζεται σε κόμβους κοντά στα κέντρα των πλευρών της περιμέτρου στο υπερυψωμένο δώμα ή στην πλάκα επικάλυψης σκηνής, ώστε να προκύπτει η διαφορά μετακινήσεων στις δύο αυτές στάθμες. Τα αποτελέσματα για τις τρεις καθ’ ύψος κατανομές των οριζονίων φορτίων που εφαρμόθηκαν δεν διαφοροποιούνται σημαντικά. Στο Σχήμα 4 παρουσιάζονται μόνον αυτά για την «ανεστραμμένη ιριγωνική» κατανομή. Η πρώτη υπέρβαση κάποιας «Οριακής Κατάστασης» σε ένα τουλάχιστον «κύριο» δομικό στοιχείο του υπόψη Τμήματος του κυρίου σημειώνεται με πράσινο κύκλο για τη στάθμη «Περιορισμός Βλαβών» σε κάμψη, με κίτρινο για τις «Σημαντικές Βλάβες» σε κάμψη και με κόκκινο στην «Οιονεί Κατάρρευση» σε κάμψη. Το κόκκινο τετράγωνο: σημαίνει υπέρβαση της στάθμης «Οιονεί Κατάρρευση» σε δτάπησε.

Από την ανελαστική στατική ανάλυση για το Τμήμα II (Θέατρο) οι πρώτες ψαθυρές διαιμηκές αστοχίες κατακορύφων στοιχείων εμφανίζονται στα ιοιχώματα δίπλα στον αρμό του κυρίου σε χαμηλά επίπεδα μέγιστης επιτάχυνσης εδάφους (0.08g έως 0.11g), πριν την καμπική διαρροή. Καμπικές αστοχίες στοιχείων (ιδίως κατακορύφων) εμφανίζονται σε μέγιστη επιτάχυνση εδάφους από 0.14g έως 0.18g. Η εικόνα είναι παρόμοια και στο Τμήμα I (Σκηνή) – και μάλιστα ελαφρώς δυσμενέστηρη όπου ψαθυρές διαιμηκές αστοχίες κατακορύφων στοιχείων εμφανίζονται σε επίπεδα μέγιστης επιτάχυνσης εδάφους από 0.07g έως 0.10g, πριν την καμπική διαρροή. Καμπικές αστοχίες στοιχείων (ιδίως κατακορύφων) αρχίζουν σε μέγιστη επιτάχυνση εδάφους από 0.15g έως 0.20g, και πάλι στα ιοιχώματα δίπλα στον αρμό του κυρίου. Επειδή σ’ αυτά τα ιοιχώματα στηρίζονται τα κλιμακοστάσια του Τμήματος I, έγινε δεύτερη σειρά ανελαστικών αναλύσεων αγνοώντας τα κλιμακοστάσια. Τα αποτελέσματα της δεν έδειξαν ουσιώδη διαφοροποίηση. Η σεισμική δράση έχει ελαφρώς δυσμενέστερα αποτελέσματα όταν είναι παράλληλα στον αρμό (Διευθ. Z) παρά κάθετα (X).



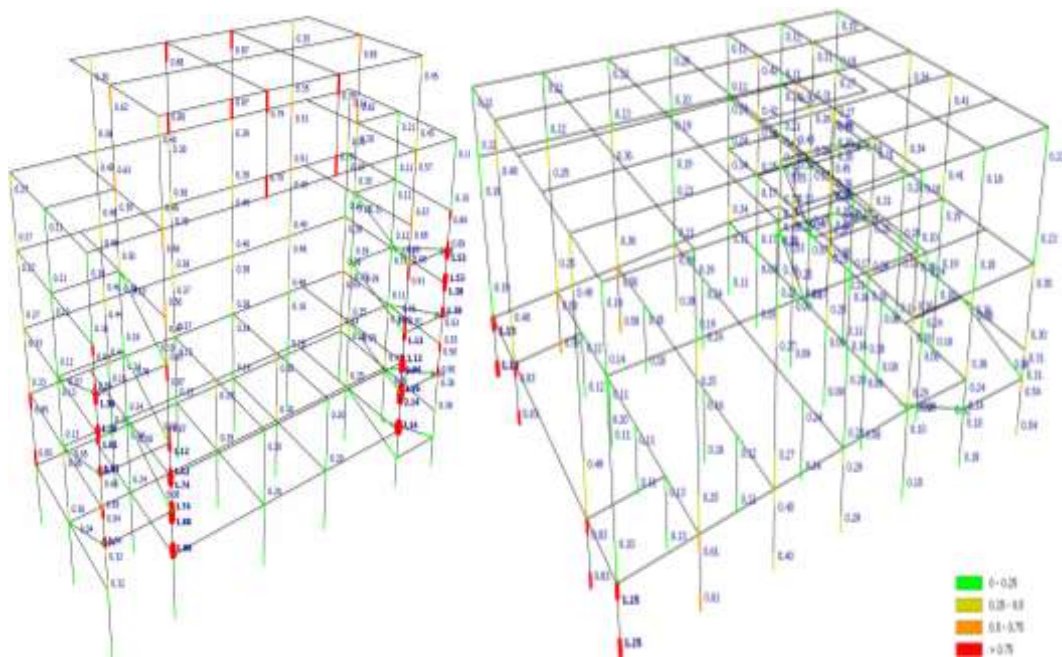
**Σχήμα 4.** Διαγράμματα τέμνουσας βάσης – οριζόνιας μετακίνησης για το Τμήμα I-Σκηνή (πάνω Διευθ. X, κάτω Διευθ. Z).

Έγιναν και ανελαστικές δυναμικές αναλύσεις των δύο τμημάτων σε ζεύγη επιταχυνσιογραφεμάτων στις δύο οριζόνιες διευθύνσεις X και Z, με εναλλαγή των δύο επιταχυνσιογραφεμάτων κάθε ζεύγους στις δύο οριζόνιες διευθύνσεις του κυρίου. Η κάθε συντοστώσα ζεύγους είναι συμβατή με το φάσμα του Ευρωκώδικα 8 για έδαφος μέσης πυκνότητας και μέγιστη επιτάχυνση εδάφους 0.10g. Επειδή το κύριο δεν είναι συμμετρικό τα επιταχυνσιογραφήματα εφαρμόστηκαν με αλλαγή του προσήμου τους, δίνονται έτσι 4 εναλλακτικές περιπτώσεις για κάθε ζεύγος και συνολικά 4x2x7=56 αναλύσεις.

Τα Σχήματα 5 και 6 παρουσιάζουν αποτελέσματα των 56 ανελαστικών δυναμικών

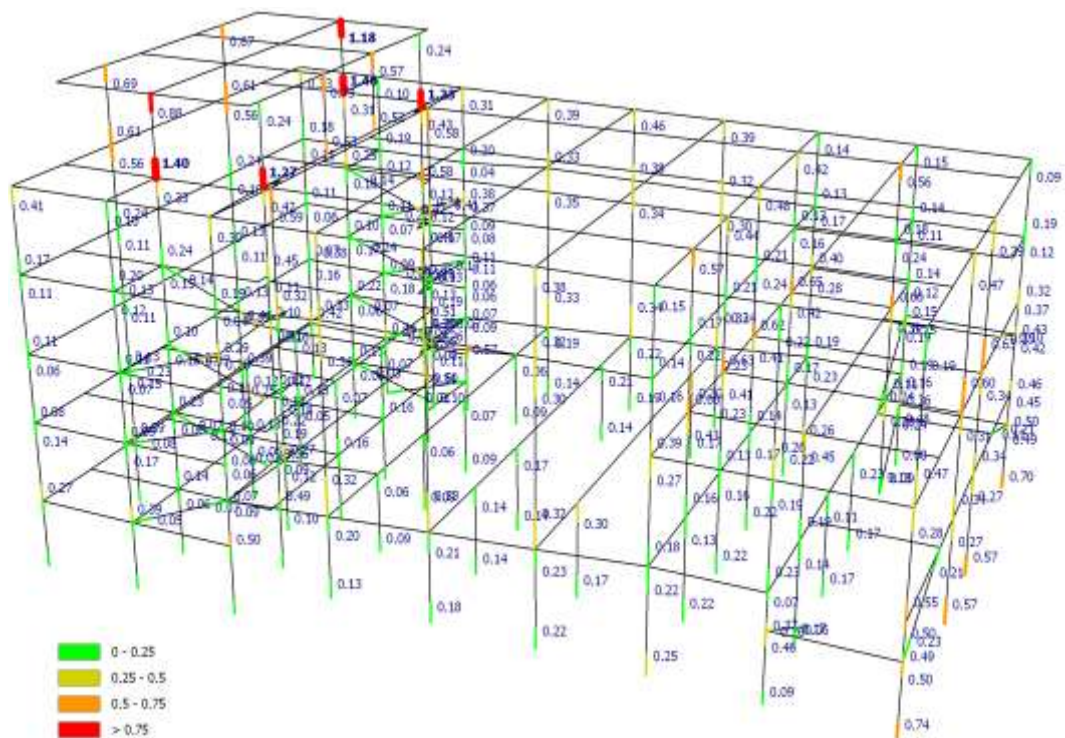
αναλύσεων με τη μορφή μέσου όρου του δείκτη βλάβης κάθε μέλους, που ορίζεται ως πηλίκο της μέγιστης απατούμενης ιμής παραμορφωσιακού/ ή ενταϊκού μεγέθους  $S_d$  κατά την απόκριση σ' ένα ζεύγος επιταχυνσιογραφημάτων προς το αντίστοιχο μέγεθος αντίστασης,  $R_d$ . Αν η  $R_d$  εξαρτάται από κάποιο μέγεθος της απόκρισης (π.χ., η διαιμηκ ή αντοχή από το δείκτη πλαστιμότητας γωντών στροφής χορδής, η γωνία στροφής χορδής στην καμπική αστοχία από την αξονική δύναμη, κλπ), υπολογίζεται η ιμής του λόγου  $S_d/R_d$  σε κάθε χρονική στιγμή της απόκρισης και κρατείται η μέγιστη ιμής του λόγου στη διάρκεια της απόκρισης. Σε υποστυλώματα και ιοχώματα σε διαξονική κάμψη, υπολογίζονται σε κάθε χρονική στιγμή οι ιμές του λόγου στις δύο οριζόνιες διευθύνσεις της διατομής και συνιίθενται ως  $\sqrt{((S_d/R_d)_x)^2 + (S_d/R_d)_y^2}$  και λαμβάνεται η μέγιστη τιμή του σύνθετου δείκτη βλάβης κατά την απόκριση.

Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν τα συμπεράσματα της ανελαστικής στατικής ανάλυσης και ως προς τη σέση και ως προς την έκταση και το βαθμό της αναμηνόμενης βλάβης για σεισμό με μέγιστη επιτάχυνση εδάφους 0.10g. Τα ιοχώματα που βρίσκονται σε επαφή με τον αρμό μεταξύ των δύο τμημάτων του κυρίου προβλέπεται να αστοχήσουν διαιμηκ ά σε σεισμό με μέγιστη επιτάχυνση εδάφους περίπου 0.07g.



**Σχήμα 5.** Δείκτης δαταμηπτικής βλάβης κατακορύφων μελών: Σκηνή αριστερά, Θέατρο δεξιά.





Σχήμα 6. Δείκτης καμπτικής βλάβης κατακορύφων μελών Τμήματος Ι-Θεάτρου.

## ΜΕΤΡΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ – ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ

Η ενίσχυση του κυρίου στοχεύει στην πλήρωση των απαιτήσεων της στάθμης επιτελεστικότητας “Σημαντικές βλάβες”, για τη σεισμική δράση σχεδιασμού που ορίζει ο ΕΑΚ 2000 για το Αργοστόλι (0.36g) με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια. Τα κριτήρια ελέγχου κατά Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3 για αυτή την Οριακή Κατάσταση και τα πλάσιμα σιοιχηία είναι:  $\theta_{sd} \leq 0.75\theta_{u,m-\sigma}$  (πρωτεύοντα σιοιχηία) και  $\theta_{sd} \leq 0.75\theta_{u,m}$  (δευτερεύοντα), όπου  $\theta_{sd}$  η γωνία στροφής χορδής από την ανάλυση, και  $\theta_{u,m}$ ,  $\theta_{u,m-\sigma}$ : μέση ιμή και μέση ιμή μείον μια ιπική απόκλιση της γωνίας στροφής χορδής στην αστοχία, αντίστοιχα. Τα ψαθυρά πρωτεύοντα σιοιχηία ελέγχονται για  $V_{sd} \leq V_{Rd,EC2}$  και  $V_{sd} \leq V_{Rd,EC8}/1.15$ , όπου,  $V_{sd}$  η τέμνουσα από την ανάλυση,  $V_{Rd,EC2}$  η διαιμηκ ή αντοχή για μονοτονική ένταση κατά Ευρωκώδικα 2 και  $V_{Rd,EC8}$  η αντίστοιχη για ανακυκλιζόμενη ένταση κατά Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3 (και οι δύο με μέσες ιμές αντοχής των υλικών, διαιρεμένες με επιμέρους συντελεστές  $\gamma_m$  υλικών και με το συντελεστή αξιοπιστίας δεδομένων). Ο έλεγχος ψαθυρών δευτερευόντων σιοιχηίων είναι ο ίδιος με αυτόν των πρωτεύοντων, με ις ιμές διαιμηκ ής αντοχής για ις μέσες ιμές αντοχής των υλικών διαιρεμένες με ιο συνιελεστή αξιοπιστίας δεδομένων.



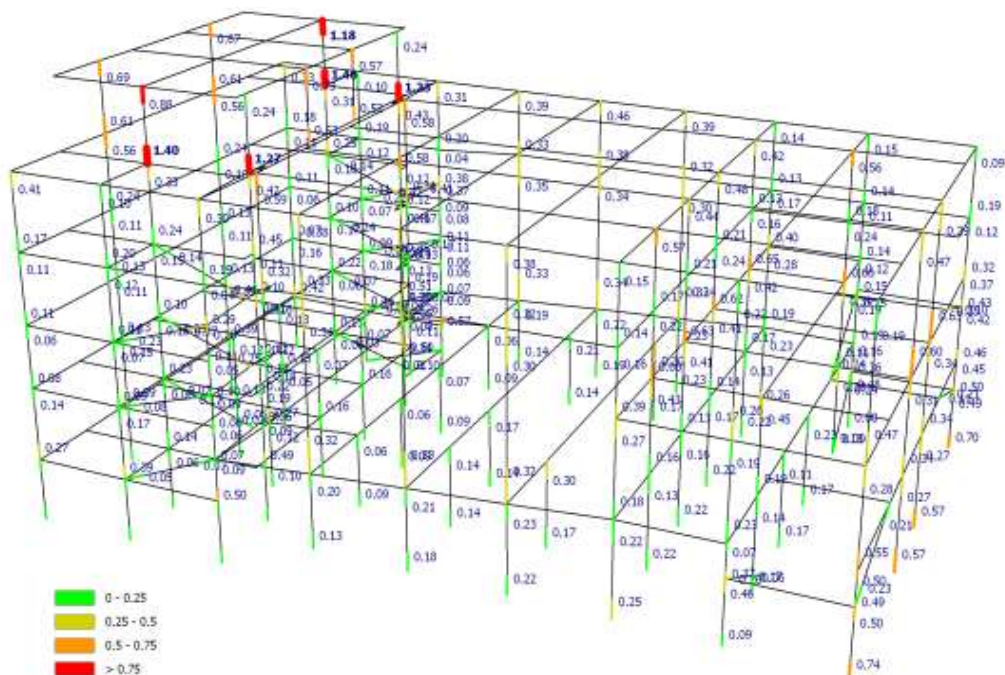
Η ενίσχυση ακολούθησε δύο άξονες, με βασικό κριτήριο την αποφυγή επέμβασης στη θεμελίωση, στο εσωτερικό του κυρίου και την πρόσοψη (Σχήμα 2):

1. Σύνδεση των δύο τμημάτων του κυρίου σ' ένα ενιαίο φορέα, ώστε να αποτραπεί η χωριστή στρεπτική ταλάντωση του καθενός λόγω της ασυμμετρίας τους σε κάτοψη κατά τη την παράλληλη στον αρμό διεύθυνση. Η στρεπτική συντιστώσα της ταλάντωσης επιβαρύνει ιδιαίτερα τα στοιχεία των δύο τμημάτων που βρίσκονται κοντά στον μεταξύ τους αρμό, προκαλώντας και τις πρώτες υπερβάσεις οριακών καταστάσεων/αστοχίες σε όλο το κύριο. Η επέμβαση συνίσταται στην κατασκευή ισχυρής ζώνης οπλισμένου σκυροδέματος ιπαστί του αρμού στην επιφάνεια των πλακών του δώματος (Σχήμα 7, δεξιά άνω) και ενός μονόπλευρου ενιαίου μανδύα στα δύο ζεύγη εξωτερικών ιοχωμάτων εκατέρωθεν του αρμού (Σχήμα 7, δεξιά κάτω). Βοηθητικώς, συνδέθηκαν μεταξύ τους με ντίζες ανά πυκνές αποστάσεις και τα εσωτερικά ιοχώματα των δύο φορέων που είναι παράλληλα στον αρμό (Σχήμα 7, αριστερά). Για εξισορρόπηση της μεγάλης δυσκαμψίας των δύο ισχυρών ιοχωμάτων στη στενή εξωτερική πλευρά του ενιαίου κυρίου (υπόσοψε, αριστερά στο Σχήμα 2) και ενίσχυση του υπερυψωμένου δώματος της Σκηνής, προothέθηκαν δύο ιοχώματα στην πίσω πλευρά του ενιαίου φορέα, ενσωματώνοντας πλήρως υποστυλώματα και δοκούς δύο φατνωμάτων του πλαισίου. Τα νέα ιοχώματα πακτώθηκαν στα περιμετρικά στοιχεία θεμελίωσης του κυρίου.



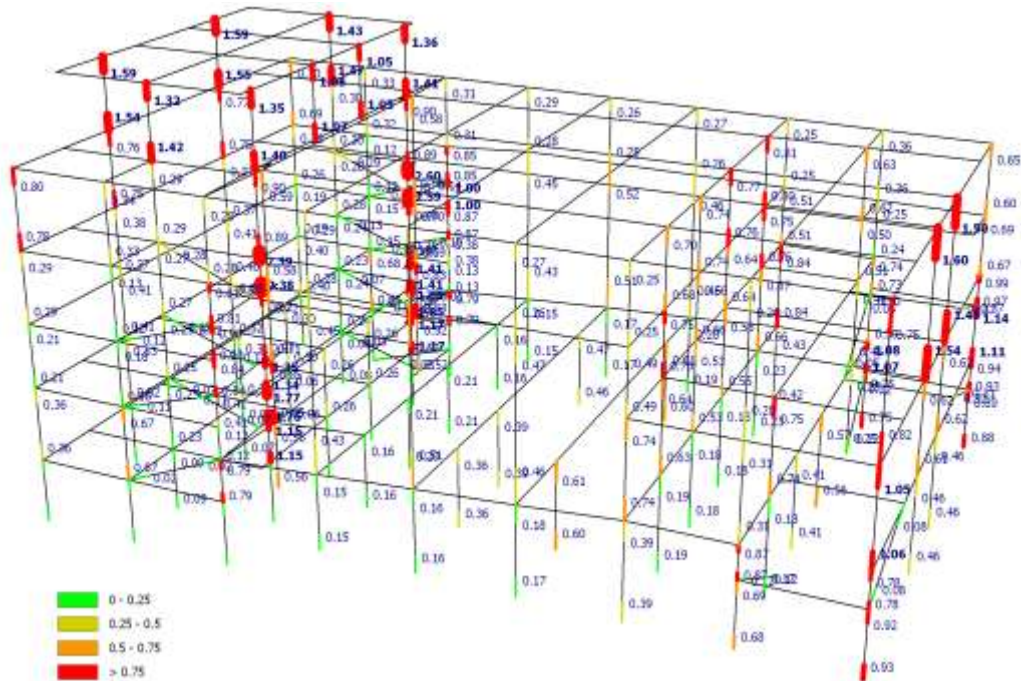
**Σχήμα 7.** Επεμβάσεις ενίσχυσης. Αριστερά: ντίζες σύνδεσης εσωτερικών ιοχωμάτων παράλληλων στον αρμό. Δεξιά άνω: ζώνη ΟΣ ιπαστί του αρμού στο δώμα. Δεξιά κάτω: Ενίσχυση/ενοποίηση κάθετων στον αρμό εξωτερικών ιοχωμάτων.

2. Αναβάθμιση της δυσκαμψίας και αντοχής των δομικών στοιχείων της περιμέτρου, με μονόπλευρους μανδύες εκτοξευόμενου σκυροδέματος με μονή αλλά πυκνή εσχάρα οπλισμών στις εξωτερικές πλευρές 10 περιμετρικών ιοχωμάτων στις δύο διαμήκειες πλευρές του ενιαίου κτηρίου εξωτερικούς μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος. Η επιλογή αυτή υπαγορεύεται από την αποτελεσματικότητά της για την αύξηση της συνολικής δυσκαμψίας και σεισμικής αντοχής του κυρίου, από την ευχέρεια κατασκευαστικής υλοποίησής της χωρίς δομικές ή οικοδομικές παρεμβάσεις στο εσωτερικό του κυρίου, και από την ανάγκη αντιμετώπισης των συνεπειών της διάβρωσης των οπλισμών των περιμετρικών δομικών στοιχείων. Οι μανδύες πακτώθηκαν στα περιμετρικά στοιχεία θεμελίωσης και φθάνουν έως το δώμα.

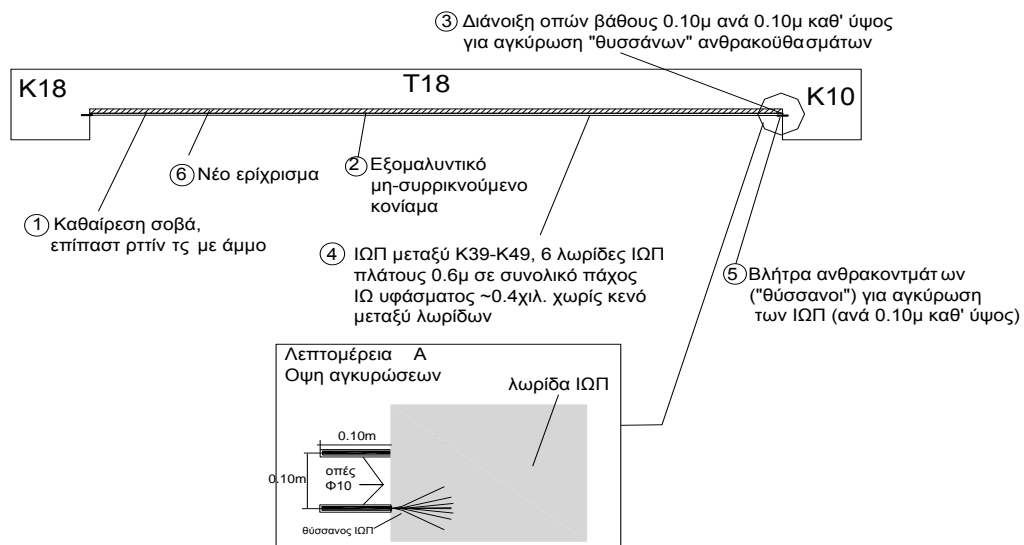


**Σχήμα 8.** Ενισχυμένο κτήριο: δείκτης καμπικής βλάβης κατακορύφων μελών.

Για την ανάλυση της απόκρισης του ενισχυμένου κυρίου δημιουργείται ένα προσομοίωμα του συνολικού φορέα. Η σύνδεση των Τμημάτων Ι και ΙΙ γίνεται μέσω των στοιχείων που προσομοιώνουν τα κοινά ενιαία ιοχώματα εκατέρωθεν του αρμού και της προσομοίωσης των ντιζών που συνδέουν τα εσωτερικά ιοχώματα παράλληλα στον αρμό. Οι ιδιοπεριόδους του ενοποιημένου φορέα για τις ηνιργές ηλασικές δυσκαμψίες μελών είναι 30% περίπου μικρότερες αυτών των επιμέρους τμημάτων πριν την ενίσχυση. Στα Σχήματα 8 και 9 παρουσιάζεται ο μέσος όρος του δείκτη φαμπικής και διαμηκικής βλάβης, αντίστοιχα, για το ενισχυμένο κτήριο (μέση ιμή ανάλυσεων για 56 διαξονικές εδαφικές κινήσεις με μέγτστη ηπτάχυνση 0.36g).



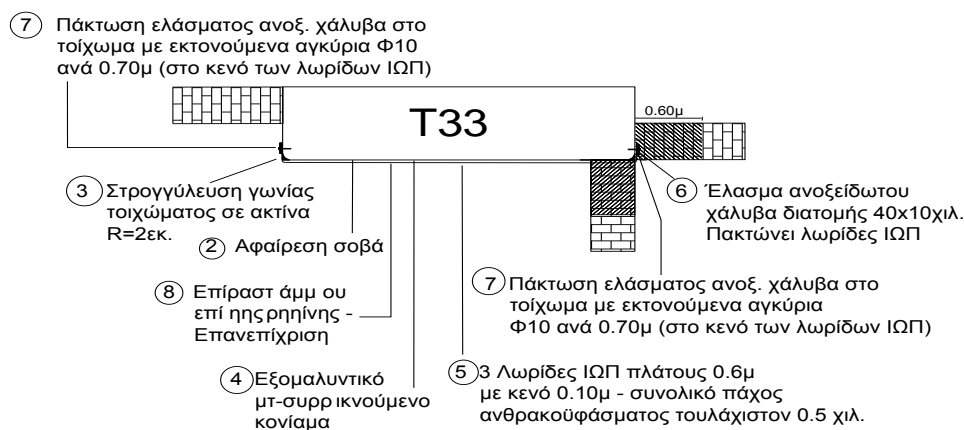
Σχήμα 9. Ενισχυμένο κήριο: δείκτης στατιστικής βλάβης κατακορύφων μελών.



Σχήμα 10. Ενίσχυση ιοχωμάτων πρόσοψης με ΙΟΠ, αγκυρωμένων με αγκύρτα ΙΟΠ

Με εξαίρεση ορισμένα υποστυλώματα του υπερυψωμένου δώματος της Σκηής και του ανώτερου τμήματος της πρόσοψης (εκατέρωθεν των οποίων όμως υπάρχουν συμπαγείς μπαικές ιοχοπληρώσεις που αγνοήθηκαν στην ανάλυση),

τα μέτρα ενίσχυσης εμφανίζονται επαρκή για την καμπική συμπεριφορά των μελών (Σχήμα 8). Αντίθετα, οι υψηλές ιμές του δείκτη διαιμηκής βλάβης στα δύο ιοχώματα της πρόσοψης (Σχήμα 9, δεξιά) και στα δύο ζεύγη των παράλληλων στον αρμό εσωτερικών ιοχωμάτων (Σχήμα 9) δείχνουν έλλειμμα διαιμηκής αντοχής. Το έλλειμμα καλύφθηκε με ΙΟΠ ανθρακονημάτων (CFRP) που εφαρμόθηκαν μονόπλευρα στην προσβάσιμη όψη τους και αγκυρώθηκαν με αγκύρια ΙΟΠ για τα δύο ιοχώματα της πρόσοψης (Σχήμα 10), ή με πάκτωση με μεταλλικές λάμες για τα δύο ζεύγη εσωτερικών ιοχωμάτων εκατέρωθεν του αρμού δεξιά και αριστερά της σκηής (Σχήμα 11).



**Σχήμα 11.** Πάκτωση ΙΟΠ με μεταλλικές λάμες

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η πιλοική εφαρμογή του Ευρωκώδικα 8 - Μέρος 3 για την σεισμική αποτίμηση και ενίσχυση του Θεάτρου χρηματοδοτήθηκε από το Δήμο Αργοστολίου.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Comite European de Normalisation, *European Standard EN 1998-3:2005 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 3: Assessment and retrofitting of buildings*, 2005

Kosmopoulos, A. and Fardis, M.N. "Seismic evaluation of strongly irregular and torsionally unbalanced concrete buildings", *Proceedings, 2<sup>nd</sup> fib Congress*, Naples, 2006.

Mondkar, D.P. and Powel, G.H. "ANSR-I General Purpose Program for Analysis of Structural Response". Rep. EERC 75-37, Univ. of California, Berkeley, 1975.